



GRUPO XIV

GRUPO DE ESTUDO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - GCE

SISTEMA INTEGRADO DE GESTÃO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

**Agnelo Marotta Cassula^{*1} Peterson Ribeiro Agostinho^{2,3} José Celso Freire Junior¹
Ademir Donisete Cardoso^{1,3} Carlos Takeo Takahashi³**

¹ UNESP – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

² Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA

³ Digtron – Desenvolvimento de Sistemas Embarcados

RESUMO

O artigo apresenta um Sistema Integrado de Gestão de Iluminação Pública, baseado em um circuito “dimerizador” de lâmpadas, ou seja, um controle automático que varia a intensidade da luz artificial conforme a luminosidade da luz natural e o período do dia. O sistema é composto por 3 módulos: Módulo Local de Controle; Módulo Central de Comunicação; e Servidor de Monitoramento e Controle. A comunicação entre os módulos se utiliza das tecnologias RS485/PLC, GPRS/GSM (telefonia celular) e Internet. O sistema proposto é extremamente flexível, pois possibilita controlar a intensidade da iluminação de qualquer poste do sistema, através de um único computador (servidor) alocado no centro de operações. Um exemplo da economia que pode ser obtida com a implementação deste sistema será apresentado, bem como outras aplicações e facilidades disponibilizadas pelo sistema.

PALAVRAS-CHAVE

Iluminação pública, eficiência energética

1.0 - INTRODUÇÃO

A iluminação pública (IP) é essencial para a qualidade de vida da comunidade. Também é de fundamental importância para o desenvolvimento social e econômico dos municípios e constitui-se num dos vetores importantes para a segurança pública dos centros urbanos no que se refere ao tráfego de veículos e de pedestres e à prevenção da criminalidade. Além disso, valoriza e ajuda a preservar o patrimônio urbano, embeleza o bem público, e propicia o desenvolvimento de atividades noturnas de lazer, comércio, cultura e outras.

No Brasil, a iluminação pública corresponde a aproximadamente 7% da demanda nacional e a 3,3% do consumo total de energia elétrica do país, o equivalente a uma demanda de 2,2 GW e a um consumo de 9,7 bilhões de kWh/ano (1). Tendo em vista o descompasso entre o crescimento da oferta e do consumo de energia elétrica no país, a busca de um sistema de iluminação pública mais eficiente assume um papel estratégico e de fundamental importância no cenário nacional.

Utilizar a energia com responsabilidade, sem desperdício, constitui um novo parâmetro a ser considerado no exercício da cidadania. A conservação da energia elétrica leva à exploração racional dos recursos naturais. Isso significa que, conservar energia elétrica ou combater seu desperdício é a fonte de produção mais barata, além de ser a mais limpa, pois não agride o meio ambiente. A disponibilidade adicional de geração, pela economia no consumo, chega a ser de 5 a 10 vezes menos onerosa que novos investimentos na geração e transmissão (2).

Nesse trabalho propõe-se uma solução tecnológica para implementar um sistema integrado de gestão de iluminação pública, que permite controlar a quantidade de luz emitida em cada ponto luminoso. Com o sistema proposto e estabelecidos certos critérios, pode-se obter uma redução da demanda no horário de ponta e redução do consumo de energia mediante operação em regime parcial de potência em determinados horários do dia. Adicionalmente, a logística de troca e manutenção de lâmpadas do município se torna mais eficiente, uma vez que é possível identificar em tempo real um defeito isolado no sistema.

2.0 - SISTEMA INTEGRADO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A rede do sistema integrado de iluminação pública (SI-IP) proposta neste artigo está representada na Figura 1, sendo composta por 3 partes: um Módulo Local de Controle (MLC); um Módulo Central de Comunicação (MCC); e um Servidor de Monitoramento e Controle (SMC). Cada MLC está associado a uma lâmpada e representa um ponto do sistema. Vários MLCs são ligados a um único MCC, formando um Setor no sistema. O MCC atua como ponte (*gateway*) entre os MLCs do Setor e o Servidor SMC, ou seja, o Servidor está conectado a vários MCCs e cada MCC representa um Setor que está ligado a um conjunto de MLCs.

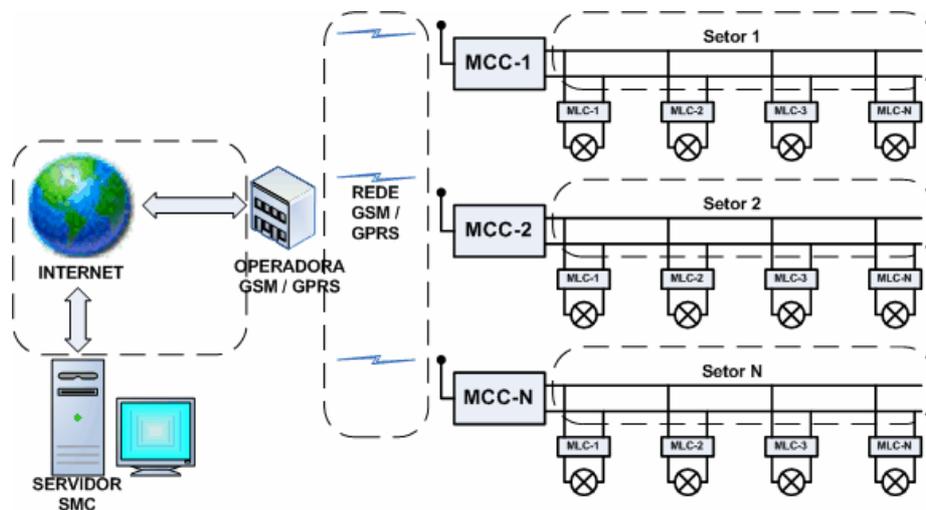


FIGURA 1 – Sistema Integrado de Iluminação Pública.

A seguir é apresentada uma descrição detalhada das partes que compõem o SI-IP, especificando como é realizada a comunicação entre os módulos.

2.1 Módulo Local de Controle (MLC)

O diagrama em blocos do MLC é apresentado na Figura 2. Este módulo apresenta um circuito microprocessado que recebe as informações de controle do circuito de comunicação. A partir das informações recebidas o sistema atua no reator dimerizável, variando a intensidade da luz proveniente da iluminação pública.

Inicialmente no circuito de comunicação se utilizou uma interface serial RS485, que é uma interface de dois fios que interliga o MCC a vários MLCs. A grande desvantagem dessa tecnologia é a necessidade de criar uma infraestrutura, com cabos dedicados, para realizar a comunicação. No entanto, pela facilidade de sua implementação e confiabilidade de sua comunicação, os primeiros testes foram realizados utilizando a comunicação RS485.

Atualmente encontra-se em desenvolvimento a comunicação utilizando a tecnologia PLC (*Power Line Carrier*), onde os dados trafegam nos condutores da própria rede de distribuição, sem a necessidade de cabos adicionais. No sistema de comunicação PLC em desenvolvimento utiliza-se o componente ST7538 (3), da companhia ST Microelectronics, que permite enviar/receber dados na taxa máxima de 4.800 bits/s. O circuito utilizado para implementar a comunicação na rede PLC é apresentado na Figura 3.

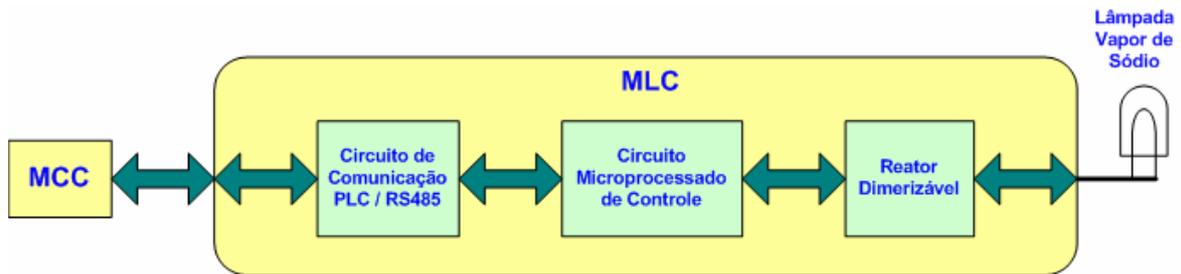


FIGURA 2 – Diagrama em Blocos do MLC.

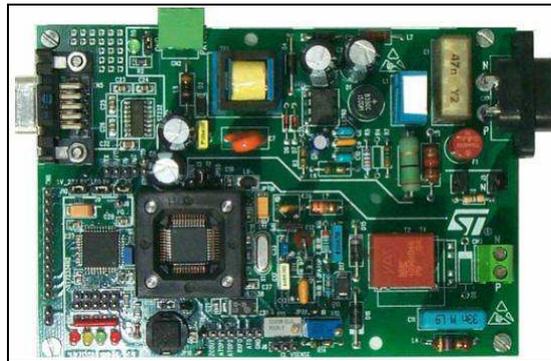


FIGURA 3 – Kit de desenvolvimento do ST7538.

Para implementar o circuito microprocessado do MLC, responsável pelo controle da intensidade de luz (dimer), utilizou-se o microcontrolador ARM AT91SAM7S64 da Atmel (4). Este microcontrolador recebe as instruções do circuito de comunicação e atua no controle da intensidade de luz através de um reator dimerizado.

O reator utilizado foi o modelo HID-DV 150 da Philips, que é um reator eletrônico dimerizável compacto para aplicações em lâmpada de sódio, cuja foto é apresentada na Figura 4. Entretanto, outros modelos de reatores podem ser utilizados, dependendo das necessidades.



FIGURA 4 – Reator HID-DV 150 da Philips.

O reator HID-DV 150 da Philips (5) possui um sinal de controle analógico de 1-10 V, e o gráfico que relaciona o fluxo luminoso e potência com a tensão de controle é apresentado na Figura 5 (5). Observa-se na Figura 5 que o reator permite controlar (variar) a potência da lâmpada de aproximadamente 40% até 100% de sua potência. Desta maneira é possível implementar um controle de variação da intensidade de luz e, conseqüentemente da potência, de uma lâmpada de IP dependendo da incidência de luz natural. Este controle pode ser realizado individualmente para cada lâmpada pertencente à rede do sistema integrado de iluminação pública.

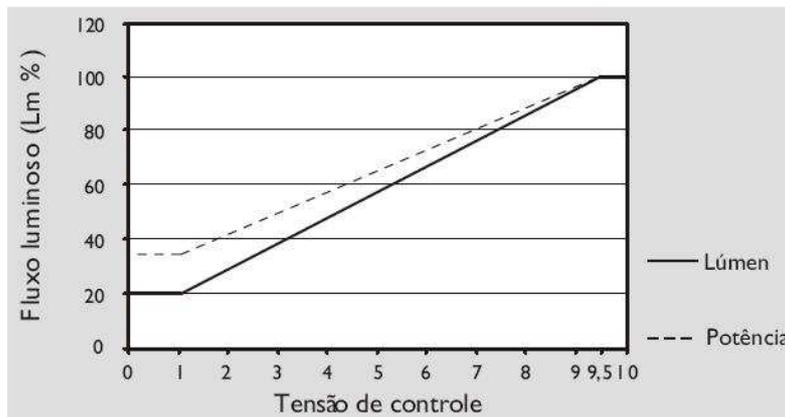


FIGURA 5 – Potência e fluxo luminoso em função da tensão de controle do HID-DV 150.

2.2 Módulo Central de Comunicação (MCC)

O circuito de comunicação entre MCC-MLC, conforme mencionado anteriormente, foi inicialmente feito utilizando a interface serial RS485. A comunicação via rede PLC encontra-se em desenvolvimento. O diagrama em blocos do MCC é apresentado na Figura 6, sendo composto por três partes: GPRS, circuito microprocessado de controle e o circuito de comunicação PLC/RS485.

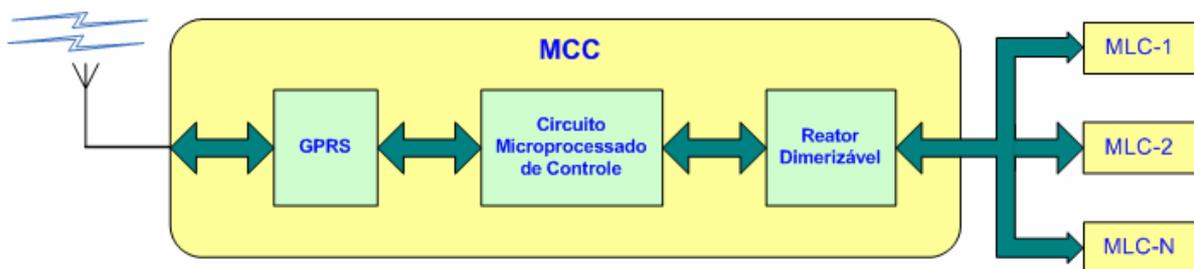


FIGURA 6 – Diagrama em Blocos do MCC

O GPRS (*General Packet Radio Service*) é responsável por receber/transmitir os dados do servidor SMC. Trata-se de transmissão de dados sem fio (*wireless*) utilizando a infra-estrutura das operadoras de telefonia celular GSM.

O circuito microprocessado tem como elemento principal também o microcontrolador AT91SAM7S64 da Atmel, analogamente ao módulo MLC. Neste caso o microcontrolador é responsável por controlar o GPRS e o tráfego de dados pelo circuito de comunicação, que é o mesmo utilizado no MLC. A foto do circuito desenvolvido para o MCC é apresentada na Figura 7.



FIGURA 7 – Foto do MCC

2.3 Servidor de Monitoramento e Controle (SMC)

O SMC consiste de um computador conectado a Internet e um software de gerenciamento (SG) que foi desenvolvido para esta aplicação. A comunicação com os MCCs é feita utilizando a infra-estrutura das operadoras de telefonia celular. O SG foi implementado em linguagem Java e o driver de comunicação em linguagem C.

As lâmpadas são geopositionadas sobre os mapas da região utilizando-se o Google Maps (6), que é um serviço gratuito de pesquisa e visualização de mapas e fotos, fornecidos pela empresa Google através da Internet. Este serviço ainda disponibiliza uma API (*Application Programm Interface*) que permite uma interação com a base de dados dos mapas através da linguagem JavaScript. Ou seja, é possível incluir símbolos, textos, animações etc sobre os mapas. Para a aplicação proposta neste trabalho, a posição (latitude e longitude) de cada MLC e MCC foi levantada e armazenada no banco de dados do servidor. Dessa forma o software de gerenciamento interage com a base de dados do Google Maps gerando telas de visualização do sistema, com as lâmpadas geopositionadas, conforme apresentado na Figura 8.

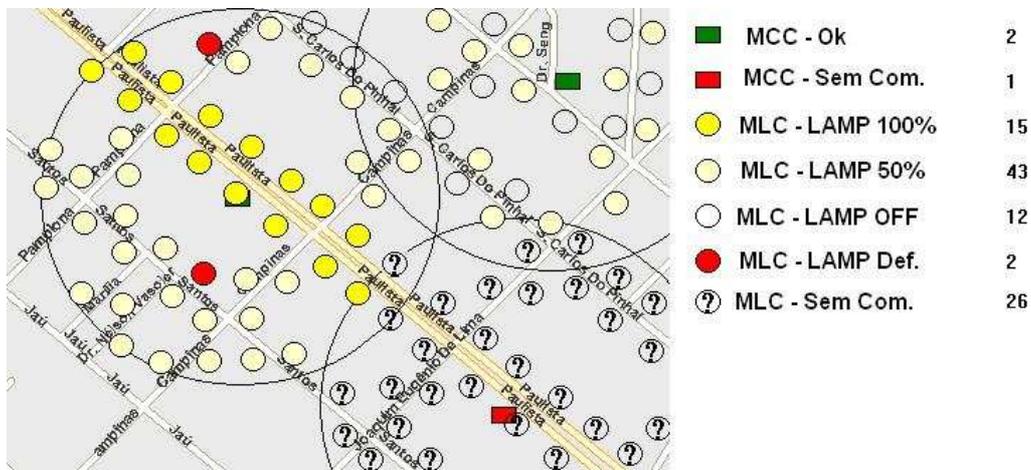


FIGURA 8 – Foto da tela do SMC

O círculo maior apresentado na Figura 8, que envolve vários MLCs, representa um Setor do sistema que é controlado por um determinado MCC. A comunicação entre os vários MCCs e o SMC é feita através de um driver de comunicação localizado no servidor, que é responsável por pegar as informações de todos MCCs e armazenar em um banco de dados.

Cada MLC tem um número de identificação (ID) e, assim, é possível conhecer o *status* de cada ponto de iluminação (MLC), de uma maneira gráfica e *on-line*. Por exemplo, se o MLC apresentar uma coloração amarela escura, indicará que a lâmpada está funcionando com 100% de sua capacidade. Já a coloração amarelo claro indicará que a lâmpada está funcionando com 50% de sua potência, ou seja, diferentes cores indicam diferentes situações conforme apresentado na legenda da Figura 8. Na mesma figura, observa-se que ao lado da legenda aparece a quantidade de elementos que se encontram em uma determinada situação. Por exemplo, existem 26 pontos de iluminação (MLC) sem comunicação.

Por se tratar de um sistema que utiliza a internet como um dos meios de comunicação, um aspecto importante a se tratar é a segurança e confiabilidade da comunicação entre MCC e SMC. A integridade dos dados é assegurada mediante quatro níveis de verificação, sendo três níveis do próprio protocolo TCP/IP (protocolo utilizado na Internet) e um nível de verificação proprietário adicional. No nível do protocolo TCP/IP a verificação de erros é realizada por um algoritmo que gera um código de redundância cíclica de 32 bits, que se aplica a toda extensão do pacote. Adicionalmente, um nível de verificação com código proprietário gera um código verificador de erro de 16 bits (65535 possibilidades), de forma que se houver alteração de algum bit durante a transmissão, a mesma será detectada e será requisitada reenvio do pacote.

O sistema também é seguro contra invasões, uma vez que opera como uma rede privativa (um túnel fechado de comunicação entre MCCs-SMC). A comunicação é sempre inicializada pelo MCC e nunca pelo SMC e, para que a conexão seja estabelecida, é necessário que o SMC valide uma senha de 64 bits (18×10^{18} possibilidades) enviada pelo MCC.

3.0 - APLICAÇÃO PRÁTICA

Um projeto de iluminação pública deve obedecer aos seguintes aspectos:

- classificação e zoneamento das vias segundo sua importância (tráfego de veículos, trânsito de pedestres, importância comercial, etc);
- fixação dos níveis de iluminância;
- seleção das lâmpadas e luminárias a serem utilizadas;
- localização das luminárias;

A norma brasileira para iluminação pública (NBR5101) classifica as vias, conforme sua natureza, em: A, B e C. Nessa classificação, a Classe A representa as vias rurais, a Classe B as vias de ligação entre centros urbanos e suburbanos e a Classe C as vias urbanas, com construções ao longo da via e presença de pedestres ou tráfego motorizado em maior ou menor escala.

De acordo com o trânsito de veículos a classificação é feita conforme apresentado na Tabela 1 (7). A Tabela 2 (7) apresenta a classificação em relação ao trânsito de pedestres.

TABELA 1 – Classificação segundo trânsito de veículos

Classificação	Número de Veículos no horário noturno
Tráfego leve	150 a 500
Tráfego médio	500 a 1200
Tráfego intenso	Acima de 1200

TABELA 2 – Classificação segundo trânsito de pedestres

Classificação	Pedestres cruzando as vias
Deserto	Não há praticamente pedestres
Leve	Rua de bairros residenciais
Médio	Ruas comerciais secundária
Intenso	Ruas comerciais primárias

Esse trabalho está focado nas vias classe B e C, onde se concentra a maior parte do consumo de energia elétrica. Para essas classes, a iluminância média (medida sobre um plano hipotético distante 10 a 15cm do pavimento) é apresentada na Tabela 3 (7).

TABELA 3 – Níveis mínimos de iluminância média

Trânsito de Pedestres	Tráfego motorizado		
	Leve	Médio	Intenso
Leve	3	7,5	15
Médio	7,5	15	20
Intenso	15	20	25

Em testes realizados na cidade de São José dos Campos/SP em março de 2007, verificou-se que os postes de iluminação das vias referentes as classes B e C acendem quando a iluminância (E) natural atinge valores entre 50 a 80 lux, o que representa um nível médio de 65 lux. Para esses níveis de iluminação natural, o acrescimento da iluminância proveniente da iluminação artificial quase não surte efeito na claridade do ambiente.

Observou-se também que somente quando a iluminação natural atingir uma iluminância em torno de 25 lux é que a iluminação artificial apresenta-se mais eficiente, tornando-se nesta situação a principal responsável pela claridade do ambiente. O tempo decorrido desde o acendimento da lâmpada até que a iluminância atinja o nível de 25 lux é de aproximadamente 30 minutos.

Tendo por base estas constatações, pode-se realizar o acionamento da IP 30 minutos mais tarde e, analogamente, o desligamento das lâmpadas pode ocorrer 30 minutos mais cedo. Somente com estes ajustes é possível obter uma economia de 1 hora por dia. Considerando que a iluminação pública fica ativa 11 horas por dia, a economia de 1 hora por dia representa 9,1%.

Um outro aspecto que se verificou foi que mesmo a IP entrando em funcionamento 30 minutos mais tarde, quando a iluminância atinge cerca de 25 lux, ainda existe iluminação natural, e as lâmpadas fornecendo apenas 50% de sua potência ainda mantêm a iluminação adequada por um certo período. Através de observações e cálculos estima-se que a lâmpada pode permanecer em 50% da potência por um período de aproximadamente 40 minutos. Como o mesmo procedimento pode ser repetido durante o processo de desligamento da IP, se obtém 80 minutos por dia a uma potência de 50%, o que equivale a uma economia diária de 40 minutos, ou uma economia de 6,1%.

Um terceiro ponto a ser considerado é a economia de energia que pode ser obtida durante o período da madrugada. Nesse período, muitos lugares passam a ter baixo nível de trânsito de pedestres e/ou veículos, o que permite uma redução na potência das lâmpadas. Considerando que as lâmpadas permaneçam com 50% da potência durante 4 horas por dia no período da madrugada, tem-se uma redução de consumo de energia de 2 horas por dia, ou uma redução de 18,2% no consumo diário.

A Tabela 4 apresenta a porcentagem de redução de consumo de energia para cada um dos três pontos citados.

TABELA 4 – Porcentagens de redução de energia

Tipo de Redução	Porcentagem de Redução de Consumo
Ponto de acionamento	9,1%
Transição do anoitecer	6,1%
Período da madrugada	18,2%
Total	33,4%

Com a metodologia apresentada anteriormente é possível realizar uma economia substancial, de mais de 30%, em grande parte dos pontos de iluminação. Sendo o preço do kWh para a iluminação pública R\$ 0,19, e considerando o funcionamento de 11 horas por dia, o custo mensal de cada ponto luminoso para o município é de: $(11 \times 0,19) \times 30 = \text{R\$ } 62,70$. Para uma cidade de pequeno porte, com dois mil postes instalados, o custo mensal da iluminação pública é de R\$ 125.400,00. Ao se implementar o sistema proposto, verificou-se que se pode obter uma redução de 33,4% no consumo de energia, o que representa uma economia anual em torno de R\$ 500.000,00.

A economia de energia, ou conservação de energia, em IP se torna mais atraente para o consumidor, devido a economia resultante em termos monetários. Porém, a IP entra em operação justamente durante o horário de ponta, contribuindo para aumentar o pico de carga e, conseqüentemente, sobrecarregar a rede elétrica. Ao se considerar uma abordagem sistêmica, a redução da carga no horário de ponta obtida com a aplicação do sistema de gerenciamento proposto, se torna muito atraente para a concessionária de energia, pois possibilita o adiamento de investimentos e obras de reforço no sistema elétrico. Portanto, a eficiência do setor de iluminação pública tem impacto direto na criação de novas usinas de energia elétrica, diminuindo os investimentos necessários, bem como os impactos ambientais inerentes a implementação de uma malha energética com maior capacidade.

Outro ponto que deve ser ressaltado é a flexibilidade apresentada pelo sistema integrado de iluminação pública (SI-IP) proposto, pois possibilita controlar a intensidade da iluminação de qualquer poste do sistema, através de um único computador (servidor) alocado no centro de operações. Também é possível ajustar uma pequena defasagem no instante em que os postes de iluminação entram em operação, para minimizar o pico de carga do sistema, ou seja, permite um *soft start* do sistema de IP. É possível visualizar na tela do servidor quais as lâmpadas de iluminação estão fora de operação (queimadas), facilitando sobremaneira o planejamento da manutenção. Uma série de outras facilidades pode ser obtida a partir do SI-IP, dependendo da necessidade do usuário.

4.0 - CONCLUSÃO

O artigo apresentou um sistema integrado de gestão de iluminação pública, onde é possível controlar o sensoriamento da luz emitida pelos postes de iluminação, tornando possível a detecção de uma gama maior de nuances de luminosidade. Com o uso de microprocessadores o sinal elétrico proveniente dos sensores de luminosidade poderá ser digitalizado e os níveis de acionamento da lâmpada poderão ser programáveis, permitindo que para uma determinada luminosidade a lâmpada seja acionada com uma fração de sua potência total.

Com a implementação do sistema proposto obtém-se uma redução considerável no consumo de energia elétrica, o que resulta em uma economia da conta de luz. Porém, a redução da carga no horário de ponta é que fornece os maiores benefícios para o sistema elétrico, pois possibilita o adiamento de investimentos e obras de reforço na rede elétrica. Um outro aspecto importante é a logística de troca e manutenção de lâmpadas do município, que se tornará mais eficaz, uma vez que será possível identificar em tempo real um defeito isolado no sistema.

Um exemplo da aplicação deste sistema foi apresentado, onde se considerou um retardo de 30 minutos da entrada em operação das lâmpadas de iluminação, sem que haja diminuição da claridade do ambiente. Através de um circuito dimerizador é possível variar a potência da lâmpada e, no exemplo, considerou-se que a lâmpada acende com apenas 50% de sua potência, e permanece assim durante 40 minutos. Também se considerou que durante o período da madrugada muitos lugares passam a ter baixo nível de trânsito de pedestres e/ou veículos, o que permitiu uma redução de 50% na potência das lâmpadas. A implementação destas 3 considerações proporcionou uma economia de aproximadamente 30% no consumo da energia elétrica.

A flexibilidade apresentada pelo sistema proposto, possibilitando controlar a intensidade da iluminação de qualquer poste do sistema através de um único computador, permite uma série de outras facilidades, dependendo da necessidade do usuário. Ao se ajustar uma pequena defasagem no instante em que os postes de iluminação entram em operação, é possível minimizar o pico de carga do sistema, ou seja, permite um *soft start* do sistema de IP. É possível visualizar na tela do servidor quais as lâmpadas de iluminação estão queimadas, facilitando o planejamento da manutenção. Portanto, o produto apresentado neste trabalho é de aplicação imediata no setor elétrico e pode trazer grandes benefícios tanto para as empresas de eletricidade como para os consumidores.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ELETROBRAS. Dados do PROCEL e Reluz. Disponível em: <<http://www.elektrobras.com.br>>, acesso em 06/03/2007.
- (2) SANTOS, A. H.M. et alii. "Conservação de Energia – Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos". Editora da EFEI, Itajubá/MG, 2001.
- (3) Catálogo da empresa ST Microelectronics para o componente ST7538. Disponível em: <<http://www.st.com>>, acesso em 22/01/2007.
- (4) Catálogo do componente ARM AT91SAM7S64. Disponível em: <<http://www.atmel.com>>, acesso em 05/01/2007.
- (5) Catálogo do reator dimerizável Philips modelo HID-DV 150. Disponível em: <<http://www.philips.com>>, acesso em 09/01/2007.
- (6) Google Maps. Disponível em : <http://www.google.com/apis/maps/>, acesso em 22/01/2007.
- (7) MOREIRA, V. A. "Iluminação Elétrica". Editora Edgard Blucher, 1ª Edição, São Paulo/SP, 1999.
- (8) CAVALCANTI, F. S. "Reatores Eletrônicos para Lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão de 70W". Dissertação Submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Título de Mestre, 2001.