

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA
CURSO ENGENHARIA ELÉTRICA

Ricardo Klöppel Rosa

Diagnóstico Energético por Imersão: O processo de elaboração

Florianópolis

2022

Ricardo Klöppel Rosa

Diagnóstico Energético por Imersão: O processo de elaboração

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. Antonio Felipe da Cunha de Aquino, Dr.

Coorientador: Prof. Ademar Evandro Rosa, Me.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Rosa, Ricardo Klöppel

Diagnóstico energético por imersão : O processo de
elaboração / Ricardo Klöppel Rosa ; orientador, Antonio
Felipe da Cunha de Aquino, coorientador, Ademar Evandro
Rosa, 2022.

64 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Elétrica, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Elétrica. 2. Eficiência Energética. 3.
Diagnóstico Energético. 4. Indústria. 5. Imersão. I. da
Cunha de Aquino, Antonio Felipe. II. Rosa, Ademar Evandro.
III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia Elétrica. IV. Título.

Ricardo Klöppel Rosa

Diagnóstico Energético por Imersão: O processo de elaboração

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Elétrica” e aceito, em sua forma final, pelo Curso de Graduação em Engenharia Elétrica.

Florianópolis, 19 de dezembro de 2022.



Documento assinado digitalmente
Miguel Moreto
Data: 21/12/2022 16:34:41-0300
CPF: ***.850.100-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Miguel Moreto, Dr.
Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
Antonio Felipe da Cunha de Aquino
Data: 21/12/2022 20:25:53-0300
CPF: ***.652.117-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Antonio Felipe da Cunha de Aquino, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
Renato Lucas Pacheco
Data: 21/12/2022 16:26:55-0300
CPF: ***.751.489-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Renato Lucas Pacheco, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
Juliana Luiza Pereira
Data: 21/12/2022 16:33:20-0300
CPF: ***.844.279-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Juliana Luiza Pereira, Me.
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Ademar e Mariangela, e meu irmão Gabriel, pilares da minha vida. Em especial ao meu vô João Paulo e meu tio Paulinho (in memoriam), por vibrarem comigo em todas as conquistas.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de expor minha eterna gratidão aos meus pais pelo amor incondicional comigo e com meu irmão, por todo apoio, carinho, educação, por fazerem de tudo para eu alcançar meus sonhos, por todos os ensinamentos, por serem meu espelho de caráter e humildade e por estarmos sempre juntos e me proporcionando todo o ambiente que me cerca para que eu me tornasse a pessoa que sou hoje. À minha mãe, Mariangela, por ser minha base, por me apoiar incondicionalmente em toda minha vida, que faz o possível e impossível por mim, por ser minha referência de amor, força e inspiração de pessoa em que me espelho todos os dias. Ao meu pai e coorientador deste trabalho, Ademar, meu maior amigo, por ser minha referência desde sempre, por todas as conversas, pelos melhores conselhos, por estar comigo sempre, sempre me apoiando e me inspirando a ser como ele é, o Mestre Ademar.

Agradeço também ao meu irmão Gabriel, meu amigo e parceiro de todas as horas, sempre junto comigo, nas vitórias e derrotas. Ao meu primo e irmão Otávio, meu primeiro amigo, e que desde sempre tenho o privilégio de dividir todas as etapas da minha vida. Não diferente, chegamos juntos, por incrível que pareça, ao fim do ciclo no CTC. Muito obrigado por essa história de irmandade, parceria e companheirismo.

A toda minha família Klöppel e Rosa, aos meus padrinhos queridos, meus avôs e avós tios e tias, meus primos e primas, todos são minha base e que me cercam de tanto amor. É um privilégio e orgulho imenso poder estar no meio de vocês.

Agradeço também aos meus amigos rurais Ana, Letícia, Luana e Guilherme: obrigado por tanto tempo estarem juntos sempre, independente da distância. Aos amigos dos primórdios da UFSC, Arthur, Gabriel, Felipe e Thiago, pela parceria e mostrando que não importa o tamanho do buraco da engenharia, estaremos em algum lugar dele no mínimo juntos. Aos amigos do Esquadrão de Bonecos, Leopoldo, João, Fernanda, Felipe, Girardi, Pedrinho, Lohan, por cada momento de alegria e inconveniência junto de vocês. E muito obrigado a todos meus amigos de infância, escola e que fiz durante a graduação, que compartilharam comigo algum momento dessa jornada na UFSC.

Aos meus amigos e irmãos Joka, Vi, Rafa, Freiria, Fernandinho, Victão, Cornélia, Eric, que ganhei para a vida e que pude compartilhar o ano mais incrível da minha vida em Portugal, tenho o privilégio e honra de tê-los por perto. Assim como deixo meu agradecimento a todos os outros amigos que fiz nessa aventura longe de casa e que fizeram parte da minha vida. Agradeço de coração ao Luis e à Silvia por serem como meus pais portugueses nesse período.

À Banda Filarmônica Santoamarense agradeço por todo aprendizado que vai muito além do musical, sendo parte da minha formação, educação e desenvolvimento. Ensinos que levarei para a vida toda. Meu muito obrigado aos Maestros Almir, Seu Luiz e Sebastião e todos os amigos que fiz e carreguei até hoje. Sou eternamente grato à família Banda de Santo Amaro.

Agradeço também a todos da Natação Lira T nis Clube, por toda a parceria das primeiras horas da manhã e de todos os dias, todo companheirismo e ensinamentos que aprendi com vocês e com o esporte.

À Universidade Federal de Santa Catarina, que tenho um orgulho imenso em parte, ao Departamento de Engenharia Elétrica e Eletr nica, por meio de seus professores e servidores. Em especial ao meu orientador, Professor Antonio Felipe, por toda paciência, disponibilidade e atenção comigo neste trabalho.

RESUMO

O conceito de eficiência está cada vez mais presente no cotidiano atual e essa realidade não é diferente para o setor industrial. A eficiência energética é um aliado importante para a redução de custos nas indústrias. Em geral, os ganhos em eficiência energética são provenientes de ações simples e que envolvem mudanças de procedimentos na manutenção, instrumentação e análise de processo. O diagnóstico energético é uma importante ferramenta que detalha os processos produtivos e os insumos energéticos e aponta as ações que podem propiciar o melhor aproveitamento de energia. Dentro desse contexto, foram descritos exemplos de diagnósticos energéticos em que se detalha como é realizado em casos reais um diagnóstico energético por imersão. Em seguida, a partir do banco de dados obtido através da empresa Ecoeficiência Engenharia, foi realizado um estudo comparativo dos resultados de diferentes indústrias que possuíam ações de eficiência energética a serem implementadas em suas unidades, a fim de caracterizar segmentos de indústrias em que esse tipo de estudo pode ser mais interessante em termos econômicos.

Palavras-chave: Eficiência Energética. Diagnóstico Energético. Indústria.

ABSTRACT

The concept of efficiency is increasingly present in today's daily life, and this reality is no different for the industrial sector. Energy efficiency is an important ally to reduce costs in industries. In general, gains in energy efficiency come from simple actions that involve changes in maintenance, instrumentation, and process analysis procedures. The energy diagnosis is an important tool that details the production processes and the energy inputs, and points out the actions that can provide the best use of energy. Within this context, examples of energy diagnostics were described, detailing how an energy diagnosis by immersion is performed in real cases. Then, from the database obtained through Ecoeficiência Engenharia, a comparative study of the results of different industries that had energy efficiency actions to be implemented in their units was performed in order to characterize the segments of industries that this type of study can be more interesting in economic terms.

Keywords: Energy Efficiency. Energy Diagnosis. Industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma simplificado das bombas de captação e da ETA.....	24
Figura 2 – Fotografia parcial das bombas de captação.....	25
Figura 3 – Fotografia parcial das bombas da ETA.....	25
Figura 4 – Fluxograma do sistema de captação e ETA.....	27
Figura 5 – Vazão de água da Bomba V3U04.....	28
Figura 6 – Pressão de descarga da Bomba V3U04.....	29
Figura 7 – Potência elétrica da Bomba V3U03.....	30
Figura 8 – Curvas características para as bombas da ETA.....	31
Figura 9 – Quantidade de motores por faixa de potência.....	39
Figura 10 – Potência Instalada acima e abaixo de 10 cv.....	39
Figura 11 – Mapa com a distribuição das Empresas analisadas.....	47
Figura 12 – Percentual de economia de energia com ações de eficiência energética.....	53
Figura 13 – Porcentagem de economia de energia elétrica anual com implantação dos diagnósticos energéticos.....	53
Figura 14 – Comparação investimentos necessários x Economia total para os diferentes setores.....	55
Figura 15 – <i>Payback</i> médio por setor da indústria analisados.....	56
Figura 16 – Percentual das oportunidades de aumento de eficiência energética por setor.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados de identificação e características de projeto das bombas	26
Tabela 2 – Condição de operação das bombas no momento das medições.....	26
Tabela 3 – Vazão média das bombas de captação e da ETA	28
Tabela 4 – Pressões médias na sucção e descarga das bombas	29
Tabela 5 – Potências elétricas médias das bombas de captação e da ETA.....	30
Tabela 6 – Resumo das condições medidas e de projeto das bombas da ETA	31
Tabela 7 – Rendimento das bombas	32
Tabela 8 – Comparativo entre os rendimentos de projeto e os atuais.	33
Tabela 9 – Rendimento global do sistema de Captação	34
Tabela 10 – Rendimento global do sistema de bombeamento da ETA.....	34
Tabela 11 – Características das bombas propostas.....	35
Tabela 12 – Rendimento nas situações atual e proposta	35
Tabela 13 – Potência elétrica e consumo nas situações atual e proposta	36
Tabela 14 – Economia de energia com a ação nas bombas de captação	36
Tabela 15 – Economia de energia com a ação nas bombas da ETA	36
Tabela 16 – Resumo econômico das alternativas propostas (referência ano 2016)	37
Tabela 17 – Estratificação dos motores de indução por faixa de potência instalada.....	38
Tabela 18 – Informações dos motores analisados	40
Tabela 19 – Dados de placa e medidas em campo	41
Tabela 20 – Análise econômica para substituição de motores	44
Tabela 21 – Economia de energia na troca dos motores	45
Tabela 22 – Resumo econômico da alternativa proposta	46
Tabela 23 – Ações de Melhoria de Eficiência Consolidadas	46
Tabela 24 – Empresas Analisadas por Estado no Brasil	48
Tabela 25 – Empresas, setor da indústria e localização.....	48
Tabela 26 – Agrupamento das empresas por setores.....	50
Tabela 27 – Consumo e Economia Anual por setores analisados	52
Tabela 28 – Investimentos e Economia Total por Segmento	54
Tabela 29 – Payback médio por setor da indústria analisados	55
Tabela 30 – Resultados da Implantação	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

ETA – Estação de Tratamento de Água

ISQ – Instituto de Soldadura e Qualidade

M&V – Medição e Verificação

PIMVP – Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance

RBC – Rede Brasileira de Calibração

	SUMÁRIO	
1	INTRODUÇÃO	15
1.1	MOTIVAÇÃO.....	15
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	Objetivos Gerais.....	15
1.2.2	Objetivos Específicos	16
1.3	ESTRUTURA DO DOCUMENTO	16
2	O PROCESSO DE DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA NO USO DE RECURSOS ENERGÉTICOS	17
2.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	17
2.2	DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO	19
2.3	METODOLOGIA APLICADA AO DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO POR IMERSÃO	20
2.3.1	Diagnóstico Energético – Do planejamento aos resultados.....	20
2.3.2	Equipamentos Utilizados nos Diagnósticos Energéticos	21
2.3.3	Sistemas Analisados em Diagnósticos Energéticos	22
3	DIAGNÓSTICOS ENERGÉTICOS: ESTUDOS DE CASO	23
3.1	SISTEMA DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA EM UMA INDÚSTRIA DE PAPEL	23
3.1.1	Descrição do Sistema Analisado	23
3.1.2	Medições Realizadas e Dados Coletados.....	26
3.1.2.1	<i>Medição de vazão</i>	27
3.1.2.2	<i>Medição de pressão</i>	28
3.1.2.3	<i>Medição de grandezas elétricas</i>	29
3.1.3	Análise dos Dados	30
3.1.3.1	<i>Análise das condições de operação das bombas.....</i>	31
3.1.3.2	<i>Bombas da ETA</i>	31
3.1.3.2.1	<i>Análise de eficiência das bombas</i>	32
3.1.3.2.2	<i>Análise do rendimento do sistema.....</i>	33

3.1.4	Alternativas PropostasSUMÁRIO.....	34
3.1.4.1	<i>Sistema de Captação.....</i>	34
3.1.4.2	<i>Sistema de bombeamento da ETA.....</i>	35
3.1.4.3	<i>Resumo das alternativas.....</i>	35
3.1.5	Resumo Econômico.....	37
3.2	SISTEMA DE MOTORES EM UMA INDÚSTRIA DE BORRACHA	37
3.2.1	Descrição do Sistema Analisado.....	38
3.2.2	Medições Realizadas e Dados Coletados.....	41
3.2.3	Análise dos Dados	43
3.2.3.1	<i>Análise por payback simples</i>	43
3.2.4	Alternativa Proposta	45
3.2.5	Resumo Econômico.....	46
3.3	RESULTADOS CONSOLIDADOS	46
4	PANORAMA DO POTENCIAL DE ECONOMIA COM A APLICAÇÃO DE DIAGNÓSTICOS ENERGÉTICOS EM 45 INDÚSTRIAS BRASILEIRAS.....	47
4.1	INDÚSTRIAS E SEGMENTOS ANALISADOS.....	47
4.2	VIABILIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DAS AÇÕES DOS DIAGNÓSTICOS ENERGÉTICOS.....	56
4.3	CONTRIBUIÇÃO DOS SISTEMAS NOS RESULTADOS DOS DIAGNÓSTICOS ENERGÉTICOS	57
4.4	AVALIAÇÃO DA IMPLANTAÇÃO DOS DIAGNÓSTICOS ENERGÉTICOS	58
4.4.1	Detalhamento das Implementações.....	58
4.4.2	Principais Implementações Observadas nos Resultados dos Diagnósticos Energéticos.....	61
4.4.3	Fatores Observados na Tomada de Decisão.....	61
5	CONCLUSÃO.....	62
	REFERÊNCIAS.....	64

1 INTRODUÇÃO

A eficiência energética industrial é uma aliada importante para a redução de custos nas indústrias, não necessitando, muitas vezes, de investimentos de grande monta ou de novas soluções tecnológicas. Em geral, os ganhos em eficiência energética são provenientes de ações simples e que envolvem mudanças de procedimentos na manutenção, instrumentação e análise de processo.

O diagnóstico energético é uma importante ferramenta que detalha os processos produtivos e os insumos energéticos e aponta as ações que podem propiciar o melhor aproveitamento de energia.

1.1 MOTIVAÇÃO

A experiência baseada em casos reais de empresas que realizam diagnósticos energéticos demonstra que boa parte das ações que são propostas acabam não sendo implementadas, por fatores como:

- Prioridades das gerências de serviços e utilidades;
- Falta de recursos técnicos e financeiros;
- Garantias que as mudanças tecnológicas sugeridas pelo diagnóstico energético não afetem a segurança das operações e a confiabilidade do sistema.

O presente trabalho é motivado pela constatação de que as execuções de muitos projetos de eficiência energética são inviabilizadas pela opção das gerências industriais em se implantar ações visíveis (iluminação), em detrimento de ações com maiores retornos financeiros, porém sem notoriedade e exposição.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos Gerais

O Trabalho de Conclusão de Curso desenvolvido tem como objetivo principal realizar um estudo prático sobre os resultados encontrados na aplicação dos diagnósticos energéticos em algumas indústrias brasileiras, identificando os sistemas e soluções que foram

implementadas e as que foram descartadas ou postergadas por questões técnicas, financeiras ou gerenciais.

1.2.2 Objetivos Específicos

São objetivos específicos deste trabalho:

- Analisar ganhos energéticos da indústria;
- Propor ações que propiciem melhor aproveitamento de energia;
- Estudar e diagnosticar casos reais de aproveitamento energético;
- Caracterizar segmentos industriais onde o estudo energético pode ser interessante em termos econômicos;
- Detalhar a metodologia por imersão de diagnósticos energéticos;
- Apresentar os principais fatores que levam uma tomada de decisão favorável às implementações de ações de eficiência energética.

1.3 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

O capítulo 1 apresenta a motivação, o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

Os capítulos 2 e 3 desse trabalho descrevem o que é um diagnóstico energético, suas fases e aplicações, especificando alguns dos sistemas industriais, as análises necessárias e um estudo de caso.

No capítulo 4 é feita a análise e comparação dos resultados de 45 diagnósticos energéticos executados em empresas do ramo industrial e comercial em todo o Brasil, apresentando os percentuais de economia de energia com ações de eficiência energética por setores da Indústria Brasileira.

O capítulo 5 conclui mostrando os desafios da aplicação dos diagnósticos energéticos e o processo decisório para realização ou não das ações de eficiência energética propostas.

2 O PROCESSO DE DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA NO USO DE RECURSOS ENERGÉTICOS

Neste capítulo serão apresentadas algumas definições presentes na bibliografia que traduzem o significado de eficiência energética e mostram como esse conceito está inserido no cenário industrial. O capítulo também traz os conceitos de diagnóstico energético e a importância fundamental dessa ferramenta para o alcance dos resultados em eficiência energética.

Por fim, o capítulo aborda a metodologia normalmente empregada para o desenvolvimento de um diagnóstico energético, e que será o foco deste trabalho, caracterizada como “Diagnóstico de Eficiência Energética Por Imersão”.

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A energia elétrica, um bem essencial à população e definida como serviço público indispensável, ocupa sem dúvidas, um lugar de destaque na matriz energética brasileira. O consumo crescente e, por vezes, não acompanhado pela mesma taxa de crescimento da geração, diminui a distância entre a demanda e a oferta, tornando o fornecimento sempre um ponto de atenção no setor de energia. (ALVAREZ et al., 1998)

A atenção contínua e necessária ao fornecimento elétrico abrange não só o crescimento do parque gerador, com a construção de novas usinas e diversificação da matriz energética brasileira, mas inclui também a implementação de campanhas de combate ao desperdício de energia e em ações que promovam o aumento da eficiência no uso de energia elétrica (ALVAREZ et al., 1998).

Conceitualmente, segundo Kassick, E. V. (2002, p. 44), pode-se definir eficiência energética como:

O conceito de eficiência energética é baseado no melhor aproveitamento da energia elétrica e no combate ao desperdício, para assim evitar/diminuir o ritmo do necessário aumento de capacidade do sistema elétrico, mitigando desta forma os impactos ambientais associados e preservando, na medida do possível, os recursos naturais. Combatendo o desperdício e utilizando energia de maneira mais consciente é possível reduzir a quantidade de recursos utilizados, além de trazer economia individual para cada setor consumidor (KASSICK, 2002, p.44).

Pela vista dos consumidores em baixa tensão, como os comerciais e residenciais, os resultados obtidos com a redução de consumo são imediatos. Portanto, alternativas que se propõem ao uso racional e eficiente de energia elétrica apresentam, geralmente, um custo e, conseqüentemente, um retorno do investimento muito menor, quando comparados aos custos de outras alternativas (ALVAREZ et al., 1998).

Já na visão das indústrias, a quantidade de energia consumida e dissipada em processos intermediários, que não constituem energia útil, como calor, iluminação, movimento, processos industriais, são indicativos da importância da abordagem de estratégias que visem ao aumento da eficiência energética no processo industrial como um todo. Fica evidente quão ampla são as oportunidades de eficiência nos diversos níveis, tanto do processo industrial, quanto da cadeia energética em geral (INEE, PIETRO, MARCOS, 2019).

No entanto, nem sempre o custo com a energia elétrica é o mais expressivo na indústria. Ao comparar com os custos de outros fatores, como mão de obra, matéria prima e insumos, o peso da fatura de energia acaba ficando em segundo plano. Dessa forma, a gestão de energia acaba sendo, muitas vezes, negligenciada, gerando assim, nos casos em que isso ocorre, desperdícios relevantes de energia e contribuindo para a redução da competitividade das empresas (ISQ - INSTITUTO DE SOLDADURA E QUALIDADE, 2019).

Assim, segundo o ISQ - Instituto de Soldadura e Qualidade (2019), para reduzir o consumo da energia associada ao processo industrial como um todo, é fundamental a utilização racional da mesma. Portanto, conhecer de que forma é consumida a energia nas empresas, onde estão os maiores consumos, seja nas tecnologias de processo ou nas tecnologias de serviços auxiliares, é o primeiro passo para identificar os potenciais ganhos energéticos com a implementação de medidas de eficiência energética.

Para determinar a forma como a energia está sendo utilizada, é necessário o estudo da instalação e de seus processos, procedimento este chamado de diagnóstico energético e que permite definir as medidas que aumentem a eficiência energética dos sistemas avaliados (ALVAREZ et al., 1998). Com o estudo, é possível determinar quais ações geram maiores vantagens técnicas e econômicas, traçando o plano de ação mais adequado para alcançar níveis maiores da gestão de energia de cada instalação.

Ainda segundo o ISQ - Instituto de Soldadura e Qualidade (2019), a gestão de energia tem por objetivo definir padrões de consumo de forma global e centralizada para facilitar o conhecimento do consumo específicos dos principais setores e equipamentos de uma unidade consumidora/industrial. Pode-se definir os objetivos fundamentais da gestão de energia como:

- Atingir e manter a utilização ótima da energia em toda a unidade;
- Minimizar o custo e o desperdício energético, sem afetar a produção e a qualidade;
- Minimizar o impacto no meio ambiente.

Torna-se cada vez mais importante uma gestão energética cuidadosa no universo industrial, sendo a otimização dos custos energéticos peça chave para a contribuição dos resultados globais de uma empresa. E, em linha disto, com as diretrizes de governança ambiental, social e corporativa das organizações, é cada vez mais importante a preocupação com as estratégias e ideias que foquem no uso racional e eficiente dos recursos naturais e desenvolvimento sustentável (ALVAREZ et al., 1998).

É importante ressaltar que ideias e estratégias de uso racional e eficiente dos recursos ganham cada vez mais peso nas diretrizes e governança das organizações (ALVAREZ et al., 1998). Assim, a importância da aplicação e difusão através do *marketing* associado à essas ideias de preservação ambiental, buscando o desenvolvimento sustentável que passa pelo consumo eficiente de energia, são cada vez mais presentes no universo industrial.

2.2 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

O diagnóstico energético é a principal ferramenta e a base de um projeto de eficiência elétrica. Este processo pode ser definido como um exame detalhado do consumo de energia de uma instalação, eficiência dos processos ou equipamentos, com o objetivo de definir as oportunidades de se implementar as ações de melhoria de eficiência energética, sem que a qualidade do produto seja afetada.

O estudo de melhoria da eficiência energética em uma instalação pretende identificar, por meio de monitoramento, locais e sistemas suscetíveis ao controle do consumo de energia, visando definir potenciais ganhos e apresentar alternativas em otimização do uso de energia. Esses locais podem corresponder a uma linha de produção, um equipamento, um sistema industrial, a unidade industrial como um todo ou, até mesmo, qualquer local de consumo de energia que justifique o seu controle (VÍTOR MAGUEIJO, 2008).

Definidos os sistemas que serão analisados, são determinados quais aparelhos de medição e controle serão necessários para, em seguida, proceder a instalação nos sistemas que

serão analisados. Portanto, por meio desses equipamentos, é possível mensurar o consumo específico de energia de cada sistema, definindo os valores de produção de cada um, como também a quantidade de energia consumida por cada unidade produzida. Com isso, é possível medir regularmente os consumos de energia e os valores de produção de cada sistema (VÍTOR MAGUEIJO, 2008).

Dessa forma, com o auxílio das medições realizadas durante um período em condições de funcionamento normais da instalação, é possível estabelecer os valores de referência dos sistemas medidos. Esses serão comparados aos valores de referência de desempenho energéticos desejados, sendo o objetivo do diagnóstico energético, justamente, identificar os potenciais ganhos, estabelecendo metas e ações de otimização realistas dos sistemas para que esses valores referência sejam alcançados (ECOEFICIÊNCIA ENGENHARIA, 2019).

Por fim, o diagnóstico resulta na elaboração de um relatório que descreve as ações efetuadas durante o estudo, onde são apresentadas as medições, dados, análises obtidas e sugestões para o melhor aproveitamento dos insumos e consumo de energia. Também, é descrito o cálculo do retorno financeiro das ações sugeridas.

2.3 METODOLOGIA APLICADA AO DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO POR IMERSÃO

A metodologia normalmente empregada para o desenvolvimento de um diagnóstico energético, e que será o foco deste trabalho, é caracterizada como “por imersão”. A metodologia consiste em estabelecer uma força tarefa de especialistas em um período na planta industrial, onde são realizadas análises sistemáticas e criteriosas na organização, medição e avaliação dos dados. Tal metodologia, como visto no Item 2.2, pode ser aplicada em equipamentos, sistemas e processos, propiciando resultados consistentes em um curto período entre o primeiro contato com a indústria e a emissão do relatório final.

2.3.1 Diagnóstico Energético – Do planejamento aos resultados

Para que um diagnóstico energético contemple, de fato, o que é esperado e seja assertivo na solução do problema através da busca de oportunidades e ações de melhorias nos processos, não basta apenas analisar de forma superficial dados de placa ou, simplesmente, indicar substituições de equipamentos por modelos mais modernos e eficientes. É necessário entender a realidade de cada unidade diagnosticada, iniciando com a investigação dos procedimentos

industriais e a instalação dos equipamentos de medição, buscando entender a fundo o processo produtivo para que sejam aplicadas as ações de melhorias realmente necessárias.

Portanto, pode-se dividir o processo do diagnóstico energético em quatro fases, sendo elas:

1. Planejamento: Fase em que ocorre a pré-análise das cargas, processos e o levantamento dos equipamentos medidos, assim como os necessários para medição;
2. Imersão: Período em que são realizadas as medições de grandezas elétricas e mecânicas, como também a compreensão do contexto produtivo da unidade diagnosticado;
3. Análise: Fase em que é feita a gestão dos dados coletados, correlação com as observações analisadas e levantamento de hipóteses e soluções para problemas;
4. Resultados: Apresentação das alternativas e ações de melhoria da eficiência e seus ganhos energéticos e financeiros.

2.3.2 Equipamentos Utilizados nos Diagnósticos Energéticos

Os equipamentos utilizados nos diagnósticos se caracterizam como não-intrusivos e permitem avaliações mais coerentes dos sistemas monitorados, sem a necessidade de interrupção de processos produtivos ou no fornecimento de insumos. De fato, a conduta operacional dos equipamentos avaliados não precisa ser alterada e, muito menos, interrompida para instalação dos equipamentos de medição, já que podem ser instalados com os sistemas em operação. Ainda neste sentido, os equipamentos devem ser continuamente submetidos a processos de calibração externa, realizados em laboratórios credenciados à Rede Brasileira de Calibração – RBC, que garantem a fidedignidade dos parâmetros mensurados e a consistência dos resultados obtidos.

Dentre estes equipamentos, pode-se citar os Analisadores de Energia, Câmeras Termográficas, Analisadores de Gases, medidores de pressão, sensores de temperatura, medidores de vazão e outros.

2.3.3 Sistemas Analisados em Diagnósticos Energéticos

Nos diagnósticos energéticos realizados nas indústrias brasileiras, foram analisadas os mais diversos sistemas elétricos e mecânicos tais como: acoplamentos, aquecimento solar, bombas, caldeiras, *chillers*, cogeração, compressores, estação de tratamento, *fan-coils*, fornos, gerenciamento energético, iluminação, moinhos, motores, sistemas de água, sistemas de ar comprimido, sistemas de ventilação, torres de resfriamento, turbinas, vulcanizadores e outros.

3 DIAGNÓSTICOS ENERGÉTICOS: ESTUDOS DE CASO

Neste capítulo serão apresentados dois estudos de casos em que buscou-se demonstrar como é realizado o diagnóstico energético em indústrias, apresentando as etapas e o detalhamento técnico utilizado para se estabelecer os parâmetros necessários e definir as ações de melhoria de eficiência, economia de energia estimada e investimentos necessários para adequação dos sistemas.

No estudo, é realizada a análise em duas unidades industriais em que há uma ampla diversidade de equipamentos e potenciais de economia de energia elétrica. No caso, será apresentado o detalhamento de dois diagnósticos: o primeiro realizado no sistema de bombeamento de uma indústria de papel e o segundo realizado em um sistema de motores de uma indústria de borracha.

As análises tiveram com base as informações disponibilizadas pela Ecoeficiência Engenharia. Durante o período de imersão em cada unidade (em média 14 dias), busca-se compreender todo o processo produtivo e levantar todo o conjunto de dados e medições dos sistemas elétricos e mecânicos. Foram descritos potenciais de economia nos sistemas de ar comprimido, bombas, iluminação, *fan-coils*, sistema de água gelada, entre outros, apontando as ineficiências presentes com o objetivo de elaborar alternativas eficazes para mitigação dos desperdícios de energia elétrica.

Para os sistemas de bombeamento e motores, o trabalho faz uma descrição completa da análise utilizada na metodologia por imersão. Para os demais sistemas das mesmas unidades industriais, os resultados são apresentados de forma resumida.

3.1 SISTEMA DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA EM UMA INDÚSTRIA DE PAPEL

Nesta descrição, são apresentadas as análises de dois sistemas de bombeamento utilizados para abastecimento da fábrica: Captação de água e Estação de tratamento.

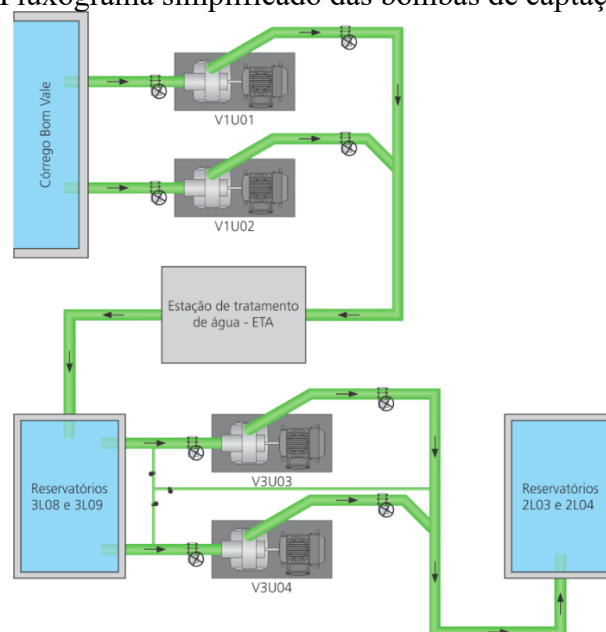
3.1.1 Descrição do Sistema Analisado

No sistema de captação de água da Empresa 1, duas bombas (V1U01 e V1U02), sendo uma reserva, têm a função de enviar água do Córrego Bom Vale (SP) para a Estação de Tratamento (ETA). Desta estação, após ser tratada, duas bombas (V3U03 e V3U04), uma

reserva, são responsáveis por repor a água dos reservatórios 2L03 e 2L04 que, por gravidade, abastece os consumidores da fábrica. Após circular pelos equipamentos, a água aquecida retorna para uma torre de resfriamento, onde é resfriada e encaminhada novamente aos reservatórios 2L03 e 2L04, com o auxílio de duas bombas analisadas no capítulo seguinte. Há a necessidade de reposição de água a este reservatório em função de perdas inerentes ao processo.

Um fluxograma simplificado desse sistema é apresentado na Figura 1, enquanto fotografias parciais das bombas de captação e da ETA são apresentadas na Figura 2 e na Figura 3, respectivamente.

Figura 1 – Fluxograma simplificado das bombas de captação e da ETA



Fonte: Ecoeficiência Engenharia

Figura 2 – Fotografia parcial das bombas de captação



Fonte: Ecoeficiência Engenharia

Figura 3 – Fotografia parcial das bombas da ETA



Fonte: Ecoeficiência

Os dados de identificação e as características de projeto das bombas obtidos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados de identificação e características de projeto das bombas

Sistema	Bomba	Fabricante/ modelo	Vazão [m ³ /h]	Altura manométrica [mca]	Motor	
					Potência [cv]	Rotação [rpm]
Captação	V1U01	Sulzer/AZ 50- 160	_(1)	_(1)	25	3.500
	V1U02	Sulzer/AZ 80-	107	46		
ETA	V3U03	Megam / 150	80	49,1	25	3.510
	V3U04	50-160				

1 – Dado não obtido.

Fonte: Ecoeficiência

3.1.2 Medições Realizadas e Dados Coletados

Com o objetivo de avaliar o desempenho do sistema de bombeamento, nos dias 23 e 24 de outubro de 2012, foram realizadas medições em campo dos seguintes parâmetros operacionais: vazão e pressão de água e potência elétrica dos motores das bombas.

Com o apoio da equipe técnica da Empresa 1, foram realizadas manobras com o intuito de realizar as medições em todas as bombas. A Tabela 2 apresenta a condição de operação das bombas no momento das medições.

Tabela 2 – Condição de operação das bombas no momento das medições

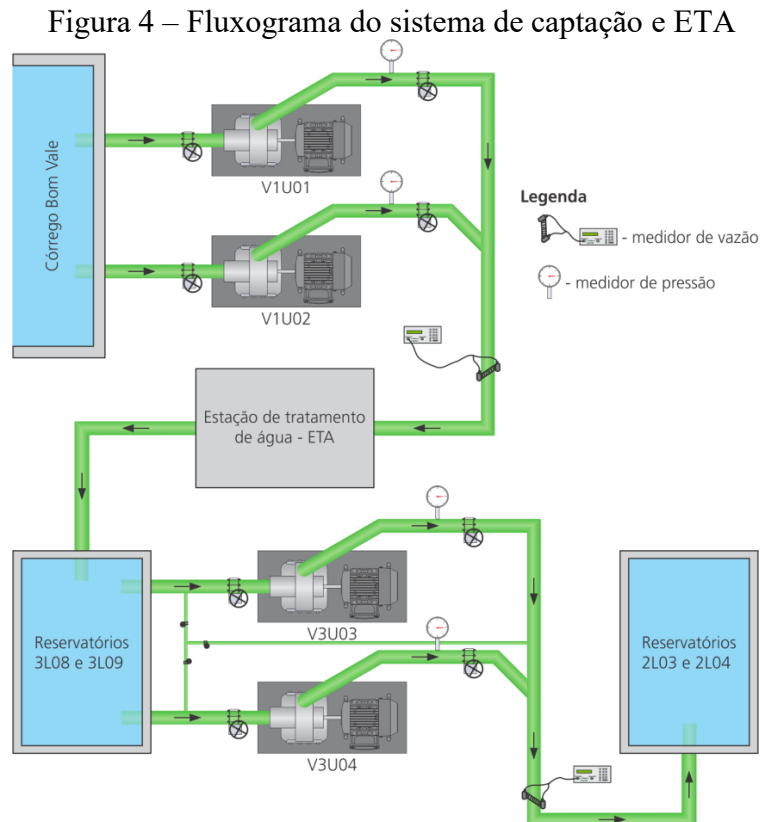
Sistema	Bomba	Condição
Captação	V1U01	Operando
	V1U02	Reserva
ETA	V3U03	Reserva
	V3U04	Operando

Fonte: Ecoeficiência

3.1.2.1 Medição de vazão

As vazões de água foram obtidas com o auxílio de um medidor de vazão do tipo ultrassônico, sendo que, para as medições, o equipamento foi posicionado nas tubulações de descarga de cada sistema, devido à facilidade de acesso e à qualidade do escoamento verificado durante as medições.

No fluxograma da Figura 4 estão indicados os locais das medições de vazão e pressão e a Figura 5 mostra um exemplo da vazão ao longo do tempo da Bomba V3U04.



Fonte: Ecoeficiência

Figura 5 – Vazão de água da Bomba V3U04

Fonte: Ecoeficiência

Na Tabela 3 são mostradas as vazões médias de cada bomba no período de medições.

Tabela 3 – Vazão média das bombas de captação e da ETA

Sistema	Bomba	Vazão [m³/h]
Captação	V1U01	41,9
	V1U02	45,9
ETA	V3U03	66,0
	V3U04	66,1

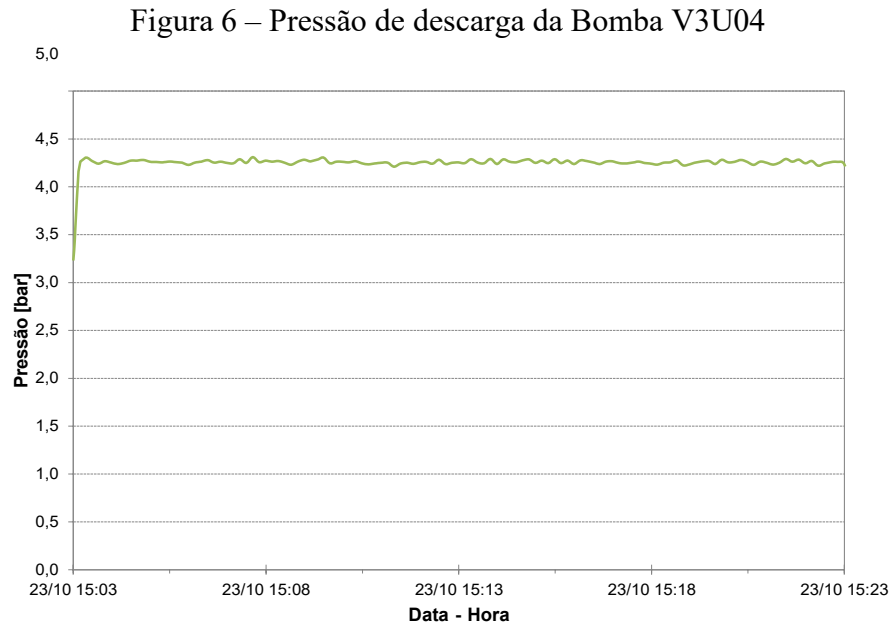
Fonte: Ecoeficiência

3.1.2.2 Medição de pressão

As medições de pressão das bombas foram realizadas por manômetros digitais. Para serem obtidos os valores de pressão de operação das bombas, os manômetros foram instalados nas tomadas de pressão existentes nas tubulações, logo após a descarga das bombas (antes das válvulas de controle), indicadas na Figura 4. Devido à ausência de tomadas na sucção das bombas, foi considerada como pressão de sucção a altura da coluna de água do nível dos tanques

até a entrada das bombas, 1,9 metro para as bombas de captação e -2,6 metros para as bombas da ETA.

Os valores de pressão foram registrados em gráficos ao longo do tempo, conforme o exemplo da Figura 6. As médias das medições estão apresentadas na Tabela 4.



Fonte: Ecoeficiência

Tabela 4 – Pressões médias na sucção e descarga das bombas

Sistema	Bomba	Pressão de sucção [bar]	Pressão de descarga [bar]	Diferença de pressão [bar]
Captação	V1U01	0,19	6,29	6,10
	V1U02	0,19	7,63	7,44
ETA	V3U03	-0,26	4,26	4,52
	V3U04	-0,26	4,25	4,51

Fonte: Ecoeficiência

3.1.2.3 Medição de grandezas elétricas

As medições de grandezas elétricas foram realizadas por analisadores de energia portáteis. Os valores de potência elétrica foram registrados em gráficos ao longo do tempo, conforme exemplo apresentado na Figura 7. Na Tabela 5 são apresentadas as potências médias das bombas.

Figura 7 – Potência elétrica da Bomba V3U03

Fonte: Ecoeficiência

Tabela 5 – Potências elétricas médias das bombas de captação e da ETA

Sistema	Bomba	Potência elétrica [kW]
Captação	V1U01	16,2
	V1U02	20,8
ETA	V3U03	14,1
	V3U04	14,1

Fonte: Ecoeficiência

3.1.3 Análise dos Dados

Esta seção tem como objetivo, com base nos dados coletados em campo, obter os parâmetros característicos do desempenho energético das bombas e do sistema de bombeamento.

3.1.3.1 Análise das condições de operação das bombas

A análise das condições de operação das bombas baseia-se na comparação entre os pontos medidos e de projeto, tendo como referência as curvas características disponibilizadas pelo fabricante. Devido à ausência dos dados das bombas de captação, esta análise não foi realizada para este sistema.

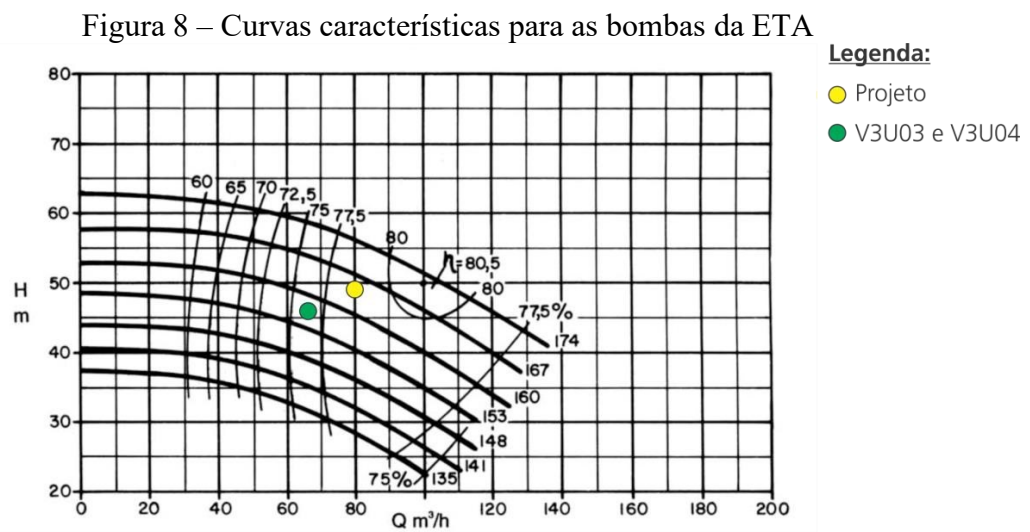
3.1.3.2 Bombas da ETA

As curvas características das bombas da ETA estão apresentadas na Figura 8. Nesta mesma figura está indicado, na cor amarela, o ponto de projeto da bomba, enquanto a indicação na cor verde representa o ponto de operação das bombas V3U03 e V3U04. Os dados utilizados para compor estes pontos estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Resumo das condições medidas e de projeto das bombas da ETA

Bomba	Vazão [m ³ /h]		Pressão [mca]	
	Projeto	Medido	Projeto	Medido
V3U03		66,0		46,1
V3U04	80,0	66,1	49,1	46,0

Fonte: Ecoeficiência



Fonte: Ecoeficiência

Os pontos de operação das duas bombas mostram que ambas atuam praticamente na mesma condição. A análise destes pontos indica que as bombas estão operando próximo da sua condição de projeto, porém abaixo da curva do motor instalado, ou seja, o ponto de operação representado pelo indicador verde deveria estar sobre ou mais próximo do indicador amarelo. Esta observação indica que o desempenho da bomba deve estar prejudicado em função de condições adversas de operação, analisadas no item a seguir.

3.1.3.2.1 Análise de eficiência das bombas

Devido às diferenças entre os valores de projeto e os encontrados nas medições, serão analisados os rendimentos reais das bombas (η_b), calculados com base nas condições medidas em campo (vazão, pressão e potência), empregando-se (1).

$$\eta_b = \frac{Q \cdot \Delta p}{0,0036 \cdot P_{el} \cdot \eta_e} \quad (1)$$

Nesta equação, Q é a vazão mensurada em m^3/h , Δp é a diferença de pressão em bar, resultado da subtração entre as pressões de descarga e de sucção, P_{el} é a potência elétrica média em kW e η_e é o rendimento elétrico dos motores. Os rendimentos elétricos foram obtidos a partir do programa BDmotor do CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, por meio dos cálculos dos carregamentos dos motores na condição de operação dos mesmos. Os valores das variáveis para o cálculo e os resultados obtidos são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Rendimento das bombas

Sistema	Bomba	Q [m ³ /h]	Δp [bar]	P_{el} [kW]	η_e [%]	η_b [%]
Captação	V1U01	41,9	6,10	16,2	85,2	51,4
	V1U02	45,9	7,44	20,8	85,4	53,4
ETA	V3U03	66,0	4,52	14,1	86,8	67,7
	V3U04	66,1	4,51	14,1	88,8	66,1

Fonte: Ecoeficiência

Na Tabela 8, é apresentado um comparativo entre o rendimento de projeto e os atuais das bombas da ETA, uma vez que os dados do sistema de captação não foram fornecidos.

Tabela 8 – Comparativo entre os rendimentos de projeto e os atuais.

Sistema	Bomba	η_b [%]		Diferença [%]
		Projeto	Atual	
ETA	V3U03	77,8	67,7	- 10,1
	V3U04		66,1	- 11,7

Fonte: Ecoeficiência

Da tabela anterior se pode observar que as bombas da ETA apresentaram perdas de rendimento da ordem de 12 %, quando comparadas às suas condições de projeto. Além do afastamento da sua curva de rotor original, estas perdas também são devido à sua forma construtiva e condição de operação, sendo comum, que ao longo dos anos, o rendimento das bombas seja reduzido, principalmente pelos desgastes dos componentes internos. Estes desgastes devem ser avaliados pela equipe técnica da Empresa 1.

3.1.3.2.2 Análise do rendimento do sistema

Para a análise do rendimento do sistema, foram utilizados os dados de vazão, pressão e potência elétrica dos conjuntos motores-bombas que se encontravam em operação no momento das medições, V1U01 para o sistema de Captação e V3U04 para ETA.

Empregando-se estes valores, os rendimentos globais (η) são calculados utilizando a (2), estando os resultados apresentados na Tabela 9 e na Tabela 10.

$$\eta = \frac{Q \cdot \Delta p}{0,36 \cdot P_{el}} \quad (2)$$

Tabela 9 – Rendimento global do sistema de Captação

Medido	
Q [m ³ /h]	41,9
Δp [bar]	6,1
P_{el} [kW]	16,2
η [%]	43,8

Fonte: Ecoeficiência

Tabela 10 – Rendimento global do sistema de bombeamento da ETA

	Projeto	Medido	Diferença [%]
Q [m ³ /h]	80,0	66,1	- 17,4
Δp [bar]	4,82	4,51	- 6,4
P_{el} [kW]	14,7	14,1	- 8,4
η [%]	77,8	58,7	- 19,1

Fonte: Ecoeficiência

Das tabelas anteriores, pode-se verificar que a perda de rendimento no bombeamento da ETA é da ordem de 19,1 %. Devido à ausência de dados, a mesma comparação feita para o sistema da ETA não será realizada para a captação.

3.1.4 Alternativas Propostas

Com o objetivo de reduzir o consumo de energia elétrica nos sistemas de bombeamento, se propõe, como alternativa, a substituição das bombas atuais por novas, com maior eficiência, dimensionadas para as condições atuais de operação.

A seguir estão apresentadas as propostas para a substituição das bombas em cada um dos sistemas analisados.

3.1.4.1 Sistema de Captação

A alternativa para o sistema de captação é a substituição das bombas atuais por duas novas do fabricante KSB, modelo ETA 50-20, uma em operação e uma reserva. Com esta alteração, o rendimento do sistema passaria de 43,8 % para 62,8 %, com economia anual 39,3 MWh. O investimento necessário para aquisição de duas bombas e dois motores de 20 cv é de R\$ 16.226,06, considerando os valores do ano de 2016.

3.1.4.2 Sistema de bombeamento da ETA

A alternativa para o sistema de bombeamento da ETA é a reforma das bombas atuais para que atendam às necessidades da planta com maior eficiência. Com esta alteração, o rendimento do sistema passaria de 58,7 % para 67,3 %, com economia anual 14,5 MWh. O investimento necessário para reforma das bombas, indicado pelo fabricante KSB, é de R\$ 4.201,00 (referência ano 2016).

3.1.4.3 Resumo das alternativas

Na Tabela 11 são apresentadas as características de operação das bombas propostas para melhoria da eficiência dos sistemas.

Tabela 11 – Características das bombas propostas

Sistema	Q [m ³ /h]	Δp [bar]	P_{el} [kW]	\varnothing [mm]
Captação	41,9	6,10	11,3	182
ETA	66,1	4,51	12,3	157

Fonte: Ecoeficiência

A Tabela 12 apresenta os rendimentos das bombas e do sistema nas situações atual e proposta.

Tabela 12 – Rendimento nas situações atual e proposta

Sistema	Situação atual			Situação proposta		
	η_e [%]	η_b [%]	η [%]	η_e [%]	η_b [%]	η [%]
Captação	85,3	51,4	43,7	92,1	68,0	62,7
ETA	88,8	66,1	58,7	88,8	75,8	67,3

Fonte: Ecoeficiência

Pela análise da tabela anterior, pode-se observar que o rendimento global dos sistemas aumenta significativamente, reduzindo o consumo em energia elétrica.

A Tabela 13 apresenta as potências elétricas e os consumos anuais para situações atuais e propostas.

Tabela 13 – Potência elétrica e consumo nas situações atual e proposta

Sistema	Situação atual		Situação proposta	
	P _{el} [kW]	Consumo anual [MWh]	P _{el} [kW]	Consumo anual [MWh]
Captação	16,2	130,2	11,3	90,9
ETA	14,1	113,4	12,3	98,9
Total	30,3	243,6	23,6	189,8

Fonte: Ecoeficiência

A execução de todas as alternativas indicadas envolverá um investimento de R\$ 20.427,06 (referência ano 2016) e proporcionará uma economia anual de 53,8 MWh. A Tabela 14 e a Tabela 15 apresentam um comparativo entre a situação atual e a proposta, para as bombas de captação e da ETA, respectivamente.

Tabela 14 – Economia de energia com a ação nas bombas de captação

	Situação encontrada	Situação proposta
Potência [kW]	16,2	11,3
Consumo anual [MWh]	130,2	90,9
Custo anual [R\$] (2016)	22.654,80	15.816,60
Redução anual [MWh]		39,3

Fonte: Ecoeficiência

Tabela 15 – Economia de energia com a ação nas bombas da ETA

	Situação atual	Situação proposta
Potência [kW]	14,1	12,3
Consumo anual [MWh]	113,4	98,9
Custo anual [R\$]	19.731,60	17.208,60
Redução anual [MWh]		14,5

Fonte: Ecoeficiência

3.1.5 Resumo Econômico

A Tabela 16 mostra o resumo econômico das alternativas sugeridas para a melhora da eficiência dos sistemas analisados.

Tabela 16 – Resumo econômico das alternativas propostas (referência ano 2016)

Alternativas	Economia anual [MWh]	Economia anual [R\$]	Investimento [R\$]	Payback [meses]
Substituição dos conjuntos motor-bomba de captação	39,3	6.838,20	16.226,06	29
Reforma das bombas da ETA	14,5	2.523,00	4.201,00	20
Total	53,8	9.361,20	20.427,06	27

Fonte: Ecoeficiência

3.2 SISTEMA DE MOTORES EM UMA INDÚSTRIA DE BORRACHA

Um bom potencial de conservação de energia em motores elétricos se dá em motores de indução trifásicos, considerando-se a aplicação de motores do tipo de alto rendimento em substituição a motores convencionais. No entanto, este potencial de economia de energia deve estar sujeito à análise do retorno financeiro desta substituição.

Na unidade sob análise, grande parcela dos motores de indução empregada é do tipo convencional e se encontra em operação por muitos anos, fato que lhes atribui uma redução no seu rendimento em relação aos valores nominais. Sendo assim, será realizada a análise do desempenho dos motores atuais em comparação com motores novos de alto rendimento, levantando-se os ganhos energéticos que poderão ser obtidos. Além disso, existem, na planta, alguns motores de alto rendimento que já estão em uso há mais de cinco anos, o que pode lhes acarretar perda do seu rendimento nominal, agravada ainda com a possibilidade de tais equipamentos já terem sido submetidos a rebobinamentos e manutenções corretivas.

3.2.1 Descrição do Sistema Analisado

A análise dos motores da planta industrial teve início na avaliação de uma planilha eletrônica, fornecida pela Empresa, com a descrição dos motores instalados. Nesta planilha, havia 441 itens, incluindo os motores novos de alto rendimento, além de motores acionados por inversores de frequência, que fogem do escopo deste capítulo. Esta listagem ainda incluía alguns motores sem informação dos seus dados nominais. Excluindo os motores sem informação, restaram 366 motores, com potência total instalada de 6.602,2 cv.

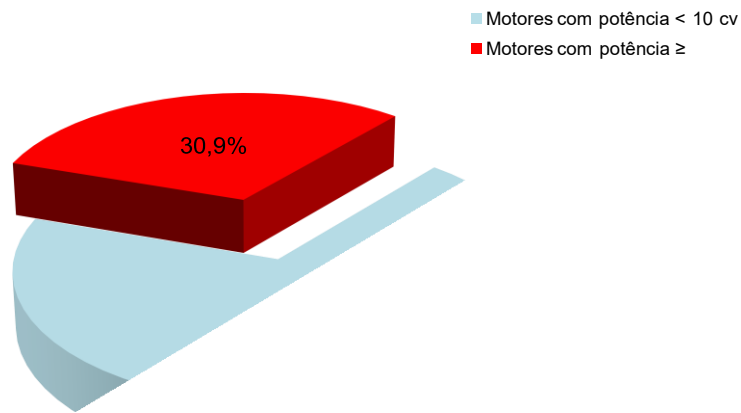
Com objetivo de definir um ponto de corte na lista de motores a serem medidos, foi realizada uma classificação segundo suas potências nominais em duas faixas de valores, conforme apresentado na Tabela 17. A Figura 17 e a Figura 18 mostram, respectivamente, gráficos com os percentuais de quantidade e potência instalada destes motores, nos quais se verifica que 30,9 % da quantidade de motores instalados é de potência maior ou igual a 10 cv. Porém, esta faixa de motores corresponde a 88,6 % da potência instalada de motores de indução em uso

Tabela 17 – Estratificação dos motores de indução por faixa de potência instalada

Faixa de Potência	Quantidade	Potência [cv]	Potência [kW]
Potência < 10 cv	253	727,2	535,2
Potência ≥ 10 cv	113	5.675,0	4.176,8
Total	366	6.602,2	4.712,0

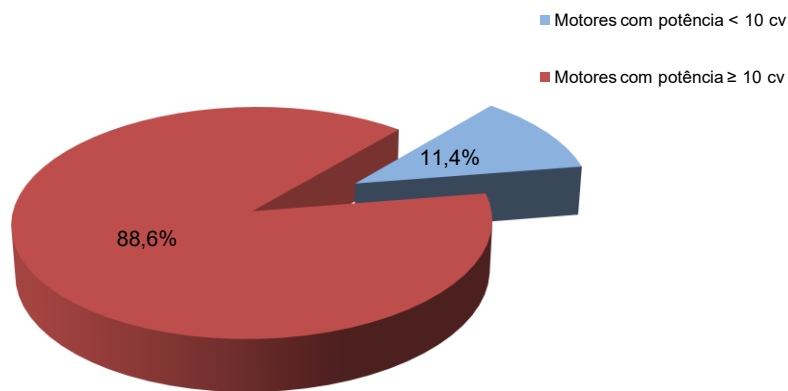
Fonte: Ecoeficiência

Figura 9 – Quantidade de motores por faixa de potência



Fonte: Ecoeficiência

Figura 10 – Potência Instalada acima e abaixo de 10 cv



Fonte: Ecoeficiência

Durante o planejamento dos trabalhos, optou-se por priorizar a análise nos motores de potência igual ou acima de 10 cv. Foram medidos mais de trinta motores que se encontravam em operação nas duas imersões realizadas na planta, os quais possuem um tempo médio de funcionamento de 8.640 horas anuais. Não foram inseridos, nesta análise, os motores acionados por inversores de frequência, ou ainda que fazem parte de outras propostas de eficiência energética apresentadas neste diagnóstico, como, por exemplo, os compressores de ar, injetoras e motores do sistema de bombeamento de água. Motores cujo ano de fabricação não foi possível determinar na visualização dos dados de placa foram considerados em operação há dez anos, ou seja, ano de fabricação 2002.

Na Tabela 18 são apresentadas as informações dos motores analisados referentes à identificação. A numeração dos motores adotada nesta tabela será utilizada como referência para identificação dos mesmos nas tabelas subsequentes.

Tabela 18 – Informações dos motores analisados

Número	Descrição	Ano de fabricação	Tempo de operação [h/dia]
1	Exaustor do lavador de gases Caster	1997 ⁽¹⁾	24
2	Exaustor das expander 1 e 2	2006	24
3	Exaustor das masseiras	1998	24
4	Exaustor da linha 7 da montagem	2006	24
5	Exaustor da linha 5 da montagem	2008	24
6	Exaustor da carga nova leve 3/411	1997 ⁽¹⁾	24
7	Exaustor da carga nova leve 3/409	1994	24
8	Exaustor do empaste 1/595	1997 ⁽¹⁾	24
9	Exaustor das masseiras 4 e 5	1999	24
10	Exaustor do empaste dos cadinhos	1997 ⁽¹⁾	24
11	Exaustor da montagem da moto 9/503	2006	24
12	Exaustor da montagem da moto 9/505	2007	24
13	Exaustor do empaste da moto	2006	24
14	Exaustor do lavador de gases da moto	2005	24
15	Bomba da moto	2007	24
16	Exaustor da estufa 1	2002 ⁽¹⁾	24
17	Exaustor da estufa 2	2002 ⁽¹⁾	24
18	Exaustor da estufa 3	2002 ⁽¹⁾	24
19	Exaustor da estufa 4	2002 ⁽¹⁾	24
20	Exaustor da estufa 5	2002 ⁽¹⁾	24
21	Exaustor da estufa 6	2002 ⁽¹⁾	24
22	Exaustor da estufa 7	2002 ⁽¹⁾	24
23	Exaustor da estufa 9	2002 ⁽¹⁾	24
24	Agitador da masseira 1	2002 ⁽¹⁾	24
25	Agitador da masseira 2	2002 ⁽¹⁾	24
26	Reator Barton 1	2002 ⁽¹⁾	24

27	Reator Barton 2	2002 ⁽¹⁾	24
27	Reator Barton 3	2002 ⁽¹⁾	24
29	Reator Barton 5	2002 ⁽¹⁾	24
30	Reator Barton 6	1994	24
31	Reator Barton 7	2002 ⁽¹⁾	24
32	Exaustor Barton 1	2002 ⁽¹⁾	24
33	Exaustor Barton 2	2002 ⁽¹⁾	24
34	Exaustor Barton 3	2002 ⁽¹⁾	24
35	Exaustor Barton 5	2002 ⁽¹⁾	24
36	Circulador de ar da estufa da Expander 1	2002 ⁽¹⁾	24
37	Circulador de ar da estufa da Expander 2	2002 ⁽¹⁾	24
38	MR 100	2002 ⁽¹⁾	24

1- Ano de fabricação estimado.

Fonte: Ecoeficiência

3.2.2 Medições Realizadas e Dados Coletados

Inicialmente foram realizadas em campo medidas e registros das grandezas elétricas (tensão, corrente, potência ativa e fator de potência) utilizando analisadores de energia. Também foram conferidos os dados de placas dos motores, características das cargas e ciclo de operação baseados nas informações dos técnicos da Empresa.

Na Tabela 19, estão dispostos os dados de placa de potência e velocidade e os valores das medições, de tensão, corrente e de potência elétrica. Nesta tabela, também são apresentados os cálculos dos carregamentos dos motores na condição de operação, obtidos a partir do programa BDMotor do CEPEL.

Tabela 19 – Dados de placa e medidas em campo

n°	Dados de Placa		Medições em Campo			
	Potência nominal [cv]	Rotação [rpm]	Potência [kW]	Corrente [A]	Tensão [V]	Carregamento [%]
1	100,0	1.800	33,2	59,7	375,8	40,2

2	100,0	1.800	57,5	110,9	387,8	73,5
3	175,0	1.800	59,2	118,1	376,4	41,1
4	100,0	1.800	62,6	118	393,6	80,1
5	100,0	1.800	42,9	88,4	393,4	54,4
6	40,0	1.800	19,0	31,9	398,6	57,7
7	40,0	1.800	15,6	36,6	399,0	46,9
8	50,0	1.800	20,1	39,3	378,2	49,1
9	52,5	1.800	6,3	26,8	378,3	13,5
10	125,0	1.800	39,4	97,3	377,0	37,6
11	75,0	1.800	42,2	67,3	437,9	71,8
12	75,0	1.800	34,4	59,7	438,3	57,9
13	75,0	1.800	28,1	49,8	439,2	46,9
14	60,0	1.800	40,6	61,6	441,4	86,1
15	15,0	1.200	14,1	24,9	441,3	58,7
16	25,0	1.800	5,1	10,1	385,7	22,8
17	25,0	1.800	4,6	9,8	382,3	20,2
18	25,0	1.800	4,2	9,3	380,0	18,2
19	25,0	1.800	4,8	10,0	383,5	21,3
20	25,0	3.600	5,1	10,4	384,2	22,8
21	25,0	1.800	5,1	10,5	384,1	22,8
22	25,0	1.800	5,1	10,2	394,0	22,8
23	25,0	1.800	10,1	16,6	399,0	48,4
24	50,0	1.800	32,3	59,9	365,8	80,3
25	50,0	1.800	27,7	53,2	363,7	68,7
26	60,0	1.200	5,1	67,4	385,7	69,0

27	60,0	1.200	30,06	56,60	375,2	63,1
28	60,0	1.200	23,50	45,60	379,9	48,9
29	60,0	1.200	37,06	72,64	380,7	78,2
30	50,0	1.200	21,45	41,27	382,3	51,5

Fonte: Ecoeficiência

3.2.3 Análise dos Dados

Nessa seção, é apresentada uma análise dos dados coletados com o objetivo de se obter os parâmetros característicos do desempenho energético dos motores instalados na fábrica.

Um aspecto importante a ser ressaltado na política de manutenção dos motores elétricos são os cuidados no momento da recuperação de um motor danificado. Deve-se estar atento aos procedimentos adequados para que não sejam introduzidos novos fatores de perda de energia. Sob esta óptica, o aquecimento excessivo do estator, para retirar o enrolamento defeituoso, pode provocar o rompimento do tratamento químico responsável pelo isolamento entre as lâminas do estator. Este fato aumenta as perdas por correntes parasitas e faz surgir pontos quentes nos pacotes do estator, diminuindo a vida útil do motor recuperado. Além disso, altas temperaturas modificam as propriedades magnéticas das lâminas de ferro, aumentando também as perdas por histerese.

Considerando o exposto anteriormente, para simulação de análise econômica de troca de motores, se utiliza as seguintes perdas de rendimento, em função da vida útil: de 16 a 25 anos → 5 % de perda, de 5 a 15 anos → 3 % de perda e abaixo de 4 anos → sem perda.

As avaliações relativas ao carregamento elétrico de motores, o consumo e o custo de energia anual foram realizadas utilizando-se o programa BDmotor. Para as simulações, o parâmetro de entrada utilizado no programa foi a potência elétrica medida em campo.

3.2.3.1 Análise por *payback* simples

Na Tabela 20 a seguir, são apresentados os resultados econômicos dos motores avaliados sem considerar o redimensionamento. Nestas tabelas, estão destacados, em negrito, os motores que, após simulação, obtiveram *payback* menor ou igual a 60 meses.

Para a substituição dos motores, foi considerado que será utilizada mão-de-obra própria da empresa e o tempo de funcionamento diário apresentado na Tabela 20. As informações sobre os preços dos motores novos foram retiradas de uma lista de preços da WEG Equipamentos Elétricos S.A..

Tabela 20 – Análise econômica para substituição de motores

Nº	Motor em uso / motor eficiente		Invest. [R\$]	Economia [kWh/ano]	Economia [R\$/ano]	Payback [meses]
	Pot. nom. [cv]	Carreg. [%]				
1	100,0	40,2	19.507,88	32.014,84	7.011,25	34
2	100,0	73,5	19.507,88	21.064,96	4.613,23	51
3	175,0	41,1	40.107,46	51.671,08	11.315,97	43
4	100,0	80,1	19.507,88	22.877,81	5.010,24	47
5	100,0	54,4	19.507,88	3.940,25	862,91	272
6	40,0	57,7	8.207,22	17.441,60	3.819,71	26
7	40,0	46,9	8.207,22	14.869,51	3.256,42	31
8	50,0	49,1	9.026,44	17.729,04	3.882,66	28
9	52,5	13,5	9.026,44	11.869,82	2.599,49	42
10	125,0	37,6	27.841,1	41.418,20	9.070,59	37
11	75,0	71,8	16.446,42	15.365,62	3.365,07	59
12	75,0	57,9	16.446,42	14.494,99	3.174,40	63
13	75,0	46,9	16.446,42	12.701,58	2.781,65	71
14	60,0	86,1	14.482,04	16.438,87	3.600,11	49
15	15,0	58,7	6.444,56	4.290,08	939,53	83
16	25,0	22,8	5.112,31	4.428,09	969,75	64
17	25,0	20,2	5.112,31	4.740,54	1.038,18	60
18	25,0	18,2	5.112,31	5.068,38	1.109,98	56
19	25,0	21,3	5.112,31	4.634,63	1.014,98	61
20	25,0	22,8	5.112,31	4.428,09	969,75	64
21	25,0	22,8	5.112,31	4.428,09	969,75	64
22	25,0	22,8	5.112,31	4.428,09	969,75	64
23	25,0	48,4	5.112,31	6.469,50	1.416,82	44

24	50,0	80,3	9.206,44	16.476,73	3.608,40	31
25	50,0	68,7	9.206,44	14.918,98	3.267,26	34
26	60,0	69,0	20.432,24	11.843,91	2.593,82	95
27	60,0	63,1	20.432,24	11.647,28	2.550,75	97
28	60,0	48,9	20.432,24	10.036,05	2.197,89	112
29	60,0	78,2	20.432,24	12.280,10	2.689,34	92
30	50,0	51,5	17.340,02	21.007,49	4.600,64	46
31	60,0	59,9	20.432,24	11.188,36	2.450,25	101
32	40,0	52,4	8.207,22	11.042,69	2.418,35	41
33	50,0	53,5	9.026,44	13.034,09	2.854,47	38
34	50,0	35,9	9.026,44	10.050,90	2.201,15	50
35	50,0	46,2	9.026,44	11.850,55	2.595,27	42
36	25,0	30,5	5.112,31	4.820,57	1.055,70	59
37	25,0	9,3	5.112,31	8.189,56	1.793,51	35
38	10,0	94,5	2.268,12	4.072,22	891,82	31

Fonte: Ecoeficiência

3.2.4 Alternativa Proposta

Como opção para redução de consumo de energia elétrica, sugere-se a substituição imediata dos motores avaliados que apresentaram *payback* menor ou igual a 60 meses.

Na Tabela 21, é apresentado um comparativo do consumo médio de energia para a alternativa dos motores que apresentaram *payback* menor ou igual a 60 meses.

Tabela 21 – Economia de energia na troca dos motores

	Situação atual	Situação proposta
Consumo anual [MWh]	5.464,2	5.069,7
Custo anual [R\$]	1.196.659,80	1.110.264,30
Redução anual [MWh]	394,5	

Fonte: Ecoeficiência

A substituição gradual dos motores, na medida em que forem queimando, pode ser utilizada caso se opte pela não realização de todo investimento de forma imediata.

3.2.5 Resumo Econômico

Na Tabela 22, são apresentados os valores relativos aos investimentos, economia e *payback* da alternativa proposta.

Tabela 22 – Resumo econômico da alternativa proposta

Alternativa	Economia anual [MWh]	Economia anual [R\$] (2015)	Investimento [R\$]	Payback [meses]
Substituição imediata de motores com <i>payback</i> ≤ 60 meses	394,5	86.395,50	290.737,09	41

Fonte: Ecoeficiência

3.3 RESULTADOS CONSOLIDADOS

A Tabela 23 demonstra, de forma consolidada, os diagnósticos, ações e economia de cada ação de eficiência para os sistemas descritos anteriormente.

Tabela 23 – Ações de Melhoria de Eficiência Consolidadas

Sistema	Diagnóstico	Ação Sugerida	Economia [MWh/ano]
Bomba	Baixa eficiência das bombas analisadas	Substituição dos conjuntos motor-bomba de captação e Reforma das bombas da ETA	53,8 MWh/ano
Motores	Baixa eficiência dos motores analisados	Substituição imediata de motores com <i>payback</i> ≤ 60 meses	394,5 MWh/ano

Fonte: Ecoeficiência Engenharia

4 PANORAMA DO POTENCIAL DE ECONOMIA COM A APLICAÇÃO DE DIAGNÓSTICOS ENERGÉTICOS EM 45 INDÚSTRIAS BRASILEIRAS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados econômicos e energéticos obtidos em diferentes indústrias brasileiras em que a Ecoeficiência Engenharia realizou seus trabalhos. Com os dados levantados pela empresa, buscou-se agrupar as diferentes indústrias em seus segmentos para analisar e comparar os resultados.

No capítulo também é apresentada a contribuição para eficiência energética de cada sistema industrial, assim como, uma avaliação dos fatores que levaram ou não à implementação dos diagnósticos energéticos nas indústrias.

4.1 INDÚSTRIAS E SEGMENTOS ANALISADOS

A análise dos resultados econômicos dos diagnósticos energéticos, realizados pela empresa Ecoeficiência Engenharia, utilizou como base os estudos feitos em 45 empresas do ramo industrial e comercial em todo o Brasil. As empresas estão distribuídas em vários estados da federação, sendo a predominância no estado de São Paulo. O mapa a seguir apresenta esta distribuição.

Figura 11 – Mapa com a distribuição das Empresas analisadas



Fonte: Autoria Própria

A Tabela 24 apresenta o quantitativo de empresas por estado do Brasil.

Tabela 24 – Empresas Analisadas por Estado no Brasil

Estado	Nº de Empresas
GO	3
MS	1
MG	3
MT	2
PB	1
PR	4
RJ	6
RS	4
SC	2
SP	19
Total Geral	45

Fonte: Autoria Própria

As empresas que foram diagnosticadas são dos mais diversos setores da indústria e comércio do Brasil. A Tabela 25 apresenta as empresas, setor da indústria e sua localização.

Tabela 25 – Empresas, setor da indústria e localização

Empresa	Cidade	Estado
Automóveis 1	São Bernardo do Campo	SP
Automóveis 2	Taubaté	SP
Automóveis 3	São Bernardo do Campo	SP
Automóveis 4	São José dos Campos	SP
Autopeças 1	Curitiba	PR
Autopeças 2	Caxias do Sul	RS
Autopeças 3	Extrema	MG
Autopeças 4	Betim	MG
Autopeças 5	Sorocaba	SP
Cigarros	Cachoeirinha	RS
Cimento 1	Cajati	SP

Cimento 2	Cezarina	GO
Cimento 3	Cantagalo	RJ
Cordas 1	Sumaré	SP
Cordas 2	Cerquillo	SP
Embalagens 1	Indaiatuba	SP
Embalagens 2	Mogi das Cruzes	SP
Embalagens 3	Cuiabá	MT
Fundição 1	Araucária	PR
Fundição 2	Rio de janeiro	RJ
Fundição 3	Santa Bárbara	SP
Fundição 4	Sapucaia do Sul	RS
Geração energia	Araquari	SC
Mineração 1	Catalão	GO
Mineração 2	Uberaba	MG
Mineração 3	Tapira	MF
Mineração 4	Betim	GO
Papéis 1	São Paulo	SP
Papéis 2	Arapotí	PR
Papéis 3	Rio de janeiro	RJ
Papéis 4	Bragança Paulista	SP
Papéis 5	Jaguariaíva	PR
Pneus 1	Campinas	SP
Pneus 2	Santo André	SP
Pneus 3	Campo Grande	RJ
Pneus 4	Itatiaia	RJ
Química 1	São Paulo	SP
Química 2	Cubatão	SP
Química 3	Triunfo	RS
Química 4	Piaçaguera	SP
Química 5	Araucária	SP
Química 6	Belford Roxo	RJ
Supermercado 1	Cuiabá	MT

Supermercado 2	Florianópolis	SC
Tecelagem	Campina Grande	PB

Fonte: Autoria Própria

Para o presente estudo, agrupou-se as empresas nos seguintes ramos da indústria, conforme Tabela 26.

Tabela 26 – Agrupamento das empresas por setores

Empresa	Segmento
Automóveis 1	Automóveis
Automóveis 2	Automóveis
Automóveis 3	Automóveis
Automóveis 4	Automóveis
Autopeças 1	Autopeças
Autopeças 2	Autopeças
Autopeças 3	Autopeças
Autopeças 4	Autopeças
Autopeças 5	Autopeças
Cigarros	Outras
Cimento 1	Cimento
Cimento 2	Cimento
Cimento 3	Cimento
Cordas 1	Cordas
Cordas 2	Cordas
Embalagens 1	Embalagens
Embalagens 2	Embalagens
Embalagens 3	Embalagens
Fundição 1	Fundição
Fundição 2	Fundição
Fundição 3	Fundição
Fundição 4	Fundição
Geração Energia	Outras

Mineração 1	Mineração
Mineração 2	Mineração
Mineração 3	Mineração
Mineração 4	Mineração
Papéis 1	Papéis
Papéis 2	Papéis
Papéis 3	Papéis
Papéis 4	Papéis
Papéis 5	Papéis
Pneus 1	Pneus
Pneus 2	Pneus
Pneus 3	Pneus
Pneus 4	Pneus
Química 1	Química
Química 2	Química
Química 3	Química
Química 4	Química
Química 5	Química
Química 6	Química
Supermercado 1	Supermercado
Supermercado 2	Supermercado
Tecelagem	Outras

Fonte: Autoria Própria

O conjunto de empresas onde foram realizados os diagnósticos energéticos apresentou um consumo anual de 4.993.569,2 MWh. Os estudos demonstraram que o potencial de economia com as ações e implementações de eficiência energética possibilitam uma economia de 502.266,96 MWh, ou seja, 10,06%. Destaca-se o setor de embalagens, em que o percentual de economia pode chegar a 32,99%.

A Tabela 27 apresenta os resultados, analisando o consumo anual e a economia em energia elétrica, em MWh, e a economia percentual para cada setor diagnosticado energeticamente.

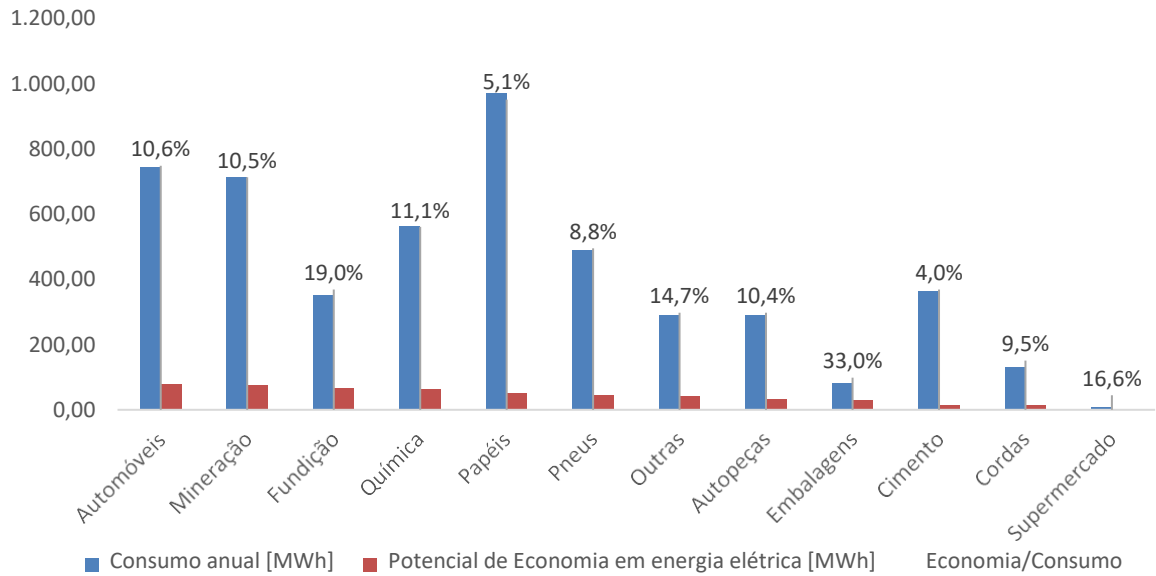
Tabela 27 – Consumo e Economia Anual por setores analisados

Segmento	Potencial de		
	Consumo anual [MWh]	Economia de energia elétrica [MWh]	Economia/ Consumo
Automóveis	744.382,50	78.723,89	10,58%
Mineração	712.112,40	74.526,00	10,47%
Fundição	350.387,69	66.705,72	19,04%
Química	562.919,50	62.345,00	11,08%
Papéis	969.785,04	49.020,60	5,05%
Pneus	489.006,80	42.925,11	8,78%
Outras	288.365,66	42.257,39	14,65%
Autopeças	290.781,26	30.115,06	10,36%
Embalagens	82.592,75	27.251,39	32,99%
Cimento	363.318,00	14.540,60	4,00%
Cordas	131.516,70	12.465,00	9,48%
Supermercado	8.400,90	1.391,20	16,56%
Total Geral	4.993.569,20	502.266,96	10,06%

Fonte: Autoria Própria

A Figura 12 apresenta os percentuais de potencial de economia de energia com ações de eficiência energética, comparados com o consumo por setores da Indústria Brasileira.

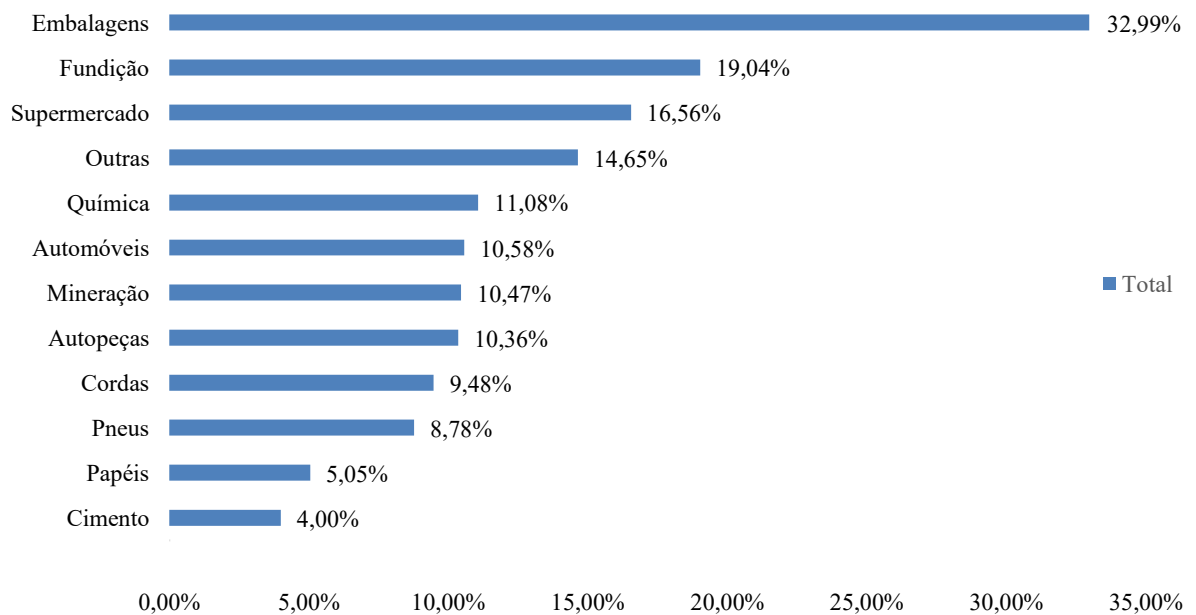
Figura 12 – Percentual de economia de energia com ações de eficiência energética



Fonte: Autoria Própria

A Figura 13 apresenta, em ordem decrescente, as potenciais economias em energia elétrica anuaia com a implantação dos diagnósticos energéticos.

Figura 13 – Porcentagem de economia de energia elétrica anual em MWh com implantação dos diagnósticos energéticos



Fonte: Autoria Própria

Para a implantação das ações de eficiência energética apresentados nos 45 diagnósticos energéticos, os investimentos necessários são da ordem de R\$ 139.619.905,63 para produzir uma economia anual de R\$ 114.240.726,72, referência ano de 2016. Destaca-se a indústria de papéis, com uma economia na ordem de 19 milhões de reais.

A Tabela 28 apresenta, em Reais, os investimentos necessários e a economia estimada para os setores avaliados.

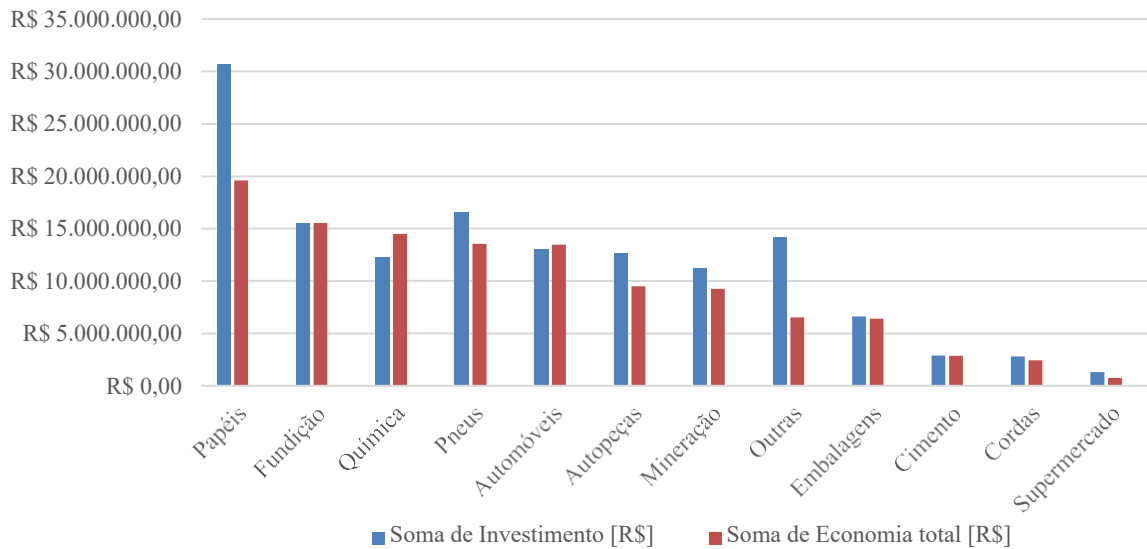
Tabela 28 – Investimentos e Economia Total por Segmento

Segmento	Soma de Investimento [R\$]	Soma de Economia total [R\$]
Papéis	30.681.213,80	19.598.247,70
Fundição	15.519.569,14	15.535.505,96
Química	12.249.960,45	14.474.052,91
Pneus	16.559.965,39	13.527.144,73
Automóveis	13.059.258,95	13.456.600,40
Autopeças	12.655.482,91	9.472.501,49
Mineração	11.186.117,92	9.237.605,18
Outras	14.108.848,94	6.522.654,47
Embalagens	6.621.478,80	6.403.267,97
Cimento	2.880.157,84	2.845.509,51
Cordas	2.793.993,44	2.437.968,09
Supermercado	1.303.858,05	729.668,31
Total Geral	139.619.905,63	114.240.726,72

Fonte: Autoria Própria

Abaixo a Figura 14 compara os investimentos necessários e a economia total para os diferentes setores da indústria avaliados.

Figura 14 – Comparação investimentos necessários x Economia total anual para os diferentes setores



Fonte: Autoria Própria

Os diagnósticos energéticos destacam, como indicador do tempo de retorno de um investimento, o *payback*, que permite, de forma simples, a tomada de decisão por parte dos dirigentes das empresas, sobre onde e como alocar recursos em manutenção e melhorias da eficiência energética de processos e que garantem o retorno dos recursos investidos.

A Tabela 29 apresenta o *payback* médios de todos os setores onde foram realizados os diagnósticos energéticos. O menor tempo de retorno é da indústria automobilística, na ordem de onze meses.

Tabela 29 – Payback médio por setor da indústria analisados

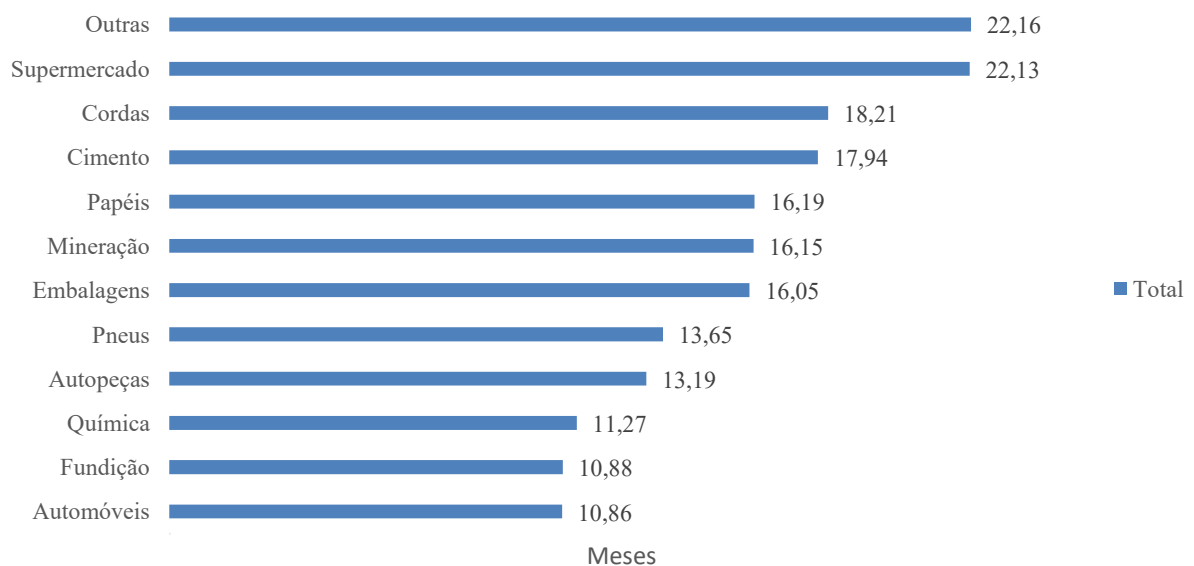
Segmentos	Média de <i>Payback</i> [Meses]
Automóveis	10,86
Fundição	10,88
Química	11,27
Autopeças	13,19
Pneus	13,65
Embalagens	16,05

Mineração	16,15
Papéis	16,19
Cimento	17,94
Cordas	18,21
Supermercado	22,13
Outras	22,16
Total Geral	14,88

Fonte: Autoria Própria

A Figura 15 destaca os *paybacks* médios de todos os setores analisados. O *payback* médio é da ordem de 14 meses para o conjunto de indústria e comércio avaliados.

Figura 15 – *Payback* médio por setor da indústria analisados



Fonte: Autoria Própria

4.2 VIABILIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DAS AÇÕES DOS DIAGNÓSTICOS ENERGÉTICOS

Os diagnósticos energéticos são “fotografias” de um momento no funcionamento das indústrias. Após a apresentação e a entrega dos relatórios, cabe à gerência das empresas a decisão da implementação das ações de eficiência energética. Muitas vezes, essas

implementações são decididas pelo orçamento disponível ou investimento compartilhados por meio de parcerias por contratos de desempenho ou de performance.

No contrato de performance, a empresa parceira fica responsável pelos investimentos e mão de obra da instalação. Nesse modelo, o cálculo de economia é realizado utilizando como referência o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance (PIMVP), onde são comparados os consumos antes e depois da implementação. Durante o tempo de contrato, os equipamentos pertencem à empresa parceira, porém o cliente fica responsável pela operação e manutenção. Ao final do contrato, é realizada a transferência dos ativos ao cliente. O pagamento do projeto de eficiência é feito mensalmente, durante o tempo de contrato, sendo o valor pago correspondente à economia de energia proporcionada pelas ações de eficiência energética.

Um diagnóstico energético apresenta várias possibilidades de melhoria de eficiência energética nos mais diversos setores de uma indústria. Muitas das opções apresentadas no diagnóstico requerem grandes investimentos, equipe técnica especializada e determinação das gerências. Muitas vezes, a equipe de engenharia das empresas não dispõe dos recursos financeiros necessários e está sujeita a um orçamento de manutenção muito restrito. Essa restrição acaba por inviabilizar ótimas propostas de eficiência, resultando no direcionamento para ações que não demandem muitos recursos e possam ter retorno imediato.

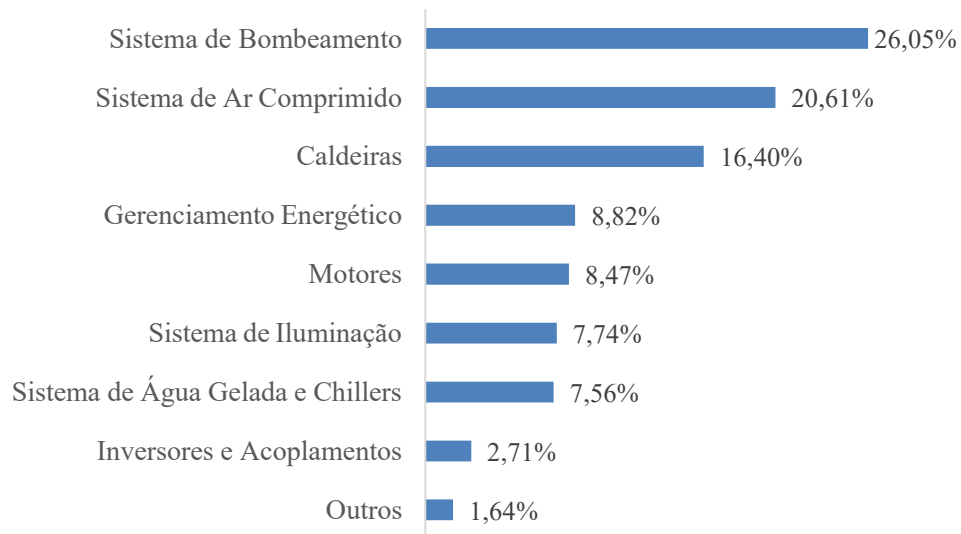
Na maioria das empresas, existem restrições ou dificuldades internas para desenvolver contratos de performance, trazendo o ônus das implementações para a própria empresa.

4.3 CONTRIBUIÇÃO DOS SISTEMAS NOS RESULTADOS DOS DIAGNÓSTICOS ENERGÉTICOS

Nos diagnósticos energéticos desenvolvidos pela Ecoeficiência Engenharia destacam-se as ações voltadas à melhoria da eficiência de sistemas de bombeamento e resfriamento de água. Esses sistemas contribuem com 26 % das oportunidades de ganhos energéticos. Sistemas de ar comprimido, vapor e troca de motores também são muito frequentes nos diagnósticos.

A Figura 16 apresenta a distribuição percentual das oportunidades de aumento de eficiência energética nos diagnósticos realizados nas 45 empresas avaliadas.

Figura 16 – Percentual das oportunidades de aumento de eficiência energética por setor



Fonte: Autoria Própria

4.4 AVALIAÇÃO DA IMPLANTAÇÃO DOS DIAGNÓSTICOS ENERGÉTICOS

Para avaliar os resultados reais dos diagnósticos energéticos, e se de fato foram executados, a Ecoeficiência Engenharia realizou uma série de entrevistas com os responsáveis pela avaliação e implantação dos diagnósticos energéticos nas indústrias, objetivando compreender como se dá o processo decisório para realizar ou não uma ação de eficiência energética proposta no diagnóstico, identificar as dificuldades e se de fato o diagnóstico atendeu às necessidades da empresa.

4.4.1 Detalhamento das Implementações

Dos 45 diagnósticos energéticos realizados pela Ecoeficiência Engenharia, obteve-se os seguintes resultados na implantação ou não dos diagnósticos. Dezenove empresas aplicaram as ações, dezenove aplicaram parcialmente e sete não aplicaram nenhuma das ações propostas.

A Tabela 30 apresenta os resultados das implantações dos diagnósticos energéticos.

Tabela 30 – Resultados da Implantação

Empresa	Ano	Implantação		
		Sim	Não	Parcial
Automóveis 1	2004			X
Automóveis 2	2005			X
Automóveis 3	2009			X
Automóveis 4	2014			X
Autopeças 1	2014			X
Autopeças 2	2014	X		
Autopeças 3	2015	X		
Autopeças 4	2016		X	
Autopeças 5	2012			X
Cigarros	2013			X
Cimento 1	2012		X	
Cimento 2	2012			X
Cimento 3	2012	X		
Cordas 1	2007			X
Cordas 2	2011		X	
Embalagens 1	2013	X		
Embalagens 2	2013	X		
Embalagens 3	2016		X	
Fundição 1	2010	X		
Fundição 2	2012	X		
Fundição 3	2013			X
Fundição 4	2014		X	
Geração energia	2008	X		
Mineração 1	2005	X		
Mineração 2	2006			X
Mineração 3	2008			X
Mineração 4	2008		X	
Papéis 1	2004		X	
Papéis 2	2010	X		
Papéis 3	2011	X		

Papéis 4	2013	X	
Papéis 5	2015	X	
Pneus 1	2007	X	
Pneus 2	2007		X
Pneus 3	2012	X	
Pneus 4	2014	X	
Química 1	2006		X
Química 2	2006		X
Química 3	2008	X	
Química 4	2009		X
Química 5	2009		X
Química 6	2010		X
Supermercado 1	2017	X	
Supermercado 2	2016	X	
Tecelagem	2015		X

Fonte: Autoria Própria

Das sete empresas que não implantaram as ações apresentadas no diagnóstico energético, três não haviam avaliado completamente o conteúdo dos relatórios com os diagnósticos e apresentaram dificuldades técnicas para a sua execução. Uma indústria teve toda sua diretoria trocada e entrou em processo de reestruturação. Uma indústria avaliou de forma genérica que as ações apontadas no relatório não eram aplicáveis. Uma indústria foi transferida para a China antes da implantação das medidas e uma indústria encerrou sua produção.

Das dezenove empresas que implantaram parcialmente as ações apontadas nos relatórios, quatro são pertencentes a um único grupo, que permanece em cooperação com a Ecoeficiência Engenharia através de um assessor designado para acompanhar as implementações em todas as plantas do grupo. Em uma indústria, foi realizado o diagnóstico energético em duas ocasiões, com foco em gerenciamento energético, dando sequência às medidas implementadas com sucesso no primeiro diagnóstico. Em uma indústria analisada, foi realizado a etapa de M&V (medição e verificação) de economias de energia. As demais empresas implantaram parcialmente as medidas, dando preferência às ações que demandavam menor investimento.

4.4.2 Principais Implementações Observadas nos Resultados dos Diagnósticos Energéticos

Nas entrevistas que a Ecoeficiência Engenharia realizou com os gerentes das indústrias onde foram realizados os diagnósticos energéticos, destacam-se as principais razões para execução das ações de eficiência energética:

1. Em geral são selecionadas para implantação as medidas com menores *paybacks* e investimentos mínimos;
2. Ações relativas à economia de energia devido a mudança de procedimento;
3. Retorno às condições de projeto originais de diferentes equipamentos e sistemas;
4. Implantação, em diferentes graus, de medidas de gerenciamento energético;
5. Mudança de procedimento de compra e manutenção de diferentes equipamentos;
6. Capacidade para programar as paradas de áreas para medições detalhadas de perda de água, ar comprimido e vapor;
7. Opção de implantação de ações de melhoria de eficiência em sistemas de iluminação (facilidade e ação visível para instalação) e troca de motores (incentivo da indústria de motores e de programas de governo).

4.4.3 Fatores Observados na Tomada de Decisão

As respostas dos gerentes das indústrias mostraram quais os fatores que foram observados e determinantes para a tomada de decisão na implantação das ações apresentadas no diagnóstico energético:

1. Presença do CEO (*chief executive officer*) ou diretoria executiva da indústria na apresentação do diagnóstico energético;
2. Nível técnico dos diretores, gerentes e engenheiros da planta;
3. Apresentação de estimativas de investimentos baseadas em compras ou contratações de serviços realizadas após a avaliação dos diagnósticos energéticos;
4. Comparações de desempenho com sistemas similares aos encontrados na planta;
5. Possibilidade da efetivação de contrato de performance frente a utilização de recursos do próprio orçamento;

5 CONCLUSÃO

Pode-se concluir nesse trabalho que os diagnósticos energéticos são verdadeiras “fotografias” de um período do funcionamento das indústrias. Com o recebimento dos relatórios, as gerências das empresas decidem sobre a implementação das ações de eficiência energética, sendo essas balizadas pelo orçamento disponível ou investimento compartilhados por meio de parcerias por contratos de desempenho ou de performance.

O Diagnóstico Energético por Imersão se mostra uma opção integral e extremamente detalhada, sendo um trabalho de engenharia completo realizado dentro das empresas, no sentido de avaliar a real condição de eficiência industrial como um todo. Ter um período de duas semanas imerso dentro da planta industrial possibilita conhecer as equipes técnicas, de manutenção, as etapas do processo fabril e como se dá o fornecimento de utilidades (energia, ar comprimido, água gelada, vapor, gás e outras) para os diversos setores e sistemas da empresa. O contato com as equipes, indicando processos e detalhes fabris, somado à imersão na rotina da fábrica, possibilita a identificação mais precisa dos gargalos e ineficiências.

A imersão possibilita a formação de um banco de dados do processo industrial por um período mínimo de medição de uma semana completa. Esse processo se repete pelas 52 semanas do ano e identifica variações entre turnos de processo e diferenciação entre dias de semana e fins de semana. A imersão também permite a comparação entre os dados obtidos pela equipe técnica responsável pelo diagnóstico e os dados fornecidos pelos sistemas de supervisão e telemetria da própria empresa. A confiança e interação entre as duas equipes é essencial para o sucesso do diagnóstico.

A imersão permite fazer a verdadeira engenharia do diagnóstico energético, pois se diferencia obtendo a real situação da eficiência dos mais diversos equipamentos e sistemas por meio de medições em tempo real, análise, observação e funcionamento do processo. Não se limita apenas uma simples observação e comparação de dados de placa de equipamentos.

Com o apoio de entrevistas com os responsáveis pela avaliação dos resultados, cujo conteúdo foi disponibilizado pela Ecoeficiência Engenharia, foi possível compreender como se dá o processo decisório para realizar ou não as ações de eficiência energética propostas no diagnóstico, identificando as dificuldades e se, de fato, atendeu às necessidades da empresa.

Nos quarenta e cinco diagnósticos energéticos avaliados, dezenove empresas aplicaram as ações, dezenove aplicaram parcialmente e sete não aplicaram nenhuma das ações propostas.

As empresas que não executaram as ações, em geral, apresentaram problemas de ordem técnica, gerencial ou por encerramento de atividades. Já as empresas que optaram pela execução, parcial ou total, dos diagnósticos e que utilizaram um assessor técnico designado para acompanhar todo processo obtiveram resultados expressivos e que corroboraram com as estimativas previstas nos relatórios.

Nas entrevistas realizadas com os gerentes das indústrias, destaca-se que as principais razões para execução das ações de eficiência energética são os *paybacks*, os investimentos mínimos, as mudanças de procedimentos para acionamento e otimização de equipamentos mais eficientes, o retorno às condições de projeto originais e procedimentos de compra e manutenção de equipamentos. Nota-se a preferência das gerências em realizar ações em sistemas de iluminação, pela visibilidade e constatação dos resultados, e na troca de motores, pelo incentivo de programas governamentais.

Observa-se que a tomada de decisão para execução das ações do diagnóstico energético é determinada pela presença da diretoria executiva no momento da apresentação dos resultados, na participação dos gerentes e engenheiros das plantas e nas estimativas de investimentos que possibilitem a realização de contratos de performance frente à utilização de recursos do próprio orçamento.

Como sugestão para futuros trabalhos, oferece-se:

- Comparação dos resultados entre a metodologia por imersão frente à outras metodologias praticadas no mercado;
- Instalação de sistema de telemetria permanente para comparação dos resultados antes e após as medidas de melhoria de eficiência energética e estudo dos resultados obtidos.

REFERÊNCIAS

ALVES, Maria Bernadete Martins; ARRUDA, Susana Margareth. **Como fazer referências:** bibliográficas, eletrônicas e demais formas de documento. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Biblioteca Universitária, c2001. Disponível em: <http://www.bu.ufsc.br/design/framerefer.php>. Acesso em: 11 abr. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520:** informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6024:** informação e documentação: numeração progressiva das seções de um documento escrito: apresentação. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724:** informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro, 2011.

ALVAREZ, André Luiz Monteiro; SAIDEL, Marco Antonio. **Uso Racional e Eficiente de Energia Elétrica:** metodologia para a determinação dos potenciais de conservação dos usos finais em instalações de ensino e similares. 1998. 17 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Pea, Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

MORE: Mecanismo online para referências, versão 2.0. Florianópolis: UFSC Rexlab, 2013. Disponível em: <http://www.more.ufsc.br/>. Acesso em: 19/06/2022.

KASSICK, Enio Valmor. **Uso Racional & Conservação de Energia Elétrica.** 2002. 44 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

FASOLO, Adriano Raul. **Programa de Eficiência Industrial:** priorizando o consumo desagregado no diagnóstico energético. 2011. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica do Paraná, Pato Branco, 2011.

ISQ - INSTITUTO DE SOLDADURA E QUALIDADE (Portugal). Adene – Agência Para A Energia (ed.). **Manual de Auditorias Energéticas na Indústria.** Lisboa: Adene – Agência Para A Energia, 2019. 428 p.

VÍTOR MAGUEIJO (Portugal). **Medidas de Eficiência Energética Aplicáveis à Indústria Portuguesa:** um enquadramento tecnológico sucinto. Um Enquadramento Tecnológico Sucinto. 2008. Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética Grupo 5 – Grupo de Trabalho Indústria. Disponível em: www.pnaee.pt. Acesso em: 21 maio 2022.