

JEFERSON NASCIMENTO MIRANDA

AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL VOLTADA PARA SMART GRID

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte das atividades para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa.

Orientador: Prof. Dr. Jumar Luís Russi

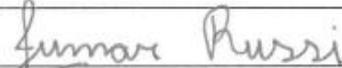
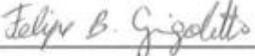
**ALEGRETE
2013**

Autoria: Jeferson Nascimento Miranda

Título: Automação Residencial Voltada para Smart Grid

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte das atividades para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa.

Os componentes da banca, abaixo listados, consideram este trabalho aprovado

	Nome	Titulação	Assinatura	Instituição
1	Jumar Luis Russi	Prof. Dr.		unipampa
2	Edson Rodrigo Schlosser	Prof.		unipampa
3	Felipe Bovolini Grigoletto	Prof. Dr.		unipampa

Data da aprovação: 11 de outubro de 2013.

Dedico este trabalho aos meus pais, Valdir e Alacir, que sempre me incentivaram e acreditaram em mim. Aos meus irmãos, Walquiria e Anderson, que sempre procuraram me colocar no caminho certo. A minha namorada Elis, pelo carinho e atenção em todos esses anos juntos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida.

Aos meus pais pelo apoio e esforço que fizeram para que nada me faltasse durante minha graduação, serei eternamente grato.

Ao meu irmão que é um exemplo de vida para mim, que sempre lutou e nunca desistiu de seus sonhos e que me auxiliou na programação do código em C-Sharp. À minha irmã pelas palavras de incentivo para que eu nunca desistisse dos meus objetivos.

À namorada Elis pela compreensão, incentivo e palavras de conforto durante o curso.

A todos meus amigos, em especial aos que convivi os últimos anos de minha graduação.

Ao Professor Dr. Jumar Russi, por toda a ajuda e auxílio no desenvolvimento do trabalho, sempre muito prestativo e disposto.

Ao Professor Dr. Mauricio Sperandio pela indicação do tema e auxílio no início do trabalho.

Agradeço a todos os Professores da Unipampa, em especial aos que me deram aula e que de uma forma ou de outra contribuíram com minha formação e/ou a realização deste trabalho.

Aos Técnicos do Laboratório de Eletrotécnica, por todo suporte e ajuda no desenvolvimento do protótipo.

Enfim, agradeço a todos que me incentivaram e que em algum momento fizeram ou fazem parte de minha vida.

"Há uma força motriz mais poderosa que o vapor, a eletricidade e a energia atômica: a vontade!"

Albert Einstein

RESUMO

Cada vez mais, com o passar dos anos, a civilização moderna tem assistido a mudanças significativas nos aspectos da vida humana. Primeiro, a automação industrial voltada para o controle e supervisão das linhas de produção; em seguida, veio a automação de edifícios comerciais voltados para vigilância. Hoje em dia, a automação residencial é um mercado emergente que está se tornando realidade no Brasil, com várias soluções interessantes e diferenciadas visando melhorar a qualidade de vida das pessoas. Em breve, serão implantadas em nosso país as chamadas “*Smart Grid*”. Com o surgimento dessa nova tecnologia, surge a tarifa branca, cujo preço da tarifa cobrada varia conforme o horário do dia, ficando mais cara no horário de pico e mais barata em horários de menor demanda.

O objetivo principal deste trabalho é mostrar aos consumidores residenciais que é possível tirar proveito da tarifa branca proposta pela ANEEL. Isso pode ser obtido através de um sistema de automação residencial voltado para Smart Grid e da mudança no hábito de uso dos equipamentos elétricos, reduzindo assim o valor da fatura de energia elétrica. Para complementar o trabalho é desenvolvido um protótipo com funções básicas para auxiliar o usuário no controle e deslocamento no horário de utilização das cargas domésticas conforme os postos tarifários da nova modalidade de tarifação.

Palavras-chave: Smart Grid, Automação Residencial, Tarifa Branca, Energia Elétrica, Hábito de Consumo.

ABSTRACT

Increasingly, over the years, modern civilization has witnessed significant changes on several aspects of human life. First, the industrial automation focused on the control and supervision of production lines; then came the automation of commercial buildings facing vigilance. Nowadays, home automation is an emerging market that is becoming reality in Brazil, with several interesting solutions seeking to improve the life quality of people. Soon, the “smart grid” technology will be implemented in our country. With the emergence of this new technology comes the “white fare”, where the price of the fare varies according to the time of day, being more expensive at peak times and cheaper at times of lower demand.

The main objective of this work is to show that residential consumers can take advantage of the White Fare proposed by ANEEL. This can be attained by applying a residential system automation focused on Smart Grid and changing the habit of use of electrical equipment, reducing thus the value the bill of electric power. Finally, it is proposed a prototype designed with basic functions in order to help consumers in control of electrical equipment, avoiding their use during the periods with more expensive fare.

Keywords: Smart Grid, Residential Automation, Fare White, Electric power, Consumption habit.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1- Ilustração dos postos tarifários	21
FIGURA 2 - Participação no consumo de energia dos aparelhos.....	28
FIGURA 3 - Curva de Carga do Cenário 1	28
FIGURA 4 - Curva de Carga Diária Detalhada.....	29
FIGURA 5 - Gasto em R\$ por posto horário do Cenário 1.....	31
FIGURA 6 - Total gasto em R\$ no Cenário 1	31
FIGURA 7 - Gasto em R\$ por posto horário do Cenário 2.....	34
FIGURA 8 - Total gasto em R\$ no Cenário 2.....	34
FIGURA 9 - Curva de Carga - Cenário 3.....	36
FIGURA 10 - Consumo em R\$ por posto horário do Cenário 3	37
FIGURA 11 - Total gasto em RS no Cenário 3.....	37
FIGURA 12 – Curva de Carga Cenário 4	39
FIGURA 13 - Consumo em R\$ por posto horário do Cenário 4.....	40
FIGURA 14 - Total gasto em RS no Cenário 4.....	40
FIGURA 15 - Participação do carro elétrico em R\$ na fatura mensal	41
FIGURA 16 - Gasto em R\$ em um ano com a recarga do carro elétrico	42
FIGURA 17 – Gastos durante 22 dias úteis período de inverno	43
FIGURA 18 - Interface Gráfica com o Usuário	48
FIGURA 19 - Pinagem PIC 16F628A	49
FIGURA 20 - Pinagem MAX 232	50
FIGURA 21 - Conector DB9.....	51
FIGURA 22 - Esquema de ligação do MAX 232.....	51
FIGURA 23 - Esquema simulado no Proteus.....	52

FIGURA 24 - Circuito de controle projetado no Proteus.....	53
FIGURA 25 - Hardware de Controle	53
FIGURA 26 - Circuito de acionamento projetado no proteus.....	54
FIGURA 27 - Hardware de acionamento.....	55

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Informações dos equipamentos	23
TABELA 2 - Informações de uso dos equipamentos elétricos.....	27
TABELA 3 - Energia elétrica consumida em kWh	29
TABELA 4 - Total em R\$ da fatura: Cenário 1	30
TABELA 5 – Gasto em reais detalhado nos postos horários: Cenário 2	32
TABELA 6 - Total em R\$ da Fatura: Cenário 2.....	33
TABELA 7 - Consumo detalhado nos postos horários: Cenário 3.....	35
TABELA 8 - Total em R\$ da Fatura: Cenário 3.....	36
TABELA 9 - Consumo detalhado nos postos horários: Cenário 4.....	38
TABELA 10 - Total em R\$ da fatura: Cenário 4	39
TABELA 11 - Energia elétrica consumida em kWh/mês	41
TABELA 12 – Fatura mensal e total gasto no ano	42
TABELA 13 – Porcentagem de redução na fatura de energia elétrica	44
TABELA 14 – Fatura mensal e total gasto no ano sem o carro elétrico.....	44
TABELA 15 - Porcentagem de redução na fatura sem o carro elétrico.....	45
TABELA 16 - Componentes do Circuito de Controle.....	52
TABELA 17 - Componentes do Circuito de acionamento.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ANEEL – Agência Nacional da Energia Elétrica

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

AES SUL – AES SUL Distribuidora Gaúcha de Energia S/A

LIGHT – Light Serviços de Eletricidade S/A

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

SEP – Sistema Elétrico de Potência

PRORET – Procedimentos de Regulação Tarifária

PRODIST – Procedimentos de Distribuição

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

RGE – Rio Grande Energia

VE – Veículo Elétrico

PC – Computador Pessoal

TTL – Transistor – Transistor Lógico

PIC – Controlador de Interface Programável

A – Ampère

V – Volts

DSP – Processador de Sinal Digital

FPGA – Arranjo de Portas Programáveis em Campo

LED – Diodo Emissor de Luz

SUMÁRIO

Agradecimentos	4
RESUMO	6
Abstract	7
Lista de Ilustrações	8
Lista de Tabelas	10
Lista de Abreviaturas e Símbolos	11
Sumário	12
1 Introdução	14
1.1 <i>Problematização</i>	15
1.2 <i>Justificativa</i>	16
1.3 <i>Objetivos</i>	16
1.4 <i>História da Automação Residencial</i>	17
1.5 <i>Estado da Arte</i>	18
1.6 <i>Metodologia</i>	22
2 Simulações do consumo de energia elétrica na residência	23
2.1 <i>Período de Inverno</i>	26
2.1.1 <i>Cenário 1</i>	28
2.1.2 <i>Cenário 2</i>	31
2.1.3 <i>Cenário 3</i>	34
2.1.4 <i>Cenário 4</i>	37
2.2 <i>Comparação entre os quatro cenários</i>	40
2.3 <i>Considerações sobre os Cenários Descritos</i>	45
3 Protótipo Desenvolvido	46
3.1 <i>Projeto</i>	46
3.1.1 <i>Central de Controle</i>	47
3.1.1.1 Interface Gráfica com o Usuário	47
3.1.1.2 Comunicação com o Hardware de Controle	48
3.1.2 <i>Hardware de Controle</i>	48
3.1.2.1 Circuito de Controle	49
3.1.3 <i>Hardware de Acionamento</i>	53

3.1.3.1 Circuito de acionamento.....	54
<i>3.2 Considerações referentes ao protótipo</i>	<i>55</i>
4 Considerações Finais	56
Referências bibliográficas.....	58
ANEXO A – Resultados para o período de verão.....	60
ANEXO B - Resultados para o período de outono/primavera	62
ANEXO C – Código em C do microcontrolador	64
ANEXO D – Código em C# da Interface Gráfica.....	65
ANEXO E - Protótipo	73

1 INTRODUÇÃO

Com a automação residencial o que se objetiva é a integração das tecnologias de acesso a informações e entretenimento, com a otimização dos negócios, da internet, da segurança, buscando uma melhor qualidade de vida para as pessoas. O projeto de automação envolve infraestrutura, dispositivos e software de controle cuja função é garantir ao usuário a possibilidade de controle e de acesso aos eletrodomésticos da sua residência à distância, dentro ou fora da mesma [1].

No dia 22 de novembro de 2011 a Agência nacional de Energia Elétrica aprovou um novo sistema de tarifação, tendo como novidade a “Tarifa Branca”. Essa nova estrutura tarifária deve entrar em vigor dentro de alguns anos no Brasil e dependerá do desenvolvimento dos medidores eletrônicos inteligentes também chamados de Smart Meters. Com a implantação da tarifa branca o preço da tarifa deverá variar durante o dia, sendo mais cara no horário de ponta, conhecido como horário de pico (das 18h até às 21h), mais barata em horário fora de ponta que ocorre durante a madrugada e teria um preço intermediário nos demais horários do dia.

A aprovação do novo sistema de tarifa é um passo muito importante para a implantação das Smart Grids no Brasil, onde todo sistema elétrico e clientes terão benefícios. A casa inteligente contribuirá para um aumento da eficiência energética do país, pois algumas pessoas vão querer mudar seus hábitos, deixando de utilizar um determinado eletrodoméstico ou simplesmente diminuir a intensidade da iluminação da residência em horários de tarifa mais cara. Com isso, a curva típica de carga será mais bem distribuída, contribuindo para que a construção e gastos com novas fontes de energia para atender a demanda de pico seja reduzida [2].

Concessionárias do país estão investindo em pesquisas de redes inteligentes. Por exemplo, a AES Sul tem pesquisado sobre reconfigurações e reestabelecimento automático de redes de distribuição, a CEMIG está com um projeto denominado “Cidades do Futuro”, um programa para automação da distribuição de energia elétrica na cidade de Sete Lagoas, com

75 mil unidades consumidoras. O município será utilizado pela companhia para testes em grande escala da tecnologia de redes inteligentes. A Light (concessionária do estado do Rio de Janeiro) em parceria com a CEMIG está com um projeto piloto de medição remota, com objetivo principal de diminuir o furto de energia elétrica. Tudo isso leva a um uso racional de energia elétrica pelos brasileiros [3].

A AES Eletropaulo anunciou em 2010 o maior projeto de Smart Grid do país. O projeto irá beneficiar em torno de 60 mil clientes na cidade de Barueri no estado de São Paulo. Serão investidos R\$ 72 milhões até 2015. Só entre os anos de 2010 e 2012 já foram investidos R\$ 220 milhões na rede elétrica [4].

A seguir serão expostas algumas definições gerais do trabalho, como a problematização, justificativa, objetivos do trabalho, bem como a história da automação residencial e uma revisão sobre o estado da arte deste tema itens os quais correspondem à parte introdutória deste trabalho, referente ao capítulo 1.

O capítulo 2 apresenta simulações do consumo de energia elétrica para diversos perfis de residências. O capítulo 3 apresenta o desenvolvimento de um protótipo que tem por finalidade deslocar as cargas domésticas automaticamente. E por fim, no capítulo 4 são feitas as considerações finais com base nos resultados obtidos.

1.1 Problematização

O consumo de energia elétrica no Brasil vem aumentando consideravelmente nos últimos anos. Só no primeiro trimestre deste ano, o consumo de energia no setor residencial cresceu 6,6% em relação ao mesmo trimestre do ano de 2012, segundo a EPE [5]. Isso é consequência do aumento de posse e uso de eletrodomésticos por parte dos brasileiros. As regiões que tiveram o maior aumento foram Norte, Nordeste e Centro-Oeste, onde o consumo residencial cresceu quase 2 GW. Já no Sul e Sudeste houve um decréscimo, com destaque para a região Sul que foi de -4,4 %, devido a temperaturas mais amenas e conseqüentemente o menor tempo de uso de equipamentos climatizadores como ar-condicionado. Vale lembrar que na mesma época em 2012 o setor sofreu um aumento no consumo de 14,5% [6].

O aumento no consumo de energia exige uma expansão no sistema elétrico de potência brasileiro. Assim a probabilidade de falhas por sobrecarga no sistema aumenta, obrigando as concessionárias a investirem em novas fontes geradoras, linhas de transmissão e redes de distribuição de energia elétrica.

O que preocupa é que a maior demanda por energia ocorre no horário de ponta (18h às 21h). Segundo Anna Carolina Pires Fournier [7], uma tarefa difícil é a conscientização da população para um uso mais racional da energia elétrica pela classe residencial, pois, o consumidor é envolvido no dia-a-dia por novas tecnologias e aparelhos eletrônicos que prometem conforto, aumentando assim o desafio de mudar os hábitos do consumidor.

1.2 Justificativa

Todo esse aumento no consumo de energia elétrica pela classe residencial tem levado os engenheiros brasileiros a pesquisarem novas tecnologias para renovar e melhorar o sistema elétrico do país. Uma novidade é o surgimento das redes inteligentes, que em outros países como Portugal e Alemanha, onde já são usadas, são chamadas de Smart Grid.

A ANEEL aprovou em uma reunião pública da diretoria, no dia 22 de novembro de 2011, uma alteração da estrutura tarifária aplicada ao setor de distribuição de energia. Com isso os consumidores de baixa tensão, como a classe residencial, terão uma nova modalidade de tarifa chamada de tarifa branca. Essa nova modalidade prevê preços do kWh diferenciados por horários de consumo, oferecendo tarifas mais baratas nos períodos em que o sistema é menos utilizado.

Essa renovação no SEP brasileiro e o alto consumo de energia elétrica no horário de ponta pelos consumidores residenciais foram a motivação para escolha do tema deste trabalho, além de mostrar ao consumidor, como tirar proveito dessa nova estrutura tarifária para obter uma redução no valor da fatura de energia elétrica no final do mês.

1.3 Objetivos

O objetivo principal do trabalho é mostrar aos consumidores residenciais que é possível tirar proveito da tarifa branca proposta pela ANEEL. Isso pode ser conseguido aplicando-se um sistema de automação residencial voltado para Smart Grid e mudando-se o hábito de uso dos equipamentos eletroeletrônicos, reduzindo assim o valor da fatura de energia elétrica ao final do mês. Para tanto, é desenvolvido um protótipo com funções básicas para auxiliar o usuário no controle e deslocamento no horário de utilização das cargas domésticas conforme os postos tarifários da nova modalidade de tarifação.

1.4 História da Automação Residencial

A automação residencial originou-se da industrial, que teve início com o surgimento da máquina a vapor na Inglaterra, durante a segunda metade do século XVIII [8]. Essa máquina era capaz de fazer um martelo com 60 kg bater 150 vezes por minuto [9]. Desde o início da automação industrial novas tecnologias importantes começaram a serem descobertas, como as citadas abaixo:

- 1876: Alexander Graham Bell inventou o telefone;¹
- 1888: Foram realizadas as primeiras transmissões de códigos por meio de ondas de rádio através do ar, pelo físico alemão Heinrich Rudolf Hertz;
- 1904: O primeiro detector eletrônico das ondas de rádio foi construído, graças a invenção da válvula por John Ambrose Fleming, permitindo o surgimento do rádio e logo depois a televisão;²
- 1946: É construído, pelos cientistas John Eckert e John Mauchly, o primeiro computador digital eletrônico chamado de ENIAC;³
- 1947: O transistor de silício e germânio é criado por John Bardeen, Walter Houser Brattain e Willian Bradford Shockley. Aproximadamente 50 anos depois é determinado o fim da era das válvulas;⁴
- 1956: Foi desenvolvido, pela Ericsson, o primeiro celular denominado Ericsson MTA, esse celular pesava 40 quilos e era instalado nos porta malas dos carros;⁵
- 1977: A empresa Apple de Steve Jobs lança o primeiro computador semelhante aos encontrados hoje, chamado de Apple II, contendo gabinete de plástico e com teclado incorporado;⁶
- 1990: Início da popularização da internet nos Estados Unidos. No Brasil começou a se popularizar com a redução do preço dos “modems” a partir de 1995⁷.

¹ Disponível em: < <http://educacao.uol.com.br/biografias/alexander-graham-bell.jhtm> >.Acessado em 20.06.2013

² Disponível em: < http://pt.wikipedia.org/wiki/John_Ambrose_Fleming >.Acessado em 20.06.2013

³ Disponível em: < <http://pt.wikipedia.org/wiki/ENIAC> >.Acessado em 20.06.2013

⁴ Disponível em: < <https://pt.wikipedia.org/wiki/Trans%C3%ADstor> >.Acessado em 20.06.2013

⁵ Disponível em: < http://pt.wikipedia.org/wiki/Hist%C3%B3ria_do_telefone_celular >.Acessado em 20.06.13

⁶ Disponível em: < <http://www.tecmundo.com.br/apple/2114-a-historia-da-apple-a-marca-da-maca.htm> >.Acessado em 21.06.2013

A automação industrial deu um grande passo com os avanços da microeletrônica na década de 60, permitindo o surgimento dos Controladores Lógicos Programáveis (CLP), em 1968 dentro da indústria automobilística⁸. No final da década de 70, surgiram os primeiros módulos “inteligentes” chamados de X-10 para o uso em sistemas de automação residencial, como o *Power Line Carrier* (PLC) que enviam comandos utilizando a própria fiação da rede elétrica da residência. Eram soluções aplicadas em automações simples em que, por exemplo, precisavam-se ligar lâmpadas remotamente.

Novas tecnologias com aplicação doméstica foram sendo aperfeiçoadas para melhoria dos sistemas de automação residencial, como a internet que passou a permitir o controle e monitoramento dos equipamentos da residência de qualquer lugar com acesso a internet. Nos dias atuais estão sendo empregados dispositivos que podem incorporar em um mesmo aparelho vários tipos de serviços, como telefonia, internet, monitoramento, controle da residência, etc. É o caso dos celulares, smartphones, tablets e outros.

Em países como a França, as “casas inteligentes”, estão evoluindo de forma positiva nos últimos anos. Os principais subsistemas desenvolvidos nas residências são: sistema de segurança, áudio e vídeo, climatização, irrigação, aspiração central a vácuo e gerenciamento de energia [10]. Os principais benefícios desses sistemas estão na economia de energia, conveniência, segurança, economia de tempo e esforço, conforto, acessibilidade e facilidade de comunicação [11]. A automação residencial é chamada também de domótica, originada da junção entre a palavra latina *Domus*, que significa casa, mais robótica.

1.5 Estado da Arte

A seguir serão comentados alguns dos trabalhos do estado da arte na literatura abordando a automação residencial, os quais sustentam a relevância do tema, enfatizando o gerenciamento de energia elétrica, tecnologias de redes, Smart Grid e tarifa branca.

1.5.1 Gerenciamento de Energia

No artigo [12] é apresentada uma pesquisa sobre automação residencial baseada em tempo real e sistema de monitoramento de SmartEye que usa um celular, redes de comunicação, servidor para realização do controle à distância. Este sistema integra uma residência com a

⁷ Disponível em: < <http://pt.wikipedia.org/wiki/Internet> >. Acessado em 21.06.2013

⁸ Disponível em: < http://pt.wikipedia.org/wiki/Controlador_l%C3%B3gico_program%C3%A1vel >. Acessado em 21.06.2013

rede mundial (World Wide Web). O trabalho também discute a arquitetura do sistema, que o torna expansível, amigável, acessível, com monitoramento em tempo real e a confiabilidade para o controle remoto.

Já no artigo [13], é apresentado um projeto de casa inteligente que utiliza um sistema de gestão de energia que usa dados de consumo em tempo real para o controle dos eletrodomésticos baseando-se no preço da tarifa para executar o comando de ligar ou desligar um determinado eletrodoméstico. O sistema é constituído usando a Hydra, uma estrutura de middleware (que é um mediador entre software e suas aplicações).

Dae Han Man, [14], comenta sobre uma rede de sensores que utiliza o protocolo Zigbee para fazer a comunicação e controle dos eletrodomésticos da residência, afim de auxiliar a gestão de consumo de energia na casa. Esse sistema pode coletar automaticamente informações dos diversos dispositivos localizados dentro da residência e realizar o controle dos eletrodomésticos.

1.5.2 Tecnologias de Redes Inteligentes

Os autores, no artigo [15], descrevem um projeto de uma casa inteligente que oferece um controle sobre os eletrodomésticos com o objetivo de reduzir o desperdício de energia elétrica. Assim, é sugerida uma rede de comunicação que utiliza a própria fiação elétrica da casa. Esse tipo de rede é chamado de *Powerline Communication* (PLC). O controle é baseado na web e registro de dados. As principais aplicações são no ar-condicionado, iluminação e segurança. O principal benefício desse tipo de sistema é a redução dos custos de instalação, pois não é preciso ter uma fiação específica para realizar a comunicação, já que esta utiliza os próprios cabos da instalação elétrica.

No artigo [16] é mostrado um panorama de alguns tipos de tecnologias aplicadas em redes inteligentes. É feita uma comparação entre três destas tecnologias: Zigbee, Low Power Wifi e Homeplug. Elas possibilitam a comunicação para medir e controlar diferentes tipos de dispositivos eletroeletrônicos.

1.5.3 Smart Grid

No Brasil, Smart Grid, palavra originada do Inglês, é um jargão utilizado pelos profissionais do setor elétrico brasileiro para se referir às redes inteligentes. O Smart Grid já é muito utilizado em outros países, como na Alemanha, onde uma das aplicações é na integração de fontes de energia renováveis do tipo fotovoltaica e eólica ao sistema de distribuição. Assim,

permite-se que as residências, além de consumidoras, possam também ser geradoras de energia elétrica.

Segundo José Antunes [17], a rede inteligente de distribuição de energia elétrica consegue integrar as ações de todos os utilizadores ligados a ela (produtores, consumidores ou ambos) para que de uma forma eficiente sejam disponibilizados bens e serviços. A rede emprega produtos e serviços inovadores em conjunto com tecnologias de controle, comunicação e autorreparo.

No artigo [18] é apresentada uma proposta de solução para melhorar o relacionamento entre o cliente do setor elétrico (bem como o de água) com incentivo à eficientização e à mudança de hábitos de consumo pela disponibilização de informações de medição de consumo de água e energia elétrica, integradas em uma estrutura dedicada de conhecimento.

1.5.4 Tarifa Branca

Uma nova estrutura tarifária para serviços de distribuição de energia elétrica foi proposta na audiência pública da ANEEL N° 120/2010 e emitido em Nota Técnica n° 311 em 17 de novembro de 2011. A principal novidade é a chamada tarifa branca que será aplicada de forma opcional às unidades consumidoras do grupo B, com a exceção da iluminação pública B4, dos subgrupos B1 subclasse baixa renda [19]. A Tarifa Branca é dividida em duas modalidades:

- Modalidade convencional: monômnia, com um preço do kWh fixo durante todas as horas do dia, modo que já é praticado hoje; e
- Modalidade branca: monômnia, com três preços de consumo de energia, sendo que o valor da tarifa varia durante as horas do dia conforme os postos tarifários.

Os postos tarifários da modalidade branca, de acordo com o PRORET submódulo 7.1, são:

- Posto Tarifário Ponta: é aplicado num intervalo de três horas consecutivas durante o dia (18h às 21h), exceto finais de semana, terça-feira de carnaval, sexta-feira da Paixão, Corpus Christi e os feriados nacionais apresentados na Resolução Normativa N° 414, de 9 de setembro de 2010 da ANEEL;
- Posto Tarifário Intermediário: é aplicado durante duas horas do dia, sendo uma hora antes e uma hora depois do horário de ponta (das 17h às 18h e das 21h às 22h), os dias de aplicação são os mesmos do posto tarifário ponta; e

- Posto Tarifário Fora de Ponta: é composto pelo conjunto de horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas nos postos tarifários ponta e intermediário (22h às 17h).

O gráfico da Fig. 1, apresenta uma ilustração dos horários de aplicação dos postos de cobrança da tarifa branca.

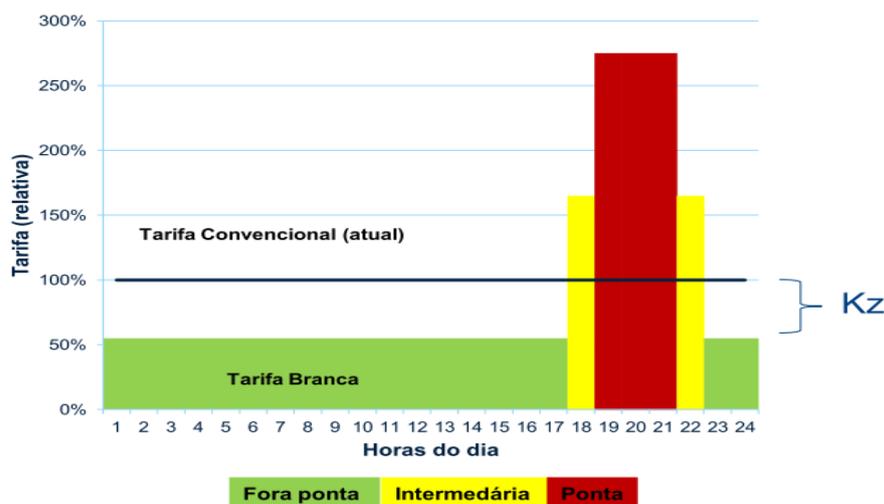


FIGURA 1- Ilustração dos postos tarifários⁹

A constante K_z que aparece no gráfico é a relação entre a tarifa do posto fora de ponta da modalidade branca e a tarifa convencional. Essa relação será igual a 0,55, podendo também ser proposta pela distribuidora, desde que fundamentada nas tipologias de carga da aérea de concessão e necessariamente menor que a unidade¹⁰.

O valor da tarifa para cada posto de cobrança terá a seguinte proporcionalidade, de acordo com o PRORET submódulo 7.3 [20]. O posto tarifário fora de ponta será equivalente a 55% da tarifa convencional aplicada às unidades consumidoras de baixa tensão. O posto tarifário intermediário e ponta serão respectivamente três e cinco vezes o valor da tarifa no posto fora de ponta.

Para que a implementação da tarifa branca seja possível é necessário que os medidores eletromecânicos, hoje utilizados, sejam substituídos pelos medidores eletrônicos. A Resolução Normativa da ANEEL N° 502, de 07 de agosto de 2012, que regulamenta os sistemas de medição de energia elétrica do grupo B, diz que as concessionárias, distribuidoras e as permissi-

⁹ Disponível em: < Apresentação Estrutura Tarifária 23.11.2011 (ANEEL) >

¹⁰ Estrutura Tarifária para o Serviço de Distribuição de Energia Elétrica. Nota técnica 311 de 2011 em Audiência Pública N° 120/2010 ANEEL.

onárias devem adotar o sistema de medição proposto na resolução em até 18 meses após a data de sua publicação. O novo sistema de medição de energia elétrica deve ser composto por equipamentos que atendam os requisitos básicos mínimos apresentados no módulo 5 do PRODIST.

A tarifa branca surge com a finalidade de estimular o consumidor residencial a mudar alguns hábitos, como por exemplo, deixar de utilizar o chuveiro elétrico em horário de pico. Dessa forma, o consumidor contribui para uma redução na fatura de energia elétrica do mês e para uma diluição da demanda no horário de ponta, postergando a necessidade de construção de novas fontes geradoras de energia elétrica para o suprimento de energia nesse horário que hoje é crítico.

1.6 Metodologia

O desenvolvimento do trabalho de conclusão de curso foi realizado da seguinte forma: inicialmente realizou-se uma pesquisa bibliográfica referente ao tema. Então, realizaram-se simulações do consumo de energia elétrica pelos eletrodomésticos contidos em diversos cenários representativos elaborados. As simulações executadas com o objetivo de comparar o valor em reais das faturas geradas foram as seguintes: tarifa convencional, tarifa branca, controle de carga 1 e controle de carga 2. Além disso, foi realizada a montagem e simulação de um protótipo proposto e desenvolvido que tem a finalidade de auxiliar o consumidor residencial a reduzir o valor da conta de energia elétrica ao final do mês. Nos capítulos 2 e 3, também serão explicados os resultados e como os mesmos foram obtidos.

2 SIMULAÇÕES DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NA RESIDÊNCIA

A escolha dos eletrodomésticos utilizados para compor a residência utilizada nas simulações deste trabalho foi baseada na pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso do PROCEL, Classe Residencial Relatório Sul – 2007 ano base 2005 [21]. Na TABELA 1 são apresentadas as informações básicas dos equipamentos necessárias para a realização dos cálculos: potência, dias e o tempo de uso diário¹¹.

TABELA 1 - Informações dos equipamentos

Equipamento	Potência (Watts)	Dias de uso no mês	Tempo de uso diário
Lâmpadas Compactas	15	30	5h
	30	30	5h
Geladeira Simples	150	30	10h
Freezer	300	30	10h
Ar-Condicionado 7500 BTU	950	30	8h
Aquecedor Elétrico	3600	15	8h
Televisor LCD 20"	100	30	5h
Aparelho de Som	250	20	3h
Máquina de Lavar Roupas	350	12	2h
Ferro Elétrico	1000	12	1h
Chuveiro Elétrico - Posição Verão	3200	30	40 min
Chuveiro Elétrico - Posição Inverno	5400	30	40 min
Notebook	60	30	24h
Torneira elétrica	2500	30	1h
Forno Elétrico Residencial	1500	30	1h
Carro Elétrico	6600	11	4h

Fonte: AES Sul: <https://www.aessul.com.br/site/home/default.aspx> e RGE: <http://www.rge-rs.com.br/>

Ainda foram adicionadas à residência duas cargas para complementar a lista do PROCEL: um notebook e uma carga que provavelmente venha a ser comum no futuro que é o car-

¹¹ PROCEL Eletrobras. Eletrodomésticos. Disponível em: <<http://www.eletobras.com/elb/procel/main.asp?TeamID=%7b32B00ABC-E2F7-46E6-A325-1C929B14269F%7d>>. Acessado em 10.04.2013.

ro elétrico. Foram utilizadas três lâmpadas de 30 e cinco de 15 Watts e foram consideradas duas posições de potência do chuveiro elétrico, verão e inverno.

As potências, tempo de uso e total de dias que cada uma das cargas é utilizada durante o mês, foram baseadas nos dados encontrados em tabelas no site da AES Sul e RGE, disponíveis em simulação de consumo. Os dados informados na TABELA 1, são estipulados para uma residência onde moram 4 (quatro) pessoas, sendo que cada banho dura em média 10 minutos por pessoa. O notebook precisa ficar ligado durante 24h, pois é responsável controlar o hardware do protótipo, enviando sinais para o deslocamento do horário de utilização das cargas.

O modelo de carro elétrico escolhido foi o Ford Focus E, que tem um consumo em recarga de 6,6 kWh, com uma autonomia de 160 km, precisando ficar conectado a uma fonte de energia elétrica durante 4 horas [22]. De acordo com o Sindicato de Indústria de Reparação de Veículos e Acessórios do Estado de São Paulo, um automóvel roda em média 1800 km por mês [23]. Assim, foi calculado que é preciso realizar aproximadamente 11 recargas durante o mês, ou seja, durante onze dias o carro terá que ser “abastecido”.

Após definidos os tipos de equipamentos que iriam compor a casa, o próximo passo foi simular o consumo de energia elétrica. As simulações foram divididas em 3 períodos, que são: inverno, verão e o terceiro período foi composto pelas estações de outono e primavera. Considerou-se o mesmo hábito de consumo para as estações com temperaturas mais amenas do ano. O número de moradores por período variou de duas a quatro pessoas. Também foi realizada uma simulação desconsiderando a carga do carro elétrico.

Cada período está dividido em 4 cenários, listados abaixo, com suas respectivas regras adotadas na simulação:

- Cenário 1: foi utilizado o preço em R\$/kWh da tarifa convencional cobrada pela RGE da classe B1-residencial.
- Cenário 2: mantendo o mesmo hábito de consumo, e conseqüentemente o mesmo valor de kWh gasto durante o mês do cenário 1, a simulação foi realizada com preços em reais do kWh estipulados para cada posto horário da tarifa branca.
- Cenário 3: consumindo a mesma quantidade de energia elétrica dos cenários anteriores e a mesma forma de cobrança do cenário 2. Apenas foi feito o deslocamento de algumas cargas do horário de ponta.

- Cenário 4: seguindo as mesmas regras do cenário 3, só que agora o deslocamento de algumas cargas foi mais rígido, ou seja, optou-se por não utilizar determinados equipamentos nos horários de ponta e intermediário.

Os cálculos realizados nas simulações foram basicamente o da energia elétrica consumida, demanda média, gastos em reais mensais e anuais. A primeira etapa dos cálculos foi gerar a curva de carga diária da residência, a fim de analisar os horários do dia em que o consumo de energia elétrica é maior. Para isso foi preciso encontrar a demanda em cada instante de tempo.

As simulações foram montadas e realizadas em planilhas do Microsoft Excel 2010 para facilitar os cálculos. Adotou-se um intervalo de $\Delta t = 15$ minutos, desse modo, em uma hora foram calculados 4 valores de demanda, conforme 1, e após foi encontrada a demanda média da respectiva hora do dia, conforme 2.

$$D = \sum N_i \cdot P_i \quad (1)$$

Onde:

D = Demanda no instante de tempo

N_i = Número de eletrodoméstico iguais existentes na casa

P_i = Potência ativa do eletrodoméstico

$$D_{med} = \frac{D}{4000} \quad (2)$$

em que D_{med} , é a demanda média.

A curva de carga é a demanda em função do tempo $D = D(t)$. Esta curva resulta da união dos pontos médios das bases superiores dos retângulos de largura Δt . O valor total de energia consumida durante um período T é medido pela área entre a curva e o eixo dos tempos, que pode ser encontrada pela integração dos pontos, conforme a equação 3. O consumo total diário em kWh também pode ser obtido pela soma das demandas médias¹².

¹² José Ângelo Cagnon,IVALDO DE DOMENICO VALARELLI, RICARDO MARTINI RODRIGUES. “Gestão Energética em Indústrias Madeireiras. An. 6. Enc. Energ. Meio Rural 2006.

$$D = \frac{1}{\Delta t} \int_t^{t+\Delta t} P. dt \quad (3)$$

Onde,

D = Demanda no instante de tempo

Δt = Intervalo de tempo, 15 minutos.

P = Potência ativa

O valor em reais da fatura mensal gerada, conforme 5, é a soma dos gastos em R\$/dia de cada eletrodoméstico que é encontrado através de 4:

$$Gasto(R\$)_{eletrodoméstico} = Total_{\frac{kWh}{dia}} \times Tarifa_{\frac{R\$}{kWh}} \times Dias_{utilizados} \quad (4)$$

$$Fatura(R\$)_{Mensal} = \sum Gasto(R\$)_{eletrodoméstico} \quad (5)$$

A seguir serão apresentadas e comentadas as simulações realizadas para o período de inverno, considerando quatro pessoas morando na residência e incluindo a carga do veículo elétrico (VE). Logo em seguida, será feita uma comparação com os resultados obtidos nos outros períodos e desconsiderando a carga do VE.

No Anexo A encontram-se as tabelas e figuras mais relevantes obtidas com as simulações para o período de verão e no Anexo B para o outono/primavera.

2.1 Período de Inverno

No inverno, com a chegada do frio, as pessoas que residem no sul do Brasil, mais precisamente no Rio Grande do Sul (RS), fazem o uso de cargas com potências mais elevadas durante um maior número de dias do que nos outros estados, como é o caso principalmente do chuveiro e do aquecedor elétrico. A TABELA 2 apresenta o tempo diário de uso e o número total de dias utilizados durante o mês, dividido em dias úteis (segunda à sexta-feira) e dias não úteis (sábado e domingo).

TABELA 2 - Informações de uso dos equipamentos elétricos

Tipo de Carga elétrica	N° de Dias utilizados			Tempo de uso diário
	Dia útil	Dia não útil	Mês	
Iluminação	22	8	30	5h
Geladeira Simples	22	8	30	10h
Freezer	22	8	30	10h
Ar-Condicionado 7500 BTU	-	-	-	-
Aquecedor Elétrico	10	5	15	8h
Televisor LCD 20"	22	8	30	5h
Aparelho de Som	14	6	20	3h
Máquina de Lavar Roupas	10	2	12	2h
Ferro Elétrico	10	2	12	1h
Chuveiro Elétrico - Posição Verão	-	-	-	-
Chuveiro Elétrico - Posição Inverno	22	8	30	40 min
Notebook	22	8	30	24h
Torneira elétrica	22	8	30	1h
Forno Elétrico Residencial	22	8	30	1h
Carro elétrico	7	4	11	4h

Considerando os dados informados na TABELA 2, o número de dias úteis e não úteis foram estipulados e baseados na proporcionalidade do total de dias utilizados durante o mês por tipo de carga.

A seguir serão apresentados os resultados referentes a cada cenário que compõem o período de inverno, para finalidade de comparação de resultados dos valores de faturas em reais mensalmente e anualmente. Foi considerada a mesma quantidade de energia elétrica em kWh para todos os cenários e o consumo nesta estação do ano, nas simulações, foi de 1202,74 kWh.

Como não foram encontrados nas pesquisas, os hábitos detalhados de consumo diferenciando os dias úteis dos finais de semana, para fins de simulação foram considerados os mesmos hábitos de consumo durante o mês, diferenciando apenas o número de dias utilizados e o tempo de uso de cada eletrodoméstico. A FIGURA 2, apresenta a porcentagem de participação no consumo de energia elétrica na residência considerada para as simulações dos cenários no período de inverno.

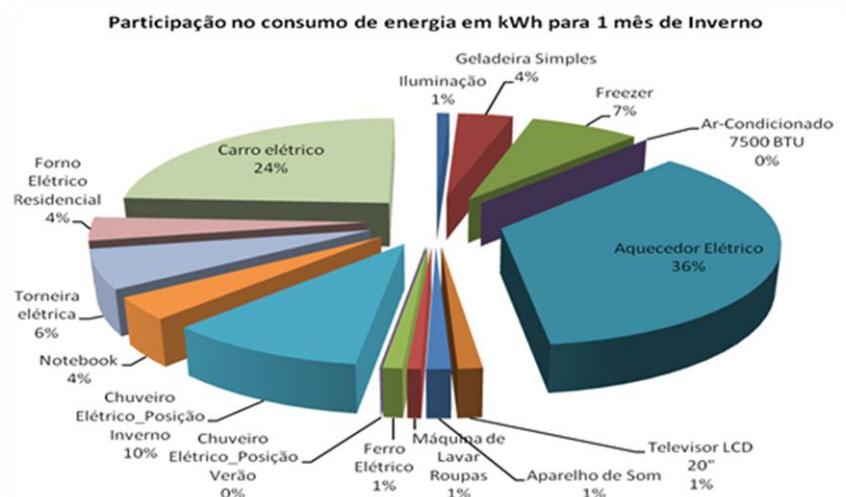


FIGURA 2 - Participação no consumo de energia dos aparelhos

2.1.1 Cenário 1

Neste cenário, as simulações envolveram o preço da tarifa convencional da distribuidora RGE, no valor de 0,32956 R\$/kWh. Esta distribuidora de energia elétrica foi selecionada para este trabalho devido ao fato dela se encontrar no território do RS e por ser responsável pelo atendimento de 262 municípios, divididos entre as regiões Centro e Leste, que correspondem a 51% do Estado¹³. A FIGURA 3 apresenta a curva de carga diária levantada neste cenário. A área colorida no gráfico, abaixo da curva, representa o total de energia elétrica consumida em kWh durante as 24 horas do dia pelas cargas elétricas residenciais.



FIGURA 3 - Curva de Carga do Cenário 1

É visível que o horário mais crítico do dia está entre as 18 e 22 h, que é quando as pessoas retornam às suas casas e ligam a televisão, tomam banho, etc. A grande elevação no pico

¹³ RGE. Disponível em: < <http://www.rge-rs.com.br/ARGE/QuemSomos/tabid/116/language/pt-BR/Default.aspx>>. Acessado 20.04.2013

da curva no horário de ponta se justifica também pela recarga do carro elétrico, conforme é apresentado na curva detalhada da FIGURA 4.

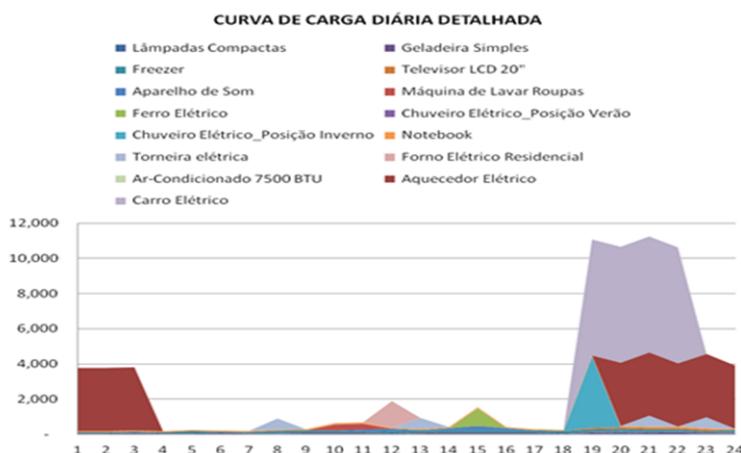


FIGURA 4 - Curva de Carga Diária Detalhada

Analisando as curvas de cargas detalhadamente é possível saber quais são e em quais períodos do dia são utilizados os eletrodomésticos que mais contribuem para o valor final da fatura mensal de energia elétrica da residência. Neste caso, os equipamentos mais críticos foram o carro elétrico, o aquecedor e o chuveiro elétrico. Os valores totais encontrados nas simulações de consumo de energia elétrica, baseados nos dados apresentados na TABELA 2 - informações de uso dos equipamentos elétricos, são mostradas na TABELA 3.

TABELA 3 - Energia elétrica consumida em kWh

Tipo de Carga elétrica	Dias Úteis	Dias Não Úteis	Total no Mês
Iluminação	7,51	2,73	10,24
Geladeira Simples	33,00	12,00	45,00
Freezer	66,00	24	90,00
Ar-Condicionado 7500 BTU	0	0	0,00
Aquecedor Elétrico	288	144	432,00
Televisor LCD 20"	11	4	15,00
Aparelho de Som	10,5	4,5	15,00
Máquina de Lavar Roupas	7	1,4	8,40
Ferro Elétrico	10	2	12,00
Chuveiro Elétrico - Posição Verão	0	0	0,00
Chuveiro Elétrico - Posição Inverno	89,1	32,4	121,50
Notebook	31,68	11,52	43,20
Torneira elétrica	55	20	75,00
Forno Elétrico Residencial	33	12	45,00
Carro Elétrico	184,8	105,6	290,40

Com todos os valores em kWh encontrados, o próximo passo foi calcular o quanto cada uma das cargas elétricas da residência gasta em reais. Os cálculos foram realizados através de 4, utilizando os valores da TABELA 3 e o preço da tarifa convencional da RGE. A TABELA 4 apresenta os valores totais em R\$ gastos mensalmente por tipo de carga, no cenário 1 do período de inverno. O valor total da fatura neste cenário foi de R\$ 396,37, determinado a partir de 5.

TABELA 4 - Total em R\$ da fatura: Cenário 1

Tipo de Carga elétrica	Total
Iluminação	R\$ 3,37
Geladeira Simples	R\$ 14,83
Freezer	R\$ 29,66
Ar-Condicionado	R\$ -
Aquecedor Elétrico	R\$ 142,37
Televisor	R\$ 4,94
Aparelho de Som	R\$ 4,94
Máquina de Lavar Roupas	R\$ 2,77
Ferro Elétrico	R\$ 3,95
Chuveiro Elétrico - Posição Verão	R\$ -
Chuveiro Elétrico - Posição Inverno	R\$ 40,04
Notebook	R\$ 14,24
Torneira elétrica	R\$ 24,72
Forno Elétrico	R\$ 14,83
Carro Elétrico	R\$ 95,70

Para melhorar a análise e facilitar a comparação de valores das faturas mensais e anuais todos os equipamentos elétricos tiveram seus valores finais gastos em reais, detalhados nos postos horários dos 22 dias úteis do mês, conforme a FIGURA 5. Isso foi executado a fim de saber qual dos cenários simulados tem a maior economia e assim criar um plano de gestão do consumo de energia elétrica na casa. Com isso é possível determinar qual dos postos, o usuário do protótipo, deverá priorizar deslocando ou diminuindo o tempo de uso das cargas com potências mais elevadas.

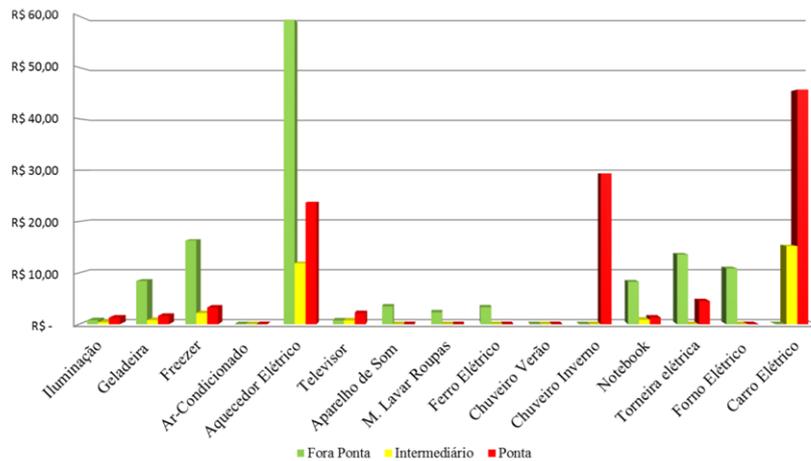


FIGURA 5 - Gasto em R\$ por posto horário do Cenário 1

Na FIGURA 5, é possível perceber que para o hábito de consumo considerado neste período do ano, as cargas críticas no horário de ponta são o carro elétrico, o chuveiro na posição inverno e o aquecedor elétrico. O total gasto em R\$, por posto horário, durante o período de inverno é mostrado na FIGURA 6.

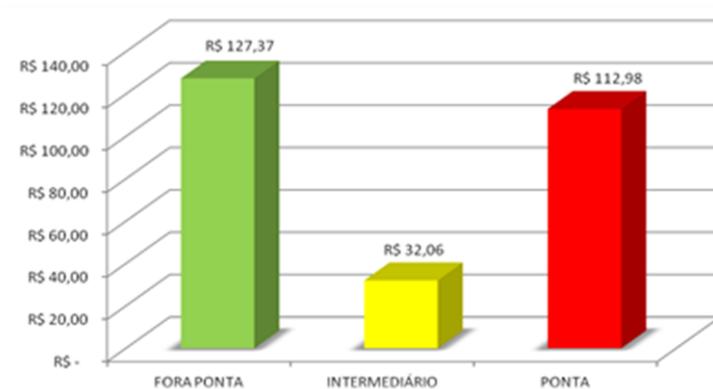


FIGURA 6 - Total gasto em R\$ no Cenário 1

Através da FIGURA 6, percebe-se um equilíbrio de gastos entre os postos horários fora ponta e ponta, pois o consumo de energia foi praticamente o mesmo e o preço da tarifa não varia durante o dia. O total gasto durante os 22 dias úteis foi de R\$ 272,41.

2.1.2 Cenário 2

As simulações deste cenário foram baseadas nos mesmos parâmetros utilizados no cenário 1. A principal mudança foi a troca da tarifa convencional pela tarifa branca. Os hábitos de consumo foram considerados os mesmos. Logo, as curvas de cargas nos dois cenários são iguais, resultando no mesmo valor de energia elétrica consumida.

Seguindo os critérios de cobrança da modalidade branca, tem-se que o valor da tarifa fora de ponta ficou igual a 0,18126 R\$/kWh (55% da tarifa convencional RGE), o posto intermediário com preço de 0,54377 (3 vezes o valor da tarifa fora de ponta) e o preço do kWh no posto de ponta igual a R\$ 0,90629 (5 vezes o valor da tarifa fora de ponta).

Como a tarifa branca tem o preço variando conforme o horário do dia foi preciso detalhar os 1202,74 kWh consumidos durante os 30 dias, conforme é apresentado na TABELA 5. Os 22 dias, são referentes aos dias de segunda a sexta-feira, e a coluna de 8 dias contabiliza a energia gasta nos finais de semana onde é aplicado durante as 24 horas do dia o posto fora de ponta.

TABELA 5 – Gasto em reais detalhado nos postos horários: Cenário 2

Tipo de Carga elétrica	22 dias		8 dias	
	Fora ponta	Intermediário	Ponta	Fora ponta
Iluminação	2,39	1,16	3,96	2,73
Geladeira Simples	25,58	2,48	4,95	12,00
Freezer	49,50	6,60	9,90	24,00
Ar-Condicionado 7500 BTU	0,00	0,00	0,00	0,00
Aquecedor Elétrico	180,00	36,00	72,00	144,00
Televisor LCD 20"	2,20	2,20	6,60	4,00
Aparelho de Som	10,50	0,00	0,00	4,50
Máquina de Lavar Roupas	7,00	0,00	0,00	1,40
Ferro Elétrico	10,00	0,00	0,00	2,00
Chuveiro Elétrico - Posição Verão	0,00	0,00	0,00	0,00
Chuveiro Elétrico - Posição Inverno	0,00	0,00	89,10	32,40
Notebook	25,08	2,64	3,96	11,52
Torneira elétrica	41,25	0,00	13,75	20,00
Forno Elétrico Residencial	33,00	0,00	0,00	12,00
Carro Elétrico	0,00	46,20	138,60	105,60

Sabendo o quanto cada eletrodoméstico está consumindo de energia em cada um dos postos com o respectivo valor da tarifa, e utilizando 6, é encontrado o valor total da fatura de energia elétrica mensal do cenário 2. Os valores são apresentados pela TABELA 6. O total em reais gastos nesse cenário foi de R\$ 501,82 reais.

$$Fatura(R\$)_{mensal} = \sum(EFPA + EFPB) \times TFP + (EI \cdot TI) + (EP \cdot TP) \quad (6)$$

Onde,

EFPA = Energia em kWh consumida no posto fora ponta durante 22 dias úteis

EFPB = Energia em kWh consumida no posto fora ponta durante 8 dias não úteis

TFP = Preço da tarifa no posto fora de ponta

EI = Energia em kWh consumida no posto intermediário durante 22 dias úteis

TI = Preço da tarifa no posto intermediário

EP = Energia em kWh consumida no posto Ponta durante 22 dias úteis

TP = Preço da tarifa no posto ponta

TABELA 6 - Total em R\$ da Fatura: Cenário 2

Tipo de Carga elétrica	Fora ponta	Intermediário	Ponta	Total
Iluminação	0,93	0,63	3,59	R\$ 5,15
Geladeira Simples	6,81	1,35	4,49	R\$ 12,64
Freezer	13,32	3,59	8,97	R\$ 25,88
Ar-Condicionado 7500 BTU	0,00	0,00	0,00	R\$ -
Aquecedor Elétrico	58,73	19,58	65,25	R\$ 143,56
Televisor LCD 20"	1,12	1,20	5,98	R\$ 8,30
Aparelho de Som	2,72	0,00	0,00	R\$ 2,72
Máquina de Lavar Roupas	1,52	0,00	0,00	R\$ 1,52
Ferro Elétrico	2,18	0,00	0,00	R\$ 2,18
Chuveiro Elétrico - Posição Verão	0,00	0,00	0,00	R\$ -
Chuveiro Elétrico - Posição Inverno	5,87	0,00	80,75	R\$ 86,62
Notebook	6,63	1,44	3,59	R\$ 11,66
Torneira elétrica	11,10	0,00	12,46	R\$ 23,56
Forno Elétrico Residencial	8,16	0,00	0,00	R\$ 8,16
Carro Elétrico	19,14	25,12	125,61	R\$ 169,87

Os valores em reais detalhados conforme o posto horário dos 22 dias úteis são mostrados no gráfico da FIGURA 7. O total gasto em R\$, por posto horário, durante o período de inverno para o cenário 2 é mostrado na FIGURA 8.

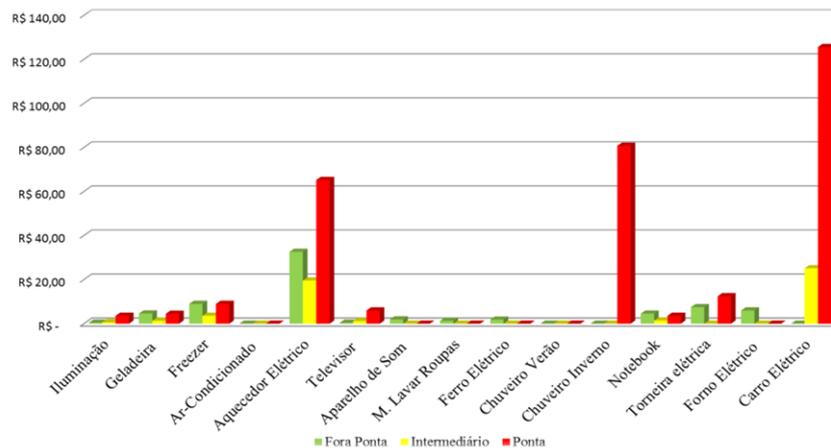


FIGURA 7 - Gasto em R\$ por posto horário do Cenário 2

Com os resultados das simulações deste cenário, já é possível verificar que ao trocar a tarifa convencional pela tarifa branca continuando com os mesmos hábitos de consumo de energia elétrica na residência, o aumento no valor da fatura mensal é bem significativo. Isso ocorrerá principalmente se o usuário ligar cargas com potências elevadas durante o horário de ponta, sendo que nesse caso o aumento da conta de energia é de R\$ 105,45.

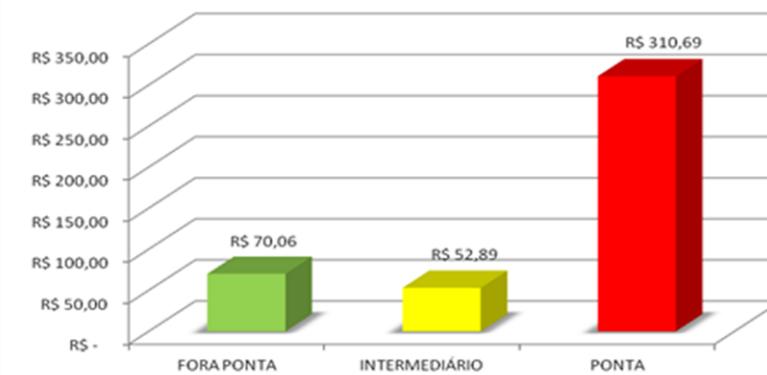


FIGURA 8 - Total gasto em R\$ no Cenário 2

Ao trocar a tarifa convencional pela tarifa branca, percebe-se pela FIGURA 8 um elevado valor de reais gastos durante o posto horário de ponta. Isso se deve ao valor da tarifa nesse horário ser cinco vezes maior que nos horários fora de ponta. O total gasto durante os 22 dias úteis foi de R\$ 433, 64.

2.1.3 Cenário 3

Este é o primeiro cenário das simulações com um deslocamento de carga que poderá ser realizado pelo protótipo proposto para automatizar a residência. Serão seguidos os mesmos

parâmetros de cálculos do cenário 2. O detalhe no estudo corrente está no deslocamento das três cargas consideradas críticas nos cenários 1 e 2 como, por exemplo, o chuveiro elétrico. Neste caso, não será permitido utilizar o chuveiro elétrico durante as 3 horas do horário de ponta (18 às 21 horas) nos dias úteis.

As outras duas cargas a serem deslocadas são o aquecedor e o carro elétrico. Esses equipamentos também não poderão ser ligados no horário de ponta. Enfatiza-se que a energia consumida acumulada durante os 30 dias continua sendo 1202,74 kWh. Os valores encontrados em kWh com a simulação deste cenário são apresentados na TABELA 7.

TABELA 7 - Consumo detalhado nos postos horários: Cenário 3

Tipo de Carga elétrica	22 dias		8 dias	
	Fora ponta	Intermediário	Ponta	Fora ponta
Iluminação	2,39	1,15	3,96	2,73
Geladeira Simples	25,57	2,47	4,95	12
Freezer	49,5	6,6	9,9	24
Ar-Condicionado 7500 BTU	0	0	0	0
Aquecedor Elétrico	252	36	0	144
Televisor LCD 20"	2,2	2,2	6,6	4
Aparelho de Som	10,5	0	0	4,5
Máquina de Lavar Roupas	7	0	0	1,4
Ferro Elétrico	10	0	0	2
Chuveiro Elétrico - Posição Verão	0	0	0	0
Chuveiro Elétrico - Posição Inverno	0	89,1	0	32,4
Notebook	25,08	2,64	3,96	11,52
Torneira elétrica	41,25	0	13,75	20
Forno Elétrico Residencial	33	0	0	12
Carro Elétrico	138,6	46,2	0	105,6

Comparando a TABELA 5 com a TABELA 7, percebe-se que a energia consumida no horário de ponta pelos equipamentos foi deslocada para o posto intermediário ou posto fora ponta (valores grafados em vermelho). Conseqüentemente a fatura mensal foi reduzida, sendo que os valores são mostrados na TABELA 8. Como houve uma mudança no horário de utilização dos eletrodomésticos, uma nova curva de carga foi gerada. A FIGURA 9 mostra como ficou distribuído o consumo de energia elétrica durante um dia útil típico.



FIGURA 9 - Curva de Carga - Cenário 3

Não foi gerada uma nova curva de carga para o final de semana, pois o preço da tarifa é o mesmo durante todas as horas do dia; logo o consumo durante os sábados e domingos foi considerado o mesmo das simulações dos cenários anteriores. Desse modo, o valor total gasto em reais, durante os 8 dias não úteis, é o mesmo. Os valores encontrados em kWh com a simulação deste cenário são apresentados na TABELA 7.

TABELA 8 - Total em R\$ da Fatura: Cenário 3

Tipo de Carga elétrica	Fora ponta	Intermediário	Ponta	Total
Iluminação	0,93	0,63	3,59	R\$ 5,15
Geladeira Simples	6,81	1,35	4,49	R\$ 12,64
Freezer	13,32	3,59	8,97	R\$ 25,88
Ar-Condicionado 7500 BTU	0,00	0,00	0,00	R\$ -
Aquecedor Elétrico	71,78	19,58	0,00	R\$ 91,35
Televisor LCD 20"	1,12	1,20	5,98	R\$ 8,30
Aparelho de Som	2,72	0,00	0,00	R\$ 2,72
Máquina de Lavar Roupas	1,52	0,00	0,00	R\$ 1,52
Ferro Elétrico	2,18	0,00	0,00	R\$ 2,18
Chuveiro Elétrico - Posição Verão	0,00	0,00	0,00	R\$ -
Chuveiro Elétrico - Posição Inverno	5,87	48,45	0,00	R\$ 54,32
Notebook	6,63	1,44	3,59	R\$ 11,66
Torneira elétrica	11,10	0,00	12,46	R\$ 23,56
Forno Elétrico Residencial	8,16	0,00	0,00	R\$ 8,16
Carro Elétrico	44,26	25,12	0,00	R\$ 69,39

A FIGURA 10, mostra como ficou o consumo nos três postos horários para cada um dos equipamentos elétricos. Destaca-se que com o deslocamento da recarga do carro elétrico no horário de ponta, obteve-se uma economia de aproximadamente 60% em relação com o que

tinha gasto no cenário 2 que foi de R\$ 169,89. O chuveiro e aquecedor elétrico tiveram uma economia em reais, respectivamente de 37% e 36% em relação ao cenário 2.

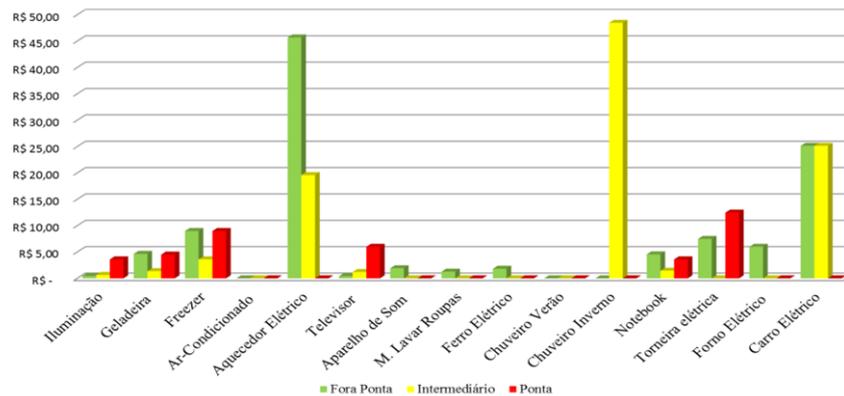


FIGURA 10 - Consumo em R\$ por posto horário do Cenário 3

O total da fatura de energia elétrica durante os 30 dias deste cenário foi de R\$ 316,83, obtendo-se uma redução de R\$ 79,54 em relação ao cenário simulado com a tarifa convencional e R\$ 184,99 em relação ao simulado com a tarifa branca. As economias obtidas são respectivamente de 20% e 37%. O gasto em R\$ por posto tarifário durante os 22 dias do mês é mostrado pela figura FIGURA 11.

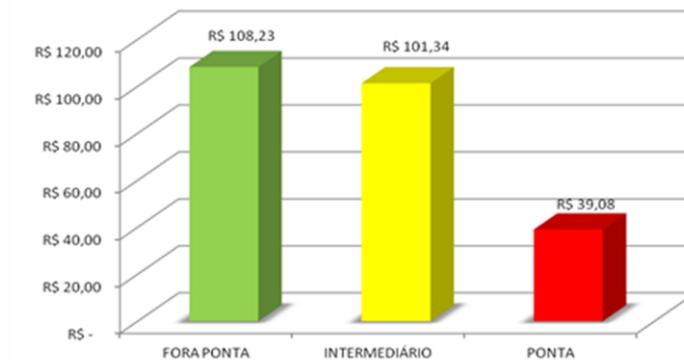


FIGURA 11 - Total gasto em RS no Cenário 3

Ao detalhar os gastos nos três postos, pode-se notar uma grande economia de reais no posto mais caro do dia, mostrando que o esforço e a fatura de quem estiver disposto a mudar os hábitos de utilização dos equipamentos elétricos serão recompensados no final do mês.

2.1.4 Cenário 4

Este é o último cenário simulado no período de inverno. Os cálculos e parâmetros de simulação seguem os mesmos utilizados no cenário 3, sendo que a única mudança está no horá-

rio de deslocamento das três cargas consideradas críticas nas simulações realizadas no cenário 2. Agora além de não ser permitido o uso durante o horário de ponta, também não será possível durante o intermediário. Nesse caso os moradores da residência só poderão ligar o chuveiro, aquecedor e carregar o carro elétrico durante o posto fora ponta. Dessa forma, uma nova curva de carga foi gerada devido à esta mudança de hábitos de utilização. A TABELA 9 apresenta os valores em kWh encontrados com o cenário 4.

TABELA 9 - Consumo detalhado nos postos horários: Cenário 4

Tipo de Carga elétrica	22 dias		8 dias	
	Fora ponta	Intermediário	Ponta	Fora ponta
Iluminação	2,39	1,15	3,96	2,73
Geladeira Simples	25,57	2,47	4,95	12
Freezer	49,5	6,6	9,9	24
Ar-Condicionado 7500 BTU	0	0	0	0
Aquecedor Elétrico	288	0	0	144
Televisor LCD 20"	2,2	2,2	6,6	4
Aparelho de Som	10,5	0	0	4,5
Máquina de Lavar Roupas	7	0	0	1,4
Ferro Elétrico	10	0	0	2
Chuveiro Elétrico - Posição Verão	0	0	0	0
Chuveiro Elétrico - Posição Inverno	89,1	0	0	32,4
Notebook	25,08	2,64	3,96	11,52
Torneira elétrica	41,25	0	13,75	20
Forno Elétrico Residencial	33	0	0	12
Carro Elétrico	184,8	0	0	105,6

A nova curva de carga para o novo hábito de consumo na residência é apresentada na FIGURA 12. Observa-se que no horário de ponta o pico da curva de carga diminuiu consideravelmente em relação ao pico da curva de carga simulada com os dois primeiros cenários, indicando que haverá uma grande redução na fatura de energia mensal se for mantido esse mesmo hábito de consumo durante a maioria dos dias úteis do mês.

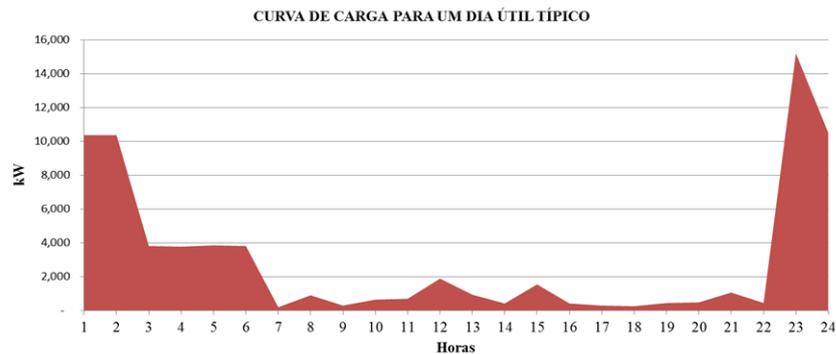


FIGURA 12 – Curva de Carga Cenário 4

O reflexo nos valores em reais gastos pelos aparelhos elétricos simulados, com os hábitos de consumo desse cenário, é apresentado na TABELA 10. Ao comparar os valores do chuveiro, aquecedor e carro elétrico com os da TABELA 6, percebe-se que é possível reduzir muito as despesas com a fatura de energia elétrica.

O gasto com o banho, por exemplo, teve uma redução de aproximadamente 75 %: passando de R\$ 86,62 para R\$ 22,02. O aquecedor e o carro elétrico tiveram uma economia de R\$ 45% e 69% respectivamente, contribuindo assim para uma redução no valor da fatura mensal comparada com a do cenário 2.

TABELA 10 - Total em R\$ da fatura: Cenário 4

Tipo de Carga elétrica	Fora ponta	Intermediário	Ponta	Total
Iluminação	0,93	0,63	3,59	R\$ 5,15
Geladeira Simples	6,81	1,35	4,49	R\$ 12,64
Freezer	13,32	3,59	8,97	R\$ 25,88
Ar-Condicionado 7500 BTU	0,00	0,00	0,00	R\$ -
Aquecedor Elétrico	78,30	0,00	0,00	R\$ 78,30
Televisor LCD 20"	1,12	1,20	5,98	R\$ 8,30
Aparelho de Som	2,72	0,00	0,00	R\$ 2,72
Máquina de Lavar Roupas	1,52	0,00	0,00	R\$ 1,52
Ferro Elétrico	2,18	0,00	0,00	R\$ 2,18
Chuveiro Elétrico - Posição Verão	0,00	0,00	0,00	R\$ -
Chuveiro Elétrico - Posição Inverno	22,02	0,00	0,00	R\$ 22,02
Notebook	6,63	1,44	3,59	R\$ 11,66
Torneira elétrica	11,10	0,00	12,46	R\$ 23,56
Forno Elétrico Residencial	8,16	0,00	0,00	R\$ 8,16
Carro Elétrico	52,64	0,00	0,00	R\$ 52,64

O total da fatura de energia elétrica durante os 30 dias deste cenário foi de R\$ 254,73; a redução comparada com os cenários 1 e 2 foi respectivamente de 35,73% e 49%. A FIGURA 13, apresenta o consumo detalhado nos postos horários.

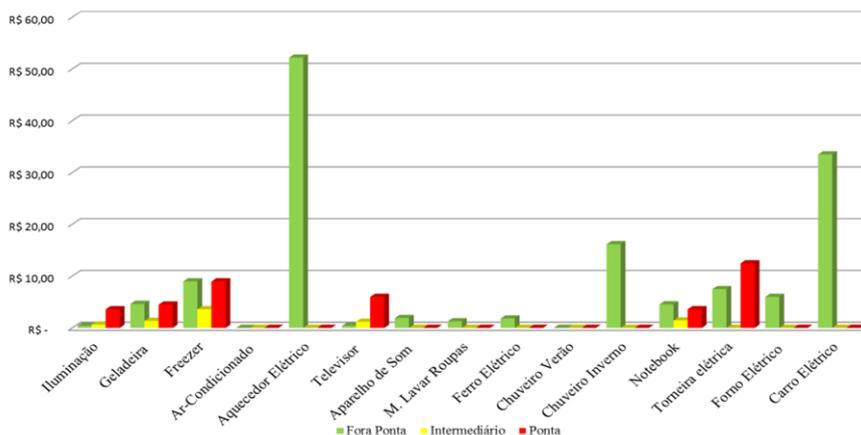


FIGURA 13 - Consumo em R\$ por posto horário do Cenário 4

Nota-se na FIGURA 13, que o uso dos aparelhos elétricos durante o posto ponta foi pouco realizado, justificando assim a grande economia na fatura mensal de energia da residência.

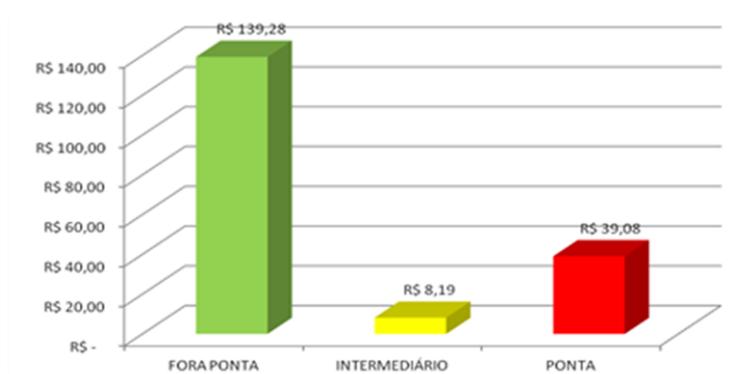


FIGURA 14 - Total gasto em R\$ no Cenário 4

2.2 Comparação entre os quatro cenários

A seguir será feita uma breve comparação entre os quatro cenários apresentados, em função do número de pessoas. Também é desconsiderado a carga do carro elétrico para os três períodos do ano, considerados como Inverno, Verão e Outono/Primavera.

O terceiro período que é composto pelo Outono e Primavera foi considerado praticamente com o mesmo hábito de consumo, pois são estações de temperaturas amenas. Nesse caso, durante o mês tanto o ar-condicionado como o aquecedor elétrico, continuaram a ser utilizados,

entretanto apenas reduzindo os dias de uso de cada um desses aparelhos e também da torneira, o chuveiro elétrico passou da posição de inverno (5400 W) para verão (3200 W).

Quanto à variação do número de pessoas na residência levaram-se em consideração os equipamentos de uso coletivo e individuais. Neste caso, o único equipamento considerado como sendo de uso individual foi o chuveiro elétrico. Logo, quando foi variado o número de pessoas o que diferenciava as simulações era o tempo de banho, sendo o tempo total na casa de 40 minutos para quatro pessoas, 30 minutos para três pessoas e 20 minutos para duas pessoas. O total de energia elétrica consumida por mês para cada um dos períodos em função do número de pessoas, com ou sem carro elétrico é apresentada na TABELA 11.

TABELA 11 - Energia elétrica consumida em kWh/mês

Período	Carro Elétrico	4 Pessoas	3 Pessoas	2 Pessoas
Inverno	Sim	1202,74	1162,24	1121,74
	Não	912,34	871,84	831,34
Outono/Primavera	Sim	739,04	715,04	633,44
	Não	448,64	424,64	343,04
Verão	Sim	874,24	850,24	826,24
	Não	583,84	559,84	535,84

Nas simulações em que o carro elétrico foi considerado, a participação em reais na fatura mensal para cada um dos cenários, os resultados é independente do período e do número de pessoas por moradia, pois a recarga do carro elétrico foi considerada de uso coletivo, os resultados são apresentados na FIGURA 15.

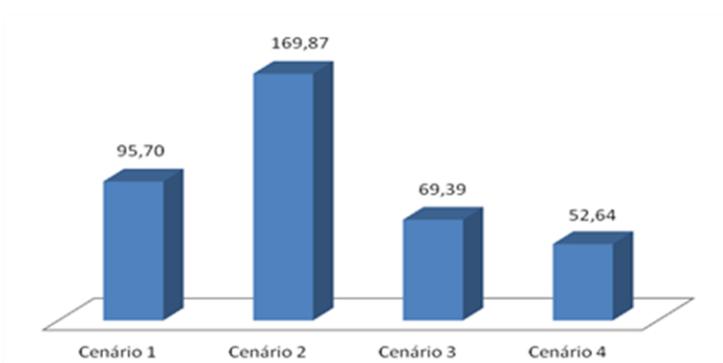


FIGURA 15 - Participação do carro elétrico em R\$ na fatura mensal

Conforme os valores mostrados no gráfico da FIGURA 15, pode-se dizer que as pessoas do cenário 2 não optaram por mudar o hábito de consumo, como consequência tiveram que pagar quase o dobro da fatura do cenário 1, que é calculada com a tarifa convencional hoje

utilizada. Se elas se sujeitassem a mudança de hábito, deslocando quando possível a recarga do seu carro elétrico, por exemplo, teriam economizado dinheiro conforme os valores encontrados para o cenário 3 e 4 e assim tirado proveito da Tarifa Branca. Os valores em reais anuais demandados pela recarga do veículo, considerada uma carga crítica nas simulações deste trabalho são apresentados na FIGURA 16.

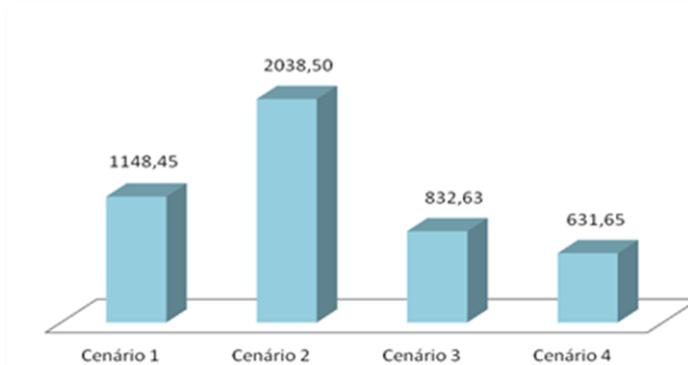


FIGURA 16 - Gasto em R\$ em um ano com a recarga do carro elétrico

Nota-se que, quando o carro elétrico entrar definitivamente no mercado brasileiro e tiver sua recarga realizada na própria residência do dono, já com a tarifa branca em vigor, os consumidores que optarem por realizar a recarga durante o horário de ponta, terá que se preparar para pagar uma conta de energia elétrica no final do mês consideravelmente mais elevada.

A TABELA 12 apresenta todos os resultados das faturas em R\$/mês e R\$/ano de cada um dos cenários simulados considerando a recarga do carro elétrico, variando-se o número de pessoas e período do ano considerado.

TABELA 12 – Fatura mensal e total gasto no ano

Cenário	Pessoas na Residência	Mês			Ano
		Inverno	Outono/Primavera	Verão	
Cenário 1	4	396,37	243,56	288,11	3514,81
	3	383,03	235,65	280,20	3403,58
	2	369,68	208,76	272,29	3178,46
Cenário 2	4	501,82	325,86	378,62	4596,48
	3	472,95	308,75	361,51	4355,86
	2	444,07	281,20	344,40	4052,60
Cenário 3	4	316,83	202,09	228,69	2849,12
	3	298,72	191,36	217,96	2698,22
	2	280,62	170,19	207,22	2484,68
Cenário 4	4	254,73	162,07	185,22	2292,30
	3	247,39	157,72	180,87	2231,12
	2	240,05	142,93	176,52	2107,30

Através dos valores apresentados pela TABELA 12 nota-se que o cenário 4 é o mais econômico entre os 4 cenários e que houve uma pequena variação no total da fatura entre o número de ocupantes por residência. Essa redução foi pequena, pois apenas o chuveiro é considerado um equipamento de uso individual entre os que fazem parte da residência considerada nesse trabalho. Portanto, este é o único equipamento na casa que tem o consumo de energia influenciado pelo número de pessoas. A FIGURA 17 compara os gastos em Reais nos três postos tarifários para cada um dos cenários simulados para a residência contendo quatro pessoas, durante 22 dias úteis do período de inverno.

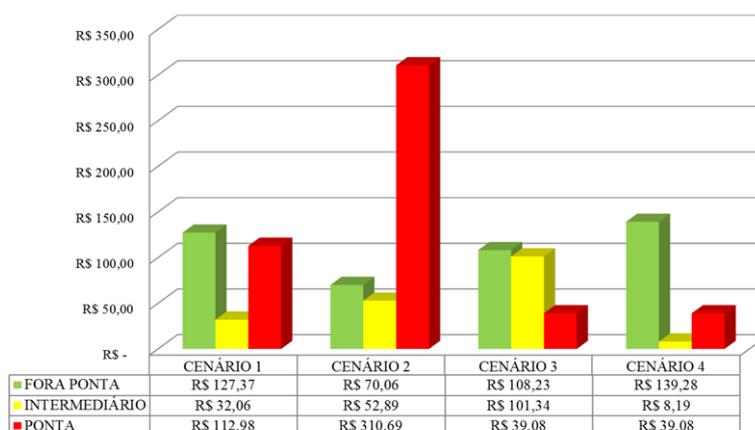


FIGURA 17 – Gastos durante 22 dias úteis período de inverno

Na TABELA 13, é apresentada a porcentagem de redução possível, encontrada através dos parâmetros considerados nas simulações, para cada um dos cenários conforme o número de ocupantes da residência e também considerando a recarga do carro elétrico. Analisando os resultados encontrados, percebe-se um aumento na conta de energia elétrica mensal do cenário 2 em relação aos valores do cenário 1 encontrados na TABELA 12, o sinal de negativo está indicando que houve um acréscimo no valor da fatura de energia elétrica.

Com o objetivo de reduzir o valor da fatura do cenário 2, foi aplicado um deslocamento no horário de utilização nas cargas consideradas críticas de acordo com as simulações obtidas. O deslocamento das cargas baseou-se em dois perfis de consumo: um leve (Cenário 3), que apenas impedia alguns equipamentos de funcionarem em horário de ponta; e outro rígido (Cenário 4), que deslocava determinadas cargas dos postos intermediário e ponta. Desse modo, foi possível reduzir em até 49 % a fatura mensal paga por uma família composta por quatro pessoas, por exemplo.

TABELA 13 – Porcentagem de redução na fatura de energia elétrica

Cenários	Pessoas na Residência	Mês			Ano
		Inverno	Outono/Primavera	Verão	
Cenário 2	4	-27%	-34%	-31%	-31%
	3	-23%	-31%	-29%	-28%
	2	-20%	-35%	-26%	-28%
Cenário 3	4	37%	38%	40%	38%
	3	37%	38%	40%	38%
	2	37%	39%	39%	39%
Cenário 4	4	49%	50%	51%	50%
	3	48%	49%	50%	38%
	2	46%	49%	49%	48%

As mesmas simulações realizadas anteriormente, levando em conta a recarga do carro elétrico, também foram feitas sem considerar a sua recarga. Os resultados em kWh foram igualmente reduzidos entre os cenários. No entanto, a redução na fatura foi diferente devido aos horários de recarga e preço da tarifa ser diferenciados. A TABELA 14 apresenta os valores das faturas encontradas com as simulações.

TABELA 14 – Fatura mensal e total gasto no ano sem o carro elétrico

Cenário	Pessoas na Residência	Mensal			Anual
		Inverno	Outono/Primavera	Verão	
Cenário 1	4	300,67	147,85	192,41	2.366,36
	3	287,32	139,94	184,50	2.255,13
	2	273,98	113,05	176,59	2.030,01
Cenário 2	4	331,95	155,98	208,75	2.557,98
	3	303,07	138,87	191,64	2.317,36
	2	274,20	111,32	174,53	2.014,10
Cenário 3	4	247,45	132,71	159,30	2.016,49
	3	229,34	121,98	148,57	1.865,60
	2	211,23	100,81	137,84	1.652,06
Cenário 4	4	202,09	109,44	132,58	1.660,65
	3	194,75	105,09	128,23	1.599,47
	2	187,41	90,30	123,88	1.475,66

As porcentagens de redução no valor da fatura sem a presença da recarga do carro elétrico são apresentadas na TABELA 15. Nota-se agora que a redução ou aumento da fatura, no caso do cenário 2, não foi tão grande. Isso porque a recarga do veículo era realizada durante o horário de ponta que tem a tarifa mais cara. Logo, se nenhuma carga de alta potência é ligada no horário crítico, o gasto em reais é menor. Por isso, os valores da TABELA 14 foram bem

próximos. Destaca-se o cenário 2 (com duas pessoas na casa), que na ausência da recarga do carro elétrico, mesmo sem mudar o hábito de consumo na residência foi beneficiado com uma pequena economia de dinheiro gasto com a conta de energia elétrica. Nas simulações que levaram em consideração a recarga do VE, o valor das faturas do cenário 2 comparados ao cenário 1, foram bem diferentes.

TABELA 15 - Porcentagem de redução na fatura sem o carro elétrico

Cenários	Pessoas na Residência	Mês			Ano
		Inverno	Outono/Primavera	Verão	
Cenário 2	4	-10%	-5%	-8%	-8%
	3	-5%	1%	-4%	-3%
	2	0%	2%	1%	1%
Cenário 3	4	25%	15%	24%	21%
	3	24%	12%	22%	19%
	2	23%	9%	9%	18%
Cenário 4	4	39%	30%	36%	35%
	3	36%	24%	33%	19%
	2	32%	19%	29%	27%

2.3 Considerações sobre os Cenários Descritos

Com os resultados obtidos nas simulações dos cenários nos três períodos do ano considerados neste trabalho, percebe-se claramente que com a implantação da Tarifa Branca no Brasil, os consumidores que forem atingidos por essa nova forma de tarifação, deverão mudar os seus hábitos de consumo durante os dias úteis da semana, evitando ao máximo a utilização de cargas elétrica nos horários intermediários e de ponta. Caso isso não ocorra, estes consumidores poderão quase que dobrar o valor da fatura mensal que costumavam pagar com a tarifa convencional. Dessa forma, não estariam usufruindo dos benefícios que a tarifa branca pode oferecer, que é a redução na conta de energia elétrica dos consumidores do grupo B.

Apesar dos dados utilizados não se originarem de pesquisas muito recentes e de considerarem basicamente a posse e hábitos de consumo da população da região Sul do Brasil do ano base de 2005, eles refletem as cargas e os hábitos atuais dos consumidores. Consequentemente, os resultados obtidos comprovam que, aplicando o deslocamento do horário de utilização de determinadas cargas, é possível tirar proveito da Tarifa Branca e reduzir o valor gasto com energia elétrica. Este gerenciamento do horário pode ser de forma manual, ou seja, através da conscientização das pessoas para que mudem seus hábitos, ou de forma automática através do desenvolvimento de um sistema automatizado para o gerenciamento de cargas.

3 PROTÓTIPO DESENVOLVIDO

Com o intuito de auxiliar o consumidor a reduzir o valor da fatura de energia elétrica no final do mês, é proposto um protótipo, controlador de carga, que conforme for programado pelo usuário na central de controle, poderá de forma automática deslocar ou simplesmente impedir que determinadas cargas sejam ligadas durante os horários com valor de tarifa elevada.

Este controlador de carga é muito útil também para as residências onde o número de pessoas que frequentam, moram ou que de alguma forma venham a utilizar algum eletrodoméstico de forma não racional, contribuindo para uma fatura elevada no final do mês. Com o protótipo proposto e desenvolvido, o administrador ou proprietário do imóvel poderá criar perfis para que os aparelhos de potências mais elevadas não sejam ligados nos horários de ponta, principalmente por crianças ou pessoas não autorizadas e assim comprometer o orçamento gasto com a fatura de energia elétrica.

A seguir é explicado todo o processo de montagem e execução do projeto do protótipo controlador de carga.

3.1 Projeto

O projeto do protótipo foi dividido em três partes principais que são:

- Central de controle
- Hardware de controle
- Hardware de acionamento

3.1.1 Central de Controle

A central de controle é um computador, que executa o software principal, com a Interface Gráfica do Usuário (GUI) e se comunica com o hardware de controle por meio da porta serial RS232.

3.1.1.1 Interface Gráfica com o Usuário

A linguagem de programação utilizada para desenvolver a GUI FIGURA 18 foi o C# (C Sharp)¹⁴, que surgiu em 2001. Trata-se de uma linguagem orientada a objetos e fortemente tipada, desenvolvida pela Microsoft como parte da plataforma.NET. Os projetistas classificam o C# como sendo uma linguagem simples, segura e poderosa¹⁵.

O software desenvolvido permite configurar cada uma das saídas encontradas no hardware de controle, conforme o horário do dia e distinguindo os dias úteis dos não úteis da semana.

É possível também configurar perfis para realização do controle das cargas, ou seja, permite o usuário escolher se prefere que determinados eletrodomésticos, com potências mais elevadas, de sua residência sejam utilizados em horários de tarifa mais “cara” ou não. Dessa forma, o usuário fica livre para criar e salvar perfis de consumo intermediário ou rígido.

O consumidor é informado na tela do computador sobre o estado de funcionamento das cargas da casa que estão sendo monitoradas pelo software, ou seja, se o equipamento está habilitado ou desabilitado. Assim como, se o sinal de comando foi enviado pela porta RS232 do PC e os horários com os respectivos dias em que os deslocamento das cargas conectadas ao hardware de controle estão programados. O código do software é apresentado no Anexo D.

¹⁴ Disponível em: < <http://msdn.microsoft.com/pt-br/library/vstudio/67ef8sbd.aspx> >

¹⁵ Disponível em: < <http://pt.wikipedia.org/wiki/C%E2%99%AF> >. Acessado em 21.06.2013

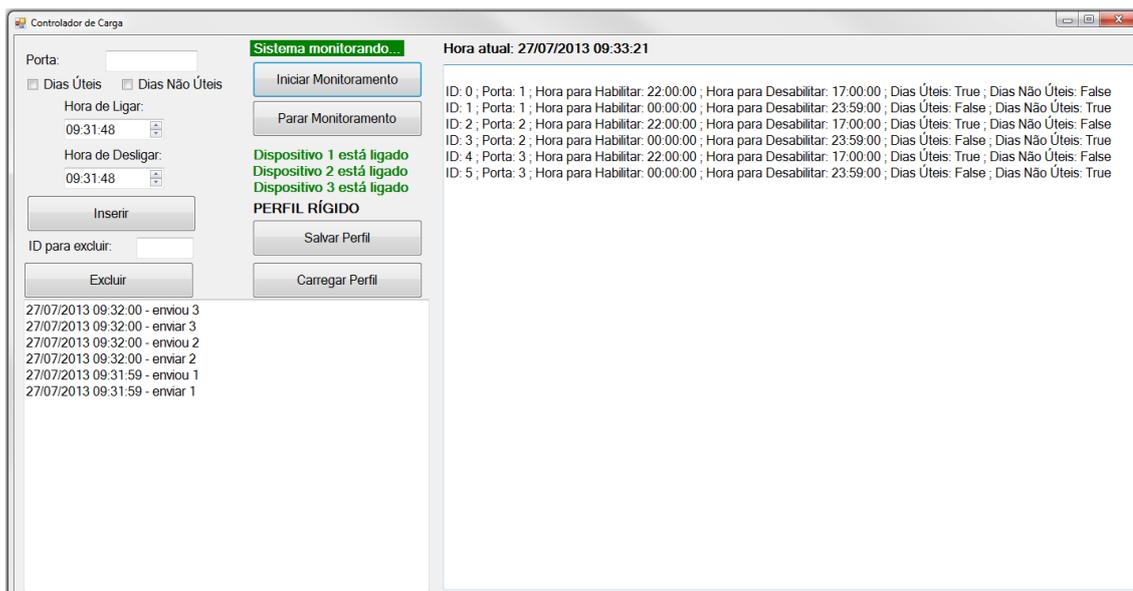


FIGURA 18 - Interface Gráfica com o Usuário

3.1.1.2 Comunicação com o Hardware de Controle

A comunicação entre o computador e o hardware de controle é realizada utilizando o protocolo RS232 que é um conjunto de especificações elétricas publicadas pela Electronic Industries Association – EIA. Nada mais é do que um conjunto de definições que regram a comunicação, para que as duas partes “falem a mesma língua” e assim seja possível a interpretação de comandos enviados pelo computador e seja entendido pelo microcontrolador (responsável pelo processamento de sinais no hardware de controle)¹⁶.

A comunicação física pode ser realizada por um cabo serial com conectores DB9 nas duas pontas, ou com um cabo com conector USB de um lado e o DB9 do outro. Para o segundo caso é preciso utilizar um conversor USB/Serial.

3.1.2 Hardware de Controle

O hardware é o responsável pela execução dos comandos enviados pelo computador. Para isso é necessário um componente eletrônico chamado de microcontrolador, podendo ser também um DSP, FPGA, CPU, etc, que processe e interprete os sinais elétricos recebidos pela porta serial RS232. Logo, foi preciso programar o microcontrolador, para poder interpretar

¹⁶ Disponível em: < <http://www.cinelformacao.com/tda/files/ud1/ud1cap1p5.htm> e <http://en.wikipedia.org/wiki/RS-232> >. Acessado em 22.06.2013

corretamente os comandos recebidos. O código foi desenvolvido em linguagem C¹⁷ e é apresentado no Anexo C.

3.1.2.1 Circuito de Controle

O circuito de controle projetado foi simulado e desenhado no Proteus 7.7, que é um software para simulações de circuitos eletrônicos. Para a simulação do computador controlando o PIC, foi preciso instalar no PC um emulador de porta serial, chamado de Virtual Serial Ports Emulator¹⁸.

O microcontrolador utilizado foi o PIC 16F628A que é o responsável pela interpretação de sinais recebidos através da porta RS 232 do PC. Os quesitos que levaram a escolha desse modelo foi que ele é simples de programar, é barato e atende perfeitamente às funções exigidas pelo protótipo de controle de carga. A FIGURA 19, conforme o datasheet do componente eletrônico¹⁹, apresenta a pinagem do microcontrolador, apresentando um total de 18 pinos, destes, 10 foram utilizados neste projeto.

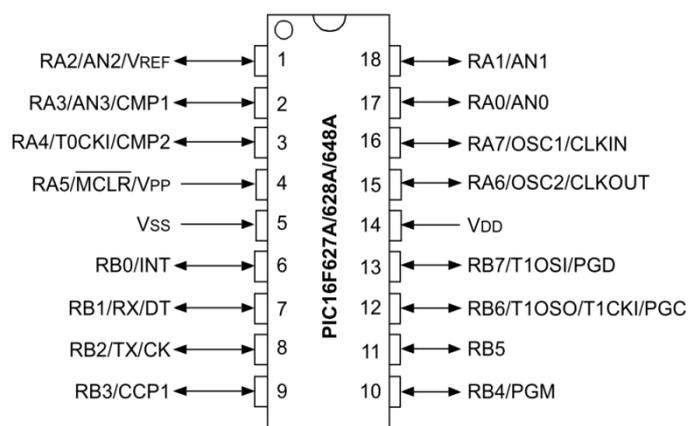


FIGURA 19 - Pinagem PIC 16F628A

Quando o pino 4 estiver recebendo 5 Volts, significa que o componente eletrônico está pronto para executar o programa que nele foi gravado; quando receber 0 Volts o microcontrolador será reiniciado. O pino 14 pode no máximo receber uma tensão de 5 V. O pino de referência (GND) é o de nº 5. Os pinos 15 e 16 são utilizados para conexão do cristal oscilador (cristal de clock). O cristal usado para *clock* do microcontrolador foi o de 4 MHz.

¹⁷ Fábio Pereira. Microcontroladores PIC – Programação em C – 7ª Edição, Editora Érica.

¹⁸ Software freeware disponível em: < <http://www.eterlogic.com/Products.VSPE.html> >Acessado em 01.07.2012

¹⁹ Data sheet do PIC 16F628A

Os pinos responsáveis pela comunicação com o computador foram o 7 e 8, respectivamente RX e TX. O RX é o responsável por receber os sinais vindos pela RS232 do PC, e o TX transmite sinais do PIC para o computador através da porta serial em uma velocidade de 9600 bits/s.

A tensão que alimenta o circuito é de 5 V e para que seja possível a leitura do sinal, pelo microcontrolador, vindos pela porta RS232 é preciso de um conversor de sinal RS232/TTL. O chip MAX232 faz essa conversão, possibilitando a comunicação entre central e hardware de controle. A pinagem desse componente, conforme o datasheet²⁰ é mostrado na FIGURA 20.

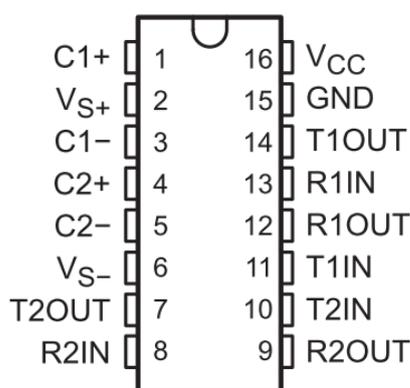


FIGURA 20 - Pinagem MAX 232

A ligação é feita da seguinte maneira: utilizando um capacitor eletrolítico de 1uF/50V liga-se o polo positivo do capacitor no pino 1 e negativo no 3 do MAX 232. O mesmo é feito com os pinos 4 e 5 respectivamente. No pino 2, o polo positivo do capacitor eletrolítico é conectado e o negativo é alimentado com 5 V; no pino 6 é conectado o polo negativo do capacitor eletrolítico e o positivo é ligado na referência GND.

O MAX 232 é alimentado com 5 Volts, sendo o polo positivo da fonte conectado no pino 16 e o negativo no 15. A comunicação entre microcontrolador e PC ocorre da seguinte maneira: para enviar um sinal do computador para o PIC é preciso que o pino 3 do conector DB9, mostrado na FIGURA 21, esteja conectado ao pino 13 do MAX 232 para que o sinal RS 232 enviado do PC seja convertido em TTL e logo depois seja enviado ao PIC pelo pino 12 do conversor e então interpretado pelo microcontrolador através do pino 7. Para que um sinal seja enviado do PIC para o computador ocorre o seguinte procedimento: o sinal é emitido pelo microcontrolador pelo pino 8, chega ao conversor no pino 11. Então esse sinal é convertido de

²⁰ Datasheet do componente MAX 232

TTL para RS 232, enviado pelo pino 14 do MAX 232 e interpretado através do pino 2 do conector DB9 conectado ao computador. O esquema de ligação do MAX 232 é apresentado na FIGURA 22.

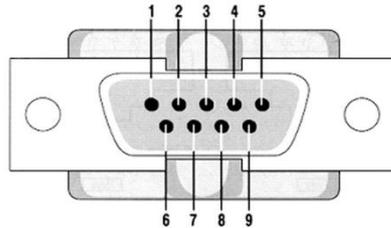


FIGURA 21 - Conector DB9²¹

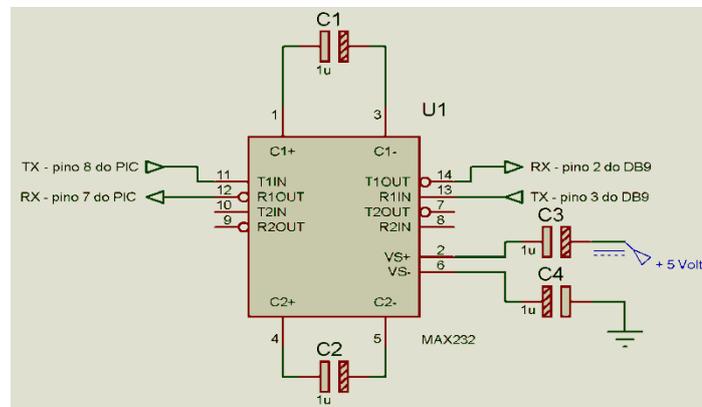


FIGURA 22 - Esquema de ligação do MAX 232

Na FIGURA 22, a conexão com computador e microcontrolador é indicada pelos terminais ligados aos pinos {13, 14} e {11, 12}, respectivamente. O circuito completo do protótipo montado no software Proteus para teste da comunicação do microcontrolador com o computador é mostrado na FIGURA 23. Nota-se que nesse esquema o MAX 232 não foi necessário, pois o terminal virtual do Proteus já trabalha com sinais TTL.

²¹ Disponível em: < http://www.robotizando.com.br/pinagem_rs232.php >

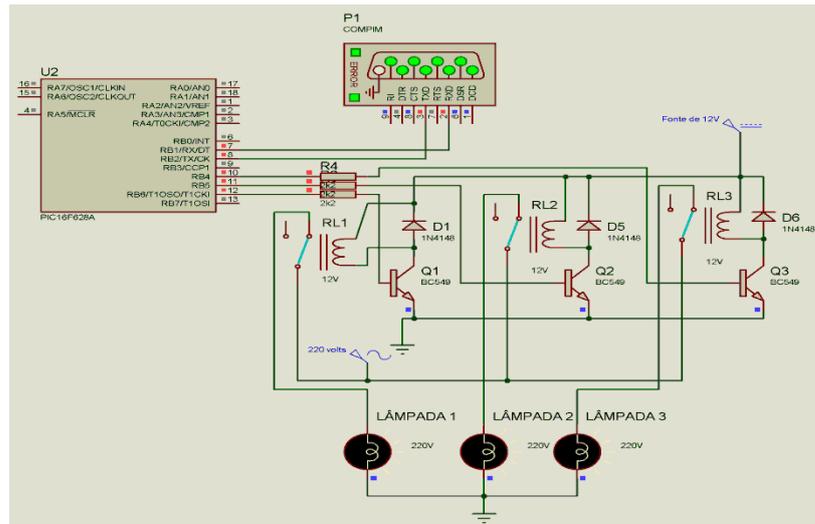


FIGURA 23 - Esquema simulado no Proteus

Nota-se na FIGURA 23, que os pinos 10, 11 e 12 do PIC estão em nível alto. Conseqüentemente os relés estão acionados e as cargas, neste caso três lâmpadas, ligadas. Estes resultados evidenciam que o circuito do protótipo funcionou perfeitamente. A TABELA 16 apresenta a listagem completa dos componentes utilizados para o funcionamento do circuito na prática.

TABELA 16 - Componentes do Circuito de Controle

Tipo	Quantidade	Total R\$
Cristal Oscilador	1	0,70
MAX232	1	1,80
PIC 16F628A	1	6,50
Capacitor Eletrolítico 1uF/50V	4	0,24
Capacitor Cerâmico de 15 PF	2	0,10
Resistor de 1 kΩ	1	0,15
Conector DB9	1	1,32
Borne 3 vias	1	0,67
Borne 2 vias	1	0,45
Placa de Fenolite 10x10 cm	1	1,78
TOTAL		13,71

Fonte: Proesi link <http://proesi.com.br/>

Depois de feitas as simulações no Proteus do circuito da FIGURA 24, foram realizados os testes no laboratório de eletrotécnica da UNIPAMPA, utilizando um protoboard e um computador desktop com porta RS232.

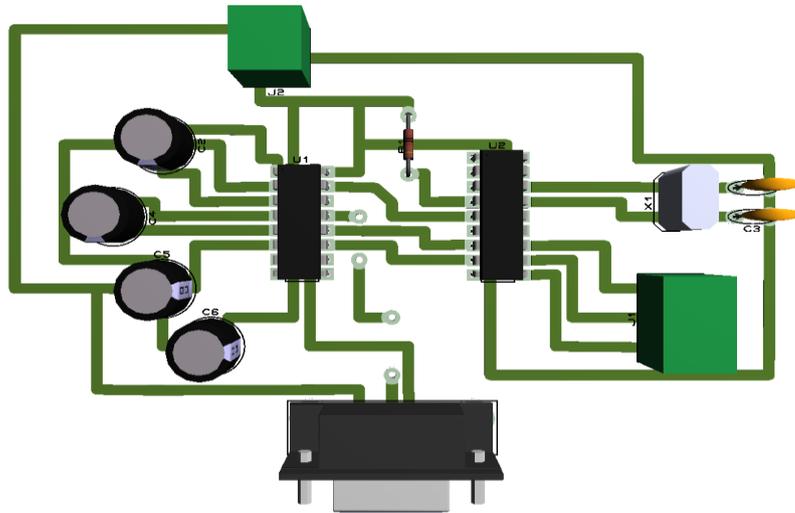


FIGURA 24 - Circuito de controle projetado no Proteus

Após algumas tentativas para fazer o circuito funcionar apropriadamente, foi possível imprimir o circuito desenhado no Proteus em uma placa de fenolite e assim chegar ao hardware de controle da FIGURA 25.

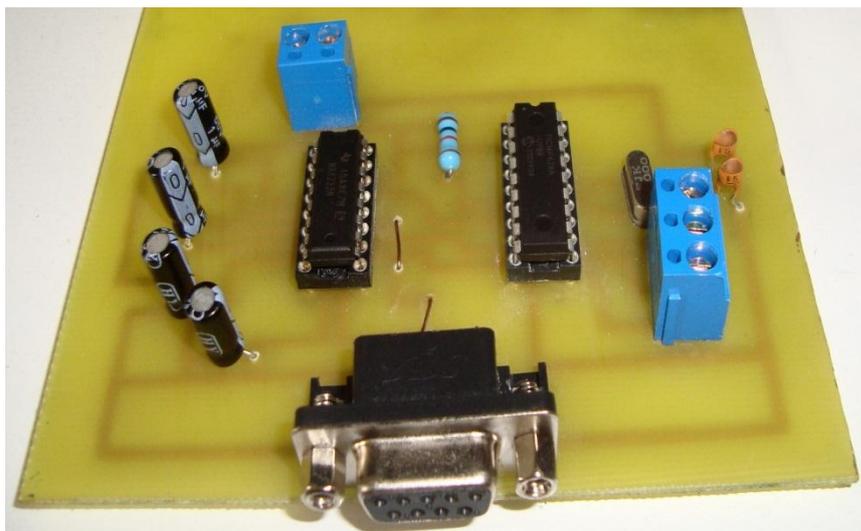


FIGURA 25 - Hardware de Controle

3.1.3 Hardware de Acionamento

Este hardware é o responsável por executar os comandos, através dos relés, que chegam do microcontrolador. Com ele é possível acionar cargas em 220 V com uma corrente de até 10 A.

3.1.3.1 Circuito de acionamento

O esquema elétrico básico de acionamento do relé em 220 V através de sinais de 5 V liberados pelo PIC é encontrado no artigo [23]²². Foi preciso utilizar duas fontes na simulação completa do protótipo, uma de 5 V para alimentar o hardware de controle e outra de 12 V para poder acionar a bobina dos relés. A execução dos comandos é realizada instantaneamente. A TABELA 17 apresenta a listagem dos componentes utilizados no circuito.

TABELA 17 - Componentes do Circuito de acionamento

Tipo	Quantidade	Total R\$
Borne 2 vias	1	0,45
Borne 3 vias	3	2,01
Resistor 2,2 kΩ	3	0,75
Transistor BC 549	3	0,39
Diodo 1N4148	3	0,15
Relé DC 12 V	3	4,50
Placa de Fenolite 10 x 10 cm	1	1,32
TOTAL		9,57

Fonte: Proesi link <http://proesi.com.br/>

Para realizar as simulações e desenho do circuito de carga, FIGURA 26, também foi utilizado o software Proteus 7.7. A seguir, o hardware foi testado numa protoboard sendo utilizados LEDs como cargas com o objetivo de visualizar os comandos sendo executados.

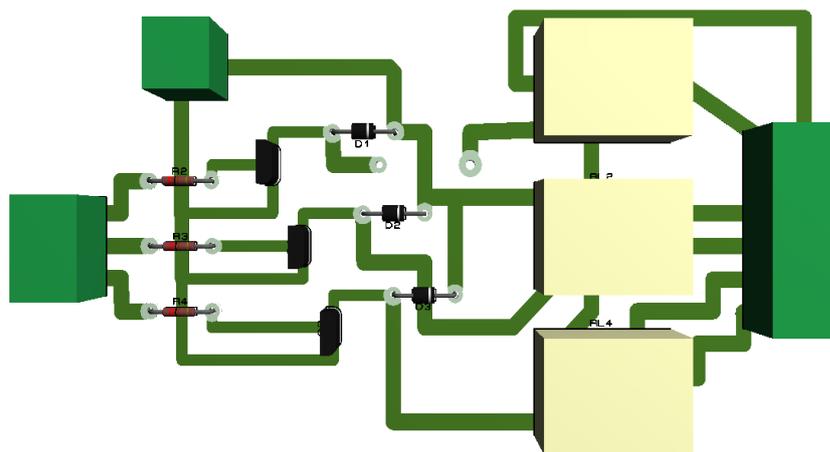


FIGURA 26 - Circuito de acionamento projetado no proteus

Depois de todos os testes realizados, o hardware de acionamento, FIGURA 27, teve o circuito impresso e montado em uma placa de fenolite.

²² Acionando 110/220V com sinais de 5V. Disponível em: < <http://engenheirando.com/wp-content/uploads/2011/10/circuito2.jpg> >. Acessado em 15.11.2012

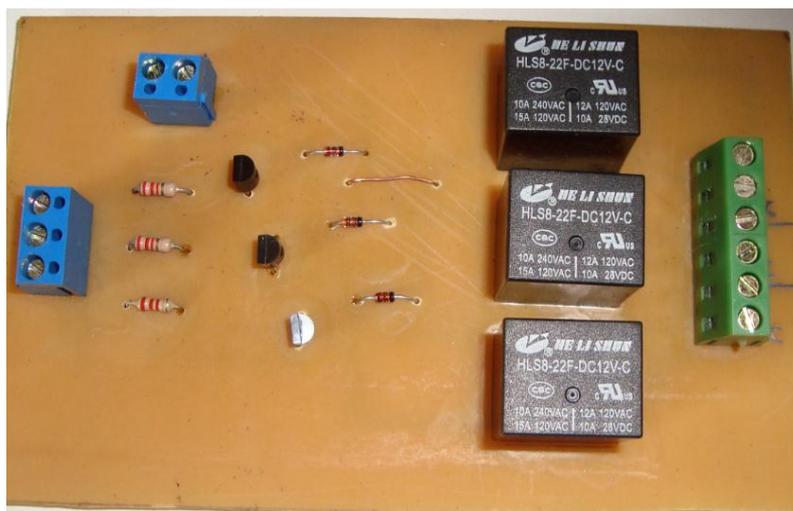


FIGURA 27 - Hardware de acionamento

3.2 Considerações referentes ao protótipo

Mesmo sendo projetado com as configurações básicas de apenas habilitar ou desabilitar uma carga residencial conforme a hora e dia da semana, o protótipo proposto é de fundamental importância para redução da conta de energia elétrica do final do mês, auxiliando os consumidores no deslocamento das cargas de grande consumo dos horários de tarifa mais cara.

Além disso, o projeto exigiu que fossem desenvolvidos códigos em duas linguagens de programação, testes e montagens dos circuitos no protoboard, bem como a confecção do projeto proposto em placas de circuito impresso (PCI). Essas tarefas exigiram conhecimentos de programação para configurar a funcionalidade do microcontrolador e também o desenvolvimento da interface computacional. Além disso, conhecimentos de software comerciais para simulação e realização do leiaute do protótipo foram exigidos, os quais permitiram obter o projeto físico.

Por fim, o total gasto com a compra do material utilizado para a montagem do projeto foi de R\$ 23,28, o que pode ser considerado como sendo uma despesa pequena perto do benefício oferecido e apresentado no capítulo 2. No Anexo E é apresentado o protótipo completo montado sobre uma plataforma para demonstração.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As redes inteligentes no Brasil ainda estão em fase de pesquisa e de testes pelas maiores concessionárias distribuidoras de energia elétrica do país. Mesmo que ainda demore alguns anos ainda para que definitivamente sejam implantadas no território brasileiro, um dia essa tecnologia fará parte da vida da população. O mesmo ocorre com o veículo elétrico que também vai demorar algum tempo até que se popularize no Brasil. De qualquer forma, o país está cada vez mais perto dessa nova tecnologia, Smart Grid, que já é realidade em outros países do mundo, como Alemanha. Diante disso, a ANEEL propôs a tarifa branca para estimular a mudança de hábitos de consumo de energia.

O foco principal do trabalho foi mostrar que é possível tirar proveito dessa nova modalidade de tarifação, aplicando um sistema de automação residencial juntamente com a mudança de hábitos de consumo. Os resultados levantados com as simulações do consumo de energia elétrica em uma residência deixaram comprovado que é possível tirar proveito, economizando com a conta de energia elétrica ao final do mês.

Além disso, também ficou comprovado que o consumidor que vier a aderir à tarifa branca e continuar com os mesmos hábitos de consumo que tinha quando era tarifado com a tarifa convencional, irá aumentar o valor de sua conta de energia elétrica. Lembrando que para uma residência com quatro pessoas o aumento no valor da fatura foi de 27 %, o que representou R\$ 105,45 de acréscimo no orçamento mensal durante o inverno.

As economias também foram significativas: evitando ligar o aquecedor, chuveiro e recarregar o carro elétrico durante o posto tarifário de ponta (18 às 21h), beneficiou o usuário com uma economia de R\$ 79,54 no cenário 3. Já, para o cenário 4, o mais econômico dos quatro, foi possível reduzir em 49% o valor da fatura, representando R\$ 141,64 de redução, com o deslocamento das mesmas cargas do cenário 3.

O protótipo desenvolvido, apesar de ter sido projetado com as configurações básicas de habilitar ou desabilitar uma carga elétrica, mostrou-se adequadamente funcional. Tanto nas simulações no Proteus, como na bancada tendo como carga três lâmpadas compactas, observou-se um perfeito funcionamento dos comandos enviados pelo computador e executados pelo microcontrolador. O protótipo cumpriu bem as funções tanto com o cabo RS232, quanto com o cabo conversor USB/RS232, não impedindo assim que o sistema seja executado em um notebook ou computador desktop que não tenha a porta RS232, o que é comum hoje em dia, devido à preferência por comunicação USB.

Esse sistema de automação residencial, além de trazer benefícios aos consumidores residenciais, oferecendo a possibilidade de economizar dinheiro quando a tarifa branca estiver em vigor, também irá beneficiar todo o sistema elétrico brasileiro. Isso ocorre porque no momento em que os consumidores tiverem a certeza de que mudando alguns hábitos a recompensa será significativa no final do mês, eles o farão e assim a demanda por energia elétrica no horário de pico irá diminuir. Dessa forma o sistema ficará mais eficiente e seguro, diminuindo as falhas por sobrecarga e postergando altos investimentos no setor, já que a carga residencial vem aumentando nos últimos anos, segundo a EPE.

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se fazer um levantamento de cargas, pesquisa de hábitos de consumo de uma residência e também instalar um medidor eletrônico com memória de massa para capturar a curva real de carga. Também se sugerem melhorias para o protótipo como medição da corrente e tensão na carga, com o objetivo de mostrar na GUI o quanto de energia em kWh está sendo gasto no exato momento e o que já se economizou no mês corrente, inclusive fornecendo os valores monetários ao usuário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Associação Brasileira de Automação Residencial. Acesso em 15 de 06 de 2013, disponível em Aureside: <http://www.aureside.org.br/>
- [2] Rede Inteligente. Acesso em 15 de 06 de 2013, disponível em Site: <http://www.redeinteligente.com/2011/10/19/distribuidora-e-cliente-ganham-com-rede-inteligente/>
- [3] Avanço no Smart Grid. SABER - Revista de Pesquisa e Desenvolvimento da Light - Número 3. (Agosto 2011).
- [4] AES Eletropaulo. Acesso em 15 de 06 de 2013, disponível em Site: <https://www.aeseletropaulo.com.br/imprensa/nossos-releases/conteudo/aes-eletropaulo-anuncia-o-maior-projeto-de-smart-grid-do-pa%C3%ADs>
- [5] EPE. *RESENHA - Mensal do Mercado de Energia Elétrica*. Rio de Janeiro - RJ. (25 de Abril de 2013).
- [6] EPE. *RESENHA Mensal de Energia Elétrica*. Rio de Janeiro - RJ. (26 de Abril de 2012).
- [7] Energia Elétrica no Setor Residencial à Luz do Consumo Consciente: Resultado do Estudo de Caso no Município de Santo André - SP. *V Encontro Nacional de Anppas* (V Encontro Nacional de Anppas 2010, Florianópolis - SC).
- [8] *Histórico das Tecnologias de Automação Residencial*. Acesso em 20 de 06 de 2013, disponível em SRA engenharia: <http://sra.eng.br/site/historico-das-tecnologias-de-automacao-residencial/>
- [9] *Da máquina a vapor aos software de automação*. Acesso em 20 de 06 de 2013, disponível em Portal o Setor Elétrico: <http://www.osetoelettrico.com.br/web/component/content/article/57-artigos-e-materias/343-xxxx.html>
- [10] Automação Residencial: histórico, definições e conceitos. *O Setor Elétrico*, http://www.osetoelettrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed62_fasc_automacao_capI.pdf. (Março 2011).
- [11] *Benefícios Para Moradores/Proprietários*. Acesso em 28 de 06 de 2013, disponível em Aureside: <http://www.aureside.org.br/quemsomos/default.asp?file=beneficios.asp&menu=quemos>
- [12] K. Atukorala, D. Wijekoon, M. Tharugasini, I. Perera, C. Silva “SmartEye Integrated Solution to Home Automation, Security and Monitoring through Mobile Phones” (IEEE-2009).
- [13] Marco Jahn, Marc Jentsch, Christian R. Prause, Ferry Pramudianto, Amro Al-Akkad, René Reinert “The Energy Aware Smart Home” (IEEE-2010).
- [14] Dae-Man Han and Jae-Hyun Lim, Member, IEEE “Design and Implementation of Smart Home Energy Management Systems based on ZigBee” (IEEE-2010).

- [15] Harshad V. Dange, Vamsi K. Gondi “Powerline Communication based Home Automation and Electricity Distribution System” (IEEE-2011).
- [16] C.E.P. Jordán Córdova, B. Asare-Bediako , G.M.A. Vanalme, W.L. Kling “Overview and Comparison of Leading Communication Standard Technologies for Smart Home Area Networks Enabling Energy Management Systems”(UPEC-2011).
- [17] Releasing your potential, SmartGrids-Enquadramento Europeu e Projetos de Referência em Portugal. http://www.rpmbrasil.com.br/smartgrid2008/jose_antunes.pdf Acessado em 3/12/2011.
- [18] José Ricardo Portillo Navas, “Medições Inteligentes Como Ferramental Para Incentivar Um Consumo Consciente”, (VII CIERTEC-2011).
- [19] PRORET Submódulo 7.1 - Procedimentos Gerais. Procedimentos de Regulação Tarifária - ANEEL. (28 de Novembro de 2011).
- [20] PRORET Submódulo 7.3 - Tarifas de Aplicação. Procedimentos de Regulação Tarifária - ANEEL. (18 de Abril de 2012).
- [21] PROCEL - Classe Residencial Relatório Sul - 2007. Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso Ano Base 2005.
- [22] Cleofe Basso. O Impacto de Veículos Elétricos Plug-In no Sistema Elétrico de Potência. Trabalho de Conclusão de Curso. (22 de Dezembro de 2011, Alegrete, RS)
- [23] A Quilometragem Média Estimada da Frota Brasileira de Veículos. Acesso em 10 de 04 de 2013, disponível em Sindicato da Indústria de Reparação de Veículos e Acessórios do Estado de São Paulo: http://www.sindirepa-sp.org.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=90:a-quilometragem-media-estimada-da-frota-brasileira-de-veiculos&catid=40:noticias-consumidor&Itemid=323

ANEXO A – RESULTADOS PARA O PERÍODO DE VERÃO

TABELA 1 - Informações de uso dos equipamentos elétricos

Tipo de Carga elétrica	N° de Dias utilizados			Tempo de uso diário
	Dia útil	Dia não útil	Mês	
Iluminação	22	8	30	5h
Geladeira Simples	22	8	30	10h
Freezer	22	8	30	10h
Ar-Condicionado 7500 BTU	22	8	30	8h
Aquecedor Elétrico	-	-	-	-
Televisor LCD 20"	22	8	30	5h
Aparelho de Som	14	6	20	3h
Máquina de Lavar Roupas	10	2	12	2h
Ferro Elétrico	10	2	12	1h
Chuveiro Elétrico_Posição Verão	22	8	30	40 min
Chuveiro Elétrico_Posição Inverno	-	-	-	-
Notebook	22	8	30	24h
Torneira elétrica	-	-	-	-
Forno Elétrico Residencial	22	8	30	1h
Ford Focus E	7	4	11	4h

TABELA 2 - Energia elétrica consumida em kWh

Tipo de Carga elétrica	Dias Úteis	Dias Não Úteis	Total no Mês
Iluminação	7,51	2,73	10,24
Geladeira Simples	33,00	12,00	45,00
Freezer	66,00	24	90,00
Ar-Condicionado 7500 BTU	167,2	60,8	228,00
Aquecedor Elétrico	0	0	0,00
Televisor LCD 20"	11	4	15,00
Aparelho de Som	10,5	4,5	15,00
Máquina de Lavar Roupas	7	1,4	8,40
Ferro Elétrico	10	2	12,00
Chuveiro Elétrico_Posição Verão	52,8	19,2	72,00
Chuveiro Elétrico_Posição Inverno	0	0	0,00
Notebook	31,68	11,52	43,20
Torneira elétrica	0	0	0,00
Forno Elétrico Residencial	33	12	45,00
Carro Elétrico	184,8	105,6	290,40

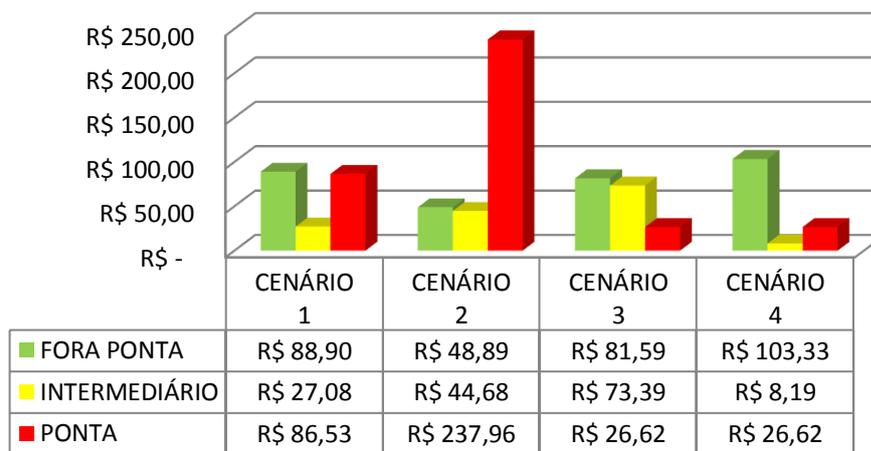


FIGURA 1 - Gasto em R\$ por posto tarifário durante 22 dias úteis do verão 4P

ANEXO B - RESULTADOS PARA O PERÍODO DE OUTONO/PRIMAVERA

TABELA 1 - Informações de uso dos equipamentos elétricos

Tipo de Carga elétrica	N° de Dias utilizados			Tempo de uso diário
	Dia útil	Dia não útil	Mês	
Iluminação	22	8	30	5h
Geladeira Simples	22	8	30	10h
Freezer	22	8	30	10h
Ar-Condicionado 7500 BTU	6	2	8	2h
Aquecedor Elétrico	6	2	8	2h
Televisor LCD 20"	22	8	30	5h
Aparelho de Som	14	6	20	3h
Máquina de Lavar Roupas	10	2	12	2h
Ferro Elétrico	10	2	12	1h
Chuveiro Elétrico_Posição Verão	22	8	30	40 min
Chuveiro Elétrico_Posição Inverno	-	-	-	-
Notebook	22	8	30	24h
Torneira elétrica	3	5	8	1h
Forno Elétrico Residencial	22	8	30	1h
Ford Focus E	7	4	11	4h

TABELA 2 - Energia elétrica consumida em kWh

Tipo de Carga elétrica	Dias Úteis	Dias Não Úteis	Total no Mês
Iluminação	7,51	2,73	10,24
Geladeira Simples	33,00	12,00	45,00
Freezer	66,00	24	90,00
Ar-Condicionado 7500 BTU	11,4	3,8	15,20
Aquecedor Elétrico	43,2	14,4	57,60
Televisor LCD 20"	11	4	15,00
Aparelho de Som	10,5	4,5	15,00
Máquina de Lavar Roupas	7	1,4	8,40
Ferro Elétrico	10	2	12,00
Chuveiro Elétrico_Posição Verão	52,8	19,2	72,00
Chuveiro Elétrico_Posição Inverno	0	0	0,00
Notebook	31,68	11,52	43,20
Torneira elétrica	7,5	12,5	20,00
Forno Elétrico Residencial	33	12	45,00
Carro Elétrico	184,8	105,6	290,40

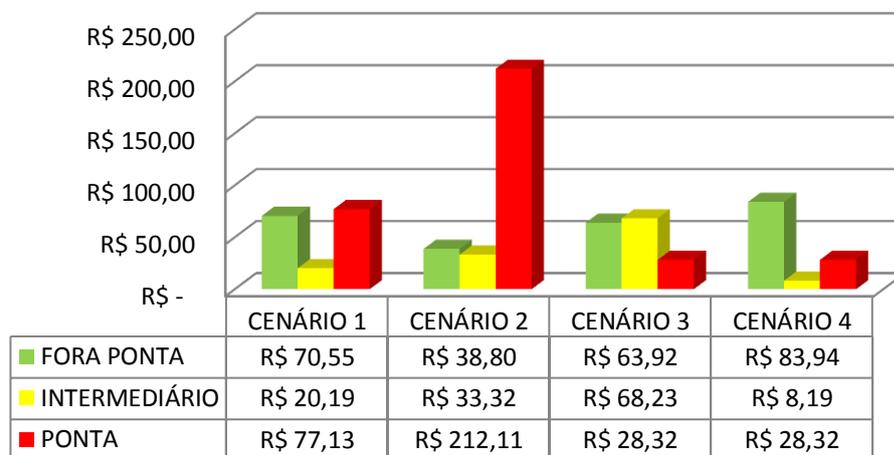


FIGURA 1 - Gasto em R\$ por posto tarifário durante 22 dias úteis do outono/primav. 4P

ANEXO C – CÓDIGO EM C DO MICROCONTROLADOR

```
#include <16F628A.h>
#FUSES NOWDT
#FUSES XT
#FUSES NOPUT
#FUSES NOPROTECT
#FUSES BROWNOUT
#FUSES NOMCLR
#FUSES LVP
#FUSES NOCPD
#use delay(clock=4000000)
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_B2,rcv=PIN_B1,bits=8)
char recebeda_serial;
int i;
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);
  while (true)
  { switch ( recebeda_serial = getc())
    {
      case '1' : output_high(pin_b4);
                 delay_ms(100);
                 printf("L_1\n");
                 break;
      case 'a' : output_low (pin_b4);
                 delay_ms(100);
                 printf("D_1\n");
                 break;
      case '2' : output_high (pin_b5);
                 delay_ms(100);
                 printf("L_2\n");
                 break;
      case 'b' : output_low (pin_b5);
                 delay_ms(100);
                 printf("D_2\n");
                 break;
      case '3' : output_high (pin_b6);
                 delay_ms(100);
                 printf("L_3\n");
                 break;
      case 'c' : output_low (pin_b6);
                 delay_ms(100);
                 printf("D_3\n");
                 break;
    } } }
```

ANEXO D – CÓDIGO EM C# DA INTERFACE GRÁFICA

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using System.Runtime.Serialization.Formatters.Binary;
using System.IO;

namespace basico_2_RS232
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        private List<string> dispositivos = new List<string>();
        private List<Permissao> permissoes = new List<Permissao>();
        private Dictionary<string, bool> estaLigadoDispositivo = new
Dictionary<string, bool>();
        public Form1 ()
        {
            InitializeComponent();
            dispositivos.Add("1");
            dispositivos.Add("2");
            dispositivos.Add("3");
            estaLigadoDispositivo.Add("1", false);
            estaLigadoDispositivo.Add("2", false);
            estaLigadoDispositivo.Add("3", false);
        }

        Boolean SistemaMonitorando = false;
        private void iniciarMonitoramento()
        {
            SistemaMonitorando = true;
        }

        private void pararMonitoramento()
        {
            SistemaMonitorando = false;
        }

        private void timer1_Elapsed(object sender,
System.Timers.ElapsedEventArgs e)
        {
            try
            {
                label5.Text = "Hora atual: " + DateTime.Now;
                if (SistemaMonitorando)
                {
                    labelEstadoDoSistema.Text = "Sistema monitorando...";
                    labelEstadoDoSistema.BackColor = Color.Green;
                }
                else
                {
                    labelEstadoDoSistema.Text = "Sistema parado...";
                    labelEstadoDoSistema.BackColor = Color.Red;
                }
                labelEstadoDoSistema.ForeColor = Color.White;
            }
        }
    }
}
```

```

        textBoxListagem.Text = "";
        foreach (Permissao p in permissoes)
        {
            textBoxListagem.Text += Environment.NewLine +
p.toString();
        }

        foreach (string s in dispositivos)
        {
            if (estaLigadoDispositivo[s])
            {
                if (s == "1")
                {
                    label6.Text = "Dispositivo 1 está desligado";
                    label6.ForeColor = Color.Red;
                }
                else if (s == "2")
                {
                    label7.Text = "Dispositivo 2 está desligado";
                    label7.ForeColor = Color.Red;
                }
                else if (s == "3")
                {
                    label8.Text = "Dispositivo 3 está desligado";
                    label8.ForeColor = Color.Red;
                }
            }
            else
            {
                if (s == "1")
                {
                    label6.Text = "Dispositivo 1 está ligado";
                    label6.ForeColor = Color.Green;
                }
                else if (s == "2")
                {
                    label7.Text = "Dispositivo 2 está ligado";
                    label7.ForeColor = Color.Green;
                }
                else if (s == "3")
                {
                    label8.Text = "Dispositivo 3 está ligado";
                    label8.ForeColor = Color.Green;
                }
            }
        }
        if (SistemaMonitorando)
        {
            Dictionary<String, bool> portas = new
Dictionary<string, bool>();
            DateTime dtAtual = DateTime.Now;
            foreach (Permissao p in permissoes)
            {
                DateTime dtHabilitar =
DateTime.Parse(p.horaHabilitar);
                DateTime dtDesabilitar =
DateTime.Parse(p.horaDesabilitar);
                bool diaOk = ehDiaUtil(dtAtual) && p.diasUteis ||
!ehDiaUtil(dtAtual) && p.diasNaoUteis;

```

diaOk)

```
        if (DateTime.Compare(dtHabilitar, dtAtual) < 0 &&
            DateTime.Compare(dtAtual, dtDesabilitar) < 0 &&
            diaOk)
        {
            if (!portas.ContainsKey(p.porta))
            {
                portas.Add(p.porta, true);
            }
            else
            {
                portas[p.porta] = true;
            }
        }
        else
        {
            if (!portas.ContainsKey(p.porta))
            {
                portas.Add(p.porta, false);
            }
        }
    }
    foreach (string s in portas.Keys)
    {
        if (portas[s])
        {
            ligar(s);
        }
        else
        {
            desligar(s);
        }
    }
    foreach (string s in dispositivos)
    {
        bool b = false;
        foreach (string s2 in portas.Keys)
        {
            if (s2 == s)
            {
                b = true;
                break;
            }
        }
        if (!b)
        {
            desligar(s);
        }
    }
}
catch (Exception ex)
{
    exibirMessage(ex.Message);
}
finally
{
    timer1.Start();
}
}
```

```

private bool ehDiaUtil(DateTime dt)
{
    bool diaInutil = dt.DayOfWeek == DayOfWeek.Saturday ||
dt.DayOfWeek == DayOfWeek.Sunday;
    return !diaInutil;
}

private void ligar(string dispositivo)
{
    if (!estaLigadoDispositivo[dispositivo])
    {
        escreverConsole("enviar " + dispositivo);
        if (!serialPort1.IsOpen)
        {
            serialPort1.Open();
        }
        serialPort1.Write(dispositivo);

        escreverConsole("enviou " + dispositivo);
    }
}

private void desligar(string dispositivo)
{
    if (estaLigadoDispositivo[dispositivo])
    {
        Dictionary<String, String> comandosDesligar = new
Dictionary<String, String>();
        comandosDesligar.Add("1", "a");
        comandosDesligar.Add("2", "b");
        comandosDesligar.Add("3", "c");
        escreverConsole("enviar " + comandosDesligar[dispositivo]);
        if (!serialPort1.IsOpen)
        {
            serialPort1.Open();
        }
        serialPort1.Write(comandosDesligar[dispositivo]);

        escreverConsole("enviou " + comandosDesligar[dispositivo]);
    }
}

private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
{
    label9.Text = "";
    pararMonitoramento();
    carregarDados();
    desligarTudo();
}

private void button8_Click(object sender, EventArgs e)
{
    iniciarMonitoramento();
}

private void button9_Click(object sender, EventArgs e)
{
    pararMonitoramento();
}

```

```

    }

    private void button7_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        try
        {
            inserirPermissao();
        }
        catch (Exception ex)
        {
            exibirMessage(ex.Message);
        }
    }

    private void exibirMessage(string msg)
    {
        MessageBox.Show(msg, "SisConCar", MessageBoxButtons.OK,
        MessageBoxIcon.Asterisk);
    }

    private void inserirPermissao()
    {
        Permissao p = new Permissao();
        p.diasNaoUteis = checkBoxDiasNaoUteis.Checked;
        p.diasUteis = checkBoxDiasUteis.Checked;
        p.porta = textBoxPorta.Text;
        if (!p.porta.Equals("1") && !p.porta.Equals("2") &&
        !p.porta.Equals("3"))
        {
            throw new Exception("As portas devem ser 1, 2 ou 3;");
        }
        p.horaHabilitar = dateTimePickerHabilitar.Text;
        p.horaDesabilitar = dateTimePickerDesabilitar.Text;

        DateTime time;
        string timeStr = p.horaHabilitar;
        if (!DateTime.TryParse(timeStr, out time))
        {
            throw new Exception("Formato de hora não reconhecido");
        }
        timeStr = p.horaDesabilitar;
        if (!DateTime.TryParse(timeStr, out time))
        {
            throw new Exception("Formato de hora não reconhecido");
        }
        permissoes.Add(p);
    }
    private void escreverConsole(string msg)
    {
        textBoxConsole.Text = DateTime.Now + " - " + msg +
        Environment.NewLine + textBoxConsole.Text;
        if (textBoxConsole.Text.Length > 10000)
        {
            textBoxConsole.Text = "";
        }
    }
    private void excluirPermissao(int id)
    {
        Permissao pExcluir = null;
        foreach (Permissao p in permissoes)

```

```

        {
            if (p.id == id)
            {
                pExcluir = p;
                break;
            }
        }
        permissoes.Remove(pExcluir);
    }
    private void textBoxListagem_TextChanged(object sender, EventArgs
e)
    {
    }
    private void button6_Click_1(object sender, EventArgs e)
    {
        if (textBoxIDExcluir.Text == "")
        {
            exibirMessage("Informe a porta.");
            return;
        }
        excluirPermissao(int.Parse(textBoxIDExcluir.Text));
        textBoxIDExcluir.Text = "";
    }
    private void salvarDados()
    {
        string dados = "";
        foreach (Permissao p in permissoes)
        {
            if (dados.Length > 0)
            {
                dados = dados + Environment.NewLine + p.toString();
            }
            else
            {
                dados = p.toString();
            }
        }
        string strCaminho = @Application.StartupPath + "\\dados.txt";
        System.IO.StreamWriter arqSaida = new
System.IO.StreamWriter(strCaminho);
        arqSaida.Write(dados);
        arqSaida.Close();
        arqSaida.Dispose();
    }
    private void carregarDados()
    {
        try
        {
            string strCaminho = @Application.StartupPath +
"\\dados.txt";
            using (System.IO.StreamReader texto = new
System.IO.StreamReader(strCaminho))
            {
                string linha;
                while ((linha = texto.ReadLine()) != null)
                {
                    string[] dados = linha.Split(';');
                    Permissao p = new Permissao();
                    p.diasNaoUteis =
bool.Parse(dados[5].Split(':')[1]);

```

```

        p.diasUteis = bool.Parse(dados[4].Split(':')[1]);
        p.porta = (dados[1].Split(':')[1]).Trim();
        p.horaHabilitar = (dados[2].Split(':')[1] + ":" +
dados[2].Split(':')[2] + ":" + dados[2].Split(':')[3]).Trim();
        p.horaDesabilitar = (dados[3].Split(':')[1] + ":" +
dados[3].Split(':')[2] + ":" + dados[3].Split(':')[3]).Trim();
        permissoes.Add(p);
    }
}
}
}
catch (Exception ex)
{
    escreverConsole(ex.Message);
}
}
private void timerSalvarDados_Elapsed(object sender,
System.Timers.ElapsedEventArgs e)
{
    salvarDados();
}
private void textBoxPorta_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
}
//salvar perfil
private void button10_Click(object sender, EventArgs e)
{
    SaveFileDialog saveFileDialog1 = new SaveFileDialog();
    saveFileDialog1.InitialDirectory = "c:\\";
    saveFileDialog1.Filter = "PSE files (*.pse)|*.pse";
    saveFileDialog1.Title = "Salvar Perfil";
    saveFileDialog1.ShowDialog();
    if (saveFileDialog1.FileName != "")
    {
        System.IO.FileStream fs =
(System.IO.FileStream)saveFileDialog1.OpenFile();

        BinaryFormatter bFormatter = new BinaryFormatter();
        bFormatter.Serialize(fs, this.permissoes);
        //stream.Close();
        fs.Close();
        label9.Text =
Path.GetFileNameWithoutExtension(saveFileDialog1.FileName);
    }
}
private void button11_Click(object sender, EventArgs e)
{
    pararMonitoramento();

    OpenFileDialog openFileDialog1 = new OpenFileDialog();

    openFileDialog1.InitialDirectory = "c:\\";
    openFileDialog1.Filter = "PSE files (*.pse)|*.pse";
    openFileDialog1.FilterIndex = 1;
    openFileDialog1.RestoreDirectory = true;

    if (openFileDialog1.ShowDialog() == DialogResult.OK)
    {
        try
        {
            using (Stream stream = openFileDialog1.OpenFile())

```


ANEXO E - PROTÓTIPO

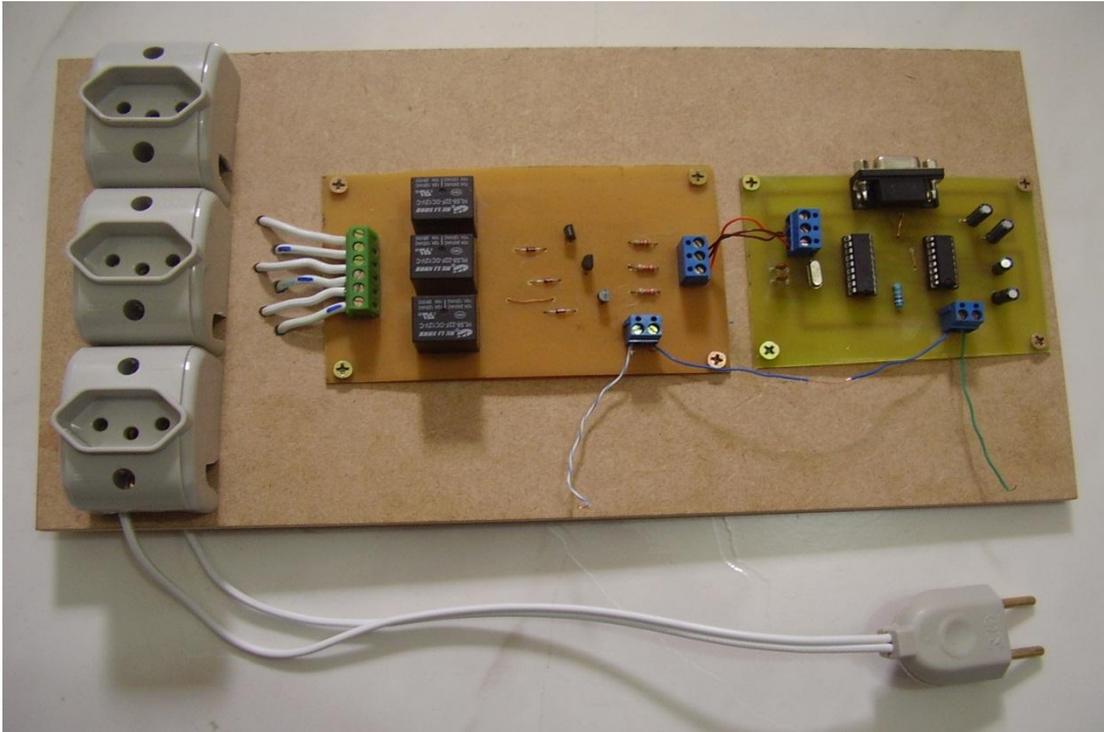


FIGURA 1 - Protótipo Montado para Demonstração