

**USO RACIONAL E EFICIENTE DE ENERGIA ELÉTRICA: METODOLOGIA PARA A  
DETERMINAÇÃO DOS POTENCIAIS DE CONSERVAÇÃO DOS USOS FINAIS EM  
INSTALAÇÕES DE ENSINO E SIMILARES**

ANDRÉ LUIZ MONTERO ALVAREZ

MARCO ANTONIO SAIDEL

## 1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica ocupa um lugar de destaque na matriz energética brasileira, sendo a modalidade de energia atualmente mais consumida no país. O consumo crescente, aliado à falta de investimentos no setor de geração, vem diminuindo a distância entre a demanda e a oferta, tornando o fornecimento cada vez mais crítico no curto prazo.

A busca de soluções para o problema de fornecimento abrange, entre outras alternativas, a construção de novas usinas hidroelétricas e termoeletricas, a conclusão de usinas não acabadas, a importação de gás natural e de energia elétrica de países vizinhos, a implementação de campanhas de combate ao desperdício de energia e o investimento em ações que promovam o aumento da eficiência no uso de energia elétrica.

As alternativas que visam o uso racional e eficiente de energia elétrica apresentam, geralmente, custo e tempo de retorno de investimento pequenos quando comparados aos valores de outras alternativas. Os resultados obtidos, relativos à redução do consumo, são imediatos, tornando o uso racional e eficiente de energia elétrica uma alternativa, de certa forma, natural para a solução de parte do problema de fornecimento no curto prazo.

Uma das linhas de ação para promover o uso racional e eficiente de energia elétrica é a intervenção junto a instalações consumidoras. Através de ações que otimizam os sistemas de cada uso final de energia elétrica presentes na instalação, é possível reduzir seu consumo sem comprometer seu desempenho. Para analisar a viabilidade técnica e econômica dessas ações, é preciso, inicialmente, determinar a forma como a energia elétrica está sendo utilizada, procedimento este chamado de diagnóstico energético, permitindo propor soluções que aumentem a eficiência dos sistemas analisados bem como calcular os respectivos potenciais de conservação. Conhecidos esses potenciais, é possível analisar a viabilidade econômica das soluções propostas, devendo ser implementadas aquelas que apresentarem as maiores vantagens técnicas e econômicas.

Do ponto de vista do setor elétrico, o uso mais racional e eficiente de energia elétrica diminui a necessidade de expansão do parque instalado, postergando os grandes investimentos necessários ao atendimento do mercado consumidor de energia elétrica, uma vez que o custo médio da energia conservada é estimado em 0,024 US\$/kWh, inferior ao custo marginal de expansão

do setor elétrico, situado entre 0,047 e 0,100 US\$/kWh [1].

Para o usuário final, as principais vantagens da adoção de medidas de uso racional e eficiente de energia elétrica são a redução do gasto com energia elétrica (para o caso do custo da energia conservada ser inferior ao custo do fornecimento), a otimização do desempenho dos sistemas de cada uso final presente na instalação e, talvez a principal delas na atualidade, o marketing associado às idéias de preservação ambiental.

É muito importante mencionar que as idéias e estratégias de uso racional e eficiente de recursos naturais devem ser aplicadas e difundidas, buscando o desenvolvimento sustentável. Usuários podem ser educados de forma a utilizarem racionalmente todos os recursos disponíveis, separando o lixo reciclável, não desperdiçando água e nem energia.

## 2 METODOLOGIA PARA A DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DE USOS FINAIS

A determinação do potencial de conservação de energia elétrica pode ser dividida em quatro etapas:

- Levantamento de dados.
- Análise e tratamento de dados.
- Determinação do potencial de conservação.
- Análise tarifária.

Cada uma das etapas acima é discutida a seguir.

### 2.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

O levantamento de dados é uma das fases mais importantes do diagnóstico energético. Todas os dados necessárias à determinação do potencial de conservação de energia elétrica de usos finais são obtidos nessa etapa, que deve ser realizada de forma crítica e bastante criteriosa.

#### 2.1.1 CONTAS DE ENERGIA ELÉTRICA

As contas de energia elétrica expedidas pela concessionária fornecem informações importantes sobre o uso de energia elétrica da instalação, constituindo uma fonte de dados relativamente confiável e de fácil acesso.

As principais informações geralmente disponíveis em contas de energia elétrica são:

- Consumo de energia ativa [kWh].
- Consumo de energia reativa [kVarh].

- Demanda registrada [kW].
- Demanda faturada [kW].
- Fator de carga.
- Valor da fatura [R\$].

Dependendo da modalidade tarifária, a conta de energia elétrica pode fornecer, também, informações segmentadas em horários do dia (ponta e fora de ponta) e em períodos do ano (seco e úmido).

É importante observar que as informações disponíveis em contas de energia elétrica são calculadas para um período de aproximadamente 30 dias, não permitindo inferir sobre o comportamento diário ou semanal da instalação. Por outro lado, a série histórica das últimas faturas, não inferior a 12 meses, permite analisar a evolução do consumo e da demanda de energia elétrica da instalação, permitindo, inclusive, estimar os valores de contrato mais adequados para os períodos futuros.

### 2.1.2 MEDIÇÃO DIRETA

O procedimento de medição direta consiste na monitoração das cabinas primárias da instalação com o objetivo de determinar precisamente informações sobre as características de consumo diárias que não estão disponíveis nas contas de energia elétrica.

A medição direta pode ser realizada por um equipamento eletrônico microprocessado denominado analisador de energia, capaz de medir continuamente as grandezas elétricas de interesse, fornecendo registros a cada intervalo de tempo específico, programável pelo usuário.

Para determinar o perfil de consumo de uma instalação, deve ser adotado um período de análise conveniente, conforme suas características de operação. Em instalações onde o perfil de consumo não for regular, o período de análise deverá ser estendido de forma a permitir um estudo de possíveis variações sazonais. Afim de se obter uma curva de carga fiel e representativa, o intervalo de tempo entre medições deverá ser pequeno o suficiente para detectar as variações no ciclo de trabalho dos equipamentos de cada uso final considerado. No caso das instalações de ensino analisadas no estudo de caso, a monitoração realizada durante uma semana típica e em intervalos de 15 minutos mostrou-se bastante adequada.

A análise das curvas de carga e demais informações obtidas através de medição direta possibilita um estudo minucioso sobre o perfil de consumo da instalação, permitindo identificar

picos de demanda, horários de maior e de menor consumo, faltas de energia elétrica, comportamento do fator de potência, entre outros.

### 2.1.3 LEVANTAMENTO DE DADOS POR INSPEÇÃO

O levantamento de dados por inspeção corresponde ao procedimento de aquisição de informações sobre as características físicas e os hábitos de uso da instalação, complementando as informações obtidas via medição direta e análise de contas de energia elétrica, todas necessárias para a caracterização do consumo de energia elétrica da instalação.

Nessa fase, equipes de campo inspecionam todos os ambientes da instalação, preenchendo uma planilha que contempla, por exemplo, as seguintes informações:

- Características físicas do ambiente.
- Características de ocupação.
- Sistema de iluminação.
- Sistema de ar condicionado.
- Equipamentos (quantidade, potência, horário de funcionamento, etc.).

## 2.2 ANÁLISE E TRATAMENTO DE DADOS

### 2.2.1 CONSUMO GLOBAL

O consumo global de energia elétrica é um dos parâmetros de faturamento considerados pela concessionária. Como um dos principais objetivos das ações de uso racional e eficiente de energia elétrica é reduzir o consumo e os custos, é imprescindível o conhecimento do consumo global para a realização de qualquer diagnóstico energético.

A partir do consumo global, pode-se calcular a demanda média, que, juntamente com a demanda máxima, fornece o fator de carga da instalação, bastante útil em análises energéticas.

O consumo global de energia elétrica pode ser obtido diretamente nas contas expedidas pela concessionária ou determinado via processo de medição direta de cabinas primárias, podendo, também, ser estimado a partir dos dados levantados por inspeção de ambientes.

Os valores obtidos em contas de energia são extremamente úteis, permitindo verificar sazonalidades, existência de multas por ultrapassagem de demanda ou por excesso de reativos (baixo fator de potência), entre outras informações. A análise das faturas dos últimos

dois anos permite, através de regressões, estimar tendências de crescimento do consumo e da demanda, uma importante ferramenta para o planejamento futuro da instalação no que diz respeito à expansão de seu sistema elétrico e ao seu contrato de fornecimento junto à concessionária. Ela permite, também, acompanhar a evolução das medidas de uso racional e eficiente de energia elétrica implementadas, comparando o consumo real da instalação com o consumo previsto. Em ambos os casos, os valores contidos nas contas de energia devem ser corrigidos para um período de tempo padrão, geralmente 30 dias. Esse procedimento tem por objetivo uniformizar as faturas da concessionária, que são expedidas em períodos próximos de 30 dias.

Outra importante aplicação das contas de energia elétrica é na validação do consumo obtido através de medição direta ou de inspeção de ambientes, verificando a existência de distorções.

No caso da medição direta, o valor obtido por equipamentos analisadores de energia deve ser comparado com o consumo das últimas faturas, corrigindo-se o período de medição. Essa correção deve ser feita a partir do cálculo dos consumos médios relativos a dias úteis e de fim-de-semana obtidos por medição direta, compensando-se, também, os feriados quando existirem. A quantidade de dias úteis e de dias de fim-de-semana contemplados na conta de energia elétrica é obtida pelas datas de medição de duas faturas consecutivas. Consumos corrigidos discrepantes com os valores indicados nas contas expedida pela concessionária podem indicar um perfil de consumo sazonal. Isso pode ocorrer principalmente em casos onde o procedimento de medição direta é realizado em períodos relativamente curtos ou de forma segmentada, onde cada cabina primária é monitorada em períodos distintos por falta de condições que propiciem uma monitoração simultânea (quantidade insuficiente de equipamentos analisadores de energia disponíveis, por exemplo).

Para diferenças superiores a 10%, recomenda-se a realização de um novo procedimento de medição direta, com período prolongado, visando um estudo mais detalhado da sazonalidade encontrada.

Quando não for possível a realização de medições diretas (questões técnicas, disponibilidade de equipamentos de medição e de recursos humanos, etc.), o consumo poderá ser estimado a partir dos dados obtidos via inspeção de ambientes, através da soma dos consumos individuais de cada equipamento consumidor de energia elétrica

presente na instalação. Os consumos individuais podem ser calculados a partir da potência média dissipada pelo equipamento multiplicada pelo tempo mensal de utilização.

Devido a imprecisões contidas nas informações levantadas via inspeção de ambientes, o consumo estimado poderá ser bastante diferente em relação ao consumo apresentado na conta de energia elétrica. A discrepância entre os valores faturado e estimado do consumo poderá ser reduzida através de ajustes realizados nas potências médias e nos tempos de operação dos equipamentos levantados, através da adoção de valores típicos.

É importante observar que os resultados obtidos por medição direta são intrinsecamente mais precisos do que as estimativas baseadas em potências médias e períodos de operação. Por outro lado, a estimativa do consumo global realizada a partir de dados obtidos via inspeção de ambientes já apresenta valores desagregados em usos finais. Para o caso da medição direta, dependendo da instalação, o cálculo do consumo desagregado em usos finais é um pouco mais complexo.

## 2.2.2 CONSUMO DESAGREGADO EM USOS FINAIS

A metodologia utilizada para determinar o potencial de conservação de energia elétrica é distinta para cada um dos usos finais presentes na instalação. Os procedimentos de cálculo geralmente fornecem valores percentuais do potencial de conservação do uso final. Para determinar o potencial de conservação em termos de energia (kWh) ou de custos (R\$), é necessário conhecer o consumo individual de cada uso final. Dessa forma, a desagregação do consumo global nos diversos usos finais facilita a determinação precisa do potencial de conservação de energia elétrica total da instalação.

Existem várias maneiras de desagregar o consumo global em consumos por usos finais. A medição direta dos circuitos de alimentação da cada uso final fornece resultados com a máxima precisão possível. Infelizmente, boa parte das instalações não possuem circuitos de alimentação independentes para os sistemas de iluminação e de ar condicionado, tornando muito difícil, na prática, segmentar a medição por usos finais.

Nos casos onde os circuitos de alimentação não sejam independentes, a desagregação do consumo global poderá ser realizada através dos fatores de carga e de demanda dos usos finais, através da equação:

$$C' = F'_{CARGA} \cdot F'_{DEMANDA} \cdot P'_{INSTALADA} \cdot Dt \quad (1)$$

onde:

- $C'$  : consumo do uso final.  
 $F'_{CARGA}$  : fator de carga do uso final.  
 $F'_{DEMANDA}$  : fator de demanda do uso final.  
 $P'_{INSTALADA}$  : potência instalada em equipamentos operantes do uso final.  
 $Dt$  : intervalo de tempo considerado.

Quando o fator de carga do uso final for desconhecido, pode-se admitir a hipótese de que ele seja igual ao fator de carga global da instalação, resultando:

$$C' = F_{CARGA} \cdot F'_{DEMANDA} \cdot P'_{INSTALADA} \cdot Dt \quad (2)$$

onde:

- $F_{CARGA}$  : fator de carga da instalação.

É importante enfatizar que a potência instalada de cada uso final deve ser determinada sem considerar os equipamentos defeituosos ou fora de operação, uma vez que eles definitivamente não contribuem para consumo de energia elétrica da instalação.

Para o cálculo do consumo desagregado segundo as equações 10 e 11, as grandezas utilizadas podem ser obtidas segundo as fontes indicadas na Tabela 1.

Tabela 1: Grandezas utilizadas no cálculo do consumo desagregado.

VARIÁVEL	FONTE
Demanda média da instalação ( $P_{MÉDIA}$ )	Analisador de energia
Demanda máxima da instalação ( $P_{MÁXIMA}$ )	Analisador de energia
Potência instalada por uso final ( $P'_{INSTALADA}$ )	Planilha
Fator de demanda por uso final ( $F'_{DEMANDA}$ )	Publicações especializadas
Fator de carga por uso final ( $F'_{CARGA}$ )	Estudos anteriores, valores típicos, etc.

Embora a estimativa do consumo desagregado seja realizada a partir de alguns valores médios obtidos em normas, publicações especializadas, ou ainda, consolidados pela prática, os resultados obtidos pela aplicação da metodologia constituem um indicador razoável do potencial de conservação de energia elétrica real da instalação.

### 2.2.2.1 INDICADORES DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA

Os indicadores do uso de energia elétrica constituem uma importante ferramenta para a realização de diagnósticos energéticos. Através de informações obtidas na fase de levantamento de dados, é possível determinar um conjunto de indicadores que retratam o perfil de consumo da instalação sob análise.

Esses indicadores, quando aplicados a diagnósticos energéticos, permitem um macro estudo das características de consumo da instalação, possibilitando a determinação do potencial de conservação de energia elétrica através de comparações com valores típicos obtidos para instalações com características semelhantes.

Os indicadores do uso de energia elétrica também podem ser utilizados no acompanhamento dos resultados das medidas de uso racional e eficiente de energia elétrica implementadas, permitindo estudar a evolução da instalação, no que diz respeito à sua eficiência, a partir da análise da série histórica desses indicadores. Dessa forma, é possível planejar ações futuras e corrigir as ações em andamento, minimizando custos e maximizando resultados.

Os indicadores sugeridos para a realização de diagnósticos energéticos podem ser divididos em duas categorias: indicadores genéricos, aplicados a qualquer instalação, e indicadores para análise de instalações de ensino, ou seja:

- Indicadores genéricos:
  - Fator de carga.
  - Consumo mensal por área útil.
  - Consumo mensal em iluminação por área iluminada.
  - Consumo mensal em ar condicionado por área climatizada.
  - Potência instalada em iluminação por área iluminada.
  - Potência instalada em iluminação por número de interruptores.
  - Potência instalada em ar condicionado por área climatizada.
  - Porcentagem de luminárias defeituosas.
- Indicadores para análises de instalações de ensino:
  - Consumo mensal por docente equivalente.
  - Consumo mensal por aluno equivalente.
  - Consumo mensal por usuário equivalente.

## 2.3 DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO

### 2.3.1 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

A análise do sistema de iluminação é essencial para a realização de diagnósticos energéticos. Além de ser um dos usos finais mais fáceis de se aplicar ações de uso racional e eficiente de energia elétrica, a iluminação também corresponde ao segmento com maior participação do consumo global de instalações comerciais e de ensino. Nos EUA, a iluminação é responsável por, respectivamente, 69% e 53% do consumo em escolas e faculdades [2]. No Brasil, estudos realizados em dez instalações da Universidade de São Paulo apontaram para uma participação do uso final iluminação de 66% no consumo global [3].

#### 2.3.1.1 POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Existe uma grande quantidade de ações que promovem o aumento da eficiência e da eficácia de um sistema de iluminação. As principais delas são:

- Emprego da tecnologia de iluminação mais adequada às atividades desenvolvidas.
- Máximo aproveitamento possível da iluminação natural.
- Segmentação dos acionamentos do sistema de iluminação.
- Uso de detetores de presença.
- Uso de equipamentos gerenciadores de energia (controladores de carga).
- Implementação de um programa de manutenção efetivo.
- Educação dos usuários.

O emprego de uma tecnologia de iluminação adequada às atividades desenvolvidas é essencial para a eficiência e a eficácia do sistema. Sistemas de iluminação mal projetados podem reduzir a performance e prejudicar a saúde dos usuários, além de desperdiçar energia elétrica.

Em instalações antigas, é comum observar sistemas com níveis de iluminamento acima dos valores da norma, indicando um superdimensionamento do sistema original ou uma substituição direta da tecnologia original por outra mais moderna. Nesse caso específico, geralmente lâmpadas incandescentes são substituídas por lâmpadas mistas, fluorescentes ou de mercúrio na mesma quantidade, provocando um aumento exagerado do nível de iluminamento, fato que pode ser interpretado como desperdício de

energia. Portanto, a substituição de tecnologias de iluminação deve ser realizada mediante um novo projeto de iluminação, considerando as características físicas e de ocupação atuais da instalação. Nesse caso, o potencial de conservação pode ser determinado a partir da potência instalada atual em luminárias operantes e das potências instaladas previstas para as diversas alternativas sob análise, através da equação:

$$PC = 100 \cdot \left[ 1 - \min_{i=1}^n \left( \frac{P_i}{P_{ATUAL}} \right) \right] \quad [\%] \quad (3)$$

onde:

$PC$  : potencial de conservação devido à mudança de tecnologia de iluminação.

$P_i$  : potência instalada do sistema projetado a partir da tecnologia  $i$ .

$P_{ATUAL}$  : potência instalada em luminárias operantes do sistema de iluminação atual.

$n$  : número de diferentes tecnologias de iluminação propostas.

Outra medida bastante efetiva em relação a economia de energia elétrica é o aproveitamento da iluminação natural. Na maioria das instalações é possível reduzir o consumo do sistema de iluminação em áreas próximas a janelas, clarabóias, paredes e tetos envidraçados, etc.. Dependendo do local, a iluminação natural é intensa o suficiente para desligar por completo o sistema de iluminação artificial. Nesse caso, é recomendável haver uma segmentação dos acionamentos (interruptores) das luminárias próximas às áreas que recebem iluminação natural. Muitas vezes, a iluminação natural não é aproveitada adequadamente devido ao fato do acionamento do sistema de iluminação ser geral, não permitindo desativar apenas as luminárias desnecessárias.

Nos casos onde a iluminação natural não é suficiente para proporcionar sozinha um nível de iluminamento adequado, o uso de luminárias de fluxo luminoso controlável (luminárias "dimerizáveis") representa uma ótima solução. Nesse caso, a potência entregue às lâmpadas poderá ser controlada de maneira manual ou automática, dependendo do equipamento utilizado. Um cálculo preciso do potencial de conservação de energia elétrica proporcionado por essas medidas é bastante difícil de ser efetuado devido a uma série de fatores que interferem na eficácia das medidas, como, por exemplo, a disposição e preocupação dos usuários em desligar as luminárias próximas a janelas e os níveis de iluminamento proporcionados diariamente pela

luz natural. Dessa forma, é sugerido considerar valores para o potencial de conservação típicos para essas medidas, obtidos em diagnósticos energéticos de instalações semelhantes ou consolidados pela prática, sempre com a preocupação de se estimar valores conservativos.

Considerações semelhantes podem ser feitas em relação ao uso de detetores de presença. A eficácia dessa medida está diretamente relacionada com a frequência na qual os usuários abandonam os ambientes controlados. Dessa forma, cálculos precisos do potencial de conservação de energia elétrica proporcionados pelo uso de detetores de presença só podem ser realizados em ambientes onde se conheça de antemão os horários de ociosidade. Nesse caso, o potencial de conservação pode ser calculado pela equação:

$$PC = 100 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{Dt_{OCIOSIDADE} i}{Dt_{TOTAL} i} \quad [\%] \quad (4)$$

onde:

$PC$  : potencial de conservação devido ao uso de detetores de presença.

$Dt_{OCIOSIDADE} i$  : período de tempo no qual o ambiente  $i$  permanece desocupado.

$Dt_{TOTAL} i$  : período de trabalho do ambiente  $i$ .

$n$  : número ambientes controlados por detetores de presença.

Nos casos onde o comportamento dos usuários não for previsível, sugere-se adotar, também, valores conservativos obtidos em estudos similares.

Outra importante medida que promove a eficiência e a eficácia do sistema de iluminação é a implementação de programas de manutenção efetivos. Equipes de manutenção devidamente treinadas devem verificar sistematicamente as condições de operação do sistema, seguindo uma agenda preestabelecida de forma a vistoriar todos os ambientes da instalação dentro de um ciclo de manutenção apropriado, visando assegurar a qualidade da iluminação e a satisfação dos usuários. Nesse caso, as equipes de manutenção são responsáveis pela substituição dos grupos de lâmpadas com vida média expirada e pela calibragem dos dispositivos de controle das luminárias (sensores de luminosidade, detetores de presença, etc.). Além disso, é muito importante a interação entre usuários e funcionários de manutenção, possibilitando o repasse de informações sobre a eficácia do sistema. Existem casos onde a falta de comunicação entre a equipe de manutenção com os usuários induziu-os a

interferirem na atuação dos dispositivos de controle do sistema, fazendo com que estes não apresentassem os resultados de economia de energia esperados [4].

A educação dos usuários também pode proporcionar reduções do consumo de energia elétrica através da adoção de hábitos racionais de uso da energia elétrica. Nesse sentido, devem ser realizados programas de conservação dentro da instalação, através de cartazes publicitários, palestras e programas educativos que conscientizem e engajem os usuários no combate ao desperdício de energia elétrica, podendo e devendo ser estendidos aos demais energéticos, à conservação de água e à reciclagem de lixo, buscando o desenvolvimento sustentável.

### 2.3.2 SISTEMA DE AR CONDICIONADO

O uso final ar condicionado possui, uma participação expressiva no consumo de energia elétrica de instituições de ensino. Nos EUA, 14% do consumo total de energia elétrica das escolas são destinados à climatização de ambientes, alcançando os 39% em faculdades. No Brasil, estimativas apontam que o uso final ar condicionado seja responsável por aproximadamente 20% do consumo de energia elétrica no setor terciário [2].

Os sistemas de ar condicionado geralmente apresentam potenciais de conservação de energia elétrica consideráveis, consequência de projetos mal dimensionados, aquisições de equipamentos inadequados e falta de programas regulares de manutenção.

#### 2.3.2.1 POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DO SISTEMA DE AR CONDICIONADO

O potencial de conservação de energia elétrica do uso final ar condicionado pode ser calculado a partir da comparação entre o consumo atual com o consumo esperado para sistemas mais eficientes. O consumo atual é obtido a partir da desagregação do consumo global da instalação, dado em kWh/mês. O consumo estimado para um sistema eficiente pode ser calculado pela equação:

$$Consumo = \sum_{i=1}^n \frac{C_i \cdot Dt_i}{1000 \cdot EER_i} \quad [\text{kWh}] \quad (5)$$

onde:

$Consumo$  : consumo mensal do uso final ar condicionado.

$C_i$	: capacidade do aparelho de ar condicionado $i$ [Btu/h]
$Dt_i$	: tempo de operação, em horas, do aparelho de ar condicionado $i$ .
$EER_i$	: eficiência do aparelho de ar condicionado $i$ [Btu/h/W].
$n$	: número de aparelhos de ar condicionado da instalação.

O cálculo exato da carga térmica de um ambiente (Btu/h) depende de muitos fatores, como, por exemplo, área útil do ambiente, pé direito, quantidade de portas e janelas, orientação solar, quantidade de pessoas, condições climáticas, quantidade e potência média de aparelhos elétricos, material do piso, teto e paredes, condições de isolamento térmica, etc.. Dessa forma, o cálculo da capacidade térmica necessária para climatizar um determinado ambiente torna-se bastante complexo e, dependendo do tamanho da instalação, inviável dentro do escopo de um diagnóstico energético.

Uma estimativa aproximada da carga térmica de ambientes pode ser realizada a partir da metodologia de cálculo apresentada na referência [5].

É importante observar que a metodologia de cálculo apresentada estima somente a redução do consumo de energia elétrica conseguida através de intervenções no sistema de ar condicionado atual, não considerando a diminuição da carga térmica proporcionada pelo uso mais racional e eficiente de equipamentos consumidores de energia elétrica dentro dos ambientes climatizados.

O cálculo da energia elétrica conservada devida à redução da carga térmica irradiada pelos equipamentos elétricos de um ambiente pode ser calculado a partir do EER dos aparelhos de ar condicionado, através da equação:

$$E_{ECONOMIZADA} = 3,4121 \cdot \frac{P_{REDUÇÃO} \cdot Dt}{EER} \text{ [kWh]} \quad (6)$$

onde:

$E_{ECONOMIZADA}$	: energia economizada em ar condicionado.
$P_{REDUÇÃO}$	: redução da demanda média do equipamento em kW.
$Dt$	: tempo de operação com demanda reduzida [horas].
$EER$	: eficiência do aparelho de ar condicionado.

A equação anterior pode ser aplicada no cálculo da redução do consumo do sistema ar condicionado proporcionada pelo aumento da eficiência do sistema de iluminação. Nesse caso, o produto  $P_{REDUÇÃO} \cdot Dt$  é igual à energia economizada no uso final iluminação.

É importante observar que a equação anterior é válida apenas para sistemas bem dimensionados, onde a carga térmica do ambiente é inferior à capacidade do aparelho de ar condicionado. Em ambientes onde não ocorra essa situação, reduções da carga térmica (substituição do sistema de iluminação atual por um mais eficiente, por exemplo) não implicam, necessariamente, numa redução do consumo do aparelho de ar condicionado, uma vez que ele continuará demandando sua potência nominal continuamente enquanto a carga térmica do ambiente não for inferior à sua capacidade.

Outra forma de racionalizar o consumo de energia elétrica do uso final ar condicionado é através do uso de sistemas de termoacumulação. Os sistemas de ar condicionado baseados no acúmulo de calor permite o deslocamento do consumo do horário de ponta para horários fora de ponta, proporcionando reduções no custo médio da energia elétrica. Nesse caso, o potencial de redução de custos pode ser calculado através de simulações tarifárias considerando a redução da demanda contratada na ponta e do deslocamento da demanda e do consumo para horários fora de ponta.

### 2.3.3 MICROCOMPUTADORES PESSOAIS

Seguindo as diretrizes do programa Energy Star, os microcomputadores pessoais e periféricos mais modernos já incorporam funções de gerenciamento que possibilitam reduções consideráveis no consumo de energia elétrica desses equipamentos. Através de um gerenciador de energia incorporado, um “green PC” pode operar no modo de baixo consumo após um determinado tempo de ociosidade, programável pelo usuário.

A atuação do gerenciador de energia é facilmente visualizada na Figura 1, onde são exibidas duas curvas de carga diárias obtidas em ensaio para um “green PC” típico (microprocessador Pentium e monitor SVGA de 14”) nas situações com e sem a atuação do gerenciador.

A área entre as duas curvas de carga representa a energia economizada diariamente devida à atuação do gerenciador de energia. Em diversos intervalos de tempo, a demanda de energia foi reduzida drasticamente através da atuação do gerenciador,



atingindo valores inferiores a 30% da demanda normal.

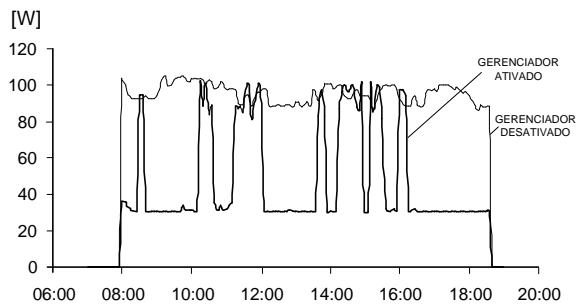


Figura 1: Curvas de carga de um “green PC” típico.

### 2.3.3.1 POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DE MICROCOMPUTADORES “GREEN PCS”

O potencial de conservação de energia elétrica de um “green PC” obtido para um único estado de conservação (apenas o modo "off", por exemplo) pode ser calculado pela equação:

$$PC = F_{OCIOSIDADE} \cdot (1 - F_{REDUÇÃO DE DEMANDA}) \cdot 100 \quad [\%] \quad (7)$$

onde:

- $PC$  : potencial de conservação.  
 $F_{OCIOSIDADE}$  : relação entre o tempo em que o PC permanece ocioso e o tempo total de operação.  
 $F_{REDUÇÃO DE DEMANDA}$  : relação entre a demanda no modo de consumo reduzido e a demanda média no modo de operação normal.

Segundo a equação acima, o resultado da atuação do gerenciador de energia depende de dois fatores básicos: características intrínsecas do PC (fator de redução de demanda) e hábito de uso (fator de ociosidade).

O fator de redução de demanda depende dos componentes internos do PC e de seus periféricos, sendo o monitor de vídeo o componente mais influente.

Em relação ao hábito de uso, geralmente, quanto maior a ociosidade, maior a economia de energia. No entanto, a atuação do gerenciador de energia depende, também, da frequência de utilização do equipamento, não considerada no equacionamento anterior. Em situações onde a frequência de utilização é elevada, é possível que o período de ociosidade exigido para a entrada no modo de baixo consumo de energia, tipicamente entre 5 e 30 minutos, seja muito próximo do período de

ociosidade do equipamento. Nesse caso, o desempenho do gerenciador fica bastante comprometido, fazendo com o modo de conservação de energia não consiga atuar tempo suficiente para proporcionar reduções significativas no consumo de energia elétrica do equipamento.

Além da economia de energia elétrica, a atuação do gerenciador também proporciona uma vida útil maior ao equipamento, em especial ao monitor de vídeo, um periférico caro e que demora bastante tempo para se tornar obsoleto. Considerando que no modo de baixo consumo não ocorra envelhecimento do equipamento, o aumento de sua vida útil pode, então, ser estimado através de seu fator de ociosidade:

$$\text{Aumento da Vida Útil} = 100 \cdot F_{OCIOSIDADE} \quad [\%] \quad (8)$$

Na prática, para calcular precisamente o potencial de conservação de um "green PC", é necessário o conhecimento de seu fator de ociosidade, determinado, por exemplo, através de medição direta realizada por um analisador de energia, fornecendo, também, seu fator de redução de demanda.

Em casos onde um analisador de energia não esteja disponível, pode-se adotar um fator de redução de demanda típico. Para um PC com microprocessador da família x486 ou superior, monitor de vídeo SVGA de 14" e gerenciador programado para o estado de conservação máxima ("off"), o valor típico é 0,39. Para a mesma torre, porém com monitor de 17", o valor é, aproximadamente, 0,28. Em relação à determinação do fator de ociosidade, bons resultados são conseguidos através do preenchimento de uma planilha de horários, registrando os períodos de ociosidade do equipamento.

É importante observar que apesar da grande maioria dos microcomputadores modernos já incorporarem as funções de gerenciamento de energia, o que se observa, na prática, é que poucos usuários fazem uso desse recurso, talvez por desconhecimento ou pelo fato das funções virem desativadas já de fábrica. De qualquer forma, a programação do gerenciador de energia é uma tarefa fácil e rápida, fortemente recomendada e com custo de investimento nulo.

## 2.4 ANÁLISE TARIFÁRIA

O principal objetivo desta análise é determinar a modalidade tarifária e os valores de contrato mais

adequados para que o consumidor minimize sua despesa com o consumo de energia elétrica.

Embora a mudança da modalidade tarifária e dos valores de contrato não proporcione diretamente uma redução do consumo de energia elétrica da instalação, ela pode proporcionar uma economia de recursos financeiros (R\$) caso políticas de uso racional e eficiente de energia elétrica sejam adotadas, uma vez que a estrutura tarifária atual onera o custo da energia em horários do dia e períodos do ano onde as condições de fornecimento são mais críticas. Aliás, esse foi um dos principais objetivos do Governo Federal quando, em 1982, implantou o sistema tarifário com modalidades tarifárias diferenciadas baseadas nos custos marginais de operação e de expansão do sistema elétrico.

A análise tarifária deve ser realizada sempre que as características de consumo da instalação sofrerem modificações, sejam elas causadas por mudanças de hábitos de uso ou por alterações na potência instalada de algum de seus usos finais.

No caso de diagnósticos energéticos, a análise tarifária deve ser realizada para dois cenários diferentes. O primeiro considerando o sistema atual, visando descobrir se a modalidade tarifária e os valores de contrato atuais são adequados às características de consumo da instalação. São comuns situações onde a instalação é penalizada com multas por excesso de reativos (baixo fator de potência) e por ultrapassagem da demanda contratada, dependendo da modalidade tarifária. Outra situação frequente é o contrato de um valor de demanda bem acima da demanda registrada, onde a instalação paga por uma energia que não está efetivamente utilizando.

O outro cenário a ser analisado deve considerar os valores de demanda esperados caso na instalação sejam implementadas as ações recomendadas para o uso racional e eficiente de energia elétrica. Nesse caso, a economia de recursos financeiros prevista pela análise tarifária deve ser contabilizada no potencial de redução de custos total da instalação.

#### 2.4.1 SIMULAÇÕES TARIFÁRIAS

O custo médio da energia elétrica (R\$/kWh) de uma instalação depende da modalidade tarifária, dos valores de contrato e das suas próprias características de consumo.

Através da programação dos procedimentos de cálculo tarifário numa planilha eletrônica, é possível simular os valores dos importes e das multas para cada modalidade tarifária possível de

ser aplicada à instalação, permitindo identificar a modalidade e os valores de contrato que minimizem o custo médio da energia elétrica.

O valor da demanda contratada utilizada na simulação influencia profundamente os resultados da análise tarifária. Porém, através de uma análise estatística, é possível estimar a demanda registrada de períodos futuros, possibilitando a elaboração de um cronograma de reajustes dos valores de contrato que minimizem o custo médio da energia elétrica.

Considerando confiáveis os resultados da análise estatística, ou seja, os valores obtidos para as contas de meses passados poderão e deverão ser repetidos nos meses futuros, pode-se calcular o potencial de redução de custos através da comparação entre a soma do custo total de cada fatura analisada e a soma dos custos simulados dessas mesmas faturas.

Este é um procedimento bastante adequado para instalações que apresentam uma taxa elevada de crescimento do consumo de energia elétrica.

#### 2.4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA E PREVISÃO DE DEMANDA

A análise estatística tem por objetivo prever a demanda futura de uma instalação a partir da análise de suas contas de energia elétrica. Através desta técnica, é possível, também, elaborar um cronograma de reajustes dos valores do contrato de fornecimento, minimizando o custo médio da energia elétrica.

A análise estatística sugerida considera, primeiramente, a aproximação dos valores da demanda registrada por uma curva adequada (regressão linear, por exemplo), conforme o perfil de crescimento do consumo da instalação. A partir dessa curva, são obtidos os valores aproximados da demanda registrada, fornecendo os valores da variável  $x$ , definida pela equação:

$$x = \frac{D_{REGISTRADA}}{D_{APROXIMADA}} \quad (9)$$

onde:

$D_{REGISTRADA}$  : demanda registrada obtida na conta de energia elétrica.

$D_{APROXIMADA}$  : demanda aproximada fornecida pela curva de aproximação.

Através do cálculo da média e do desvio padrão da amostra de valores da variável  $x$ , é obtida a sua distribuição normal, segundo a equação paramétrica abaixo [6]:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (10)$$

onde:

$z$  : variável paramétrica da distribuição normal.

$\mu$  : média da amostra de  $x$ .

$\sigma$  : desvio padrão da amostra de  $x$ .

Uma vez conhecida a distribuição normal da variável  $x$ , é possível determinar a probabilidade de ocorrência de demandas registradas dentro dos limites de ultrapassagem definidos pela legislação vigente. Por exemplo, para um mês futuro onde a curva de aproximação fornece uma demanda estimada de 10.000 kW, supondo que a média e o desvio padrão da distribuição de  $x$  sejam, respectivamente, 1 e 0,1 e que o limite de ultrapassagem seja 5%, a probabilidade de não ocorrência de ultrapassagem de demanda seria calculado para  $x$  igual a 1,05 (10.500/10.000) e  $z$  igual a 0,5 ((1,05 - 1)/0,1). Para este valor de  $z$ , a probabilidade é de 69,14% [6], conforme tabelas obtidas em publicações especializadas ou programação da equação de distribuição normal na própria planilha eletrônica. Caso 69% não seja um valor considerado confiável, o caminho inverso poderá ser percorrido, através do cálculo da variável  $x$  a partir de uma probabilidade preestabelecida.

### 3 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

O caso exposto corresponde ao diagnóstico energético da Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira (CUASO), realizado em 1996 pela equipe do GEPEA - Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - dentro do projeto Conservusp, financiado parcialmente pela FAPESP - Fundação de Ampara à Pesquisa do Estado de São Paulo.

#### 3.1 O UNIVERSO DE ESTUDO: CUASO

Localizada na cidade de São Paulo, a Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira - CUASO - é o maior campus da Universidade de São Paulo. Com área construída próxima de 730.000 m<sup>2</sup>, a CUASO comporta 18 Unidades de Ensino e Pesquisa, 4 Centros e Institutos Especializados, 1 Hospital e 9 Órgãos Centrais de Direção e Serviço. Empregando 2.941 docentes e 9.066 não docentes, a CUASO, em 1995, ofereceu à sociedade 104 cursos de graduação para 26.638 alunos regulares, 117 cursos de mestrado e 109 cursos de doutorado para 12.157 alunos de pós-

graduação, outorgando 806 títulos de mestrado e 609 títulos de doutorado, com produção científica média de 3,3 trabalhos por docente [7].

Para manter toda essa infra-estrutura, a CUASO teve, em 1995, um orçamento executado de aproximadamente R\$ 284 milhões [7], dos quais cerca de R\$ 5 milhões foram gastos com o consumo de energia elétrica.

#### 3.2 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

A metodologia de diagnóstico energético para a determinação do potencial de conservação de energia elétrica de usos finais foi aplicada a 28 unidades consumidoras da CUASO.

Por falta de recursos físicos (equipamentos analisadores de energia), recursos humanos e tempo hábil, o levantamento de dados completo (inspeção de ambientes e medição direta) foi realizado somente em 2 unidades consumidoras: o edifício da Engenharia de Eletricidade da Escola Politécnica e o edifício da Zoologia do Instituto de Biociências. A escolha dessas duas unidades foi baseada em estudos preliminares que apontaram essas instalações como as maiores consumidoras de energia elétrica por área útil [3].

Nas unidades analisadas restantes, não foi possível realizar medições diretas das respectivas cabinas primárias. Todos os dados levantados por inspeção de ambientes foram coletados pelas equipes de manutenção das próprias instalações, através do preenchimento de planilhas especialmente desenvolvidas para este estudo, contando com a colaboração da Reitoria da USP (RUSP) e da Prefeitura da Cidade Universitária (PCO), responsáveis pela distribuição e encaminhamento das planilhas para 52 unidades consumidoras. Desse total, 26 unidades devolveram as planilhas devidamente preenchidas, formando uma amostra de 50% do universo de estudo

#### 3.3 RESULTADOS OBTIDOS

Devido à extensão dos estudos realizados e ao grande volume de dados levantados, são apresentados, neste artigo, apenas os principais resultados do diagnóstico energético da CUASO. Informações detalhadas sobre as características de consumo das unidades analisadas são contempladas na referência [8].

##### 3.3.1 EDIFÍCIO DA ENGENHARIA DE ELETRICIDADE DA EPUSP

As principais características de consumo da unidade podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2: Características de consumo.

GRANDEZA	VALOR CALCULADO
Demanda média dos dias úteis	247,0 [kW]
Demanda média dos dias de fim de semana	85,3 [kW]
Consumo total	146.794 [kWh/mês]
Demanda máxima registrada	441,5 [kW]
Fator de carga	0,462
Consumo por área útil *	8,3 [kWh/m <sup>2</sup> ]

\* Área útil = 17.697 [m<sup>2</sup>]

Conforme a tabela acima, a instalação apresenta um elevado consumo por área útil e um baixo fator de carga, revelando a existência de um provável potencial de conservação de energia elétrica. Parte desse potencial de conservação está relacionado com a utilização de tecnologias não eficientes no sistema de iluminação da instalação (Figura 2).

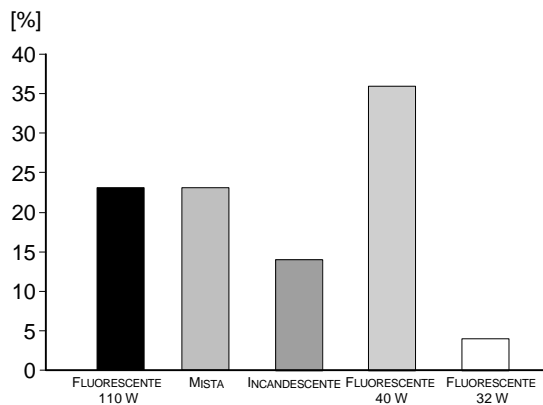


Figura 2: Desagregação da potência instalada em iluminação por tecnologia utilizada.

Através da aplicação da metodologia apresentada, foi possível desagregar o consumo global em usos finais e estimar os respectivos potenciais de conservação de energia elétrica, apresentados, respectivamente, na Figura 3 e na Tabela 3.

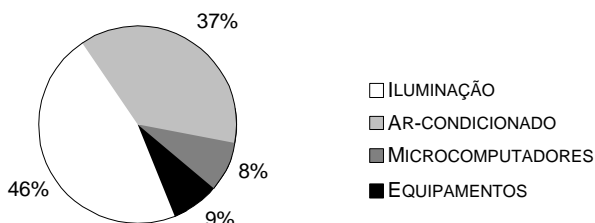


Figura 3: Consumo desagregado em usos finais.

Conforme a Tabela 3, 30% do potencial de conservação de energia elétrica é proveniente do sistema de iluminação, consequência direta da expressiva participação desse uso final no consumo global da instalação, cerca de 46%.

Tabela 3: Potencial de conservação de energia elétrica.

USO FINAL	POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO [kWh/MÊS]	POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO [%]
<b>SISTEMA DE ILUMINAÇÃO</b>		
Tecnologia de iluminação	41.491	28,3
Segmentação do acionamento	1.787	1,2
Total	43.278	29,5
<b>SISTEMA DE AR CONDICIONADO</b>		
Redimensionamento do sistema de ar condicionado	16.078	11,0
Redução do consumo do sistema de iluminação	3.249	2,2
Redução do consumo dos PCs	415	0,3
Total	19.742	13,5
<b>MICROCOMPUTADORES PESSOAIS</b>		
Programação dos "green PCs"	1.215	0,8
<b>TOTAL DA INSTALAÇÃO</b>	<b>64.235</b>	<b>43,8</b>

O potencial de conservação de energia elétrica total estimado para o edifício da Engenharia de Eletricidade é bastante grande, aproximadamente 44%. É importante lembrar que a metodologia e os dados utilizados fornecem valores conservativos. Portanto, o potencial de conservação real da instalação deve ser superior ao valor estimado.

### 3.3.2 EDIFÍCIO DA ZOOLOGIA DO IB

Os mesmos procedimentos de cálculo aplicados ao edifício da Engenharia de Eletricidade foram aplicados ao edifício da Zoologia, fornecendo os resultados apresentados na tabela abaixo.

Tabela 4: Características de consumo.

GRANDEZA	VALOR CALCULADO
Demanda média dos dias úteis	58,0 [kW]
Demanda média dos dias de fim de semana	33,8 [kW]
Consumo total	37.114 [kWh/mês]
Demanda máxima registrada	105,9 [kW]
Fator de carga	0,487
Consumo por área útil *	7,6 [kWh/m <sup>2</sup> ]

\* Área útil = 4.860 [m<sup>2</sup>]

Conforme a tabela, a instalação apresenta, também, um elevado consumo mensal por área útil e um baixo fator de carga.

A participação de tecnologias não eficientes no sistema de iluminação também é considerável. As lâmpadas mistas e incandescentes contribuem com cerca de 35% e 15%, respectivamente, da potência instalada total em iluminação (Figura 4).

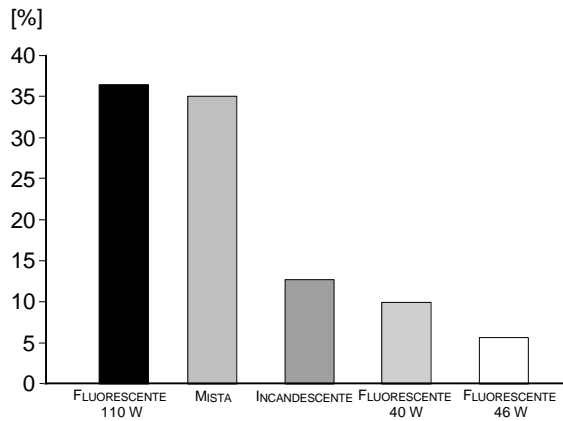


Figura 4: Desagregação da potência instalada em iluminação por tecnologia utilizada.

O consumo desagregado em usos finais, apresentado na figura abaixo, revela uma forte participação do segmento equipamentos. Tal fato é devido à existência de uma grande quantidade de equipamentos (geladeiras, “freezers”, estufas, autoclaves, etc.) utilizados em pesquisas desenvolvidas na unidade.

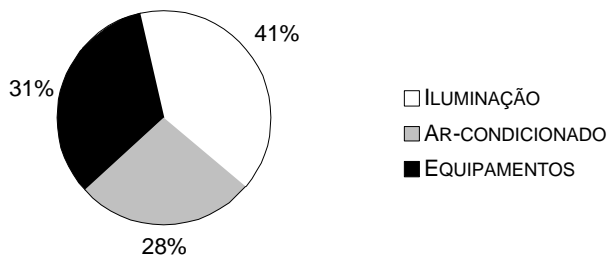


Figura 5: Consumo desagregado em usos finais.

O potencial de conservação da instalação é apresentado na tabela abaixo.

Tabela 5: Potencial de conservação de energia elétrica.

USO FINAL	POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO	
	[kWh/mês]	[%]
<b>SISTEMA DE ILUMINAÇÃO</b>		
Tecnologia de iluminação	7.186	19,4
Desligamento das luminárias das 22:00 às 06:00 horas	2.647	7,1
<b>Total</b>	<b>9.833</b>	<b>26,5</b>
<b>SISTEMA DE AR CONDICIONADO</b>		
Redimensionamento do sistema de ar condicionado	6.343	17,1
Redução do consumo do sistema de iluminação	270	0,7
<b>Total</b>	<b>6.613</b>	<b>17,8</b>
<b>EQUIPAMENTOS</b>		
Temporizadores para as estufas	2.363	6,4
<b>TOTAL DA INSTALAÇÃO</b>	<b>18.809</b>	<b>50,7</b>

Conforme a tabela acima, o potencial de conservação de energia elétrica total estimado para o edifício da Zoologia é aproximadamente 51%. Esse elevado valor é consequência direta da utilização de tecnologias inadequadas nos sistemas de iluminação e de ar condicionado, bem como da falta de um controle eficiente em alguns dos equipamentos encontrados na instalação (estufas).

### 3.3.3 DEMAIS UNIDADES ANALISADAS

A partir das informações obtidas através do procedimento de levantamento de dados via inspeção de ambientes, foram calculados os consumos dos usos finais e os respectivos potenciais de conservação de cada unidade analisada, apresentados na tabela a seguir.

Tabela 6: CUASO: potenciais de conservação de energia elétrica.

UNIDADE	Total [MWh/mês]	CONSUMO ATUAL				POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO [%]			ECONOMIA DE ENERGIA	
		ILUMINAÇÃO [%]	AR CONDICIONADO [%]	PCs [%]	EQUIPAMENTOS [%]	ILUMINAÇÃO	AR CONDICIONADO	PCs	[%]	[MWh/mês]
CECAE	3,2	59	0	13	28	32,8	0,0	1,6	34,4	1,1
CEPEUSP	89,6	44	2	0	54	20,4	-0,6	0,0	19,8	17,7
EEF	71,9	54	13	1	32	30,9	1,6	0,2	32,7	23,5
FAU	85,0	38	9	3	50	-15,9	-4,4	0,4	-19,9	-16,9
FCF	293,9	25	20	1	54	13,0	11,5	0,1	24,6	72,3
FEA	499,7	25	36	2	37	9,6	25,9	0,3	35,8	178,9
FUVEST	2,1	61	0	6	34	29,0	0,0	0,6	29,6	0,6
IEB	27,9	39	28	1	32	9,0	24,4	0,1	33,5	9,3
IGC	332,6	24	28	1	48	15,8	21,4	0,1	37,3	124,1
IME	184,5	49	17	4	30	32,4	11,5	0,5	44,4	81,9
IO	167,8	31	16	2	52	10,6	-4,9	0,2	5,9	9,9
IP	87,7	55	16	3	26	27,7	10,8	0,4	38,9	34,1
MAC	16,5	71	3	2	24	3,9	0,0	0,2	4,1	0,7
PCO	241,2	19	1	0	79	8,3	-3,4	0,1	5	12,1
RUSP	312,3	30	27	3	40	17,0	14,5	0,4	31,9	99,6
<b>Total</b>	<b>2.415,9</b>	<b>31</b>	<b>21</b>	<b>2</b>	<b>46</b>	<b>14,3</b>	<b>12,3</b>	<b>0,2</b>	<b>26,8</b>	<b>647,5</b>

As unidades apresentadas na tabela anterior são:	-	Comissão Especial de Regimes de Trabalho (Reitoria da USP - RUSP).
CECAE Coordenadoria Executiva de Cooperação Universitária.	-	Consultoria Jurídica (RUSP).
CEPEUSP Centro de Práticas Esportivas da USP.	-	Coordenadoria de Administração Geral (RUSP).
EEF Escola de Educação Física.	-	Pró-reitoria de Cultura e Extensão Universitária da USP (RUSP).
FAU Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.	-	Pró-reitoria de Graduação da USP (RUSP).
FCF Faculdade de Ciências Farmacêuticas.	-	Pró-reitoria de Pesquisa da USP (RUSP).
FEA Faculdade de Economia e Administração.	-	Pró-reitoria de Pós-graduação (RUSP).
FUVEST Fundação Universitária para o Vestibular.	-	Chefia de Gabinete da USP (RUSP).
IEB Instituto de Estudos Brasileiros.	-	Gabinete do Reitor (RUSP).
IGC Instituto de Geociências da USP.	-	Gabinete do Vice-reitor (RUSP).
IME Instituto de Matemática e Estatística.	-	Secretaria Geral da USP (RUSP).
- Comissão Central de Informática (IME).		
IO Instituto Oceanográfico.		
IP Instituto de Psicologia.		
MAC Museu de Arte Contemporânea.		
PCO Prefeitura do Campus de São Paulo.		

As unidades analisadas que fazem parte de unidades maiores foram agrupadas numa única instalação para efeito de análise. É o caso, por exemplo, da Reitoria da USP.

Tabela 7: CUASO: indicadores calculados.

UNIDADE	kWh / m <sup>2</sup> .mês	kWh / DE.mês	kWh / AE.mês	kWh / UE.mês	W <sub>ILUMINAÇÃO</sub> / m <sup>2</sup>	W <sub>AR CONDICIONADO</sub> / m <sup>2</sup>	W <sub>ILUMINAÇÃO</sub> / N <sub>INTERRUPTORES</sub>	m <sup>2</sup> ÁREA ILUMINADA / N <sub>INTERRUPTORES</sub>	% L <sub>RUINS</sub> / L <sub>TOTAL</sub>
CECAE	11	-	-	169	19	-	204	11	0,0
CEPEUSP	12	-	-	684	16	49	945	58	10,4
EEF	13	2479	213	164	20	102	480	24	0,1
FAU	6	817	91	73	6	37	335	55	0,0
FCF	25	3867	416	328	18	131	341	19	5,9
FEA	20	2644	202	182	14	181	309	23	0,0
FUVEST	10	-	-	267	16	-	175	11	0,0
IEB	10	6984	-	822	11	119	282	25	0,8
IGC	39	6652	1147	770	26	177	351	14	1,3
IME	18	1168	178	145	25	179	750	30	0,1
IO	13	5595	1952	679	13	48	402	30	18,3
IP	11	1219	128	103	17	117	266	16	1,0
MAC	4	2063	-	212	9	76	558	61	10,7
PCO	28	-	-	422	15	13	619	42	0,2
RUSP	24	-	22310	541	20	121	303	15	0,2
Total	18	3356	368	255	16	121	382	24	3,2

kWh / m <sup>2</sup> .mês	: consumo mensal por área útil.
kWh / DE.mês	: consumo mensal por docente equivalente.
kWh / AE.mês	: consumo mensal por aluno equivalente.
kWh / UE.mês	: consumo mensal por usuário equivalente.
W <sub>ILUMINAÇÃO</sub> / m <sup>2</sup>	: potência instalada em iluminação por área iluminada.
W <sub>AR CONDICIONADO</sub> / m <sup>2</sup>	: potência instalada em ar condicionado por área climatizada.
W <sub>ILUMINAÇÃO</sub> / N <sub>INTERRUPTORES</sub>	: potência instalada em iluminação por número de interruptores.
m <sup>2</sup> ÁREA ILUMINADA / N <sub>INTERRUPTORES</sub>	: área iluminada por número de interruptores.
% L <sub>RUINS</sub> / L <sub>TOTAL</sub>	: porcentagem de lâmpadas ruins em relação ao total de lâmpadas.

### 3.3.4 ANÁLISE DAS CONTAS DE ENERGIA ELÉTRICA DA CUASO

A CUASO é alimentada pela Eletropaulo em tensão de 88 kV. O ponto de entrega é a

subestação de transformação da Cidade Universitária, de propriedade da concessionária, que transforma a tensão de 88 kV em 13,8 kV para ser distribuída às 54 cabinas primárias do campus. A medição e o faturamento são realizados no

ponto de entrega (88 kV), embora exista um processo de descentralização da medição, onde estão sendo instalados medidores individuais em cada cabina primária do campus. Essa é uma questão discutível, existindo esforços por parte da reitoria em se manter a medição centralizada para que a CUASO possa usufruir os benefícios de ser uma grande consumidora de energia elétrica.

Outra questão bastante polêmica é o fato da CUASO ser faturada segundo a tarifa convencional A4, mesmo sendo alimentada acima de 25 kV e apresentando uma demanda superior a 500 kW, o que não está de acordo com legislação vigente.

O consumo médio mensal de energia elétrica da CUASO foi de 3.994 MWh em 1995 e de 4.379 MWh em 1996, um aumento de quase 10% para um período relativamente curto de um ano. A demanda registrada média também aumentou, passando de 10.569 kW em 1995 para 11.193 kW em 1996, um aumento de 6%. Esse crescimento da demanda e do consumo juntamente com as multas por excesso de reativos provocaram um aumento de 12% no custo médio mensal da energia elétrica, que passou de R\$ 419.238,51 em 1995 para R\$ 471.332,61 em 1996.

As causas do baixo fator de potência registrado entre dezembro de 1995 e dezembro de 1996 não foram identificadas com certeza, havendo, porém, suspeitas de que ele tenha sido causado pelo desligamento de alguns bancos de capacitores instalados na própria rede de distribuição do campus.

A curva de carga de um dia útil da CUASO é exibida na Figura 6, obtida a partir da memória de massa fornecida pela concessionária.

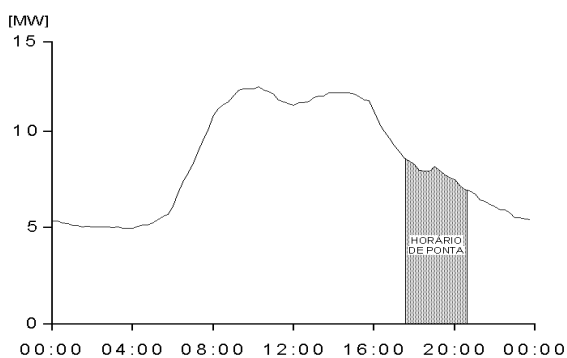


Figura 6: CUASO: curva de carga de um dia útil (12/1996).

Conforme a figura, a curva de carga da CUASO apresenta uma modulação natural de 32%, ou seja, a demanda máxima registrada no horário de ponta é igual a 68% da demanda máxima registrada no horário fora de ponta. Tal fato aponta a

possibilidade de redução do custo médio da energia elétrica através da contratação de uma tarifa horo-sazonal adequada.

Através da aplicação da metodologia estatística para análise de contas de energia elétrica, foi determinado, por regressão linear, a curva da demanda registrada aproximada da CUASO para o período entre janeiro e dezembro de 1995. Os valores obtidos pela curva foram extrapolados para o ano de 1996, conforme a Figura 7.

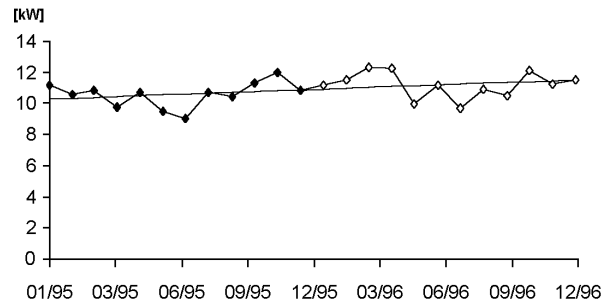


Figura 7: Regressão linear da demanda registrada.

Na figura anterior, os pontos em preto correspondem aos valores utilizados na regressão, correspondentes ao ano de 1995. Os pontos em branco correspondem aos valores registrados durante o ano de 1996. A reta de regressão calculada possui coeficientes angular e linear de 1,7670 e -51.040 (em watts), respectivamente. A média e o desvio padrão da variável  $x$  (demanda registrada sob demanda aproximada), calculados para os valores de 1995, são 1,0000 e 0,0749, respectivamente.

Conhecido estes valores, foi determinado o cronograma de reajuste dos valores da demanda contratada para a tarifa horo-sazonal azul, considerando uma modulação de carga de 32% no horário de ponta. A partir desses valores, foram realizadas simulações tarifárias, via planilha eletrônica, para as contas de 1996, comparando-se os valores efetivamente faturados segundo a tarifa convencional (atual) com os valores simulados segundo a tarifa horo-sazonal azul (sugerida).

Vale enfatizar que os valores de 1995 foram utilizados para estimar o crescimento do consumo ocorrido em 1996, apontando os valores de demanda contratada mais adequados para a não ocorrência de ultrapassagem, para as probabilidades de 80, 85 e 90%, dos limites ditados pela legislação vigente (5% no caos da CUASO). Dessa forma, foram adotadas duas alterações nos valores da demanda contratada, uma em janeiro e outra em julho de 1996. O potencial de redução do custo médio de energia elétrica pôde, então, ser estimado através da

comparação do custo total obtido para 1996 pela tarifa atual (convencional) e do custo total obtido pela tarifa simulada (azul) para o mesmo período.

Vale observar, ainda, que a tarifa horo-sazonal verde não foi simulada por não ser aplicável à CUASO, uma vez que ela é atendida em tensão superior a 69 kV.

Para a probabilidade de não ocorrência de ultrapassagem de 85%, com valores de reajuste da demanda contratada de 11.200 kW e 11.550 kW para os meses de janeiro e julho de 1996, respectivamente, a adoção da modalidade tarifária horo-sazonal azul teria proporcionado uma economia de 6,4% em 1996.

### 3.3.5 CONCLUSÕES

Os resultados dos diagnósticos energéticos realizados são bastante encorajadores. No caso do

edifício da Engenharia de Eletricidade, o potencial de conservação de energia elétrica total é estimado em 44%. Para o edifício da Zoologia, o potencial de conservação é ainda maior, cerca de 51%. Para as outras 26 unidades analisadas, é estimado um potencial de conservação médio de 26,8%. Considerando-se que a amostra analisada é bastante representativa (55% do consumo total do campus) e extrapolando os resultados para as demais unidades não analisadas, o potencial de conservação de energia elétrica total do campus (sem considerar a iluminação pública, responsável por aproximadamente 3% do consumo total) seria 27%. Além disso, a mudança de modalidade tarifária no contrato de fornecimento junto à concessionária possibilitaria uma economia de 6%.

A Tabela 8 resume os potenciais de conservação de energia elétrica estimados através da metodologia apresentada.

Tabela 8: CUASO: potenciais de conservação de energia elétrica.

PARCELA	CONSUMO ATUAL [%]	POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO [MWh/MÊS]	POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO [%]
Edifício da Engenharia Elétrica da EPUSP	3,4	64,2	1,5
Edifício da Zoologia do IB	0,8	18,7	0,4
26 unidades analisadas	55,2	647,5	14,8
Demais unidades não analisadas	37,6	441,1	10,1
Iluminação pública	3	Não calculado	
TOTAL	100,0	1.171,5	26,8

Observação: Os consumos atuais foram calculados considerando o consumo total médio de 1996 (4.379.107 kWh/mês).

É importante salientar, ainda, que os resultados anteriores foram estimados a partir de valores conservativos, ou seja, eles devem representar valores mínimos dos potenciais de conservação realmente existentes na CUASO.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia apresentada é prática e de fácil aplicação, baseada na experiência obtida durante a implementação do Projeto Conservusp, realizado em 1996 na CUASO. Ela contempla procedimentos que vão desde a coleta de dados até a determinação do potencial de conservação de cada uso final considerado, passando pela análise de indicadores energéticos que permitem estimar potenciais de conservação a partir de comparações com valores típicos obtidos em outros

diagnósticos. Além disso, também é considerada uma análise estatística das contas de energia que permite a redução do custo médio da energia elétrica.

Foi apresentado, também, um estudo de caso abrangente, com exemplos de aplicação direta da metodologia desenvolvida. Os resultados obtidos são bastante significativos, apontando para um potencial de conservação de energia elétrica mínimo de 27% para toda a CUASO, existindo unidades com potenciais de conservação próximos a 50%.

Os resultados do diagnóstico energético realizado na CUASO dentro do Projeto Conservusp, serviram de argumento para a criação e implementação de um programa para a promoção do uso racional e eficiente de energia elétrica na USP. Em maio de 1997, a reitoria da universidade



baixou a portaria que cria o Programa Permanente para o Uso Eficiente de Energia Elétrica na USP, um programa multidisciplinar com o objetivo de estabelecer diretrizes, propor atuações, avaliar e gerenciar o uso da energia elétrica nas unidades e campi da USP.

Desde a criação do programa, já foram implementadas algumas medidas, entre elas:

- Aquisição de um sistema de gerenciamento e controle do consumo de energia elétrica na CUASO (em fase de licitação), que irá monitorar 37 pontos de medição, devendo, no futuro, monitorar e controlar todas as cabinas primárias do campus. Através desse sistema, será possível analisar e acompanhar o perfil de consumo das unidades, possibilitando a realização de uma grande variedade de estudos, permitindo, inclusive, segmentar a conta global da CUASO nas respectivas parcelas de consumo de cada unidade.
- Estudos para a classificação da CUASO como uma consumidora em alta-tensão.
- Campanha publicitária contra o desperdício de energia, através de cursos e palestras e da distribuição de folhetos e adesivos educativos.

Além do Programa Permanente para o Uso Eficiente de Energia Elétrica na USP em desenvolvimento, existe uma série de outros possíveis desdobramentos que não devem ser esquecidos e nem ignorados frente às vantagens indiscutíveis da implementação de algumas das estratégias conservação de energia elétrica. Fica, então, o desafio de alavancar recursos para colocar em prática essas medidas, visando transformar

a universidade num referencial do uso racional e eficiente de energia elétrica.

## Referências Bibliográficas

- [1] GELLER, H. **O uso eficiente da eletricidade** - uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil. Rio de Janeiro, Instituto Nacional de Eficiência Energética, 1994.
- [2] LAMBERTS, R.; LOMARDO, L. L. B.; AGUIAR, J. C.; THOMÉ, M. R. V. **Eficiência energética em edificações: estado da arte**. Mar. 1996.
- [3] ROMÉRO, M. A. **Método de avaliação do potencial de conservação de energia elétrica em campi universitários: o caso da Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira**. São Paulo, 1994. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.
- [4] MILLS, E. A neglected opportunity. **IAEEL newsletter**, v.3, n.7, p.1, 3, 1994.
- [5] AGÊNCIA PARA APLICAÇÃO DE ENERGIA. **Auto-avaliação dos pontos de desperdício de energia elétrica no setor público**. São Paulo, 1989.
- [6] COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. São Paulo, Edgard Blücher, 1977.
- [7] UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Anuário estatístico 1996**. São Paulo, 1997.
- [8] ALVAREZ, A. L. M. **Uso racional e eficiente de energia elétrica: metodologia para a determinação dos potenciais de conservação dos usos finais em instalações de ensino e similares..** São Paulo, 1998. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.