

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA**

LUIZ HENRIQUE LEITE ROSA

**SISTEMA DE APOIO À GESTÃO DE UTILIDADES E ENERGIA:
APLICAÇÃO DE CONCEITOS DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E
DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO.**

**São Paulo
2007**

LUIZ HENRIQUE LEITE ROSA

**SISTEMA DE APOIO À GESTÃO DE UTILIDADES E ENERGIA:
APLICAÇÃO DE CONCEITOS DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E
DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO.**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia

Área de concentração:
Energia Elétrica

Orientador:
Prof. Dr. Marco Antonio Saidel

**São Paulo
2007**

AGRADECIMENTOS

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento científico e tecnológico, pela bolsa de mestrado concedida.

Ao IAG - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP, pelo fornecimento dos dados de temperatura ambiente utilizados no estudo de caso desta dissertação.

Aos colegas do GEPEA, pela amizade e companheirismo durante todo período de mestrado.

Em especial, ao Prof. Dr. Marco Antonio Saidel, amigo e professor, pela orientação neste trabalho e pela oportunidade de participar, dentro do GEPEA, de importantes projetos na área de conservação de energia.

Finalmente, à minha família, pelo apoio essencial em cada etapa de minha vida.

RESUMO

ROSA, L.H.L. **Sistema de apoio à gestão de utilidades e energia: aplicação de conceitos de sistemas de informação e de apoio à tomada de decisão.** 2007. 115 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

Este trabalho trata da especificação, desenvolvimento e utilização do Sistema de Apoio à Gestão de Utilidades e Energia – SAGUE, um sistema concebido para auxiliar na análise de dados coletados de sistemas de utilidades como ar comprimido, vapor, sistemas de bombeamento, sistemas para condicionamento ambiental e outros, integrados com medições de energia e variáveis climáticas. O SAGUE foi desenvolvido segundo conceitos presentes em sistemas de apoio à decisão como Data Warehouse e OLAP – Online Analytical Processing – com o intuito de transformar os dados oriundos de medições em informações que orientem diretamente as ações de conservação e uso racional de energia. As principais características destes sistemas, que influenciaram na especificação e desenvolvimento do SAGUE, são tratadas neste trabalho. Além disso, este texto aborda a gestão energética e os sistemas de gerenciamento de energia visando apresentar o ambiente que motivou o desenvolvimento do SAGUE. Neste contexto, é apresentado o Sistema de Gerenciamento de Energia Elétrica – SISGEN, um sistema de informação para suporte à gestão de energia elétrica e de contratos de fornecimento, cujos dados coletados podem ser analisados através do SAGUE. A aplicação do SAGUE é tratada na forma de um estudo de caso no qual se analisa a correlação existente entre o consumo de energia elétrica da CUASO - Cidade Universitária Armando de Sales Oliveira, obtido através do SISGEN, e as medições de temperatura ambiente, fornecidas pelo IAG - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP.

Palavras-chave: Gestão de Energia, Utilidades, Sistemas de Informação, Sistemas de Apoio à Decisão, Data Warehouse, On-Line Analytical Processing.

ABSTRACT

ROSA, L.H.L. Support System for Utility and Energy Management: utilization of information systems and decision support systems concepts. 2007. 115 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

This work deals with specification, development and utilization of the Support System for Utility and Energy Management - SAGUE, a system created to assist in analysis of data collected from utilities systems as compressed air, vapor, water pumping systems, environmental conditioning systems and others, integrated with energy consumption and climatic measurements. The development of SAGUE was based on concepts and methodologies from Decision Support System as Data Warehouse and OLAP - Online Analytical Processing – in order to transform data measurements in information that guide the actions for energy conservation and rational utilization. The main characteristics of Data Warehouse and OLAP tools that influenced in the specifications and development of SAGUE are described in this work. In addition, this text deals with power management and energy management systems in order to present the environment that motivated the SAGUE development. Within this context, it is presented the Electrical Energy Management System - SISGEN, a system for energy management support, whose electrical measurements can be analyzed by SAGUE. The SAGUE utilization is presented in a case study that discusses the relation between electrical energy consumption of CUASO - Cidade Universitária Armando de Sales Oliveira, obtained throughout SISGEN, and the local temperature measurements supplied by IAG - Institute of Astronomic and Atmospheric Science of USP.

Keywords: Energy Management, Utilities, Information Systems, Decision Support Systems, Data Warehouse, On-Line Analytical Processing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Evolução e projeção da oferta interna mundial de energia 1980-2030.....	14
Figura 1.2 - Participação das fontes na oferta mundial de energia 1990-2030	14
Figura 1.3 - Evolução e projeção das emissões mundiais de CO ₂ 1980-2030	15
Figura 1.4 - Evolução do consumo de energia no Brasil 1970-2005	16
Figura 1.5 - Consumo final por fonte 1970-2005	17
Figura 2.1 - Esquema de ligação de um medidor de energia elétrica.....	29
Figura 2.2 - Transmissão de um pacote de dados da Saída Serial de Usuário.	33
Figura 2.3 - Coleta de dados utilizando arquitetura RS 485/ModBus.....	39
Figura 2.4 - Coleta de dados utilizando arquitetura TCP/IP	40
Figura 2.5 - Gráfico da curva de carga diária de uma unidade consumidora.....	44
Figura 2.6 - Gráfico de consumo diário e projeção de consumo mensal.....	45
Figura 2.7 - Estrutura do banco de dados do SISGEN.	46
Figura 3.1 - Diagrama de um modelo Entidade-Relacionamento	52
Figura 3.2 - Diagrama de um modelo Dimensional.	54
Figura 4.1 - Esquema do banco de dados operacional – SISGEN	69
Figura 4.2 - Esquema dimensional do Banco de Dados do SAGUE.....	70
Figura 4.3 - Banco de Dados do SAGUE.....	72

Figura 4.4 - Tela para análise multidimensional de dados – Visão 1	73
Figura 4.5 - Visão 1 - Unidade por Grandeza por Tempo.....	74
Figura 4.6 - Definição da unidade de medição.....	77
Figura 4.7 - Definição das grandezas de medição.....	78
Figura 4.6 - Definição do período para análise.	80
Figura 4.7 - Gráfico do consumo de energia da unidade CUASO	81
Figura 5.1 - Tela inicial configurada para análise: <i>unidade por tempo por grandezas</i>	84
Figura 5.3 - Comparação Consumo de Energia e Temperatura – Dois eixos	88
Figura 5.4 - Comparação entre Consumo da CUASO e Temperatura média - Normalizado ..	90
Figura 5.5 - Comparação entre Consumo da CUASO e Temperatura média – Dois eixos	92
Figura 5.6 - Consumo da CUASO x Temperatura média – Regressão linear Período de análise: setembro a novembro de 2004.	94
Figura 6.1 - Esquema funcional de um sistema de refrigeração.....	100
Figura 6.2 - Ciclo térmico teórico de refrigeração por compressão de vapor.	101
Figura 6.3 - Ciclos de refrigeração – variação da temperatura de vaporização (T_o).	103
Figura 6.4 - Ciclos de refrigeração – variação da temperatura de condensação (T_c).....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Pacote de dados da Saída Serial de Usuário.....	33
Tabela 4.1 - Exemplos de grandezas utilizadas em gestão de energia e utilidades.....	72
Tabela 4.2 - Seqüências percorridas pelo usuário para cada visão escolhida.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CUASO – Cidade Universitária Armando de Sales Oliveira

COP – Coeficiente de Performance de um ciclo térmico

DW – Data Warehouse

GLD – Gerenciamento pelo Lado da Demanda

IAG – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP

MD – Modelo Dimensional

ModBus – Protocolo de comunicação serial de dados amplamente utilizado em sistemas de automação industrial.

OCDE – Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico

OIE – Oferta Interna de Energia

OLAP – Online Analytical Processing

OLTP – Online Transaction Processing

PURE – Programa Permanente para o Uso Eficiente de Energia na USP

ROLAP – Relational Online Analytical Processing

SAGUE – Sistema de Apoio à Gestão de Utilidades e Energia

SEB – Setor Elétrico Brasileiro

SISGEN – Sistema de Gerenciamento de Energia

SQL – Structured Query Language

SSU – Saída Serial para o Usuário

SSUE – Saída Serial para o Usuário Estendida

Tep – Tonelada equivalente de petróleo

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Contexto	13
1.2	Motivação	18
1.2.1	Gerenciamento de energia elétrica na Universidade de São Paulo	20
1.3	Estrutura do trabalho	23
2	GESTÃO DE ENERGIA E SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA	25
2.1	Sistemas para Gerenciamento de Energia Elétrica.....	26
2.2	Medidores digitais de Energia Elétrica.....	28
2.2.1	Transdutores de Energia	29
2.2.2	Medidores THS	30
2.3	Registradores de Pulsos	34
2.4	SISGEN	37

2.4.1	Arquitetura e funcionamento do sistema	38
2.4.2	Tratamento dos dados no SISGEN	41
2.4.3	Estrutura do Banco de Dados	45
3	SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO	48
3.1	Data Warehouse.....	48
3.1.1	As principais ferramentas utilizadas em um Data Warehouse	50
3.1.2	A modelagem dos dados.....	51
3.2	OLAP - On-Line Analytical Processing.....	56
3.2.1	Conceitos básicos sobre OLAP	56
3.2.2	Dimensionalidade e processamento analítico.....	58
3.2.3	Esquemas do tipo ESTRELA e FLOCO DE NEVE	60
3.2.4	Extraindo informações de um Data Warehouse	61
4	SAGUE - SISTEMA DE APOIO À GESTÃO DE UTILIDADES E ENERGIA	63
4.1	Requisitos de um sistema de gestão de energia e utilidades.....	63
4.2	Desenvolvimento do Banco de Dados.....	67
4.2.1	Análise dos sistemas operacionais.....	68
4.2.2	Especificação de requisitos.....	70
4.2.3	Projeto conceitual e lógico	70

4.3	Aplicação de tecnologia OLAP	72
4.3.1	Iniciando o processo de análise multidimensional de dados	74
4.3.2	Exploração de Dados	75
4.4	Interface gráfica - Integração com ferramentas do MS Office	80
5	ESTUDO DE CASO	82
5.1	Dados de Energia Elétrica	82
5.2	Dados de Temperatura.....	83
5.3	Consumo de Energia x Temperatura	84
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	95
6.1	Conclusões.....	106
6.2	Desdobramentos	107

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

Grande parte dos aspectos ambientais, intensamente discutidos nos últimos anos, aponta diretamente para as diversas formas de transformação da energia como sendo as fontes de impactos negativos: poluição do ar, chuva ácida e aquecimento global por “efeito estufa”, que se originam principalmente da queima de combustíveis fósseis, seja na produção de eletricidade, no setor de transportes ou na indústria.

De outro lado, projeções sobre a evolução do consumo de energia mundial apontam uma taxa de crescimento muito maior que a as taxas observadas nos últimos anos, principalmente nos países em desenvolvimento (não OCDE), cuja oferta interna de energia poderá ultrapassar a dos países da OCDE já em 2010, conforme dados obtidos no Balanço Energético Nacional 2006 (EPE, 2006) e apresentados no gráfico da figura 1.1.

Segundo o Balanço Energético Nacional 2006, não deverá ocorrer mudança significativa na composição atual de fontes de energia até 2030 (figura 1.2), ou seja, as fontes não renováveis de energia continuarão a responder por mais de 90% do consumo atual de energia mundial, refletindo-se diretamente na emissão de gases de efeito estufa, particularmente CO₂, a partir da queima de derivados de petróleo, gás natural e carvão mineral. Esta evolução e a projeção das emissões mundiais de CO₂ podem ser observadas no gráfico da figura 1.3.

Este cenário evidencia um dos maiores problemas mundiais deste início de século, traduzido pelo seguinte desafio: atender as crescentes necessidades energéticas das sociedades e buscar, simultaneamente, os caminhos que garantam o desenvolvimento sustentável da humanidade.

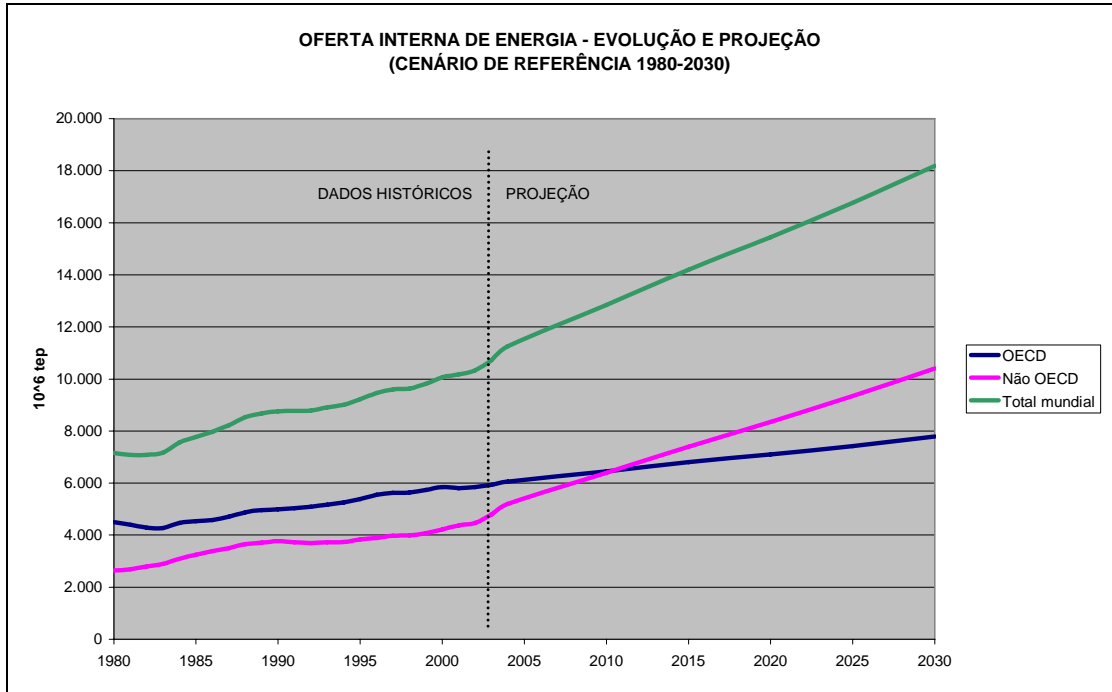


Figura 1.1 - Evolução e projeção da oferta interna mundial de energia 1980-2030

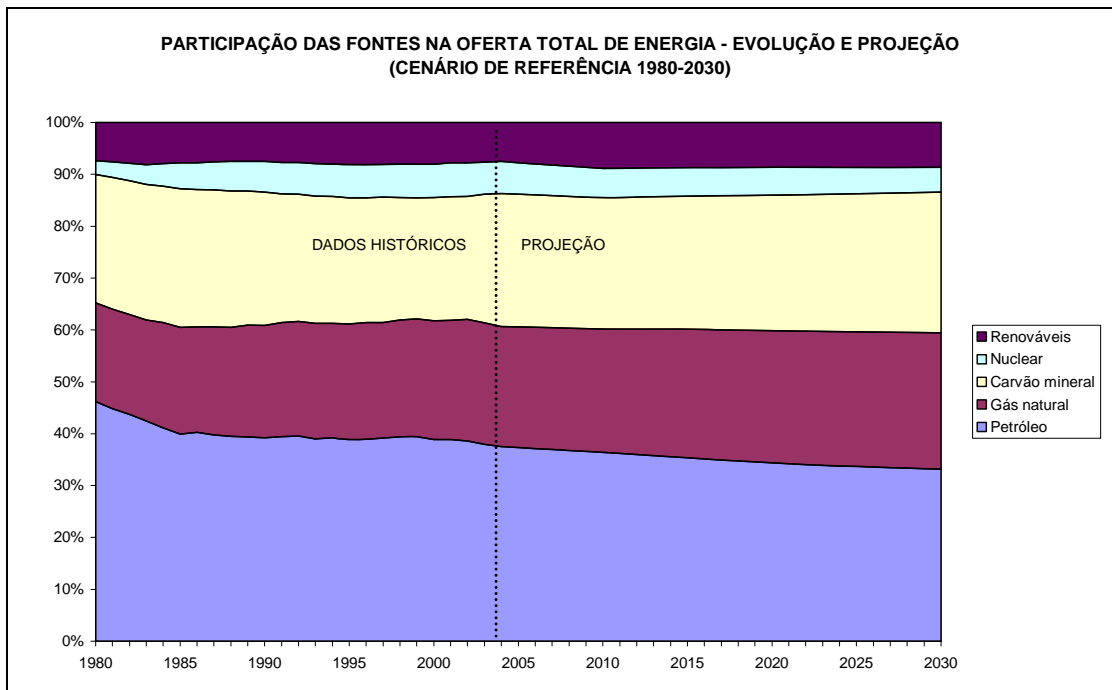


Figura 1.2 - Participação das fontes na oferta mundial de energia 1990-2030

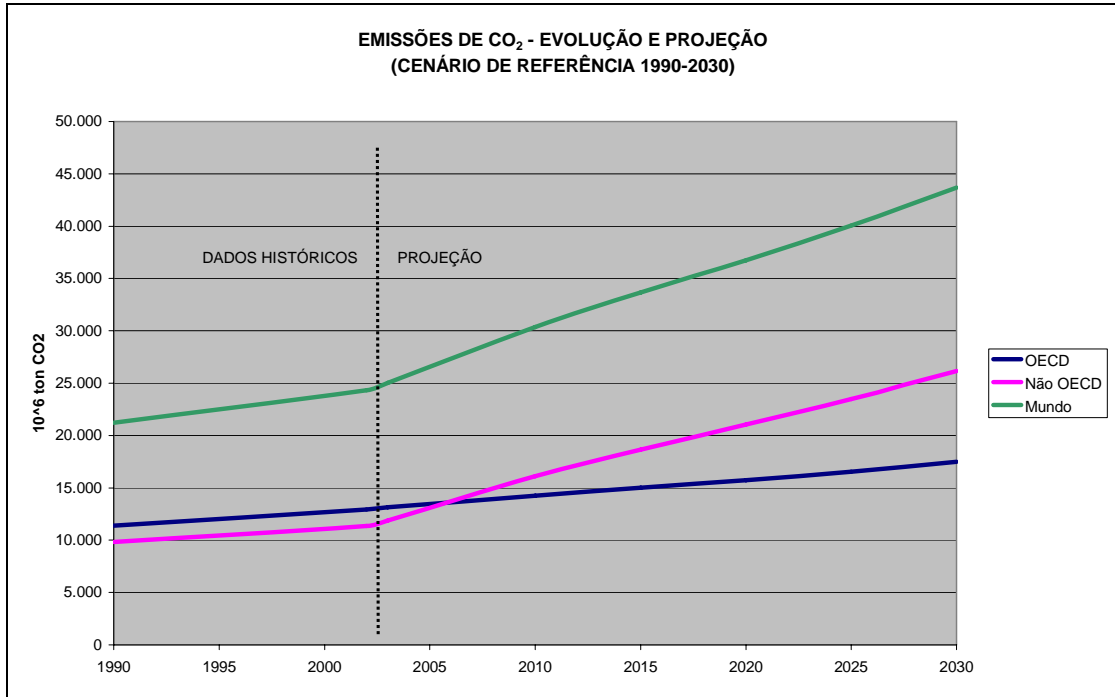


Figura 1.3 - Evolução e projeção das emissões mundiais de CO₂ 1980-2030

Segundo Goldemberg, a maneira de se resolver este problema é através da remoção das causas, uma tarefa muito difícil, uma vez que os combustíveis fósseis respondem por mais de 90% do consumo atual de energia mundial. Contudo não é impossível, pois as fontes de energia renováveis existem e podem, com o tempo, substituir a maioria dos combustíveis fósseis utilizados hoje em dia (GOLDEMBERG, 2001).

Dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2006) mostram que o consumo de energia no Brasil, com um resultado de 195,9 milhões tep em 2005, apresentou taxa de crescimento de 2,5% em relação a 2004 e 4,9% entre 2003 e 2004. Analisando-se a evolução desse consumo, observa-se um crescimento médio de 3,4% por ano entre 1970-2004. A figura 1.4 mostra a evolução do consumo de energia neste período.

Entretanto, o Brasil aumentou ainda mais a sua vantagem comparativa com o resto do mundo em termos de utilização de fontes renováveis de energia. No país, as porcentagens da OIE

(Oferta Interna de Energia) referente à energia renovável foram de 43,9% e 43,8% em 2004 e 2003 respectivamente (figura 1.5), enquanto que, em 2002, a média mundial foi de 13,6% e nos países da OCDE foi de 6%.

Mesmo que a participação das fontes renováveis de energia viesse a crescer na matriz energética mundial, a redução no consumo de energia ainda deveria ser encarada com seriedade, pois isso aliviaria os problemas ambientais e também economizaria as fontes de combustíveis fósseis, cujas reservas são finitas.

Além disso, a estratégia de aumentar a eficiência com que a energia é usada, ou seja, promover a “eficiência energética” e a “conservação de energia”, é usualmente chamada de estratégia “vencer ou vencer” porque ela é justificada por outras bases além da proteção ambiental visto que é, em geral, econômica em termos de retorno de investimento (GOLDEMBERG, 2001).

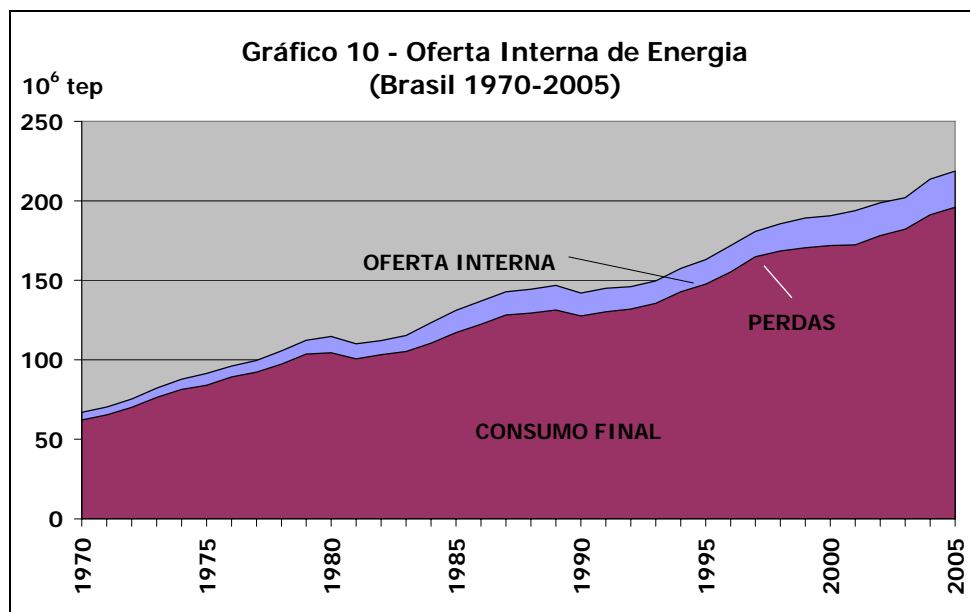


Figura 1.4 - Evolução do consumo de energia no Brasil 1970-2005

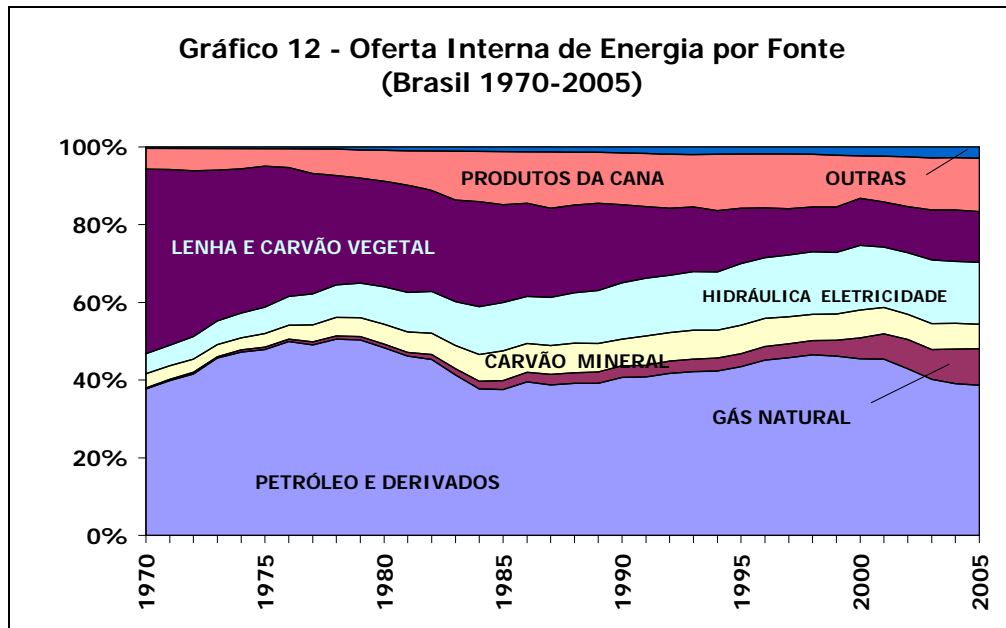


Figura 1.5 - Consumo final por fonte 1970-2005

É comum afirmar-se que a utilização de petróleo, eletricidade, gás natural, GLP e outros recursos energéticos é essencial ao desenvolvimento econômico e social. Entretanto, uma afirmação mais correta seria dizer que este desenvolvimento, a produção, o conforto e a qualidade de vida têm exigências de calor, de força motriz, de iluminação, de mobilidade e de outras prestações ou serviços. É para a satisfação destas necessidades que os recursos energéticos são usados (FERREIRA, 1994).

Segundo o mesmo autor, a energia deve ser considerada como o instrumento que permite dar satisfação às necessidades de determinados serviços, sendo estes que dão lugar ao consumo de energia. Neste contexto, toda a reflexão sobre a energia deve ser feita em termos de “satisfação de necessidades”. Assim, torna-se lícito procurar substituir o consumo de energia (ou parte dele) por outras formas ou ações que, permitindo manter o mesmo nível de serviço, conduzam à redução dos consumos de energia.

A diversidade de formas de utilização de energia numa instalação consumidora (estabelecimentos industriais, comerciais e outros) e a complexidade das diferentes transformações que podem intervir na utilização da energia justificam a necessidade de uma rigorosa gestão da energia.

1.2 Motivação

A Gestão Energética é pautada por decisões tecnicamente bem fundamentadas e contribui para a utilização racional da energia, poupando recursos financeiros para o consumidor e, de forma mais ampla, contribuindo para a utilização sustentável dos recursos naturais e energéticos.

Cada vez mais, são exigidos dos gestores de energia, consultas e análises estratégicas no que se refere ao uso racional da energia e, além disso, espera-se que as decisões sejam tomadas de forma cada vez mais rápida, potencializando seus efeitos. Frequentemente, recorre-se a sistemas e ferramentas computacionais para servirem de suporte à gestão de energia.

A obtenção de informações para a gestão de energia começa com a coleta dos dados que caracterizam o consumo desta energia. O passo seguinte é a análise e interpretação dos dados conseguidos para a obtenção de informações sobre quem, como, quando e quanto se consome de energia, visando seu uso racional e redução de gastos a partir de intervenções que promovam a conservação de energia.

Assim, a informação obtida através da exploração dos dados coletados deve ser apresentada de uma forma que a torne imediatamente útil para a tomada de decisão, ou seja, de uma forma que oriente o processo de identificação de potenciais de redução do consumo de energia e

orienta o processo decisório sobre quais as melhores ações para aumento da eficiência energética.

Neste contexto, os conceitos presentes nos sistemas de informação e apoio à tomada de decisão podem ser úteis para os sistemas de apoio à gestão de energia, pelo fato de terem como pilar de sustentação o processamento de informações por meio de análise, sempre voltadas para o processo decisório.

Data Warehouse e OLAP – Online Analytical Processing – são exemplos de ferramentas presentes em sistemas de apoio à tomada de decisão.

O Data Warehouse, que também é chamado de armazém de dados, tem como objetivo satisfazer as necessidades dos usuários (normalmente executivos, gerentes, analistas ou pessoas relacionadas com processos decisórios) quanto ao armazenamento dos dados que servirão de base para a realização de consultas e análises necessárias ao gerenciamento dos negócios.

OLAP é o conjunto de ferramentas que possibilita efetuar a exploração dos dados de um Data Warehouse e também pode ser entendido como um conjunto de tecnologias especialmente projetadas para dar suporte ao processo decisório através de consultas, análises e cálculos por parte dos seus usuários.

Desta maneira, observa-se que as ferramentas mencionadas podem contribuir em várias etapas da gestão energética, uma vez que, do ponto de vista técnico, a gestão da energia requer procedimentos bem estruturados que envolvem a elaboração de diagnósticos energéticos para caracterização do consumo e de sua relação com outras grandezas envolvidas no processo, além disso, requer um plano de ação para o uso eficiente dos equipamentos, estudos para uma

melhor contratação da energia e um posterior programa permanente de acompanhamento dos resultados e mudanças nos aspectos comportamentais.

1.2.1 Gerenciamento de energia elétrica na Universidade de São Paulo

Dado o importante papel disseminador que a universidade tem na sociedade, a USP, buscando também o manejo eficiente da energia através da racionalização energética e do uso eficiente das tecnologias disponíveis, implantou um programa institucional chamado PURE – Programa Permanente para o Uso Eficiente de Energia na USP. Neste contexto, foi desenvolvido e aperfeiçoado o Sistema de Gerenciamento de Energia Elétrica – SISGEN. Este sistema tem sido uma ferramenta importante no sucesso do PURE por dar suporte a:

- Elaboração de diagnósticos sobre a utilização de energia elétrica nos Campi da USP e determinação dos potenciais das estratégias de conservação, permitindo a priorização das ações nos usos finais por unidades;
- Monitoração permanente dos resultados das ações propostas no plano de ação, permitindo correções de rumo ou intensificação de medidas de sucesso;
- Acompanhamento em tempo real das grandezas elétricas que compõem a fatura de energia, permitindo a identificação e imediata correção de problemas que, de outra forma, seriam detectados apenas quando do recebimento da fatura emitida pela concessionária.

A importância do PURE ficou evidenciada no período de racionamento de energia elétrica imposto pelo governo no ano de 2001 quando, através das ações implementadas com suporte do SISGEN, foi possível uma economia de aproximadamente 7.000 MWh, quando comparada

com a estimativa de consumo para o ano, representando uma economia de recursos perto de R\$ 900 mil reais. Este valor foi parcialmente revertido para a aquisição de lâmpadas fluorescentes de 32W e reatores eletrônicos para substituir as instalações menos eficientes: 9.000 reatores e 15.700 lâmpadas. A instalação destes novos equipamentos eficientes resultou em uma economia permanente de pelo menos 20% no consumo de energia elétrica dos sistemas substituídos, que representa a maior fatia de uso final de energia na Universidade (SAIDEL, 2004).

As ações realizadas envolveram também a sensibilização da comunidade usuária da USP para adesão aos hábitos racionais de uso da energia através de cursos de treinamento e campanhas de conscientização.

Além disso, o SISGEN tem permitido a identificação de problemas de faturamento através do confronto das informações de consumo de energia disponibilizadas pelo sistema com as faturas de energia emitidas pela concessionária.

A partir da experiência obtida com o SISGEN na gestão de energia elétrica, vislumbrou-se que as funcionalidades presentes neste sistema poderiam ser úteis para a gestão de outros recursos energéticos e para a gestão de energia em sistemas de utilidades.

No contexto deste trabalho, são considerados como utilidades os insumos necessários para a realização da atividade principal da empresa, indústria ou instituição, mas que não fazem parte do negócio. Além da energia elétrica, a água, o gás natural, o GLP, o óleo combustível, o vapor e o ar comprimido, são exemplos de utilidades que podem ser considerados neste contexto.

Para dar suporte à gestão de energia e utilidades, foi desenvolvido um Sistema de Apoio à Gestão de Utilidades e energia (SAGUE), um sistema de informação voltado para o

armazenamento e análise de dados coletados, transformando estes dados em informações úteis para o entendimento das formas de utilização de energia, elaboração de indicadores de desempenho e, conseqüentemente, úteis para a tomada de decisões que possibilitem a prática da gestão energética.

O objetivo deste texto é tratar da especificação, desenvolvimento e utilização do SAGUE, um sistema concebido para auxiliar na análise de dados coletados de sistemas de utilidades como ar comprimido, vapor, sistemas de bombeamento, sistemas para condicionamento ambiental e outros, integrados com medições de energia e variáveis climáticas.

O SAGUE foi desenvolvido segundo conceitos presentes em sistemas de apoio à decisão como Data Warehouse e OLAP – Online Analytical Processing – com o intuito de transformar os dados oriundos de medições em informações que orientem diretamente as ações de conservação e uso racional de energia. As principais características destes sistemas, que influenciaram na especificação e desenvolvimento do SAGUE, são tratadas neste trabalho.

Um detalhamento das ferramentas do SAGUE é apresentado no capítulo 4, além da estrutura do seu Banco de Dados.

O banco de dados do SAGUE possibilita que uma variedade de grandezas (além das grandezas elétricas) possa ser armazenada, o que facilita a incorporação da medição de outras utilidades e possibilita o monitoramento dos sistemas de utilidades existentes em uma determinada unidade consumidora.

Esta característica de banco de dados herdada das ferramentas Data Warehouse, aliada a técnica de análise multidimensional de dados, ou seja, uma análise conjunta de todas as grandezas presentes, identificando relacionamentos existentes entre elas, torna o SAGUE um

efetivo sistema de apoio à gestão tanto do consumo de energia quanto dos sistemas responsáveis pela produção e distribuição de utilidades.

1.3 Estrutura do trabalho

Inicialmente, são discutidos, no capítulo 2, aspectos da gestão de energia elétrica, esclarecendo os conceitos envolvidos, os objetivos almejados e suas principais características, evidenciando a sua importância nos dias de hoje. Além disso, o levantamento de informações sobre os sistemas atualmente empregados para gestão de energia elétrica mostra como funcionam e quais são suas principais funcionalidades. Neste contexto, o Sistema de Gerenciamento de Energia – SISGEN, desenvolvido pelo Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da USP, é tratado em detalhes, abordando-se as fases de coleta, análise, monitoração e avaliação de dados de energia elétrica em tempo real, e enfatizando-se seus principais aspectos no âmbito de sistemas de informação.

No capítulo 3, são analisadas as principais características das ferramentas Data Warehouse e OLAP, que fazem parte da nova geração de sistemas de apoio à decisão, mostrando a importância da aplicação dos conceitos presentes nestas ferramentas em sistemas de apoio à gestão de energia.

No capítulo 4, é tratado, em detalhes, o Sistema de Apoio à Gestão de Utilidades e Energia – SAGUE – que faz uso dos conceitos de armazenamento e análise de dados presentes nos sistemas de apoio à decisão Data Warehouse e OLAP. A metodologia de desenvolvimento do SAGUE, contendo as fases de especificação de requisitos e implementação, também é apresentada neste capítulo.

No capítulo 5, a aplicação do SAGUE é discutida na forma de um estudo de caso no qual se analisa a correlação existente entre as medições de consumo de energia elétrica da CUASO, obtidas através do SISGEN, e as medições de temperatura ambiente fornecidas pelo IAG – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP.

São discutidas, no capítulo 6, as contribuições deste trabalho, apresentando-se as conclusões sobre os estudos realizados e comentários finais, bem como as discussões sobre desdobramentos e futuros desenvolvimentos, novas aplicações e novos estudos que podem ser realizados com o suporte do SAGUE.

2 GESTÃO DE ENERGIA E SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA

Os diversos aspectos ligados à questão do suprimento seguro e contínuo da energia, visando o desenvolvimento econômico e social da sociedade, têm sido debatidos por especialistas, pesquisadores e entidades governamentais, constituindo-se em um tema atual e de grande relevância.

Para ilustrar a gravidade e importância deste tema, vale a pena mencionar as afirmações de James Lovelock, cientista criador da Teoria de Gaia, para o qual o aquecimento global chegou a um ponto sem volta, ou seja, o equilíbrio natural foi rompido com o aquecimento global e os efeitos das mudanças climáticas se tornarão insuportáveis até a metade do século XXI (Lovelock, 2006).

Conforme mostrado no capítulo 1, o consumo atual de energia mundial continuará refletindo-se diretamente na emissão de gases de efeito estufa, particularmente CO₂, a partir da queima de derivados de petróleo, gás natural e carvão mineral. A constatação acima é de extrema importância, uma vez que os gases de efeito estufa estão diretamente ligados ao aquecimento global.

Neste contexto, a gestão da energia pode ser de grande valia enquanto ferramenta de conservação de energia, visando seu aproveitamento ótimo em bases sustentáveis.

Segundo Saidel, a gestão de energia pode ser conceituada como um conjunto de fundamentos, técnicas e ferramentas de ordenamento e conservação de energia, visando seu aproveitamento ótimo em bases sustentáveis, viabilizando estratégias de solução de problemas sócio-

ambientais presentes e futuros, minimizando a ocorrência de conflitos e tornando as atividades econômicas sustentáveis, na medida em que, simultaneamente, conservam os ecossistemas envolvidos (SAIDEL, 2005).

De uma forma simples podemos ressaltar as principais ações no âmbito da gestão energética como sendo:

- Conhecer os consumos energéticos (quem, como, quando e quanto se consome).
- Ter acompanhamento histórico dos consumos de energia.
- Dispor de informações para tomar decisões, visando a conservação de energia e solução de problemas sócio-ambientais presentes e futuros.
- Controlar o resultado das ações e investimentos realizados.

Diante destas características, verifica-se que a gestão de energia não é uma tarefa fácil, devido às dificuldades em se conseguir dados históricos do consumo de energia e transformar estes dados em informações que orientem a tomada de decisões que promovam o uso racional de energia elétrica.

Entretanto, os gestores de energia elétrica contam com ferramentas de apoio para desempenharem suas atividades, tais ferramentas encontram-se reunidas nos chamados Sistemas para Gerenciamento de Energia Elétrica, cujas características são tratadas a seguir.

2.1 Sistemas para Gerenciamento de Energia Elétrica.

O Governo Federal, preocupado com a estrutura de custos do setor de energia elétrica e com a capacidade do sistema elétrico em atender a crescente demanda da atividade industrial, iniciou

em 1982 um processo de reestruturação da sistemática de tarifação da energia elétrica junto aos grandes consumidores.

Através da portaria Nº 046, de 14 de janeiro de 1982, o Ministério de Minas e Energia determina a implantação de tarifas de energia elétrica diferenciadas conforme o período do ano e os horários de utilização da energia, considerando a necessidade de:

- Dispor de uma estrutura tarifária coerente com a estrutura de custos do setor de energia elétrica;
- Fundamentar orientações quanto à política de substituição de outros energéticos por energia elétrica;
- Racionalizar o processo de escolha de novos investimentos;
- Estabelecer uma estrutura de tarifas que oriente o consumo, para as horas e os locais onde o fornecimento é menos oneroso para a nação, estimulando um uso mais racional do sistema elétrico existente.

Nascia naquele momento o Sistema de Tarifação Diferenciada Horo-Sazonal. Através de tarifas diferenciadas ao longo do dia, estimularia o deslocamento de boa parte do consumo concentrado no horário de pico, otimizando a capacidade de abastecimento existente e evitando novos e onerosos investimentos em redes de transporte e geração de energia.

A partir desta reestruturação, surgiram algumas empresas com soluções e equipamentos para o controle dos custos com energia elétrica. Os primeiros sistemas se restringiam ao controle de demanda, que consiste no gerenciamento, em tempo real, das cargas de uma unidade, ligando ou desligando as cargas com o intuito de evitar que a demanda registrada ultrapasse a demanda contratada além da tolerância considerada na legislação em vigor.

Nesta época, os medidores não eram digitais e sim eletromecânicos, as informações sobre o consumo de energia eram passadas através de pulsos elétricos do medidor para o sistema controlador de demanda.

Posteriormente, as informações obtidas junto aos medidores de energia foram disponibilizadas para os consumidores através de programas computacionais que possibilitavam aos seus usuários visualizarem gráficos e gerarem relatórios, estes sistemas ficaram conhecidos como Sistemas de Gerenciamento de Energia.

Um Sistema de Gerenciamento de Energia Elétrica envolve a coleta de dados junto aos medidores de energia, armazenamento de dados e interface para visualização das informações. Pode ainda abranger o controle de demanda e o controle de fator de potência dependendo da aplicação.

2.2 Medidores digitais de Energia Elétrica

Atualmente os instrumentos utilizados para medição de energia elétrica em instalações onde o sistema de faturamento é do tipo horo-sazonal são os medidores digitais de energia elétrica. Tais medidores podem ser diferenciados em Transdutores de Energia e Medidores THS. Uma configuração da ligação do medidor à instalação elétrica é ilustrada na figura 2.1.

A medição de corrente é realizada através de transformadores de corrente (TC) de forma a compatibilizar os níveis de corrente para o medidor instalado. De igual maneira, são utilizados os transformadores de potencial (TP) para compatibilizar os níveis de tensão, se necessário.

A figura 2.1 mostra um esquema de ligação de um medidor de energia elétrica.

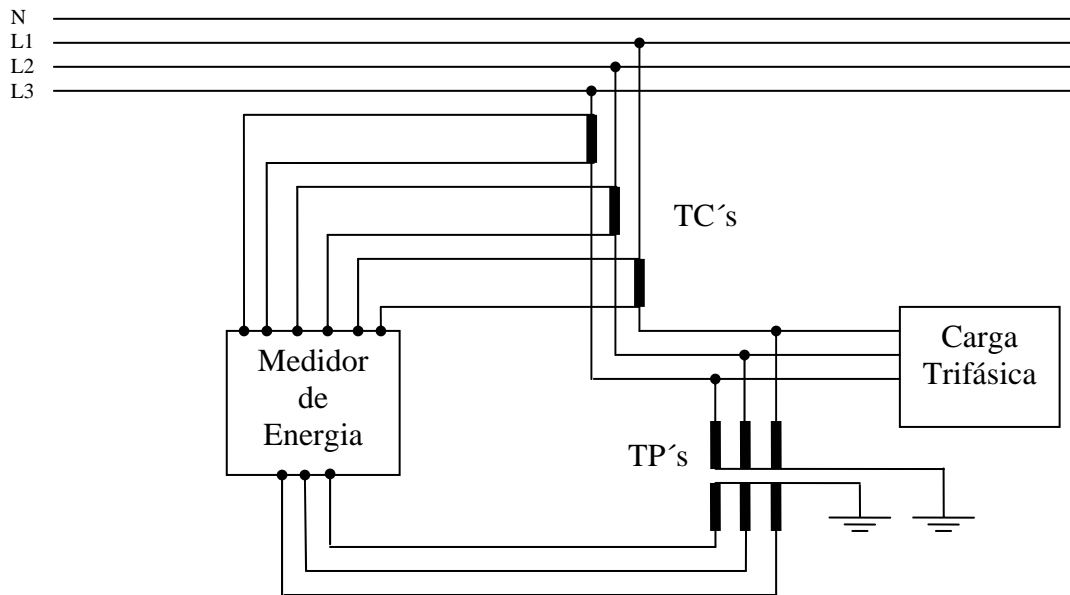


Figura 2.1 - Esquema de ligação de um medidor de energia elétrica.

2.2.1 Transdutores de Energia

Os transdutores de energia são equipamentos digitais que indicam o consumo de energia elétrica a partir dos sinais de tensão e corrente medidas na instalação consumidora.

Os transdutores de energia armazenam pelo menos as seguintes grandezas elétricas:

- Energia ativa e reativa consumida;
- Demanda de potência ativa e potência reativa;
- Fator de potência;
- Corrente e tensão elétricas;
- Frequência da rede.

Os transdutores de energia atualmente comercializados pelos principais fabricantes possuem portas de comunicação para transmissão dos dados coletados para o sistema de gerenciamento de energia. As principais são:

- RS-232: para comunicação com um microcomputador, permitindo a monitoração e programação de um único equipamento. Apresenta restrições para comunicação em distâncias na ordem de 20 a 30 metros.
- RS-485: para comunicação em uma rede ModBus ou FieldBus, possibilitando o recebimento e o envio de dados para dezenas de equipamento que estejam presentes na rede. Apresenta restrições para comunicação em distâncias na ordem de 800 a 900 metros
- Ethernet: para comunicação numa rede ethernet utilizando o protocolo TCP/IP, possibilitando o recebimento e o envio de dados para qualquer equipamento conectado à rede (Internet ou Intranet) e devidamente endereçado. Não possui restrições de distâncias para comunicação.

2.2.2 Medidores THS

Os Medidores THS são medidores digitais utilizados pelas concessionárias de energia elétrica para a tarifação horo-sazonal de seus clientes.

Estes medidores digitais de energia elétrica apresentam duas interfaces de comunicação. A primeira é de uso exclusivo da concessionária e destinada à conexão de leitoras de dados, implementada na forma de uma porta óptica, serial, assíncrona e bidirecional. A segunda é a interface de comunicação denominada Saída Serial de Usuário (SSU).

2.2.2.1 Os medidores de Energia Elétrica e a Saída Serial de Usuário (SSU)

Os medidores digitais de energia elétrica, utilizados no faturamento de unidades consumidoras por concessionárias de distribuição do Setor Elétrico Brasileiro (SEB), possuem uma interface de comunicação denominada Saída Serial de Usuário (SSU).

A SSU é uma interface óptica, serial, assíncrona e unidirecional, dedicada ao envio de dados sobre medição e faturamento para os sistemas de Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD) de unidades consumidoras, tipicamente, sistemas de gerenciamento do uso de energia elétrica.

Existem dois protocolos de comunicação normalizados para a SSU, definidos pela norma técnica brasileira NBR 14522: Saída Serial de Usuário, homônimo à interface, e Saída Serial de Usuário Estendida (SSUE), uma versão aperfeiçoada do primeiro protocolo.

2.2.2.2 Saída Serial de Usuário

A implementação de hardware da interface SSU corresponde a uma porta de comunicação óptica, serial, assíncrona e unidirecional, com velocidade de transmissão de 110 bits/s, 1 start bit, 8 bits de dados e de 1 a 2 stop bits, com nível lógico "1" correspondendo a saída desativada (led emissor apagado).

Por ser unidirecional, a porta deve enviar dados de modo contínuo, uma vez que não há maneiras de um sistema externo solicitá-los. A cada segundo o medidor deve transmitir um pacote de dados contendo, entre outras informações, o tempo restante do intervalo de demanda e as energias ativa e reativa consumidas, exceção feita no caso do fechamento do

intervalo de demanda, quando o medidor deve repetir nos próximos 2 segundos o envio desse mesmo pacote de dados.

Vale observar que esse agendamento no envio de pacotes visa aumentar a confiabilidade da transmissão de dados no processo de fechamento do intervalo de demanda corrente.

Para sistemas controladores de demanda e de fator de potência, a perda de um pacote de dados não é problemática, uma vez que informações mais atualizadas estarão disponíveis no próximo segundo.

Por outro lado, a eficácia de sistemas de informação de energia depende das informações do fechamento dos intervalos de demanda, já que são esses os dados efetivamente utilizados pela concessionária no faturamento da unidade consumidora. A perda das informações do fechamento de um único intervalo de demanda resulta na discrepância entre a fatura expedida pela concessionária e a fatura simulada pelo sistema de informação de energia (ALVAREZ, 2003).

A interface SSU apresenta grande potencial de aplicação, todavia outros dados poderiam ser fornecidos de modo a atender novas demandas de informação como, por exemplo, dados sobre as interrupções no fornecimento de energia elétrica, essenciais no acompanhamento do desempenho da concessionária local em relação aos índices de continuidades definidos pelo agente regulador.

Pacote de dados

Cada pacote de dados transmitido pela interface é formado por 8 bytes, 7 bytes de dados e 1 byte de verificação de erro. Como a taxa de transmissão é de 110 bits/s e a quantidade total de

bits transmitidos é, no máximo, 88 bits", o tempo utilizado efetivamente na transmissão do pacote é de 800 ms ($88/110 = 0,8$ s), restando 200 ms nos quais a SSU deve permanecer inativa a fim de aguardar o próximo segundo (Figura 2.2).

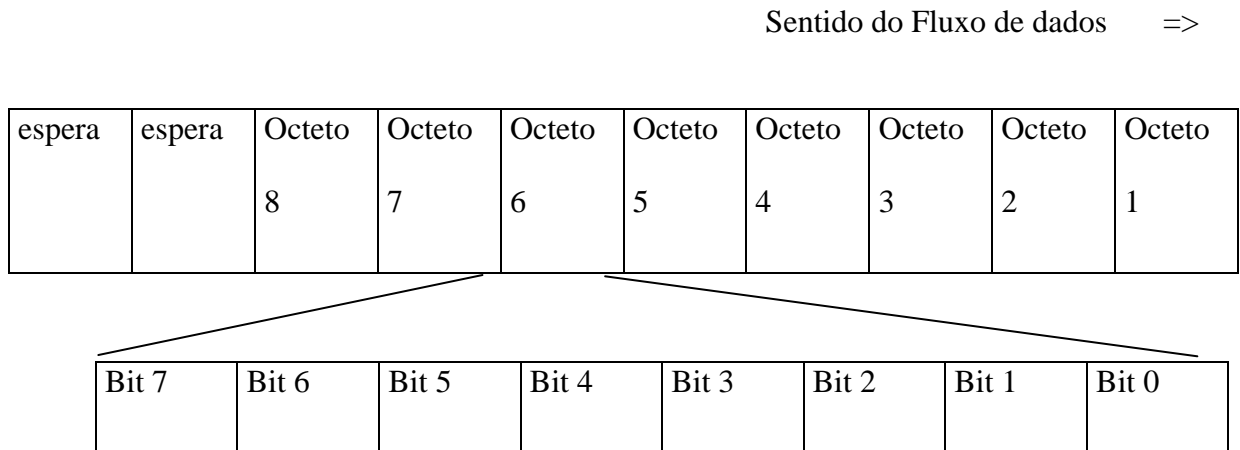


Figura 2.2 - Transmissão de um pacote de dados da Saída Serial de Usuário.

A tabela 2.1 exibe a estrutura de um pacote de dados genérico do protocolo da SSU.

Tabela 2.1 - Pacote de dados da Saída Serial de Usuário.

Octeto	Descrição
1	Bits 0 a 7: Número de segundos restantes até o fim do intervalo de demanda ativa atual- byte menos significativo.
2	Bits 0 a 3: Número de segundos restantes até o fim do intervalo de demanda ativa atual- byte mais significativo. Bit4: Indicador de fatura. Bit 5: Indicador de intervalo reativo. Bit6: Indicador do cálculo de energia reativa capacitiva excedente.

- Comunicação com o sistema de gerenciamento de energia através de uma ou mais interfaces de comunicação. As principais são: interface RS232, interface RS485 com protocolo ModBus e comunicação em uma rede Ethernet com protocolo TCP/IP.
- Memória de massa com pelo menos 36 dias (mesma capacidade de armazenamento dos Medidores de Energia THS).

Existem algumas empresas no mercado nacional que fabricam equipamentos específicos para registro de pulsos visando o gerenciamento de energia elétrica. Estas empresas desenvolveram soluções completas para gestão de energia. Desde os equipamentos para coleta de informações dos medidores, equipamentos para transmissão de dados e conversão de sinais até os programas de gestão propriamente ditos, responsáveis pela interface entre os usuários e o sistema.

A análise dos programas desenvolvidos por alguns destes fabricantes permite apontar as seguintes funcionalidades, agrupadas em gráficos, relatórios e armazenamento de dados:

Gráficos

Todos os gráficos emitidos pelos sistemas atuais são separados pelos períodos horo-sazonais ponta, fora de ponta e reservado:

- Demanda de energia ativa e reativa;
- Fator de potência.
- Perfil médio mensal da demanda de energia ativa e reativa;
- Evolução mensal das demandas de energia ativa e reativa.
- Evolução mensal do consumo de energia ativa e reativa.

- Metas de consumo, com acompanhamento diário;

Relatórios

Todos os relatórios emitidos pelos sistemas atuais são separados pelos períodos horo-sazonal de fora de ponta, ponta e reservado:

- Emissão parcial ou projeção da conta de energia elétrica;
- Interrupções no fornecimento de energia, com data e hora de ocorrência;
- Consumo ativo (kWh) para os períodos de ponta, fora de ponta, reservado e global;
- Consumo reativo (kvarh) para os períodos de ponta, fora de ponta, reservado e global;
- Fator de potência mínimo;
- Excesso de reativos capacitivos (kVAr) na rede;

Armazenamento de dados

Os registradores de pulsos são responsáveis pelo armazenamento dos dados coletados junto aos medidores de energia através da SSU, conforme visto anteriormente. Alguns destes equipamentos armazenam os dados da mesma forma como são recebidos, ou seja, na forma de octetos. Desta maneira, o sistema que fará uso destas informações deverá “interpretar” os dados utilizando as definições do protocolo padronizado pela NBR 14522 (ABNT, 2000) e, assim, obter as informações das grandezas elétricas coletadas.

Outros registradores de pulsos armazenam os dados de energia processados, ou seja, possuem o protocolo SSU implementado no próprio equipamento e quando estas informações são

passadas para o sistema de gerenciamento de energia, já se apresentam na forma de grandezas elétricas.

2.4 SISGEN

SISGEN é um sistema de informação para suporte à gestão de energia elétrica e de contratos de fornecimento, voltado para empresas e instituições interessadas em conhecer melhor o seu perfil de consumo de energia e atuar de forma a racionalizar esse consumo e reduzir despesas, atendendo as expectativas dos consumidores cativos de médio e grande porte, consumidores livres e concessionários de energia (SAIDEL, 2004).

O sistema encontra-se em plena utilização para o acompanhamento do consumo e gestão do fornecimento de energia às instalações dos diversos campi da Universidade de São Paulo - USP, como resultado de ações de pesquisa e desenvolvimento do GEPEA - Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da USP.

Trata-se de um sistema que visa à gestão corporativa da energia elétrica, na medida que permite o monitoramento de múltiplas unidades de consumo e não depende dos usuários para a realização de suas principais funções, como a coleta e armazenamento de dados, emissão de alarmes e relatórios individuais sistematizados.

O SISGEN conta com um programa de monitoração que permite o acompanhamento e tratamento, em terminal remoto, de diversas grandezas (energia consumida, demanda, fator de potência) que caracterizam o uso da energia elétrica. Adicionalmente, conta com programas responsáveis pela aquisição automática de dados e acompanhamento das grandezas medidas, verificando, em tempo real, a integridade das informações coletadas, se elas estão dentro de

faixas esperadas de operação e se todas as unidades de medição estão enviando os dados corretamente.

O suporte ao gerenciamento de energia é dado, principalmente, através de mensagens eletrônicas contendo informações sobre os alarmes ocorridos, falhas de comunicação no sistema e relatórios de consumo, que são enviadas automaticamente para os gestores de cada unidade de consumo e/ou gestor geral do sistema.

2.4.1 Arquitetura e funcionamento do sistema

São duas as arquiteturas comumente utilizadas para a coleta de dados junto aos medidores: a arquitetura com rede de comunicação local ModBus e a arquitetura com protocolo TCP/IP, utilizando-se a internet ou intranet.

Na arquitetura com rede de comunicação local, ilustrada na figura 2.3, os equipamentos de medição (transdutores de energia e registradores de pulso) instalados nos pontos de monitoramento são colocados numa mesma rede ModBus, configurados com um endereço que os identifica na rede e conectados por um par de fios. Deste modo, o computador responsável pela aquisição dos dados pode coletar as informações dos medidores, identificar de onde os dados são provenientes e, posteriormente, enviá-los para o banco de dados central.

Para um computador tipo PC se conectar a rede Modbus é necessário um conversor RS232 para RS485.

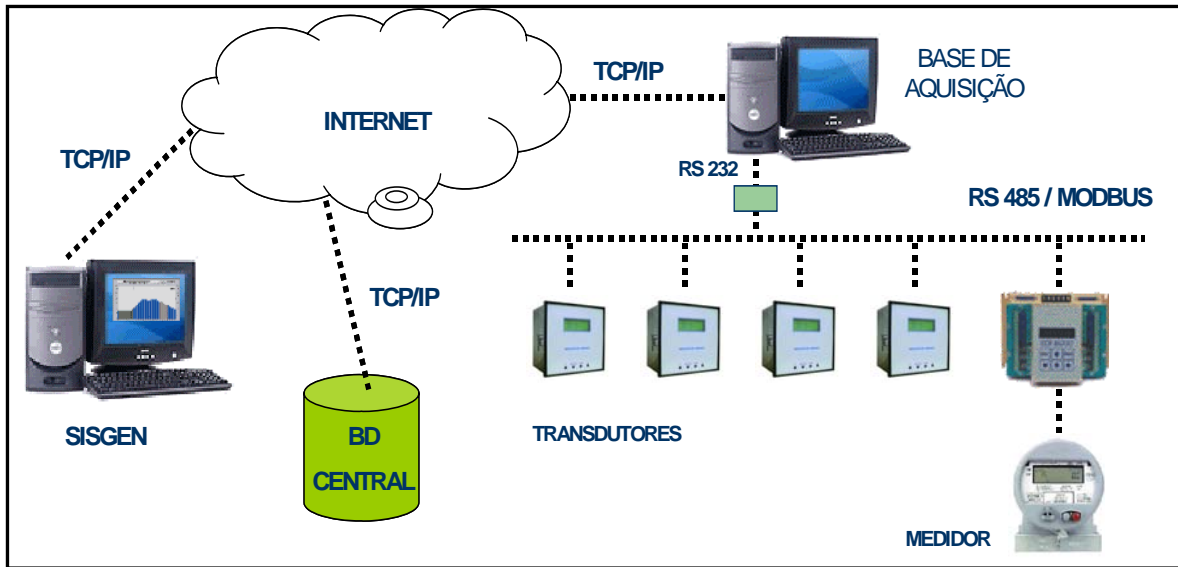


Figura 2.3 - Coleta de dados utilizando arquitetura RS 485/ModBus

Na arquitetura com coleta de dados utilizando o protocolo TCP/IP, os equipamentos de medição têm acesso direto à internet/intranet ou são interligados à rede por meio de um conversor RS485/TCP-IP, conforme ilustrado na figura 2.4.

Cada ponto de medição recebe um endereço IP que está associado à unidade consumidora na qual o equipamento está instalado e o computador responsável pela aquisição dos dados faz a coleta de informações pela internet. Esta é a principal diferença entre as bases de aquisição das diferentes arquiteturas, ou seja, a maneira como os dados são coletados e enviados para o servidor que abriga o banco de dados. A partir daí as duas arquiteturas são semelhantes. O servidor que abriga o banco de dados fica disponível todo o tempo, recebendo dados das bases de aquisição e disponibilizando as informações de consumo de energia para os gestores do sistema. Nas duas arquiteturas são utilizados computadores com IP fixo, o que demanda cuidados com a segurança no que diz respeito aos acessos permitidos a estes computadores, dentre estes cuidados, a instalação de firewalls é a mais comum.

Os gestores acessam os dados do sistema através do módulo para gestão de energia do SISGEN. Este programa pode ser instalado nos computadores dos próprios gestores.

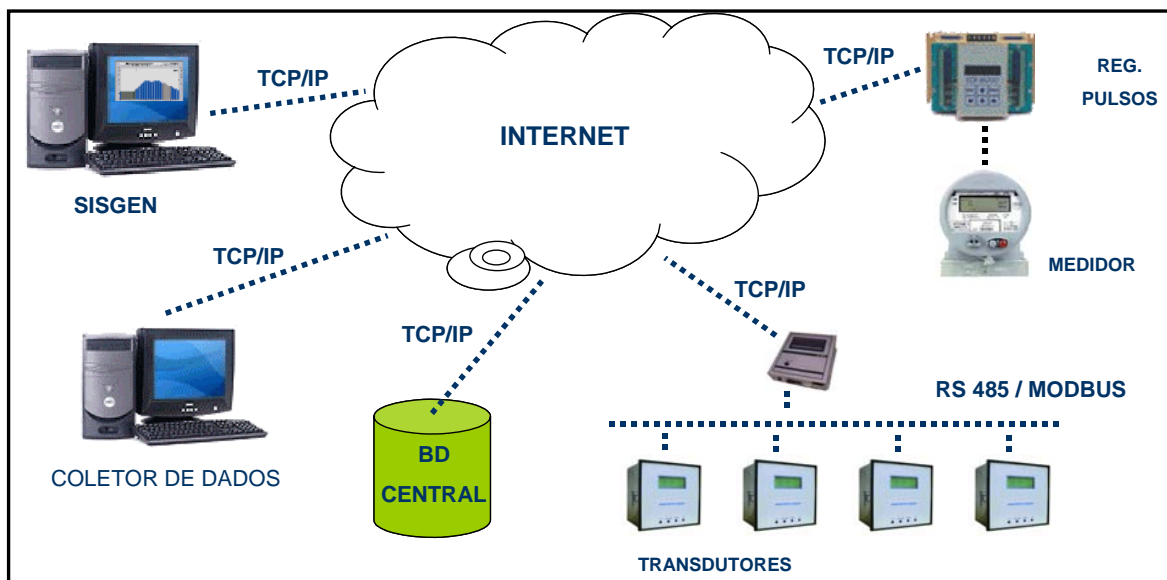


Figura 2.4 - Coleta de dados utilizando arquitetura TCP/IP

Desta forma, os principais itens que constituem a estrutura física do sistema são os equipamentos de medição, equipamentos para coleta e armazenamentos de dados, computadores e equipamentos para conversão de sinais.

Os equipamentos utilizados para implementação da comunicação TCP/IP possuem custos mais elevados que aqueles utilizados em uma rede RS485. No entanto, se as unidades de medição estiverem distantes umas das outras, a transmissão de sinais na rede RS485 fica prejudicada e passa a apresentar grande número de falhas de comunicação. Neste caso, havendo a disponibilidade de pontos de rede próximos aos pontos de medição, opta-se pela arquitetura TCP/IP, garantindo-se a confiabilidade desejada.

Nota-se, através das figuras 2.3 e 2.4, que a maneira de os computadores (que abrigam os programas para coleta de dados) estarem inseridos no sistema também não é única. Numa

arquitetura RS 485/ModBus, o computador que abriga o programa de coleta de dados necessita de um conversor RS232/485 para se comunicar com os equipamentos de medição, enquanto na arquitetura TCP/IP, o computador precisa de um acesso à rede (Internet ou Intranet).

Quando o sistema apresenta um grande número de unidades monitoradas pode-se optar pela utilização de mais de um computador para coleta de dados, neste caso, o conjunto formado pelos equipamentos de medição e computador para coleta de dados é chamado “base de aquisição”. Um sistema pode funcionar com muitas bases de aquisição quando necessário, sendo que cada uma estará enviando os dados de suas respectivas unidades para o banco de dados central.

Para a visualização dos dados armazenados no banco de dados central, podem ser utilizados computadores dedicados ou mesmo os computadores dos próprios usuários, bastando, para isso, abrigar o software de Gestão.

2.4.2 Tratamento dos dados no SISGEN

Os três módulos principais que constituem o software do SISGEN são: módulo de gestão, módulo de aquisição de dados e módulo autônomo de supervisão.

O módulo de gestão é a interface entre o sistema de gerenciamento e seus usuários, através deste programa o gestor tem acesso às informações do banco de dados central e pode visualizar as características de consumo da(s) unidade(s), emitir relatórios e fazer análises. Esta interface foi concebida para ser utilizada por qualquer usuário com interesse em fazer a gestão da energia, independentemente de sua formação, possibilitando que todos os usuários

tenham o máximo aproveitamento das funcionalidades do sistema e não apenas os usuários com formação técnica.

O programa responsável pela coleta de dados junto aos registradores de pulso e transdutores de energia é chamado “Módulo de aquisição de dados” e fica instalado no computador concentrador. Este módulo funciona de forma totalmente autônoma, dispensando qualquer intervenção por parte dos usuários do sistema e também é responsável pelo envio dos dados coletados para o banco de dados central.

A coleta de dados consiste em um processo contínuo no qual são feitas requisições para os registradores de pulso e transdutores de energia elétrica instalados nas unidades consumidoras e posterior armazenamento dos dados enviados por estes instrumentos. Cada instrumento é identificado pelo seu endereço, podendo ser um endereço ModBus se estiver em uma rede com comunicação RS485 ou um endereço IP em se tratando de comunicação via TCP/IP.

A rotina descrita acima apresenta característica importante no que se refere à garantia da integridade dos dados armazenados. Normalmente o programa faz a requisição apenas dos dados pertencentes ao intervalo de demanda atual, no entanto, existem momentos em que a rede não está disponível (por problemas nos equipamentos de transmissão de sinais ou interligações) e os dados que seriam coletados acabam não sendo armazenados. Neste caso, o próprio programa se encarrega de verificar quais os dados faltantes e, quando no restabelecimento das comunicações, faz a requisição tanto dos dados do intervalo atual quanto dos dados referentes aos intervalos que não foram armazenados pelo sistema, mas que ainda constavam na memória de massa do equipamento.

Já com os dados armazenados no banco de dados local, o programa aguarda momentos pré-determinados para enviar as informações coletadas ao banco de dados central do SISGEN, situado no servidor de banco de dados.

O processo de envio de informações para o banco de dados central é chamado de sincronização de dados e se inicia com o Módulo de Aquisição estabelecendo uma conexão o servidor. Vale dizer que todas as conexões entre os diversos computadores concentradores e o servidor devem ser autenticadas, a partir daí, verifica-se qual o último dado armazenado no banco de dados para então enviar os dados faltantes.

O SISGEN conta ainda com um programa chamado Módulo Autônomo de Supervisão, cuja finalidade é verificar constantemente os dados enviados para o banco de dados central e, a partir das configurações e metas definidas pelos gestores do sistema, indicar quais as grandezas que se encontram fora da faixa de operação estabelecida, como, por exemplo, uma projeção de consumo que ultrapassa a meta estipulada, um valor de fator de potência baixo ou uma demanda de energia que ultrapassa a demanda contratada junto à concessionária local. Além disso, verifica a integridade dos dados coletados, indicando se alguma unidade deixou de enviar corretamente seus dados. Quando ocorre qualquer um dos eventos mencionados, este Módulo Autônomo de Supervisão envia automaticamente um e-mail para o responsável pela unidade consumidora em questão, informando todos os alarmes gerados.

Módulo de Gestão – Interface Homem Máquina

Módulo de Gestão é o nome dado ao programa usado para visualizar os dados armazenados no banco de dados central. Este programa pode ser instalado no próprio computador do usuário, bastando que o mesmo tenha acesso à rede. Este programa foi concebido visando a gestão corporativa da energia elétrica, os gráficos e relatórios disponíveis permitem o gerenciamento do consumo de energia elétrica de uma ou várias unidades consumidoras de forma prática e otimizada.

O banco de dados central é atualizado constantemente, o que torna o software de gestão uma ferramenta de monitoramento on-line. Através deste programa, o usuário tem acesso ao

gráfico da curva de carga diária, ou seja, o perfil do consumo de energia de sua unidade ao longo de um dia, conforme mostrado na figura 2.6.

Além disto, o gestor da unidade pode visualizar graficamente o consumo acumulado do mês e qual a projeção para o fim daquele período de faturamento, observando se o consumo previsto esta atendendo uma meta estipulada, conforme ilustrado na figura 2.7.

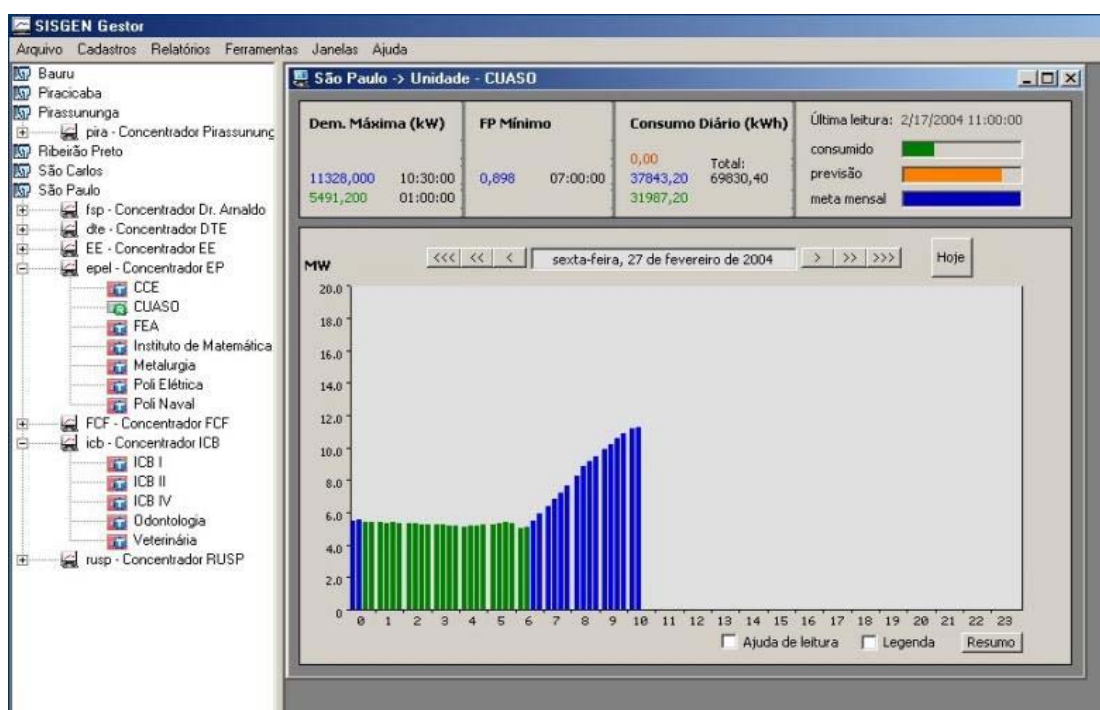


Figura 2.5 - Gráfico da curva de carga diária de uma unidade consumidora.

As informações sobre o consumo de energia das unidades monitoradas também podem ser visualizadas por meio de relatórios para impressão gerados pelo programa, podendo ainda ser convertidos em documentos com formato MS Word. Esta funcionalidade do programa permite também que o gestor esteja cotejando a fatura de energia elétrica enviada pela concessionária com os dados coletados pelo Sistema de Gerenciamento de Energia.

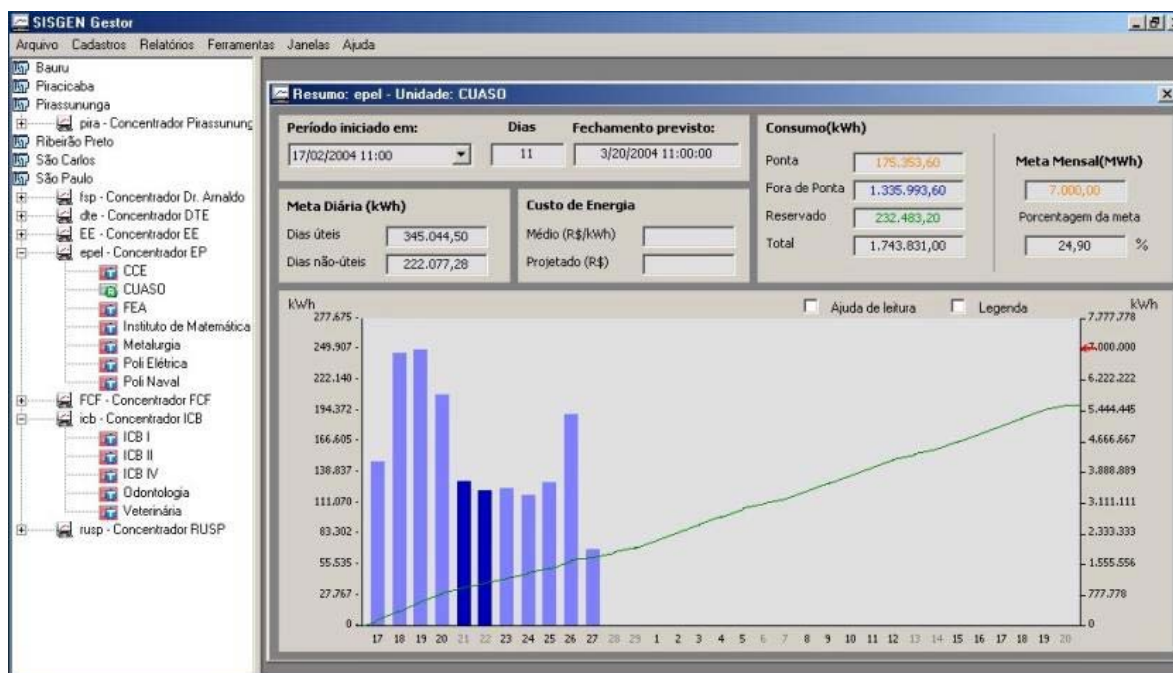


Figura 2.6 - Gráfico de consumo diário e projeção de consumo mensal.

2.4.3 Estrutura do Banco de Dados

O SISGEN possui uma estrutura de banco de dados relacional voltada para o armazenamento de grandezas elétricas.

Os dados coletados são armazenados em duas tabelas principais. A primeira, chamada “leit_registradores”, recebe dados de registradores de pulso e possui os campos que comportam as medições específicas destes equipamentos.

A segunda, chamada “leit_transdutores”, recebe dados de transdutores de energia e possui os campos que comportam as medições específicas destes equipamentos (figura 2.8).

As demais tabelas recebem os dados cadastrais do sistema e possibilitam a navegação através das informações armazenadas nas tabelas de leituras.

Os campos chaves das tabelas que armazenam as leituras são:

- Código da base: armazena o código da base à qual esta associada a unidade de medição.
- Endereço: armazena o endereço que identifica a unidade de medição em sua base.
- Canal: armazena o canal associado à medição em questão.
- Data: armazena a data e o horário em que foi feita a medição.

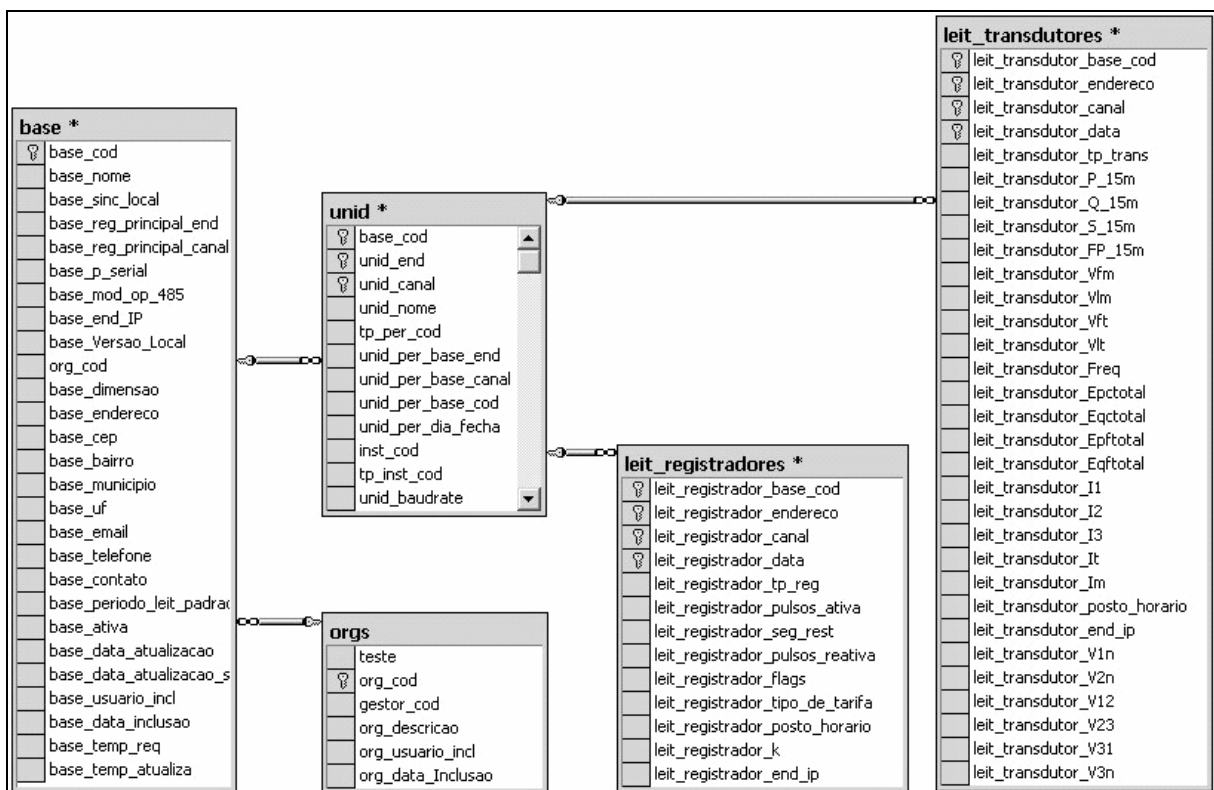


Figura 2.7 - Estrutura do banco de dados do SISGEN.

A estrutura destas tabelas é fixa, o que impossibilita a inclusão de novas grandezas diferentes das já existentes. Além disso, nem todos os equipamentos de medição disponibilizam todas as informações previstas nas tabelas, resultando em registros incompletos, ou seja, um número de campos não preenchidos.

O SISGEN possui muitas funcionalidades que auxiliam o gerenciamento de energia elétrica, a maior parte delas voltada para as atividades operacionais de controle do consumo de energia. Entretanto, nota-se a falta de ferramentas que permitam maior flexibilidade no tratamento e análise dos dados. Esta é uma dificuldade encontrada pelos gestores e pesquisadores que fazem uso deste sistema, quando na necessidade de obter informações para comparar o desempenho de unidades consumidoras que apresentam similaridades e correlacionar o consumo das unidades monitoradas com dados climáticos.

3 SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO

Neste capítulo são abordadas as principais características das ferramentas Data Warehouse e OLAP, presentes na nova geração de sistemas de apoio à tomada de decisão. São apresentados alguns dos conceitos que balizam estas ferramentas e como tais conceitos podem ser aplicados em sistemas para gestão de energia e de utilidades.

3.1 Data Warehouse

O Data Warehouse, também chamado de armazém de dados, tem como objetivo satisfazer as necessidades dos usuários (normalmente executivos, gerentes, analistas ou pessoas relacionadas com processos decisórios) quanto ao armazenamento dos dados que servirão de base para a realização de consultas e análises necessárias ao gerenciamento dos negócios.

Nos últimos anos, o conceito de “Data Warehouse” – DW evoluiu de um considerável conjunto de idéias relacionadas com armazenamento de dados para uma arquitetura voltada para a extração de informação especializada a partir de dados operacionais.

Segundo Kimbal (1996), o objetivo fundamental de um Data Warehouse é servir de base para análise e consulta. Principalmente análise do tipo estratégica, quando se busca um apoio objetivo no conjunto de informações geradas por qualquer organização para se tomar uma decisão de razoável relevância.

INMON (1992) é responsável pela definição clássica de Data Warehouse.

“Data Warehouse é uma coleção de dados orientada por assunto, integrada, variante no tempo e não volátil que tem por objetivo dar suporte aos processos de tomada de decisão”.

Segundo o autor a ferramenta é:

- orientada aos principais assuntos ou negócios da empresa como clientes, vendas, produtos, apólices, tratamentos, seguros, viagens, etc., enquanto os sistemas de informações tradicionais são orientados a processos como estoques, entradas e saídas de materiais, compras e vendas, faturamento e contabilidade;
- integrada, ou seja, trabalha de forma a padronizar os termos e as estruturas técnicas que são utilizados nos sistemas de informações tradicionais, por exemplo, nestes diversos sistemas o sexo pode ser armazenados como: "m" ou "f", "O" ou " 1 ", "x" ou "y", "macho" ou "fêmea", "homem" ou "mulher", "dama" ou "cavalheiro" e outras formas; no DW apenas uma destas formas poderá aparecer padronizando esta referência;
- não volátil, ou seja, no ambiente operacional, os dados sofrem as alterações necessárias como: incluir, alterar ou excluir dados; porém, no DW os dados permitem apenas duas atividades: a sua carga para o banco de dados e as consultas; os dados armazenados não são alterados;
- variante no tempo, ou seja, a estrutura dos dados do DW sempre contém algum elemento de tempo, enquanto nos sistemas de informações tradicionais isso não ocorre obrigatoriamente; nestes sistemas, o horizonte de tempo é normalmente de 2 a 3 meses, enquanto no DW este horizonte pode chegar a 10 anos.

Um dos benefícios proporcionados pelo DW é a diminuição do tempo que os usuários levam para obter as informações necessárias aos seus processos decisórios, uma vez que diminui o

tempo gasto com tarefas operacionais, como pesquisa e identificação dos dados necessários. Ao reunir informações dispersas em diversos bancos de dados e plataformas distintas, o DW permite que sejam feitas análises bastante eficazes, transformando dados esparsos em informações estratégicas, antes inacessíveis ou pouco aproveitadas (TAURION, 1997).

3.1.1 As principais ferramentas utilizadas em um Data Warehouse

Segundo pesquisa realizada por BISPO (1998), as principais ferramentas utilizadas em um Data Warehouse são:

- *Ferramenta para armazenamento:* são os bancos de dados, considerados o coração do Data Warehouse e parte imprescindível do projeto.
- *Ferramenta para a extração de dados:* busca, nas bases de dados operacionais, os dados que vão ser armazenados no Data Warehouse.
- *Ferramenta para a transformação de dados:* ajusta os dados operacionais para o formato do Data Warehouse. Este formato auxilia as futuras pesquisas.
- *Ferramenta para o refinamento ou limpeza de dados:* faz os ajustes necessários nos dados, fazendo correções, desmembramento e fusões de dados, quando necessário, visando melhorá-los para facilitar as futuras pesquisas.
- *Ferramenta para transferência de dados e replicação:* pode ser considerada um subconjunto da ferramenta de extração. Não faz nenhum tipo de processamento ou transformação, apenas transfere um dado de um lugar "A" para "B". Geralmente, é utilizada para facilitar e dar uma resposta mais rápida às consultas ou análises, movendo os dados para um lugar apropriado e permitindo agilizar o serviço solicitado.

- *Ferramenta para gerenciamento e administração:* o gerenciamento é o monitoramento dos bancos de dados, por exemplo, quanto ao desempenho, integridade e segurança de dados; enquanto a administração é o monitoramento do suporte ao sistema, tais como, os recursos humanos e os esquemas manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos.
- *Ferramentas para gerenciamento de consultas:* fazem consultas e/ou geram relatórios, extraíndo os dados do Data Warehouse, resumindo-os e apresentando-os em um formato apropriado.

Em poucas palavras, este conjunto de ferramentas que formam o DW tem por finalidade permitir a extração de informação a partir de dados operacionais, armazenando este dados em um formato que torne as futuras pesquisas mais ágeis e provendo o usuário de ferramentas para a realização destas pesquisas.

Vale lembrar que, para o DW cumprir seu objetivo de armazenar dados e prover agilidade nas futuras pesquisas, é indispensável uma modelagem apropriada do seu banco de dados, conforme descrito no item a seguir.

3.1.2 A modelagem dos dados

A modelagem de dados é a prática de elaborar um banco de dados usando modelos de dados já consagrados (Machado, 2004).

Segundo Machado, o processo de modelagem pode ser descrito da seguinte maneira: primeiro, desenvolve-se um modelo conceitual de alto-nível do processo ou atividade que se deseja modelar. Depois, usa-se este modelo para derivar um modelo lógico, no qual os dados

são abordados com mais detalhes. Finalmente, a partir do modelo lógico elaborase o modelo físico que provê todos os detalhes da implementação do banco de dados.

As duas principais técnicas de modelagem de dados são: a modelagem ER (Entidade-Relacionamento) e a multidimensional.

O modelo Entidade-Relacionamento divide os dados em diversas tabelas, que se relacionam entre si, formando um complexo diagrama, como exemplificado na figura 3.1. Sua estrutura é importante para a eficiência e o desempenho no ambiente operacional, onde aplicativos específicos trabalham com esta estrutura e, normalmente, não são necessárias consultas que extrapolem o âmbito desses aplicativos. Quando consultas extras tornam-se necessárias, são feitas atualizações nos referidos aplicativos para que incorporem as novas consultas, porém, isto pode demandar muito tempo de trabalho.

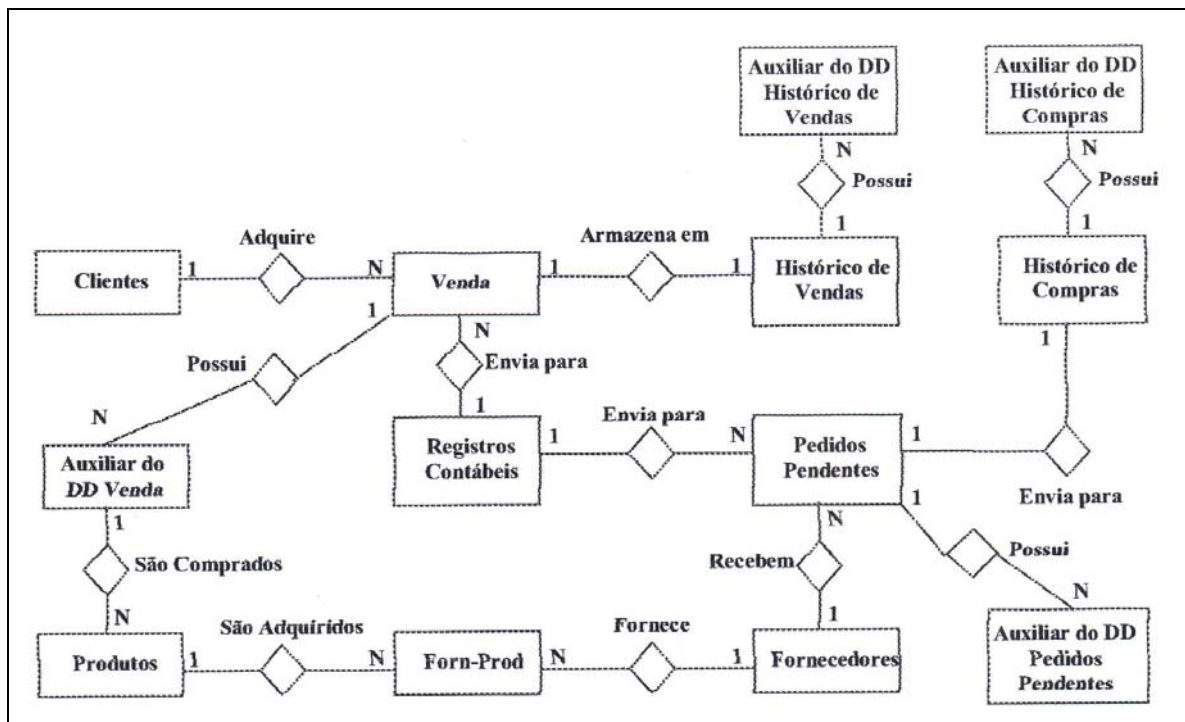


Figura 3.1 - Diagrama de um modelo Entidade-Relacionamento

Segundo Machado (2004), em um ambiente operacional a modelagem ER é a única opção a ser escolhida. Entretanto, com o advento do DW, houve a necessidade de uma técnica com suporte ao ambiente de análise multidimensional de dados, uma vez que o foco deixa de ser o controle operacional e passa a ser a disponibilização de um histórico de dados para consultas e análises.

Também para KIMBALL (1996), o modelo dimensional (MD), o qual permite análises do tipo multidimensionais, é o mais apropriado para se analisar os dados no ambiente gerencial que o modelo Entidade-Relacionamento. Segundo o autor, o modelo MD também é conhecido por "star join scheme" ou simplesmente esquema estrela (figura 3.2). O modelo é mais fácil para se consultar e analisar os dados, produz um banco de dados com menos tabelas e menor número de índices, apresenta os dados em um padrão e possui uma estrutura mais intuitiva.

A modelagem dimensional é uma técnica de concepção de banco de dados utilizada para sumarizar e reestruturar dados e apresentá-los em visões que suportem a análise dos valores desses dados.

O modelo dimensional é assimétrico, ou seja, possui uma grande tabela, que é a principal, localizada no centro do diagrama e possui outras tabelas secundárias ao seu redor, que são menores e que se relacionam com a tabela principal. A tabela central é chamada de tabela de fatos e as demais são chamadas tabelas de dimensão.

3.1.2.1 Tabela de Fatos

Fato é tudo aquilo que pode ser representado por meio de valores numéricos.

Um aspecto importante na identificação de um fato é sua característica evolutiva, ou seja, mudança de suas características com o tempo, podendo ser sempre questionado sobre sua evolução ao longo de um período.

A tabela de fatos armazena as medidas numéricas do negócio, por exemplo: unidades vendidas em cada transação, unidades produzidas em cada lote, consumo horário de energia, etc. Esta tabela apresenta uma chave composta, ou seja, é utilizado mais de um campo para se identificar unicamente um registro na tabela.

Os elementos que participam de um fato são, pelo menos:

- Quando e onde aconteceu o fato.
- Qual o objeto do fato.

3.1.2.2 Dimensões

Como apresentado no item anterior, dimensões são os elementos, as entidades que participam de algum fato. As tabelas de dimensão armazenam as descrições textuais das dimensões do fato, conforme observado na figura 3.2, que apresenta um modelo dimensional de um suposto sistema de medição de utilidades.

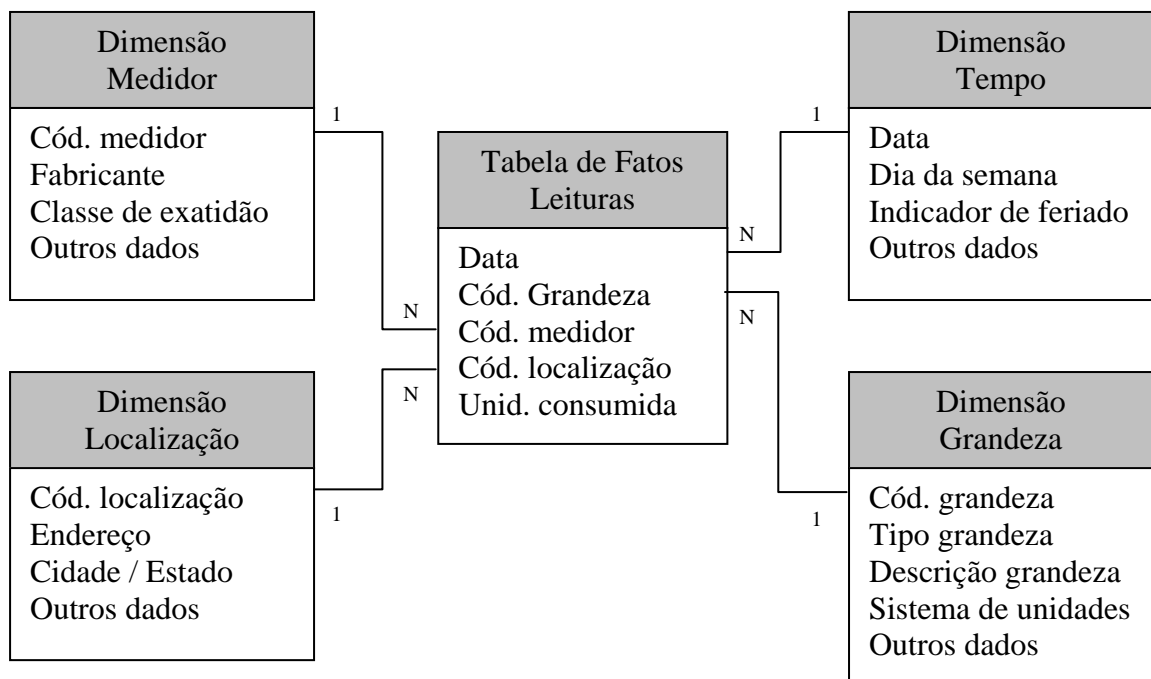


Figura 3.2 - Diagrama de um modelo Dimensional.

Neste exemplo, a dimensão “Tempo” traz o momento da leitura no medidor e informações adicionais como o dia da semana, se é feriado ou não, etc.

A dimensão “Grandeza” apresenta os dados sobre o tipo de grandeza (energia elétrica, temperatura, consumo de água, GLP e outros), bem como a descrição da grandeza e o sistema de unidades utilizado.

A dimensão “Medidor” apresenta os dados do equipamento de medição responsável pela leitura, como fabricante e classe de exatidão, enquanto a dimensão “Localização” traz informações sobre a unidade consumidora ou região onde a medição está sendo efetuada.

Cada tabela de dimensão tem uma única chave primária, que corresponde aos componentes da chave composta da tabela de fatos.

O modelo dimensional usa fatos, dimensões e hierarquias; é mais simples e elegante se comparado ao modelo Entidade-Relacionamento, e expressa o modo natural dos usuários raciocinarem (BISPO, 1998).

Entretanto, o armazenamento de dados no DW somente terá sentido se puder ser explorado, permitindo as consultas e análises desejadas.

Para que se possibilitassem as consultas, surgiram as ferramentas de conceito OLAP– On-line Analytical Processing – que permitem a análise e exploração de dados, visualização dos dados sob diversas perspectivas e navegação no nível de detalhe da informação.

Os conceitos presentes nas ferramentas OLAP são apresentados a seguir.

3.2 OLAP - On-Line Analytical Processing

Normalmente, um processo de tomada de decisão baseia-se em comparações e em tendências. Com base nos dados históricos disponíveis, é possível construir modelos de negócios que auxiliem no planejamento, ou seja, simular cenários a fim de se preparar para as incertezas do futuro.

Isto também se aplica à gestão de energia, uma vez que as políticas de eficiência energética e uso racional de energia também se baseiam em comparações e tendências obtidas através da análise do uso de energia e utilidades ao longo do tempo.

A exploração dos dados históricos de utilização de energia e utilidades pelas unidades consumidoras permite a correlação das grandezas envolvidas e elaboração de cenários que auxiliem no planejamento e escolha de políticas energéticas adequadas.

3.2.1 Conceitos básicos sobre OLAP

Segundo Machado, OLAP é o conjunto de ferramentas que possibilita efetuar a exploração dos dados de um Data Warehouse (MACHADO, 2005).

OLAP também pode ser entendido como um conjunto de ferramentas especialmente projetadas para dar suporte ao processo decisório através de consultas, análises e cálculos por parte dos seus usuários.

Esta ferramenta tornou-se a sucessora dos Sistemas de Informações para Executivos (EIS - Executive Information Systems), sistemas desenvolvidos nas décadas de 80 e 90 com o intuito de auxiliar na obtenção de informações úteis para o gerenciamento de crises, ou seja, períodos de emergência. Atualmente, o OLAP possui um âmbito mais amplo que a ferramenta

superada, uma vez que, além de dar suporte ao processo decisório, também suporta os processos de análise estratégica. (MACHADO, 2005).

A ferramenta OLAP permite que seus usuários tenham acesso aos dados que descrevem uma determinada atividade ou negócio, permitindo-lhes uma melhoria na compreensão, gerenciamento e planejamento destes negócios. Permite, ainda, analisar as múltiplas dimensões dos dados através de muitos ângulos e combinações, além de identificar tendências e descobrir o que está conduzindo os negócios.

No OLAP as respostas não são automáticas. Trata-se de um processo interativo, onde o usuário formula hipóteses, faz consultas, recebe informações, verifica um dado específico em profundidade e faz comparações (FIGUEIREDO, 1998).

A ferramenta pode ser usada em diversas atividades:

- Departamentos de Finanças - para planejar orçamentos e realizar análises financeiras;
- Departamento de Vendas - para fazer análises e estimativas de vendas;
- Departamento de Marketing - para realizar pesquisas e análises de mercado, estimativas, análises de clientes e segmentação de mercado;
- Manufatura - para realizar o planejamento, análises da produção e análises de falhas ou defeitos.
- Gerenciamento de energia e utilidades - para auxiliar na análise e interpretação de dados provenientes de medições, elaboração de indicadores de desempenho e correlacionamento entre as grandezas medidas, viabilizando estudos que tenham como foco o uso racional da energia.

Segundo Figueiredo, a principal característica das ferramentas OLAP é permitir uma visão conceitual multidimensional dos dados. Esta visão é mais útil para os usuários que a visão tradicional baseada no modelo entidade-relacionamento, utilizada nos bancos de dados operacionais, uma vez que é mais natural e intuitiva, permitindo a visão dos negócios por diferentes perspectivas e, assim, transformando os usuários em exploradores de informações (FIGUEIREDO, 1998).

As ferramentas OLAP permitem aos usuários analisar os dados em dimensões múltiplas, como região, produto, tempo e vendedor, por exemplo. Cada dimensão também pode conter hierarquias, por exemplo, a dimensão tempo pode conter as hierarquias ano, trimestre, mês, semana ou dia. A dimensão região pode ter as hierarquias: continente, país, estado, cidade ou bairro. Os dados, nestas dimensões, são agregados, ou seja, são reunidos, mas pode-se navegar livremente de uma hierarquia para outra até chegar-se na mínima granularidade dos dados.

Essa navegabilidade é importante por permitir a obtenção de informações com diferentes níveis de sumarização dos elementos e de detalhes disponíveis nos dados. Desta maneira, o usuário pode fazer análises compatíveis com o horizonte pretendido, ou seja, pode obter informações provenientes da visualização de comportamentos e tendências ao longo da janela de tempo desejada.

3.2.2 Dimensionalidade e processamento analítico

Obter respostas às questões típicas de análise dos negócios geralmente requer a visualização dos dados segundo diferentes perspectivas.

Como exemplo, dentro do contexto de gestão de energia, tem-se que a energia elétrica é consumida em diversos usos finais. Um deles é o uso final “condicionamento ambiental” caracterizado pelo consumo de energia em ar condicionado, câmaras de refrigeração, ventilação, aquecedores e outros. O consumo de energia neste uso final é fortemente influenciado pela temperatura ambiente. Caso se queira efetuar uma análise da influência da temperatura sobre o consumo de energia elétrica de uma unidade consumidora ao longo do tempo, é necessário inicialmente examinar tanto os dados do consumo de energia disponíveis quanto os dados de temperatura ambiente naquela região.

Uma análise apurada destes dados permitiria responder questões do tipo:

Qual a participação do uso final “condicionamento ambiental” no consumo global de energia elétrica em uma determinada unidade consumidora? Como esta participação é influenciada pela variação de temperatura?

A capacidade de responder a questões deste tipo é o que permite aos gerentes de energia formular estratégias efetivas, através da identificação de tendências e correlações entre diversas variáveis do processo, melhorando sua habilidade de tomar decisões visando o uso racional da energia.

Para melhor compreender os conceitos envolvidos, o exemplo acima será analisado em maior detalhe. São chamadas **dimensões** as diferentes perspectivas envolvidas, neste caso: região, tipo de grandeza e tempo. Estas dimensões usualmente correspondem a campos não numéricos em um banco de dados.

Consideremos também um conjunto de **medidas**, tal como consumo de energia e temperatura. Estas medidas constituem a tabela de fatos e correspondem, geralmente, a campos numéricos em um banco de dados. Dentro deste contexto, podem ser avaliadas agregações das medidas

segundo as diversas dimensões. Por exemplo, calcula-se o consumo médio de energia elétrica de todas as unidades consumidoras de um determinado lugar em um período e faz-se a correlação, neste mesmo período, com as temperaturas máximas registradas na região deste consumidor.

Os atributos armazenados para cada uma destas medidas podem ser caracterizados em termos de dimensões, daí a correlação com o termo **multidimensional**. Na realidade, este termo normalmente se refere a dados representando objetos ou eventos que podem ser descritos ou classificados por dois ou mais de seus atributos.

Intuitivamente, cada eixo no espaço multidimensional é um campo/coluna de uma tabela relacional e cada ponto um valor correspondente à intersecção das colunas.

3.2.3 Esquemas do tipo ESTRELA e FLOCO DE NEVE

Estruturas relacionais podem ser usadas para a representação e o armazenamento de dados multidimensionais. Neste caso, as abordagens encontradas incluem desde a adoção de formas específicas de modelagem (os chamados esquemas *estrela* e *floco de neve*) até mecanismos sofisticados de indexação.

Em um esquema do tipo estrela (figura 3.2) as instâncias são armazenadas em uma tabela contendo o identificador de instância, valores das dimensões descritivas para cada instância e valores dos fatos, ou medidas, para aquela instância (tabela de fatos). Além disso, pelo menos uma tabela é usada para armazenar dados sobre a dimensão (tabela de dimensão).

Este esquema é chamado estrela por apresentar a tabela de fatos “dominante” no centro do esquema e as tabelas de dimensões nas extremidades. A tabela de fatos é ligada às demais

tabelas por múltiplas junções, enquanto as tabelas de dimensões se ligam à tabela central por uma única junção. A figura 3.2 mostra um exemplo de um modelo tipo estrela.

A tabela de fatos é onde as medidas numéricas do fato representado estão armazenadas. Cada uma destas medidas é tomada segundo a intersecção de todas as dimensões. Uma consulta típica seleciona valores da tabela de fatos a partir de valores fornecidos relativos a cada dimensão.

Outro tipo de estrutura bastante comum é o esquema do tipo floco de neve ou “snow-flake”, que consiste em uma extensão do esquema estrela onde cada uma das “pontas” da estrela passa a ser o centro de outras estrelas. Isso porque cada tabela de dimensão seria normalizada, “quebrando-se” a tabela original ao longo de hierarquias existentes em seus atributos.

3.2.4 Extrair informações de um Data Warehouse

Mesmo sabendo que a informação sobre o perfil do consumo de energia típico, sobre o desempenho de unidades consumidoras ou sobre a correlação entre as diversas grandezas que caracterizam uso de energia e de utilidades encontra-se de alguma forma entre os muitos megabytes de dados armazenados por um sistema de gerenciamento de energia, ainda pode existir um longo caminho a ser percorrido até que esta informação esteja de fato disponível. A sua “extração” eficaz, de modo a poder estabelecer indicadores e subsidiar decisões, depende da existência de ferramentas especializadas que permitam a captura de dados relevantes mais rapidamente e a sua visualização através de várias dimensões. O termo “extração” neste contexto não deve ser confundido com a coleta dos dados das fontes para posterior alimentação do DW.

As ferramentas não devem apenas permitir o acesso aos dados, mas também permitir análises de dados significativas, de tal maneira a transformar dados brutos em informação útil para os processos estratégicos. O sucesso de um DW pode depender da disponibilidade da ferramenta certa para as necessidades de seus usuários.

No presente trabalho, a ferramenta desenvolvida atua diretamente na fase de exploração e extração de informação de um DW, visando a gestão dos sistemas de utilidades e energia elétrica.

4 SAGUE - SISTEMA DE APOIO À GESTÃO DE UTILIDADES E ENERGIA

Este capítulo trata de especificação, desenvolvimento e utilização do Sistema de Apoio à Gestão de Utilidades e Energia – SAGUE – um sistema concebido para auxiliar a análise e interpretação de dados coletados de sistemas de utilidades, variáveis climáticas (temperatura, radiação solar, umidade), energia elétrica e outros insumos energéticos, bem como para dar subsídios à identificação das relações existentes entre as diversas grandezas monitoradas.

4.1 Requisitos de um sistema de gestão de energia e utilidades

Conforme discutida no capítulo 2, a gestão de energia pode ser conceituada como um conjunto de fundamentos, técnicas e ferramentas de ordenamento e conservação de energia, visando seu aproveitamento ótimo em bases sustentáveis.

A gestão de utilidades envolve atividades voltadas para a melhoria do desempenho energético dos sistemas de utilidades, promovendo a produção e distribuição destas utilidades a custos mais baixos, na medida em que passam a consumir menor quantidade de insumos energéticos. Em outras palavras, são atividades voltadas para a conservação de energia, caracterizadas por intervenções que objetivam o uso racional da energia.

O SAGUE foi desenvolvido para auxiliar seus usuários na tarefa de obter informações importantes para a gestão de energia e utilidades, visando auxiliar principalmente nas seguintes atividades:

- Adequação de contratos de fornecimento de energia elétrica e outros insumos energéticos às necessidades de consumo, através de informações que permitam a identificação de sazonalidades e períodos de sobreconsumo, visando a redução de gastos com energia.
- Melhoria da eficiência energética nos sistemas responsáveis pela produção e distribuição das utilidades, disponibilizando informações que permitam a identificação de oportunidades de melhoria da eficiência energética e venham orientar as ações de conservação de energia.
- Acompanhamento das ações de conservação de energia, auxiliando na avaliação do impacto causado pelas medidas tomadas.

Para se obter sucesso na contratação insumos energéticos é importante que o gestor de energia conheça o seu perfil de consumo. Quando a empresa tem informações sobre quanto e quando a energia é consumida, passa a ter condições de fazer contratos mais adequados às suas características de consumo, evitando despesas desnecessárias.

A melhoria da eficiência energética de um sistema passa pelo estudo das características de consumo do mesmo, estudo este que é normalmente oriundo de um diagnóstico energético.

O diagnóstico energético, particularmente o diagnóstico de um sistema responsável pela geração e distribuição de determinada utilidade, envolve a descrição do sistema, descrição de seus equipamentos e, principalmente, envolve a determinação da eficiência energética através da análise da(s) figura(s) de mérito que caracteriza(m) o desempenho energético do sistema.

A partir desse estudo são identificados os potenciais de conservação de energia através da comparação do desempenho do sistema atual com outros sistemas que sirvam de referência ou com novas tecnologias mais eficientes que possam ser implantadas.

As empresas especializadas em conservação de energia fazem uso de figuras de mérito ou indicadores de desempenho para caracterização do rendimento energético de um determinado sistema.

Alguns exemplos de sistemas e respectivos indicadores são listados a seguir:

- Sistema de água para resfriamento: kW/TR - este indicador estabelece a relação entre a potência requerida pelo sistema responsável pela produção de água gelada e a capacidade de resfriamento (em TR).
- Sistema de água quente: kWh/kcal - este indicador estabelece a relação entre o consumo de energia do sistema responsável pela produção de água quente e a energia disponibilizada para aquecimento (em kcal).
- Sistema de ar condicionado: kW/TR - este indicador estabelece a relação entre a potência requerida pelo sistema de ar condicionado e a capacidade de resfriamento (em TR).
- Sistema de ar comprimido: kWh/m³ - este indicador estabelece a relação entre o consumo de energia do sistema de ar comprimido e o volume de ar disponibilizado pelo sistema.
- Sistema de produção de vapor: kWh/ton - este indicador estabelece a relação entre o consumo de energia do sistema responsável pela produção de vapor e a quantidade de vapor disponibilizada pelo sistema.

A caracterização destes indicadores não é uma tarefa fácil, uma vez que se faz necessária a medição tanto dos insumos energéticos consumidos quanto da quantidade disponibilizada de determinada utilidade.

Além disso, algumas variáveis climáticas podem alterar as características de consumo de um sistema e, portanto, devem ser levadas em consideração. A determinação de um índice de correlação pode ser muito importante para explicar a diferença entre desempenhos de sistemas que atuam em ambientes diferentes, por exemplo, a temperatura ambiente pode ser determinante no desempenho de sistemas de geração de ar comprimido, uma vez que influencia na temperatura e densidade do ar e, conseqüentemente, no volume de ar captado pelos compressores.

Neste contexto, a busca por um sistema computacional que permita alcançar o objetivo almejado, ou seja, dar suporte à gestão de energia e utilidades, aponta para o desenvolvimento de uma ferramenta com as seguintes características:

- Permitir análise conjunta e multidimensional de diversas grandezas envolvendo energia, utilidades e variáveis climáticas.
- Apresentar resultados graficamente de forma a permitir, por inspeção dos gráficos, a identificação de correlações entre as grandezas.
- Dar suporte para elaboração de indicadores de desempenho e índices de correlação.
- Permitir a comparação do desempenho de unidades consumidoras que apresentam similaridades.
- Permitir que os dados obtidos sejam manipulados posteriormente, disponibilizando os resultados em planilhas e gráficos em formatos conhecidos, como o Excel.

Tendo em vista as características citadas, foi especificado e desenvolvido o sistema SAGUE, objetivando auxiliar os gestores de energia na tarefa de obter informações para o estudo da eficiência energética nas unidades consumidoras da Universidade de São Paulo. Tais gestores

já utilizavam um outro sistema de informação, o SISGEN, implementado anteriormente ao SAGUE (ver capítulo 2), mas com o objetivo específico de auxiliar na gestão da energia elétrica.

Logo, o SISGEN não se mostrou suficiente para uma gestão de energia em sistemas de utilidades, uma vez que seu banco de dados não comporta outras grandezas além das grandezas elétricas. Também não permite a análise conjunta das grandezas elétricas com outras grandezas e/ou variáveis climáticas (temperatura, radiação solar, umidade).

Avaliando-se os requisitos mencionados, verificou-se que a aplicação de conceitos presentes nas tecnologias de sistemas de apoio à decisão como Data Warehouse e OLAP, discutidos anteriormente, poderia trazer grandes benefícios a este sistema SAGUE, os quais serão analisados ao longo deste texto.

A metodologia de desenvolvimento do SAGUE consistiu na especificação e implementação de um banco de dados com as características de um Data Warehouse para armazenamento dos dados e na especificação e implementação de uma ferramenta para exploração e análise dos mesmos, aplicando-se os conceitos presentes nas ferramentas OLAP.

4.2 Desenvolvimento do Banco de Dados

Durante o desenvolvimento do banco de dados do SAGUE algumas etapas foram cumpridas até a obtenção do esquema físico final com estrutura de Data Warehouse.

Dentre as várias metodologias existentes para o desenvolvimento de bancos de dados, foi escolhida a metodologia de Golfarelli (GOLFARELLI, 1998).

Seguindo esta metodologia, o desenvolvimento do Banco de dados com estrutura Data Warehouse teve seu início com a análise do principal sistema operacional envolvido, o SISGEN, responsável pela coleta de dados de consumo de energia elétrica.

Vale a pena observar que, no contexto deste trabalho, um sistema operacional se refere a um sistema relacionado com tarefas operacionais (como a coleta de dados, por exemplo), e não deve ser confundido com sistemas operacionais de computadores como DOS, Windows, Linux e outros.

Os itens a seguir discutem em detalhes as etapas percorridas durante o desenvolvimento do banco de dados, segundo a metodologia mencionada anteriormente.

4.2.1 Análise dos sistemas operacionais

O SISGEN possui um banco de dados relacional para armazenamento dos dados de consumo de energia elétrica. A estrutura do banco de dados do SISGEN foi apresentada na Figura 2.8. O esquema simplificado deste banco de dados, mostrado na Figura 4.1, contempla apenas as informações relevantes para a gestão de energia e não os dados relacionados com as tarefas operacionais.

A tabela UNID (Figura 4.1) guarda as informações sobre as unidades de medição presentes no sistema. A chave primária desta tabela é formada por três campos: código da base, endereço ModBus e canal. A necessidade destes três campos para a formação desta chave primária se deve aos tipos de equipamentos presentes no sistema.

Cada equipamento de medição está associado a uma base de aquisição e recebe um endereço que o identifica na rede de comunicação ModBus. Além disso, alguns equipamentos podem

coletar dados de mais de uma unidade consumidora, ou seja, possuem mais de um canal para medição. Desta maneira, faz-se necessária a utilização destes três campos para a identificação de uma determinada unidade de medição.

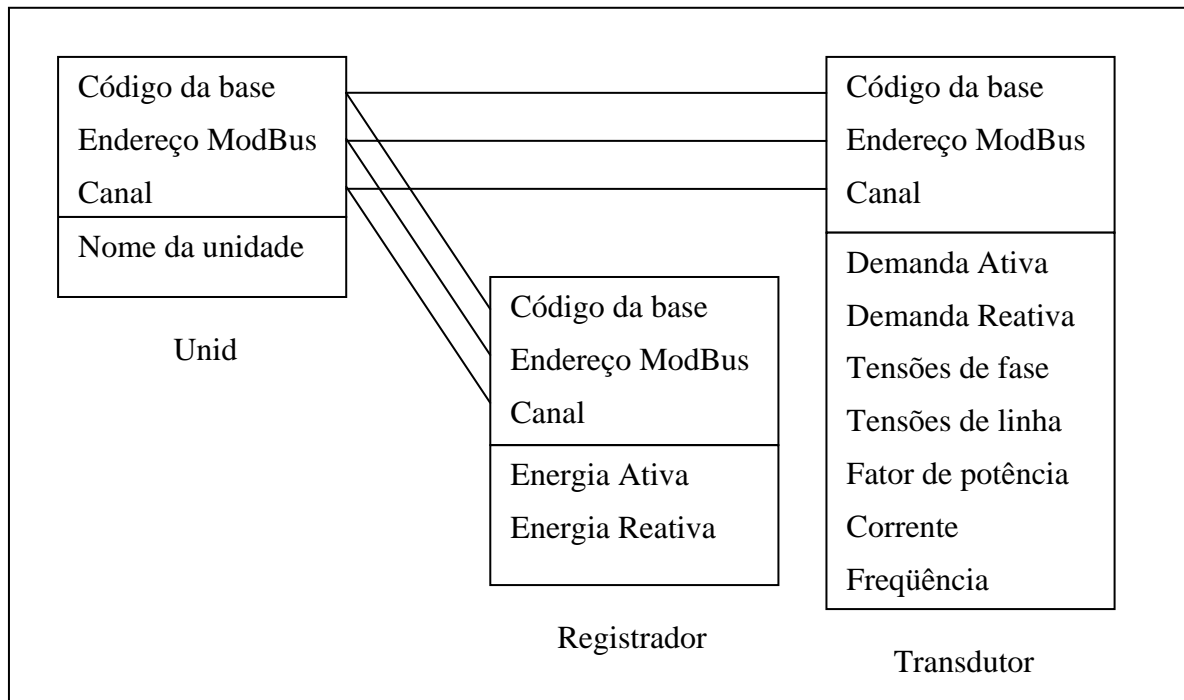


Figura 4.1 - Esquema do banco de dados operacional – SISGEN

A tabela “Registrador” armazena os dados coletados pelos equipamentos registradores de pulso. Estes equipamentos coletam informações sobre o consumo de energia Ativa e Reativa dos medidores de energia elétrica utilizados para faturamento de energia pelas Concessionárias.

A tabela “Transdutor” armazena os dados coletados pelos equipamentos transdutores de energia. Estes equipamentos coletam, além dos dados de energia Ativa e Reativa, dados de demanda, tensão, corrente, fator de potência e frequência.

4.2.2 Especificação de requisitos

Analisando-se o esquema do banco de dados operacional do SISGEN, verificou-se que os dados constituem as medições realizadas pelos equipamentos presentes no sistema. Logo, a tabela “fato” do DW deve ser constituída por tais medições.

Para diferenciar uma medição de outra, foi criada uma nova dimensão chamada “grandeza”. Além da dimensão “grandeza”, existe a dimensão “unidade” que identifica onde os dados foram medidos e a dimensão “tempo” informando quando a medição foi realizada.

4.2.3 Projeto conceitual e lógico

Com a criação de uma nova dimensão para determinação da grandeza medida, foi possível o armazenamento das medições em uma única tabela, chamada tabela “fato”, e não mais em duas tabelas diferenciadas para armazenamento das grandezas provenientes dos transdutores de energia e dos registradores de pulso.

Desta maneira, o esquema dimensional do DW atinge três dimensões: grandeza, unidade e tempo, ilustradas na Figura 4.2.

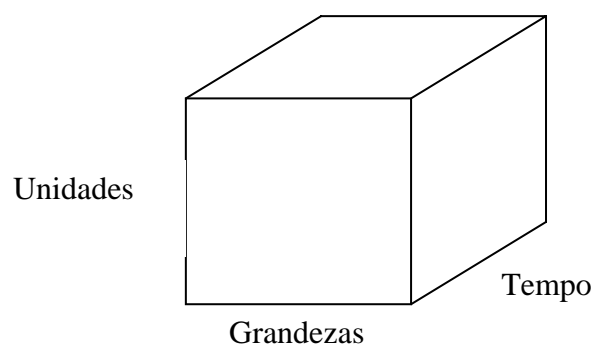


Figura 4.2 - Esquema dimensional do Banco de Dados do SAGUE

Para a implementação do esquema dimensional do SAGUE foram utilizados alguns campos já presentes no Banco de Dados do SISGEN a fim de facilitar a transferência de dados de um sistema (chamado operacional) para o outro com estrutura de Data Warehouse.

Como a estrutura de armazenamento de dados do SISGEN não varia, algumas consultas foram criadas no SAGUE para otimizar a extração de dados de energia elétrica. Outras grandezas, como consumo de água, gás natural, GLP, pressão ou temperatura, podem ser trazidas para este Banco de Dados a partir de outros sistemas dedicados à medição destas grandezas.

A presença da dimensão “grandezas” deu a flexibilidade necessária para a gestão de energia e utilidades, na medida que possibilitou o armazenamento de novas grandezas no sistema (ver tabela 4-2) e permitiu que o gestor realizasse análises conjuntas dos dados coletados.

A figura 4.3 mostra a estrutura tipo “estrela” do Banco de Dados do SAGUE. A tabela de medições (tabela fato no esquema dimensional) recebeu o nome de leituras. A dimensão “unidade de medição” apresenta chave primária composta, formada pelos campos código da base (base_cod), endereço de rede ModBus (unid_end) e canal (unid_canal).

A dimensão “tempo” guarda o momento em que a medição foi realizada. Este campo é do tipo data/hora e torna desnecessária a criação de uma tabela para esta dimensão.

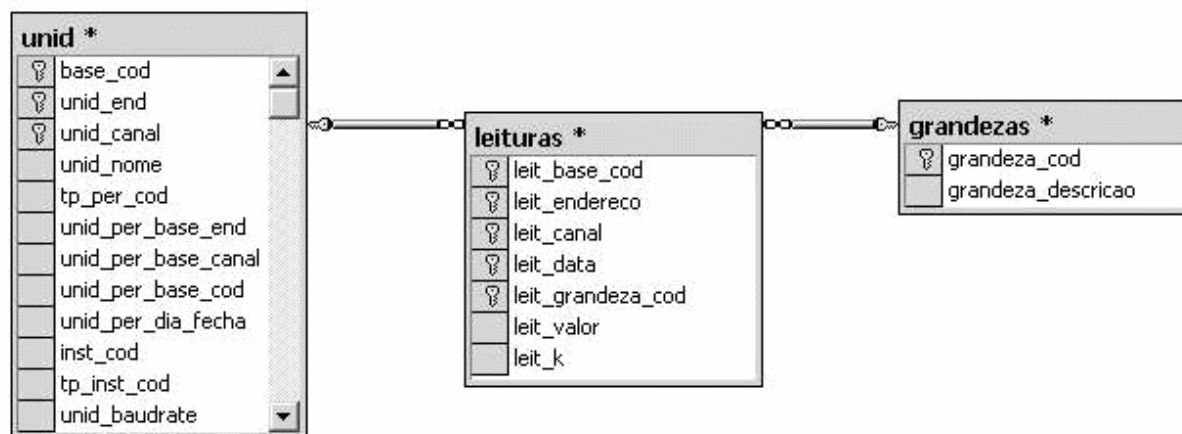


Figura 4.3 - Banco de Dados do SAGUE

A tabela 4.1 ilustra possíveis valores a serem inseridos na dimensão “grandezas” quando na utilização deste sistema para a gestão de utilidades e energia.

Tabela 4.1 - Exemplos de grandezas utilizadas em gestão de energia e utilidades

grandeza_cod	grandeza_descricao
1	Consumo de energia ativa [kWh]
2	Consumo de energia reativa [kVArh]
3	Demanda ativa [kW]
4	Demanda reativa [kVAr]
5	Consumo de GLP [m3]
6	Vazão de GLP [m3/h]
7	Consumo de água [m3]
8	Vazão de água [m3/h]
9	Temperatura ambiente [°C]

4.3 Aplicação de tecnologia OLAP

Conforme mencionado anteriormente, a tecnologia OLAP permite aos seus usuários ter acesso aos dados que descrevem os negócios, permitindo-lhes uma melhoria na compreensão, gerenciamento e planejamento destes negócios.

Nesta aplicação, procurou-se estender esta característica para a gestão de energia, na medida em que os usuários do SAGUE passam a ter acesso aos dados que descrevem os consumos de

energia e os sistemas de utilidade, permitindo-lhes a identificação de correlações entre as grandezas monitoradas e elaboração de indicadores de eficiência energética.

Uma outra característica relevante foi permitir que os usuários deste sistema pudessem analisar as três dimensões sugeridas para gestão de energia em qualquer combinação de grandezas, dando liberdade para o usuário fazer a análise que achar mais conveniente. Para isso, optou-se por uma ferramenta com interface simples e funcionalidades integradas com outras ferramentas do MS Office, como o Excel.

A figura 4.4 mostra a tela principal do SAGUE, onde se inicia o processo de análise multidimensional de dados.

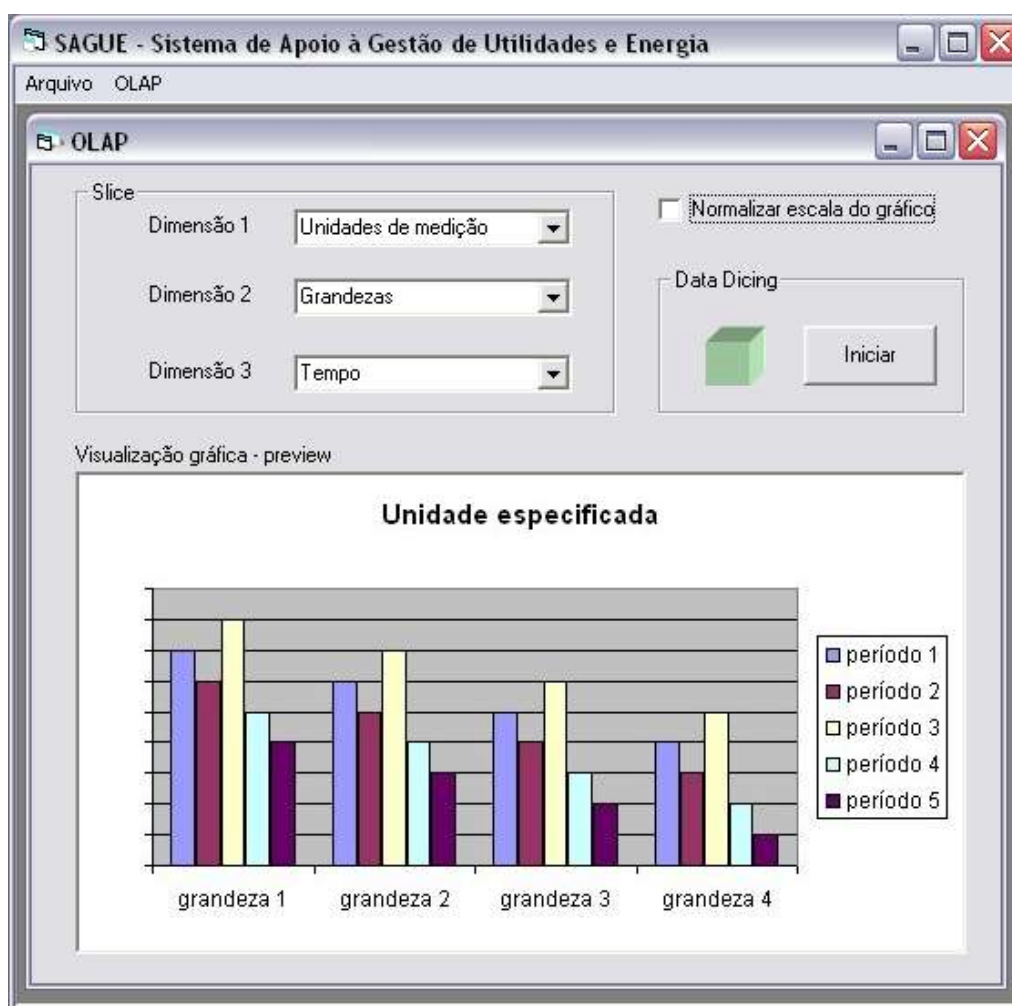


Figura 4.4 - Tela para análise multidimensional de dados – Visão 1

4.3.1 Iniciando o processo de análise multidimensional de dados

A análise multidimensional de dados começa com um procedimento conhecido por fatia ou “slice” no qual é escolhida a visão para análise dos dados. Esta etapa é muito importante, pois a escolha da visão correta pode significar a obtenção ou não da informação desejada.

O modelo multidimensional permite a visão dos dados de diversas formas. A quantidade de visões possíveis aumenta com o número de dimensões, ou seja, esta quantidade (n) é obtida calculando-se o fatorial do número de dimensões existentes (d), assim $n=d!$

No caso do SAGUE existem três dimensões, logo o usuário pode escolher uma entre 6 visões possíveis. A visão será determinada pela escolha dos atributos em cada dimensão. A figura 4.5 indica a fatia obtida com a parametrização apresentada na Figura 4.4.

Para cada visão escolhida, o SAGUE indica o tipo de gráfico que será obtido ao final do processo. Esta rápida visualização auxilia o usuário nesta etapa de fatia, na medida que o usuário pode modificar a visão caso perceba que o gráfico não será útil para a obtenção da informação desejada.

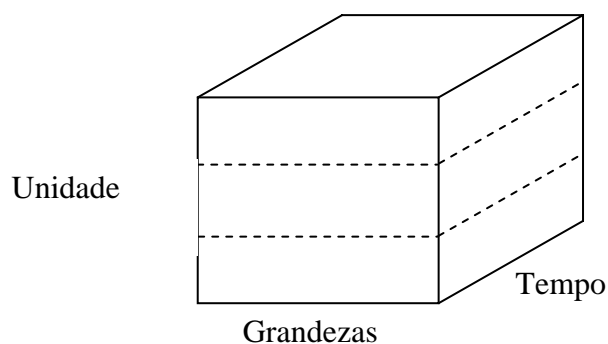


Figura 4.5 - Visão 1 - Unidade por Grandeza por Tempo

4.3.2 Exploração de Dados

O processo de exploração de dados, também conhecido por “data dicing”, é a segunda etapa na análise multidimensional de dados e consiste em escolher os dados almejados ao longo de cada dimensão. Pelo fato de existirem três dimensões no SAGUE, o processo de exploração de dados apresenta três etapas.

Foram desenvolvidas para o SAGUE três telas para servirem de auxílio em cada uma das etapas. A seqüência para apresentação destas telas varia de acordo com a visão escolhida pelo usuário.

A tabela 4.2 apresenta as seqüências percorridas pelo usuário (escolha de unidade, escolha da grandeza e escolha do período) para cada uma das visões possíveis.

Este processo foi dividido em etapas porque as escolhas feitas pelo usuário em uma etapa afetam as demais. Por exemplo, ao escolher uma determinada unidade de medição em uma etapa, o software somente apresentará na etapa seguinte as grandezas monitoras por aquela unidade. Esta funcionalidade representa uma grande contribuição deste sistema na atividade de análise de dados, uma vez que agrega agilidade na exploração dos mesmos.

Tabela 4.2 - Seqüências percorridas pelo usuário para cada visão escolhida.

	Visão 1	Visão 2	Visão 3	Visão 4	Visão 5	Visão 6
Etapa 1	unidade	unidade	grandeza	grandeza	período	período
Etapa 2	grandeza	período	unidade	período	unidade	grandeza
Etapa 3	período	grandeza	período	unidade	grandeza	unidade

Vale lembrar que existem ferramentas para exploração de dados no próprio Banco de Dados MS SQL, onde o DW do SAGUE foi implementado. Entretanto, para sua utilização são necessários ótimos conhecimentos da linguagem SQL – Structured Query Language e, além disso, constitui uma tarefa trabalhosa que pode consumir muito tempo do usuário até que este construa a consulta (Query) desejada que trará as informações de que necessita.

As figuras 4.6, 4.7 e 4.8 ilustram as telas criadas para auxiliar o usuário neste processo de exploração de dados quando na escolha da Visão 1.

Ao final de cada etapa o programa vai “montando” a consulta que será feita ao Banco de Dados no fim do processo.

A figura 4.6 apresenta a tela para definição da unidade de medição. Uma lista de unidades apresenta as unidades de medição presentes no sistema. Esta lista pode ser filtrada pela base de aquisição, facilitando a seleção da unidade desejada. Uma vez escolhida, o usuário poderá adicioná-la para compor a análise.

Neste exemplo a seguir, a unidade escolhida foi a “CUASO”, pertencente à base de aquisição “epel”. Por ser a primeira etapa, o programa permitirá que apenas uma única unidade seja selecionada, representando a fatia da análise multidimensional. Caso outras visões fossem escolhidas (ver tabela 4.3), o usuário poderia selecionar mais de uma unidade.

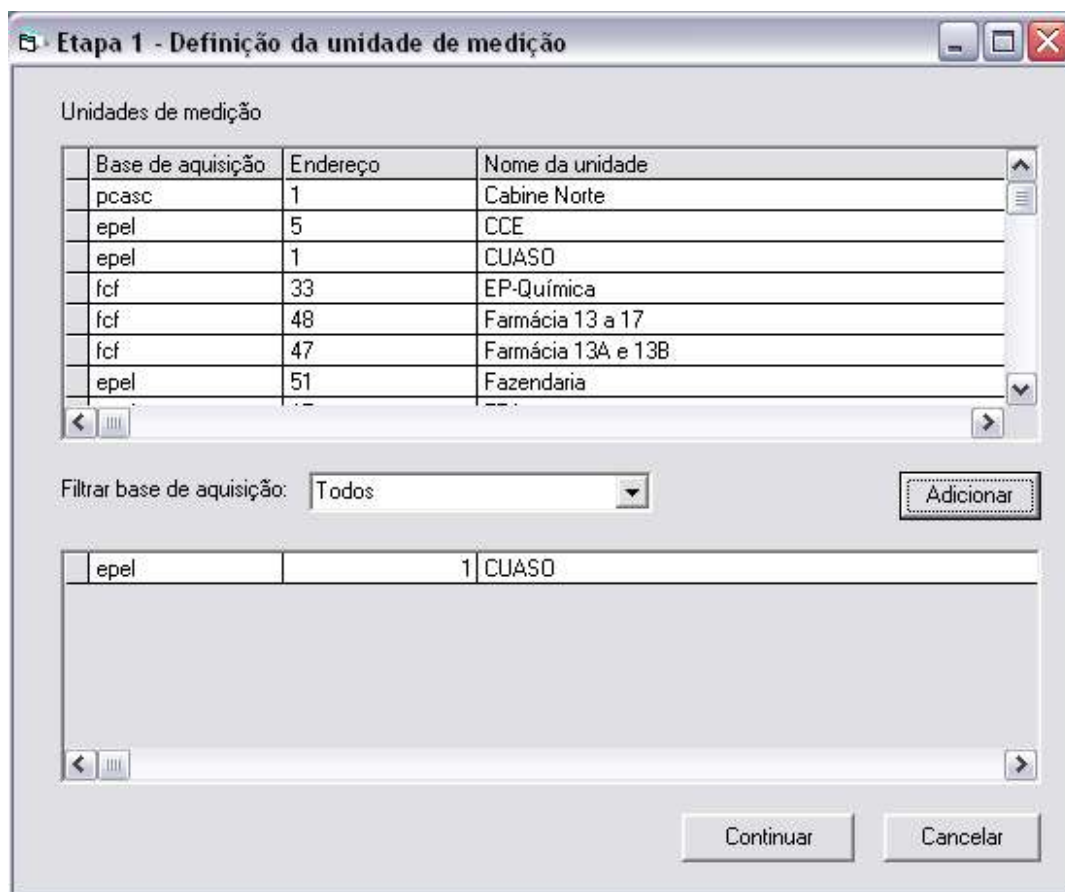


Figura 4.6 - Definição da unidade de medição.

A figura 4.7 ilustra a tela para a definição das grandezas a serem observadas. Note que a lista de grandezas disponíveis apresenta apenas as grandezas presentes na unidade de medição CUASO.

A descrição das grandezas também auxilia o usuário nesta etapa. Cada grandeza selecionada pode ser adicionada para compor a análise. Ao selecionar a grandeza, o usuário deverá escolher também o critério de agrupamento, ou seja, qual a operação a ser feita com os dados quando no agrupamento dos mesmos.

Os critérios para agrupamento são:

- Soma: os valores dos dados agrupados são somados.

- Média: retorna a média dos valores dos dados de um mesmo agrupamento.
- Máximo: retorna o valor máximo dos dados de um mesmo agrupamento.
- Mínimo: retorna o valor mínimo dos dados de um mesmo agrupamento.

Etapa 2 - Definição das grandezas de medição

Grandezas

Código	Descrição	Nome da unidade	Car
1	Consumo de Energia Ativa	CUASO	1
2	Consumo de Energia Reativa	CUASO	1
3	Demanda Ativa	CUASO	1
4	Demanda Reativa	CUASO	1

Critério de agrupamento: Máximo

Adicionar

	3	Demanda Ativa	CUASO	1	epel	1	Máximo
	4	Demanda Reativa	CUASO	1	epel	1	Máximo

Continuar Cancelar

Figura 4.7 - Definição das grandezas de medição.

No exemplo da figura 4.7 foram escolhidas as grandezas “Demanda Ativa” e “Demanda Reativa” e o critério de agrupamento selecionado foi “Máximo”. Desta maneira, serão analisados os valores máximos de demanda ativa e demanda reativa registrados no período determinado pelo usuário. Se fossem escolhidas as grandezas “Energia Ativa” e “Energia

Reativa”, o usuário deveria escolher o critério “Soma” para o agrupamento de dados, possibilitando a análise da soma dos registros de consumo, ou seja, os consumos totais de Energia no período escolhido.

Caso a etapa de definição da grandeza fosse a primeira etapa, apenas uma grandeza poderia ser escolhida e na etapa seguinte o usuário poderia escolher uma ou mais unidades de medição que apresentassem a grandeza selecionada.

A figura 4.8 ilustra a tela para a definição do período de análise. O usuário deverá preencher a data de início e a data fim para seleção dos dados armazenados no período desejado.

Além disso, a granularidade deverá ser definida nesta etapa. A granularidade de dados refere-se ao nível de sumarização dos elementos e de detalhe disponível nos dados e é considerado um dos mais importantes aspectos de qualquer Data Warehouse.

Devido às características dos dados armazenados pelo sistema, o SAGUE apresenta granularidade apenas para a dimensão “tempo”, não havendo diferentes níveis de sumarização para as dimensões “unidade de medição” e “grandeza”. A granularidade da dimensão tempo se divide em ano, mês, semana, dia, hora e minuto.

Ao escolher a granularidade, o usuário deve ter em mente a mínima granularidade dos dados disponível no DW. Caso o usuário escolha um nível de sumarização não disponível, prevalecerá a mínima granularidade disponibilizada, frustrando as expectativas do usuário no que se refere à sumarização dos dados.

No SAGUE, o usuário pode ainda optar por retirar os fins de semana da análise realizada.

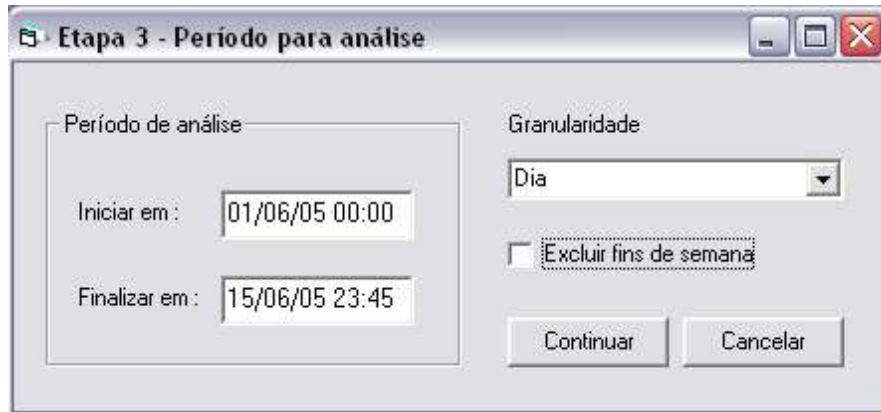


Figura 4.6 - Definição do período para análise.

4.4 Interface gráfica - Integração com ferramentas do MS Office

Ao final dos processos de fatia e exploração de dados, descritos anteriormente, o SAGUE apresentará o gráfico contendo as informações requeridas pelo usuário.

A figura 4.9 mostra o gráfico obtido no exemplo do item 4.3

O gráfico obtido representa as demandas máximas registradas na unidade CUASO em cada um dos dias da primeira quinzena de junho de 2005. A interpretação deste gráfico não será discutida neste capítulo.

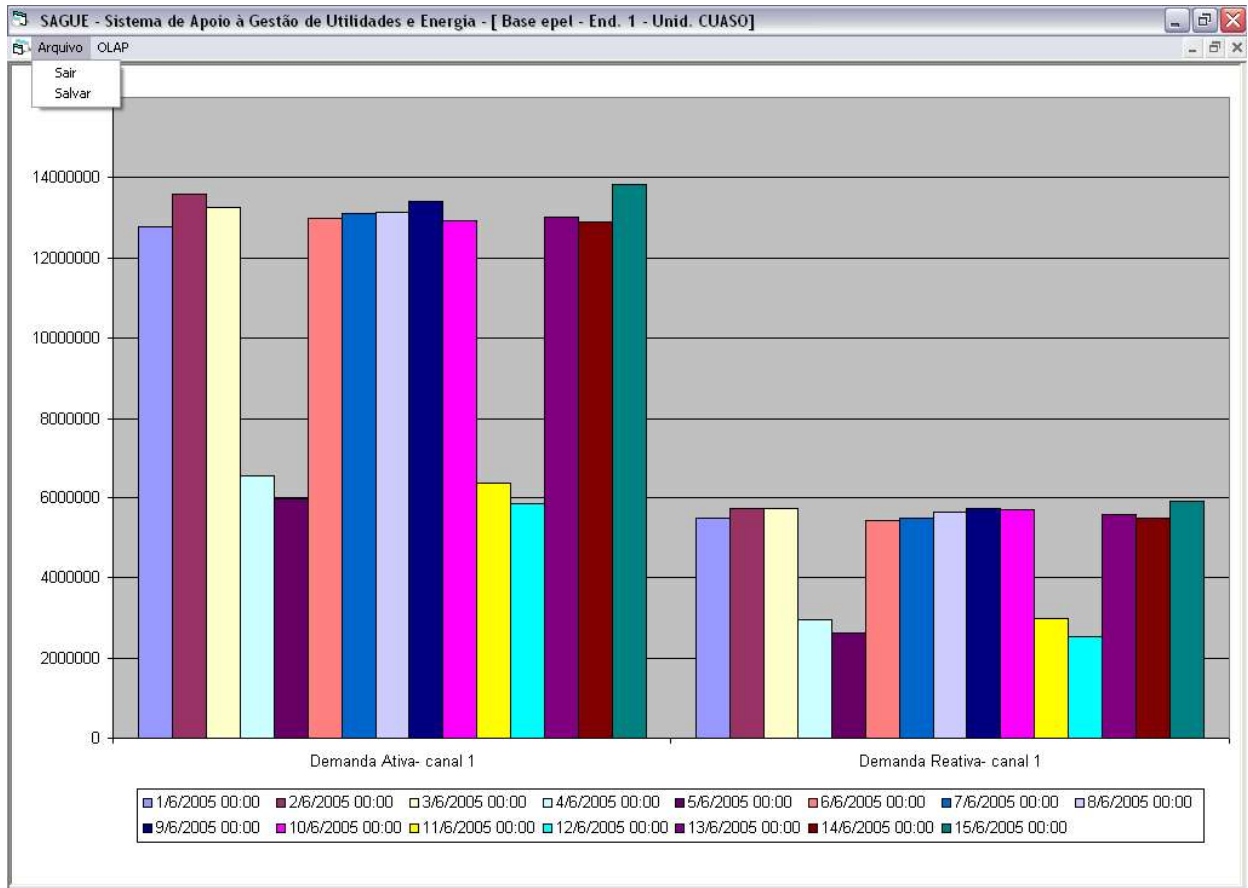


Figura 4.7 - Gráfico do consumo de energia da unidade CUASO

Vale lembrar que a informação desejada pode não estar clara logo na primeira consulta. O usuário poderá realizar outras consultas e visualizar diferentes níveis de sumarização ou diferentes visões.

O usuário poderá também salvar cada gráfico obtido na forma de gráfico do Excel, ao mesmo tempo estará gravando os dados utilizados para a geração daquele gráfico na forma de planilha do Excel. Fica a critério do usuário o cruzamento dos dados obtidos e obtenção de outros tipos de gráficos não disponíveis no SAGUE atualmente, por exemplo, gráficos do tipo XY, para entendimento da relação existente entre duas grandezas e obtenção de linhas de tendência.

5 ESTUDO DE CASO

A aplicação do SAGUE é discutida neste capítulo na forma de estudo de caso no qual se analisa a correlação existente entre as medições de consumo de energia elétrica da CUASO, obtidas através do SISGEN, e as medições de temperatura ambiente fornecidas pelo IAG – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP. Ao longo do capítulo também são discutidas as características da análise multidimensional no monitoramento integrado de energia elétrica, utilidades e variáveis climáticas.

5.1 Dados de Energia Elétrica

Para a realização deste estudo foram escolhidas as medições de energia elétrica da CUASO – Cidade Universitária Armando de Sales Oliveira. A CUASO vem sendo monitorada, no âmbito do PURE, desde 2001 através do Sistema de Gerenciamento de Energia Elétrica – SISGEN.

Os dados de consumo de energia elétrica são provenientes da Subestação de entrada de energia da CUASO. Esta instalação possui um medidor pertencente a AES Eletropaulo que é utilizado para o faturamento de energia. O medidor de energia usado para este faturamento possui uma saída serial do usuário acoplada opticamente a um registrador de pulso, que transmite informações para o SISGEN.

Os dados recebidos diretamente da Subestação de energia são armazenados no Banco de Dados do SISGEN.

Para a realização deste estudo, os dados armazenados no Banco de Dados do SISGEN foram copiados para o Banco de dados do SAGUE.

Apesar de as estruturas destes dois bancos de dados serem diferentes (figura 2.8 e figura 4.3), as informações do SISGEN podem ser armazenadas no BD do SAGUE, na medida em que são criadas as grandezas necessárias para este estudo, tornando as estruturas dos dois bancos compatíveis.

Uma grandeza escolhida para a realização deste estudo foi o “consumo de energia”, com dados armazenados de 15 em 15 minutos, ou seja, cada registro guarda a informação de consumo de energia da CUASO durante um período de 15 minutos.

Foram transferidos dados coletados desde janeiro de 2003 até dezembro de 2006, totalizando 105.120 registros aproximadamente.

Além da grandeza consumo de energia, também foi inserida, na dimensão “grandeza”, a medição de temperatura, conforme explicado no item a seguir.

5.2 Dados de Temperatura

Para a realização deste estudo foram utilizadas as medições de temperatura fornecidas pelo IAG – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP, obtidas em uma estação meteorológica nas proximidades da CUASO.

Foi escolhida a grandeza “temperatura média” para a realização deste estudo.

Os dados de janeiro de 2003 até junho de 2005 disponibilizados pelo IAG constituíam dados de temperatura horária, ou seja, cada registro guardando a informação da temperatura média

de cada hora do dia. Já os dados de julho de 2005 até dezembro de 2006 eram dados de temperatura média diária. Esta diferença de granularidade não afetou as análises descritas a seguir.

Foi transferido um total de 22.450 registros, aproximadamente.

5.3 Consumo de Energia x Temperatura

A fim de estudar a relação entre o consumo de energia da CUASO e a temperatura ambiente neste local, foi escolhida a Visão 2 da tabela 4.3, ou seja, unidade por tempo por grandeza conforme ilustrado na figura 5.1.

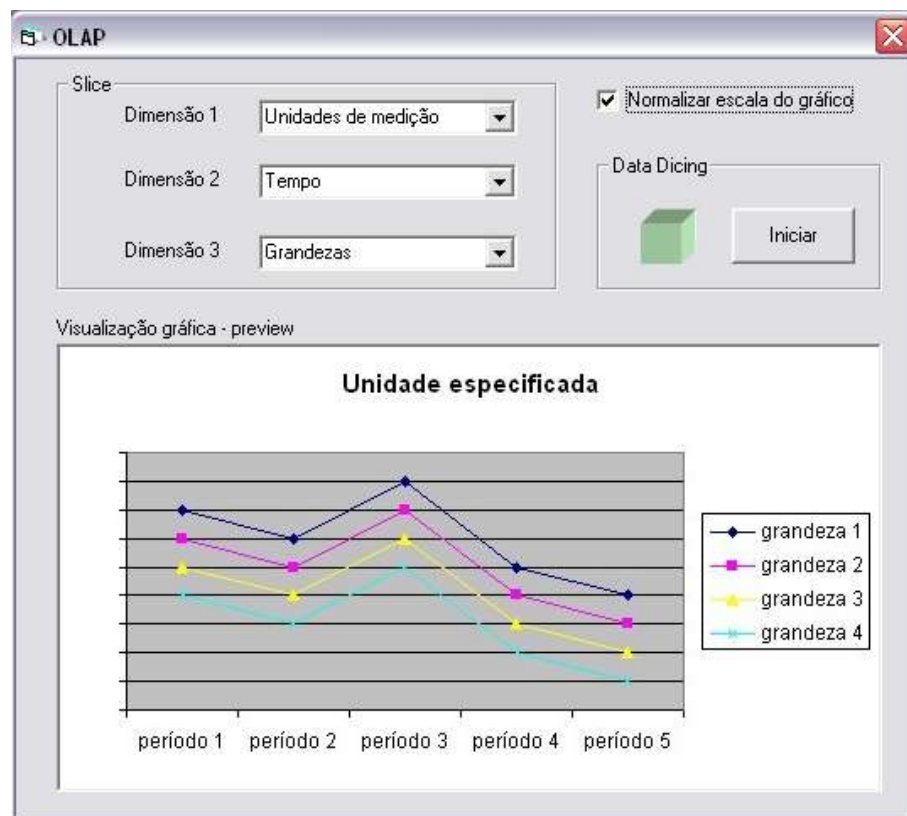


Figura 5.1 - Tela inicial configurada para análise: *unidade por tempo por grandezas*

Foi escolhida a opção “Normalizar escala do gráfico”, desta maneira, as duas grandezas podem ser visualizadas no mesmo gráfico e com uma escala em comum.

Na primeira etapa foi escolhida a unidade CUASO. Na segunda etapa foi determinado o período para estudo, de 01/01/2003 00:00 até 01/01/2007 00:00. A granularidade escolhida nesta primeira análise foi mensal, ou seja, foram analisados os consumos totais de energia e temperatura média dos meses de janeiro de 2003 até dezembro de 2006.

Além disso, foi utilizada a opção “excluir fins de semana” para possibilitar a comparação entre temperatura e o consumo de energia nos dias úteis, sabidamente mais influenciados pela grandeza temperatura.

Apesar desta tentativa de restringir os dados analisados, permaneceram no universo de estudo os feriados e os dias influenciados por estes. Uma avaliação posterior permitiu que estes dias deixassem de ser contabilizados.

Na terceira etapa foram escolhidas as grandezas “consumo de energia” e “temperatura”.

O critério de agrupamento utilizado para o consumo de energia foi o critério Soma, ou seja, foram somados os dados de consumo de cada registro de 15 minutos pertencentes a um mesmo mês, contabilizando o consumo total daquele mês.

No caso da grandeza temperatura, a Média foi utilizada como critério de agrupamento, logo o fato de existirem dados diários e horários no período de análise não teve influência alguma.

Desta maneira, foi obtida a comparação entre o consumo total de energia de cada mês e a temperatura média daquele mês.

O resultado deste processo é o gráfico mostrado na figura 5.2. Este gráfico traz as medições mensais de consumo de energia e temperatura média normalizados, ou seja, os pontos máximos assumem valor 100, permitindo a análise conjunta destas duas grandezas.

Observando-se o gráfico, notou-se que o mês de maio de 2004 apresentou valor muito diferente dos demais meses. Verificou-se que os dados de maio de 2004 do SISGEN estavam comprometidos, devido ao grande número de lacunas (falhas na coleta de dados) neste período.

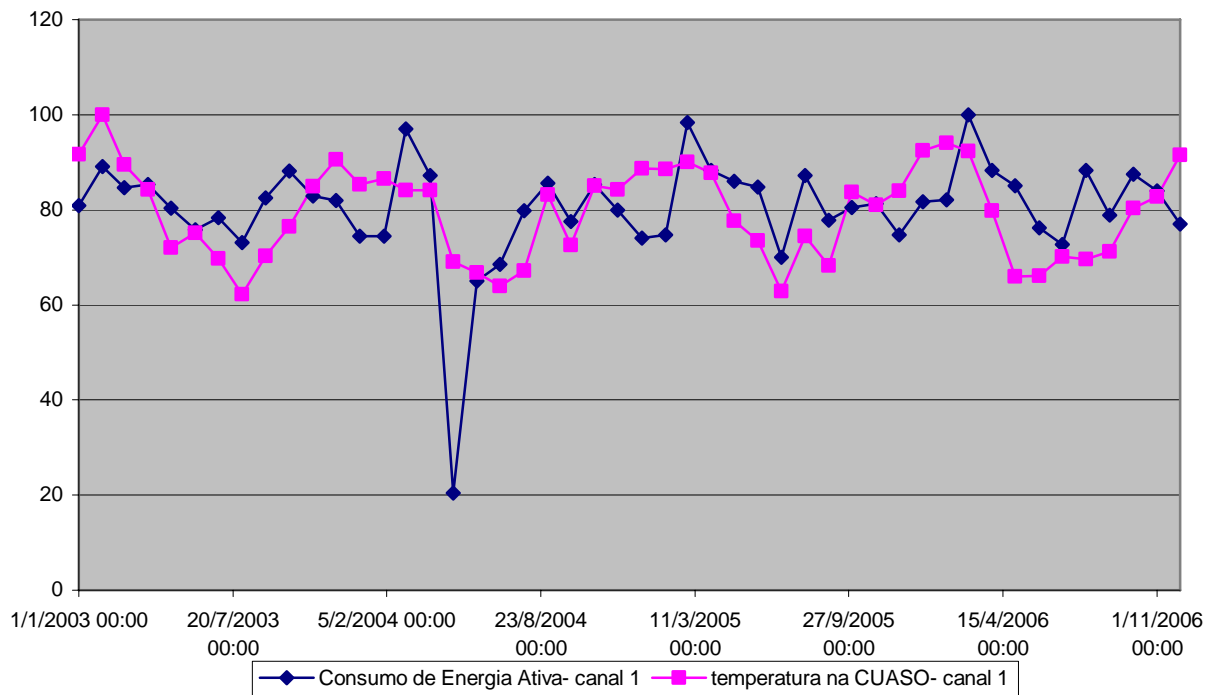


Figura 5.2 - Comparação entre Consumo de Energia e Temperatura – Escala normalizada

O SAGUE permite que o usuário salve o gráfico e os dados usados na análise (tanto os dados originais quanto os normalizados) em arquivo Excel, possibilitando que o usuário manipule os dados conforme desejar.

Procedendo desta maneira, foram excluídas as medições de maio de 2004. Além disso, optou-se pela apresentação dos dados de temperatura em um eixo secundário sem normalização, conforme figura 5.3.

Este gráfico permite uma análise mais sensível da correlação entre consumo de energia da CUASO (excluindo fins de semana) e a temperatura média neste local.

Nota-se que o consumo de energia apresenta grande sazonalidade, fruto da influência da temperatura e da atividade no próprio Campus como o período de férias escolares, feriados e greves. Neste caso, a relação entre o consumo de energia e a temperatura não é uma tarefa fácil.

**Consumo Cuaso x Temperatura
Janeiro 2003 - Dezembro 2006**

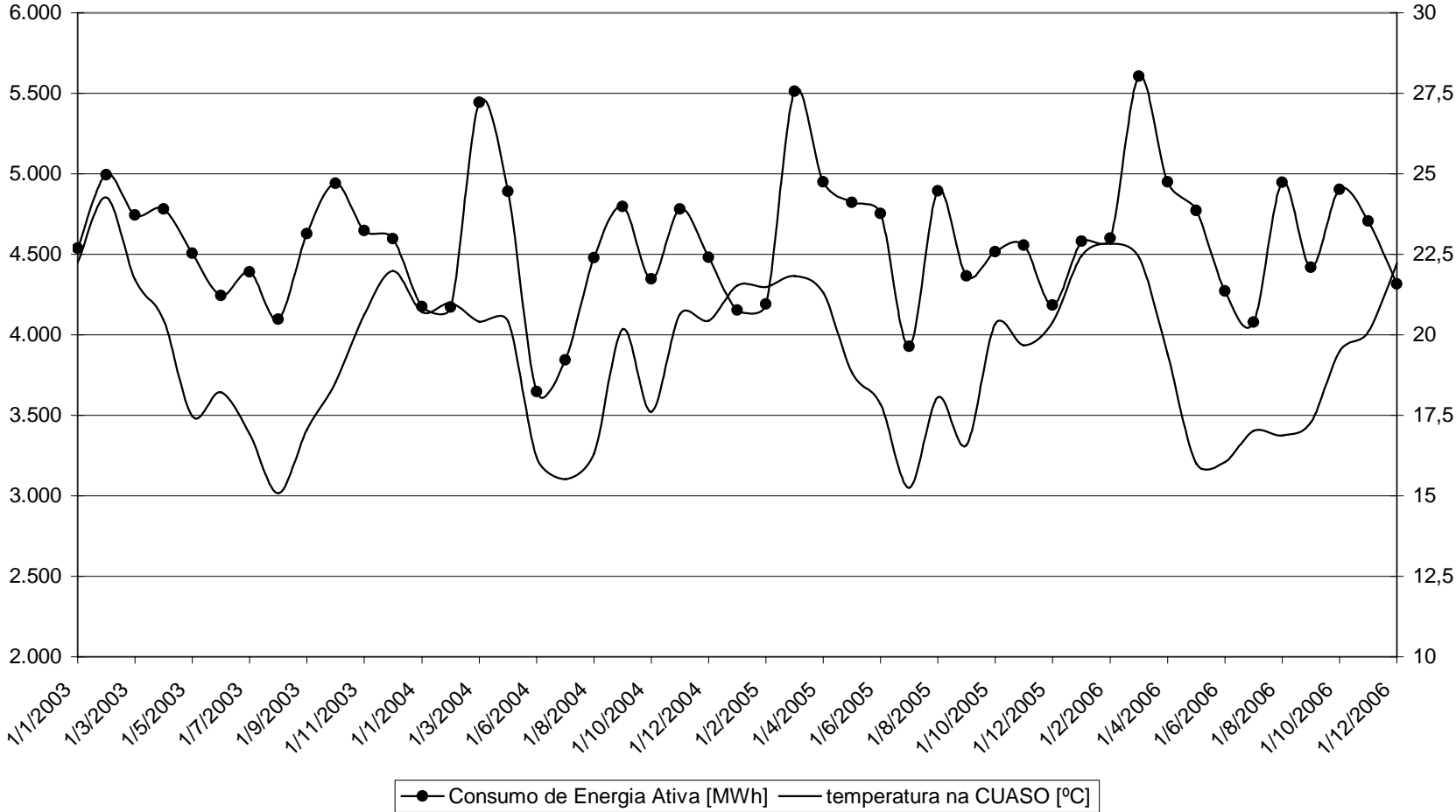


Figura 5.3 - Comparação Consumo de Energia e Temperatura – Dois eixos

Uma maneira de estudar o gráfico acima é proceder com a análise de cada mês, procurando identificar sua relação com a temperatura média, com o período do ano letivo ou outro fator que possa influenciar no consumo total daquele mês.

Por exemplo, o mês de agosto de 2003 parece ter sido influenciado pela temperatura média mais baixa do período de análise (15°C), já que o consumo de energia neste mês é, normalmente, maior que o consumo do mês de julho, conforme verificado nos anos seguintes.

Já para os meses de junho e julho de 2004, a correlação entre o baixo consumo de energia e os baixos valores de temperatura não é uma tarefa fácil, visto que neste período houve grande paralisação das atividades na CUASO devido à greve que começou em maio e se estendeu por todo este período.

O consumo de energia do mês de fevereiro de 2003 foi bem superior ao mês de março deste mesmo ano, diferentemente do ocorrido nos anos seguintes. Uma explicação plausível seria o fato de que, neste ano, o feriado de carnaval ocorreu no mês de março e não no mês de fevereiro como nos anos seguintes.

Todavia, um período que mostrou grande aderência entre as duas curvas foram os meses de setembro, outubro e novembro de 2004. Observando-se o consumo da CUASO durante estes três meses e comparando-se com a curva de temperatura média, uma forte relação entre as duas grandezas pode ser evidenciada.

A título de exemplo e com o intuito de explorar um pouco mais as potencialidades do SAGUE, optou-se por um novo estudo neste período, desta vez, mudando-se a granularidade da análise, que passa a ser diária em vez de mensal, e restringindo o período de análise para contemplar

apenas os meses de setembro, outubro e novembro de 2004. A figura 5.4 mostra o resultado obtido com o SAGUE utilizando-se a parametrização adequada.

Observa-se que a curva de consumo de energia, que continua sem apresentar os finais de semana, é fortemente influenciada pelas temperaturas médias diárias. Entretanto, alguns dias apresentaram consumo muito menor que os demais (cerca de 50% dos valores mais altos do período), não acompanhando a tendência da curva de temperatura.

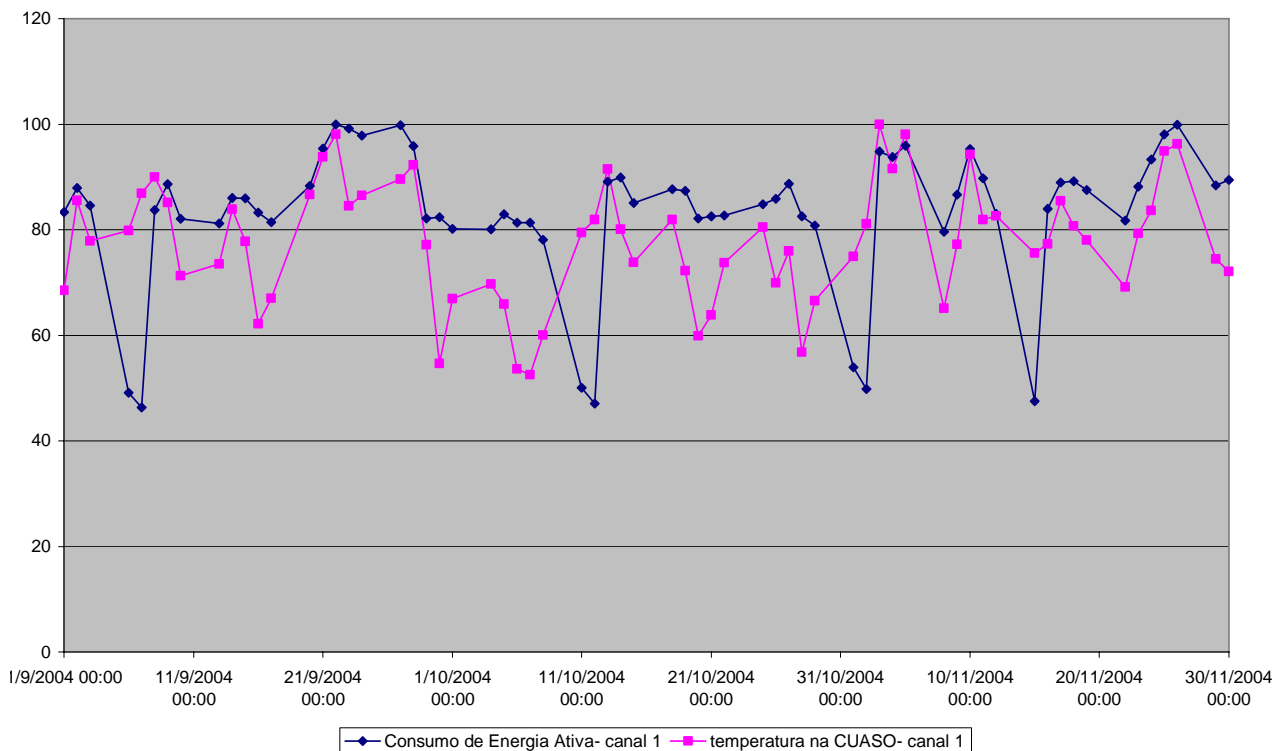


Figura 5.4 - Comparação entre Consumo da CUASO e Temperatura média - Normalizado

Período de análise: setembro a novembro de 2004.

O confronto dos valores apresentados com o calendário deste período permite explicar o baixo consumo de energia nos dias 6 e 7 de setembro, 11 e 12 de outubro, 1 e 2 de novembro e 15 de novembro, uma vez que as atividades da CUASO nestes dias são influenciados pelos feriados de Independência do Brasil, Nossa Senhora Aparecida, Finados e Proclamação da República respectivamente.

A fim de estabelecer o relacionamento entre estas duas grandezas, sem a influência dos feriados mencionados, uma nova análise foi realizada excluindo-se os dados registrados nos dias 6 e 7 de setembro, 11 e 12 de outubro, 1 e 2 de novembro e 15 de novembro.

Além disso, o tipo de gráfico foi modificado, deixando de ser normalizado e acrescentando-se um eixo secundário para a escala de temperatura.

O resultado obtido pode ser visto na figura 5,5.

Temperatura x Consumo CUASO
Setembro, Outubro e Novembro 2004

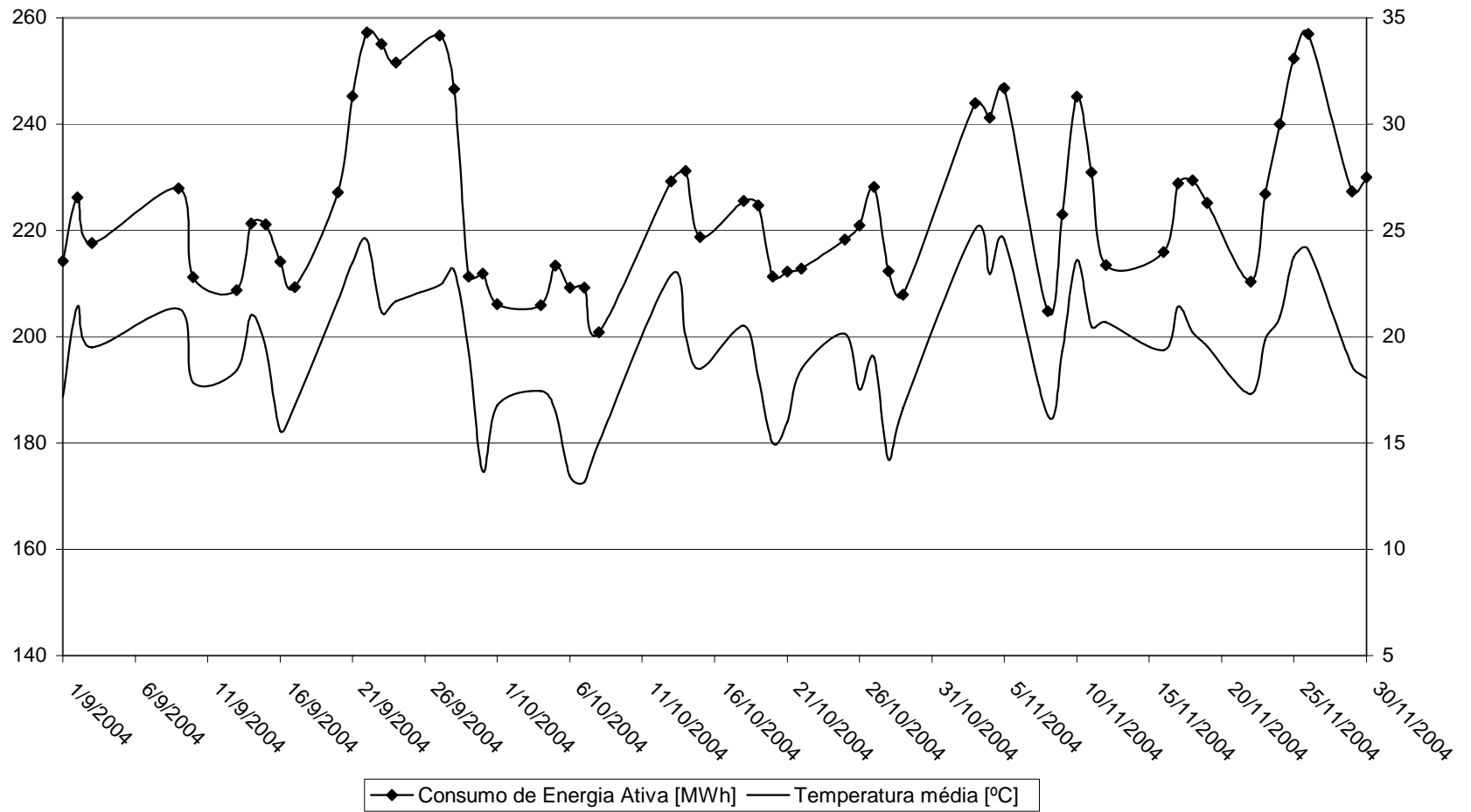


Figura 5.5 - Comparação entre Consumo da CUASO e Temperatura média – Dois eixos

Nota-se no gráfico da figura 5.5 que as duas curvas são muito semelhantes, evidenciando a relação entre o consumo diário de energia da CUASO e a Temperatura média do dia.

Ainda procurando-se estabelecer a relação entre estas duas grandezas, um novo estudo foi realizado. Valendo-se dos dados obtidos na última análise, um novo gráfico pode ser construído. Desta vez, optou-se pelo gráfico do tipo Consumo diário versus Temperatura média do dia, eliminando a variável “tempo” da análise. O gráfico obtido é mostrado na figura 5.6.

Através deste gráfico de dispersão foi possível obter-se uma linha de tendência com sua respectiva equação. Foi utilizada a tendência do tipo “regressão linear”. Neste caso, a equação linear obtida foi $Y = 4. 10^6 X + 100. 10^6$.

Esta última análise mostra a relação entre as duas grandezas no período analisado. A cada elevação de 1°C na temperatura média do dia, existe um aumento de 4 MWh no consumo diário de energia da CUASO.

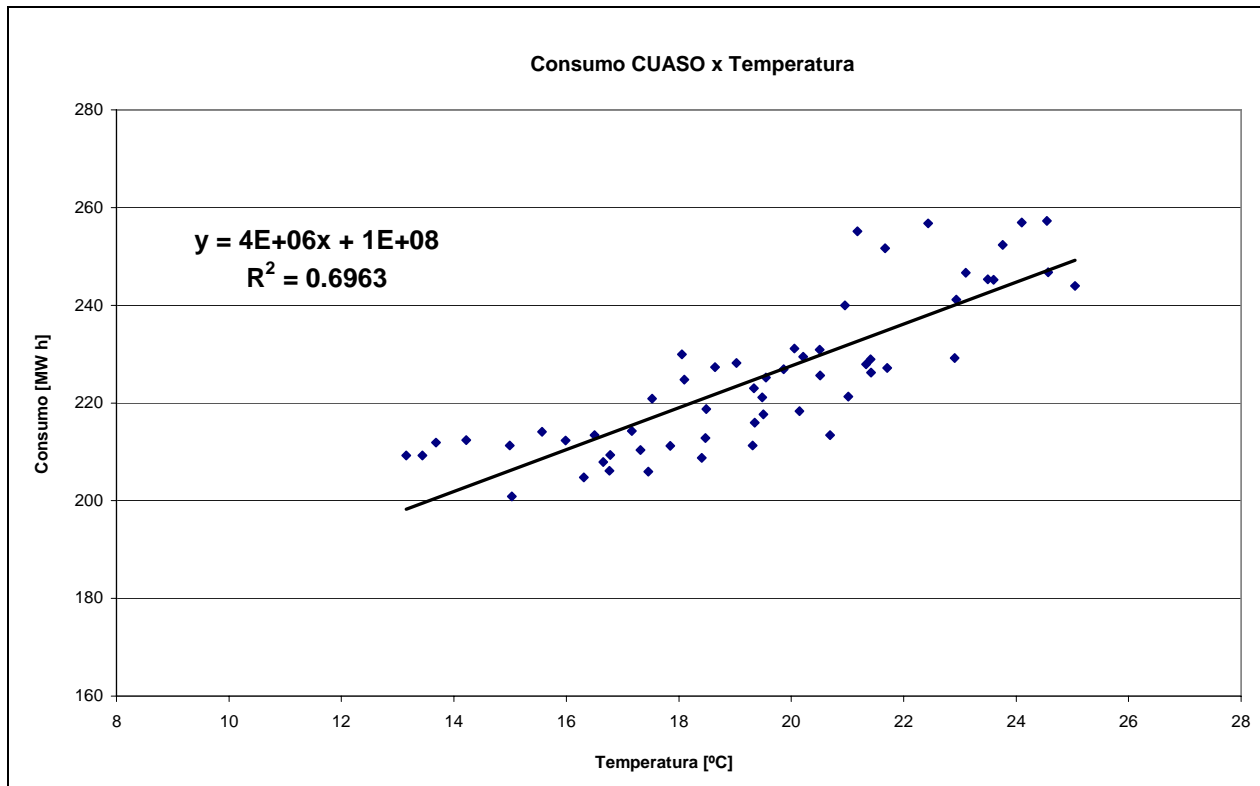


Figura 5.6 - Consumo da CUASO x Temperatura média – Regressão linear

Período de análise: setembro a novembro de 2004.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante a especificação do SAGUE procurou-se a elaboração de uma ferramenta que pudesse trabalhar com grandezas presentes em sistemas de gerenciamento de energia elétrica e com grandezas presentes em sistemas de utilidades, visando o monitoramento de todas elas em um mesmo sistema.

Isto foi possível com a aplicação de conceitos presentes nos sistemas de informação e apoio à tomada de decisão, conforme discutido no capítulo 3, obtendo-se um sistema em que a informação, obtida através da exploração dos dados coletados, é apresentada de forma a orientar o processo de tomada de decisão, ou seja, o processo de identificação de potenciais de redução no consumo de energia e aumento da eficiência energética.

Esta integração entre grandezas elétricas e sistemas de utilidades mostra-se de grande valia à gestão de energia, uma vez que propicia meios de se analisar e interpretar os dados coletados, identificando correlações entre as grandezas e possibilitando a obtenção de informações sobre como, quando e quanto se consome de energia em sistemas de utilidades.

Uma contribuição importante deste trabalho é apontar as possibilidades de estudos na área de gestão de energia, tendo como suporte os conceitos presentes em sistemas de informação e apoio à tomada de decisão.

No capítulo 2, buscou-se esclarecer como os conceitos presentes em sistemas apoio à tomada de decisão podem se inserir no contexto da gestão energética sem, contudo, ter a pretensão de se

esgotar todas as contribuições que estes sistemas podem trazer aos sistemas de gestão que, em última análise, podem ser encarados como sistemas de informação.

Além da especificação, desenvolvimento e implantação desta ferramenta de apoio à gestão de utilidades e energia, podem ser apontadas outras contribuições deste trabalho, como:

- Pesquisa e análise sobre as principais características dos sistemas atualmente utilizados para o gerenciamento de energia elétrica.
- Discussão sobre os conceitos envolvidos em sistemas de apoio à decisão visando sua aplicação em sistemas de gestão de energia e utilidades.
- Desenvolvimento de um estudo de caso, mostrando uma seqüência de passos para o estudo de determinada grandeza e sua relação com o consumo de energia elétrica.

Ainda, com o intuito de instrumentar os interessados com informações úteis e práticas, capacitando-os para identificar oportunidades de redução de custos e de consumo de energia em sistemas de utilidades através da utilização de um sistema de apoio à gestão de energia e utilidades, são apresentados, a seguir, alguns exemplos de utilidades que podem ganhar em eficiência quando abordados sob a ótica de sistemas e subsistemas.

Sistemas para fornecimento de Ar Comprimido

Os sistemas de ar comprimido são amplamente utilizados na indústria como fonte de energia para acionamento de ferramentas e dispositivos pneumáticos.

Os sistemas para fornecimento de ar comprimido podem ser divididos em dois subsistemas: geração de ar comprimido e distribuição de ar comprimido.

No subsistema de geração, o ar comprimido é produzido por compressores pela captação do ar atmosférico e elevação de sua pressão, sendo então disponibilizado em um tanque reservatório. Um sistema de geração de ar comprimido industrial é composto por vários componentes, os principais são os compressores, motores e acionamentos, controles, equipamentos de tratamento de ar, reservatório e acessórios.

O compressor é um equipamento mecânico que capta o ar ambiente e eleva a sua pressão. Motores elétricos normalmente fornecem a energia consumida para acionar o compressor. Os controles servem para regular a quantidade de ar comprimido que está sendo produzida. Os equipamentos de tratamento removem contaminantes do ar comprimido, e os acessórios mantêm o sistema operando adequadamente.

O subsistema de distribuição transporta o ar comprimido dos tanques reservatórios alimentados pelos compressores aos pontos de uso final, entregando quantidades suficientes de ar limpo e seco, devendo ser fornecido na pressão adequada às aplicações de uso final.

Um sistema de informação como o SAGUE pode ser muito útil como ferramenta de apoio à gestão do fornecimento de ar comprimido. Neste caso, sugerem-se as medições das principais grandezas envolvidas nos processos de geração e distribuição, conforme descrito anteriormente, destacando-se: energia consumida pelos compressores, pressão do tanque reservatório e temperatura de captação do ar atmosférico.

O monitoramento destas grandezas dá subsídios para a identificação de oportunidades para melhoria da eficiência energética bem como para o acompanhamento, manutenção e avaliação de possíveis desvios no comportamento do sistema como um todo.

São listadas a seguir algumas oportunidades de melhorias que poderiam ser identificadas com o auxílio de um sistema de apoio à gestão.

a) Redução de perdas devido às melhorias no subsistema de distribuição.

Através do monitoramento das pressões nos reservatórios são obtidas as curvas de pressão diárias. Vale a pena lembrar que a pressão de trabalho é um fator crítico, pois afeta efetivamente o consumo de energia. Segundo estudos apresentados por Marcelo Pirani (Pirani, 2001), o aumento de 1 bar na pressão de trabalho do compressor leva a um aumento de 6% a 10% na potência demandada pelos motores dos compressores, para pressões de 6 a 7 bar.

Uma vez que a pressão de trabalho da instalação é definida pela pressão que atenda aos requisitos dos equipamentos consumidores, justifica-se um acompanhamento cuidadoso desta grandeza, visando-se a obtenção da menor pressão possível capaz de atender as ferramentas pneumáticas segundo as condições exigidas pelos fabricantes. Desta maneira, o estudo das curvas de pressão dos tanques reservatórios dará subsídios para o ajuste dos sistemas de controle, composto por pressostatos de controle liga/desliga dos compressores e responsáveis pela regulação da pressão de trabalho, diretamente ligada ao ajuste de desarme dos pressostatos.

Além disso, conhecendo-se as curvas de pressão e os volumes dos tanques reservatórios, pode ser obtida a curva de volume de ar demandado. A análise destes gráficos pode permitir a adequação da produção de ar comprimido em função da rotina operacional e, além disso, apontar desvios de comportamento que indiquem vazamentos no sistema de distribuição ou problemas nas ferramentas que fazem uso do ar comprimido.

b) Redução de perdas devido às melhorias no subsistema de geração.

Um indicador muito importante para a avaliação do rendimento de um sistema de fornecimento de ar comprimido é o consumo específico, ou seja, a relação entre a energia consumida pelos compressores e o volume de ar disponibilizado pelo sistema. Este indicador é dado em kWh/m³ e estabelecido para uma determinada pressão de operação.

O acompanhamento da curva de consumo específico é de grande valia, uma vez que permite a identificação de desvios no rendimento normal do sistema e serve de alerta para a tomada de decisões no sentido de obter-se o melhor rendimento. Além disso, este indicador serve de base para comparação entre os diversos compressores presentes no sistema de geração ou mesmo em outros sistemas, permitindo a identificação de conjuntos motor/compressor com problemas que afetem o rendimento dos mesmos.

Sistemas de Refrigeração

Sistemas de refrigeração são utilizados para refrigerar algum produto, substância ou meio. Pode ser um sistema de refrigeração industrial, utilizado na indústria de alimentação e demais setores para a conservação de alimentos, ou num sistema de ar condicionado. O conhecimento das principais grandezas envolvidas nos sistemas de refrigeração possibilita a compreensão do funcionamento do sistema como um todo e dá subsídios para a tomada de ações no sentido de melhorar a eficiência do sistema, diminuindo o consumo de energia e, conseqüentemente, o seu custo.

Os componentes básicos de um sistema de refrigeração são: compressores, trocadores de calor, ventiladores, bombas, dutos e controles. Estes componentes são interligados de modo a fazer com

que seja retirado o calor de um ambiente e lançado para outro, através de um líquido refrigerante que realiza um ciclo térmico. A figura 6.1 apresenta um esquema funcional de um sistema de refrigeração.

As principais grandezas envolvidas neste processo são: energia consumida pelos compressores, temperatura de evaporação do sistema refrigerador, temperatura do fluido refrigerante na saída do condensador, pressão de condensação, temperatura da câmara de refrigeração e temperatura externa.

Com o intuito de facilitar a compreensão de como as grandezas citadas estão relacionadas, principalmente, como se relacionam com a eficiência energética do sistema, é apresentado na figura 6.2 um ciclo térmico teórico simples de refrigeração por compressão de vapor.

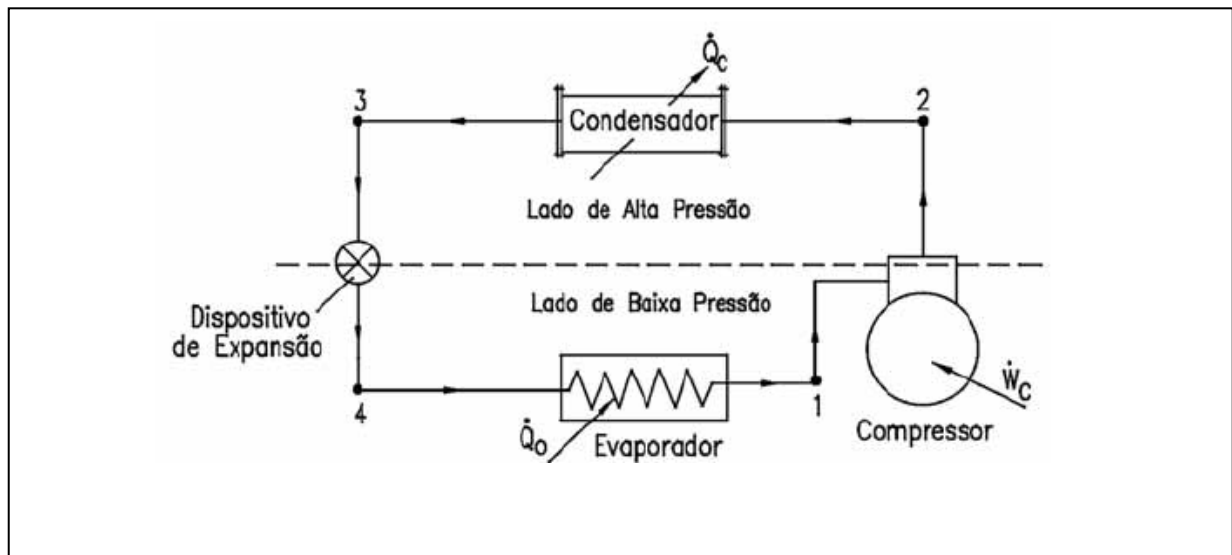


Figura 6.1 - Esquema funcional de um sistema de refrigeração.

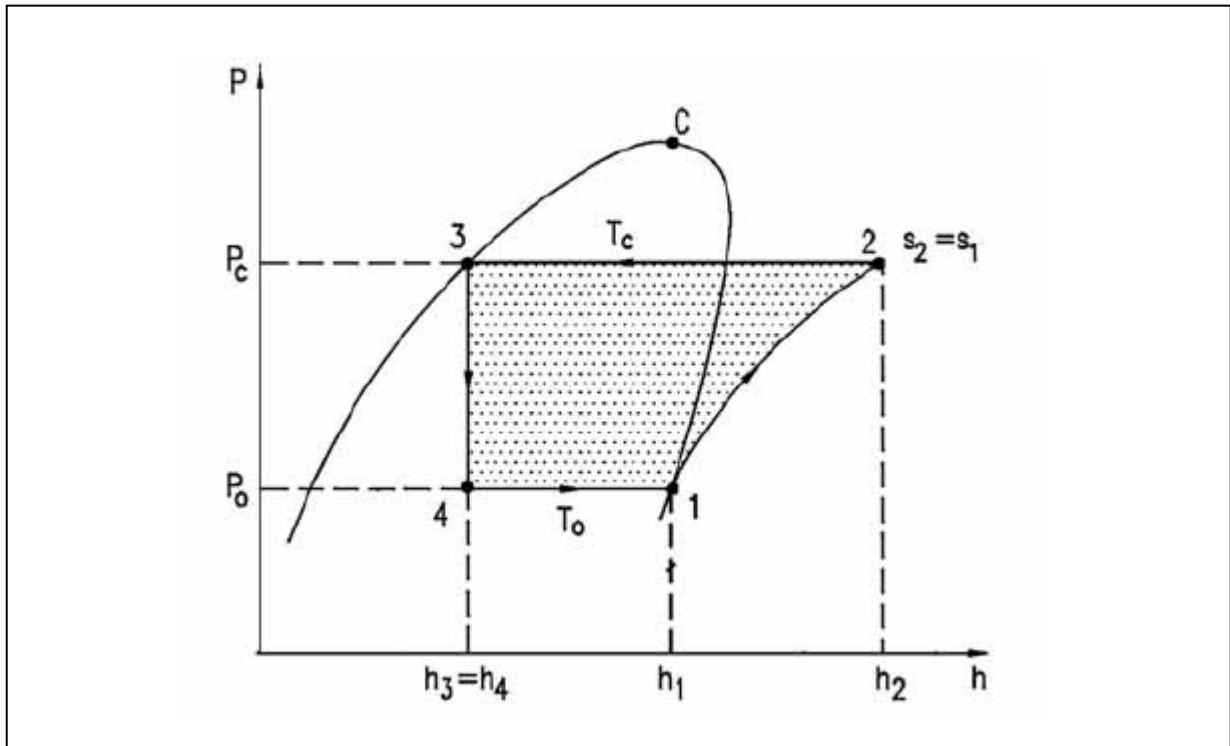


Figura 6.2 - Ciclo térmico teórico de refrigeração por compressão de vapor.

No processo 1-2, que ocorre no compressor, o refrigerante entra no compressor à pressão do evaporador, P_o , e com título igual a 1 (vapor saturado). O refrigerante é então comprimido até atingir a pressão de condensação, e neste estado está superaquecido com temperatura T_2 , que é maior que a temperatura de condensação T_c .

No processo 2-3, que ocorre no condensador, acontece o processo de rejeição de calor do fluido refrigerante para o meio de resfriamento a pressão constante. Neste processo o fluido é resfriado da temperatura T_2 até a temperatura de condensação T_c e a seguir condensado até se torna líquido saturado na temperatura T_3 igual a temperatura T_c .

No processo 3-4, que ocorre no dispositivo de expansão (válvula de expansão termostática, tubo capilar, etc), acontece a expansão do refrigerante a entalpia constante, desde a pressão P_c e líquido saturado (título igual a zero), até a pressão de vaporização, P_o .

No processo 4-1, que ocorre no evaporador, acontece o processo de transferência de calor a pressão constante P_o e temperatura constante T_o , desde vapor úmido no estado 4 até atingir o estado de vapor seco (estado 1). O calor transferido ao refrigerante no evaporador não modifica sua temperatura, mas somente seu título.

Um parâmetro importante na análise dos sistemas de refrigeração é o coeficiente de performance do ciclo – COP e definido por:

$$\text{COP} = \text{Energia útil} / \text{Energia Consumida} = Q_o / W_c = (h_1 - h_4) / (h_2 - h_1)$$

Onde h_1 , h_2 , h_3 e h_4 são as entalpias dos estados 1, 2, 3 e 4 do ciclo térmico apresentado na figura 6.2.

A observação da equação acima, tendo como base o ciclo térmico apresentado na figura 6.2, permite identificar quais os parâmetros que podem influenciar na eficiência do sistema. Os parâmetros do processo ligados diretamente ao COP são as temperaturas de vaporização e condensação.

Para ilustrar o efeito que a temperatura de vaporização tem sobre a performance do ciclo, será considerado um conjunto de ciclos de refrigeração onde somente a temperatura de vaporização T_o é alterada (PIRANI, 2001). Nesta análise utilizou-se o refrigerante R-22, típico de sistemas de ar condicionado.

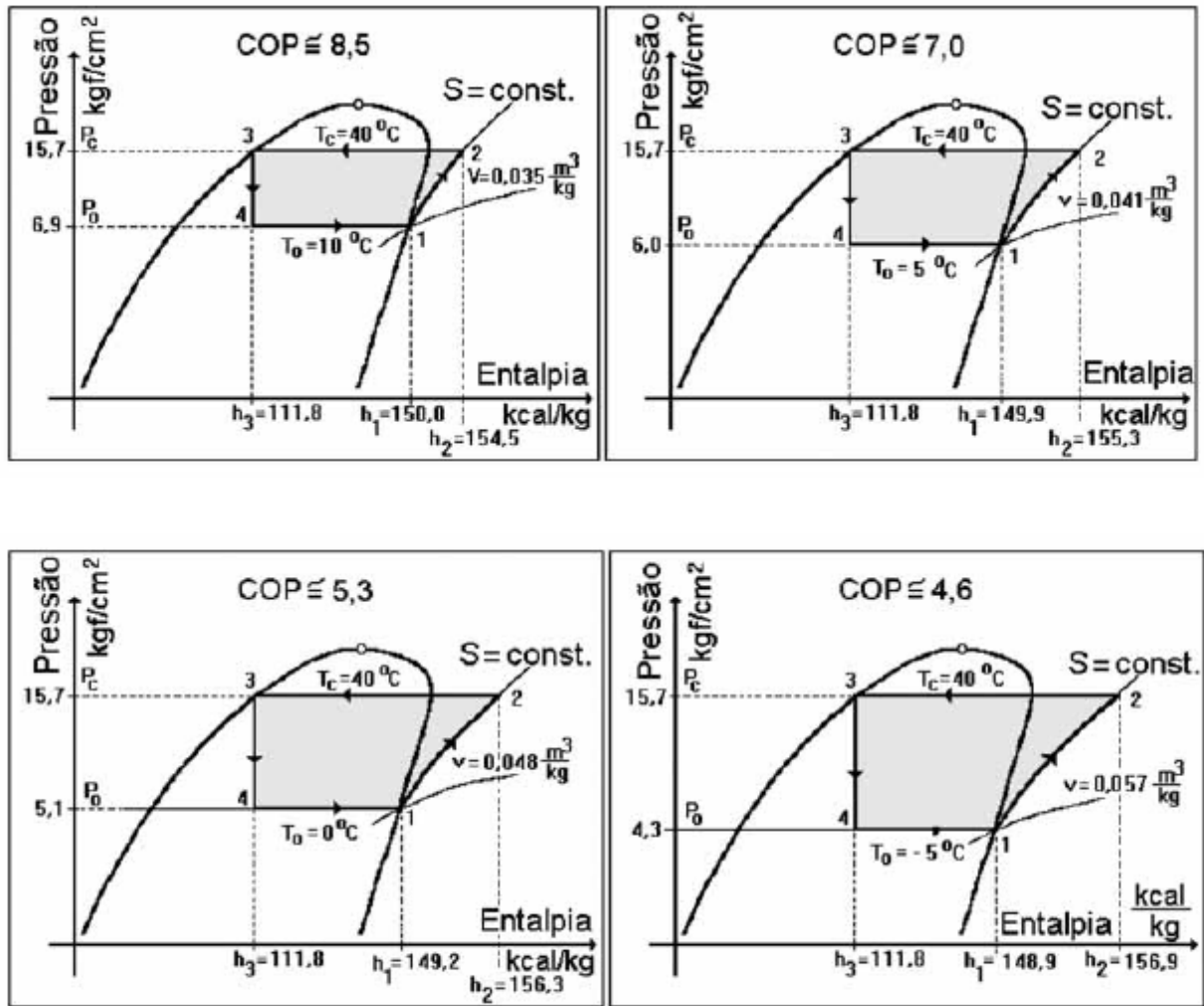


Figura 6.3 - Ciclos de refrigeração – variação da temperatura de vaporização (T_o).

Como pode ser observado, o coeficiente de performance do ciclo (COP) varia de 4,6 a 8,5 enquanto a temperatura de vaporização varia de -5°C a 10°C , ou seja, quanto maior a temperatura de vaporização (T_o) em que o sistema opera, maior o coeficiente de performance do ciclo, Tipicamente, cada 1°C de aumento na temperatura de evaporação diminui o consumo de energia em 1 a 4 % aproximadamente (PIRANI, 2001).

Também a temperatura de condensação pode ter grande influencia sobre a performance do ciclo. A figura 6.4 mostra um conjunto de ciclos onde apenas a temperatura de condensação se altera (PIRANI, 2001).

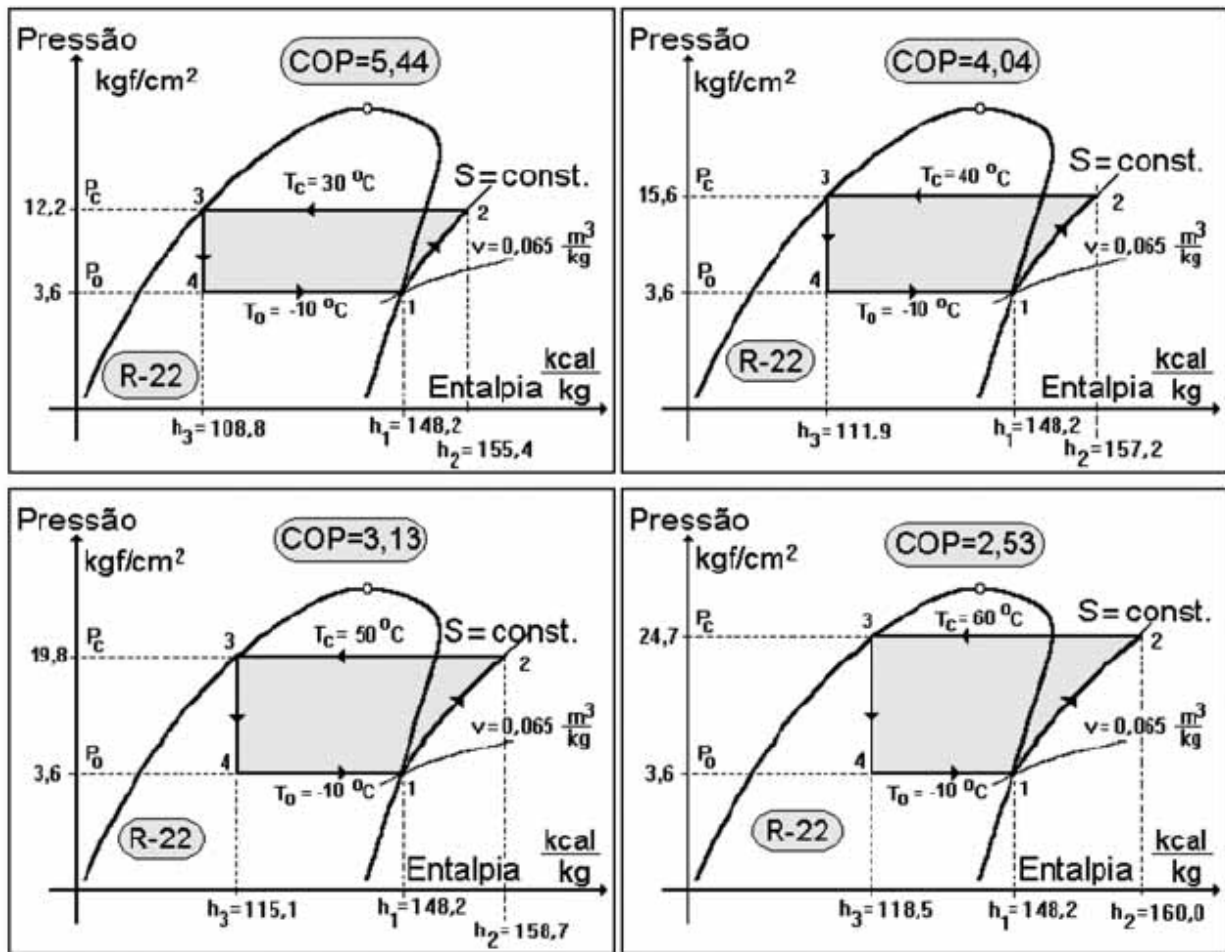


Figura 6.4 - Ciclos de refrigeração – variação da temperatura de condensação (T_c).

Neste caso, o coeficiente de performance do ciclo (COP) varia de 2,53 a 5,44 enquanto a temperatura de condensação varia de 60°C a 30°C, ou seja, quanto menor a temperatura de condensação (T_c) em que o sistema opera, maior o coeficiente de performance do ciclo.

Tipicamente, cada 1°C de diminuição na temperatura de condensação diminui o consumo de energia em 2 a 3 % aproximadamente, obtendo-se ainda um aumento na capacidade do compressor (PIRANI, 2001).

Tendo em vista a influência das temperaturas de evaporação e condensação sobre a eficiência do sistema de refrigeração. Torna-se evidente a necessidade do monitoramento destas grandezas para se obter resultados efetivos na gestão desta utilidade. Um sistema de apoio à gestão de energia e utilidades poderia ser muito útil na realização desta tarefa uma vez que permite o armazenamento dos dados de temperatura de evaporação e condensação do fluido refrigerante, além das temperaturas da câmara frigorífica e temperatura do ambiente externo. Caso haja dificuldade para se obter a temperatura do fluido refrigerante, esta poderá ser estimada tendo-se em mãos a pressão do fluido refrigerante e uma tabela de propriedades termodinâmicas para o fluido em questão.

São listadas a seguir algumas ações obtidas com o auxílio de um sistema de informação.

- Identificação do indicador kW/TR do sistema de refrigeração, com o intuito de avaliar a eficiência do sistema de refrigeração.
- Ajuste da temperatura de evaporação para o maior valor permissível, em função da temperatura ideal da câmara frigorífica para determinada carga térmica, promovendo um menor consumo de energia elétrica.
- Identificação de variações na temperatura de evaporação, indicando a necessidade de limpeza ou degelo na superfície de troca de calor do evaporador, ou indicando a obstrução do fluxo de ar dos evaporadores, permitindo a tomada de ações que promovam a

maximização da temperatura de evaporação e, conseqüentemente, melhoria da eficiência do sistema de refrigeração.

- Identificação de variações na temperatura de condensação, indicando a necessidade de limpeza dos trocadores de calor do condensador, ou indicando o mau funcionamento dos ventiladores (no caso de condensadores resfriados a ar), permitindo a tomada de ações que promovam a minimização da temperatura de condensação e, conseqüentemente, diminuição do consumo de energia e obtenção de um aumento na capacidade do compressor.
- Avaliação e acompanhamento das ações de eficiência energética, como a troca de compressores por outros mais eficientes e/ou mais adequados, controle de rotação dos ventiladores dos condensadores, eliminação dos vazamentos do fluido refrigerante, isolamento das tubulações do fluido refrigerante, melhoria nas condições de armazenagem dentro da câmara frigorífica, diminuição da carga de iluminação e outras.

6.1 Conclusões

A apresentação das características dos atuais sistemas de gerenciamento de energia no capítulo 2 e dos sistemas de apoio à decisão no capítulo 3 apontou o ganho de qualidade no tratamento de dados quando na utilização dos conceitos presentes em sistemas de informação em ferramentas de gestão energética.

A proposta deste trabalho foi tratar da especificação, desenvolvimento e utilização do Sistema de Apoio à Gestão de Utilidades e Energia – SAGUE, objetivo este alcançado através da exposição

de suas principais características e de todas as etapas de concepção, mostrando como os conceitos presentes em sistemas de apoio à decisão como Data Warehouse e OLAP podem ser inseridos no contexto da gestão energética.

Algumas possibilidades decorrentes desta integração foram mostradas no capítulo 5 através do estudo de caso na Universidade de São Paulo, onde foram correlacionadas medições de consumo de energia elétrica e temperatura ambiente utilizando-se o SAGUE - Sistema de Apoio a Gestão de Utilidades e Energia.

Com o auxílio do SAGUE foi possível a obtenção de um indicador importante para o entendimento dos sistemas de refrigeração e condicionamento térmico presentes na USP, que são bastante distribuídos. A seqüência de passos e análises, utilizada no estudo de caso apresentado, pode ser aproveitada para a determinação de outros indicadores e correlações entre grandezas importantes para diferentes sistemas de utilidades não presentes na USP, como sistemas para geração e distribuição de ar comprimido, sistemas de bombeamento, sistemas para geração e distribuição de vapor, entre outros, constituindo uma contribuição deste trabalho.

6.2 Desdobramentos

Alguns desdobramentos são vislumbrados com o intuito de dar continuidade aos desenvolvimentos do SAGUE, implementação de novos sistemas de medição de energia e utilidades, bem como estudos que permitam um melhor entendimento de mecanismos que possam promover o aumento da eficiência energética nos diversos usos finais de energia.

Dentre estes novos estudos, pode-se mencionar o monitoramento do sistema de aquecimento de água do campus da Universidade de São Paulo em São Carlos e o monitoramento do sistema de aquecimento de água do refeitório central da CUASO, cujas medições são realizadas por um sistema proprietário de aquisição de dados, pertencente à empresa CCK, sendo que o armazenamento, exploração e obtenção de informações úteis para a gestão da energia poderão ser efetuados através do SAGUE. Vale lembrar que tais informações poderão ainda ser analisadas em conjunto com as medições de energia elétrica já efetuadas com o SISGEN, uma vez que o SAGUE foi desenvolvido para receber também os dados coletados pelo SISGEN.

Além disso, novas implantações deverão ser realizadas no SAGUE, principalmente no que se refere ao aperfeiçoamento das ferramentas de exploração da base de dados e novas ferramentas de análise gráfica, destacando-se:

- Rotina para cálculo, em tempo real, da razão entre duas grandezas monitoradas e apresentação gráfica desta correlação ao longo do tempo.
- Elaboração de relatório com apresentação de resultados em forma de Gráfico do tipo XY, conforme figura 5.6, permitindo a determinação da função que relaciona duas grandezas estudadas.

Espera-se que a utilização das informações contidas neste trabalho e outros similares, direcionadas para o aumento da eficiência energética, contribua para a utilização racional da energia e colabore para a redução dos impactos ambientais decorrentes de sua utilização.

7 BIBLIOGRAFIA

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Intercâmbio de Informações para Sistemas de Medição de Energia Elétrica** – Padronização. NBR 14522. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ALVAREZ, A. L. M. **Proposta de um novo protocolo de comunicação para a saída serial de usuário de medidores de energia elétrica.** Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

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.** Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica. Resolução.** Resolução 456/2000, Brasília: ANEEL, 2000.

AZEVEDO, F. M. **Análise Multidimensional do Modelo de Integração de Recursos Energéticos: Aplicação da Tecnologia OLAP.** Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

BATTISTI, J. **SQL Server 2000 – Administração e Desenvolvimento,** Axcel Books do Brasil, 2001, São Paulo.

BISPO, C. A. F. **Uma Análise da Nova Geração de Sistemas de Apoio à Decisão**. Dissertação (Pós-Graduação) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1998.

BRIAN SILER; JEFF SPOTS, **Usando Especial Visual Basic 6.0**, tradução Vandenberg Dantas de Souza, Editora CAMPUS, 1999, Rio de Janeiro.

DARTMOUTH COLLEGE, **Utilities Management**. Disponível em: <http://www.dartmouth.edu/~fom/utilitymanagement.html>>. Acesso em: Maio, 2005.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética - Ministério de Minas e Energia. **Balço Energético Nacional - BEN**. Disponível em: <http://www.ben.epe.gov.br/>. Acesso em: Dezembro, 2006.

FERREIRA, J. J. FERREIRA, T. J. **Economia e Gestão da Energia**. Texto Editora, 1º Edição - Lisboa, 1994.

FIGUEIREDO A.M.C.M. **Molap x Rolap: Embate de Tecnologias para Data Warehouse**. Developer's Magazine, n. 18, p 25-25, fev, 1998.

GOLDEMBERG, J, VILLANUEVA, L.D. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. 2ed. São Paulo: Edusp, 2001.

GOLFARELLI M., RIZZI S., **Conceptual Design of Data Warehouses from E/R Schemas**. In Proceedings of the 13th Internaional Conference on System Sciences, Kona, Havaí, 1998.

INMON, W. **Building the Data Warehouse**. QED Press/ John Wiley, 1º edição. 1992

KIMBALL, R. **The Data Warehouse Toolkit**. Wiley, 1º edição, 1996.

LOVELOCK, J. **Vingança de Gaia - Entrevista com James Lovelock.** Revista VEJA, Ed. 1979, outubro, 2006.

MACHADO, F. N. R. **Tecnologia e projeto de Data Warehouse: uma visão multidimensional.** Érica, 1º edição. São Paulo, 2004.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Portaria Nº 046, de 14 de janeiro de 1982.** Brasília, 1982.

OLIVEIRA, L. C., PASSOS, C. V., **A Importância de Indicadores Setoriais para a Fundamentação de Programas de Conservação de Energia em Pequenas e Médias Empresas – A Iniciativa do SEBRAE/RJ.** VIII Congresso Brasileiro de Energia – CBE, Rio de Janeiro, 1999.

PIRANI, M. J., VENTURINI, O. J., SIMÕES, A. A., ALMEIDA, M. S. V., **Conservação de Energia: eficiência energética de instalações e equipamentos.** – Itajubá, MG: FUPAI, 2001.

REIS, L. B., SILVEIRA, S. **Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável.** São Paulo: EDUSP, 2000.

ROBERTS, J. **Multi-utilities-the way forward.** Power Engineering Journal. Vol. 12 Abri, 1998.

SAIDEL, M. A. **A gestão de energia elétrica na USP: o Programa Permanente para o Uso Eficiente de Energia Elétrica.** Livre-Docência - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

SAIDEL, M. A., GIMENES, A. L. V., ROSA L. H. L. **Requisitos de um sistema de informação autônomo para suporte à gestão de energia.** IEEE/PES Transmission & Distribution Conference and Exposition: T &D Latin América. São Paulo, 2004.

SAIDEL, M. A., TAHAN, C. M. V., ROSA, L. H. L. RANGEL, P. J. S. M. OLIVEIRA, L. C. **Metodologia de Fiscalização da medição e do faturamento de energia Elétrica.** III Congresso brasileiro de regulação de serviços públicos concedidos. Gramado – Brasil, 2003.

SAIDEL, M. A., KANAYAMA, P. H., ALVAREZ, A. L. M., SILVA, M. O. **Especificação de um Sistema de Gerenciamento de Energia Elétrica para a USP.** In: Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Foz do Iguaçu, 1999.

SAIDEL, M. A., CARVALHO, C. E., GRIMONI, J. A. B., GIMENES, A. L. V., UDAETA, M. E. M. **Controle Energético Através da Gestão de Energia no Setor Industrial** In: IX Congresso Brasileiro de Energia. Rio de Janeiro, 2002.

TAURION C. **Data Warehouse: Estado de arte e estado de prática.** Developer's Magazine, n. 6, p 10-11, fev, 1997.

WILLESENS, P. **Modelagem Multidimensional de Dados para Sistemas de Data Warehousing.** Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.