



## SAIGE - Sistema Autônomo Inteligente de Gerenciamento de Energia Elétrica para Semáforos Urbanos

Luis Ilderlandio da Silva Oluveira<sup>1</sup>, Róger Moura Sarmento<sup>2</sup>, Daniel dos Santos Saraiva<sup>3</sup>, Rogerio Lopez Vieira Cesar<sup>3</sup>, Thiago Pereira de Araujo<sup>5</sup>, Pedro Styfferson Pontes de Oliveira<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Tecnólogo em Mecatrônica Industrial e Especializando em Engenharia de Sistemas – ESAB. Professor no Instituto Centro de Ensino Tecnológico – CENTE. e-mail: ilderlucas@hotmail.com

<sup>2</sup>Tecnólogo em Mecatrônica Industrial e Especializando em Engenharia de *Software* com Ênfase em Fábrica de *Software* - FJN. Professor no Instituto Federal de Ciência, educação e tecnologia do Ceará – Campus Iguatu. e-mail: rogerms@ifce.edu.br

<sup>3</sup>Tecnólogo em Telemática e Especializando em Análise, Gestão e Projeto de Sistemas – Estácio de Sá. Professor no Instituto Federal de educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Iguatu. e-mail: daniel\_saraiva@live.com

<sup>4</sup>Tecnólogo em Mecatrônica Industrial e Especializando em Engenharia de Sistemas – ESAB. Professor no Instituto Centro de Ensino Tecnológico – CENTE. e-mail: rogerionqn1@hotmail.com

<sup>5</sup>Tecnólogo em Mecatrônica Industrial e Especializando em Automação Industrial – CENTEC. Professor no Instituto Federal de Ciência, educação e tecnologia do Ceará – Campus Cedro. e-mail: t.pereira.araujo@bol.com.br

<sup>6</sup>Tecnólogo em Mecatrônica Industrial e Especializando em Automação Industrial – CENTEC. Técnico da COELCE. e-mail: styfferson@yahoo.com.br

**Resumo:** Com o crescente avanço da tecnologia, os equipamentos eletrônicos vêm cada vez mais exercendo funções de grande importância no cotidiano urbano. Um exemplo são os semáforos eletrônicos, os quais estão localizados nas principais vias das cidades brasileiras. Em muitos casos, devido a pannes na rede elétrica de alimentação, esses equipamentos costumam ficar fora de operação, por algum tempo, causando transtornos aos motoristas e pedestres e até ocasionar graves acidentes de trânsito. Uma solução para essa problemática seria ter formas de alimentação viáveis para esses equipamentos, porém de forma controlada e sem que aumente o custo de implantação dos mesmos. Dessa forma o objetivo deste trabalho é descrever o desenvolvimento de um Sistema Autônomo Inteligente de Gerenciamento de Energia para Semáforos Urbanos, o qual gerencia três fontes de energias intercaladas para alimentação do semáforo, sendo uma dessas fontes de alimentação a energia solar, a qual é a fonte energia alternativa ideal, a fim de reduzir o desperdício e o custo de consumo. O sistema consiste de um circuito microcontrolado que gerencia as três formas de alimentação, a rede elétrica, uma bateria e um painel fotovoltaico, dependendo da situação do ambiente das vias e do estado das fontes de alimentação. A utilização desse sistema traz como benéficos, além da utilização de energia renovável (energia solar), uma economia de quase 100% dos gastos que eram gerados com o uso de energia elétrica.

**Palavras-chave:** energia solar, microcontrolador, painel fotovoltaico, semáforo urbano, sistema autônomo

### 1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia e a diminuição de custos de fabricação, os equipamentos eletrônicos estão cada vez mais presentes no cotidiano das cidades e inserindo-se em todos os setores, tais como: telecomunicações, indústria, transporte, saneamento, estações meteorológicas, e distribuição de energia elétrica.

Um exemplo que pode ser ressaltado são os semáforos eletrônicos, os quais, nos dias de hoje, são encontrados até nas vias das pequenas cidades. Estes são de suma importância para o controle e gerenciamento, tanto do tráfego de automóveis como de pedestres. Encontrar um semáforo fechado pode parecer ruim, porém o pior é quando o mesmo deixa de funcionar, devido muitas vezes a problemas na rede elétrica, causados pela chuva, apagões, ou até mesmo acidentes que venham a cessar a alimentação do semáforo. Problemas como estes podem causar grandes prejuízos aos motoristas e pedestres, bem como ocasionar graves acidentes de trânsito.

Neste cenário, observasse a necessidade de outras fontes de alimentação que venham a substituir a rede elétrica, deixando a mesma como uma opção auxiliar. Uma opção bastante interessante, os semáforos poderiam ser alimentados por energia solar durante o dia e por um banco de baterias durante à noite.



Esse trabalho propõe o desenvolvimento de um Sistema Autônomo Inteligente de Gerenciamento de Energia Elétrica – SIAGE, o qual apresenta como inovação o gerenciamento autônomo e inteligente de três fontes de energia, sendo elas a própria rede elétrica, um banco de baterias e a energia solar. Com o SIAGE instalado no semáforo, o mesmo faz uma avaliação a cada milissegundo, e decide qual a melhor forma de alimentação para o equipamento em um determinado momento.

A prioridade do equipamento é trabalhar com energia solar, por meio de placas fotovoltaicas, que é sua principal fonte de alimentação. Mas, a placa fotovoltaica não conseguir gerar energia suficiente, o SIAGE passará a utilizar o banco de baterias, as quais são carregadas com a energia proveniente das placas fotovoltaica paralelamente a alimentação do semáforo. E, caso não tenha sol ou esteja no período da noite e as baterias estejam descarregadas o SIAGE passará a utilizar a rede elétrica para garantir o funcionamento do semáforo.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: introdução, materiais e métodos utilizados no desenvolvimento do SIAGE; o *hardware*, o *firmware*, e a implementação do sistema; os resultados da implementação; conclusão.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O SAIGE foi desenvolvido na Escola Estadual de Educação Profissional Amélia Figueiredo de Lavor. Foram utilizadas para o seu desenvolvimento referências bibliográficas, equipamentos diversos, *software* PROTEUS 7.0, compilador para microcontroladores pic PIC-C, componentes eletrônicos, protoboard, microcontrolador PIC16F877 e computadores.

O início do desenvolvimento se constituiu da pesquisa bibliográfica sobre energia solar, gastos com energia elétrica em semáforos urbanos, materiais utilizados para construção de semáforos, análise e elicitação de requisito em geral. Em seguida foi feito a especificação do sistema, com todos os requisitos para o funcionamento.

Baseado nas especificações foi necessário adquirir os componentes que constituiriam o *hardware* do sistema. De posse dos manuais dos componentes, foi feito o estudo para se conhecer as características e o modo de operação de cada um deles.

Iniciou-se então o processo de implementação. Com base nas definições obtidas começou-se a configuração do sistema, utilizando o *software* de simulação de circuitos PROTEUS 7.0, o desenvolvimento do *firmware* que controla o *hardware*, juntamente com a ferramenta PIC-C Compiler CSS 4.114.

Com base no que foi desenvolvido com os simuladores foi iniciado a montagem do protótipo em uma protoboard. O *firmware* do protótipo foi desenvolvido em linguagem C, utilizando-se para isso o *software* PIC-C Compiler CSS 4.114. Foram implementadas rotinas de temporização e controle dos displays de sete segmentos, das lentes de todas as vias representados por led's nas cores: verde, amarelo e vermelho e rotinas de gerenciamento que monitoram os níveis de tensão das três possíveis fontes de alimentação do sistema. Após a implementação de todas as rotinas, foram realizados os testes com o protótipo funcional.

## 3. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

A descrição do sistema está composta por sessões que abordam as características do *hardware* e do *firmware* de controle do sistema proposto.

### 3.1 HARDWARE

O *hardware* do SIAGE é representado na figura 1. Os elementos principais são o microcontrolador, controlador de carga *trace engineering controller load listed* 41XM.

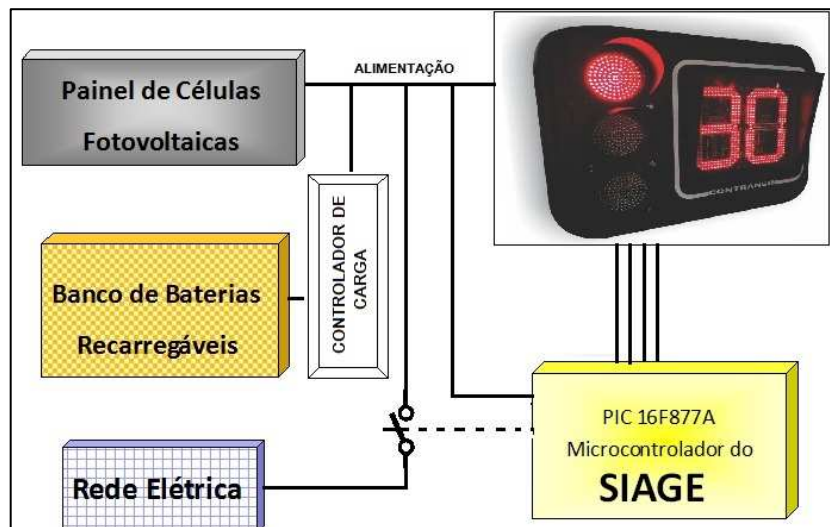


Figura 1 – Diagrama de Blocos do SIAGE

### 3.1.1 Microcontrolador

Em quase todo projeto de pesquisa e desenvolvimento de um produto na área da engenharia eletrônica ou teleinformática, a escolha de um microcontrolador que satisfaça as necessidades do projeto é de fundamental importância para o sucesso do desenvolvimento.

De acordo (PEREIRA, 2005), a aplicação de microcontroladores em um projeto, agrega vários benefícios, entre eles:

- a) Redução do número de componentes;
- b) Facilidade de implementação de algoritmos de controle complexos;
- c) Redução do tempo necessário para criação de novos projetos;
- d) Facilidade na alteração dos algoritmos.

O microcontrolador escolhido como elemento principal do *hardware* do SIAGE foi o PIC 16F877A este microcontrolador da família "MID-RANGE" de 8 *bits* e núcleo de 14 *bits* fabricado pela Microchip Technology. Sua frequência de operação (*clock*) vai até 20MHz, resultando em uma velocidade de processamento de 5 MIPS (milhões de instruções por segundo). Este microcontrolador é caracterizado por operar em baixa voltagem e apresentar baixo consumo de energia. O PIC 16F877A é dotado de 35 instruções básicas e suas funções periféricas são as seguintes:

- a) Possui memória *flash* de programa com 8192 palavras de 14 *bits*;
- b) Memória RAM com 368 bytes e memória EEPROM com 256 bytes;
- c) Pode funcionar com alimentação de 2V a 5,5V;
- d) Sua pinagem DIP tem 40 pinos;
- e) 5 conjuntos de portas de entrada e saída (total de 33 portas);
- f) Conversor analógico-digital de 10 *bits* de resolução e 8 canais de entrada;
- g) Periférico de comunicação paralela e serial (USART e MSSP);
- h) 2 Módulos CCP (Comparação, Captura e PWM);
- i) 3 *Timers* (1 de 16 *bits* e 2 de 8 *bits*);
- j) *Watchdog timer*.

O PIC16F877A é bastante usado em sistemas de automação com grande número de aplicações devido ao seu número de pinos, ele é muito versátil para projetos que envolvam um grande poder de processamento, o mesmo também é bastante utilizado em projetos de controle e comunicação visual como: placares eletrônicos, painel de mensagem, controle de display de LCD ou LED, painel de senha, relógios de hora e temperatura em vias públicas.

### 3.1.2 Controlador de Carga



Controlador de carga e descarga é um componente utilizado nos sistemas fotovoltaicos para gerenciar e controlar o processo de carga e descarga do banco de baterias. O controlador permite que as baterias sejam carregadas completamente e evita que sejam descarregadas abaixo de um valor seguro. É instalado eletricamente entre o painel de células fotovoltaicas e as baterias.

Neste projeto foi utilizado o *Controller Load Listed* 41XM C40 da empresa *Trace Engineering*, o qual pode trabalhar com três níveis de tensão 12, 24 e 48 Vdc e com um limite de até 40 Amp.

O controlador de carga trabalha juntamente com o SIAGE, o mesmo tem a função de verifica à tensão das baterias para determinar seu estado de carga e controlar a intensidade de corrente que flui do painel fotovoltaico para as baterias durante a sua recarga, na medida em que estas se aproximam da sua carga máxima.

### 3.1.3 Painel Solar Fotovoltaico

Painéis solares fotovoltaicos são dispositivos utilizados para converter a energia da luz do sol em energia elétrica. Os painéis solares fotovoltaicos são compostos por células solares ou células fotovoltaicas. As mesmas criam uma diferença de potencial elétrico por ação da luz (seja do Sol ou da sua casa.). As células solares contam com o efeito fotovoltaico para absorver a energia do sol e fazem a corrente elétrica fluir entre duas camadas com cargas opostas.

Nesse presente projeto foi utilizado um painel de células fotovoltaicas Komaes, modelo KM(P)20, pesa apenas 2,4Kg e tem dimensões de 500 x 350 x 28 (mm). Este módulo fotovoltaico foi certificado pelo INMETRO, apresentando eficiência de 10,7% e nota “E”. Este painel tem como principais dados elétricos:

- a) Potência máxima de 20 W;
- b) Tolerância da potência de  $\pm 5\%$ ;
- c) Tensão de potência máxima 17,56 V;
- d) Corrente da potência máxima 1,14 A;
- e) Tipo de células: Silício Policristalino.

O painel fotovoltaico utilizado para alimentação tanto do SIAGE como do semáforo tem baixo custo e rendimento elevado, pois o mesmo gera até 100W de energia com uma incidência de 5 horas de sol em média. Tornando a placa Komaes KM(P)20 um equipamento aceitável para o projeto do SIAGE.

## 3.2 FIRMWARE

O *Firmware* se constitui das rotinas que comandam o *hardware* do sistema. As funções básicas que controlam o sistema englobam as etapas de gerenciamento das lentes das vias e displays de amostragem de tempo e leitura e análise do nível de energia fornecida pela bateria e o painel de células fotovoltaicas.

### 3.2.1 Gerenciamento das Lentes das Vias e Display de Amostragem de Tempo

Esta é a etapa de configuração do sistema e é executada assim que é inicializado. O  $\mu C$  realiza esta operação via *software* inicializando as variáveis de temporização que ditam o tempo que uma via vai passar em verde, amarelo ou vermelho e trata de inicializar e decrementar o valor do tempo do display da via que está com a lente verde ativada, o protótipo foi construído baseando-se em um cruzamento de três vias.

### 3.2.2 Leitura e Análise dos Níveis de Energia Operação

Este procedimento é o que realiza o gerenciamento das fontes de energias possíveis no sistema geral, para entender o seu funcionamento é importante ressaltar que à placa fotovoltaica está conectada fisicamente a bateria através de um dispositivo controlador de carga, este controlador faz com que a bateria seja carregada quando a placa solar estiver fornecendo energia suficiente e faz com que a bateria forneça energia para o sistema quando o painel solar não estiver fornecendo energia assim só é preciso lê a energia que sai depois das placas e do controlador de carga, quem realiza esta função é um



$\mu$ C que lê a todo instante este nível de energia, quando a tensão está em estado crítico o micro ativa um relé que liga a fonte de energia da rede elétrica, garantindo assim o funcionamento do sistema de controle e do semáforo, quando a placa volta a fornecer energia suficiente para alimentar o sistema o  $\mu$ C detecta novamente e coloca o painel fotovoltaico como fonte de alimentação do semáforo.

#### 4. IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

Um protótipo do sistema do SIAGE foi implementado e montado em uma protoboard no laboratório de *hardware* da EEEP Amélia Figueiredo de Lavor e colocado para teste em uma maquete reduzida de um cruzamento de três vias. O *hardware* do SIAGE foi desenhado, simulado e testado primeiramente no *software* de simulação de circuitos eletrônicos, o Proteus 7.0. a figura 2 abaixo mostra o protótipo de teste do SIAGE:



Figura 2 – Protótipo de teste do SIAGE

O *firmware* foi feito no PIC-C Compiler CSS versão 4.114, que é um poderoso compilador para microcontroladores PIC's. Utiliza a linguagem C e possui uma grande biblioteca com instruções de uso. O *firmware* está composto de todas as rotinas para gerenciamento das lentes das vias e display de amostragem de tempo e leitura e análise dos níveis de energia do painel de células fotovoltaicas, banco de baterias e rede elétrica. A figura 3 mostra um fluxograma do gerenciamento das fontes de alimentação feito pelo *firmware* do SIAGE durante a escolha da fonte de energia mais adequada para alimentação do sistema e do semáforo:

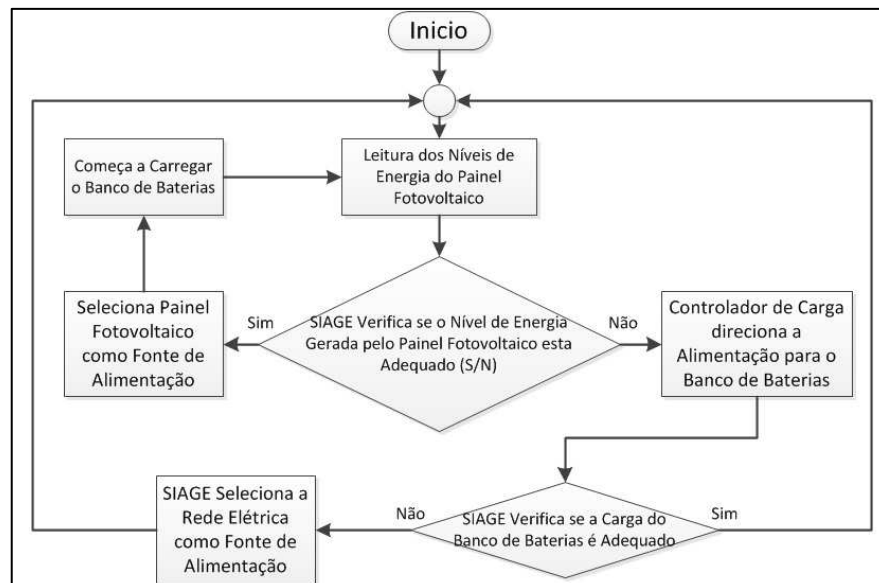


Figura 3 – Fluxograma do gerenciamento autônomo e inteligente da fonte de alimenta feito pelo SIAGE

Depois de simulado e testado o *firmware* foi gravado no microcontrolador do SIAGE e implementado em uma protoboard e simulado em uma

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na pesquisa realizada quanto aos gastos com energia elétrica identificou-se que os onze semáforos instalados na cidade de Iguatu, Ceará, provocam em média um gasto mensal de aproximadamente 2.270,46 reais, dados disponibilizados pela Secretaria de Trânsito e Cidadania da cidade. Levando em consideração que os gastos para desenvolvimento e implantação do projeto em um protótipo experimental não ultrapassou 300,00 reais, como mostra a tabela 1.

Tabela 1 – Preço dos equipamentos gasto no desenvolvimento e implementação do protótipo do SIAGE

Equipamentos	Preço
Painel Solar Fotovoltaico Policristalino de 20W Komaes Solar – KM(P)20	R\$ 240,00
Controlador de Carga <i>Controller Load Listed</i> 41XM C40	R\$ 40,00
Microcontrolador PIC 16F877A	R\$ 20,00
Regulador de Tensão 7805 e 78012	R\$ 20,00
Transistores, Diodos, Resistores, Réle e Led's	R\$ 40,00
<i>Display</i> de 7 segmentos	R\$ 20,00
Bateria Estacionária Freedom DF300	R\$ 150,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 380,00</b>

Quanto ao protótipo desenvolvido foi possível alcançar os objetivos traçados para o gerenciamento inteligente das fontes de alimentação do projeto, pois o mesmo ler com precisão a disponibilidade das fontes e seleciona com segurança ao semáforo a fonte de energia adequada tendo como prioridade de alimentação do sistema a fonte de energia solar e somente em último caso o uso da rede elétrica. De acordo com os dados da tabela 1 fica claro que o SIAGE dimensionado para aplicação



real e sendo implantado nos onze semáforos da cidade de Iguatu, o projeto se paga em no máximo um ano, daí para frente os gastos são com manutenção que são mínimos, e o uso da rede elétrica em possíveis dias nublados, permitindo uma economia de aproximadamente 90% do valor gasto com a energia elétrica durante o uso da solução com energia solar.

Sabendo que a implementação em tamanho real utiliza a mesma lógica e o mesmo circuito desenvolvido, bastando apenas dimensionar os dispositivos eletrônicos para o funcionamento em tamanho real é possível afirmar que o projeto é viável e pode ser implantado na cidade local e em outras cidades que tenha um bom índice de incidência solar.

## 6. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados da simulação em *software* e testes feitos com uma maquete de simulação, o SIAGE controlou de forma satisfatória as três fontes de energia: a energia solar que é fornecida pelo painel de células fotovoltaicas, a energia fornecida pelo banco de baterias e a energia fornecida pela rede elétrica. O SIAGE executou seu controle de forma efetiva, pois o mesmo só faz uso da rede elétrica para alimentação dos semáforos e do próprio SIAGE se em primeiro lugar a placa de células fotovoltaicas não estiver fornecendo um nível de alimentação satisfatório e em segundo lugar o banco de baterias estiver com um nível de carga insuficiente para alimentação do semáforo e do SIAGE.

Outra pesquisa realizada para conclusão do projeto foi sobre a utilização de energia solar, ou energia verde, pode-se ver que a energia solar é uma ótima alternativa para criação de energia elétrica por ser um tipo de fonte totalmente renovável e muito limpa, bem como, os investimentos na tecnologia são viáveis com o tempo de implantação. No caso do projeto abordado ficou clara a viabilidade do desenvolvimento do mesmo, uma economia imensa que poderá ser feita com substituição da solução existente pela a que foi apresenta neste.

Identifica-se também que este tipo de solução pode ser aplicado em vários casos, já que na região tem um alto índice de incidência solar, significando que este tipo de aplicação é altamente viável.

## REFERÊNCIAS

IDOETA, V. I.; CAPUANO, F. G. **Elementos de Eletrônica Digital**. 1º ed. São Paulo: Érica, 2001.

ORDONEZ, E. D. M.; PENTEADO, C. G.; SILVA, A. C. R. **Microcontroladores e FPGAs: Aplicações em Automação**. São Paulo: Novatec, 2005.

PALZ, W. **Energia Solar e Fontes Alternadas**. 2 ed. São Paulo: Hemus Livraria, 2005.

PEREIRA, F. **Microcontroladores PIC: Programação em C**. São Paulo: Érica, 2005.

PEREIRA, F. **Microcontroladores PIC: Técnicas Avançadas**. 6 ed. São Paulo: Érica, 2002.

SOUZA, D. J. **Desbravando o PIC**. 12 ed. São Paulo: Érica, 2007.

WALISIEWICZ, M. **Energia Alternativa: Solar, Eólica, Hidrelétrica e de Biocombustíveis**. 1ª ed. São Paulo: Publifolha, 2008.