

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

RENATO ELY CASTRO

**PLATAFORMA AUTOMATIZADA E NORMATIZADA DE
MONITORAÇÃO, VERIFICAÇÃO E GESTÃO DE ÍNDICES
DE ENERGIA**

Porto Alegre

2014

RENATO ELY CASTRO

**PLATAFORMA AUTOMATIZADA E NORMATIZADA DE
MONITORAÇÃO, VERIFICAÇÃO E GESTÃO DE ÍNDICES
DE ENERGIA**

Dissertação de mestrado apresentada
ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Elétrica, da Universidade Federal do Rio Grande do
Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título
de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Controle e
Automação

ORIENTADOR: Carlos Eduardo Pereira

CO-ORIENTADOR: Sérgio Haffner

Porto Alegre

2014

RENATO ELY CASTRO

**PLATAFORMA AUTOMATIZADA E NORMATIZADA DE
MONITORAÇÃO, VERIFICAÇÃO E GESTÃO DE ÍNDICES
DE ENERGIA**

Esta dissertação foi julgada adequada para a
obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica e
aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela
Banca Examinadora.

Orientador: _____

Prof. Dr. Carlos Eduardo Pereira, UFRGS

Doutor pela TECHNISCHE UNIVERSITÄT – Stuttgart, Alemanha

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Arturo Suman Bretas, UFRGS

Doutor pela VIRGINIA TECH – Blacksburg, Estados Unidos

Prof. Dr. Roberto Chouhy Leborgne, UFRGS

Doutor pela CHALMERS – Göteborg, Suécia

Prof. Dr. Luciano Schuch, UFSM

Doutor pela UFSM – Santa Maria, Brasil

Coordenador do PPGEE: _____

Prof. Dr. Arturo Suman Bretas

Porto Alegre, fevereiro de 2014.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família pelo constante incentivo e apoio.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, PPGEE, e – em especial – aos orientadores pela oportunidade de aprender e empreender.

Aos colegas de trabalho pelo apoio conceitual e operacional.

RESUMO

Este trabalho descreve os requisitos para definição, implantação, manutenção e melhoria de sistemas de gestão de energia no ambiente industrial com um enfoque sistemático no que se refere às rotinas de melhoria contínua para eficiência energética. Para tanto, propôs-se a estruturação de uma plataforma automatizada visando o monitoramento, verificação e gerenciamento de recursos energéticos compatível com um sistema de gestão de energia normatizado, incluindo os requisitos de uso e consumo de energia, além do monitoramento, documentação, comunicação, melhores práticas de projeto, aquisição de equipamentos, sistemas, processos e recursos humanos envolvidos no desempenho energético. A estratégia de análise do uso da energia proposta neste trabalho baseou-se na metodologia de monitoramento e gestão de índices que consiste em uma abordagem sistemática na utilização de recursos energéticos objetivando alcançar o melhor resultado econômico através da gestão permanente do consumo de energia. Além disso, propôs-se a inclusão dessa metodologia como um procedimento na fase de planejamento da norma ISO50001, a qual estabelece os conceitos para a implantação de sistemas de gestão de energia. Visando integrar as ferramentas associadas a este cenário, esta plataforma contempla o uso de um sistema de supervisão associado a um aplicativo (Soft-PLC) que executa a aplicação de controle do uso de energia em um ambiente industrial com automação distribuída compatível com a norma IEC61131. O projeto do aplicativo de controle do uso de energia foi conduzido adotando-se diferentes linguagens de programação definidas na IEC para executar todos os procedimentos de medição, monitoração e gestão exigidos pelo sistema, incluindo análise comparativa com as “melhores práticas”, uso de tecnologias inovadoras, abordagem de produto e serviço, auditoria energética e conformidade com marcos regulatórios. Os resultados decorrentes da adoção de uma plataforma baseada em automação para o gerenciamento energético incluem elevada flexibilidade, adaptabilidade e usabilidade do sistema. Além disso, um projeto de automação neste cenário de plataforma aberta tende a apresentar menores custos de desenvolvimento e implantação.

Palavras-chave: Sistema de Gerenciamento de Energia. Monitoramento e Gestão de Índices de Energia. Eficiência Energética. Supervisão de Energia.

ABSTRACT

This work describes the requirements for the definition, implementation, maintenance and improvement of energy management systems in the industrial environment with a systematic approach concerning continuous improvement routines for energy efficiency. For this purpose, it was proposed the establishment of a framework based on automation to implement monitoring, verification and management of energy resources compatible with a standardized energy management system, including requirements for energy use and consumption, in addition to monitoring, documentation, communication, project best practices, equipment acquisition, systems, processes and human resources involved in energy performance. The strategy of energy use analysis proposed in this work is based on the methodology of monitoring and targeting that consists of a systematic approach in the use of energy resources in order to achieve the best economic result through the permanent management of energy consumption. Furthermore, this work includes that system as a procedure in the planning phase of ISO50001 standard which establishes the concepts for energy management systems implementation. In order to aggregate all tools associated to this scenario, this paper proposes the use of a supervisory tool integrated to a real-time software (Soft-PLC) that runs the control application and a factory floor distributed system automation hardware in an IEC61131 compatible environment. The project of the control application of energy use was conducted using different programming languages defined in IEC to perform all the procedures of measurement, monitoring and management required by the system, including comparative analysis with the "best practices", use of innovative technologies, product and service approach, energy audit and compliance with regulatory milestones. The expected results of adopting an automation-based platform for energetic management include system flexibility, adaptability and usability. Besides, a project of automation in this scenario of open platform tends to introduce lower development and deployment costs.

Keywords: Energy Management System. Energy Monitoring and Targeting. Energy Efficiency. Energy Supervision.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	18
2	GESTÃO NORMATIZADA E MONITORAMENTO DA ENERGIA	20
2.1	CONCEITOS BÁSICOS NO ÂMBITO DA GESTÃO DA ENERGIA	20
2.1.1	Trabalho e Energia	20
2.1.2	Eficiência Energética	22
2.1.3	Sistemas de Gestão de Energia (SGE)	25
2.2	NORMATIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE GESTÃO DE ENERGIA	26
2.2.1	Requisitos de um sistema de gestão de energia	32
2.2.2	Orientações para implantação do SGE	34
2.3	O MONITORAMENTO E GESTÃO DE ÍNDICES NO CONTEXTO DE UM SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA	37
2.3.1	Fundamentos do MGI	38
2.3.2	Etapas do MGI	40
2.3.2.1	Diagnóstico energético	40
2.3.2.2	Identificação dos centros de custo energéticos	41
2.3.2.3	Procedimentos de monitoração	41
2.3.2.4	Definição de padrões de desempenho energético	43
2.3.2.5	Análise de dados e relatório	44
2.3.2.6	Definição de metas para melhoria de desempenho	45
2.3.3	Implantação do MGI	46
3	FORMATAÇÃO DE SISTEMAS DE GESTÃO DE ENERGIA	48
3.1	PLATAFORMA AUXILIADA POR COMPUTADOR PARA MELHORIA CONTÍNUA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	49
3.2	SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GERENCIAL ENVOLVENDO ASPECTOS DE ENERGIA NA INDÚSTRIA	51
3.3	PRÁTICAS DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA NO PADRÃO IEEE PARA SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS	54
3.3.1	Organização para o gerenciamento de energia	55
3.3.2	Gerenciamento de carga	56
3.3.3	Sistemas de controle e monitoramento de utilidades	57
3.3.4	A importância da medição no gerenciamento energético	58
3.4	VISÃO GERAL DE ALGUMAS TÉCNICAS DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA EM SISTEMAS ELÉTRICOS	59
3.4.1	Protocolo de Gerenciamento de Energia (EMP)	59
3.4.2	Corte de pico	60
3.4.3	Preenchimento de vales	60
3.4.4	Deslocamento de carga	60
3.4.5	Correção do Fator de potência	60
3.4.6	Reconfiguração da carga	61
3.4.7	Automação e otimização	61
3.4.8	Controladores de Demanda Máxima	62

3.5 SISTEMAS DE GESTÃO DE ENERGIA EMPREGANDO FERRAMENTAS DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO.....	62
3.5.1 Uma estrutura de gerenciamento de energia avançado para promover a conscientização no âmbito energético via processamento de eventos complexos	62
3.5.2 Desenvolvimento de um sistema de gerenciamento de energia com uma abordagem de mineração de dados	66
4 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA.....	70
4.1 PROPOSTA CONCEITUAL DO SISTEMA.....	70
4.2 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA	80
4.3 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA	86
4.4 IMPLEMENTAÇÃO E OPERAÇÃO	88
4.5 MONITORAMENTO E MEDIÇÃO	88
4.6 ANÁLISE VIA MONITORAMENTO E GESTÃO DE ÍNDICES	97
4.7 AÇÕES CORRETIVAS E PREVENTIVAS	99
4.8 AUDITORIA	103
4.9 REVISÃO GERENCIAL.....	105
4.10 INTEGRAÇÃO DOS SUBSISTEMAS	106
5 VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DO SISTEMA.....	110
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO	110
5.2 SAÍDAS DO SISTEMA EM OPERAÇÃO	111
5.2.1 Implementação do sistema	111
5.2.2 Requisitos do SGE	112
5.2.3 Monitoramento de energia.....	113
5.2.4 Medição de energia.....	115
5.2.5 Controle no uso da energia	116
5.2.6 Eficiência na utilização da energia.....	118
5.2.7 Ações preventivas e corretivas.....	121
5.2.8 Auditoria e revisão energética	123
5.3 AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE IMPLEMENTAÇÃO	127
6 CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS.....	138

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Custos da energia no decorrer do tempo (CAPEHART; TURNER; KENNEDY, 2006).....	23
Figura 2 Modelo de sistema de gestão de energia da ISO50001 (ABNT, 2011)	30
Figura 3 Processo de planejamento energético (ABNT, 2011).....	33
Figura 4 Representação conceitual das atividades de desempenho energético (ABNT, 2011).....	35
Figura 5 Fluxo operacional do MGI (SILVA FILHO, 2004).....	38
Figura 6 Controle de uso de energia (SILVA FILHO, 2004).....	39
Figura 7 Gráfico de somas cumulativas	43
Figura 8 Roteiro dos elementos da gestão de energia (MOHD, 2011).....	49
Figura 9 Página inicial da plataforma de (WU; PONTE, 2012).....	50
Figura 10 Fluxograma de análise do consumo energético (PURANIK; YARANA; KULKARNI, 2004)	53
Figura 11 Sistema de controle e monitoramento de utilidades (IEEE, 1996)	58
Figura 12 Plataforma de Gerenciamento de Energia (VIKHOREV; GREENOUGH; BROWN, 2013).....	64
Figura 13 Visualização típica da plataforma (VIKHOREV; GREENOUGH; BROWN, 2013)	66
Figura 14 Supervisão aplicada ao SGE	73
Figura 15 Estrutura do MGI + SGE.....	74
Figura 16 Etapa de Verificação Energética do SGE.....	76
Figura 17 Diagrama de Casos de Uso	81
Figura 18 Diagrama de Classes	83
Figura 19 Diagrama de Sequência.....	84
Figura 20 Ciclo PDCA para o SGE	85
Figura 21 Função SEC.....	89
Figura 22 Bloco Funcional Energy_STANDARD	90
Figura 23 POU MONITORING	91
Figura 24 POU DEGREE_DAY	94
Figura 25 Programa MEASUREMENT	97
Figura 26 Programa de monitoramento e gestão de índices	98
Figura 27 POU CORRECTION	100
Figura 28 POU PREVENTION.....	102
Figura 29 POU REQUIREMENTS	106
Figura 30 Explorador de projeto do Soft-PLC	107
Figura 31 Estrutura de supervisão do SGE no nível 2.....	108
Figura 32 Configuração Modbus de nível 2	108
Figura 33 Configuração da comunicação do Energy Gateway	109
Figura 34 Tela de implementação e verificação do SGE no nível 2	112
Figura 35 Tela de visão geral dos requisitos do SGE.....	113
Figura 36 Módulo de monitoramento de energia	114

Figura 37 Resultados do monitoramento de energia	115
Figura 38 Módulo de medição de energia	116
Figura 39 Módulo de controle do uso da energia	117
Figura 40 Gráficos de somas cumulativas e consumo específico	117
Figura 41 Módulo de eficiência na utilização de energia.....	119
Figura 42 Gráficos de somas cumulativas e consumo específico de energia	119
Figura 43 Módulo de ações corretivas e preventivas	122
Figura 44 Módulo de auditoria e revisão energética	123
Figura 45 Leiaute das instalações do estudo de caso.....	128
Figura 46 Módulo de auditoria e revisão energética	132
Figura 47 Distribuição de horas do SGE	133
Figura 48 Distribuição de horas da customização	134
Figura 49 Operação e comando do acionamento.....	137

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores típicos de PEE	42
Tabela 2. Resultados da implantação do MGI (SILVA FILHO, 2004).....	47
Tabela 3. Sistema de informação para o gerenciamento de energia (PURANIK; YARANA; KULKARNI, 2004)	52
Tabela 4. Objetivos e requisitos de um projeto de mineração de dados (VELÁZQUEZ; GONZÁLEZ-FALCÓN; PÉREZ-LOMBARD, 2013).....	68
Tabela 5. Estrutura de modelamento do sistema	87
Tabela 6. Metodologia de auditoria (SCHWEIGER; BRUNNER; BERTRAND, 2012)	105
Tabela 7. Entradas e saídas da revisão gerencial	106
Tabela 8. Dados históricos referenciais de produção e consumo de energia.....	111
Tabela 9. Resultados da implementação da plataforma de gestão de energia	125
Tabela 10. Soluções do sistema referência para gerenciamento energético.....	130
Tabela 11. Comparativo do dimensionamento dos recursos materiais	130
Tabela 12. Distribuição e o montante das horas de projeto.....	133
Tabela 13. Ciclo de trabalho do sistema de bombeamento	135
Tabela 14. Memória de cálculo da operação com válvula de estrangulamento	135
Tabela 15. Memória de cálculo da operação com acionamento eletrônico.....	136

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANSI: *American National Standards Institute* (Instituto Nacional Americano de Padrões)

BSi: *The British Standards Institution* (Instituição Britânica de Padrões)

CCE: Centro de Custo Energético

CEE: Consumo Específico de Energia

CEP: Processamento de Eventos Complexos

CIDA: *Canadian International Development Agency* (Agência de Desenvolvimento Internacional Canadense)

CIPEC: *Canadian Industry Program for Energy Conservation* (Programa da Indústria Canadense para Conservação de Energia)

CP: Controlador Programável

DCS: *Distributed Control System* (Sistemas de Controle Distribuído)

DFA: *Discriminant Function Analysis* (Análise da Função Discriminante)

EMP: *Energy Management Protocol* (Protocolo de Gerenciamento de Energia)

ERP: *Enterprise Resource Planning* (Planejamento de Recursos Corporativos)

GCAR: Grupo de Controle, Automação e Robótica

GSC: Gráfico de Somas Cumulativas

HVAC: *Heating, Ventilation and Air Conditioning* (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado)

IDE: Indicador de Desempenho Energético

IEC: *International Electrotechnical Commission* (Comissão Eletrotécnica Internacional)

IEEE: *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos)

IHM: Interface Homem-Máquina

ISA: *International Society of Automation* (Sociedade Internacional de Automação)

ISO: *International Organization for Standardization* (Organização Internacional para Padronização)

MES: *Manufacturing Execution Systems* (Sistema de Execução de Manufatura)

MGI: Monitoramento e Gestão de Índices

PC: *Personal Computer* (Computador Pessoal)

PCH: Pequenas Centrais Hidrelétricas

PDCA: *Plan, Do, Check and Act* (Ciclo de Planejamento, Execução, Verificação e Atuação)

PIM: *Product Information Management* (Gerenciamento de Informações de Produto)

PMBOK: *Planning, Management Body of Knowledge* (Guia do Conjunto de Conhecimentos em Gerência de Projetos)

PMI: *Project Management Institute* (Instituto de Gerenciamento de Projetos)

POO: Programação Orientada ao Objeto

POU: *Program Organization Unit* (Unidade de Organização de Programa)

PPGEE: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

PROCEL: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PSE: *Programing System Environment* (Ambiente de Programação)

SCADA: *Supervisory Control and Data Acquisition* (Aquisição de Dados e Controle de Supervisório)

SGE: Sistema de Gestão de Energia

SI: Sistema Internacional de Unidades

TOD: *Time of day* (Hora do Dia)

UML: *Unified Modeling Language* (Linguagem de Modelagem Unificada)

UNIDO: *United Nations Industrial Development Organization* (Organização de Desenvolvimento Industrial das Nações Unidas)

VIP: variável de influencia potencial

VIR: variável de influência relevante

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, inúmeras políticas e programas associados à eficiência energética foram conduzidos em vários países do mundo superando barreiras informacionais, institucionais, regulatórias e de mercado. Tais programas proveem ambientes propícios para implantar tecnologias, práticas e medidas voltadas à eficiência energética. A UNIDO foi uma das primeiras organizações internacionais a reconhecer a necessidade do comprometimento da indústria com a tomada de ações efetivas frente ao impacto das alterações climáticas, bem como a difusão de normas de gerenciamento energético. Em março de 2007 foi dado o primeiro passo, capitaneado pela UNIDO, no sentido de fomentar a estruturação de uma norma internacional de gerenciamento energético e que envolvia também a participação da ISO e nações com alguma experiência anterior em programas do tipo. Da mesma forma, o Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) e a ANSI reconheciam, à época, a necessidade de um esforço concentrado e organizado para auxiliar a indústria a melhorar sua eficiência energética (PINERO, 2008).

Nesse contexto é importante mencionar a norma ISO50001 (ABNT, 2011) que estabelece os requisitos para definição, implantação, manutenção e melhoria de sistemas de gestão de energia principalmente na indústria e comércio com um enfoque sistemático no que tange a rotinas de melhoria contínua para eficiência energética. Os tópicos da norma compreendem requisitos de uso e consumo de energia, incluindo monitoramento, documentação, comunicação, melhores práticas de projeto, aquisição de equipamentos, sistemas, processos e recursos humanos envolvidos no desempenho energético.

Um Sistema de Gestão de Energia (SGE) consiste em um conjunto de elementos destinados ao estabelecimento da política energética e objetivos, incluindo processos e procedimentos para alcançar tais metas (ABNT, 2011).

A norma ISO50001 estabelece uma plataforma aplicável em plantas industriais, empresas comerciais e instalações institucionais e governamentais para o gerenciamento de energia, visando ampla difusão nos mais diversos setores econômicos.

Além disso, programas eficientes e sustentáveis de eficiência energética demandam uma abordagem sistemática com o objetivo de aperfeiçoar o uso dos recursos, bem como o atendimento das expectativas básicas do negócio. Nesse contexto, empresas que tratam a energia como um recurso gerenciável e integram seus programas energéticos nas suas práticas gerenciais propiciam um contexto organizacional no qual continuamente buscam-se oportunidades para a otimização do uso da energia (YUMKELLA; WILLIAMS, 2009).

Com o propósito de incorporar as rotinas de gerenciamento de energia, um ciclo de planejamento, execução, verificação e atuação (PDCA) deve ser desenvolvido em conformidade com a padronização preconizada pela ISO. Obviamente este processo compreende toda a organização desde o presidente da empresa até o nível de produção. Este trabalho enfatiza a fase de planejamento do ciclo PDCA no âmbito da implantação da norma ISO50001, enfatizando a revisão energética, o estabelecimento de linhas de base, a identificação dos indicadores de desempenho energético e os objetivos relacionados ao uso e consumo da energia, valendo-se da metodologia de Monitoramento e Gestão de Índices (MGI). O MGI envolve o gerenciamento do consumo energético, garantindo uma avaliação efetiva das ações de eficiência energética. Este gerenciamento é baseado na medição do consumo de energia. A ideia consiste em compreender como a energia está sendo utilizada (SILVA FILHO, 2004).

Por fim, com o objetivo de agregar todas as ferramentas associadas ao MGI no contexto do SGE, este trabalho propõe o emprego de um sistema de aquisição de dados e controle de supervisor (SCADA) integrado a um aplicativo (Soft-PLC) que executa a aplicação de controle juntamente com dispositivos de campo próprios de uma arquitetura de

automação distribuída em um ambiente compatível com a norma IEC61131 (PLCOPEN, 2011), voltada à padronização de controladores industriais.

Nesse contexto, os objetivos deste trabalho são:

- estruturar uma plataforma baseada em uma ferramenta de supervisão de nível intermediário no contexto da pirâmide de automação integrada a um software que executa o aplicativo de controle, sustentado por hardwares de automação típicos de sistemas distribuídos de chão de fábrica, visando implantar um sistema de gerenciamento de energia;
- priorizar, em um cenário de crescente regulamentação, a aderência dessa plataforma às exigências de padronização do modelo de sistema de energia preconizado pela norma ISO50001 em uma abordagem de cima para baixo (*top-down*) dentro do contexto da pirâmide de automação;
- desenvolver a plataforma utilizando um enfoque de projeto de automação através da adoção de uma metodologia normatizada e usando uma abordagem da base para o topo preconizada pela norma IEC61131 para declarar e instanciar elementos de software como funções, blocos funcionais e programas que implementam todos os recursos exigidos pelos sistemas de gestão de energia;
- adotar a metodologia de monitoramento e gestão de índices que consiste em uma abordagem sistemática na utilização de recursos energéticos objetivando alcançar o melhor resultado econômico no que se refere à estratégia de controle de energia;
- inserir a metodologia de monitoramento e gestão de índices como um procedimento na fase de planejamento da norma ISO50001 para sistematização das rotinas de melhoria contínua para a eficiência energética;

- criar um ambiente computacional propício para a inserção de ferramentas oriundas da tecnologia da informação, tais como processamento de eventos complexos e mineração de dados, as quais normalmente demandam alto índice de customização, dificultando sua utilização em um sistema de gestão de energia.

O projeto do aplicativo de controle do uso de energia foi conduzido adotando-se diferentes linguagens de programação definidas na IEC para executar todos os procedimentos de medição, monitoração e gestão exigidos pelo SGE, incluindo análise comparativa com modelos, uso de tecnologias inovadoras, abordagem de produto e serviço, auditoria energética e conformidade com marcos regulatórios.

Em síntese, a adoção de uma plataforma baseada em automação para apoiar ou executar um sistema de gerenciamento de energia normatizado está fundamentada em conceitos como modularização, estruturação, reutilização, validação, depuração em bancada, alta qualidade de software, alta flexibilidade e adaptabilidade buscando apresentar menores custos de desenvolvimento e implantação e facilitar a interação do usuário com o sistema.

1.1 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O capítulo 2 apresenta alguns conceitos básicos no âmbito da gestão da energia e a motivação para a implantação de sistemas de gerenciamento energético. Ele contempla uma visão geral da norma ISO50001, incluindo a terminologia associada e as definições. Além disso, são detalhados os requisitos básicos de um sistema de gerenciamento de energia e algumas orientações para implantação de um SGE. Neste capítulo são descritos também os fundamentos da técnica de Monitoramento e Gestão de Índices, detalhando suas fases e premissas de implantação.

O capítulo 3 analisa algumas implementações de sistemas de gestão de energia baseados em plataformas auxiliadas por computador, sistemas de informação gerencial, práticas de gerenciamento de energia, técnicas de gerenciamento de energia em sistemas elétricos e sistemas de gestão de energia empregando ferramentas de tecnologia da informação.

O desenvolvimento do sistema de gerenciamento de energia com o auxílio da técnica de monitoramento e gestão de índices ora proposto é apresentado no capítulo 4, enquanto que o capítulo 5 detalha a validação experimental, considerando um estudo de caso. O capítulo 6 encerra com as conclusões do trabalho e comentários finais em relação a desenvolvimentos futuros.

2 GESTÃO NORMATIZADA E MONITORAMENTO DA ENERGIA

A energia existe em abundância na natureza, mas a sua forma utilizável é escassa e limitada. O uso final de energia no setor industrial é significativo compreendendo cerca de 27% do consumo final de energia global no ano de 2009. Indústrias energo-intensivas tais como químicas, refinarias, celulose, ferro e aço, alumínio, alimentícia, vidro e cimento representam dois terços da demanda de energia direcionada à indústria. Além disso, projeções globais no que concerne ao consumo industrial de energia preveem um crescimento nos próximos 25 anos a uma taxa média de 1,5% (VELÁZQUEZ; GONZÁLEZ-FALCÓN; PÉREZ-LOMBARD, 2013).

Além disso, os avanços na tecnologia e as mudanças no estilo de vida da população mundial aumentaram o uso e a demanda de energia. No entanto, o esgotamento dos recursos energéticos e as restrições no fornecimento de energia estão resultando em um aumento na lacuna entre oferta e demanda de energia (KULKARNI; KATTI, 2010).

2.1 CONCEITOS BÁSICOS NO ÂMBITO DA GESTÃO DA ENERGIA

2.1.1 Trabalho e Energia

Conceitualmente a energia representa a capacidade de realizar trabalho. Este último pode ser definido, considerando-se um ponto material submetido à ação de uma força, como o produto da componente desta força na direção do movimento do ponto material, pela distância do deslocamento do mesmo. O trabalho é um escalar embora as duas quantidades envolvidas na sua definição (força e deslocamento) sejam vetores. A sua unidade está baseada no trabalho realizado por uma força unitária ao mover um corpo na sua direção de uma distância unitária. No Sistema Internacional de Unidades (SI) a unidade de trabalho é o newton-metro e é conhecida como joule.

Uma grandeza muito importante derivada desse conceito é a taxa, no tempo, com que se realiza o trabalho, a qual é denominada de potência. No SI a unidade de potência é o joule/segundo, que é conhecida como watt (HALLIDAY; RESNICK, 1969).

Voltando ao conceito de energia pode-se dizer que o trabalho realizado pela força que atua sobre um ponto material é igual à variação da energia cinética do mesmo.

A denominação das diferentes formas de energia advém dos nomes especiais que são dados ao trabalho realizado por certos tipos de força. São exemplos: a energia térmica, elétrica e nuclear.

Um conceito importante no âmbito da geração de energia é a cogeração que consiste na produção simultânea de energia elétrica e calor ou vapor para o processo otimizando a energia fornecida como combustível para maximizar a energia produzida para consumo.

Pelo teorema da conservação da energia, a energia pode ser transformada de um tipo para outro, mas não pode ser criada ou destruída, significando que a energia total é constante. (HALLIDAY; RESNICK, 1969)

Em um contexto gerencial, a conservação de energia é definida como a estratégia de ajuste e otimização de energia através de sistemas e procedimentos de modo a reduzir os requisitos de energia por unidade de saída mantendo constante ou reduzindo os custos totais de energia associados a esses sistemas (OLAJIRE, 2012).

A conservação de energia está relacionada com ações comportamentais, como uso de iluminação racional, compartilhamento de recursos, otimização dos ciclos de partida e parada dos dispositivos, eliminação de vazamentos e controle de variáveis do processo no que se refere aos requisitos de utilização final.

2.1.2 Eficiência Energética

A eficiência energética está relacionada com todas as alterações que resultam em diminuição da quantidade de energia utilizada para produzir uma unidade de atividade na organização. (OLAJIRE, 2012) A sua aplicação objetiva garantir o máximo em termos de resultado ou efeitos de cada unidade de energia utilizada, buscando alcançar os mesmos resultados com menos energia (MOHD, 2011).

A eficiência energética está associada ao uso racional e sensato da energia, buscando reduzir as perdas na cadeia energética. Esta cadeia consiste das atividades de operação dos equipamentos da planta como motores, bombas, maquinário, iluminação e aquecimento (KULKARNI; KATTI, 2010).

Isto pode ser obtido aumentando a tecnologia associada ao sistema como, por exemplo, utilização de dispositivos de alta eficiência e automação de equipamentos e processos. Essas ações levam à melhoria da qualidade do produto, redução de perdas e melhoria da eficiência de utilização de matéria-prima, resultando em redução do consumo de energia.

A partir do que foi exposto pode-se observar que, comparativamente às ações de conservação de energia, o enfoque relacionado às ações de eficiência energética é ligeiramente diferente do ponto de vista gerencial.

Além disso, em um cenário de elevada competitividade é fundamental que as indústrias busquem processos cada vez mais eficientes do ponto de vista energético. O setor industrial mundial utilizou aproximadamente 98 EJ de energia no ano de 2008 e existe uma projeção de crescimento desse valor em 44 % até 2030 (VIKHOREV; GREENOUGH; BROWN, 2013).

O impacto proporcionado pela adoção de programas de eficiência energética pode ser observado na Figura 7, a qual compara a evolução dos custos da energia em uma base temporal considerando cenários com e sem eficientização.

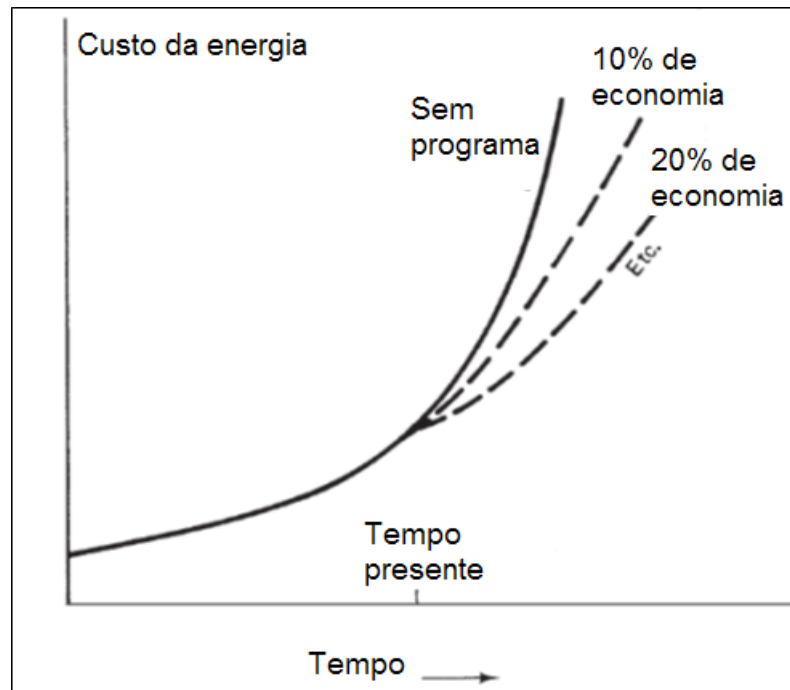


Figura 1 Custos da energia no decorrer do tempo (CAPEHART; TURNER; KENNEDY, 2006)

O consumo de energia está relacionado ao chamado desenvolvimento sustentável, o qual foi definido pelo Brundtland Commission (1987) como o desenvolvimento que atende as necessidades do presente sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atenderem suas próprias necessidades (DONG; HUANG; CAI, 2013).

Os cientistas determinaram que a atmosfera da terra está mudando como resultado das emissões de gases de efeito estufa que concentram o calor na atmosfera. Um gás de efeito estufa importante é o dióxido de carbono (CO_2), que é emitido principalmente a partir da queima de combustíveis fósseis.

Outros fatores que contribuem para o aquecimento global são o metano (CH_4), óxidos de nitrogênio (NO_x) e substâncias halogenadas. Comparado com o CO_2 , o CH_4 tem 24,5 vezes mais potencial de aquecimento da atmosfera, o NO_2 tem 310 vezes mais e as

substâncias halogenadas têm de 93 a 24900 vezes mais. No entanto, o CO₂ contribui mais para o aquecimento global do que todas essas outras substâncias combinadas (CIPEC, 2002).

Nesse contexto, é sabido que a geração de energia elétrica através da combustão é particularmente danosa ao meio ambiente devido à emissão de gases de efeito estufa, sendo que as emissões industriais de CO₂ são impulsionadas pela quantidade e tipo de energia utilizada pelas fábricas, bem como pela emissão indireta associada à produção de eletricidade. No período de 1990 a 2005 as emissões globais de CO₂ a partir do uso final da energia aumentaram em 21,2 Gt com uma participação expressiva de 39% da indústria manufatureira nessa estatística (VIKHOREV; GREENOUGH; BROWN, 2013).

Programas de eficiência energética na indústria têm se tornado cada vez mais importantes sob o ponto de vista da economia pública e do negócio. Os governos têm proporcionado incentivos para aumentar a eficiência energética industrial, a qual está associada à redução na emissão dos gases provenientes da queima dos combustíveis fósseis. Analisando-se a questão sob o prisma do negócio, a eficiência energética traz benefícios econômicos diretos, tais como aumento da competitividade e maior produtividade.

Pesquisas têm demonstrado que, apesar da existência de medidas voltadas à eficiência energética na indústria, estas não são implementadas na sua totalidade devido ao pouco incentivo, dificuldades na relação entre os principais agentes da implantação, bem como baixa confiabilidade da informação. Estes cenários dificultam a implantação de uma cultura de eficiência energética, pois implicam barreiras tais como: custo e risco da interrupção do processo produtivo, pouco acesso a financiamentos para a área, tempo escasso em função de outras prioridades, ausência de rubricas de investimento de capital, estrutura organizacional muito enxuta e poucos submedidores.

Outros elementos complicadores foram identificados por (BUA; BAGGINI, 2012): o desconhecimento do potencial de economia, métricas e informações inadequadas em relação à

eficiência obtida, a tendência de focar somente no desempenho de componentes individuais em vez do rendimento ou consumo de sistemas completos e a prática de considerar somente o custo inicial mais baixo em detrimento do custo do ciclo de vida.

A baixa efetividade desses programas gera uma diferença entre o nível ótimo de eficiência energética (potencial) e o nível atual de eficiência, a qual é chamada de lacuna de eficiência energética. O gerenciamento de energia surge então como uma ferramenta para romper essas barreiras à efficientização (THOLLANDER; OTTOSSON, 2010). Ainda, segundo (BUA; BAGGINI, 2012), a normatização no âmbito do gerenciamento energético pode ajudar a ultrapassar essas barreiras.

Além disso, de acordo com (VIKHOREV; GREENOUGH; BROWN, 2013) a gestão da energia tem se tornado um elemento essencial no gerenciamento da operação da planta, passando a ser suportada por normatizações internacionais conforme será explorado na sequência.

Assim sendo, o aumento dos custos associados à energia, as novas legislações ambientais e as questões envolvendo segurança constituem-se em importantes elementos motivadores para a implantação de sistemas de gestão de energia.

2.1.3 Sistemas de Gestão de Energia (SGE)

Um sistema de gestão de energia compreende um conjunto de procedimentos adequadamente planejados destinados à redução dos custos de energia e aumento da produtividade da empresa. Para tanto, são estabelecidas as políticas, metas, responsabilidades, procedimentos, diretrizes de treinamento e verificações internas (GORDIĆ; BABIĆ; JOVIČIĆ, 2010). Ele pode ser considerado multidimensional uma vez que engloba os aspectos técnicos da instalação e da operação do processo, o gerenciamento organizacional e o comportamento humano (TRIPP; DIXON, 2003).

Levando em consideração os aspectos associados à conservação da energia, o gerenciamento energético pode estar vinculado a qualquer ação adotada pelo usuário no sentido de alterar o perfil de uma carga objetivando reduzir o consumo energético (KULKARNI; KATTI, 2010).

Um sistema de gerenciamento de energia deve considerar também as fontes energéticas disponíveis e as implicações do seu uso de maneira que uma categorização relevante nesse tema está relacionada às energias renováveis que se referem à energia que ocorre naturalmente e repetidamente no ambiente como, por exemplo, a energia dos rios (hidrelétrica), das ondas, do vento, do sol e do calor geotérmico do solo. Energia renovável também pode ser produzida a partir de fontes vegetais, como madeira ou plantas utilizadas basicamente como combustíveis. Nesse contexto, denomina-se biomassa (FRAGA, 2013) todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica de origem animal ou vegetal, disponível na natureza ou gerado pelo homem ou animal, tais como resíduos sólidos urbanos, rurais (provenientes da prática da agricultura e pecuária), agroindustriais e da silvicultura, os quais podem ser empregados na produção de energia. Energias renováveis não se esgotam, ao contrário da energia proveniente de combustíveis fósseis (MOHD, 2010).

2.2 NORMATIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE GESTÃO DE ENERGIA

O aumento dos preços da energia e uma maior atenção às questões envolvendo alterações climáticas conforme mencionado anteriormente fez com que a eficiência energética fosse cada vez mais priorizada na agenda política dos países, tornando-se um elemento-chave na abordagem dos desafios econômicos e climáticos, bem como a segurança da energia. Com o objetivo de apoiar tecnicamente os governos na implantação de programas de eficiência energética, muitas organizações desenvolveram um vasto espectro de recomendações e ações propostas para identificar áreas prioritárias. Cabe a cada país selecionar as políticas que

melhor se encaixam nas suas demandas de efficientização voltadas a sua situação política, social e econômica específica (BUA; BAGGINI, 2012).

Estima-se que 80% do comércio de mercadorias do mundo são afetadas por normas ou regulamentos que referenciam ou incorporam padrões. Somente nos Estados Unidos, há aproximadamente 50.000 normas voluntárias no setor privado desenvolvidas por mais de 600 organizações. Este número não inclui os mais de 44.000 estatutos, regulamentos técnicos ou especificações de compra utilizados por autoridades federais de regulação ou desenvolvimento de fornecedores (GILLESS; HURTADO; BROWN, 2011).

Vários países adotam políticas que combinam uma variedade de mecanismos de financiamento de eficiência energética industrial e incentivos para programas voltados à mitigação de emissões de gases de efeito estufa. Estas políticas também podem promover o aumento dos custos associados à utilização de energia visando estimular a eficiência energética ou reduzir os custos relativos aos investimentos de projetos em eficiência energética. Incentivos para investir em tecnologias de eficiência energética e medidas incluem subvenções ou subsídios, benefícios fiscais e empréstimos para investimentos na área (YUMKELLA; WILLIAMS, 2009).

Normas de gestão de energia têm como objetivo comum a integração do gerenciamento energético na cultura organizacional. Essa demanda fica evidente quando se percebe que os gestores, sejam eles de nível intermediário ou de planta, muitas vezes têm pouco entendimento das consequências econômicas das operações e práticas ineficientes no que se refere à energia. É esta falta de consciência e a falha correspondente para gerenciar o uso da energia com a mesma atenção que rotineiramente é assegurada à qualidade de produção, gerenciamento de resíduos e redução de custos que constituem a raiz da oportunidade. Isto se tornou cada vez mais claro ao longo do tempo, validando os esforços associados aos programas de eficiência energética industrial (MEFFERT; MCKANE, 2009).

As normas podem fornecer métodos padronizados de medição e teste para avaliar o uso da energia e as reduções obtidas a partir da adoção de novas tecnologias e processos, bem como fornecer referenciais de codificação, melhores práticas e processos de gestão para a conservação e uso eficiente da energia. Além disso, a partir das suas diretrizes podem ser elaboradas listas de verificação do projeto e orientações podem ser aplicadas no desenvolvimento de novos sistemas, bem como o realinhamento de sistemas existentes. Elas podem fornecer métodos de cálculo para que sejam feitas comparações entre alternativas de efficientização em situações específicas e podem ajudar na adaptação da infraestrutura para integrar as novas tecnologias e auxiliar a interoperabilidade (BUA; BAGGINI, 2012).

Segundo (PARRISH; BERKELEY, 2012), a normatização exige que a diretoria assuma a responsabilidade de garantir que a equipe de gerenciamento apoie o SGE e mais ainda, proveja recursos para assegurar a melhoria contínua do desempenho energético.

A necessidade de um gerenciamento eficaz da energia aliada a um modelo consagrado de normas internacionais de sistemas de gestão motivou o desenvolvimento de uma norma de gestão de energia. Uma das principais organizações envolvida no desenvolvimento de normas de sistemas de gestão é a International Organization for Standardization (ISO). As normas ISO existentes voltadas às práticas de gestão de qualidade (série ISO 9000) e sistemas de gestão ambiental (série ISO 14000) estimularam, com êxito, a implantação de melhorias na eficiência de forma substancial e contínua dentro das organizações ao redor do globo. (PINERO, 2008) Todas essas normas de gerenciamento pertencem à família dos assim chamados Modelos Racionais para Tomadas de Decisão (CHRISTOFFERSEN; LARSEN; TOGEBY, 2006).

A norma ISO50001 preconiza um enfoque sistêmico de gerenciamento que exige que a organização pense holisticamente sobre energia e tome decisões baseadas nas prioridades e metas referentes ao desempenho energético da empresa. Esta norma define um sistema de

gerenciamento de energia como um conjunto de elementos inter-relacionados que visam estabelecer uma política energética e objetivos relacionados à energia, incluindo processos e procedimentos para atingir esses objetivos (ISO, 2011). Segundo (CHOUDHURY, 2012) ao contrário das outras normas, esta é mais quantitativa do que qualitativa, ou seja, os indicadores de desempenho de energia de todos os equipamentos e subsistemas relevantes devem ser definidos e devem ser medidos, monitorados e analisados em uma base regular para garantir a melhoria contínua do SGE.

A norma ISO 50001 propõe estratégias de gerenciamento para organizações públicas e privadas buscando aumentar a eficiência energética, reduzir custos e melhorar o desempenho energético. A norma destina-se a fornecer às empresas uma plataforma reconhecida para integrar o desempenho energético nas suas práticas de gestão. A ideia é que as organizações tenham acesso a um padrão único e harmonizado para implementação em toda a empresa com uma metodologia consistente e lógica para a identificação e implantação de melhorias (ISO, 2011).

Para tanto, a norma se propõe a auxiliar nos seguintes aspectos:

- auxiliar as organizações no tocante a melhor utilização dos ativos que consomem energia;
- garantir transparência e facilitar a comunicação sobre a gestão dos recursos energéticos;
- promover as melhores práticas de gestão de energia e incentivar comportamentos proativos no que se refere à gestão de energia;
- auxiliar na avaliação e priorização da implementação de novas tecnologias de eficiência energética;
- proporcionar uma plataforma para a promoção da eficiência energética em toda a cadeia de abastecimento;

- facilitar o desenvolvimento de projetos de melhorias no gerenciamento de energia visando a redução de emissões de gases de efeito estufa;
- permitir a integração com outros sistemas de gestão organizacional, tais como ambiental, saúde e segurança.

O Brasil adotou essa normatização a partir de 2011 quando foi publicada a norma ABNT-ISO50001 (ABNT, 2011), a qual especifica os requisitos para um sistema de gestão de energia, contemplando políticas energéticas, objetivos, requisitos legais e planos de ação a serem adotados pela organização no tocante aos usos significativos da energia. Esta norma é baseada na adaptação de rotinas de melhoria contínua que utilizam o ciclo PDCA clássico (ABNT, 2011), visando incorporar procedimentos de gerenciamento energético na empresa.

A Figura 1 mostra o modelo de sistema de gestão de energia da norma ISO50001.

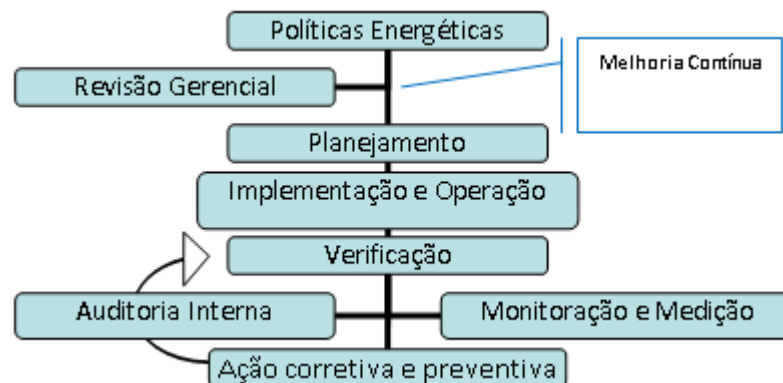


Figura 2 Modelo de sistema de gestão de energia da ISO50001 (ABNT, 2011)

Conforme mostrado na Figura 1, o modelo pressupõe como premissa a declaração do comprometimento da organização para atingir a melhoria do desempenho energético, através da Política Energética. Isso pressupõe um uso mais eficiente da energia, sistematização da melhoria contínua e comprometimento com uma redução na emissão de gases do efeito estufa e menor impacto ambiental.

Na sequência, o modelo prevê a implementação do sistema conforme os quatro passos descritos a seguir:

1. planejamento (P) – execução da revisão energética, estabelecimento de linhas de base, seleção de Indicadores de Desempenho Energético (IDE), definição de objetivos e elaboração de planos de ação;
2. execução (D) – Implantação dos planos de ação definidos na etapa anterior;
3. verificação (C) – Monitoração do processo com vistas ao mapeamento do desempenho energético;
4. atuação (A) – Ações para melhoria contínua do sistema.

A norma pode ser adotada para certificação do SGE, registro ou auto declaração e não contempla requisitos absolutos para o desempenho energético, os quais são definidos a partir das políticas energéticas da organização.

A ISO50001 é compatível com outras normas de gerenciamento consagradas, tais como ISO9001 e ISO140001. Os termos listados a seguir são empregados de forma extensiva por ocasião da implantação da norma em uma empresa:

- energia: refere-se à eletricidade, combustíveis, vapor, calor, ar comprimido e similares;
- uso significativo de energia: uso efetivo substancial de energia ou com grande potencial associado à melhoria do desempenho energético;
- linha de base energética: é uma referência quantitativa para efeito de comparação de desempenho;
- eficiência energética: relação quantitativa entre uma saída de desempenho relacionada à energia, produto ou serviço e uma entrada de energia;
- política energética: declaração da empresa em relação às diretrizes de desempenho energético;
- objetivo energético: resultado estabelecido visando atender as políticas energéticas da organização;

- meta energética: requisito de desempenho energético proveniente do objetivo energético;
- desempenho energético: resultados mensuráveis relacionados à eficiência, uso e consumo de energia;
- indicador de desempenho energético (IDE): valor ou medida quantitativa do desempenho energético associado às características específicas do processo;
- revisão energética: levantamento do desempenho energético da organização tomando como base dados e outras informações para a identificação de oportunidades de melhoria.

2.2.1 Requisitos de um sistema de gestão de energia

Os requisitos associados à ISO50001 incluem a documentação e o seu controle para garantir a operação efetiva do sistema. O primeiro requisito está relacionado à equipe de gerenciamento cuja responsabilidade deve ser previamente definida visando estabelecer, manter e melhorar o SGE. A direção da empresa deve fomentar atividades envolvendo os funcionários e que estejam relacionadas à delegação de autoridade, motivação, treinamento, participação e programa de recompensas. O profissional responsável pelas questões envolvendo energia (e sua equipe, se aplicável, dependendo do tamanho da organização) deve assegurar a implantação das melhorias no desempenho energético originadas desse fomento.

O próximo requisito consiste na declaração das políticas energéticas pela empresa buscando melhorias no desempenho energético. As políticas energéticas norteiam a implantação do SGE estabelecendo seu escopo e abrangência, podendo constituir-se em uma breve declaração que seja de fácil compreensão por todos os funcionários.

Na sequência, a organização deve conduzir e documentar o processo de planejamento energético, o qual compreende todas as atividades que afetam o desempenho energético.

Neste ponto é importante uma análise pormenorizada de todos os requisitos legais, de regulação e adicionais relacionados ao uso e consumo de energia.

As “variáveis” de saída do planejamento energético são: revisão energética, linha de base energética, IDE, bem como os objetivos, metas e planos de ação vinculados ao gerenciamento da energia. A Figura 2 ilustra o processo de planejamento energético.

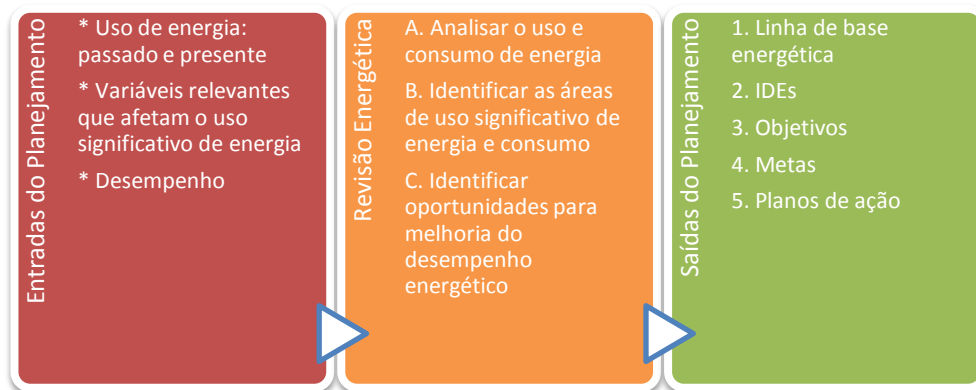


Figura 3 Processo de planejamento energético (ABNT, 2011)

No tocante à linha de base energética, deve-se levar em consideração as variáveis que afetam o uso e o consumo de energia, incluindo o clima e ciclos de atividade do negócio.

O IDE, por sua vez, pode ser um simples parâmetro ou até um modelo complexo. São exemplos de indicadores de desempenho energético as razões energia/tempo e energia/produção, bem como modelos multivariáveis. Basicamente, o IDE indica o desempenho energético da organização.

Os resultados dos passos anteriores servem de base para a implementação e operação do sistema, incluindo treinamento, conscientização, competência, comunicação, documentação, controle operacional, projeto e aquisição de serviços, produtos ou equipamentos de energia.

Alinhada com a metodologia do PDCA, a próxima fase refere-se à verificação do sistema. Os elementos-chave aqui são: monitoração, medição e análise. Esta fase inclui a avaliação da conformidade com requisitos legais, auditoria interna, identificação de não-

conformidades, estabelecimento de ações corretivas e preventivas, assim como todo o controle de registros do sistema.

O conceito de auditoria energética é muito importante nessa fase. Ela consiste em um procedimento que analisa de que maneira a energia está sendo usada atualmente na empresa e identifica alternativas para reduzir os custos energéticos. (GORDIĆ; BABIĆ; JOVIČIĆ, 2010) Os objetivos desse procedimento incluem:

- identificação dos tipos e custos relacionados ao uso da energia;
- entendimento de como a energia está sendo usada e desperdiçada;
- análise de alternativas para redução de custos energéticos;
- seleção de ações a partir da análise de viabilidade;
- planejamento para implementar projetos eficiência energética.

O último item a ser considerado na aplicação da norma ISO50001 é a revisão gerencial, a qual deve ser realizada em intervalos planejados para assegurar a compatibilidade, adequação e efetividade do SGE no âmbito da organização.

2.2.2 Orientações para implantação do SGE

A implantação da ISO50001 está fundamentada na avaliação e revisão periódica do seu sistema de gestão de energia com vistas a identificar oportunidades de melhoria dentro do escopo do SGE. Nesse contexto, o conceito de desempenho energético inclui várias atividades, por exemplo, redução da demanda no pico, utilização de energia desperdiçada ou recuperada e automação de processos. A Figura 3 ilustra a representação conceitual das atividades de desempenho energético.

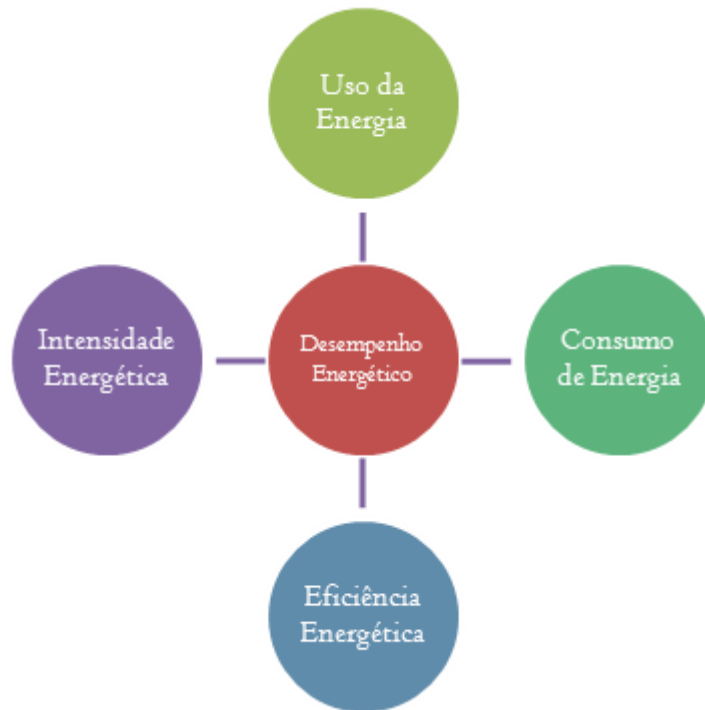


Figura 4 Representação conceitual das atividades de desempenho energético (ABNT, 2011)

Com o propósito de agregar atividades de desempenho energético às rotinas padronizadas da empresa alguns aspectos importantes devem ser levados em consideração conforme listado a seguir:

- a alta direção deve apoiar o gerenciamento de energia através de estratégias como delegação de autoridade, motivação, treinamento, reconhecimento, participação e recompensas;
- as habilidades e competências do representante da direção no que tange à coordenação do gerenciamento de energia devem estar bem definidas e em sintonia com o tipo e porte da empresa;
- as políticas energéticas que, conforme mencionado anteriormente, podem constituir-se em uma breve declaração de fácil compreensão por todos os funcionários, devem ser utilizadas como catalizadores para influenciar o comportamento da organização;
- uma pesquisa de marketing pode ser aplicada aos elementos do processo de planejamento energético e pode se constituir em uma importante ferramenta

para elaborar uma revisão energética que seja objetiva, gerando metas e objetivos energéticos;

- a organização deve avaliar os requisitos legais aplicáveis, os quais podem incluir leis ou regulamentos nacionais de desempenho energético;
- as auditorias energéticas devem ser planejadas e conduzidas com o propósito de identificar e priorizar oportunidades de melhoria no que se refere ao desempenho energético;
- a empresa deve identificar variáveis que afetem o uso e consumo da energia. Essas variáveis incluem clima, períodos produtivos, ciclos de atividades do negócio e outras condições;
- os indicadores de desempenho devem ser atualizados em caso de modificação nas atividades da empresa ou na linha de base que venha a afetar a relevância do parâmetro;
- além dos planos de ação focados em melhorias específicas no desempenho energético, a organização pode incluir outros planos para melhorar a gestão global da energia como uma extensão do programa e que podem incluir, por exemplo, a conscientização da equipe;
- a organização deve definir os requisitos de competência da equipe a partir de uma combinação de treinamento, habilidades e experiência;
- a organização deve desenvolver os documentos necessários para demonstrar o desempenho energético e o comprometimento com o SGE;
- a organização deve avaliar o seu funcionamento global a fim de identificar os usos significativos de energia para garantir que as atividades associadas sejam conduzidas com foco no controle e/ou redução dos impactos negativos;

- a aquisição de serviços e produtos relacionados à energia é uma oportunidade para melhorar o desempenho energético. Com essa estratégia é possível influenciar também o perfil relacionado à energia na cadeia de fornecimento. Além disso, a aplicabilidade de especificações de aquisição pode mudar de acordo com as características do mercado;
- as auditorias internas podem ser executadas por recursos internos ou externos, desde que tenham a competência específica. O escopo deve ser claramente definido;
- a revisão do gerenciamento pode incluir todo o escopo do SGE ou pode ser dividida em partes a serem implantadas em intervalos de tempo específicos.

Por fim, é importante ressaltar que a organização tem flexibilidade em relação à implantação do SGE podendo determinar a frequência, extensão e o período dos processos de melhoria contínua. Obviamente, considerações econômicas bem como a definição do escopo e das fronteiras do sistema influenciam essa decisão.

2.3 O MONITORAMENTO E GESTÃO DE ÍNDICES NO CONTEXTO DE UM SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA

O Monitoramento e Gestão de Índices (MGI) consiste em uma metodologia focada no controle e eficiência do uso de energia. Muitos casos referenciais nas últimas décadas resultaram em ações bem sucedidas como, por exemplo, na Inglaterra (de 4 a 18%), Canadá (8,7%) e Brasil (12%) no que se refere à redução no uso e custo de energia (SILVA FILHO, 2004). Além disso, estudos relacionados ao uso de energia identificaram economias de energia superiores a 20% simplesmente fornecendo informações energéticas através da estratégia de monitoramento (VIKHOREV; GREENOUGH; BROWN, 2013).

2.3.1 Fundamentos do MGI

A metodologia do MGI pressupõe a gestão permanente do consumo energético. Para isso é necessário realizar um diagnóstico energético (SILVA FILHO, 2004). O objetivo é identificar os Centros de Custo Energético (CCE) ou setores com consumo significativo de energia. Neste contexto, é importante definir padrões de desempenho relacionados ao uso da energia com o auxílio de um identificador energético específico (IES) como "l/min", "kWh" e "kcalh". A Figura 4 ilustra o fluxo operacional do MGI.

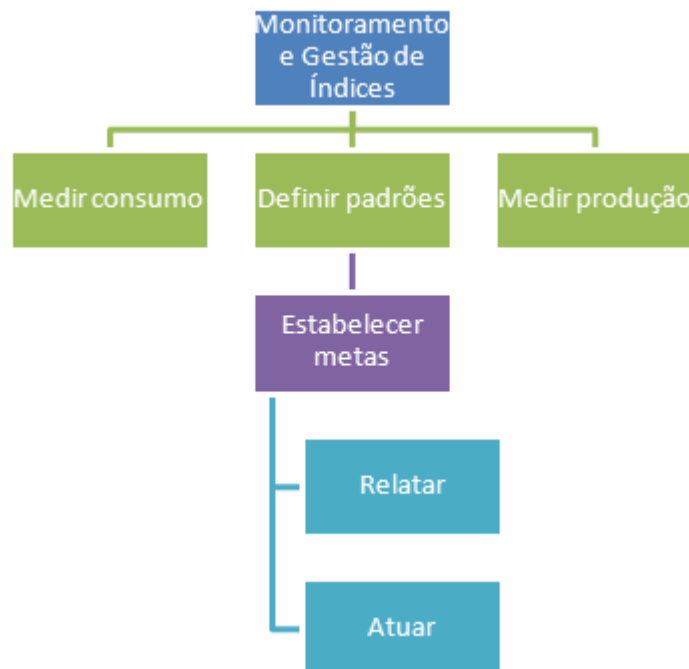


Figura 5 Fluxo operacional do MGI (SILVA FILHO, 2004)

Os componentes básicos do MGI são:

- controle permanente do uso da energia;
- planejamento para melhoria no uso eficiente da energia.

Em linhas gerais, a eficiência energética é constantemente comparada com a meta (valor desejado) e o resultado é disponibilizado para os operadores e gestores para que seja possível a interação com o processo visando controlar o uso de energia e melhorar o desempenho energético. O foco no chão de fábrica permite que o uso da energia seja associado a produtos, horários e estados do processo específicos (VIKHOREV;

GREENOUGH; BROWN, 2013). Além disso, as oportunidades de melhoria que são identificadas durante o diagnóstico energético podem incluir alterações nos procedimentos operacionais ou na operação da área de utilidades, bem como investimento de capital com o objetivo de tornar os processos mais eficientes do ponto de vista energético.

A fim de quantificar o desempenho da eficiência no uso de energia, o indicador chamado Consumo Específico de Energia (CEE) pode ser aplicado, o qual é independente dos valores econômicos ou impostos. Se necessário, este parâmetro pode estabelecer a representatividade econômica da energia quando comparada com outros insumos do processo.

A Figura 5 ilustra as maneiras de se empregar padrões e metas, a fim de controlar e melhorar a eficiência no uso de energia. Essa sistemática pressupõe o estabelecimento de padrões para o uso da energia (CEE padrão), bem como metas de melhoria da eficiência energética (meta de CEE). A comparação do CEE atual com o padrão vai permitir o controle do uso de energia. Por outro lado, a comparação do CEE atual com a meta do mesmo vai possibilitar a análise do desempenho do centro de custo energético no que se refere à eficiência energética praticada.

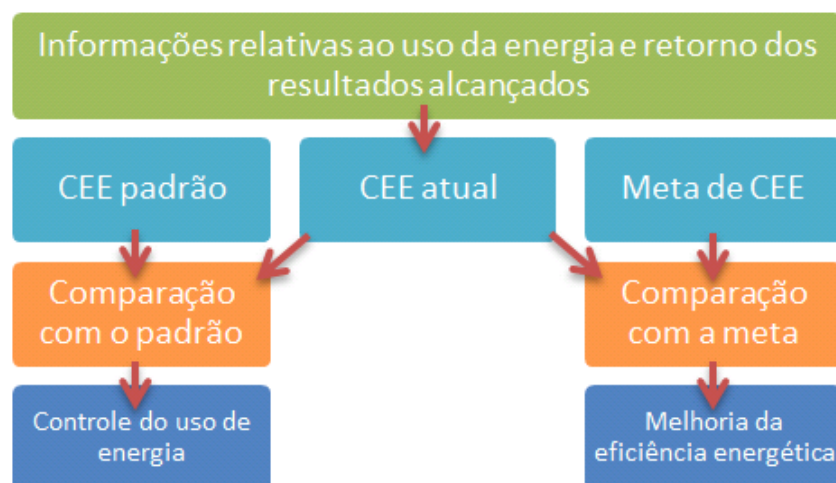


Figura 6 Controle de uso de energia (SILVA FILHO, 2004)

2.3.2 Etapas do MGI

A aplicação do MGI conforme (SILVA FILHO, 2004) normalmente demanda as seguintes etapas:

- diagnóstico energético;
- identificação dos centros de custo energéticos;
- procedimentos de monitoração;
- definição de padrões de desempenho;
- análise de dados e relatório;
- definição de metas para melhoria de desempenho.

As diretrizes do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), “Canadian International Development Agency” (CIDA), Departamento de Eficiência Energética Britânico (Programa de “Monitoring and Targeting”) e União Européia (Programa Thermie) referentes à metodologia do MGI foram compiladas por (SILVA FILHO, 2004) e os detalhamento de cada fase é explorado nas próximas seções.

2.3.2.1 Diagnóstico energético

O primeiro passo na implantação do programa consiste em coletar as informações básicas para estabelecer a base técnica e estrutura do sistema de MGI com os seguintes objetivos:

- coletar informações sobre o consumo de energia e custo de 12 ou 24 meses anteriores relacionados a todas as fontes energéticas;
- estimar o consumo de energia em todas as aplicações (HVAC, produção...);
- identificar oportunidades para melhorar a eficiência energética;
- estimar os custos para implantar essas medidas e projetar a economia potencial nos custos energéticos.

Essa fase inclui o levantamento de campo com as seguintes ações:

- identificar como os combustíveis e a energia elétrica estão distribuídos na empresa através da elaboração de gráficos de fluxo de processo e localização dos medidores de energia;
- verificar os procedimentos disponíveis na empresa para monitoração e controle da energia;
- identificar centros de custo energéticos e verificar a necessidade de medidores de energia adicionais;
- estabelecer a base do MGI através da avaliação do tempo e recursos necessários para operar o sistema, incluindo treinamento, bem como a estimativa de custos operacionais que serão comparados com as economias potenciais.

2.3.2.2 Identificação dos centros de custo energéticos

O objetivo desta fase é identificar como a energia (eletricidade, combustíveis, vapor, etc.) está distribuída na organização. Dependendo do tipo de empresa, o perfil e o tamanho, um Centro de Custo Energético (CCE) pode ser um único ou um grupo de setores, enfatizando aqueles mais representativos. A identificação do CCE deve levar em consideração os seguintes aspectos:

- o custo estimado para o consumo de energia e a economia potencial associada devem justificar os esforços para implementar a medição e o monitoramento no CCE;
- a relação entre a produção e o consumo de energia deve ser estabelecida através de indicadores de desempenho energético consistentes.

2.3.2.3 Procedimentos de monitoração

A medição de energia elétrica e consumo de combustíveis (gás natural, propano, butano, petróleo, carvão, vapor e água, por exemplo) são fundamentais para controlar o uso de energia.

A técnica de Retorno de Investimento (ROI) pode ser usada para justificar a medição setorial de energia em um CCE específico. Uma análise de viabilidade para a instalação de medidores pode ser realizada conforme a Equação 1.

$$DJM = GAE \times PEE \times ROI \quad (1)$$

Onde:

- DJM é a despesa justificável com medidores em unidades monetárias;
- GAE é o gasto anual com energia em unidades monetárias;
- PEE é o percentual de economia estimada e
- ROI é o tempo de retorno de investimento simples anual aceitável.

Valores típicos de PEE estão indicados na tabela abaixo e foram baseados em estimativas conservadoras de economia normalmente obtidas em projetos de MGI (SILVA FILHO, 2004).

Tabela 1. Valores típicos de PEE

Grandeza a ser medida	PEE
Eletricidade	3 – 5%
Gás e óleo	5%
Vapor	5%
Água	5 – 10%
Ar comprimido	10%

A ideia consiste em monitorar o consumo de energia em cada CCE e compará-lo com um padrão, tomando como base o Consumo Específico de Energia: se o desvio for adverso, uma ação de correção deve ser implementada. Por outro lado, se o desvio for favorável, o padrão pode ser ajustado.

O monitoramento de energia compreende três itens: coleta de dados, análise e relatório (gráficos e tabelas). Para demonstrar os resultados do MGI, um Gráfico de Somas Cumulativas (GSC) pode ser aplicado. Este gráfico plota os pontos de consumo de energia medidos menos o consumo de energia padrão versus o nível de produção ou operação em

relação a um número sequencial. Com esta metodologia, o desvio médio do valor medido em relação ao padrão é indicado pela inclinação do gráfico. Uma rampa ascendente indica um desempenho fraco. O GSC pode apresentar também guias de inclinação, mostrando os desvios padrão, de acordo com os ângulos de inclinação. A Figura 6 mostra um exemplo do gráfico de somas cumulativas. Pode-se observar no gráfico que, até a semana 12, o desempenho padrão foi alcançado e mantido e que, a partir da semana 12, ocorreu uma melhoria no desempenho em relação ao padrão.

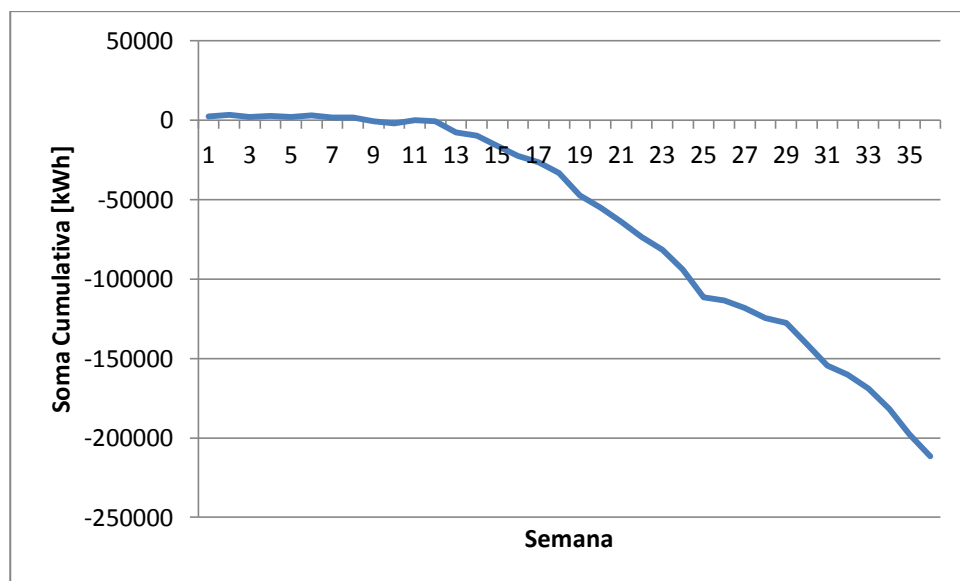


Figura 7 Gráfico de somas cumulativas

A análise de desempenho de energia deve levar em consideração diversas variáveis, incluindo a contabilidade financeira, dados de produção, consumo específico de energia de um setor específico ou da planta, indicadores econômicos, matérias-primas e variáveis do processo (temperatura, pressão, fluxo, nível, etc.) sempre comparando com os padrões. Um sistema automatizado de MGI é necessário para atingir os melhores resultados neste contexto.

2.3.2.4 Definição de padrões de desempenho energético

Os padrões de desempenho de energia dependem de variáveis que afetam a taxa de utilização da mesma. Essas variáveis, por sua vez, dependem do tipo de empresa, por exemplo, variedade de produtos, nível de produção, taxa de matéria-prima, perdas, clientes por dia, etc. O padrão pode ser estabelecido analisando o desempenho ao longo de um

determinado período de tempo e padrões temporários são aceitos no caso de poucos dados históricos disponíveis. O efeito dessas variáveis (V_n) no consumo de energia (E) pode ser expressa de acordo com a Equação 2, onde C é uma constante.

$$E = C + CEE \times V_n \quad (2)$$

Muitos fatores podem influenciar o consumo de energia, por exemplo, variações de temperatura externa e os níveis de produção ou serviço. A fim de expressar essa relação é usual plotar o consumo de energia versus graus-dia ou versus produção como, por exemplo, ton/semana ou mesmo o consumo específico de energia (algo como GJ/ton, por exemplo) versus produção ou versus tempo.

Para uma efetiva avaliação do desempenho energético do CCE torna-se necessária a coleta de dados sobre o uso da energia, bem como sobre a atividade para a qual a energia é utilizada. No caso de um processo de fabricação de bebidas, por exemplo, o principal indicador a ser gerenciado poderia ser “kWh/hl”. Outra condição relevante é o nível de produção em relação à nominal, a qual afeta o desempenho energético.

2.3.2.5 Análise de dados e relatório

Com estes dados é possível estabelecer padrões baseados em modelos algébricos para consumo de energia por CCE. Os modelos baseiam-se na relação entre o consumo de energia e o monitoramento das variáveis discutidas anteriormente.

Dentro do CCE, o processo pode ser particionado em estágios discretos com seus modelos energéticos específicos. O consumo de energia projetada gerado por estes modelos define os padrões de desempenho que podem ser comparados com valores reais. Essa estratégia facilita a identificação de oportunidades de efficientização energética.

Uma vantagem deste tipo de modelamento está relacionada à flexibilidade no caso de eventuais correções de rota motivadas por alterações nos padrões de produção.

2.3.2.6 Definição de metas para melhoria de desempenho

Quando o monitoramento de energia está integrado ao SGE, metas devem ser definidas para perseguir melhorias no desempenho do sistema. Metas podem ser estabelecidas individualmente para cada CCE ou para a empresa como um todo e consistem na redução do custo energético e/ou consumo de energia, bem como, a obtenção de um consumo específico de energia mais baixo, que é a melhor situação, pois caracteriza um avanço real no uso eficiente de energia.

Relatórios com base em gráficos de somas cumulativas são particularmente interessantes para verificar a eficácia de ações de eficiência energética e o retorno do investimento associado. Além disso, metas de energia para equipamentos ou setores também podem ser baseadas na análise comparativa ou através da comparação entre especificações de fabricantes.

Com base no que foi exposto, a equipe responsável pela eficiência energética na empresa deve coordenar o desenvolvimento de projetos visando alcançar os objetivos previamente definidos. Para tanto, a equipe deve analisar as ações a serem implementadas, os recursos necessários, os aspectos financeiros e o retorno do investimento. Do ponto de vista financeiro os planos de ação podem contemplar três tipos de ações: aquelas com zero, baixo ou alto investimento de capital. O primeiro tipo contempla ações motivacionais, melhorias na manutenção e procedimentos comportamentais. O segundo envolve a busca das melhores práticas ou a implementação de sistemas de controle, gestão energética, isolamento térmico, reparos de vazamento de ar e purgadores. O último tipo de ação exige alto investimento de capital a fim de substituir o equipamento não eficiente ou desenvolver novos sistemas. Neste caso, uma avaliação financeira criteriosa deve ser realizada. Basicamente ações com zero de investimento de capital devem ser implementadas em primeiro lugar, levando a resultados surpreendentes em muitos casos. A economia resultante associada a este tipo de ação pode

ajudar a financiar outras ações que exijam investimento de capital ou nortear a definição da linha de base de eficiência energética e/ou buscar melhorias operacionais.

Por fim, um aspecto que deve ser considerado em projetos desse tipo é o treinamento da equipe envolvida, incluindo gerentes e diretores.

2.3.3 Implantação do MGI

Conforme (SILVA FILHO, 2004) a implantação de programas de MGI demanda quatro etapas:

- pré-diagnóstico;
- estruturação da gestão;
- medição e aquisição de dados;
- desenvolvimento do sistema.

Nesse cenário, é importante observar que para uma avaliação eficaz do desempenho energético de um processo ou instalação, é necessário levar em consideração os dados de uso de energia e das atividades associadas ao uso da energia. Segundo (VIKHOREV; GREENOUGH; BROWN, 2013) os consumidores de energia mais significativos, sejam eles elétricos, térmicos, químicos ou mecânicos precisam ser identificados, monitorados e analisados em tempo real para aumentar a eficiência energética industrial.

A medição automática de parâmetros energéticos exige o uso de medidores digitais remotos, sensores e controladores industriais de acordo com as definições dos diagnósticos energéticos. Ainda segundo (VIKHOREV; GREENOUGH; BROWN, 2013) para uma análise precisa e significativa, padrões devem ser definidos e aplicados em cada nível da organização nos quais dados de energia são coletados.

A título de ilustração, o Apêndice 1 mostra as saídas típicas que são esperadas a partir da utilização da técnica de monitoramento e gestão de índices para um período de 35

semanas, incluindo os dados históricos de produção e consumo de energia, linha de base e modelo de eficiência, o consumo de energia e produção versus tempo, a dispersão do consumo de energia versus produção, a dispersão do consumo específico de energia versus produção, a regressão da linha de base do consumo de energia, o gráfico de somas cumulativas do desvio do consumo de energia histórico em relação ao consumo de energia padrão (linha de base), a regressão da meta do consumo de energia e o desvio do consumo de energia histórico em relação ao consumo de energia padrão (meta) enfatizando os limites estabelecidos.

Por fim, como um estudo de caso relacionado à aplicação desta ferramenta considere uma indústria de cerveja, onde o custo do setor de utilidades representa 9% do custo total de produção. Neste caso, a estratégia utilizada foi executar um diagnóstico, implementar a medição setorial (30 medidores de combustível e 40 medidores de eletricidade) e integrar o MGI à gestão de qualidade de empresa. Os resultados - compilados a partir de (SILVA FILHO, 2004) - estão mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados da implantação do MGI (SILVA FILHO, 2004)

Utilidade	Economia Anual [R\$ x10 ³]	Ações típicas
Eletricidade	633	Melhoria da eficiência dos sistemas HVAC Redução de vazamento de ar comprimido Uso de motores de alta eficiência Redução nos valores de demanda Renegociação de contrato de fornecimento Utilização de gerador próprio
CO2	67	Identificação de vazamentos Gerenciamento da logística e do uso
H2O	67	Identificação de vazamentos Otimização do uso no processo
Óleo e Vapor	133	Identificação de fugas de vapor e água quente Otimização do retorno da caldeira de condensação Redução do uso de óleo combustível

3 FORMATAÇÃO DE SISTEMAS DE GESTÃO DE ENERGIA

É necessária uma mudança na cultura organizacional para potencializar medidas de eficiência energética na indústria. Políticas públicas específicas, sejam elas fiscais ou financeiras através de incentivos, podem contribuir nessa transição, mas a operacionalização do gerenciamento de energia demanda uma plataforma organizacional de suporte. Um padrão de gerenciamento de energia deve fornecer a plataforma necessária para um direcionamento além de uma abordagem "baseada em projeto" para eficiência energética, em que cada novo esforço para aumentar a eficiência está sujeito a uma concorrência para acesso a recursos de capital limitados, para uma abordagem que - rotineiramente e metodicamente - procura oportunidades para aumentar a eficiência energética (MCKANE; WILLIAMS; MEFFERT, 2009).

Uma vez que as metas tenham sido estabelecidas e a direção da empresa esteja comprometida, o gerenciamento de energia deve ser institucionalizado como uma plataforma global para a implementação de tecnologias, práticas e medidas de eficiência energética consolidando uma cultura de melhoria sustentada (YUMKELLA; WILLIAMS, 2009).

Conforme (MOHD, 2011) um sistema de gestão de energia precisa ser integrado e proativo, incorporando estratégias de contratação de energia, eficiência energética e uso de energias renováveis para ser efetivo. Segundo o autor, os elementos básicos de gerenciamento de energia bem sucedido estão ilustrados no roteiro da Figura 8. O comprometimento da diretoria é a base para um gerenciamento de energia eficaz, que é garantido por meio de uma política energética formal e uma estratégia energética apoiada em planos de ação.



Figura 8 Roteiro dos elementos da gestão de energia (MOHD, 2011)

Existem vários modelos que sistematizam a operacionalização de um sistema de gestão de energia baseado na ISO50001: vários têm foco mais gerencial, outros são mais procedurais e alguns são mais técnicos no sentido de que se valem de tecnologias de supervisão e automação de processos para monitorar e gerenciar índices de energia. A maioria, obviamente, compreende plataformas auxiliadas por computador. As próximas seções exploram implementações de alguns desses modelos no contexto do gerenciamento energético, enfatizando aspectos como motivação, normatização, elementos constitutivos, ferramentas associadas e formas de implantação.

3.1 PLATAFORMA AUXILIADA POR COMPUTADOR PARA MELHORIA CONTÍNUA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Os autores (WU; PONTE, 2012) desenvolveram uma ferramenta integrada baseada na web que visa estabelecer uma plataforma de treinamento e suporte à análise de eficiência energética na indústria. Ela integra os elementos necessários, tais como materiais de aprendizado, fluxogramas, folhas de dados e ferramentas específicas para análise técnica e financeira em um modelo centrado em tarefas. A ferramenta se propõe a contemplar o ciclo completo de melhoria contínua de eficiência energética preconizado na norma ISO50001. O

conceito está baseado na integração de todas as tarefas para completar o trabalho. Estas tarefas incluem descrições das mesmas, instruções, processos, desenhos, ferramentas e dados.

A plataforma representa uma base de conhecimentos e uma ferramenta de projeto alinhada com a ISO50001, na forma de uma “pasta de trabalho”, fornecendo, desde o planejamento inicial até a recomendação final e verificação, um fluxograma que especifica os passos e tarefas envolvidas. Desta forma, ela integra todos os elementos relevantes desde materiais de treinamento e instruções, ferramentas de bases de dados, procedimentos de cálculo e análise até planilhas eletrônicas que auxiliam na execução de tarefas, gerenciamento de projeto e documentação. Basicamente, é uma ferramenta de projeto unificada que organiza e conecta com materiais instrucionais, planilhas eletrônicas, ferramentas analíticas e recursos em um modelo lógico e centrado em tarefas. A Figura 9 mostra a página inicial da plataforma.

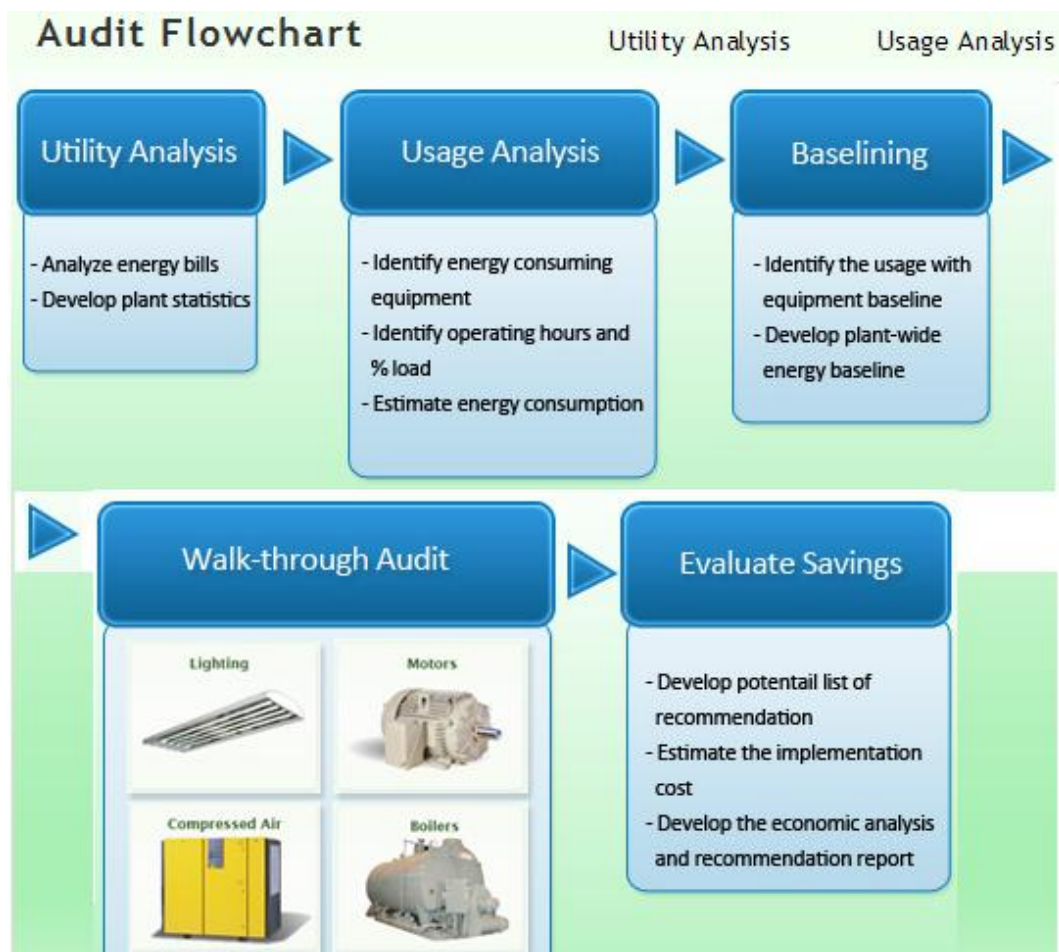


Figura 9 Página inicial da plataforma de (WU; PONTE, 2012)

Fonte: <http://iac.missouri.edu/webtool/flowchart/flowchart.html>

A efetividade da plataforma foi atestada em um estudo de caso aplicado em uma organização de abrangência mundial que atua na área de sistemas de potência e automação com o objetivo de melhorar o enfoque da empresa no que se refere à eficiência energética e institucionalizar as melhores práticas nas suas estruturas organizacionais e operacionais.

A normatização associada à efficientização, assim como as rotinas de melhores práticas foram implantadas inicialmente em uma unidade de negócios específica da empresa, sendo depois expandidas para outras unidades e divisões. A implementação das recomendações identificadas a partir das avaliações iniciais, tais como iluminação eficiente, sensores de ocupação, reforma de equipamentos antigos e recuperação de calor desperdiçado tem previsão de gerar economias no custo da energia da ordem de 50 a 100 milhões de dólares por ano (WU; PONTE, 2012).

3.2 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GERENCIAL ENVOLVENDO ASPECTOS DE ENERGIA NA INDÚSTRIA

Tendo em vista o crescimento em complexidade da função de gerenciamento de energia, "sistemas de informação" baseados em computador foram desenvolvidos para apoiar o processo. Tais sistemas são capazes de registrar e monitorar o consumo de energia e analisar os dados de forma a destacar qualquer desvio da normalidade, com base em padrões e tendências históricas. Podem também definir metas realistas para reduções no consumo de energia (PURANIK; YARANA; KULKARNI, 2004).

Uma vez que a informação é a base para praticamente todas as atividades realizadas em uma organização, uma sistematização é necessária para disponibilizar e gerenciar os dados associados. O objetivo de um sistema de informação consiste em garantir que informações precisas e confiáveis estejam disponíveis e sejam apresentadas de uma maneira compreensível e utilizável.

A avaliação do desempenho e o conseqüente gerenciamento da energia na indústria implicam estabelecer a relação entre as variáveis predominantes no âmbito energético. O desenvolvimento de um módulo de software o qual pode ser baseado no Microsoft Access (*back end*) e Visual Basic (*front end*), por exemplo, envolve as seguintes atividades: coleta de dados, criação do banco de dados, criação da interface do usuário e geração de resultados na forma de planilhas e gráficos para análise do uso da energia (PURANIK; YARANA; KULKARNI, 2004). A Tabela 3 ilustra os parâmetros típicos de um sistema de informação para o gerenciamento de energia.

Tabela 3. Sistema de informação para o gerenciamento de energia (PURANIK; YARANA; KULKARNI, 2004)

Etapa	Elementos importantes
Detalhamento das entradas do sistema	Dados técnicos do equipamento: <ul style="list-style-type: none"> • Centro de custo • Potência • Combustíveis • Produção • Perdas • Matéria-prima • Custo
Cálculos associados ao modelamento do sistema	Consumo energético: <ul style="list-style-type: none"> • Combustíveis • Quantidade produzida • Custos/economia no processo • Quantidade utilizada de matéria-prima
Resultados e análises	Eficiência: <ul style="list-style-type: none"> • Carregamento • Consumo específico de energia • Capacidade utilizada • Economia de energia • Redução na poluição • Relação custo/benefício
Apresentação dos resultados	Gráficos: <ul style="list-style-type: none"> • Gráfico de área • Gráfico de barras • Gráfico de colunas • Gráfico de pizza • Gráfico de linhas • Planilhas

Alguns aspectos relevantes em sistemas de informação para o gerenciamento da energia são explorados na sequência.

O projeto da base de dados representa um aspecto importante no sistema. As tabelas de avaliação e recomendação contêm a informação que foi recolhida durante a avaliação inicial. As entradas deste sistema podem ser estáticas ou dinâmicas e envolvem o registro, validação e correção de dados. Os indicadores estáticos são mantidos em tabelas acessíveis ao usuário por meio de telas específicas.

O próximo passo é a preparação da programação diária para coleta de dados de produção, emissão de poluentes e consumo de energia dos departamentos individuais para salvamento destes no banco de dados visando subsidiar os relatórios. A análise do consumo energético completo pode ser conduzida na forma de “camadas” a partir de uma avaliação macro até o detalhamento setorial. O fluxograma mostrado na Figura 10 ilustra essa etapa.

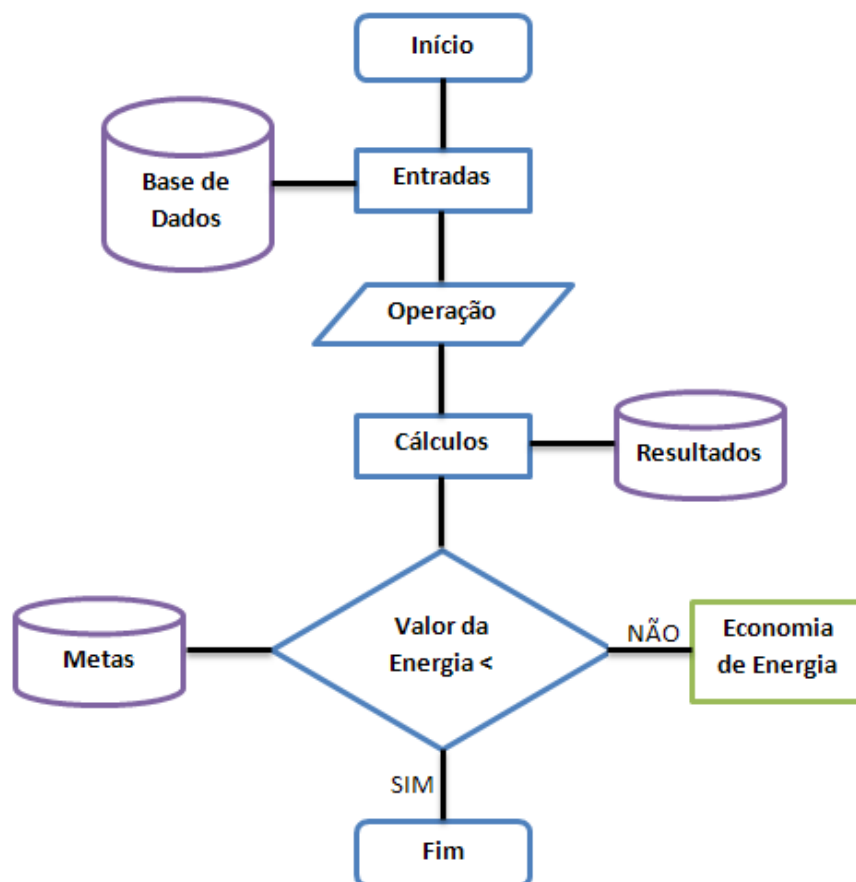


Figura 10 Fluxograma de análise do consumo energético (PURANIK; YARANA; KULKARNI, 2004)

Uma rede de processamento de dados distribuída (rede local) é importante para a efetiva implementação de um sistema de informações que integre todos os departamentos, demandando um sistema online que opere utilizando um banco de dados comum controlado a partir de uma estação central. Os terminais de computador localizados nos departamentos permitem que os recursos humanos envolvidos no gerenciamento energético possam acessar informações online relativas ao consumo de energia. O sistema basicamente faz uma decisão baseada nos parâmetros envolvidos no processo identificando os dados de entrada a partir da base de dados, iniciando com a partida do processo produtivo. Um operador competente deve conhecer estes dados, cuja precisão é vital para a qualidade das saídas da aplicação.

A aplicação irá exibir online o status do departamento desejado. A lógica prevista no sistema auxilia na seleção dos dados necessários, conforme fluxograma mostrado na Figura 10. Como resultado tem-se o consumo específico de energia e o detalhamento da produção relacionado às metas estabelecidas.

A seleção da opção mais adequada no que se refere à eficiência energética é uma atividade muito importante do ponto de vista da redução da emissão de poluentes e conservação de energia em plantas industriais. O modelamento associado a este sistema de informação utiliza um arquivo de dados contendo as metas de energia e as opções de melhoria ambiental. Este modelo calcula a economia energética, a economia referente à redução das emissões de gases de efeito estufa e o período de retorno do investimento.

3.3 PRÁTICAS DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA NO PADRÃO IEEE PARA SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS

Conforme mencionado anteriormente, a ISO identificou o gerenciamento de energia como área prioritária devido ao seu significativo potencial para promover a eficiência energética. Além disso, outras instituições como a IEEE, abordada nesta seção, também

definiu recomendações práticas para o gerenciamento de energia em instalações industriais como é o caso da norma IEEE STD 739-1995, a qual fornece práticas padronizadas para auxiliar na avaliação de opções do ponto de vista de energia e estabelece técnicas e procedimentos de engenharia para otimizar a eficiência de um sistema elétrico. Esta norma preconiza que a gestão de energia engloba engenharia, projeto, aplicações, utilização e, como extensão, a operação e manutenção de sistemas de energia elétrica para garantir uso otimizado da energia elétrica (IEEE, 1996).

No contexto da norma as ferramentas previstas são: medição e medidores, limitadores de demanda e energia, dispositivos de alta eficiência energética e sistemas de controle. Alguns aspectos relevantes da norma são explorados a seguir.

3.3.1 Organização para o gerenciamento de energia

Para entender os padrões de consumo de energia em uma instalação, é importante diferenciar as aplicações dos processos de energia, as quais podem ser agrupadas em seis tipos principais: climatização (conforto térmico), combustível de caldeira (aquecimento), calor direto para o processo (fornos), matéria-prima (ingrediente no processo), iluminação e acionamento mecânico (motores). A economia de energia nessas aplicações pode resultar de melhorias na eficiência dos processos envolvendo conversão de energia, reciclagem de resíduos ou reutilização destes. Para tanto, quatro categorias de eficiência energética podem ser consideradas: medidas operacionais, modificações nos equipamentos e processo, melhor utilização dos equipamentos e redução de perdas nas instalações físicas.

Os cinco fatores críticos na organização de um programa eficaz de gerenciamento de energia são: conseguir o comprometimento da alta gerência no tocante às questões envolvendo energia, conseguir o comprometimento das pessoas, criar um canal apropriado de comunicação para o sistema, alterar ou modificar a organização para garantir autoridade e

responsabilidade proporcional ao esforço requerido no âmbito do gerenciamento de energia e definir uma metodologia para monitorar e controlar o programa. Além disso, a utilização da análise econômica é fundamental para um programa de conservação energética porque a economia monetária resultante pode influenciar significativamente as decisões da alta direção.

3.3.2 Gerenciamento de carga

Gerenciamento de carga é o controle da utilização da energia elétrica ou outros tipos, reduzindo ou otimizando a quantidade e a taxa (demanda) deste uso. No caso de sistemas de energia elétrica, o consumo de energia elétrica em kWh, o montante de energia reativa em kvarh, a demanda de potência ativa em kW, a demanda de potência aparente em kVA, a demanda de potência reativa em kvar, o fator de potência (pode estar associado a uma multa) e o fator de carga são os itens a serem controlados ou gerenciados. Como uma abordagem geral, os itens que são faturáveis ou podem ser controlados no enfoque de custo são aqueles normalmente incorporados em um sistema de gerenciamento de energia.

A prioridade no controle geralmente recai na demanda elétrica, tendo em vista ser a mais suscetível a economias de curto prazo. Picos de demanda implicam custo adicional de valor elevado do ponto de vista da geração que são repassados ao consumidor. A “suavização” dos picos de potência sem sacrificar o processo produtivo e os serviços básicos constitui-se na essência do controle de demanda.

O princípio fundamental do controle de demanda está associado à determinação dos horários ou dias em que os picos ocorrem e então identificar quais cargas estão em uso nestes períodos. Em seguida, a magnitude dessas cargas deve ser estabelecida e decisões apropriadas devem ser tomadas sobre quais operações podem ser restringidas ou adiadas para reduzir o pico de demanda e a conta de energia.

Através de medição, a demanda pode ser controlada manualmente, simplesmente observando os medidores. Idealmente, as leituras locais devem ser transmitidas a um ponto comum onde um operador ou, preferencialmente, um dispositivo registra a taxa de consumo. O operador inicia remoção de carga desligando a carga não crítica para manter a demanda a um nível predeterminado. Um sistema de comunicação confiável com possibilidade de operação remota deve ser disponibilizado para que o operador execute a ação de chaveamento da carga.

No caso de uma operação complexa e que necessita de ajuste fino deve ser instalado um controlador de demanda automático, o qual pode ser categorizado pelo seu princípio de funcionamento: demanda instantânea, taxa ideal, taxa convergente, demanda prevista e integral contínua. Alguns controladores são ramificações dessas cinco versões básicas; outros são híbridos, abrangendo mais de um princípio de funcionamento. Os custos de instalação irão variar dependendo da localização e do número e localização dos controladores de cargas.

3.3.3 Sistemas de controle e monitoramento de utilidades

Um sistema de controle e monitoramento de utilidades deve abranger toda a área industrial, incluindo o uso de combustíveis para a produção de vapor, água quente, água gelada e eletricidade, bem como o uso de energia no processo produtivo, as demandas de climatização e, por fim, o custo da eletricidade adquirida. Este sistema de gestão de utilidades compreende três níveis hierárquicos: operacional, supervisão e gerenciamento de planejamento. A Figura 11 ilustra essa hierarquia. A medida que se ascende na pirâmide, os dados demandam maior manipulação e refino.

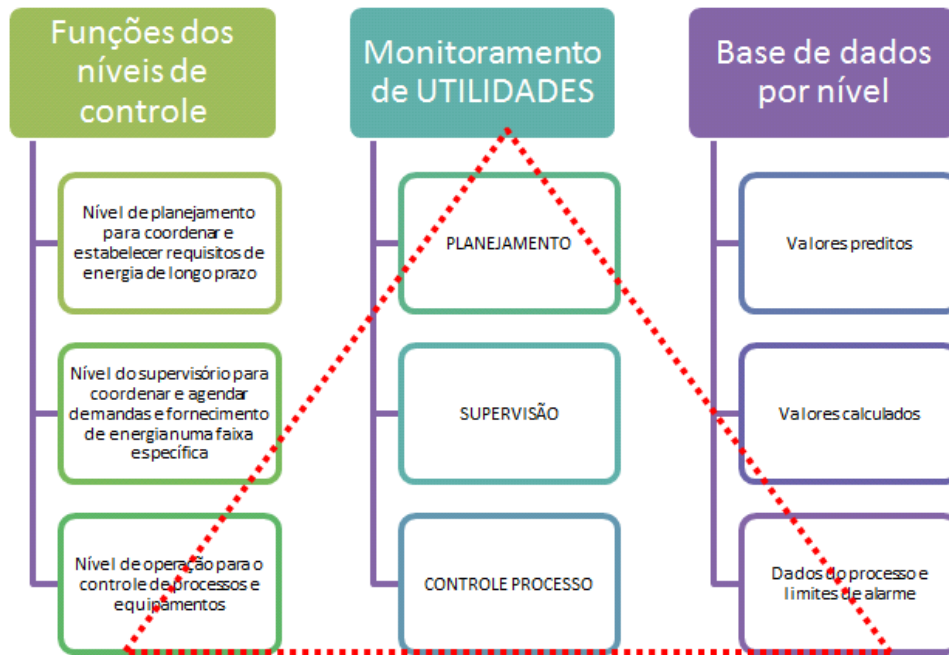


Figura 11 Sistema de controle e monitoramento de utilidades (IEEE, 1996)

3.3.4 A importância da medição no gerenciamento energético

A medição possibilita o rateio do consumo de energia entre os diversos setores da empresa, permitindo uma avaliação comparativa do departamento com relação ao consumo projetado. Obviamente a medição também é importante no caso de faturação quando a energia é vendida a um terceiro em um contexto de cogeração.

Outro ponto importante em relação à medição é que as tendências no consumo de energia por unidade de produção ou serviço realizado constituem a base para uma análise energética inicial e suas conseqüentes ações corretivas. Além disso, a medição é relevante nos seguintes aspectos: determinar a eficiência dos sistemas e equipamentos de utilidades, subsidiar auditorias de projetos de energia, identificar a localização de problemas de desempenho para posterior relato aos gestores e identificar economias de energia potenciais em um cenário futuro.

3.4 VISÃO GERAL DE ALGUMAS TÉCNICAS DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA EM SISTEMAS ELÉTRICOS

(KULKARNI; KATTI, 2010) compilou oito técnicas de gerenciamento de energia em sistemas elétricos, as quais são exploradas nessa seção.

3.4.1 Protocolo de Gerenciamento de Energia (EMP)

O EMP está associado ao processo de projeto do sistema de gerenciamento para controlar e modificar o comportamento da carga no nível de componente e planta buscando otimizar a utilização de energia. Ele deve levar em consideração as particularidades do consumidor em relação à disponibilidade da energia (oferta). Este protocolo está baseado em dois fatores:

- Fator de Desempenho da Planta (*PPF*) - Indica se planta ou setor está usando mais ou menos energia para fabricar os seus produtos do que no passado. Ele compara o consumo de energia em um período de referência com um período posterior para determinar se foi verificada uma melhoria no desempenho energético. Deve-se atentar para o fato de que os valores de produção podem variar de tempos em tempos e tais variações tem uma influência significativa no uso de energia da planta. Se E_{REF} é o consumo de energia no período referencial e E_{IMP} é o consumo de energia no período da implantação das estratégias de gerenciamento o *PPF* (em percentual) é dado por:

$$PPF = \frac{E_{REF} - E_{IMP}}{E_{REF}} \times 100 \quad (3)$$

- Fator de carga (*LF*): é a relação entre a energia consumida por carga (E_L) e a demanda máxima (P_{max}) conforme mostrado na equação a seguir:

$$LF = \frac{E_L}{P_{max}} \quad (4)$$

3.4.2 Corte de pico

Consiste na desconexão de cargas de baixa prioridade durante condições de pico de carga. Este método é interessante para as utilidades não associadas à geração de energia e geralmente viável para indústrias que conseguem ajustar sua produção durante certo tempo, sem fortes impactos sobre o montante produzido.

3.4.3 Preenchimento de vales

Esta técnica prevê o deslocamento de cargas relevantes para períodos de menor consumo energético (vales).

3.4.4 Deslocamento de carga

Este método pressupõe o deslocamento dos picos de energia das cargas de menor prioridade para períodos de menor consumo energético. O consumo médio de energia não é alterado.

3.4.5 Correção do Fator de potência

Essa estratégia prevê a conexão de capacitores de valor apropriado com a carga geral da planta ou cargas individuais para melhorar o fator de potência. Isso resulta nos seguintes benefícios: redução de demanda máxima (kVA), redução de harmônicos, economia de energia e aumento na eficiência do equipamento. Segundo (COTRIM, 2008) as perdas em processos industriais relativas a problemas com consumo de energia reativa e qualidade de energia tendem a ser mais relevantes que as próprias cobranças sob a forma de multas de excedente de energia reativa pelas concessionárias devidas ao baixo fator de potência que este consumo de reativos pode causar.

No entanto, no caso de cargas não-lineares, típicas do ambiente industrial, deve-se considerar que a corrente de carga possui, além de sua componente em 60 Hz, outras harmônicas de corrente múltiplas desta frequência. Assim sendo, a corrente eficaz e a potência aparente, considerando as componentes harmônicas, são maiores que no caso das cargas lineares. Isso leva também a um menor fator de potência do sistema devido às cargas não-lineares. Neste caso, devido à característica de variação da carga ao longo da operação da instalação, estratégias específicas devem ser consideradas para que a injeção de reativos acompanhe essa variação, a fim de manter o fator de potência adequado em todos os instantes. Por fim, a necessidade de melhorar a regulação de tensão tem sido muito comum, principalmente na busca pela qualidade de energia e eficiência energética nas instalações elétricas (COTRIM, 2008).

3.4.6 Reconfiguração da carga

Normalmente, tarifas variáveis baseadas na hora do dia (TOD) são definidas pelos fornecedores de energia. A reconfiguração de cargas individuais é determinada por prioridade e conectada ou desconectada em conformidade com o horário. A operação de equipamentos não-essenciais pode ser restringida durante períodos de pico de demanda e remarcada para acionamento durante horários de baixa ou média demanda.

3.4.7 Automação e otimização

Para uma análise da dinâmica do sistema, a medição de várias quantidades é necessária. A otimização na operação do equipamento pode ser alcançada após ações corretivas adequadas auxiliadas pela automação. A instalação de submedidores representa uma fonte de informação importante para subsidiar o processo de automação do sistema. Além disso, a medição setorial permite identificar um padrão de consumo e pode contribuir

para a auditoria energética da planta. Um aspecto relevante no emprego da automação é a possibilidade da integração, em rede, do controle e monitoramento da energia.

3.4.8 Controladores de Demanda Máxima

Controladores de demanda são usados em conjunto com a carga para limitar automaticamente a demanda máxima abaixo da demanda referencial. Eles são classificados em dois tipos: controlador geral de demanda máxima, o qual é conectado ao sistema global e controlador inteligente de demanda máxima, que utiliza sistemas baseados em controladores programáveis para gerenciar cargas de acordo com a prioridade desconectando-as do sistema numa sequência determinada quando a demanda máxima aproxima-se da referência e são reconectadas assim que se afasta o risco de ultrapassar o limite de demanda.

3.5 SISTEMAS DE GESTÃO DE ENERGIA EMPREGANDO FERRAMENTAS DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO

Alguns sistemas de gestão de energia se valem de técnicas específicas oriundas da tecnologia da informação para identificar variáveis importantes no contexto do consumo de energia e auxiliar no desenvolvimento de um modelo energético para a planta. Dois relevantes exemplos desse enfoque são explorados na sequência.

3.5.1 Uma estrutura de gerenciamento de energia avançado para promover a conscientização no âmbito energético via processamento de eventos complexos

Com o objetivo de manipular os dados de medição de energia e aplicar regras lógicas pré-definidas para identificar padrões e tendências pode-se adotar uma ferramenta chamada Processamento de Eventos Complexos (CEP).

Esta metodologia permite que conjuntos de eventos individuais sejam integrados em informações coesas e significativas, resultando em um processo sofisticado e baseado que

pode ser facilmente automatizado. (WORMUS, 2008) Além disso, adicionando-se um suporte analítico ao CEP é possível passar da detecção para a ação. No entanto, em muitos casos, algum processamento adicional ou informações complementares são necessários para identificar, entre muitas, a ação apropriada. Três tipos de ações podem ser considerados aqui:

- uma notificação para tornar alguém ciente da situação, incluindo a orientação sobre qual ação a ser tomada;
- uma resposta automática para atuação, quando aplicável, no processo, e
- um registro de eventos visando disponibilizar dados para bancos de dados e mineração de dados.

Em muitos casos, o processamento adicional é necessário para refinar os padrões de energia como, por exemplo, através da mineração de dados, que é o processo de extrair informação válida, nova e abrangente de dados brutos a fim de melhorar e otimizar decisões de negócios (VELÁZQUEZ; GONZÁLEZ-FALCÓN; PÉREZ-LOMBARD, 2013).

(VIKHOREV; GREENOUGH; BROWN, 2013) propôs uma plataforma para o gerenciamento avançado da energia no meio industrial atuando continuamente através da obtenção de informações relacionadas à energia a partir de qualquer local de interesse no chão de fábrica e combinando-a com as demais plataformas de informação da empresa permitindo a otimização de todo o sistema. A plataforma contempla um suporte de comunicação para diferentes interfaces, um conjunto de indicadores relacionados à energia com a adição de métricas para promover a conscientização energética no contexto da produtividade e um aplicativo de Processamento de Eventos Complexos (CEP) para tratamento do fluxo de eventos associados à energia. O sistema inclui ainda: dados de energia padronizados para mitigar a inconsistência e falta de confiabilidade comuns nas práticas atuais em relação aos dados de energia, um método de tratamento de dados de energia em tempo real para identificar a energia utilizada por cada ativo de produção em cada um dos estados de operação

definidos, ferramentas de suporte ao processo decisório para aumentar a eficiência energética e estratégias de diagnóstico de falhas no nível do processo de produção. A Figura 12 ilustra a metodologia.

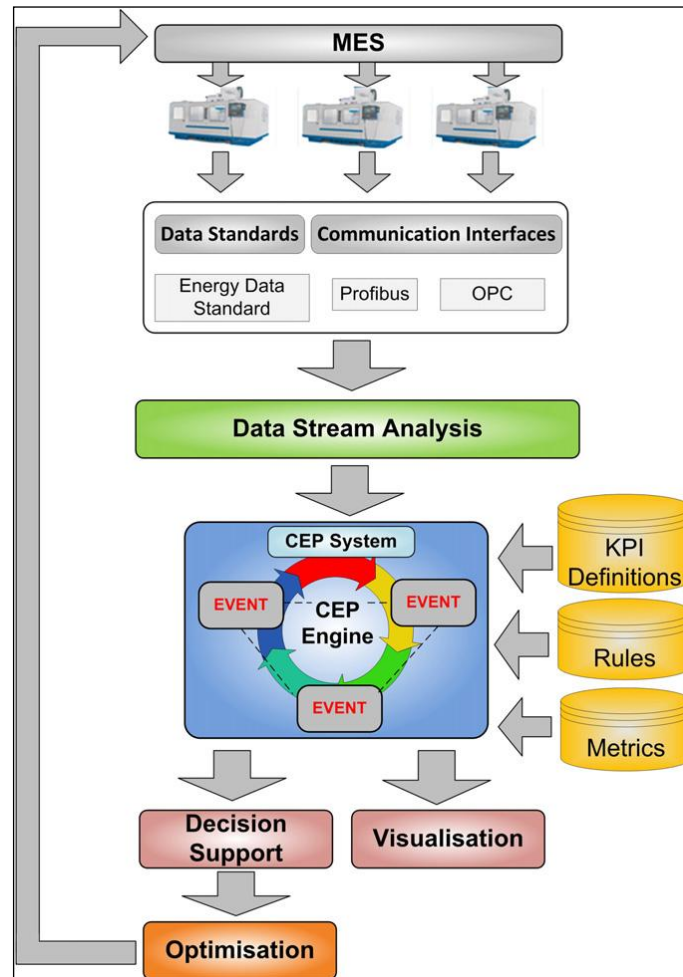


Figura 12 Plataforma de Gerenciamento de Energia (VIKHOREV; GREENOUGH; BROWN, 2013)

O modelo utiliza a seguinte abordagem conceitual:

1. os dados de uso de energia são adquiridos em tempo real a partir dos ativos de produção;
2. os dados de entrada são analisados para produzir um fluxo de “eventos”;
3. uma ferramenta de software orientada a eventos (mecanismo de CEP) processa o fluxo de eventos usando regras lógicas predefinidas em tempo real e produz um relatório ou uma sugestão de ação;

4. o desempenho energético é calculado em tempo real de acordo com um conjunto de indicadores de desempenho de energia.

Uma análise contínua do fluxo de dados proporciona uma tomada de decisão mais imediata, mas naturalmente resulta em arquivos de grande extensão, demandando alguma forma de redução de dados para extrair eventos-chave e analisar o intervalo e a natureza destes para derivar informações de desempenho energético. Por exemplo, sinais de potência monitorados em uma máquina-ferramenta podem ser analisados para identificar operações específicas como fresagem ou furação.

Essa abordagem pode auxiliar a manutenção preventiva, uma vez que um consumo de energia excessivo ou incomum pode ser uma indicação de falha na máquina. A técnica do CEP pode fornecer recursos para otimização dinâmica da programação de produção visando reduzir o consumo de energia. Procedimentos típicos nesse caso incluem o agendamento prévio de tarefas intensivas de energia com o objetivo de evitar períodos de picos de carga, ou tirar proveito da energia proveniente de fontes alternativas ou intermitentes, tais como a energia solar. Da mesma forma, as atividades de produção que demandam energia calorífica podem ser vinculadas a outros processos que liberem calor adotando uma estratégia de aproveitamento “em cascata” da energia.

A visualização do consumo de energia deve ser clara e inequívoca, o que algumas vezes não é garantido somente com os tradicionais sistemas de execução de manufatura (MES), por exemplo. Para tanto, sistemas supervisórios (SCADA) podem ser empregados, facilitando a compreensão dos padrões de consumo de energia e desencadeando ações de emergência, quando necessário.

O software do sistema consiste de duas partes: o cliente, que está sendo executado em um PC industrial localizado próximo aos ativos de produção e o servidor. Os módulos de E/S do PC industrial realizam a medição, em intervalos de 10 ms, dos dados relevantes de

alimentação elétrica (corrente, tensão e fator de potência em cada fase). Dados de energia de cada ativo monitorado são calculados a partir dos parâmetros medidos e transmitidos para o cliente a uma frequência de 1 Hz. A parte cliente do software usa uma versão modificada do algoritmo SPRING (SAKURAI; FALOUTSOS, 2007) para identificar repetições de padrões no sinal. Cada padrão representa um estado operacional específico do ativo, tais como “produzindo”, “em espera” e “marcha lenta”. O consumo de energia e a duração de cada estado energético dependem do tipo de máquina. A Figura 13 ilustra uma saída típica deste sistema.

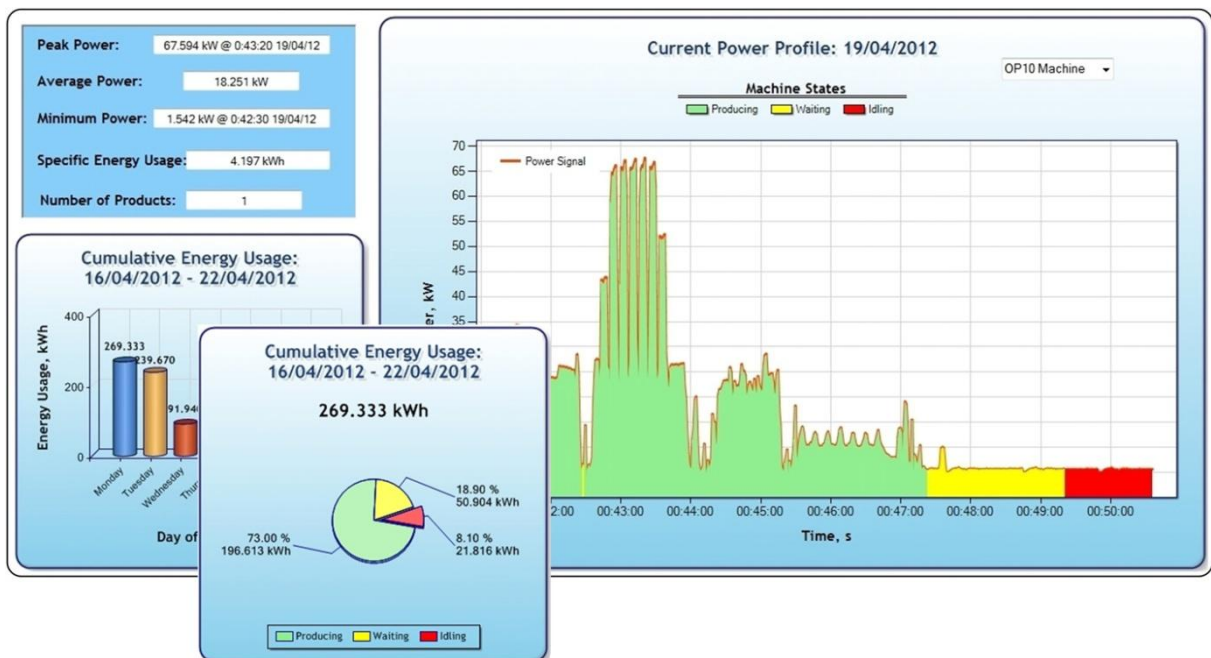


Figura 13 Visualização típica da plataforma (VIKHOREV; GREENOUGH; BROWN, 2013)

3.5.2 Desenvolvimento de um sistema de gerenciamento de energia com uma abordagem de mineração de dados

(VELÁZQUEZ; GONZÁLEZ-FALCÓN; PÉREZ-LOMBARD, 2013) ressalta que, recentemente, a grande disponibilidade de dados de desempenho aumentou o interesse na aplicação da técnica de mineração de dados para o gerenciamento de energia na indústria. Mineração de dados é o processo de extrair informação válida, nova e abrangente de dados brutos a fim de melhorar e otimizar decisões de negócios.

A mineração de dados no âmbito industrial compreende o monitoramento de processos, automação e controle, sensores virtuais, sistemas especialistas, detecções de falha e diagnóstico. Além disso, para explorar todo o potencial do processo de mineração de dados, métodos estatísticos, redes neurais ou árvores de decisão podem ser empregadas, caracterizando-a como uma metodologia multidisciplinar que integra bases de dados, estatísticas, aprendizado de máquina, processamento de sinal e computação. Um projeto de mineração de dados envolve as seguintes etapas:

- compreensão – definição dos objetivos do projeto e requisitos;
- processamento – identificação de problemas de qualidade de dados e extração de informações significativas;
- modelagem – uso de técnicas de modelagem;
- implantação – integração da mineração de dados nos aplicativos, infraestrutura de armazém de dados, consultas e geração de relatórios.

A Tabela 3 sumariza os requisitos e objetivos de um projeto de mineração de dados no contexto do gerenciamento de energia (SGE).

Tabela 4. Objetivos e requisitos de um projeto de mineração de dados (VELÁZQUEZ; GONZÁLEZ-FALCÓN; PÉREZ-LOMBARD, 2013)

Fase do gerenciamento de energia	Fase da mineração de dados	Objetivos da mineração de dados	Requisitos da mineração de dados
Planejamento	Compreensão	Entender o processo Analisar o uso da energia Definir os indicadores de desempenho energético (IDE) Identificar variáveis potenciais de influência (VPI)	Diagramas de fluxo de processo Dados históricos de energia Outros dados históricos Dados de consumo de energia
	Processamento	Obter um conjunto adequado de dados a partir de IDEs e VPIs	Dados de variáveis potenciais de influência
	Modelagem	Obter as funções discriminantes Identificar as variáveis relevantes de influência (VRI) Classificar as variáveis como externas e controláveis Obter os modelos de regressão para os IDEs	Conjunto de dados a partir de IDEs e VPIs
	Implantação	Obter as metas de IDEs Obter as linhas de base de IDEs	Funções discriminantes Modelos de regressão para os IDEs Medição das variáveis relevantes de influência Medições históricas dos IDEs e VRIs
Verificação	Implantação	Monitorar os IDEs comparativamente às metas Calcular a economia de energia potencial Calcular a economia de energia alcançada Calcular a taxa de eficiência	Medições dos IDEs Linhas de base dos IDEs Metas de IDEs

Na fase de modelagem, foi utilizada a técnica de análise da função discriminante (DFA) para extrair as variáveis relevantes de influência (VRI) a partir das variáveis potenciais de influência (VPI) e o modelo dos indicadores de desempenho energético (IDE) contra essas variáveis. DFA é uma técnica estatística multivariada comumente usada para construir modelos com base em variáveis preditoras observadas.

Os indicadores de desempenho energético devem ser classificados em vários grupos e as variáveis potenciais de influência são então normalizadas. Através dessa técnica é determinada a relevância das variáveis potenciais de influência e geradas as funções discriminantes, as quais identificam as variáveis relevantes de influência (VRI) e mostram como essas variáveis podem ser combinadas linearmente para melhor classificar os indicadores de desempenho energético. As variáveis normalizadas (X_i^*) e as funções discriminantes (F) são definidas como segue:

$$X_i^* = \frac{x_i - x_{i_m}}{S_i} \quad (5)$$

$$F = \sum_0^n v_i \times x_i \quad (6)$$

Onde x_i é o valor da variável potencial de influência “i”, x_{i_m} é o valor médio da variável potencial de influência “i”, S_i é o desvio padrão da variável “i” e v_i é o coeficiente de ponderação da variável “i”.

Essa abordagem fornece suporte à decisão com alguma "inteligência" no nível operacional, permitindo que a equipe faça um julgamento dos dados disponíveis em um contexto visual, em vez de manualmente compilar e analisar dados.

4 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

A implantação de um programa de eficiência energética eficaz e sustentável requer uma abordagem sistêmica que otimize o sistema como um todo e atenda os requisitos do negócio principal. Empresas que tratam a energia como um recurso gerenciável e integram os programas energéticos às suas práticas de gestão apresentam um enfoque organizacional que, continuamente, procura oportunidades para melhorar o uso da energia.

Além disso, a indústria utiliza sistemas de elevada complexidade, consistindo de equipamentos, controladores e interfaces homem-máquina, os quais são desenvolvidos para atender às necessidades de produção da empresa e que podem ter seu espectro de atuação estendido visando atender também as demandas relacionadas ao gerenciamento de energia.

O monitoramento do processo de produção envolve a coleta de dados relativos a um grande número de parâmetros do mesmo em diferentes partes de uma rede e numa organização hierárquica, levando a um alto volume de tráfego de rede e eventuais problemas com a sincronização de dados. Lacunas desse tipo devido a problemas de sincronização podem levar à perda de dados.

Esses cenários se constituíram em elementos motivadores para a implementação de um sistema de gerenciamento de energia com base em técnicas de automação industrial conforme descrito na sequência.

4.1 PROPOSTA CONCEITUAL DO SISTEMA

Este trabalho propõe a utilização de uma plataforma aderente à norma IEC61131 que abrange desde a camada de monitoramento do sistema até o planejamento de energia, a fim de garantir a padronização de hardware e software em uma abordagem *bottom-up*.

A proposta prevê a adoção de controladores programáveis (CP) e seus periféricos associados tais como ferramentas de programação e depuração, assim como interfaces

homem-máquina (IHM) utilizados no controle e comando de máquinas e processos industriais. A ideia consiste em utilizar um computador adaptado para uso em ambiente industrial (CP), com linguagens de programação específicas para o desenvolvimento de aplicações de automação em uma estação de engenharia externa. A conexão do CP com os sinais dos transdutores e atuadores se dá através de módulos de Entrada/Saída (E/S) ou módulos de comunicação de redes industriais.

Tendo em vista que a maioria dos fabricantes utiliza hardware proprietário para o controlador, algumas alternativas podem ser interessantes quando se busca o intercâmbio de programas (portabilidade) ou reutilização de partes comuns do código para garantir a flexibilidade demandada pelo sistema de gestão de energia ora proposto. Para tanto, optou-se pela adoção de um software de tempo real, abreviado genericamente como SoftPLC, que executa o programa de controle em um computador do tipo PC, comunicando com o processo via rede de campo que troca sinais com unidades de E/S modulares.

Nesse contexto, a adoção ampliada de redes de comunicação permite a utilização de instrumentação inteligente, assim como a distribuição do processamento e uma integração entre os diversos sistemas de uma empresa, desde o chão-de-fábrica até os sistemas corporativos. Por outro lado, uma ferramenta de supervisão pode ser empregada para permitir a operação do MGI em um cenário compatível com a norma ISO50001 (SGE). Através deste recurso é possível integrar as rotinas de gestão de energia na pirâmide de automação da empresa dos níveis intermediários para o topo da mesma.

A pirâmide de automação, usada para definir a arquitetura de sistemas de automação, foi adotada neste trabalho como referência para definir o escopo do SGE. Ela é dividida em cinco níveis: na base, ou nível 1, estão os dispositivos de campo (sensores e atuadores). O nível 2 inclui os dispositivos que executam o controle automático da planta. Destaca-se aqui o controlador programável e suas variantes e os sistemas de controle distribuído (DCS). O

nível 3 destina-se a supervisão do processo através de um PC ou estação de trabalho onde é executado o sistema de supervisão mencionado anteriormente, normalmente ligado a um banco de dados com informações sobre o processo. O nível 3 inclui os sistemas que permitem o controle do processo de produção da planta e é comumente associado com bancos de dados de qualidade e produtividade. No nível 4 é realizada a gestão da planta através do planejamento e programação da produção responsáveis pela logística de suprimentos. Finalmente, no topo da pirâmide, ou nível 5, está incluída a gestão corporativa, responsável pela administração dos recursos da empresa. Software para vendas, finanças e gestão de recursos são considerados aqui, como por exemplo, ERP (planejamento de recursos corporativos), MES (sistema de execução de manufatura) e PIM (gerenciamento de informações de planta).

Esta abordagem permite sistematizar, expandir o espectro e dinamizar o sistema de gerenciamento de energia. O resultado é um sistema de supervisão de energia online. A Figura 14 ilustra um exemplo da abordagem proposta aplicada à indústria.

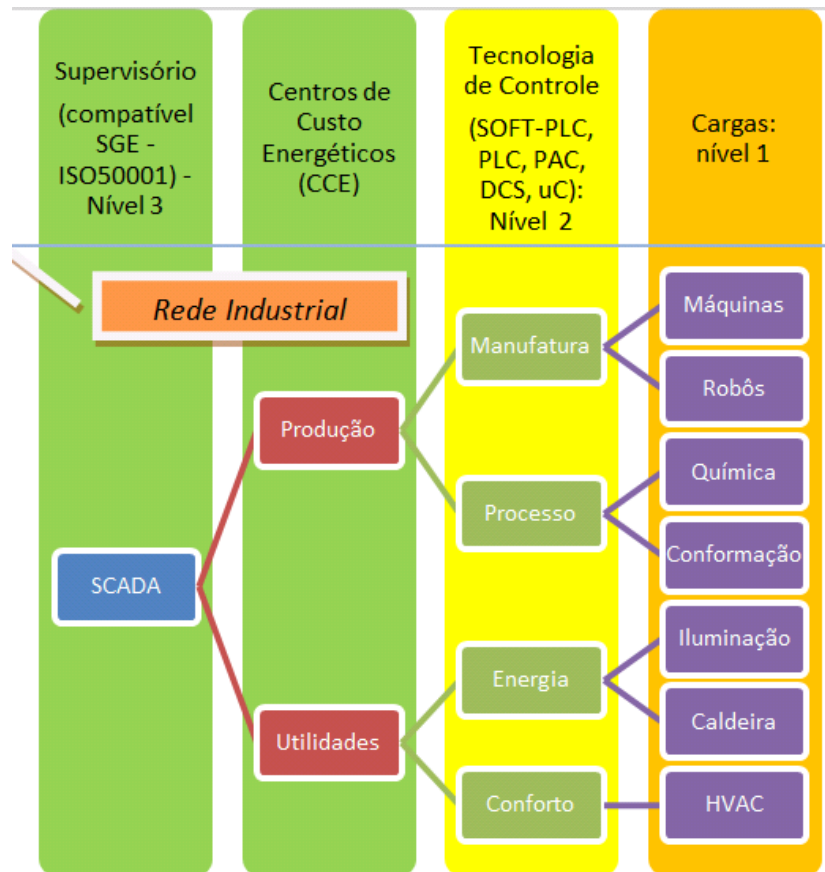


Figura 14 Supervisão aplicada ao SGE

Este trabalho propõe o emprego de estratégias de controle de processo para a supervisão do controle de energia com base na ISO50001. Este enfoque satisfaz as exigências de pequenas e grandes empresas, onde taxas de consumo de energia tendem a ser mais elevadas e o resultado do monitoramento deve estar disponível em um cenário de tempo real.

A plataforma proposta está baseada na adoção de uma metodologia de projeto de automação preconizada pela norma IEC61131, com ênfase em supervisão e controle, para implementar um sistema de gestão de energia no âmbito industrial que contemple o monitoramento e gestão de índices. Para tanto, a implementação do sistema proposto fundamenta-se na estrutura mostrada na Figura 15.

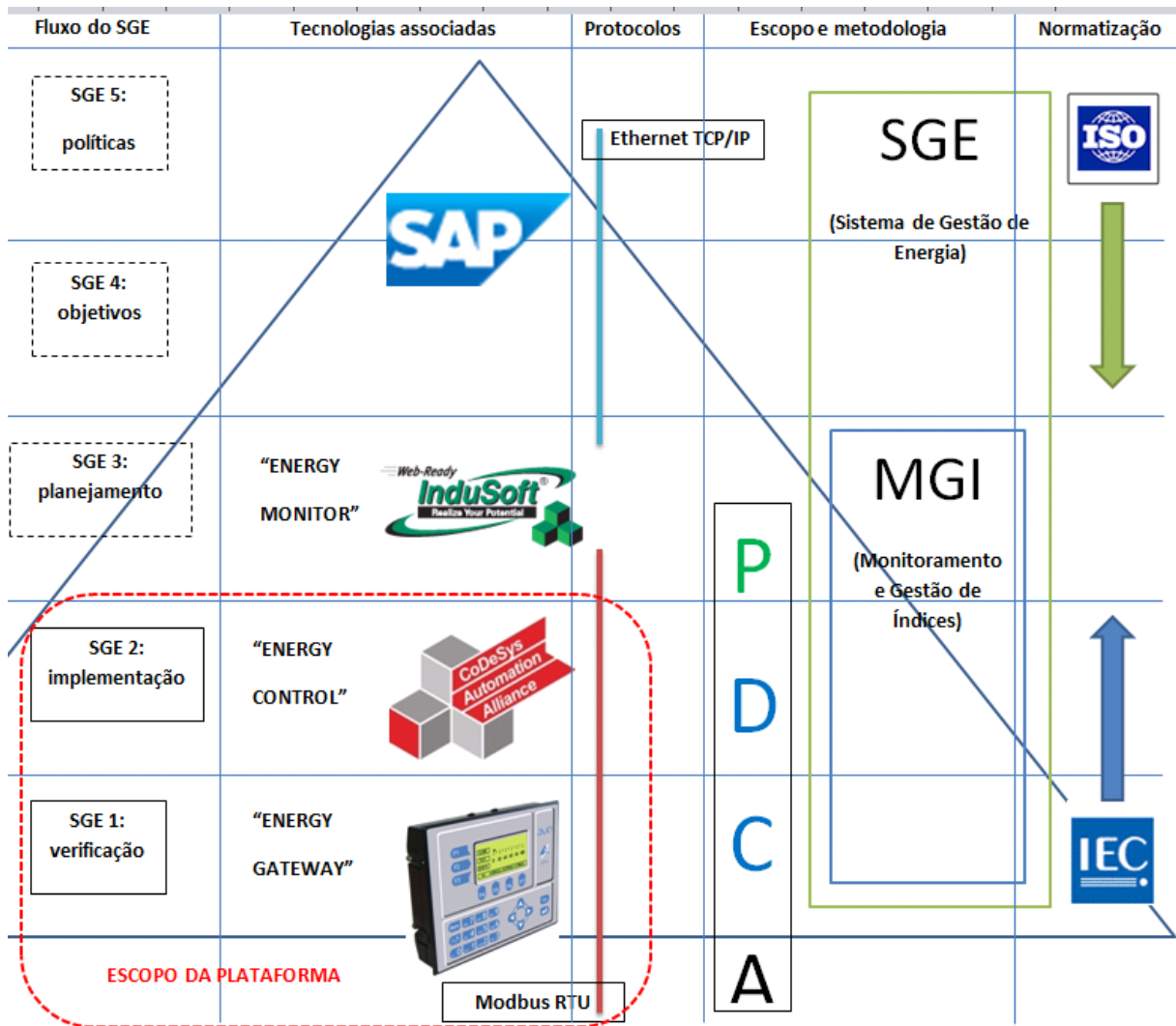


Figura 15 Estrutura do MGI + SGE

A Figura 15 mostra, no contexto da pirâmide da automação, as partes que caracterizam o SGE, listando, para cada nível, o fluxo do sistema de gestão de energia, as tecnologias associadas, protocolos adotados, escopo e metodologias considerados, bem como a normatização pertinente.

Objetivando estabelecer a hierarquia, os limites e as interfaces do SGE, as etapas que compõem o seu fluxo típico de implantação (políticas, objetivos, planejamento, implementação e verificação) foram correlacionadas com os níveis da pirâmide de automação. Essa estrutura hierárquica auxilia na definição das funcionalidades do sistema e facilita a inserção das rotinas da ISO50001/SGE em um enfoque *top-down* (do nível de gerenciamento à supervisão) e das diretrizes de projeto de automação preconizadas pela IEC61131 em um

enfoque *bottom-up* (da operação à supervisão) visando a implementação da metodologia de monitoramento e gestão de índices de energia conforme ilustrado na Figura 15.

A plataforma contempla os níveis inferiores da pirâmide de automação (ver “Escopo da Plataforma” na Figura 15) onde os principais atores, em um contexto de orientação ao objeto, são os operadores e supervisores dos centros de custo energéticos, de forma que a implementação efetiva do SGE via MGI ocorra no nível 2 representado pelo chamado *energy control* (automação baseada em PC). No nível mais inferior da pirâmide foi caracterizado o *energy gateway* que é responsável pela coleta de todos os dados associados à energia, valendo-se da flexibilidade típica de sistemas de entradas e saídas distribuídas via rede de campo (neste caso um controlador programável com interfaces de rede).

A interface com os níveis superiores da pirâmide de automação, principalmente no que se refere ao planejamento energético fica facilitada em função da disponibilidade de informações consistentes e previamente refinadas pelo *energy control* no nível 2 e pode ser gerenciada através de um software de supervisão no nível 3 (não contemplado nesse trabalho) o qual faz a troca de dados entre os sistemas de gestão corporativos e a plataforma de monitoramento e gestão de índices no contexto do SGE, o qual foi denominado de *energy monitor*.

Para ilustrar a implementação do SGE em um ambiente industrial optou-se por restringir seu escopo a um centro de custo energético específico que, neste caso, refere-se a uma linha de envase de retornáveis de uma empresa do ramo de bebidas.

Assim sendo, o MGI no contexto do SGE, especificamente no nível 1 (Verificação) pode ser estruturado com as tecnologias mostradas na Figura 16, incluindo a abordagem de controle distribuído, o uso de controladores compatíveis com a norma IEC61131 e comunicação em tempo real via redes de campo.

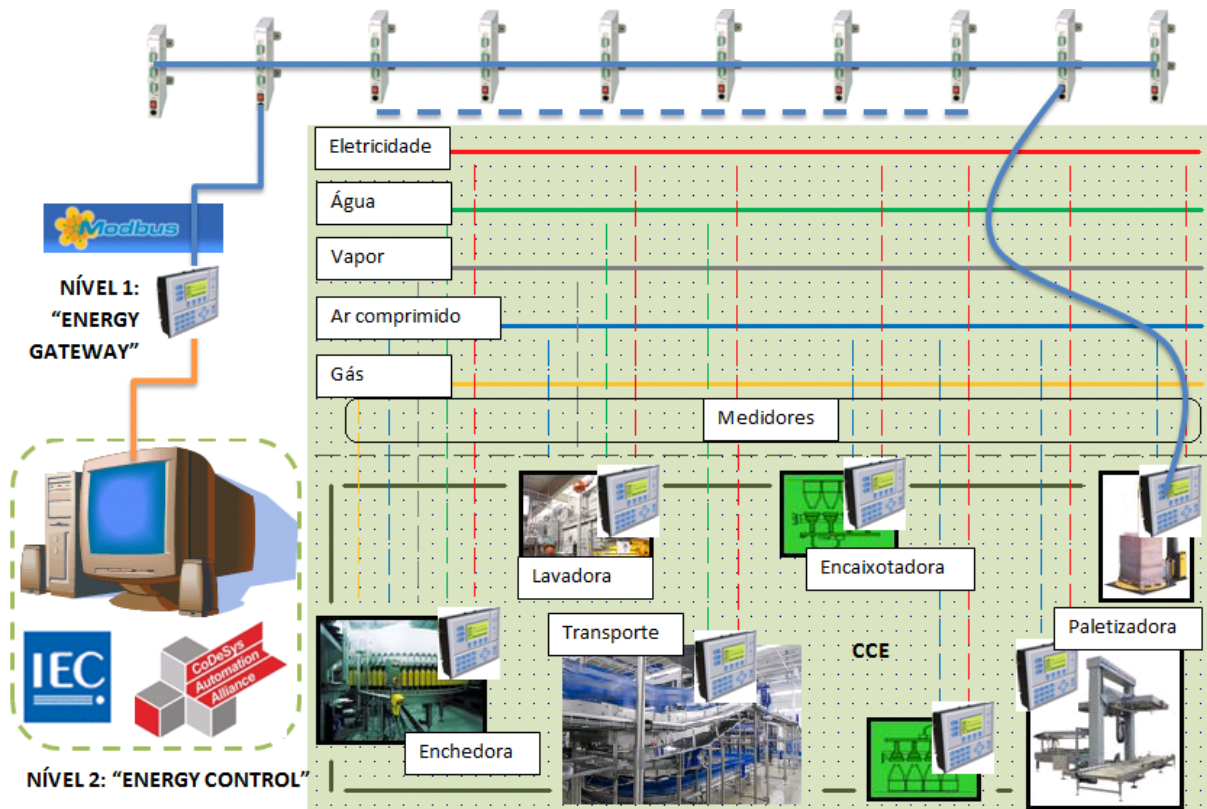


Figura 16 Etapa de Verificação Energética do SGE

O CCE escolhido é composto pelas máquinas de paletização, encaixotamento, lavagem, enchimento e transporte ilustrados na Figura 16, as quais têm seus dados de energia (combustíveis, produção, etc.) coletados através de medidores específicos (não representados) e cujos dados são consolidados via barramento de campo operando no protocolo Modbus através do *energy gateway* que é o elemento chave da base (nível 1) da pirâmide de automação do sistema (ver também a Figura 15). Estes dados são então disponibilizados para o nível 2 (*energy control*) na hierarquia da pirâmide.

A estratégia de controle distribuído adotada é particularmente útil para melhorar o desempenho do sistema e a sua confiabilidade. Além disso, a interligação dos controladores e E/S modulares via redes FIELDBUS como Modbus, por exemplo, resulta em redução de custos de cabeamento. Por fim, com o objetivo de gerenciar o controle de energia, um SoftPLC pode ser usado no nível 2 conforme mostrado na Figura 16.

No desenvolvimento da especificação de requisitos (modelamento) foram adotadas ferramentas gráficas que auxiliam na compreensão das características do sistema, tais como

os diagramas de: casos de uso, classes e sequência, os quais são baseados na técnica de Programação Orientada ao Objeto (POO) (FONSECA, M. DE O., SEIXAS FILHO, C., BOTTURA FILHO, 2008). A POO utiliza diagramas para representar os requisitos e funcionalidades do sistema, buscando diminuir a diferença semântica entre a realidade e o modelo.

Os mecanismos da POO incluem, principalmente: os OBJETOS, que encapsulam o comportamento e os atributos de um item do mundo real, as CLASSES, que são abstrações que descrevem o comportamento comum a um conjunto de entidades do mundo real. Desta forma, diz-se que todo objeto é uma INSTÂNCIA de uma classe. Além disso, a POO está fundamentada em quatro princípios:

1. abstração (restringir às características de interesse do objeto);
2. encapsulamento (esconder os detalhes de implementação da classe);
3. herança (derivar novas classes a partir das existentes);
4. polimorfismo (habilidade de diferentes objetos de responder, cada um de sua maneira, à mesma mensagem).

Com o intuito de especificar, visualizar, construir e documentar artefatos de sistemas orientados a objetos utilizados no modelamento do sistema de gestão de energia foi empregada a linguagem aberta UML (Linguagem de Modelagem Unificada). Dos treze diagramas previstos na UML três foram considerados nesse trabalho: casos de uso, classes e sequências.

O Diagrama de Casos de Uso descreve o comportamento funcional do sistema na visão do usuário, através da especificação dos casos de interação (elipses) do sistema (pacote) com objetos externos (atores). Ele é muito útil para especificar os requisitos do sistema e acompanhar modificações no escopo.

Um caso de uso é uma transação genérica que pode envolver diversos atores e mensagens. Corresponde a um ponto de função na engenharia de software. Do ponto de vista do sistema de gestão de energia ora proposto, os casos de uso representam as funcionalidades previstas na norma ISO50001, incluindo a estratégia de análise do uso da energia, a qual está baseada na técnica de monitoramento e gestão de índices.

Como as relações no âmbito da UML ocorrem entre classes e objetos, o Diagrama de Classes mostra estaticamente essas classes e seus relacionamentos, enfatizando a estrutura do sistema. Essas relações, que podem ser de associação, agregação, composição, generalização e dependência definem como os objetos colaboram na solução de um problema complexo.

O Diagrama de Sequência representa o comportamento dos diversos objetos que interagem para realizar alguma função, servindo como refinamento dos diagramas anteriores. Ele enfatiza a sequência de mensagens trocadas entre os diversos objetos para realizar uma função em resposta a um estímulo externo. Esse tipo de diagrama é útil para entender o comportamento de uma funcionalidade, mostrando também a relação temporal entre as mensagens.

A programação orientada a objetos é uma disciplina que se encaixa perfeitamente no contexto complexo do gerenciamento da energia mencionado no início do capítulo, pois mudanças de comportamento dos objetos são acomodadas facilmente através da inclusão, retirada ou modificação dos métodos existentes. Além disso, esse modelo oferece abstrações de mais alto nível que são mais próximas do entendimento do usuário. Toda a complexidade fica oculta dentro do objeto. Por fim, a POO permite maior reutilização do código de forma que, uma classe criada para uma determinada finalidade pode ter seu escopo expandido por meio de mecanismos que permitem seu uso em outros cenários.

O desenvolvimento do projeto do sistema de automação, principalmente no que se refere à programação do CP (Controlador Programável), foi conduzido à luz da norma

IEC61131, a qual se constitui em uma referência obrigatória e deve ser conhecida por aqueles que realizam a automação. Essa norma estabelece diretrizes para o projeto de controladores programáveis, incluindo hardware, software, instalação, teste, documentação e programação. A sua aplicação pela equipe de projeto leva à adoção de padrões abertos. Isso se traduz em qualidade de programação em diferentes linguagens, baixo custo de software através do uso de pacotes padronizados, portabilidade das aplicações, reutilização de software e facilidade de comunicação com outros sistemas.

A automação do sistema de gerenciamento de energia proposto nesse trabalho procurou atender os seguintes pontos-chave de um projeto baseado na norma IEC61131-3 (FONSECA, M. DE O., SEIXAS FILHO, C., BOTTURA FILHO, 2008):

- decomposição do problema de controle de cima para baixo (*top-down*);
- estruturação da aplicação de baixo para cima (*bottom-up*);
- modularização dos elementos de controle e de programação;
- ampliação/reutilização da biblioteca de POU's (Unidade de Organização de Programa);
- utilização de linguagens de programação mais adequadas ao problema de controle a ser solucionado e às necessidades dos usuários;
- priorização da auto-documentação do programa do CP, proporcionada pelo ambiente de programação (PSE).

A programação dos elementos de software que compõem a aplicação levou em consideração as diretrizes da especificação funcional baseada na orientação ao objeto e as diretivas de padronização de programação preconizadas pela norma IEC61131.

A agregação das tecnologias descritas anteriormente define uma plataforma baseada na filosofia de sistemas abertos. Esse enfoque permite o uso de soluções de mercado no estado da arte com a preservação do investimento. As vantagens incluem: baixo custo e alta

qualidade de software, portabilidade do aplicativo, reutilização de software e fácil comunicação com outros sistemas.

4.2 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

Com o objetivo de desenvolver essa plataforma multidisciplinar de gerenciamento de energia optou-se, com uma pequena adaptação na terminologia, por levar para o âmbito da automação, a metodologia de gestão de projetos baseada no Instituto de Gerenciamento de Projetos (PMI) e Guia do Conjunto de Conhecimentos em Gerência de Projetos (PMBOK) (PMI, 2013), dividindo-se o processo da seguinte forma:

1. escopo;
2. especificação;
3. desenvolvimento;
4. teste;
5. implantação.

O escopo tem como objetivo a elaboração da proposta e do documento básico para a avaliação técnica e comercial da automação planejada. O próximo passo consiste no projeto conceitual básico, resultando na especificação funcional do sistema, definição dos critérios de projeto e distribuição planejada das equipes e das atividades a serem executadas.

A aplicação de automação - baseada na metodologia IEC - proposta para o nível 2 do sistema de gestão de energia foi dividida em seis subsistemas conforme indicado a seguir:

1. implementação e operação (4.5);
2. monitoramento e medição (4.6.1);
3. análise (4.6.1);
4. ações de correção e prevenção (4.6.4);
5. auditoria energética (4.6.3);

6. revisão da gestão (4.7).

O número entre parênteses indica a exigência relacionada à ISO50001. Com base nisso pode-se descrever o comportamento funcional do sistema a partir do diagrama de Casos de Uso ilustrado na Figura 17.

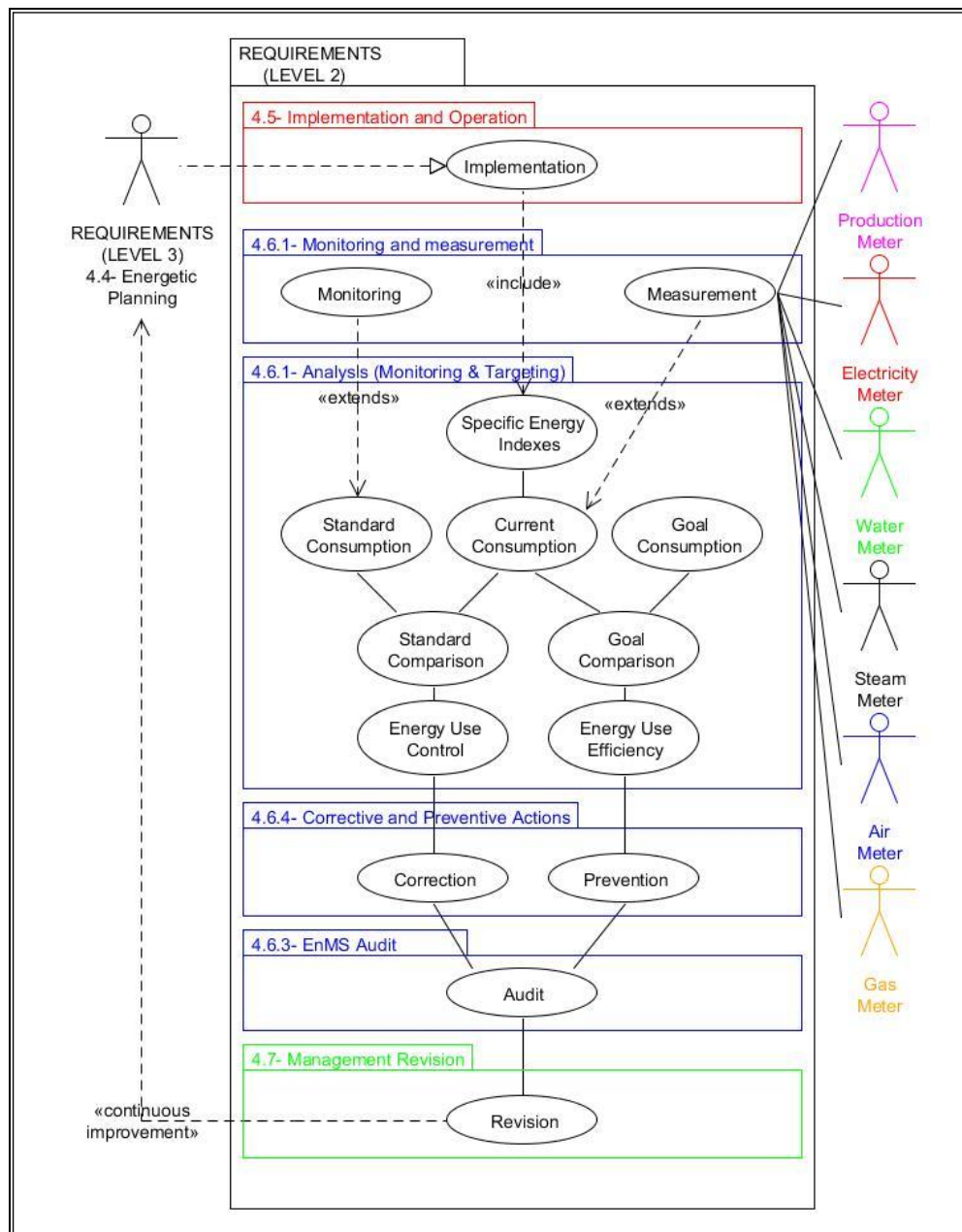


Figura 17 Diagrama de Casos de Uso

Como pode ser observado no diagrama da Figura 17, esses casos de uso foram agrupados em conformidade com a numeração de capítulos da norma. Os atores que participam dos casos de uso são, de um lado, os medidores de energia e parâmetros correlatos

e, de outro, a(s) interface(s) no nível de supervisão. No texto que segue, os elementos de software gerados estão grifados em maiúsculas.

Desta maneira, os requisitos da norma ISO50001 aqui denominados de REQUIREMENTS do ponto de vista do sistema computacional foram identificados conforme segue: IMPLEMENTATION, MONITORING e MEASUREMENT, Monitoramento e Gestão de Índices (MANDT), CORRECTION e PREVENTION, AUDIT e REVISION.

Em relação ao MGI adotado na etapa de análise da norma ISO50001 (seção 4.6.1), conforme mostrado na Figura 17, os casos de uso englobam a conversão das metas de consumo específico de energia estipuladas no planejamento energético para o contexto da automação, o monitoramento do consumo padrão (STANDARD_CONSUMPTION), a medição do consumo atual (CURRENT_CONSUMPTION), a determinação do perfil de consumo projetado (GOAL_CONSUMPTION) e a análise comparativa do consumo padrão (STANDARD_COMPARISION) e projetado (GOAL_COMPARISION) com o consumo atual. A partir daí, os casos de uso de controle (ENERGY_USE_CONTROL) e eficiência (ENERGY_USE_EFFICIENCY) no uso da energia fornecem as saídas adequadas à execução das ações corretivas (CORRECTION) e preventivas (PREVENTION) no âmbito do consumo energético.

Em relação ao sistema de gestão de energia as classes consideradas estão ilustradas na Figura 18 e compreendem os elementos chave do sistema, incluindo a implementação (IMPLEMENTATION) dos requisitos (REQUIREMENTS) preconizados pela norma ISO50001, assim como, a monitoração (MONITORING), medição (MEASUREMENT), gestão de índices (MandT), ações corretivas (CORRECTION) e preventivas (PREVENTION), auditoria (AUDIT) e revisão (REVISION) com vistas a melhoria contínua.

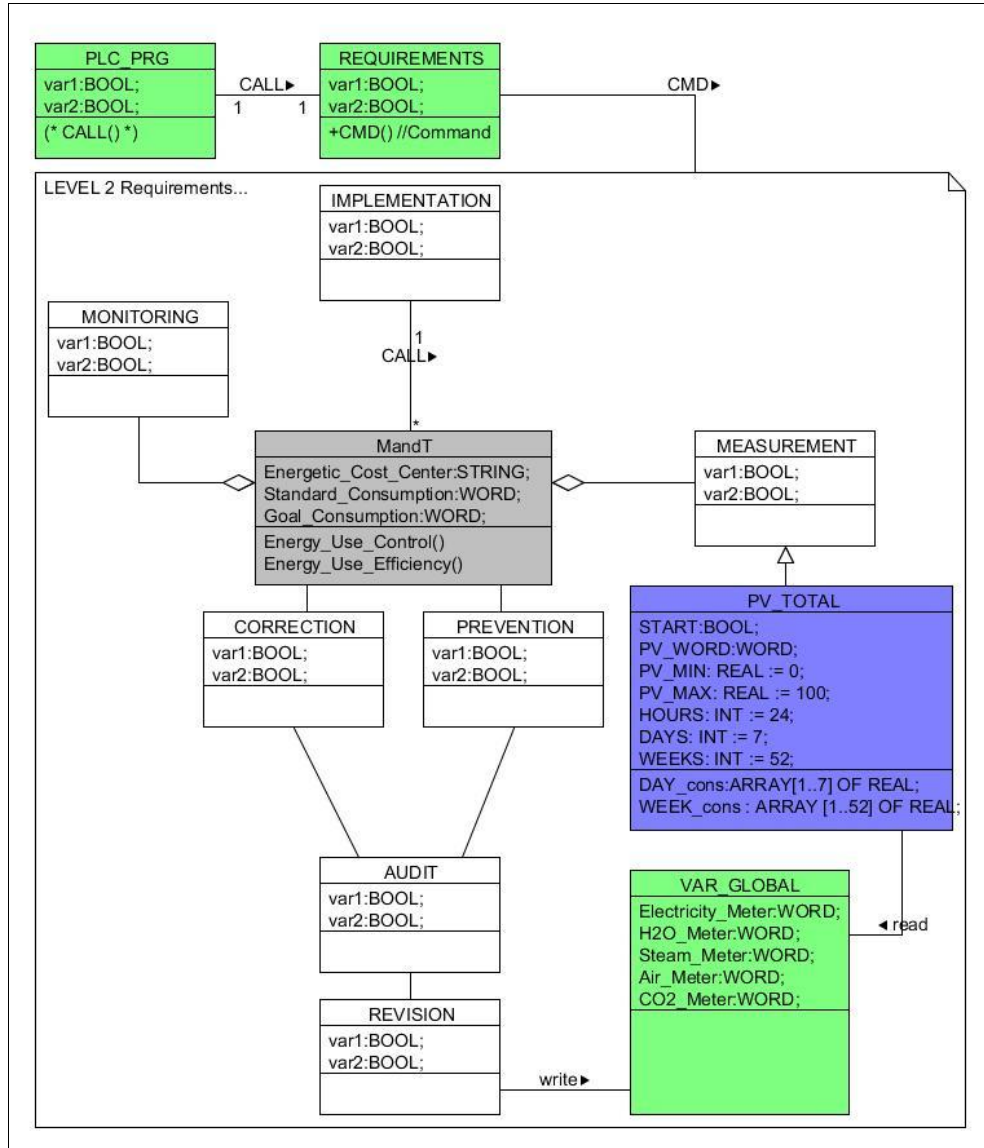


Figura 18 Diagrama de Classes

Na terminologia da norma, as classes de controle são, basicamente, Unidades de Organização de Programa (POUs) do tipo Bloco Funcional (FUNCTION_BLOCK), as quais foram utilizadas para a construção dos módulos de controle. No entanto, devido ao nível de abstração para o agrupamento das funcionalidades e do modelamento físico do processo, algumas POU's do tipo Programa (PROGRAM) foram criadas e instanciadas na aplicação para permitir a reutilização de software em um nível macro.

A decomposição do sistema conforme ilustrado na Figura 18 permitiu a identificação das classes de controle que serão convertidas para os elementos de software.

Optou-se por utilizar na aplicação as cinco linguagens de programação previstas pela norma IEC61131-3, aproveitando-se ao máximo o potencial de cada uma no que se refere as aplicabilidades específicas.

O fluxo de controle do programa é definido através do diagrama de sequência, o qual enfatiza a troca de eventos e mensagens, bem como sua ordem temporal. A Figura 19 mostra esse diagrama.

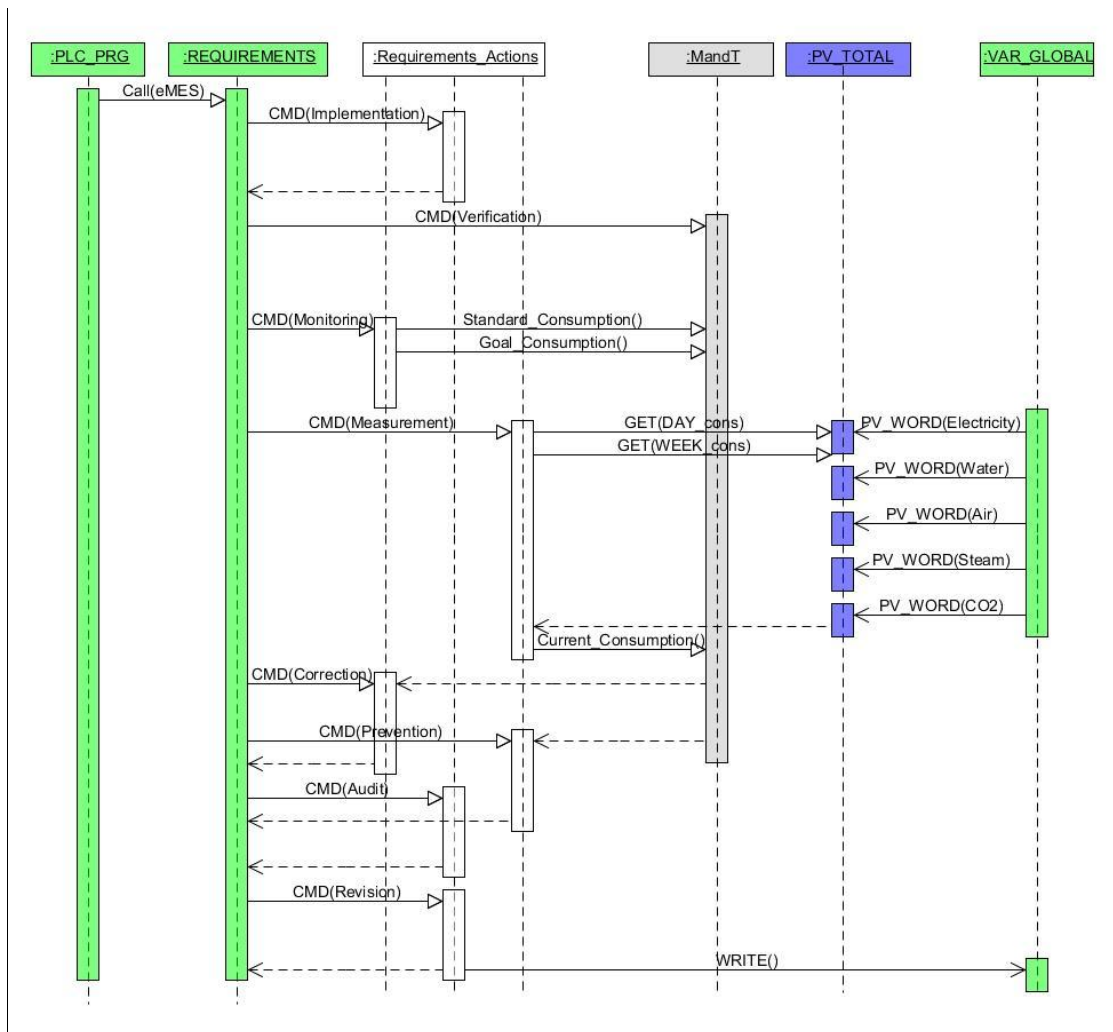


Figura 19 Diagrama de Sequência

No diagrama da Figura 9 pode ser observado, do topo para a base, a ordem temporal de execução (instanciação) das classes (objetos), caracterizando os eventos (barras) e as trocas de mensagens (setas) entre os objetos. O diagrama mostra, por exemplo, que o programa principal (PLC_PRG) chama as classes de requisitos da norma (REQUIREMENTS). Na

sequência, são caracterizadas as ocorrências das subclasses de requisitos (IMPLEMENTATION, MONITORING, MEASUREMENT, CORRECTION, PREVENTION, AUDIT e REVISION). Boa parte das informações tratadas nessas subclasses são enviadas para o evento de monitoramento e gestão de índices (MandT) através de mensagens específicas (STANDARD_CONSUMPTION, GOAL_CONSUMPTION e CURRENT_CONSUMPTION). O resultado desse monitoramento, representado no diagrama pelas mensagens de saída do MandT, servirá como entrada para os subsistemas responsáveis pelo acompanhamento das ações corretivas e preventivas do SGE. Além disso, o evento de medição (MEASUREMENT) acessa a totalização das variáveis de energia (PV_TOTAL) que, por sua vez, faz a leitura no campo (VAR_GLOBAL) e conversão, quando aplicável, dos valores brutos para valores de engenharia como é o caso dos combustíveis, por exemplo.

Por fim, a representação dos subsistemas identificados na etapa de escopo e especificação do projeto de automação do SGE pode ser resumida no contexto de um ciclo PDCA clássico preconizado pela norma ISO50001. Essa é uma das premissas desse trabalho conforme objetivo listado na introdução, qual seja: inserir a metodologia do MGI como um procedimento na fase de planejamento (P) da norma ISO50001 para sistematização das rotinas de melhoria contínua com vistas à eficiência energética. A Figura 20 ilustra essa representação.

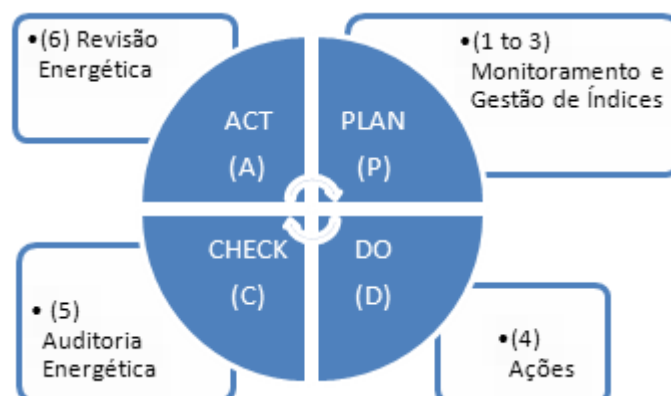


Figura 20 Ciclo PDCA para o SGE

O desenvolvimento do projeto completo da automação detalhado na sequência desse trabalho contemplou ainda a programação/simulação da aplicação no(s) controlador(es), o projeto da(s) interface(s) homem-máquina e/ou sistema de supervisão, bem como a configuração da(s) rede(s) de automação.

4.3 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

A aplicação da metodologia IEC para a automação do sistema de energia inclui a decomposição do problema de controle, buscando inicialmente o modelamento do processo, o qual pode ser estruturado seguindo as diretrizes das normas ANSI/ISA 88 e 95.

O modelamento do processo baseado nas normas ANSI/ISA 88 e 95 pressupõe uma hierarquização nos módulos de controle que deve ser acompanhada na declaração das variáveis e na estruturação da programação que, neste caso, é realizada no SoftPLC. Essa prática vai permitir uma padronização desejável no que se refere à identificação dos elementos de software e tags. A ideia básica é que o tag carregue na sua constituição o contexto de cada dado como, por exemplo, identificação dos níveis organizacionais (planta, fábrica e área), centro de custo energético, equipamento, subsistema e módulo ou classe de controle.

A Tabela 4 ilustra, com as devidas adaptações, a estrutura de modelamento do sistema ora proposto para um estudo de caso simulado de uma linha de envase de refrigerantes retornáveis.

Tabela 5. Estrutura de modelamento do sistema

Níveis Organizacionais	Centro de Custo Energético	Equipamento	Subsistema	Módulo e/ou Classe de Controle (POU)
Engarrafadora – Fábrica X – Produção de Refrigerantes	Linha de Envase de Retornáveis	Despaletizadora Desencaixotadora Transporte Lavadora Enchedora Encaixotadora Paletizadora	Implementação e operação	Estruturação da aplicação (PROGRAM REQUIREMENTS) Interface com o planejamento energético (PROGRAM IMPLEMENTATION)
			Monitoramento e medição	Consumo específico de energia (FUNCTION SEC) Monitoramento (PROGRAM MONITORING) Consumo específico de energia padrão (FUNCTION_BLOCK Energy_STANDARD) e consumo específico de energia objetivo (FUNCTION_BLOCK Energy_GOAL) Gerenciamento da medição de energia (PROGRAM MEASUREMENT) e totalização de energia elétrica, combustíveis (FUNCTION_BLOCK PV_TOTAL) e produção (FUNCTION_BLOCK PROD_TOTAL)
			Análise	Implementação do monitoramento e gestão de índices (PROGRAM MandT) Comparação do consumo de energia atual com a linha de base do padrão e a linha de base da meta (FUNCTION_BLOCK Energy_COMPARE)
			Ações de correção e prevenção	Gerenciamento das ações de correção (PROGRAM CORRECTION) Acionamento de motores de partida direta (FUNCTION_BLOCK MOTOR_PD) Controle de variáveis do processo (FUNCTION_BLOCK PID) Acionamento de motores com inversor (FUNCTION_BLOCK MOTOR_VFD) Gerenciamento das ações de prevenção (PROGRAM PREVENTION)
			Auditoria energética	Avaliação da eficácia da identificação e análise das alternativas para reduzir os custos de energia (PROGRAM AUDIT)
			Revisão da gestão	Processo de revisão gerencial (PROGRAM REVISION)

A estrutura de modelamento do SGE mostrada na Tabela 4 permite identificar, dentro dos subsistemas caracterizados na etapa de escopo e especificação, os módulos ou classes de controle que serão contemplados na aplicação. Por exemplo, no subsistema de Análise foi utilizada uma POU do tipo programa para implementar o monitoramento e gestão de índices (PROGRAM MandT) e um bloco funcional de comparação do consumo de energia atual com a linha de base do padrão e a linha de base da meta (FUNCTION_BLOCK Energy_COMPARE).

As próximas seções exploram os subsistemas mencionados nessa estruturação.

4.4 IMPLEMENTAÇÃO E OPERAÇÃO

A POU IMPLEMENTATION é responsável pela interface entre os resultados de planejamento energético provenientes do nível 3 da pirâmide de automação do sistema conforme ilustrado na Figura 15 e os requisitos de implementação, incluindo diretrizes para competência, formação, comunicação, documentação, controle operacional, projeto e aquisições (serviços de energia, equipamentos e produtos).

4.5 MONITORAMENTO E MEDIÇÃO

O subsistema de monitoramento e medição é composto pelos seguintes módulos de programa:

- consumo específico de energia (FUNCTION SEC);
- consumo específico de energia padrão (FUNCTION_BLOCK Energy_STANDARD);
- monitoramento de energia (PROGRAM MONITORING);
- consumo específico de energia objetivo (FUNCTION_BLOCK Energy_GOAL);

- gerenciamento da medição de energia (PROGRAM MEASUREMENT);
- totalização de energia elétrica, combustíveis (FUNCTION_BLOCK PV_TOTAL) e produção (FUNCTION_BLOCK PROD_TOTAL).

O desdobramento desses módulos é explorado na sequência.

A Figura 21 ilustra a declaração de uma POU (do tipo função) chamada SEC no ambiente de programação que implementa o cálculo de consumo específico de energia usando a linguagem de Texto Estruturado (ST).

Scope	Name
1	VAR_INPUT Energy_WEEK
2	VAR_INPUT Driving_Factor
3	VAR j

```

1 // Specific Energy Consumption (SEC)
2 FOR j:=1 TO 52 DO
3   SEC[j]:=Energy_WEEK[j]/Driving_Factor[j];
4 END_FOR

```

Figura 21 Função SEC

A função SEC é chamada no bloco funcional Energy_STANDARD mostrado na Figura 22 (partes do código foram omitidas para melhor visualização). Esta POU emprega a técnica de regressão linear para estabelecer o modelo de linha de base de energia de dados históricos. Entre as estratégias consideradas para determinação do padrão energético está a técnica de regressão linear. Essa ferramenta é particularmente interessante para avaliar a relação entre a variável independente (fator causal) e a variável dependente (resposta possível) em uma dada análise (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2010). Além disso, o bloco funcional determina o desvio de dados históricos de energia em relação à linha de base e calcula a soma cumulativa (CUSUM) desse desvio. Esta POU implementa o caso de uso STANDARD_CONSUMPTION ilustrado na Figura 17.

```

1 // Linear regression
2 IF l<53 THEN [8 lines]
11 END_IF
12 Sum_x2:=X_sum2-X_sum2/52;
13 Sum_y2:=Y_sum2-Y_sum2/52;
14 Sum_xy:=XY_sum-X_sum*Y_sum/52;
15 b:=Sum_xy/Sum_x2; (* b-factor *)
16 a:=Y_sum/52-b*X_sum/52; (* a-factor *)
17 // Energy Base ( = a + Driving Factor * b ) and
18 // Energy Difference ( = Energy Week - Energy Base )
19 FOR k:=1 TO 52 DO
20     Energy_BASE[k]:=a+Driving_Factor[k]*b;
21     Energy_BASE_MAX:=MAX(Energy_BASE_MAX,Energy_BASE[k]);
22     Energy_BASE_min:=MIN(Energy_BASE_min,Energy_BASE[k]);
23     Energy_DIFF[k]:=Energy_WEEK[k]-Energy_BASE[k];
24 END_FOR
25 // Specific Energy Consumption
26 Energy_SEC := SEC(Energy_WEEK, Driving_Factor);
27 // Cumulative Sum
28 Energy_CUSUM[1]:=Energy_DIFF[1];
29 FOR m:=2 TO 52 DO
30     Energy_CUSUM[m]:=Energy_CUSUM[m-1]+Energy_DIFF[m];
31 END_FOR
32 FOR n:=1 TO 52 DO
33     Energy_CUSUM_MAX:=MAX(Energy_CUSUM_MAX,Energy_CUSUM[n]);
34     Energy_CUSUM_min:=MIN(Energy_CUSUM_min,Energy_CUSUM[n]);
35 END_FOR

```

Figura 22 Bloco Funcional Energy_STANDARD

O bloco funcional Energy_STANDARD é chamado na POU do tipo programa MONITORING escrito na linguagem de Diagrama de Blocos Funcionais (FBD), conforme mostrado na Figura 23.

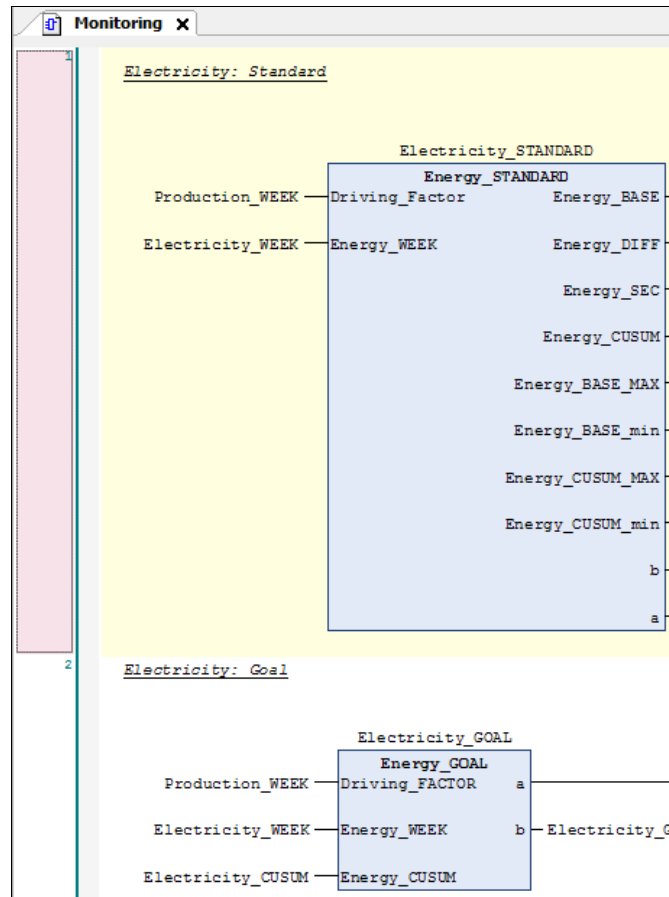


Figura 23 POU MONITORING

A POU MONITORING auxilia na definição do padrão de desempenho no que se refere ao uso da energia no centro de custo energético. Ela contempla os fatores ou variáveis que direta e/ou indiretamente influenciam na flutuação das taxas de uso da energia. Tais variáveis podem ser classificadas como controláveis ou não controláveis. As primeiras podem ser reguladas através de gestão, buscando a otimização do consumo de energia e incluem adequações na operação e novas estratégias de manutenção. Já as variáveis não controláveis estão associadas aos fatores de ordem técnica e econômica, sobre as quais a gerência não possui controle direto e que influenciam as condições sob as quais ele tem que cumprir seus objetivos (SILVA FILHO, 2004).

Assim sendo, cada atividade tem parâmetros específicos que podem ser modelados nessa POU, tais como: nível de produção, MIX de produtos, variações na matéria prima, índices típicos de perda e percentual entre a energia elétrica gerada na planta e a comprada na

concessionária. Além disso, quando a energia alimenta sistemas de refrigeração de ambientes, devem ser consideradas as variações climáticas do local.

Em linhas gerais, conforme descrito genericamente na Equação 1, o efeito dessas variáveis no consumo de energia pode ser expressa de acordo com um modelo matemático. Se forem considerados - a título de estudo de caso - os dados históricos de produção (*Driving_{FACTOR}*), em toneladas, por exemplo, versus consumo de energia (*Energy_{BASE}*), em kWh, num típico CCE na indústria, ilustrados no Apêndice 1, ter-se-á o modelo operacional mostrado na Equação 6 para a área considerada, obtido a partir da POU *Energy_STANDARD*. Conforme mencionado anteriormente, esse modelo é calculado através da técnica de regressão linear, resultando nas constantes expressas na Equação 7 para o exemplo considerado.

$$Energy_{BASE} = 13191,612 + Driving_{FACTOR} \times 9,345298 \quad (7)$$

A partir dos dados históricos, outras saídas relevantes para o mapeamento do desempenho energético padrão do CCE podem ser obtidas a partir da POU *Energy_STANDARD* e POU *MONITORING*. São elas: histórico de consumo energético, linha de base energética, diferença entre o consumo histórico e a linha de base, gráfico de somas cumulativas e consumo específico de energia. No capítulo 5 são ilustradas essas saídas no sistema de supervisão do nível 2 para o exemplo considerado.

Outro ponto que merece destaque é o efeito das variações na temperatura ambiente externa, as quais podem ter uma influência significativa no consumo de energia em diversos tipos de processos industriais. O consumo específico de energia nesse caso pode ser expresso em termos da necessidade de uso de energia pela área (m²) para que sejam mantidas as condições de temperatura necessárias. Mais uma vez uma plataforma integrada de base automatizada de gestão de energia conforme proposto nesse trabalho mostra-se interessante, pois pode intervir de forma automática no sistema de refrigeração fabril para otimizar a

climatização e poupar energia. O CEE para climatização pode ser refinado levando-se em consideração dois fatores:

1. valor atingido pela temperatura acima de um determinado patamar de referência, bem como o montante de energia necessária para garantir a climatização;
2. tempo no qual a temperatura ficou acima desse patamar.

Uma medida que pode ser utilizada para melhor avaliar esse padrão é o grau-dia. Diz-se que um grau-dia é acumulado quando, para o período de um dia, a temperatura externa fica 1 °C acima da temperatura de conforto (ou especificada para o processo) para a qual não se necessita refrigeração. Quando os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC) não são utilizados unicamente para o conforto térmico (climatização), como é o caso do aquecimento ou refrigeração de água para o processo produtivo, o gráfico que correlaciona o consumo mensal de energia (eixo Y) com os graus-dia mensais (eixo X) apresenta comportamento linear onde o ponto de cruzamento da curva com o eixo Y representa a carga-base utilizada no processo produtivo que é independente dos graus-dia. A inclinação desta curva representa a eficiência em graus-dia, a qual pode ser utilizada como um padrão inicial para comparações de desempenho.

A Figura 24 mostra o bloco funcional DEGREE_DAY que implementa um algoritmo típico de cálculo de graus-dia a partir dos valores de temperatura máxima, mínima e base do local considerado.

```

Degree_Day X
1  FUNCTION_BLOCK Degree_Day
2  VAR_INPUT
3      // Base temperature
4      Tbase: ARRAY [1..365] OF REAL := [365(24)];
5      // Minimum day temperature
6      Tmin: ARRAY [1..365] OF REAL := [365(10)];
7      // Maximum day temperature
8      Tmax: ARRAY [1..365] OF REAL := [365(27)];
9  END_VAR
10 VAR_OUTPUT
11     // Degree-day
12     DG: ARRAY [1..365] OF REAL;
13 END_VAR
14 VAR [2 lines]
17 END_VAR

1 // Degree-day calculation
2 FOR i:=1 TO 365 DO
3     IF Tmax[i]<Tbase[i] AND Tmin[i]<Tbase[i] THEN
4         DG[i]:=Tbase[i]-0.5*(Tmax[i]-Tmin[i]);
5     END_IF
6     IF (Tmax[i]-Tbase[i])<(Tbase[i]-Tmin[i]) THEN
7         DG[i]:=0.5*(Tbase[i]-Tmin[i])-0.25*(Tmax[i]-Tbase[i]);
8     END_IF
9     IF (Tmax[i]-Tbase[i])>(Tbase[i]-Tmin[i]) THEN
10        DG[i]:=0.25*(Tbase[i]-Tmin[i]);
11    END_IF
12 END_FOR

```

Figura 24 POU DEGREE_DAY

No caso de produtos e modos de fabricação variados, caracterizando um cenário bastante dinâmico, a técnica da regressão multivariável pode ser empregada (NEXTANT, 2008). Esta abordagem se mostra mais precisa e confiável do que a estratégia de simplesmente comparar o consumo energético antes versus depois no que se refere à condução de um programa de monitoramento e gestão de índices de energia. A regressão multivariável é uma técnica efetiva que controla fatores não associados à substituição de equipamentos, os quais afetam o consumo de energia. A aplicação do método é dependente da disponibilidade de dados. Desta forma, é importante investigar os sistemas que afetam e que são afetados pela eventual implantação do projeto de eficiência energética e selecionar todas as variáveis independentes que têm relação direta com o uso da energia. Além disso, dados referentes às variáveis dependentes precisam ser coletados em um período de tempo significativo. Por exemplo, o monitoramento do consumo energético de um CHILLER em um

espectro amplo de temperaturas ambientes e internas (processo) pode demandar vários meses de coleta de dados.

Na análise de regressão, os dados mensais, semanais, diários ou horários dos medidores de consumo energético na área de utilidades, por exemplo, são utilizados para estabelecer modelos visando a comparação do antes e depois da implantação do SGE no que se refere ao uso da energia. Quaisquer diferenças, após os ajustes nos fatores não associados à substituição de equipamentos, vão caracterizar os principais impactos no consumo associados à implantação do SGE no CCE.

As equações de regressão devem ser especificadas de forma a garantir o máximo de informação possível sobre a efficientização. A forma padrão para um modelo de regressão linear multivariável, no caso de um sistema dependente do clima é dada pela Equação 8.

$$Q_i = B_1 + (B_2 \times T_i - T_{i-1} + B_3 \times HDD_i + B_4 \times CDD_i + B_5 \times X_1 + B_6 \times X_2 + \dots + B_n \times X_n) \quad (8)$$

Onde:

- Q_i = uso da energia;
- i = índice para as unidades de tempo por ponto de dado medido;
- $B_1, B_2 \dots B_n$ = coeficientes;
- T = temperatura ambiente;
- HDD = graus-dia de aquecimento;
- CDD = graus-dia de refrigeração;
- X_n = variáveis em regime permanente independentes.

Ainda na etapa de monitoramento, conforme observado na Figura 23, o programa MONITORING inclui a chamada do Energy_GOAL. Este bloco funcional implementa o caso de uso Goal Consumption ilustrado na Figura 17. O objetivo desta POU é identificar na soma cumulativa dos desvios um período favorável onde o gráfico apresenta um comportamento de

queda nos valores durante algumas semanas, indicando uma persistente tendência para utilizar menos energia do que o previsto pela característica experimental (MOSS, 2010). O resultado é uma nova meta operacional que pode ser usada para definir uma referência visando detectar e corrigir o desperdício de energia. Essa POU auxilia no processo de identificação de oportunidades reais de correção de desperdícios energéticos evitando a fixação de metas demasiado brandas ou relatórios adversos causados por metas agressivas, resultados esses típicos de análises realizadas superficialmente.

Por outro lado, a POU MEASUREMENT é usada para implementar a leitura das variáveis relevantes relacionadas com o consumo significativo de energia, consolidando os dados e disponibilizando-os para posterior análise. A Figura 25 mostra o programa de medição.

O bloco funcional PV_TOTAL é usado para converter valores de potência instantânea para as unidades de engenharia apropriadas e totalizar o consumo de energia (combustíveis, eletricidade, etc.). O bloco funcional PROD_TOTAL, por sua vez, totaliza a produção no período considerado que em ambos os casos estão em uma base diária e semanal.

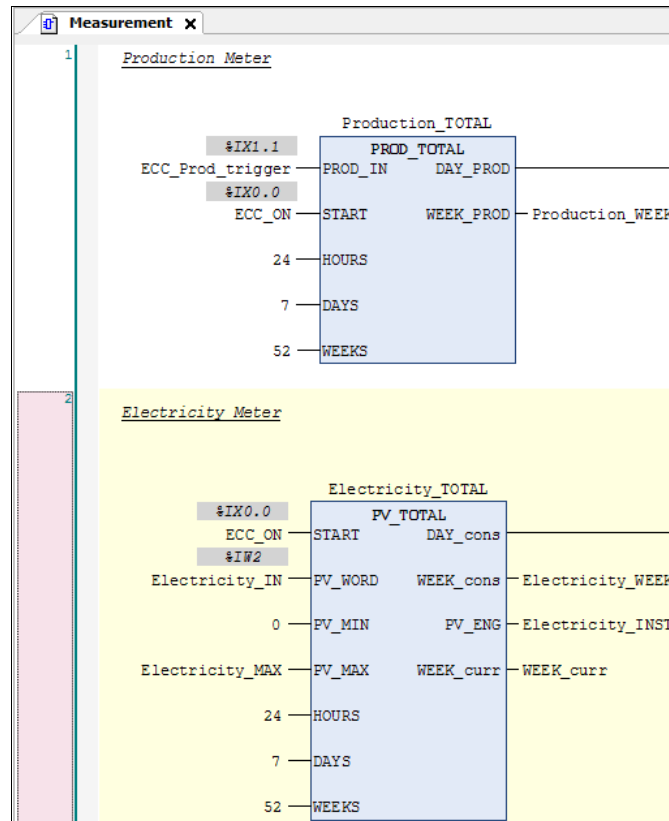


Figura 25 Programa MEASUREMENT

No contexto da ISO50001 (GILLESS; HURTADO; BROWN, 2011) existem alguns requisitos relacionados à medição: um plano de medição de energia deve ser definido e implementado de acordo com o tamanho da organização. Além disso, a empresa deve definir e rever periodicamente as suas exigências de medição e precisa levar em consideração que os equipamentos utilizados para a medição de indicadores de desempenho energético devem devolver dados exatos e com repetibilidade. A plataforma proposta nesse trabalho baseada em hardware IEC61131 e padronização de software é fortemente alinhada com esses requisitos.

4.6 ANÁLISE VIA MONITORAMENTO E GESTÃO DE ÍNDICES

O próximo passo refere-se à implementação da metodologia de monitoramento e gestão de índices conforme descrito anteriormente no presente documento. O programa MandT mostrado na Figura 26 implementa ambos os ramos do processo. O bloco funcional Energy_COMPARE chamado duas vezes para cada IDE é usado para comparar o consumo de

energia atual com a linha de base do padrão e a linha de base da meta, gerando insumos para o controle do uso da energia (gerenciado no programa CORRECTION) e melhoria da eficiência energética (gerenciado no programa PREVENTION) respectivamente.

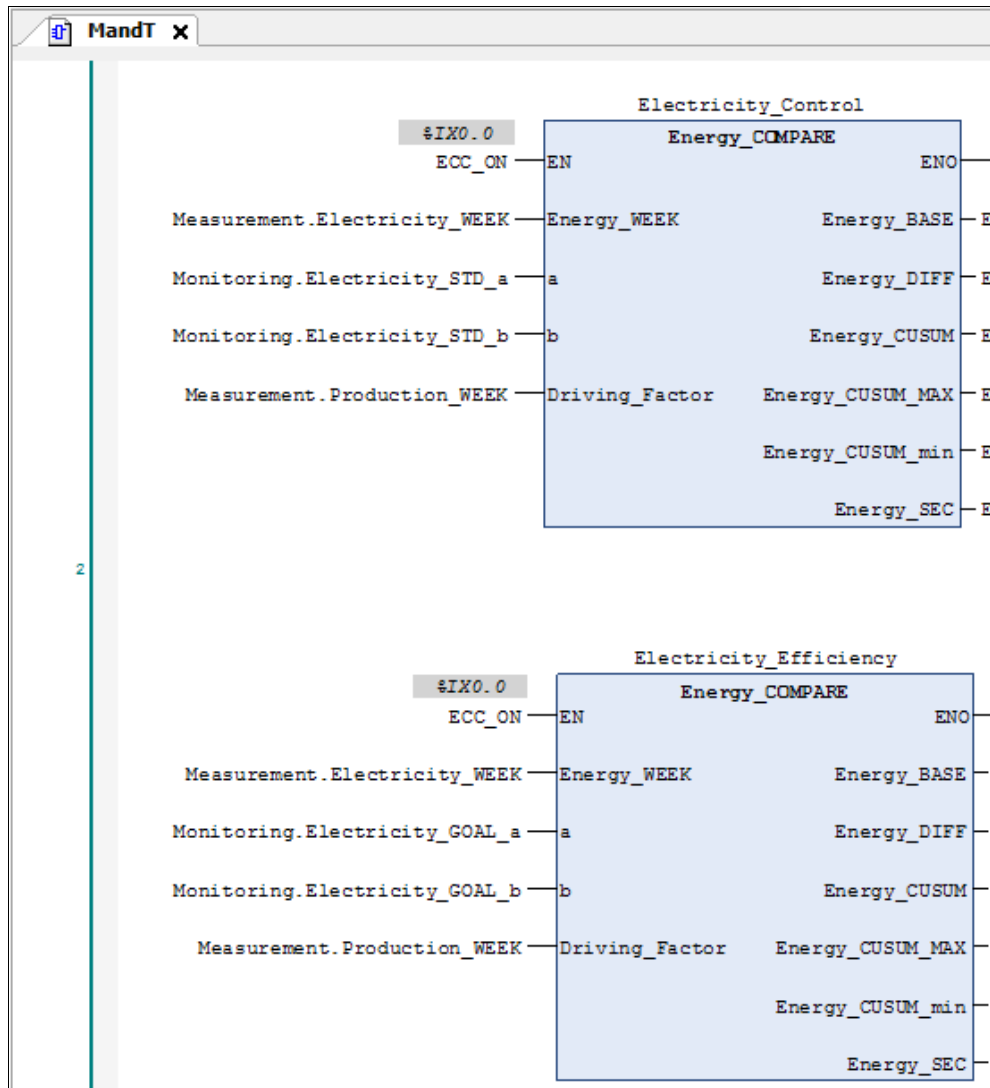


Figura 26 Programa de monitoramento e gestão de índices

As saídas dessa POU contemplam, entre outros, os seguintes elementos para controle do uso da energia e melhoria da eficiência no uso da energia:

- dados históricos de produção e consumo de energia, linha de base e modelo de eficiência;
- consumo de energia e produção versus tempo;
- dispersão do consumo de energia versus produção;
- dispersão do consumo específico de energia versus produção;

- regressão da linha de base do consumo de energia;
- somas cumulativas do desvio do consumo de energia em relação ao consumo de energia padrão (linha de base);
- regressão da meta de consumo específico de energia;
- somas cumulativas do desvio do consumo de energia em relação ao consumo de energia padrão (meta) mostrando os limites estabelecidos.

O Apêndice 1 apresenta os dados relativos a um estudo de caso simulado para uma indústria de bebidas em um centro de custo energético especificamente no que tange ao consumo de energia elétrica, enfatizando as saídas típicas de uma análise baseada na técnica de monitoramento e gestão de índices.

4.7 AÇÕES CORRETIVAS E PREVENTIVAS

A POU CORRECTION, escrita na linguagem IEC Sequenciamento Gráfico de Funções (SFC) implementa a estratégia de controle de uso de energia para o centro de custo energético, indicado no procedimento do MGI. A Figura 27 ilustra o programa de correção que gerencia as ações de conservação de energia.

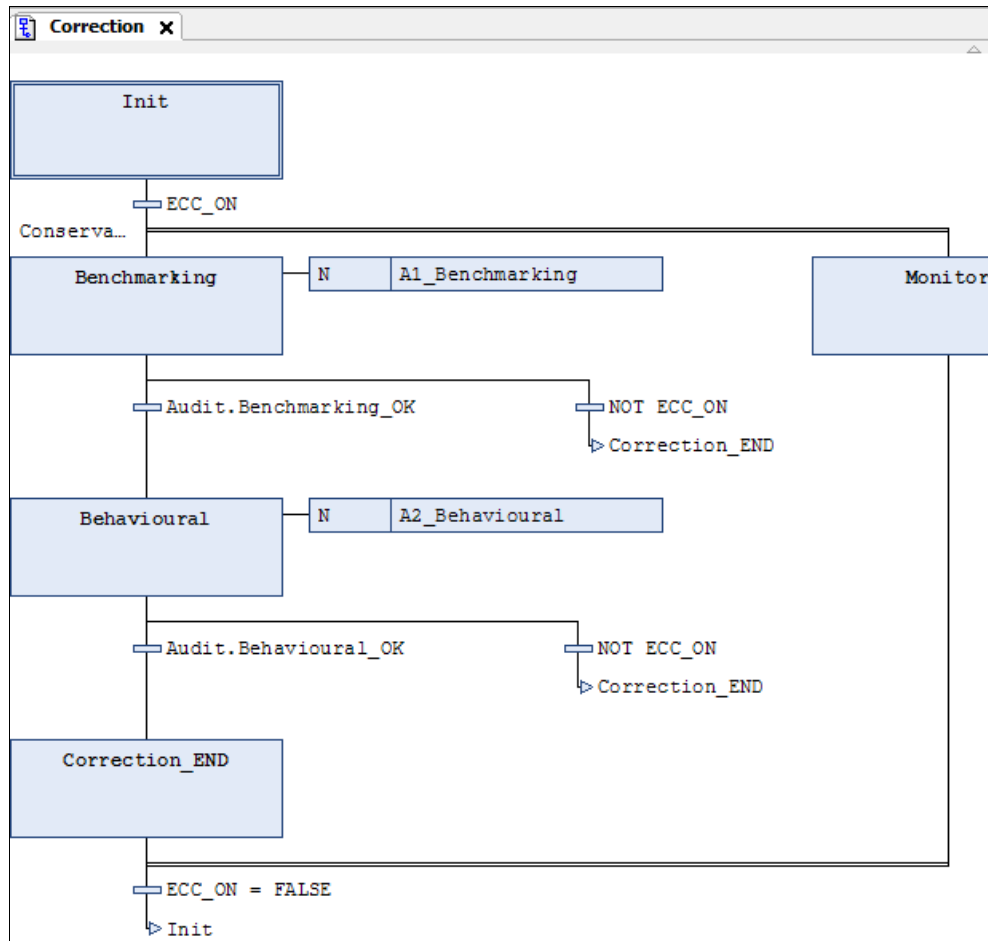


Figura 27 POU CORRECTION

O entendimento da abrangência dessas ações de conservação energética demanda a compreensão do perfil de uso de energia do CCE obtido a partir do programa MantT descrito anteriormente. Mudanças comportamentais normalmente têm baixo custo de implementação geralmente associado a programas motivacionais, incluindo a otimização do ciclo de partida e parada de equipamentos e controle de iluminação. Além disso, as ações de benchmarking podem desempenhar um papel importante no controle de uso da energia. A ideia consiste em coletar dados de energia para o centro de custo energético durante um período típico de funcionamento, estabelecer um modelo de energia histórica focado no consumo específico de energia e, em seguida, comparar com um critério de referência relevante. Por exemplo, um referencial de consumo específico de energia na indústria de bebidas (cervejaria), para a eletricidade poderia ser de 8 a 12 kWh, de 5 hl para a água e 150 MJ de combustível por

hectolitro de cerveja produzida (OLAJIRE, 2012). Esses parâmetros representam as entradas típicas da POU CORRECTION.

Ter um entendimento sobre o perfil de consumo de instalações ou processos semelhantes ao que está sendo observado pode fornecer uma referência valiosa para o que pode ser alcançado (SCHWEIGER; BRUNNER; BERTRAND, 2012).

A análise de benchmarking pode incluir utilidades, equipamentos, processos e avaliação de iluminação dos locais referenciados com de melhores práticas. O resultado desta análise é um conjunto de metas de desempenho que pode orientar as ações comportamentais acima mencionadas. No entanto, em muitos casos, a comparação de diferentes sistemas de produção ou fabricação é uma tarefa complexa devido a critérios de desempenho conflitantes e o amplo espectro de cenários disponíveis (BUNSE; VODICKA; SCHÖNSLEBEN, 2011).

No mesmo subsistema, a POU PREVENTION, escrita na linguagem IEC SFC implementa a estratégia de eficiência no uso da energia no âmbito do centro de custo energético como preconizado no procedimento do MGI. A Figura 28 ilustra o programa de prevenção que gerencia as ações de eficiência energética.

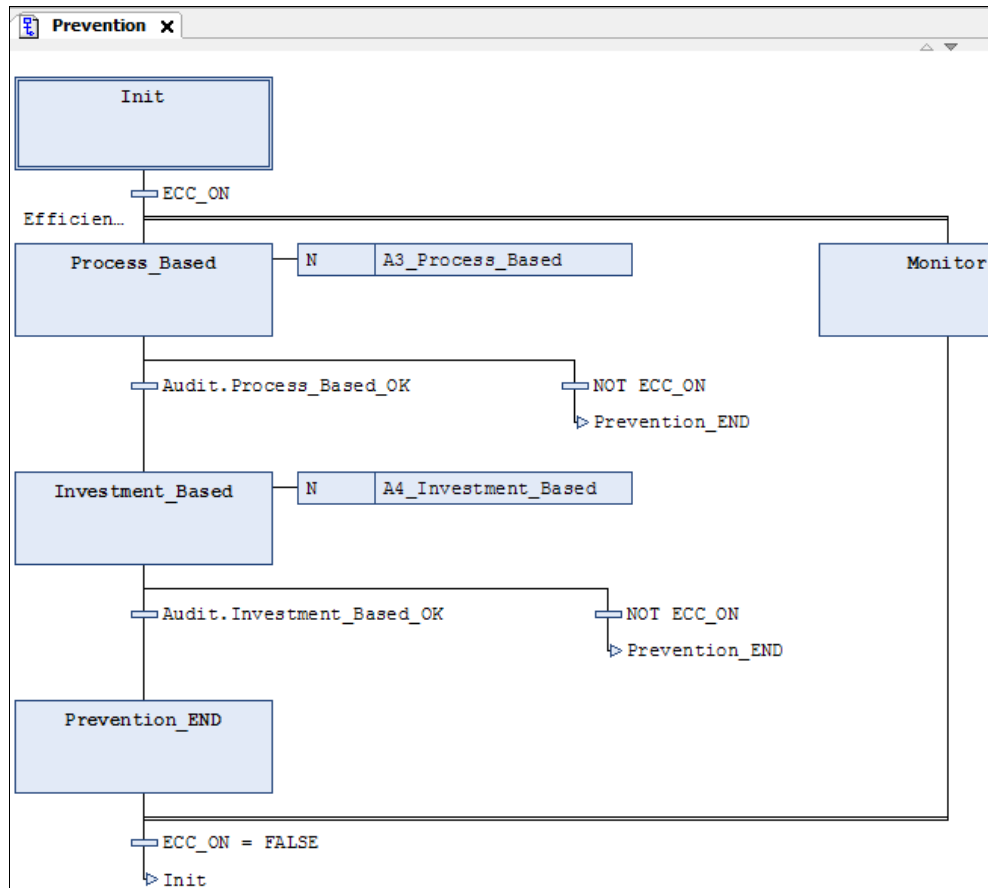


Figura 28 POU PREVENTION

A POU PREVENTION auxiliar no gerenciamento das ações que resultam em diminuição da quantidade de energia utilizada para produzir uma unidade de atividade na organização, aumentando o desempenho com menor consumo de energia, melhorando a relação da saída em relação à entrada em termos de energia. Isto pode ser conseguido aumentando a tecnologia associada ao sistema como, por exemplo, melhoria no isolamento, utilização de dispositivos de alta eficiência e automação de equipamentos e processos. Essas ações levam à melhoria da qualidade do produto, redução de perdas e melhoria da eficiência de utilização de matéria-prima, resultando em redução do consumo de energia.

A fim de gerenciar os procedimentos de eficiência de energia, foram considerados dois tipos de ações: aquelas associadas ao processo e as que demandam investimento. As ações baseadas no processo relacionam-se às medidas que exigem baixo investimento de capital, incluindo a melhoria ou implantação de subsistemas de gestão e controle energéticos,

isolamento térmico, reparação de fugas de ar, alteração de uso de energia, controle de temperatura e reconfiguração dos tempos de inicialização e desligamento de sistemas específicos. Neste caso, com a ajuda do programa MandT é possível ter uma visão geral do consumo de energia no CCE. Após a identificação do ponto em que o processo pode ser otimizado, o impacto da ação é quantificado pelo cálculo do retorno do investimento. Como consequência, a equipe de auditoria energética terá todas as entradas necessárias para apresentar este plano de ação para a aprovação da diretoria. As ações com base em investimento referem-se às medidas que implicam significativos investimentos de capital como, por exemplo, instalação de equipamentos mais eficientes, implementação de sistemas de recuperação de calor, substituição de CHILLERS, utilização de sistemas mais eficientes de aquecimento ou ar condicionado, melhora nos níveis de isolamento e automação do processo. As ações listadas aqui apresentam níveis mais elevados de persistência que aquelas baseadas em informações ou processo que, às vezes, podem ser comprometidas por eventuais mudanças no comportamento, procedimentos ou pessoal (SCHWEIGER; BRUNNER; BERTRAND, 2012).

4.8 AUDITORIA

O subsistema de auditoria avalia a eficácia da identificação e análise das alternativas para reduzir os custos de energia, seleção de ações efetivas no que tange ao custo e planejamento para implementar projetos de eficiência energética. A auditoria de sistema pode envolver dois níveis: auditoria interna do SGE de acordo com os procedimentos da ISO50001 (PARRISH; BERKELEY, 2012) e auditoria energética que inclui o exame e análise de todos os itens de consumo de energia em termos de eficiência, a fim de detectar ineficiências do processo com impacto negativo no consumo de energia (OLAJIRE, 2012). Em ambos os níveis, a auditoria de sistema é basicamente um procedimento administrativo que pode ser

gerenciado a partir do nível 3 para o topo na estrutura de gerenciamento de energia proposta na Figura 15.

A auditoria interna deve ser conduzida pela equipe executiva de energia em intervalos planejados para garantir os seguintes aspectos:

- conformidade do SGE com os procedimentos e requisitos preconizados pela ISO50001;
- conformidade do SGE com os objetivos e metas energéticas;
- implementação eficaz e sustentável do SGE, garantindo a melhoria do desempenho energético.

Para tanto, um plano e cronograma de auditoria devem ser desenvolvidos pelos auditores selecionados para os centros de custo energético sob avaliação. Os resultados devem ser reportados à equipe de gerenciamento.

Já a auditoria de energia pode ser baseada em estratégias reconhecidas como, por exemplo, a metodologia de auditoria padrão Einstein que compreende quatro fases e dez etapas de acordo com a Tabela 6 (SCHWEIGER; BRUNNER; BERTRAND, 2012).

Tabela 6. Metodologia de auditoria (SCHWEIGER; BRUNNER; BERTRAND, 2012)

Fase da auditoria	Etapa da auditoria	Ações
Pré-auditoria	1	Contatos preliminares: informar e motivar
	2	Aquisição de dados de pré-auditoria
	3	Processamento das informações preliminares
	4	Avaliação preliminar
Auditoria	5	Auditoria energética das instalações ou Detalhamento da aquisição remota de dados
	6	Análise do Status Quo
Avaliação de alternativas	7	Projeto conceitual das opções de efficientização e definição preliminar de metas de energia
	8	Cálculo do desempenho energético e análise ambiental
	9	Análise econômica e financeira
Proposta	10	Emissão de relatórios e apresentação da proposta para a empresa

A POU AUDIT responsável pelo gerenciamento da auditoria pode, de um lado, incluir ferramentas para acompanhamento do cronograma no contexto da auditoria interna do SGE e, no outro, fornecer auxílio para a tomada de decisão, bem como definir diretrizes para a auditoria de energia, incluindo a avaliação quantitativa (energética, econômica e ambiental) das soluções alternativas. Os resultados podem servir como insumos para as próximas fases do ciclo PDCA do SGE, qual seja a revisão gerencial.

4.9 REVISÃO GERENCIAL

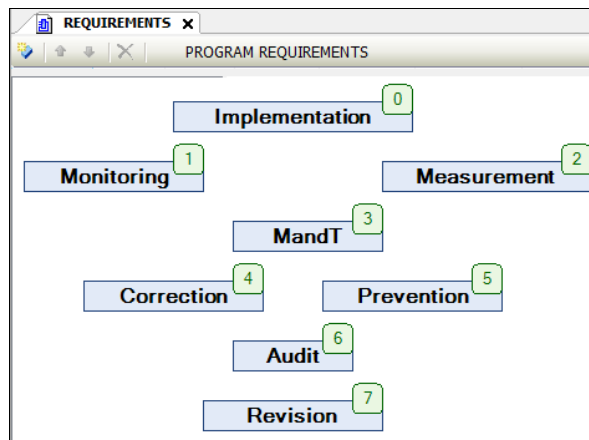
A POU REVISION pode ser usada para orientar o processo de revisão gerencial. Da mesma forma que o subsistema de auditoria, o código programado aqui fornece apenas auxílio para a tomada de decisão e orientações de acordo com exigências do SGE. A Tabela 7 mostra as entradas e saídas da revisão gerencial de acordo com a ISO50001.

Tabela 7. Entradas e saídas da revisão gerencial

Entradas	Saídas
Ações provenientes de versões anteriores	Mudanças no desempenho energético
Revisão da política energética	Mudanças na política energética
Desempenho energético e revisão de IDE	Alterações em IDE
Objetivos enérgicos e níveis de realização de metas	Alterações nos objetivos e metas
Avaliação de requisitos legais	Alocação de recursos
Resultados das auditorias do SGE	
Acompanhamento das ações corretivas e preventivas	
Desempenho energético projetado para o próximo período	
Recomendação de melhoria	

4.10 INTEGRAÇÃO DOS SUBSISTEMAS

A POU REQUIREMENTS desenvolvida na linguagem Gráfico Funcional Contínuo (CFC) – uma variante do FBD – é, então, declarada com o intuito de agregar todos os subsistemas apresentados anteriormente, permitindo o sequenciamento do aplicativo de acordo com diagramas de orientação ao objeto. Figura 29 mostra este programa de estruturação.

**Figura 29 POU REQUIREMENTS**

Finalmente, com a associação de tarefas para controle, instanciação do aplicativo, teste do projeto, correção da biblioteca, re-instanciação e endereçamento de entradas e saídas teremos a árvore de dispositivos de nível 2 no Soft-PLC como mostrado na Figura 30.

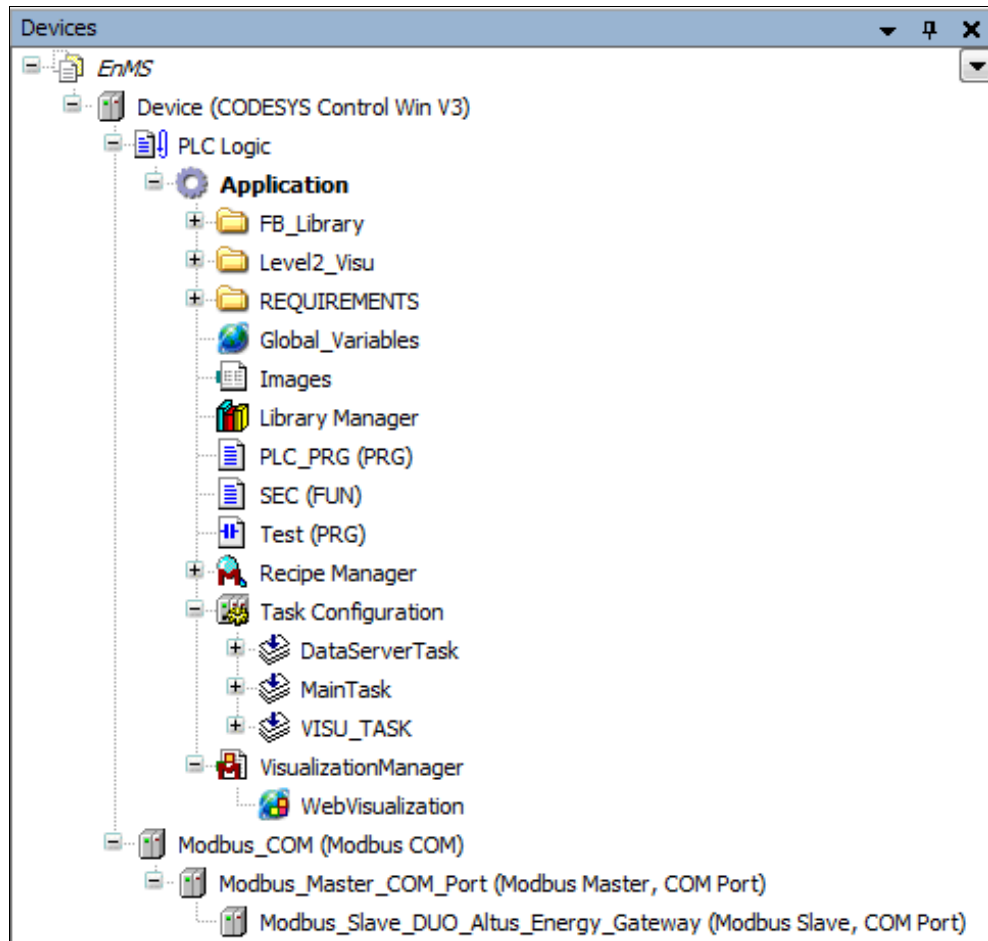


Figura 30 Explorador de projeto do Soft-PLC

O projeto inclui o desenvolvimento de sistemas supervisórios que, conforme mencionado anteriormente, são sistemas digitais de monitoramento e operação da planta que gerenciam variáveis de processo, também conhecidas como TAGs. O projeto do sistema de supervisão requer a criação de telas sinóticas que detalham o fluxograma do processo estaticamente e/ou detalhes do equipamento (objetos de exibição) usando ferramentas de softwares gráficos. A animação dá um caráter dinâmico para a tela. O design da tela deve ser escolhido de tal forma que reflita as prioridades de gestão de energia da organização, no nível em que a energia está sendo monitorada. No nível operacional, os gerentes da área de energia estão preocupados com o desempenho tecnológico de um processo, incluindo a energia usada pelo mesmo, o estado de energia do equipamento, picos de utilização de energia, etc. (VIKHOREV; GREENOUGH; BROWN, 2013). Os itens relevantes a serem exibidos incluem o uso de energia total durante um período de tempo específico, valores de potência

máxima e mínima e indicação de energia específica. A Figura 31 ilustra a estrutura de supervisão do SGE no nível 2.

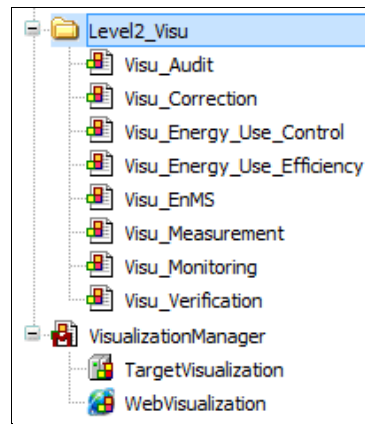


Figura 31 Estrutura de supervisão do SGE no nível 2

A necessidade de distribuição da função de controle, aliada a recursos de rede disponíveis em sistemas supervisórios e controladores programáveis exigem o desenho de redes industriais com protocolos específicos, em que os sistemas mencionados anteriormente são interligados. (CASTRO, 2010) Como mencionado anteriormente, a etapa de verificação do SGE baseia-se na interligação de controladores e E/S modulares via rede *fieldbus*. A solução proposta utiliza o protocolo MODBUS RTU sobre a interface RS485 no nível 1 para conectar os medidores com o *Energy Gateway* (que pode ser um controlador programável) e MODBUS RTU sobre RS232 para a ligação dos dispositivos de nível 1 com o *Energy Control* representado pelo Soft-PLC no nível 2. Na Figura 32, é possível visualizar a configuração Modbus de nível 2 no CODESYS (mestre) para a porta PC COM que conecta - via interface RS232 - com o CP DUO Altus (escravo) (ALTUS, 2013).

Name	Access Type	READ ...	L..	Error Handling	WRITE ...	L	Comment
READ_1	Read Coils (Function Code 01)	16#0400	1	Keep last Value			1024 (DUO: 1025 - %MX2872.8)
READ_2	Read Discrete Inputs (Function Code 02)	16#0400	2	Keep last Value			1024 (DUO: 1025 - %MX2936.8)
READ_3	Read Holding Registers (Function Code 03)	16#07CC	1	Keep last Value			1996 (DUO: 1997 - %MW1996)
READ_4	Read Input Registers (Function Code 04)	16#0000	1	Keep last Value			0 (DUO: 1 - %MW2000)
WRITE_1	Write Single Coil (Function Code 05)				16#0403	1	1027 (DUO: 1028 - %MX2872.11)
WRITE_2	Write Single Register (Function Code 06)				16#07C8	1	1992 (DUO: 1993 - %MW1992)
ECC_IN	Read Input Registers (Function Code 04)	16#0000	10	Set to ZERO			Process variables from ECC
ECC_PROD	Read Holding Registers (Function Code 03)	16#000A	52	Keep last Value			EAC week production reference
ECC_EE	Read Holding Registers (Function Code 03)	16#003E	52	Keep last Value			EAC week electrical energy reference

Figura 32 Configuração Modbus de nível 2

A Figura 33 mostra a configuração no nível 1 da porta de comunicação COM1 do CP DUO Altus (escravo) responsável pela comunicação com o Soft-PLC no PC. A Figura 33 ilustra também a configuração da porta COM2 (mestre) para comunicação com *Energy Gateways* secundários e/ou medidores de energia (escravos) (ALTUS, 2010).

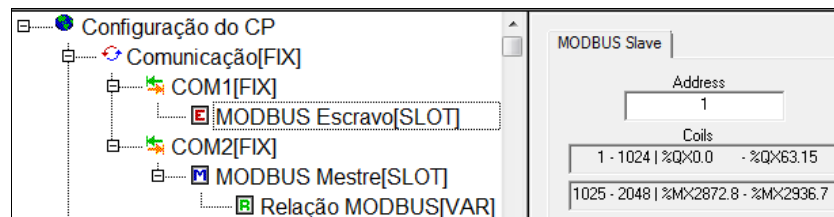


Figura 33 Configuração da comunicação do Energy Gateway

A fase de Testes Integrados é subdividida em duas: testes internos e de plataforma. Os testes internos utilizam recursos disponíveis no ambiente de programação para verificação e simulação do código gerado. Os testes de plataforma exigem a conexão dos sensores e, quando possível, dos atuadores, mas sem o processo industrial estar conectado.

A operação do sistema é baseada em ferramentas de supervisão. Dependendo da organização, dois ou mais níveis podem ser considerados, de acordo com a Figura 15. A ferramenta de visualização integrada do Soft-PLC CODESYS pode ser usada para traduzir para a equipe operacional no nível 2, os objetivos energéticos em curto prazo do nível 3 (planejamento energético). Além disso, no nível 3, um software de supervisão como, por exemplo, Indusoft Web Studio (INDUSOFT, 2012) pode ser empregado no âmbito do planejamento energético para consolidar todos os dados dos centros de custo energéticos e, de outro lado, para traduzir para a equipe de supervisão (nível 3) as políticas (nível 5) e objetivos (nível 4) enérgicos provenientes dos níveis de gestão da pirâmide de automação do sistema. Além disso, a ferramenta de supervisão deve fornecer um mecanismo de relatórios para colocar a informação certa nas mãos certas na hora certa (TRIPP; DIXON, 2003).

A última fase do projeto de automação e, é claro, uma das mais importantes é a Implantação. Pode ser especificamente caracterizada nos seguintes estágios: comissionamento, operação assistida, treinamento e aceite.

5 VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DO SISTEMA

Esta seção enfatiza um exemplo dos módulos de supervisão do nível 2, os quais fornecem interfaces gráficas e informações úteis para a equipe operacional de um centro de custo energético específico associado ao sistema de gestão de energia com base na ISO50001.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Com o objetivo de validar a plataforma proposta foi considerado um estudo de caso simulado relacionado a uma linha de envase de refrigerantes retornáveis conforme modelamento descrito na Tabela 4. Conforme previsto no modelamento, a linha de produção foi considerada como o centro de custo energético sob análise. Neste caso, o MGI no contexto do SGE, especificamente no nível 1 foi estruturado com as tecnologias mostradas anteriormente na Figura 16, incluindo a abordagem de controle distribuído, o uso de controladores compatíveis com a norma IEC61131 e a comunicação em tempo real via redes de campo.

Os dados referenciais do estudo de caso considerado compreendem um histórico de valores de produção e consumo de energia em um determinado período de tempo, derivando a partir destes os valores de linha de base e modelo de eficiência conforme indicado na Tabela 8.

Tabela 8. Dados históricos referenciais de produção e consumo de energia

Semana	Produção [hl]	Consumo [kWh]	Semana	Produção [hl]	Consumo [kWh]
1	150	140726	27	120	118.319
2	80	103223	28	190	152506
3	60	90764	29	80	99267
4	50	87567	30	90	94468
5	170	148000	31	180	140188
6	180	154773	32	70	91262
7	120	121575	33	50	78248
8	40	81436	34	155	128005
9	110	115586	35	167	131003
10	90	105909	36	120	109192
11	40	83916	37	63	84628
12	50	86272	38	110	108041
13	140	125892	39	70	89.115
14	155	138966	40	170	136388
15	165	139922	41	190	141428
16	190	152274	42	160	141215
17	40	77788	43	120	118319
18	55	82711	44	190	152506
19	150	124317	45	80	99267
20	80	94677	46	90	94468
21	63	84628	47	180	140188
22	110	108041	48	70	91262
23	70	89115	49	50	78248
24	170	136388	50	155	128005
25	190	141428	51	167	131003
26	160	141215	52	120	109192

5.2 SAÍDAS DO SISTEMA EM OPERAÇÃO

Em termos gerais, cada subsistema da plataforma do sistema de gestão de energia proposto tem uma tela específica para permitir ao operador de processo ou supervisor de linha acessar as metas da organização associadas ao consumo de energia. Além disso, a equipe de processo pode monitorar o desempenho do CCE e agir a partir deste, visando alcançar os objetivos propostos e atender os requisitos do SGE.

5.2.1 Implementação do sistema

A Figura 34 mostra a tela principal relacionada à implementação e verificação, a qual dá uma visão geral da estrutura do SGE e enumera os objetivos de curto prazo de energia

provenientes do nível de planejamento mais acima. É possível navegar também pela outras telas dos subsistemas usando os botões de seleção do menu principal.

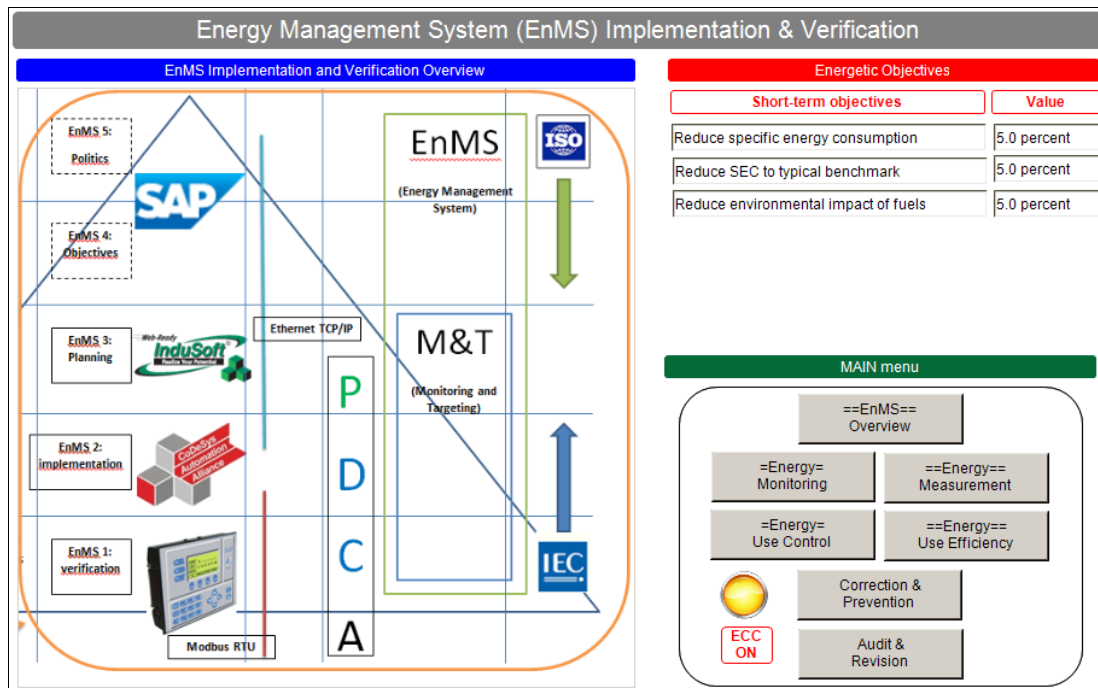


Figura 34 Tela de implementação e verificação do SGE no nível 2

5.2.2 Requisitos do SGE

Conforme mencionado anteriormente, os requisitos do SGE relativos ao CCE foram tratados como um projeto de automação baseado na IEC61131. Com a ajuda das ferramentas de programação orientada ao objeto foi possível gerenciar o controle de uso de energia e eficiência em um cenário de sistemas distribuídos. É importante traduzir esta metodologia para a equipe operacional, conforme exigido pela ISO50001 (4.5) que afirma que as pessoas em contato direto com sistemas energo-intensivos ou com o próprio SGE na empresa devem ser competentes com base em educação, treinamento, habilidades ou experiência. A Figura 35 mostra a tela de requisitos do SGE que desempenha um papel importante no auxílio à equipe de operação para compreender a estrutura de controle e eficiência no uso da energia alinhado com o sistema de gestão do CCE. O uso de *tooltips*, descrições detalhadas ou links de

treinamento *online* (por exemplo, treinamento em vídeo) para cada indicação de subsistema auxilia na capacitação da equipe no que se refere ao gerenciamento de energia.

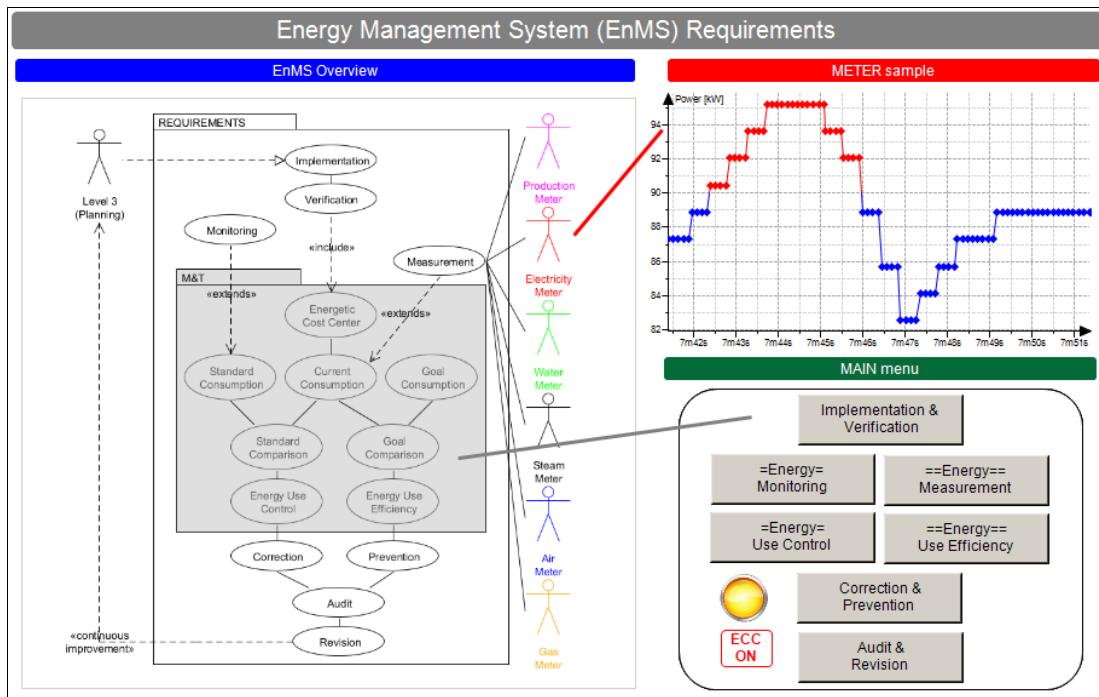


Figura 35 Tela de visão geral dos requisitos do SGE

5.2.3 Monitoramento de energia

A organização deve garantir que as características-chave de desempenho energético sejam monitoradas, medidas e analisadas, incluindo variáveis relevantes, indicadores de desempenho energético, eficácia do plano de ação e comparação entre o consumo energético esperado e o real como preconizado no item de verificação (4.6) da ISO50001.

Neste contexto, a metodologia de monitoramento e gestão de índices foi utilizada para estabelecer o perfil de consumo de energia com base na análise de dados históricos e definir metas de desempenho que sirvam como entradas para o controle e eficiência no uso da energia.

A Figura 36 mostra os seguintes itens relacionados ao módulo de monitoramento de energia: dados históricos do consumo de energia, dados da linha base energética obtida a partir dos dados históricos, a diferença entre os dados históricos e a linha de base, dados

históricos de produto e produção, bem como um gráfico mostrando o perfil da linha de base computada semanalmente.

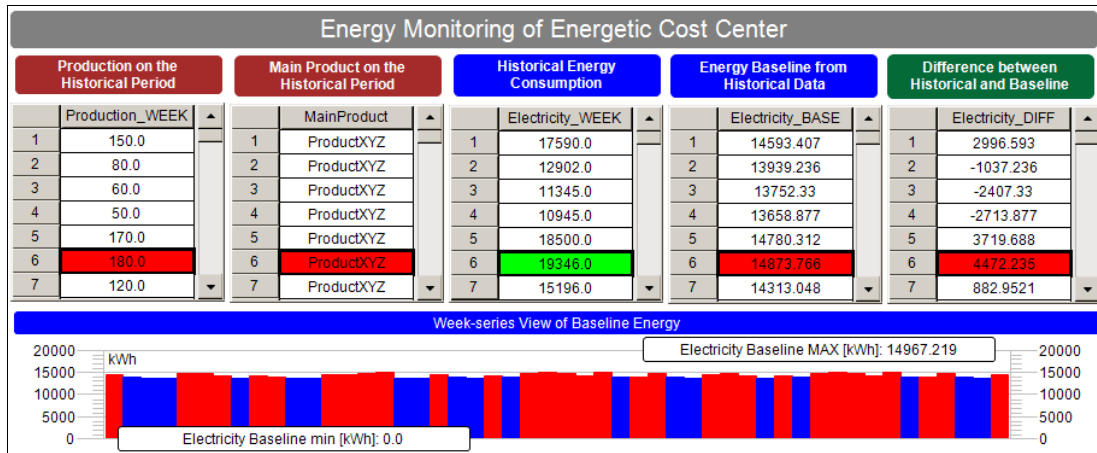


Figura 36 Módulo de monitoramento de energia

As informações mostradas na Figura 36 consolidam os dados de planejamento energético do nível 3 relativo à definição do período de histórico de consumo de energia.

Conforme ilustrado na Figura 37, este módulo exibe a tendência da linha de base energética, o desvio dos dados históricos em relação à linha de base, a soma cumulativa (CUSUM) desse desvio e o consumo específico de energia como resultado dos cálculos do programa de monitoramento de energia (Figura 26).

Finalmente, a tela mostra os modelos do centro de custo energético associados à linha de base e meta operacional, os quais podem ser usados para obter uma referência para detectar e corrigir os desperdícios energéticos de acordo com a metodologia de monitoramento e gestão de índices.

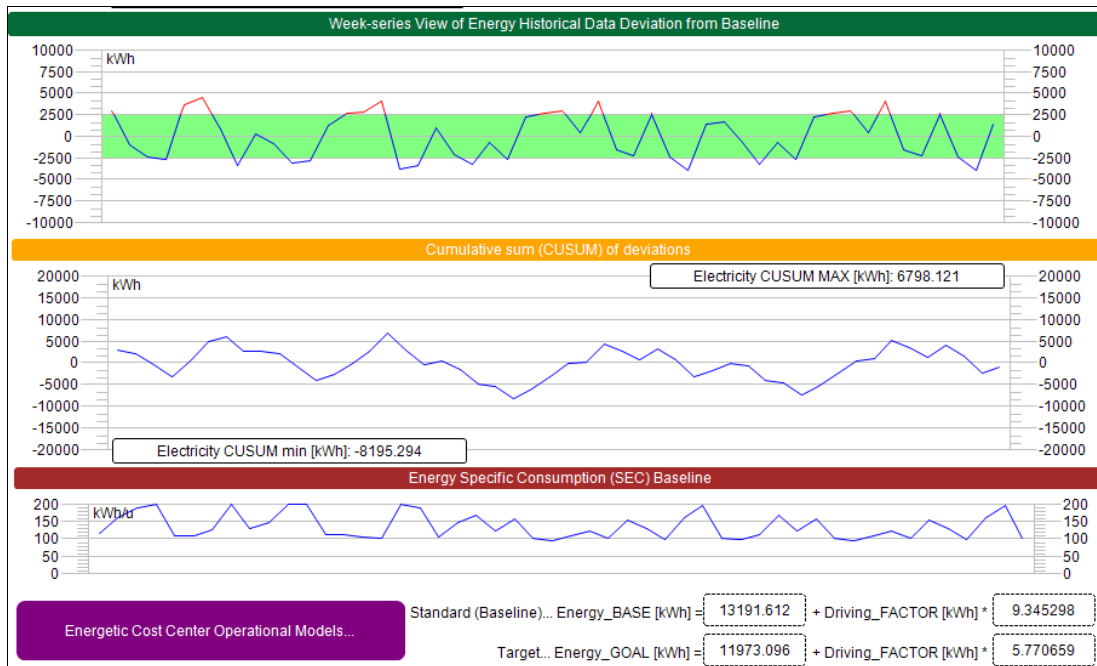


Figura 37 Resultados do monitoramento de energia

5.2.4 Medição de energia

De acordo com a ISO50001, ambos os resultados de monitoramento e medição de energia devem ser registrados. Em relação à medição, um planejamento específico deve ser definido e implementado. A Figura 38 mostra um exemplo da interface para o módulo de medição, permitindo o acesso da equipe operacional ao planejamento, registros e configuração dos sistemas e subsistemas de medição.

A empresa deve definir e rever periodicamente suas necessidades de medição, garantindo a consistência e a precisão dos dados fornecidos pelo sistema. Um desempenho pobre detectado durante um determinado período de análise também pode indicar uma falha no medidor (VELÁZQUEZ; GONZÁLEZ-FALCÓN; PÉREZ-LOMBARD, 2013). Os registros de calibração do equipamento de medição devem estar disponíveis. Em função disso, a plataforma proposta pode acomodar rotinas de gerenciamento de ativos compatíveis com a nova norma ISO55001 (baseada na BSI QAS55). Esta norma define a especificação de requisitos para um sistema de gestão integrada e eficaz para os ativos. A ideia aqui é propiciar uma melhor compreensão e utilização dos dados para permitir a tomada de decisão com base

em informações consistentes, planejamento detalhado e gestão de risco relativos aos equipamentos de medição (WOODHOUSE PARTERSHIP, 2012).

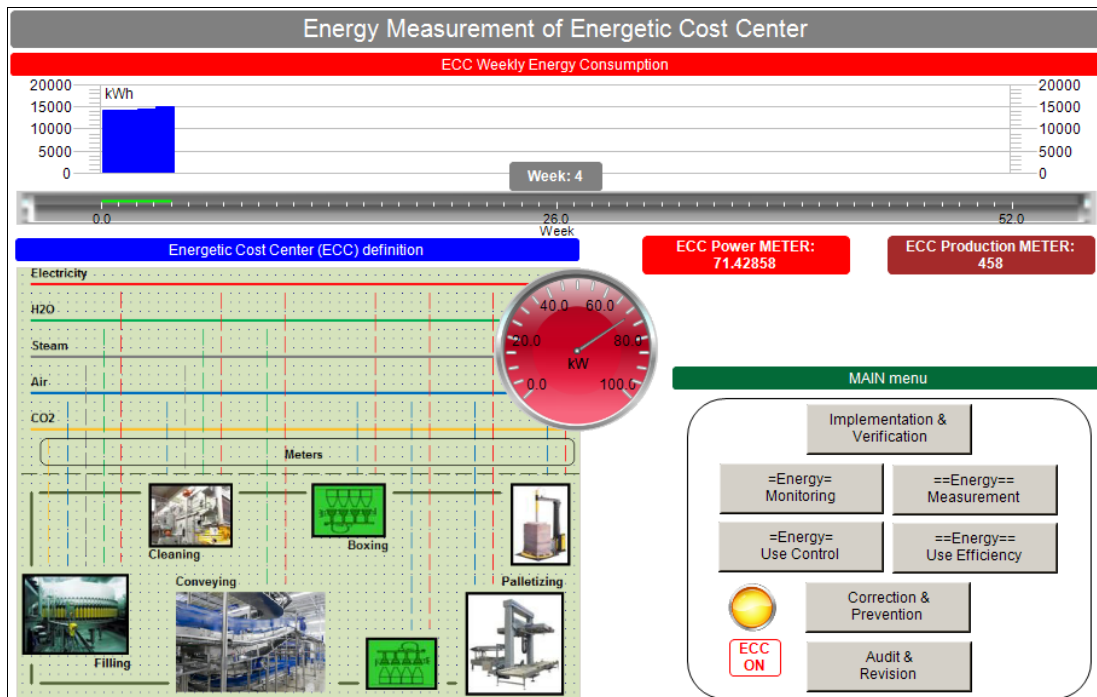


Figura 38 Módulo de medição de energia

5.2.5 Controle no uso da energia

A abordagem “contábil” da metodologia de monitoramento e gestão de índices possibilita às organizações atingirem e manterem níveis superiores de eficiência energética através da análise detalhada da energia medida (DOBES, 2013). Dados energéticos podem ser analisados em relação a determinados fatores que influenciam o uso da energia. Para tanto, o módulo de controle do uso de energia conforme mostrado na Figura 39 propicia a identificação do potencial de economia de energia basicamente através da comparação entre o consumo atual de energia e sua linha de base estabelecida no módulo de monitoramento.

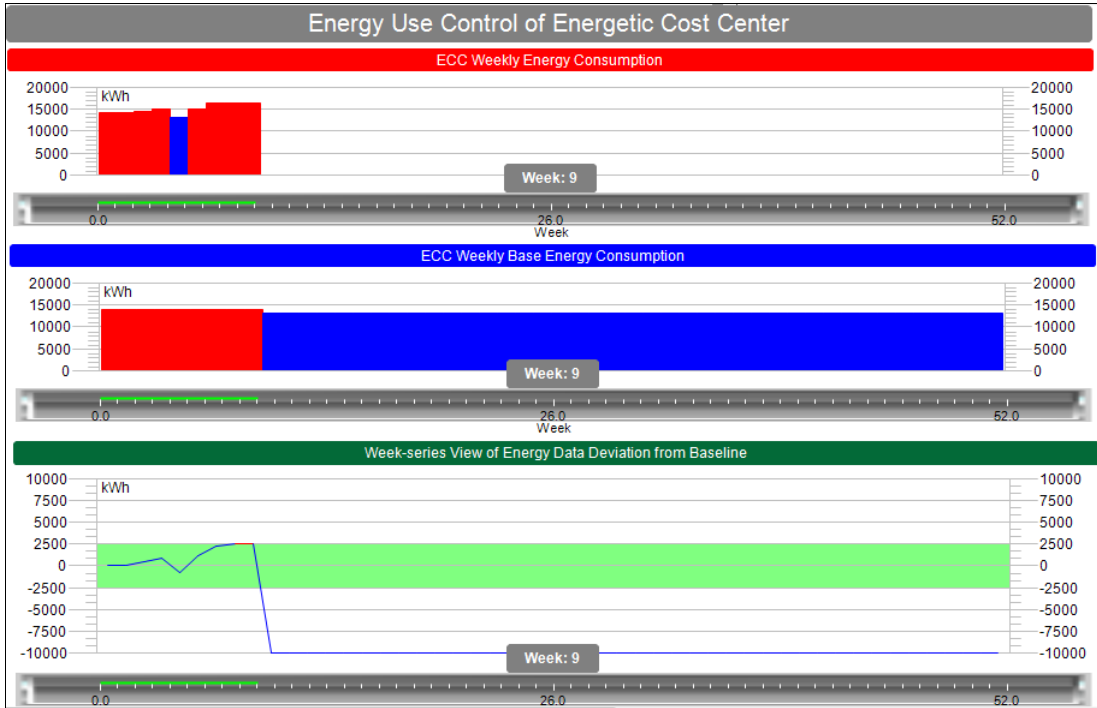


Figura 39 Módulo de controle do uso da energia

Além do consumo de energia atual e de linha de base do CCE e dos gráficos de desvio dos dados de energia em relação à linha de base, o módulo de monitoramento pode exibir a soma cumulativa dos desvios e o consumo específico de energia, como mostrado na Figura 40.

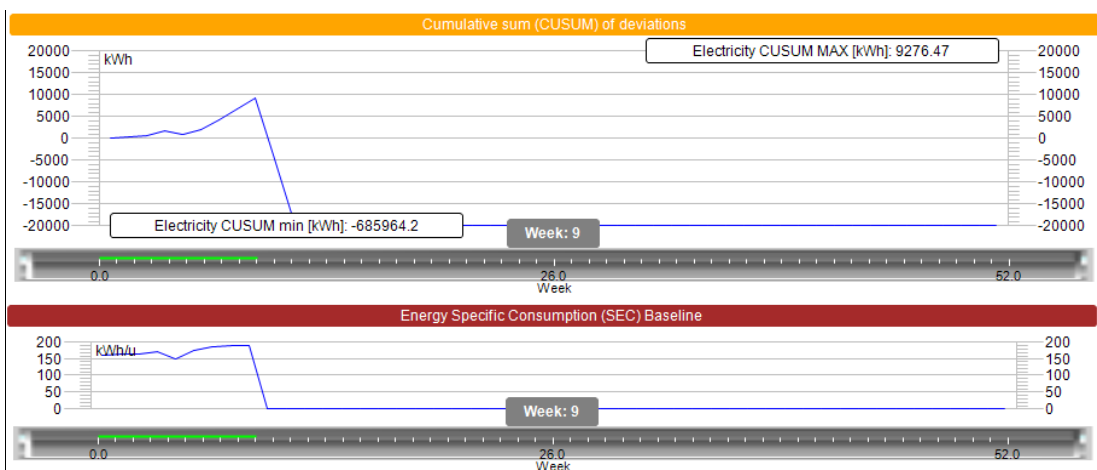


Figura 40 Gráficos de somas cumulativas e consumo específico

Os resultados deste módulo podem ser usados como entradas para orientar a implantação de ações associadas ao controle do uso de energia (conservação de energia) tais como, evitar operação sem carga de equipamentos, eficientização da iluminação, otimização dos ciclos de partida e parada dos dispositivos, eliminação de vazamentos (ar, água, vapor) e

limitação dos níveis de iluminação, temperatura, pressão, vazão e assim por diante no que se refere aos requisitos de utilização final (TRIPP; DIXON, 2003). Em muitos casos, o código apropriado pode ser adicionado ao aplicativo proposto com o objetivo de executar essas ações automaticamente em tempo real. As medidas de redução de custos identificadas geralmente exigem um investimento quase zero e tem um retorno curto (normalmente no prazo de 12 meses) (DOBES, 2013).

5.2.6 Eficiência na utilização da energia

Basicamente, os ganhos de eficiência provém de melhorias nos produtos individuais, aparelhos e equipamentos que utilizam energia (CHITTUM; TROMBLEY; ELLIOTT, 2010). O foco aqui é maximizar a eficiência, reduzir as perdas ou otimizar o fornecimento no caso de lâmpadas, motores elétricos e equipamentos do processo em uma abordagem no nível do dispositivo. Neste contexto as ações típicas são: manter as eficiências de combustão em níveis elevados, reduzir perdas de pressão, evitar o estrangulamento de ventiladores, bombas e compressores, utilizar dispositivos mais eficientes (bombas, compressores, caldeiras e motores), implementar a recuperação de calor para utilizar o calor residual, empregar esquemas de energia renovável, adotar a produção combinada de calor e sistemas de energia (cogeração), etc.

Neste contexto, o módulo de eficiência na utilização da energia, ilustrado na Figura 41 pode ajudar a equipe operacional a identificar oportunidades de economias de energia e melhorar o desempenho energético.

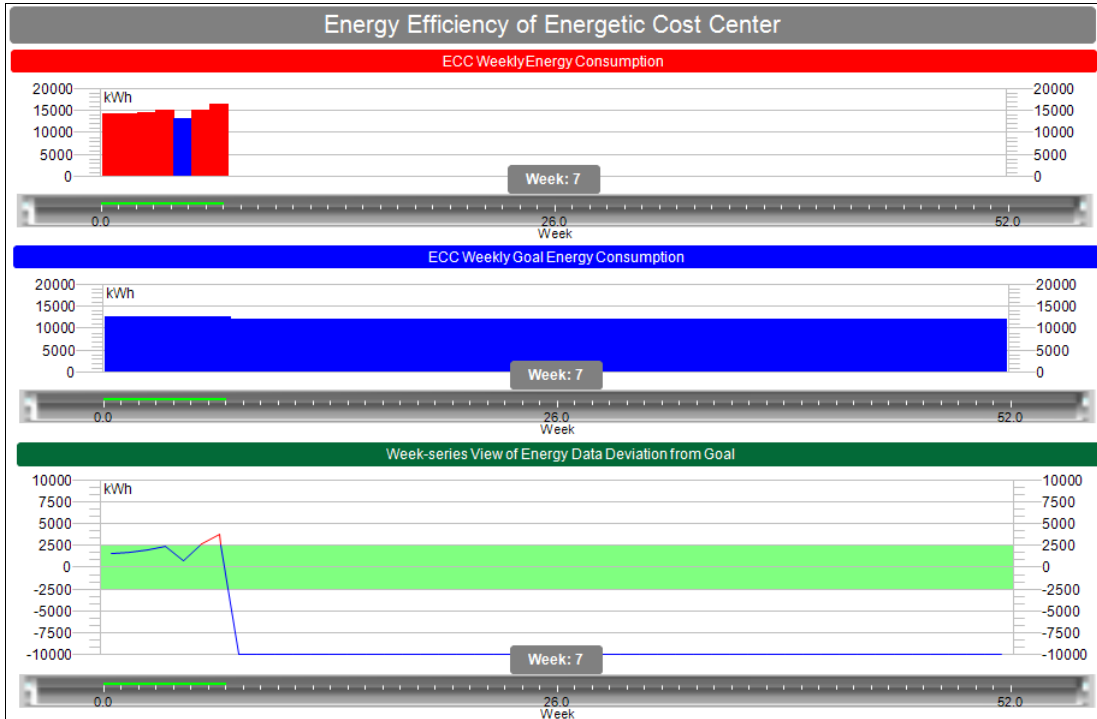


Figura 41 Módulo de eficiência na utilização de energia

Além disso, este módulo pode monitorar o consumo padrão de energia, servindo como uma referência para a implantação de ações de eficiência energética, com a ajuda da soma cumulativa dos desvios em relação a modelos de melhores práticas e perfis de consumo específico de energia conforme mostrado na Figura 42.

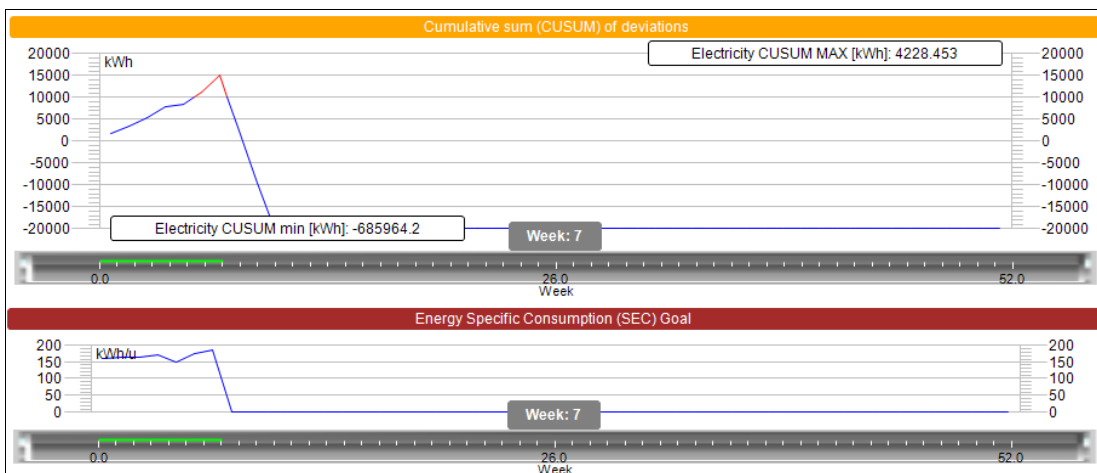


Figura 42 Gráficos de somas cumulativas e consumo específico de energia

A diferença básica entre o módulo de controle do uso da energia e o módulo de eficiência na utilização de energia é que o primeiro é usado para comparar o consumo de energia atual com a linha de base do padrão e o segundo com a linha de base da meta, gerando

insumos para o controle do uso da energia (gerenciado no programa CORRECTION) e melhoria da eficiência energética (gerenciado no programa PREVENTION) respectivamente.

A equipe envolvida com a eficiência energética deve estar ciente que, dependendo do estágio do SGE, as melhorias no nível de dispositivo eventualmente identificadas podem não ser suficientes para atender às demandas dos objetivos energéticos da organização. Este é o caso quando o SGE já está "rodando" na empresa e foram implementadas ações de eficiência típicas.

Neste cenário, ganhos significativos em eficiência energética dependem menos dos dispositivos próprios e mais das informações relativas ao uso dos equipamentos e serviços exigidos (TROMBLEY; ELLIOTT, 2012).

A obtenção de uma eficiência consistente nesse modelo requer uma combinação de ações comportamentais e ferramentas tecnológicas com interação dinâmica. Esta convergência de conhecimentos remete a uma eficiência caracterizada como “inteligente”, a qual é definida como uma abordagem holística, baseada em estratégias de economia de energia, compatível com tecnologias de informação e comunicação e que permite ao usuário o acesso a informações em tempo real (TROMBLEY; ELLIOTT, 2012). Existem três tipos de eficiência inteligente:

- centradas nas pessoas – baseada em informações de tempo real e ferramentas de gerenciamento que permitem que a equipe operacional atue de forma efetiva com o objetivo de reduzir os níveis de consumo de energia em resposta às novas entradas do sistema. Exemplo: visualização da economia de combustível.
- centrada em tecnologia – baseada na automação e otimização do uso da energia. Exemplo: sistemas de transporte inteligentes.

- orientada a serviços – fundamentada na redução das atividades de consumo intensivo de energia através de ações comportamentais e alterações na infraestrutura.

Novamente, a plataforma proposta está bastante alinhada com o estado da arte em termos de sistemas de eficiência energética uma vez que a mesma está centrada em um aplicativo de automação que direta ou indiretamente pode integrar todos os tipos de eficiência inteligente listados anteriormente.

5.2.7 Ações preventivas e corretivas

Uma vez que a energia e seu consumo específico estejam efetivamente monitoradas, a organização é capaz de identificar o quanto o uso da energia depende de ações controláveis e quanto é devido a variáveis externas não controláveis (OLAJIRE, 2012). Com a ajuda dos módulos descritos anteriormente, a equipe do SGE deve implementar ações corretivas e preventivas baseadas no controle e eficiência do uso da energia, respectivamente. O tipo de ação de eficiência energética depende da utilização final. Uma análise criteriosa das condições operacionais poderia então ser compartilhada no âmbito da organização, resultando em mudanças nas variáveis controláveis dentro dos limites de segurança aceitáveis e objetivando uma economia de energia consistente (VELÁZQUEZ; GONZÁLEZ-FALCÓN; PÉREZ-LOMBARD, 2013). A fim de monitorar a eficácia das ações nos centros de custo energéticos, um módulo específico no sistema de supervisão intermediário pode ser empregado. A Figura 43 mostra um exemplo da tela do módulo de ações.

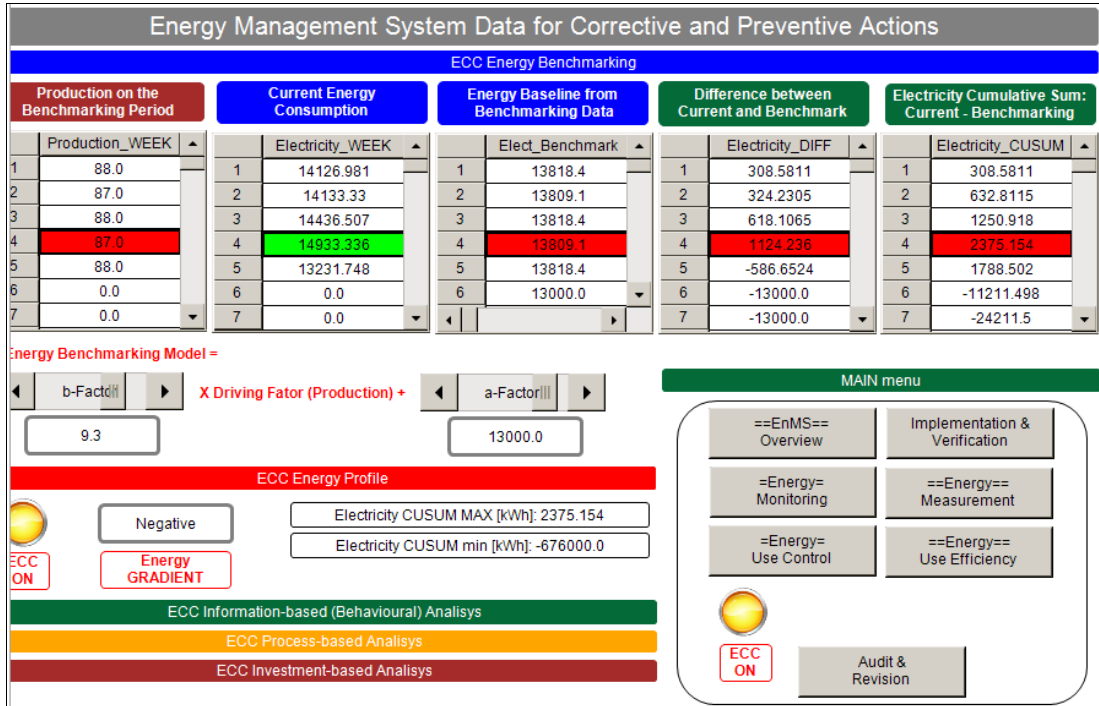


Figura 43 Módulo de ações corretivas e preventivas

Atividades de benchmarking, bem como ações comportamentais, baseadas em processo e em investimentos podem ser gerenciadas em uma estrutura hierárquica de telas.

Este módulo deve abranger as atividades globais do centro de custo energético no que tange ao uso da energia, não simplesmente a eficiência mensurável de um único processo. Deve-se atentar para outras eficiências complementares: a eficiência de uma determinada ação ou processo, buscando-se fazer o mesmo, mas com menos energia; e a eficiência associada às mudanças nos sistemas e no comportamento a fim de usar menos energia em um espectro mais amplo (IEC, 2010). Para tanto, as informações disponíveis podem incluir o acompanhamento de planos de ação e resultados mais recentes sobre o atual consumo de energia quando comparado com a referência estabelecida ou meta. Além disso, o "gradiente de energia" calculado no aplicativo, o qual é baseado nas somas cumulativas é exibido aqui, indicando uma tendência positiva ou negativa das medidas de eficiência energética.

5.2.8 Auditoria e revisão energética

O módulo de auditoria e revisão energética ilustrado na Figura 44 abrange os seguintes elementos:

- auditoria interna do SGE de acordo com os procedimentos da ISO50001;
- auditoria de energia que inclui o exame e análise de todos os itens relacionados ao consumo de energia;
- processo de revisão gerencial de acordo com as diretrizes da ISO50001.

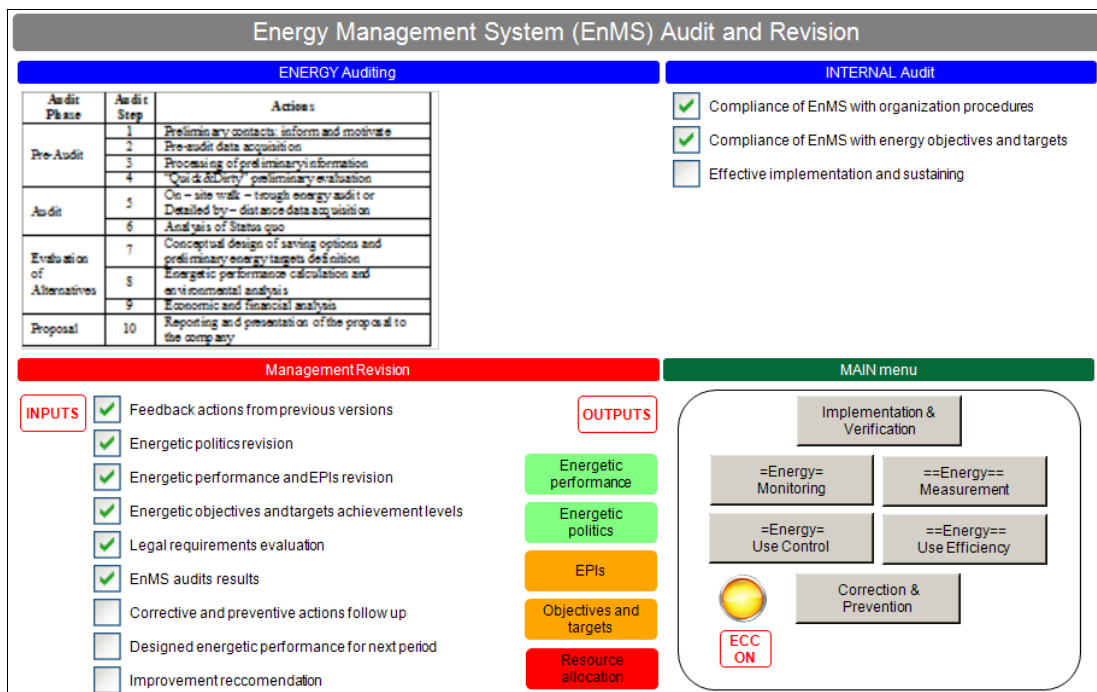


Figura 44 Módulo de auditoria e revisão energética

O desempenho energético do CCE pode ser rastreado através de relatórios de gestão de energia gerados por este módulo, garantindo que as informações exibidas possam ser facilmente compreendidas, interpretadas e aplicadas pelos seus utilizadores potenciais.

O auxílio à tomada de decisões e as diretrizes associadas aos requisitos do SGE, incluindo as entradas e saídas da revisão gerencial de acordo com a ISO50001 devem estar disponíveis neste módulo para acesso pela equipe operacional.

Algumas telas neste módulo podem apoiar a implantação do programa de gestão de energia incluindo a nomeação de um gerente de energia responsável pela conscientização da

equipe, estabelecimento de metas, desenvolvimento de planos de ação, monitoração do progresso, implementação de projetos, comunicação dos resultados e divulgação do sucesso das medidas adotadas com o objetivo de demonstrar à equipe operacional a importância de tal programa (CIPEC, 2008).

Recursos gráficos adicionais (pizza, barra e linha), relatórios, tendências, dados de historiador, mensagens e alarmes, por exemplo, podem ser usados para implementar um sistema de informações completo relacionado à energia.

Deve-se considerar também que a integração bem sucedida dos aspectos de eficiência energética no processo decisório da empresa requer uma avaliação econômica. Desta forma, o aplicativo de automação pode conter cálculos relacionados a essa análise, tais como *payback*, bem como métodos do valor presente líquido, valor anualizado ou taxa interna de retorno. Os resultados desses cálculos podem ser exibidos no sistema supervisor, talvez com algumas restrições dependendo das permissões de usuário.

Finalmente, a aplicação e supervisão podem incluir, respectivamente, unidades de organização de programa e módulos que implementem procedimentos relacionados aos padrões de avaliação de energia. Sistemas de avaliação coletam e analisam informações dentro do escopo do projeto do empreendimento industrial, sua operação, o uso da energia e dados de desempenho. Esta informação é utilizada para identificar melhorias no âmbito da eficiência energética, as quais irão otimizar o uso ou desempenho da energia do sistema. Uma avaliação também pode contemplar recomendações adicionais para melhorar a utilização de recursos, reduzindo os custos de produção unitários e melhorando o desempenho ambiental relacionado com os sistemas avaliados (TUTTEROW; CRANE, 2010).

Procedimentos adicionais obtidos a partir de guias de oportunidades de eficiência energética na indústria publicados por órgãos setoriais governamentais ou mesmo privados, associados à energia podem ser incluídos nesse módulo. Tomando como base o estudo de

caso proposto, a Tabela 9 mostrada na sequência procura sumarizar os resultados potenciais oriundos da implementação da plataforma de gestão de energia que integra a metodologia de monitoramento e gestão de índices de energia.

Tabela 9. Resultados da implementação da plataforma de gestão de energia

Tópico avaliado	Resultado previsto	Observações
Dimensionamento dos recursos materiais e humanos necessários para o desenvolvimento da plataforma	Comparativamente à aquisição de um software de gerenciamento de energia de mercado, os custos tendem a ser menores (na faixa de 40%) em função da utilização de hardware compatível com a IEC61131 (muitas vezes com uma base instalada já disponível na empresa) assim como a disponibilidade de recursos humanos com competência no projeto de automação e sistemas de supervisão.	Alguns itens secundários podem exigir quantificações adicionais em função de sua complexidade. Vale ressaltar que existem outras formas para estimar esforço e prazo em projetos com destaque para as Curvas de Rayleigh-Norden que analisam a distribuição do esforço ao longo do tempo, bem como a Equação de Software proposta por Putnam derivada a partir dessa distribuição temporal.
Desenvolvimento da plataforma	O tempo e custo para o desenvolvimento do aplicativo de controle apresentam ganhos da ordem de 5 a 30% (FONSECA, M. DE O., SEIXAS FILHO, C., BOTTURA FILHO, 2008) em relação a um projeto convencional de automação em função da adoção de uma plataforma normatizada.	Em alguns casos, informações adicionais devem ser buscadas para complementar o escopo do projeto. Estão incluídos aqui os estudos de viabilidade técnica e econômica, as rubricas de investimento, as taxas de retorno envolvidas, estudos de benchmarking e impacto social.
Testes integrados	O tempo e o esforço destinados à realização dos testes internos e de plataforma podem ser reduzidos na faixa de 10 a 25% (FONSECA, M. DE O., SEIXAS FILHO, C., BOTTURA FILHO, 2008) em relação a um projeto convencional de automação.	Os testes internos se valem dos recursos disponíveis no ambiente de programação para verificação e simulação do código gerado. Já os testes de plataforma exigem a conexão dos medidores, mas sem o processo industrial presente.
Comissionamento do sistema	O tempo e o esforço destinados comissionamento do sistema (posta em marcha, operação assistida, treinamento e aceite) são	As condições de operação devem ser avaliadas a partir do software em dois aspectos principais: normal e contingencial.

	reduzidos de 5 a 15% (FONSECA, M. DE O., SEIXAS FILHO, C., BOTTURA FILHO, 2008) em relação a um projeto convencional de automação.	
Hardware e ambiente de programação	Hardware e software baseados na IEC61131.	Sistemas tradicionais de gestão de energia adotam normalmente hardware e ambiente de programação proprietários dificultando a estruturação, modularização e reutilização do código, o que se traduz em maior tempo, esforço e custo de desenvolvimento.
Coleta de dados a partir do chão de fábrica	Integração facilitada pelo enfoque BOTTOM-UP previsto na IEC61131 e pela inserção da plataforma no contexto da pirâmide de automação da planta.	Os sistemas de gestão de energia de mercado são essencialmente gerenciais, procedurais e de relatório e, muitas vezes, não preveem a coleta de dados a partir do chão de fábrica em tempo real.
Integração com sistemas de gestão e qualidade	Integração facilitada pelo enfoque TOP-DOWN previsto na IEC61131 e pela inserção da plataforma no contexto da pirâmide de automação da planta.	Os sistemas de gestão de energia de mercado integram naturalmente os requisitos demandados pela normatização.
Eficiência Energética	A implantação do SGE + MGI prevê economias da ordem de 5% a 25% (SILVA FILHO, 2004) no que se refere ao consumo energético dependendo do estágio de efficientização da organização com resultados mais imediatos do que os sistemas tradicionais em função do monitoramento constante dos ativos de energia.	A eficiência energética está associada ao uso racional e sensato da energia, buscando reduzir as perdas na cadeia energética. Esta cadeia consiste das atividades de operação dos equipamentos da planta como motores, bombas, maquinário, iluminação e aquecimento.

5.3 AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE IMPLEMENTAÇÃO

Com o objetivo de avaliar a efetividade dos resultados decorrentes da adoção da plataforma proposta foi realizada uma análise comparativa desta com uma solução customizada de mercado visando a implementação de um sistema de gerenciamento de energia fundamentado na ISO50001, agregando a técnica de monitoramento e gestão de índices. O estudo de caso foi baseado nas instalações fabris uma indústria de grande porte engarrafadora de refrigerantes composta por cinco linhas de envase conforme leiaute ilustrado na Figura 45. Em consonância com o que foi descrito anteriormente, cada linha de produção pode ser considerada um centro de custo energético, sendo que o CCE referencial utilizado no estudo de caso está enfatizado nesta mesma figura.

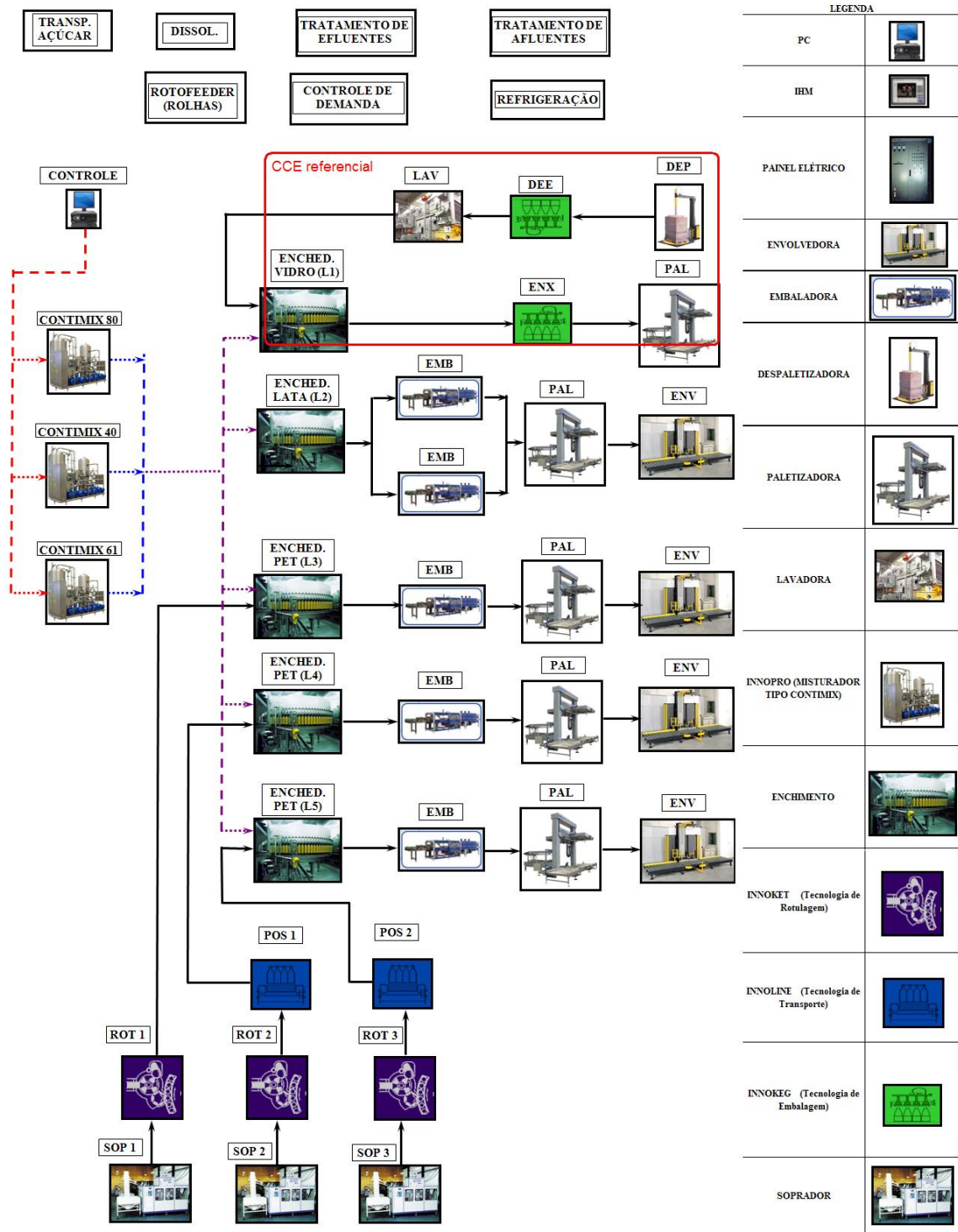


Figura 45 Leiaute das instalações do estudo de caso

A título de benchmarking foi selecionada uma metodologia de gerenciamento de energia com ênfase em eficiência energética proposta por uma empresa de grande porte do mercado.

A empresa escolhida atua em toda a cadeia de conversão e gerenciamento de energia através de componentes, produtos, soluções e serviços. No ano fiscal de 2013, o faturamento do setor de energia da empresa foi de 26,6 bilhões de euros, registrando um lucro de cerca de 2 bilhões de euros.

O conceito utilizado pela empresa está baseado nas etapas de detecção, avaliação e implantação. O sistema se propõe a oferecer soluções de hardware e software para visualização dos recursos energéticos e posterior garantia do seu controle. Na etapa de detecção, dispositivos e softwares adquirem, exibem e analisam o fluxo de energia na planta, subsidiando, na sequência, a reconfiguração do processo a partir do entendimento do consumo real de energia. Os dados são armazenados para permitir uma primeira avaliação do potencial de economia embasando também o gerenciamento energético.

A partir dos parâmetros coletados na planta, a fase de avaliação utiliza ferramentas de software que calculam o potencial de redução de custos e a relação custo-benefício das medidas priorizando o sistema de acionamento nos níveis de campo, controle, supervisão e gerencial.

Por fim, a implantação envolve medidas específicas que permitem que a redução de custos potencial possa ser alcançada. Neste caso, há um foco especial na tecnologia de acionamentos, dada a sua importância no contexto da demanda de energia industrial. Cada uma dessas etapas se vale de soluções em hardware e software para compor o sistema. A Tabela 10 sumariza essas soluções.

Tabela 10. Soluções do sistema referência para gerenciamento energético

Detecção	Multimedidores de grandezas elétricas; Relés inteligentes; Dispositivos de partida suave; Transformadores de corrente e potencial; Disjuntores, relés e contadoras.
Avaliação	Software de seleção e configuração de acionamento; Ferramenta para gestão energética no nível corporativo; Biblioteca com funcionalidades de energia para utilização no supervisão; Dispositivo de desligamento automático das cargas; Software para cálculo, com base nas características da planta, do tempo de retorno do investimento realizado em motores ou conversores de frequência; Sistema de automação baseada em PC para controle distribuído.
Implantação	Motores; Fontes de alimentação; Barramentos blindados; Dispositivos de correção de fator de potência; Conversores de frequência; Painéis com segurança e eficiência térmica.

No tocante ao recursos necessários para o desenvolvimento do SGE, a Tabela 11 mostra o dimensionamento dos componentes, materiais e elementos básicos fazendo uma comparação entre a alternativa customizada utilizada como benchmarking, denominada de CUSTOM e a plataforma proposta nesse trabalho, caracterizada, na Tabela 11, como SGE.

Tabela 11. Comparativo do dimensionamento dos recursos materiais

Descrição do recurso material	QTDE	Escopo	Custo [USD] Custom	Custo [USD] SGE
<i>Energy Gateway</i> (CP com IHM integrada)	7	nível 1 - SGE		10000
Relés inteligentes	7	nível 1 - Custom	10000	
<i>Energy Control</i> (PC industrial)	1	PC - SGE		10000
Sistema de automação baseada em PC	1	PC - Custom	15000	
Ambiente de programação IEC61131-3 (PSE)	1	PSE - SGE		0
Ambiente de programação (PSE)	1	PSE - Custom	10000	
Sistema supervisão para operação no nível 2	0	SCADA - SGE		0
Sistema supervisão para operação no nível 2	1	SCADA - Custom	10000	
Biblioteca com funcionalidades de energia do supervisão	1	Tool SCADA	1000	
TOTAL:			46000	20000

Os recursos materiais considerados no nível 1 da pirâmide de automação são os controladores programáveis (denominados de *Energy Gateway* no contexto do SGE proposto conforme Figura 16) e os relés inteligentes previstos na solução CUSTOM.

As funcionalidades de tais dispositivos são similares, porém o *Energy Gateway* apresenta uma vantagem tecnológica relevante em relação aos relés inteligentes, visto que agrega, na solução ora proposta, a flexibilidade proporcionada pela programação compatível com a norma IEC61131-3, contemplando, já na base do sistema, recursos multitarefa, modularização, estruturação e reutilização de software.

No nível 2 da arquitetura ilustrada anteriormente na Figura 15 estão os dispositivos associados à automação baseada em PC (*Energy Control* no caso do SGE) e os ambientes de programação. A solução proposta utiliza também neste nível hardware e software compatíveis com a IEC61131, ampliando a flexibilidade do sistema no que tange ao desenvolvimento das aplicações de controle relacionadas ao gerenciamento energético.

Ressalta-se que o SGE adota um ambiente de programação com supervisor integrado, o que facilita a troca de dados entre tais sistemas, dispensando a adoção de uma ferramenta de supervisão adicional, como é o caso da solução CUSTOM.

O gráfico da Figura 46 sumariza a comparação apresentada previamente na Tabela 11.

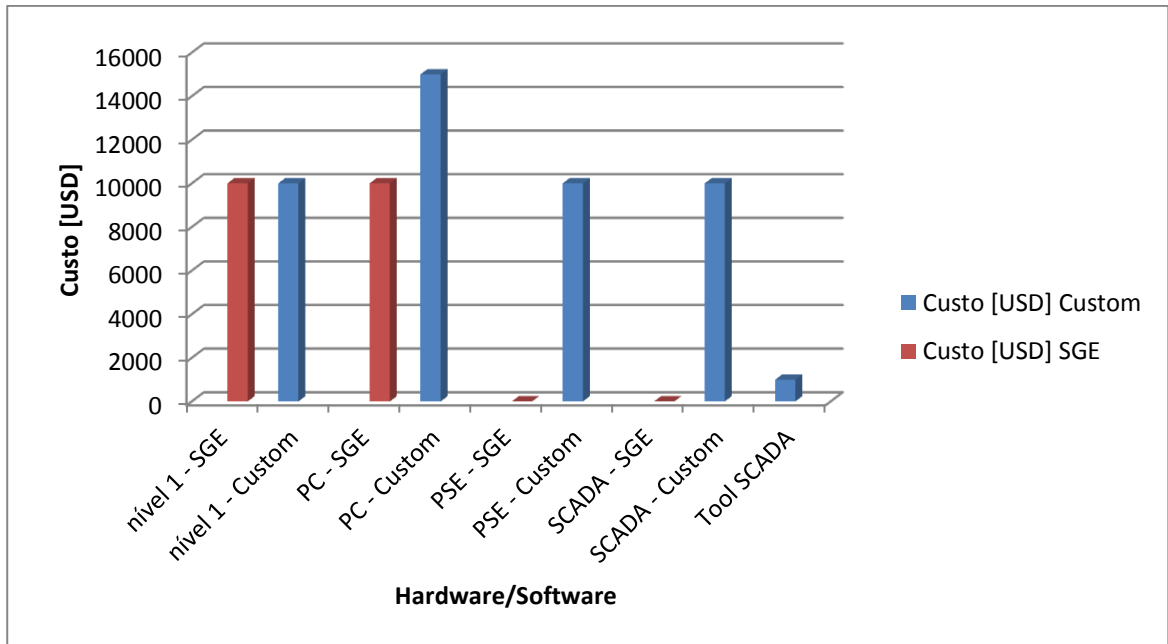


Figura 46 Módulo de auditoria e revisão energética

A análise dos custos associados aos recursos materiais demonstra que a plataforma proposta nesse trabalho apresenta uma estimativa de custo 56% menor do que a versão customizada de mercado.

Conforme mostrado na Figura 46 destaca-se que, no âmbito do ambiente de programação, o sistema proposto é vantajoso, não somente pela concepção de plataforma aberta e normatizada, mas também pelo fato de incluir uma ferramenta de supervisão sem agregar custo ao sistema.

Em relação aos recursos humanos, a Tabela 12 detalha a distribuição e o montante das horas de projeto previstas para o desenvolvimento dos sistemas que são objeto de comparação.

Tabela 12. Distribuição e o montante das horas de projeto

Fase do Projeto	Detalhamento da Atividade	ID Atividade	Horas Custom	Horas SGE
Escopo	Documentação técnica	Documentação		40
Especificação	Decomposição do sistema (modelamento)	Modelamento		40
	Especificação funcional via POO	POO		120
Desenvolvimento	Projeto da automação: POU's e instanciação	POUs		240
	Projeto da supervisão	SCADA		120
	Projeto da rede	E/S		60
Testes	Testes internos	Depuração		120
	Correção da biblioteca e re-instanciação	Correção		40
	Testes de plataforma	Testes		120
Implantação	Comissionamento	Startup		280
			Detecção	120
			Avaliação	400
			Implantação	280
			Total de horas:	800
				1180

O gráfico da Figura 47 ilustra o detalhamento da distribuição de horas da Tabela 12 referente ao projeto do SGE.

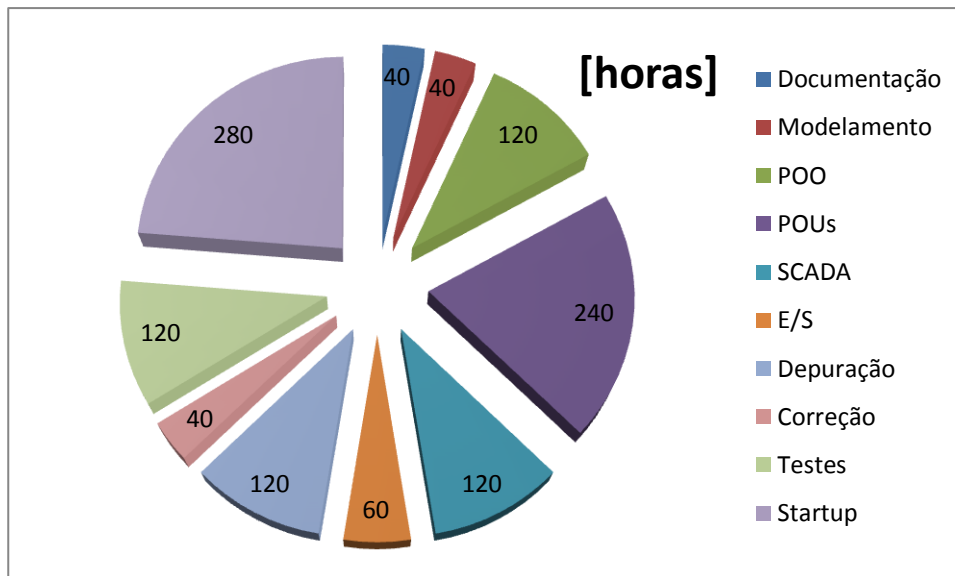


Figura 47 Distribuição de horas do SGE

O gráfico da Figura 48 ilustra o detalhamento da distribuição de horas da Tabela 12 referente ao projeto customizado.

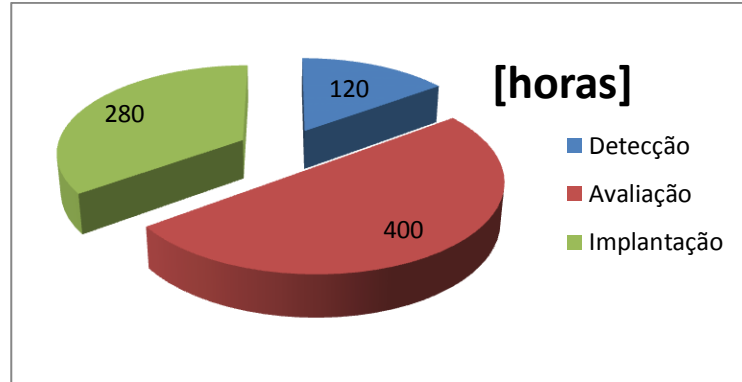


Figura 48 Distribuição de horas da customização

A análise dos custos associados aos recursos humanos demonstra que a plataforma proposta nesse trabalho apresenta uma estimativa de custo 32% menor do que a versão customizada de mercado.

Se for considerada a ampliação do sistema visando atender também as outras quatro linhas de envase ilustradas na Figura 45 estima-se que, utilizando recurso humano interno com formação em metodologia de projeto de automação baseado na IEC61131, treinamento anterior no desenvolvimento de sistemas de gestão de energia e prévio acompanhamento da implementação no centro de custo energético piloto, a empresa terá o domínio interno da tecnologia necessária para garantir a difusão do gerenciamento energético em todos os CCEs do processo produtivo.

No caso da opção pela plataforma SGE, estima-se que a taxa de reaproveitamento de código é superior a 80% dada a similaridade das linhas de produção que, em relação à linha piloto, agregam as máquinas embaladoras. Dada a sua modularidade, a solução customizada, mesmo não integralmente aderente à IEC61131, obviamente também permite a reutilização de código, porém demanda parametrização e configuração adicional, pois envolve a necessidade de agregação de elementos de software e hardware originalmente disponíveis na forma de ferramentas isoladas para compor a solução final. Vale ressaltar também o custo que pode advir da replicação de algumas dessas ferramentas.

Para ilustrar os resultados que podem ser obtidos com a implantação do monitoramento e gestão de índices foi selecionada uma aplicação de bombeamento na máquina lavadora da linha de retornáveis, onde identificou-se através dos gráficos de consumo de energia do equipamento, a possibilidade de alteração do perfil de operação de uma das bombas para um ponto de menor vazão em determinado período, justificando a adoção de um acionamento eletrônico (conversor de frequência) no lugar da válvula de estrangulamento.

O ciclo de trabalho otimizado está mostrado na Tabela 13 onde estão informadas as vazões demandadas e seu período de tempo associado, considerando um regime de operação de dois turnos diários (8 horas/dia), 6 dias/semana, 4 semanas/mês e 12 meses/ano, totalizando 4608 horas/ano.

Tabela 13. Ciclo de trabalho do sistema de bombeamento

Ponto de operação	Vazão [m ³ /h]	Período [h/ano]
Pleno	20	2304
Parcial 1	15	1152
Parcial 2	10	1152

Total [h/ano]: 4608

A Tabela 14 mostra a situação atual com utilização de válvula de estrangulamento no sistema de bombeamento.

Tabela 14. Memória de cálculo da operação com válvula de estrangulamento

Ponto	Vazão	Período	Pressão	Densidade relativa	Potência hidráulica	Rendimento da bomba	Potência mecânica	Rendimento acoplamento	Potência eixo motor	Carregamento motor	Rendimento do motor	Potência entrada	Energia	Custo específico	Custo
	Q	t	H	ρ_r	Ph	η_b	BHP	η_a	Pelet	%	η_m	Pi	E	Cesp	R\$/ano
	[m ³ /h]	[h]	[mca]		[hp]	%	[hp]	%	[kW]	%	%	[kW]	[kWh]	R\$/kWh	R\$/ano
1	40	4608	100	1	14,60	58	25,17	97	19,36	102,17	92	21,04	96955,66	0,2439	23647,49

E [kWh] 96955,66 R\$: 23647,49

A Tabela 15 mostra a situação atual com utilização de acionamento eletrônico no sistema de bombeamento.

Tabela 15. Memória de cálculo da operação com acionamento eletrônico

Ponto	Vazão	Período	Pressão	Densidade relativa	Potência hidráulica	Rendimento da bomba	Potência mecânica	Rendimento acoplamento	Potência elétrica	Carregamento motor	Rendimento do motor	Potência entrada	Energia	Custo específico	Custo
	Q	t	H	ρ_r	Ph	η_b	BHP	η_a	Pelet		η_m	Pi	E	Cesp	
	[m ³ /h]	[h]	[mca]		[hp]	%	[hp]	%	[kW]	%	%	[kW]	[kWh]	R\$/kWh	R\$/ano
1	40	2304	100	1	14,60	58	25,17	97	19,36	102,17	92	21,04	48477,83	0,2439	11823,74
2	20	1152	70	1	5,11	40	12,77	97	9,82	59,60	93,35	10,52	12123,35	0,2439	2956,89
3	20	1152	70	1	5,11	40	12,77	97	9,82	59,60	93,35	10,52	12123,35	0,2439	2956,89
													E [kWh]	72724,54	R\$: 17737,51

A partir da análise das tabelas anteriores constata-se uma economia de energia da ordem de R\$ 5.909,97. Se for considerado o custo de aquisição de um conversor de frequência como sendo de R\$ 5.000,00, o tempo de retorno do investimento será de aproximadamente 11 meses. Em termos percentuais, a economia resultante é de 25% conforme estimativa indicada na Tabela 9.

Em relação ao programa aplicativo, esta alternativa de efficientização do sistema de bombeamento de água da lavadora de garrafas poderia ser implementada através da inclusão de uma ação SFC (A2_Behavioural) no passo correspondente, no programa CORRECTION. Nesta ação poderia ser instanciado, a partir da biblioteca de POUs, um bloco funcional que permita a operação remota pelo sistema de supervisão e o comando do conversor de frequência. A Figura 49 mostra a rede de chamada desse bloco funcional considerando os três pontos de operação do acionamento eletrônico.

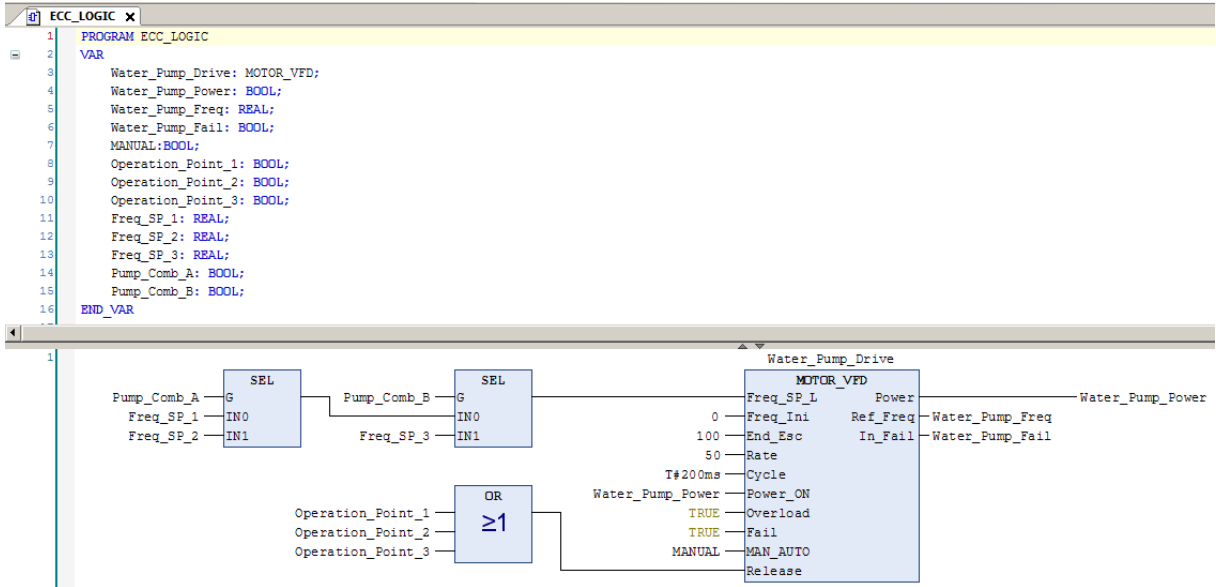


Figura 49 Operação e comando do acionamento

6 CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

Em um cenário de crescente regulamentação, o uso de ferramentas que permitam a rápida adesão às exigências de padronização deve ser fortemente encorajado. Neste contexto, este trabalho propôs uma estrutura baseada em uma ferramenta de supervisão de nível 2 integrada a um software que executa o aplicativo de controle sustentado por hardware de automação típicos de sistemas distribuídos de chão de fábrica e compatível com um ambiente de programação IEC61131 visando implantar um sistema de gerenciamento de energia.

A plataforma proposta, no tocante ao seu desenvolvimento, adotou uma metodologia de projeto de automação com abordagem da base para o topo preconizada pela IEC61131 para declarar e instanciar elementos de software como funções, blocos funcionais e programas que implementam todos os recursos exigidos pelo sistema de gestão de energia baseado na ISO50001 em uma abordagem de cima para baixo dentro do contexto da pirâmide de automação.

Este trabalho abrangeu principalmente os níveis básicos da estrutura mencionada que, no âmbito da gestão de energia, compreende o ENERGY GATEWAY no nível 1, representado pelo sistema de medição, o ENERGY CONTROL no nível 2 que foi implementado por um soft-PLC e o ENERGY PLANNING suportado por um sistema de supervisão (nível 3).

A estratégia de controle de energia proposta neste trabalho baseou-se na metodologia de monitoramento e gestão de índices que consiste em uma abordagem sistemática na utilização de recursos energéticos objetivando alcançar o melhor resultado econômico. Os resultados relativos à implantação dessa metodologia foram ilustrados considerando-se um estudo de caso de um sistema de bombeamento onde a economia de energia identificada foi de 25 %. Além disso, tal metodologia pode ser inserida como um procedimento na fase de planejamento da norma ISO50001, a qual estabelece os requisitos para a definição,

implementação, manutenção e melhoria dos sistemas de gestão de energia principalmente na indústria e comércio, com uma abordagem sistemática para rotinas de melhoria contínua para a eficiência energética.

O projeto do aplicativo de controle do uso de energia foi conduzido adotando-se diferentes linguagens de programação definidas na IEC para executar todos os procedimentos de medição, monitoração e gestão exigidos pelo SGE, incluindo análise comparativa com as “melhores práticas”, uso de tecnologias inovadoras, abordagem de produto e serviço, auditoria energética e conformidade com marcos regulatórios.

Muitas vantagens foram identificadas nesse trabalho em relação à adoção de uma plataforma baseada em automação para apoiar ou executar um sistema de gerenciamento de energia. As mais importantes são: abordagem de cima para baixo e de baixo para cima em nível de software para modularização, estruturação e reutilização, tipagem consistente de dados para programação, validação e depuração, alta qualidade de software, alta flexibilidade e adaptabilidade. Além disso, um projeto de automação neste cenário de plataforma aberta apresenta menores custos de desenvolvimento e implantação, conforme comprovado na análise comparativa efetuada com um sistema de mercado similar.

Outro aspecto positivo é a usabilidade que facilita a interação do usuário com o sistema, uma vez que a equipe operacional do centro de custo energético já está familiarizada com as tecnologias associadas à automação.

Com relação aos trabalhos futuros prevê-se a operacionalização da inserção de ferramentas oriundas da tecnologia da informação, tais como processamento de eventos complexos e mineração de dados, as quais demandam alto índice de customização, dificultando sua utilização em um sistema de gestão de energia com grande flexibilidade operacional que é uma das preconizações da proposta apresentada. Sugere-se, para tanto, o emprego de mecanismos de orientação ao objeto para facilitar a interação entre os objetos,

buscar uma maior escalabilidade através do encapsulamento dos componentes e garantir maior reutilização do código.

O mesmo procedimento pode ser adotado para contemplar estratégias de eficiência energética propostas por organismos e instituições consagradas, tais como: PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, IEEE - Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos, *Carbon Trust*, Departamento de Energia dos Estados Unidos, Departamento de Energia e Alterações Climáticas do Reino Unido, CIPEC - Programa da Indústria Canadense para Conservação de Energia e UNIDO - Organização de Desenvolvimento Industrial das Nações Unidas.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ISO 50001**: sistemas de gestão da energia: requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2011.
- ALTUS. **Manual de Utilização do MasterTool IEC**. São Leopoldo, 2010. Disponível em: <www.altus.com.br>. Acesso em: 20/11/2013.
- ALTUS. **Altus Sistemas de Automação S.A**: evolução em automação. São Leopoldo, 2013. Disponível em: <www.altus.com.br>. Acesso em: 20/11/2013.
- BALBINOT, A.; BRUSAMARELLO, V. J. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. v. 1
- BUA, F.; BAGGINI, A.; SUMPER, A. **Overview of Standardization of Energy Efficiency**. Chichester: John Wiley & Sons, 2012.
- BUNSE, K.; VODICKA, M.; SCHÖNSLEBEN, P. Integrating energy efficiency performance in production management: gap analysis between industrial needs and scientific literature. **Journal of Cleaner Production**, Leiden, v. 19, n. 6, p. 667–679, Apr. 2011.
- CAPEHART, B. L.; TURNER, W. C.; KENNEDY, W. J. **Guide to Energy Management**. 5. ed. Lilburn: The Fairmont Press, 2006.
- CASTRO, R. E. Metodologia de projeto de sistemas automatizados com ênfase na IEC61131. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO , 25., 2010, Bento Gonçalves. **Anais...**Porto Alegre: ABRAMAN, 2010. p. 1–9.
- CHITTUM, A.; TROMBLEY, D.; ELLIOTT, R. N. Trends in Industrial Energy Efficiency Programs: Today's Leaders and Directions for the Future. In: Industrial Energy Technology Conference, 32., 2010, New Orleans. **Proceedings...**New Orleans: [s. n.], 2010. p. 1–11.
- CHOUDHURY, A. ISO 50001: Are the Auditors Equipped Enough? **Open Journal of Energy Efficiency**, [S.l.], v. 01, n. 03, p. 57–61, 2012.
- CHRISTOFFERSEN, L. B.; LARSEN, A.; TOGEBY, M. Empirical analysis of energy management in Danish industry. **Journal of Cleaner Production**, Leiden, v. 14, n. 5, p. 516–526, Jan. 2006.
- CANADIAN INDUSTRY PROGRAM FOR ENERGY CONSERVATION (CIPEC). **Energy Efficiency Planning and Management Guide**. Ottawa: CIPEC, 2002. 48 p.

CANADIAN INDUSTRY PROGRAM FOR ENERGY CONSERVATION (CIPEC). **Benchmarking Energy Use in Canadian Pulp and Paper Mills**. Ottawa: CIPEC, 2008. 66 p.

COTRIM, A. A. M. B. **Instalações Elétricas**. 5. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2008.

DOBES, V. New tool for promotion of energy management and cleaner production on no cure, no pay basis. **Journal of Cleaner Production**, Leiden, v. 39, p. 255–264, Jan. 2013.

DONG, C.; HUANG, G. H.; CAI, Y. P. Robust planning of energy management systems with environmental and constraint-conservative considerations under multiple uncertainties. **Energy Conversion and Management**, Leiden, v. 65, p. 471–486, Jan. 2013.

FONSECA, M. DE O.; SEIXAS FILHO, C.; BOTTURA FILHO, A. **Aplicando a Norma IEC 61131 na Automação de Processos**. São Paulo: ISA Distrito 4, 2008.

FRAGA, T. **Jornal Brasileiro das Indústrias de Biomassa - Jornal Biomassa BR**. 10. ed. Curitiba: FRG Midia Brasil, 2013.

GILLESS, C.; HURTADO, P.; BROWN, K. Leveraging ISO 50001 for Utility and Government Program Effectiveness. In: ACEEE SUMMER STUDY ON ENERGY EFFICIENCY IN INDUSTRY, 2011, Niagara Falls. **Proceedings...**New York: IEEE, 2011. p. 1–53.

GORDIĆ, D.; BABIĆ, M.; JOVIČIĆ, N. Development of energy management system: case study of Serbian car manufacturer. **Energy Conversion and Management**, Leiden, v. 51, p. 2783–2790, Dec. 2010.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Física: mecânica/acústica/calor**. Rio de Janeiro: LTC, 1969.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). **Coping with the Energy Challenge the IEC's role from 2010 to 2030 Smart electrification: the key to energy efficiency**. Genève: IEC, 2010.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE). **IEEE Recommended Practice for Energy Management in Industrial and Commercial Facilities**. 1. ed. New York: IEEE, 1996. v. 1995.

INDUSOFT. **Indusoft Web Studio: Guia de Introdução**. São Paulo: INDUSOFT, 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **Win the energy challenge with ISO 50001**. ISO 2011-0 ed. Genève: ISO Central Secretariat 1, 2011.

KULKARNI, V. A.; KATTI, P. K. Efficient Utilization Of Energy In Industry Energy Management Perspective. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON POWER SYSTEM TECHNOLOGY, 2010, Hangzhou. **Proceedings...**New York: IEEE, 2010. p. 1–7.

MCKANE, A.; WILLIAMS, R.; MEFFERT, W. **Industrial Energy Efficiency as Standard Practice Purpose of an Energy Management Standard**. New York: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009.

MEFFERT, B.; MCKANE, A. **Development of an Energy Management Standard: ISO50001**. Latham: Georgia Tech Enterprise Innovation Institute and Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009.

MOHD, A. **Energy Management: a comprehensive guide to controlling energy use**. London: Carbon Trust, 2011.

MOSS, K. J. **Monitoring and targeting**. London: Carbon Trust, 2010.

NEXTANT. **M & V Guidelines: measurement and verification for federal energy**. 3. ed. Boulder: DOE, 2008.

OLAJIRE, A. A. The brewing industry and environmental challenges. **Journal of Cleaner Production**, Leiden, v. 3, p. 1–21, Mar. 2012.

PARRISH, K.; BERKELEY, L. **Early Lessons Learned from Building an ISO 50001: Conformant Energy Management System for MIT**. Atlanta: Georgia Institute of Technology, 2013.

PINERO, E. **Energy Management System Standard Global Industrial Energy by Consumption**. Washington: ANSI - PC242, 2008.

PLCOPEN. **IEC 61131-3: a standard programming resource**. Gorinchem: PLCOPEN, 2013. Disponível em: <www.plcopen.org>. Acesso em: 20/11/2013.

PMI. **PMI: The World's Leading Professional Association for Project Management**. Philadelphia: PMI, 2013. Disponível em: <www.pmi.org/default.aspx>. Acesso em: 20/11/2013.

PURANIK, V. S.; YARANA, G. S.; KULKARNI, S. D. Management Information System for Energy and Environmental Aspects of Small and Medium Scale Industries. In: **INTERNATIONAL ENGINEERING MANAGEMENT CONFERENCE, 2004, Singapore. Proceedings...**New York: IEEE, 2004. p. 870–874. v. 2.

SAKURAI, Y.; FALOUTSOS, C. Stream Monitoring under the TimeWarping Distance. In: **CARNEGIE MELLON UNIVERSITY RESEARCH SHOWCASE, 2004, Pittsburgh, Proceedings...**Pittsburgh: Computer Science Department, 2007. p. 1046–1055.

SCHWEIGER, H.; BRUNNER, C.; BERTRAND, A. **Guide for EINSTEIN Thermal Energy Audits**. Barcelona: EnergyXperts NET, 2012.

SILVA FILHO, P. P. **Monitoramento e Gestão de Índices: Guia Avançado**. Rio de Janeiro: PROCEL INDÚSTRIA - ELETROBRÁS, 2004.

THOLLANDER, P.; OTTOSSON, M. Energy management practices in Swedish energy-intensive industries. **Journal of Cleaner Production**, Leiden, v. 18, n. 12, p. 1125–1133, Aug. 2010.

TRIPP, D.; DIXON, S. **Making Energy Management “Business As Usual”**: identifying and responding to the organizational barriers. Toronto: Canadian Institute for Energy Training and TdS Dixon, 2003.

TROMBLEY, D.; ELLIOTT, R. N. Intelligent Efficiency: the Next Generation of Energy Efficiency. In: INDUSTRIAL ENERGY TECHNOLOGY CONFERENCE, 2012, New Orleans, **Proceedings...** New Orleans: ACEEE, 2012. p. 1–10.

TUTTEROW, V.; CRANE, R. **System Assessment Standards: Defining the Market for Industrial Energy Assessments**. Berkeley: Berkeley Lab, 2009.

VELÁZQUEZ, D.; GONZÁLEZ-FALCÓN, R.; PÉREZ-LOMBARD, L. Development of an energy management system for a naphtha reforming plant: a data mining approach. **Energy Conversion and Management**, [S.l.], v. 67, p. 217–225, Mar. 2013.

VIKHOREV, K.; GREENOUGH, R.; BROWN, N. An advanced energy management framework to promote energy awareness. **Journal of Cleaner Production**, Leiden, v. 43, p. 103–112, Mar. 2013.

WOODHOUSE PARTERSHIP. **ISO 55000 International Standard for Asset Management**. Disponível em: <www.assetmanagementstandards.com/index.html>. Acesso em: 10/11/2013.

WORMUS, T. (TIBCO). Complex Event Processing - Analytics and Complex Event Processing: Adding Intelligence to the Event Chain. **Business Intelligence Journal**, [S.l.], v. 13, n. 4, p. 53–58, 2008.

WU, B.; PONTE, S. Institutionalizing Energy Efficiency Within the Manufacturing Industry: a Computer-Aided Framework for ISO50001. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENT AND INDUSTRIAL INNOVATION (ICEII 2012), 2., 2012, Hong Kong. **Proceedings...**Hong Kong: ICEII, 2012. p. 29–33.

YUMKELLA, K. K.; WILLIAMS, R. **Contents Policies for Industrial Energy Efficiency**. [S.l.]: Energy Bulletin, 2009.

APÊNDICE 1: APLICAÇÃO-EXEMPLO DA METODOLOGIA DE MONITORAMENTO E GESTÃO DE ÍNDICES

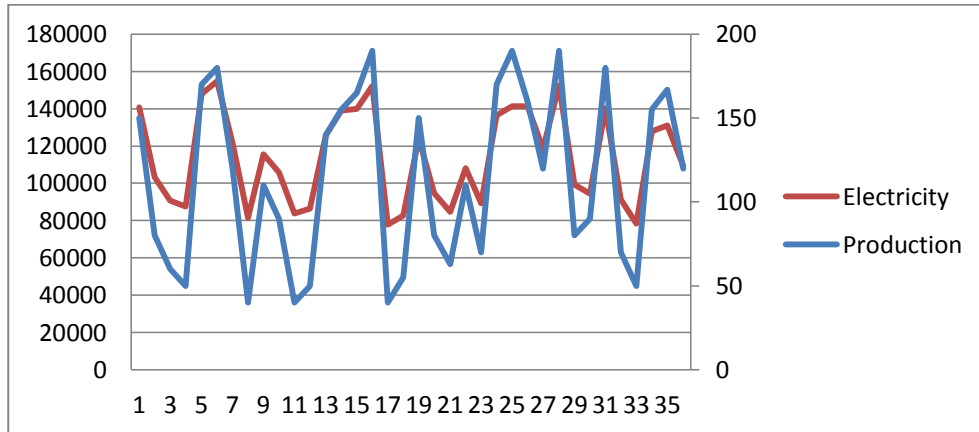
Para exemplificar a metodologia de monitoramento e gestão de índices de energia (MGI) foram considerados os dados simulados de medição (histórica) do consumo de eletricidade e a quantidade produzida no período de 35 semanas para um centro de custo energético conforme ilustrado nas primeiras colunas da Tabela A1. (SILVA FILHO, 2004)

TABELA A1: DADOS HISTÓRICOS SIMULADOS DE PRODUÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA, LINHA DE BASE E MODELO DE EFICIÊNCIA (35 SEMANAS)

Semana	Dados de Medição (históricos)			Linha de base para controle da energia (padrão)				Linha de base para eficiência energética (meta)				
	Prod [ton]	Et [kWh]	CEE [kWh/ton]	Ep [kWh]	Dif.	GSA	CEE [kWh/ton]	Em [kWh]	Dif.	Absoluto	Limite H	Limite L
1	150	140726	938	116704	24022	24022	778	126085	14642		1318	-1318
2	80	103223	1290	111571	-8348	15674	1395	93580	9643		1318	-1318
3	60	90764	1513	110104	-19340	-3666	1835	84293	6471		1318	-1318
4	50	87567	1751	109371	-21804	-25470	2187	79650	7918		1318	-1318
5	170	148000	871	118170	29830	4359	695	135372	12629		1318	-1318
6	180	154773	860	118903	35870	40229	661	140015	14758		1318	-1318
7	120	121575	1013	114504	7071	47300	954	112154	9421		1318	-1318
8	40	81436	2036	108638	-27202	20098	2716	75006	6430		1318	-1318
9	110	115586	1051	113771	1815	21913	1034	107511	8076		1318	-1318
10	90	105909	1177	112304	-6395	15518	1248	98224	7686		1318	-1318
11	40	83916	2098	108638	-24722	-9204	2716	75006	8910		1318	-1318
12	50	86272	1725	109371	-23099	-32303	2187	79650	6623		1318	-1318
13	140	125892	899	115970	9922	-22381	828	121441	4451		1318	-1318
14	155	138966	897	117070	21896	-486	755	128406	10560		1318	-1318
15	165	139922	848	117804	22118	21633	714	133050	6872		1318	-1318
16	190	152274	801	119637	32637	54270	630	144659	7616		1318	-1318
17	40	77788	1945	108638	-30850	23420	2716	75006	2782		1318	-1318
18	55	82711	1504	109738	-27027	-3607	1995	81971	740		1318	-1318
19	150	124317	829	116704	7613	4007	778	126085	-1768	1768	1318	-1318
20	80	94677	1183	111571	-16894	-12887	1395	93580	1097	1097	1318	-1318
21	63	84628	1343	110324	-25696	-38584	1751	85686	-1058	1058	1318	-1318
22	110	108041	982	113771	-5730	-44314	1034	107511	531	531	1318	-1318
23	70	89115	1273	110838	-21723	-66036	1583	88937	179	179	1318	-1318
24	170	136388	802	118170	18218	-47818	695	135372	1017	1017	1318	-1318
25	190	141428	744	119637	21791	-26027	630	144659	-3231		1318	-1318
26	160	141215	883	117437	23778	-2249	734	130728	10487		1318	-1318
27	120	118.319	986	114504	3815	1566	954	112154	6165		1318	-1318
28	190	152506	803	119637	32869	34435	630	144659	7848		1318	-1318
29	80	99267	1241	111571	-12304	22131	1395	93580	5687		1318	-1318
30	90	94468	1050	112304	-17836	4295	1248	98224	-3756		1318	-1318
31	180	140188	779	118903	21285	25580	661	140015	173		1318	-1318
32	70	91262	1304	110838	-19576	6004	1583	88937	2326		1318	-1318
33	50	78248	1565	109371	-31123	-25119	2187	79650	-1402		1318	-1318
34	155	128005	826	117070	10935	-14185	755	128406	-401		1318	-1318
35	167	131003	784	117950	13053	-1132	706	133978	-2975		1318	-1318

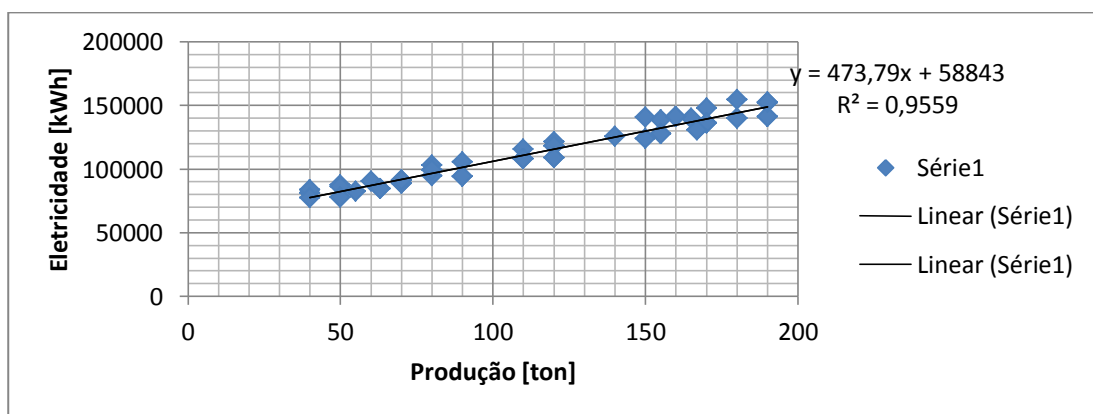
O consumo de eletricidade e a quantidade produzida em relação ao tempo estão representados graficamente no Gráfico A1.

GRÁFICO A1: CONSUMO DE ENERGIA E PRODUÇÃO VERSUS TEMPO (35 SEMANAS)

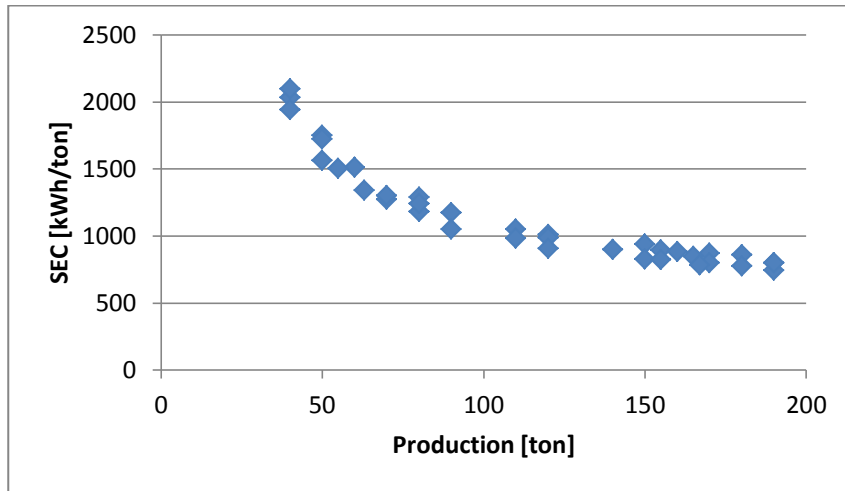


O primeiro passo no processo de análise é determinar a relação funcional entre o consumo de energia e os principais parâmetros determinantes na forma $E = C + CEE \times V_n$ conforme detalhado na Equação 1, a qual é obtida através do gráfico energia versus produção (Gráfico A2).

GRÁFICO A2: DISPERSÃO DO CONSUMO DE ENERGIA VERSUS PRODUÇÃO

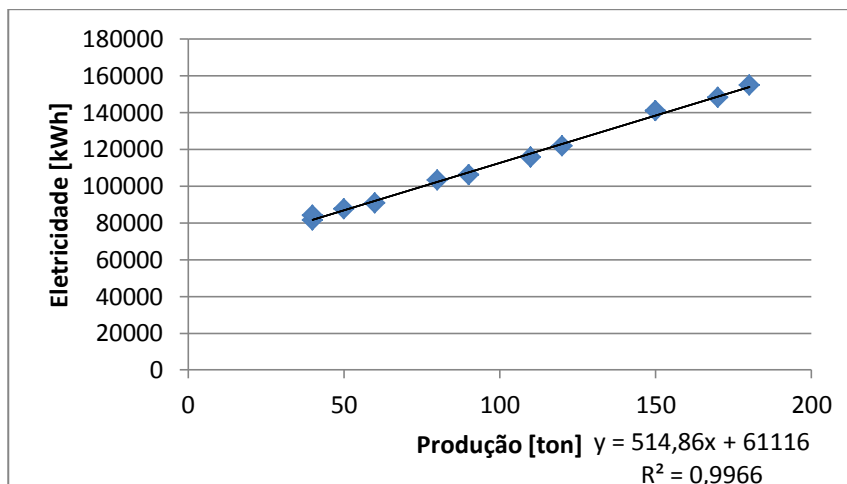


O Gráfico A3, por sua vez, mostra a relação entre o consumo específico de energia ($CEE = \frac{E_t}{Prod}$) e o nível de produção ($Prod$). Os valores de CEE aumentam significativamente no caso de baixos níveis de produção, onde o efeito das perdas identificadas é muito mais significativo. Os valores do CEE estão tabulados na Tabela A1.

GRÁFICO A3: DISPERSÃO DO CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA VERSUS PRODUÇÃO

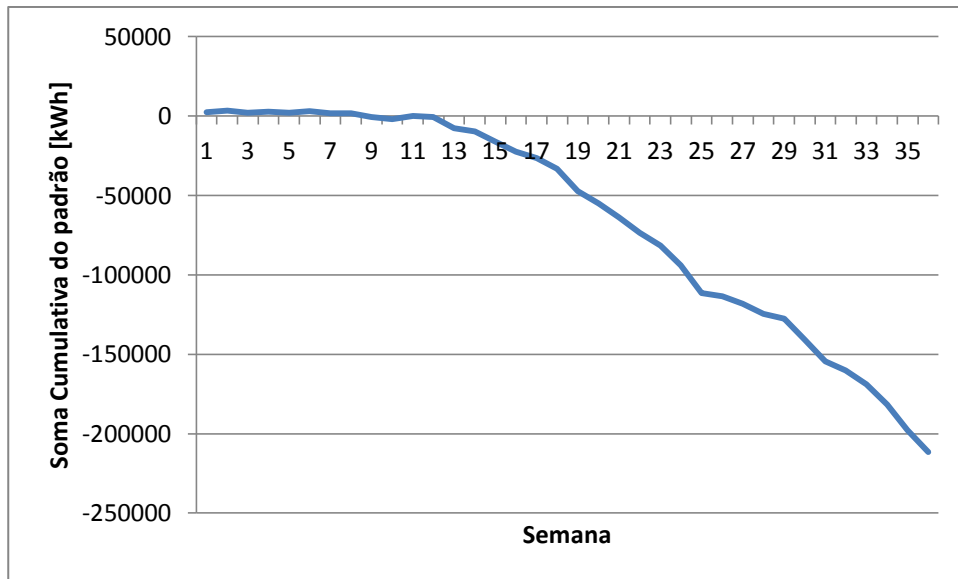
A base de referência pode ser determinada a partir do Gráfico A2 numerando cada ponto conforme sua ordem e observando se existe uma tendência durante um período de tempo, ou seja, um padrão surgirá onde todos os pontos não marcados encontram-se abaixo e à direita dos marcados (exemplo: pontos equivalentes às semanas 1 a 11).

A equação obtida a partir da linha reta que melhor se encaixa nos pontos selecionados descreve o desempenho da base de referência, que é o padrão usado como base para a comparação com todos os dados de desempenho subsequentes. O Gráfico A4 ilustra esse procedimento.

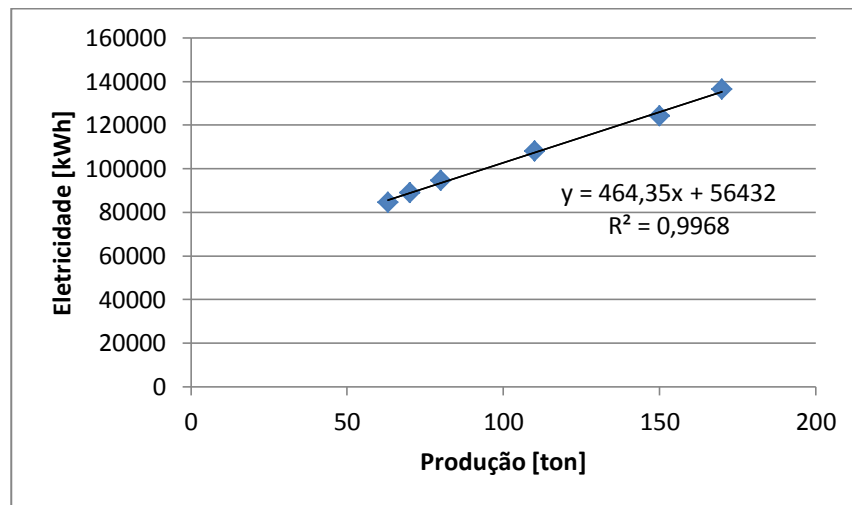
GRÁFICO A4: REGRESSÃO DA LINHA DE BASE DO CONSUMO DE ENERGIA (SEMANAS 1 A 11)

A diferença entre o desempenho histórico (E_t) e a base de referência (E_p), bem como a soma cumulativa dessas diferenças (GSA) estão tabuladas na Tabela A1. A GSA está mostrada no Gráfico A5.

GRÁFICO A5: SOMAS CUMULATIVAS DA DIFERENÇA DO CONSUMO DE ENERGIA HISTÓRICO EM RELAÇÃO AO CONSUMO DE ENERGIA PADRÃO (BASE DE REFERÊNCIA)



Para o estabelecimento da meta de consumo de energia poder-se-ia seleccionar o período de semanas 19 a 24 como o modelo para uma nova linha de base onde percebe-se claramente uma inclinação constante no gráfico de soma cumulativa, ou uma taxa constante de acumulação de economias. A partir daí determina-se a regressão da meta. O Gráfico A6 mostra a regressão da meta de consumo de energia.

GRÁFICO A6: REGRESSÃO DA META DO CONSUMO DE ENERGIA (SEMANAS 19 A 24)

O meta pode ser utilizada como base para monitorar e gerenciar a energia no futuro. Para cada período calcula-se o consumo de energia esperado a partir da fórmula de tendência da meta (E_m) para a produção e subtrai-se esse valor do consumo de energia real no período ou do consumo de energia histórico para o período considerado ($E_t - E_m$) conforme ilustrado no Gráfico A7. É interessante identificar no gráfico os limites de controle para o gerenciamento do consumo. No caso considerado, o valor dos limites foi definido como 1,4 vezes a média das diferenças da meta, ignorando os sinais. Estes valores estão tabulados na Tabela A1.

GRÁFICO A7: DIFERENÇA DO CONSUMO DE ENERGIA HISTÓRICO EM RELAÇÃO À META DE CONSUMO DE ENERGIA ENFATIZANDO OS LIMITES ESTABELECIDOS

