



Universidade Federal de Ouro Preto  
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas - ICEA  
Departamento de Engenharia Elétrica - DEELT  
Campus João Monlevade - MG

---



## **Uma Visão geral da Eficiência Energética na indústria e contribuições das metodologias: Ciclo PDCA, 5W2H e WCM**

Paulo Sérgio dos Santos Filho

João Monlevade - Minas Gerais - Brasil

2021

**Paulo Sérgio dos Santos Filho**

**Uma Visão geral da Eficiência Energética na indústria e  
contribuições das metodologias: Ciclo PDCA, 5W2H e WCM**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

**Professor orientador:** Prof. Dr. Wilington Guerra Zvietcovich.

João Monlevade - Minas Gerais - Brasil

Abril de 2021

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S237v Santos Filho, Paulo Sergio dos .  
Uma visão geral da eficiência energética na indústria e contribuições das metodologias [manuscrito]: ciclo PDCA, 5W2H e WCM. / Paulo Sergio dos Santos Filho. - 2021.  
62 f.: il.: , gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Wilingthon Guerra Zvietcovich.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.  
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Graduação em Engenharia Elétrica .

1. Energia - Conservação - Indústria. 2. Energia elétrica - Agentes inteligentes (Software). 3. Indústrias - Consumo de energia . 4. Metodologias . I. Zvietcovich, Wilingthon Guerra. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621.31

Bibliotecário(a) Responsável: Flavia Reis - CRB6-2431



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
REITORIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETRICA



## FOLHA DE APROVAÇÃO

Paulo Sérgio dos Santos Filho

Uma Visão geral da Eficiência Energética na indústria e contribuições das metodologias: Ciclo PDCA, 5W2H e WCM

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Elétricista

Aprovada em 23 de maio de 2021

Membros da banca

Dr. Wilingthon Guerra Zvietcovich - Universidade Federal de Ouro Preto

Me. Daniela Rodrigues Dias - Universidade Federal de Ouro Preto

Dr. Francisco Ricardo Abrantes Couy Baracho - Universidade Federal de Ouro Preto

Wilingthon Guerra Zvietcovich, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 17/05/2021



Documento assinado eletronicamente por **Wilingthon Guerra Zvietcovich, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/05/2021, às 14:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0171909** e o código CRC **C8CCB74B**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.004788/2021-53

SEI nº 0171909

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000  
Telefone: - www.ufop.br

## **Uma Visão geral da Eficiência Energética na indústria e contribuições das metodologias: Ciclo PDCA, 5W2H e WCM**

### **RESUMO**

Este trabalho é resultado de um estudo teórico sobre gestão: de energia e da eficiência energética na indústria brasileira, a partir do emprego das metodologias Ciclo PDCA, 5W2H e programa WCM. O objetivo da pesquisa foi analisar se a adoção dessas metodologias de gestão pela indústria trouxe benefícios para os programas de eficiência energética e identificar a natureza da contribuição atingida. Para isso, foram coletados, nas referências estudadas, alguns casos de indústrias de diferentes segmentos, nos quais se tipificaram o desenvolvimento de programas de uso inteligente de energia elétrica. Dos casos analisados, quatro implantaram pelo menos uma das metodologias de gestão focalizadas neste trabalho. Os resultados das análises apontaram que, caracteristicamente, as metodologias Ciclo PDCA, 5W2H e WCM são sistematizações das melhores práticas, propagam a melhoria contínua, trazem ganhos econômicos, processuais, tecnológicos e energéticos para as indústrias que as implantaram. Entre os benefícios, as metodologias de gestão contribuíram para a eficiência energética, porque implantam uma visão mais objetiva sobre o uso e o consumo de energia; promovem a redução de perdas e desperdícios energéticos; geram documentos com informações estratégicas para a tomada de decisão; estabelecem nova cultura organizacional de uso de energia elétrica e introduzem a melhoria contínua nos processos produtivos. Em contrapartida, a implantação dessas metodologias de gestão exige por parte da alta gestão e dos tomadores de decisão total comprometimento com o processo, treinamento e capacitação das equipes de implantação, disseminação no parque fabril do uso inteligente de energia, integração de equipes, entre outras exigências. Nas indústrias analisadas, observou-se a adoção das metodologias de gestão para reduzir custos com o insumo energia; eliminar perdas e desperdício de energia elétrica em variados sistemas e alcançar nível de classe mundial em gestão de energia. As metodologias de gestão Ciclo PDCA, 5W2H e programa WCM provaram serem eficazes, adaptáveis e versáteis no atendimento de diferentes segmentos e portes de indústrias, além do atendimento a diferentes sistemas produtivos.

**Palavras-chave:** Gestão de Energia. Eficiência Energética. Indústria. Metodologias de Gestão.

## **An overview of Energy Efficiency in industry and contributions of methodologies: PDCA Cycle, 5W2H and WCM**

### **ABSTRACT**

This work is the result of a theoretical study on energy management and energy efficiency in Brazilian industry, based on the use of the management methodologies Ciclo PDCA, 5W2H and WCM program. The objective of the research was to analyze whether the adoption of these management methodologies by the industry brought benefits to the energy efficiency programs and to identify the nature of the contribution achieved. To this end, four cases of industries from different segments, in which the development of programs of intelligent use of electric energy was typified, were collected from the studied bibliographies. Of the cases analyzed, four had implemented at least one of the management methodologies focused on in this work. The results of the analysis pointed out that, characteristically, the methodologies Ciclo PDCA, 5W2H and WCM are systematizations of best practices, propagate continuous improvement, bring economic, procedural, technological and energy gains for the industries that implemented them. Among the benefits, the management methodologies contributed to energy efficiency, because they implant a more objective vision about the use and consumption of energy; they promote the reduction of energy losses and waste; they generate documents with strategic information for decision making; they establish a new organizational culture for the use of electric energy and introduce continuous improvement in production processes. On the other hand, the implementation of these management methodologies requires from top management and decision makers a total commitment to the process, training and qualification of the implementation teams, dissemination of the intelligent use of energy, team integration, etc. In the analyzed industries, it was observed the adoption of management methodologies to reduce costs with the energy input; eliminate losses and waste of electricity in various systems and achieve world class level in energy management. The management methodologies Ciclo PDCA, 5W2H and WCM program proved to be effective, adaptable and versatile in serving different segments and sizes of industries, besides serving different production systems.

**Keywords:** Energy Management. Energetic Efficiency. Industry. Management Methodologies.

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Etapas de um Diagnóstico Energético .....	21
Figura 2 - Causas do alto consumo de energia elétrica na geração de frio.....	28
Figura 3 - Causas do alto consumo de energia elétrica na geração de ar comprimido .....	29

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Casos de Gestão de Energia na indústria .....	24
Quadro 2 - Padrões resultantes do Ciclo PDCA/MASP para uma indústria de bebidas .....	30
Quadro 3 - Ações corretivas para redução do consumo de energia em empresa mineradora ..	31
Quadro 4 - Definição das etapas da metodologia 5W2H.....	32
Quadro 5 – Os 7 passos da metodologia WCM.....	38
Quadro 6 - Tipos de perdas de energia e suas respectivas caracterizações.....	39

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**EPE** – Empresa de Pesquisa Energética

**IEA** – Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency*)

**JIT** – Ferramenta Manufatureira – No momento certo (*Just in Time*)

**MASP** – Metodologia de Análise e Solução de Problemas

**MME** – Ministério de Minas e Energia

**M&V** – Protocolos de Medição e Verificação

**PIB** – Produto Interno Bruto

**SEBRAE** – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

**SIN** – Sistema Interligado Nacional

**TIE** – Reengenharia Total (*Total Industrial Engineering*)

**TPM** – Manutenção Produtiva Total (*Total Productive Maintenance*)

**TQC** – Controle da Qualidade Total (*Total Quality Control*)

**TPES** – Oferta Total de Energia Primária (*Total Primary Energy Supply*)

**WCM** – Manufatura de Classe Mundial (*World Class Manufacturing*)

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 Objetivos .....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>1.2 Justificativa.....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>1.3 Estrutura do trabalho.....</b>	<b>14</b>
<b>2 SISTEMAS INDUSTRIAIS DE ENERGIA E GESTÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Ações para uso eficiente de energia .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Barreiras para melhoria da eficiência energética nas indústrias .....</b>	<b>18</b>
<b>2.3 Diagnóstico energético .....</b>	<b>20</b>
<b>2.4 Gestão de energia na indústria .....</b>	<b>23</b>
<b>3 CONTRIBUIÇÕES DAS METODOLOGIAS DE GESTÃO DA QUALIDADE PARA O INCREMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 Ciclo PDCA .....</b>	<b>26</b>
<b>3.2 5W2H .....</b>	<b>32</b>
<b>3.3 Programa WCM .....</b>	<b>35</b>
<b>4 ANÁLISE CRÍTICA DAS METODOLOGIAS DE GESTÃO EM RELAÇÃO À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA .....</b>	<b>45</b>
<b>4.1 Potencialidades e limitações do Ciclo PDCA.....</b>	<b>46</b>
<b>4.2 Potencialidades e limitações do 5W2H.....</b>	<b>49</b>
<b>4.3 Potencialidades e limitações do Programa WCM.....</b>	<b>51</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>57</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>60</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A expressão eficiência energética pode ser compreendida como a relação entre a quantidade de energia final empregada e o bem produzido ou serviço realizado em que a eficiência está associada à quantidade necessária e não a quantidade usada para realizar um serviço (ACORONI; SILVA; SOUZA, 2014). Para Sola e Mota (2015, p. 498), “a eficiência energética é obtida pela relação entre a energia efetivamente consumida e a energia demandada, enquanto a conservação de energia é conseguida pela redução de bens e serviços que consomem energia.”.

Na história da humanidade, a deflagração da crise do petróleo nos anos de 1970 deu início às discussões globais sobre preservação ambiental e eficiência energética. Surgiram linhas de pensamento corretivas e preventivas quanto às condições climáticas mundiais. Modernamente, a crise de energia elétrica que aconteceu em 2001, no Brasil, provocou a criação de leis para a conservação e programas de incentivo para redução do consumo de energia. A primeira lei imposta referente à eficiência energética foi a Lei nº 10.295/2001<sup>1</sup> que estabeleceu níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, para máquinas e aparelhos fabricados no país, com auxílio de indicadores técnicos pertinentes com o intuito de desenvolver a qualidade de energia no Brasil (SANTOS, 2015).

De todo o consumo a indústria é o setor que possui a maior demanda de energia elétrica no país, quando comparada ao setor agropecuário e de serviços segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017), representando um terço da energia final disponível (NASCIMENTO, 2017).

O setor industrial, embora seja grande consumidor de energia elétrica, não tem uma prática de eficiência energética que possa ser considerada ideal ou que atenda às expectativas; assim, programas e planos de eficiência energética são elaborados para promover o uso racional e eficaz da energia elétrica (SANTOS, 2015).

Exemplo desse descompasso ocorreu em 2015, quando houve seguidos aumentos das tarifas de energia elétrica e de outros insumos energéticos, causando forte impacto nas empresas brasileiras, principalmente nas de médio e grande porte, as quais possuem fortes concorrentes no

---

<sup>1</sup> Lei nº 10.295/2001 - Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Disponível na íntegra em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/110295.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110295.htm)

mercado mundial e para manter a competitividade precisaram tomar decisões que minimizassem os custos com insumos, dentre eles a eletricidade (FIUZA; LOBO; AVELAR, 2017).

Sobre a importância da relação entre competitividade e uso eficiente da energia pelo setor industrial, vale ressaltar a reflexão de Acoroni, Silva e Souza (2014), que dizem:

Utilizar racionalmente a energia pode se tornar um diferencial competitivo, onde as empresas estarão aplicando novas formas de economizar energia e assim aplicar em novos produtos e processos, ou seja, ações proativas no sentido de eficiência e capacitação de projetos para aumentar a competitividade dos produtos da empresa e assim contribuir para o desenvolvimento sustentável do país, permitindo um futuro melhor para todos. Esta consciência pela eficiência energética interessa também às concessionárias fornecedoras, pois a eficiência aumenta a competitividade e a permanência no mercado, garantindo recursos para melhorar seus serviços e atender toda a população, além de evitar em comprometer o meio ambiente (...) (ACORONI; SILVA; SOUZA, 2014, p. 4).

Segundo a *International Energy Agency* - IEA (2016), Brasil, devido à contração econômica, o TPES (correspondente a Oferta Total de Energia Primária) caiu 1,2% e o PIB caiu 3,8%, levando a um agravamento da intensidade energética. Em 2014, o TPES brasileiro cresceu 3,2%, enquanto o PIB cresceu 0,1%. Esses resultados se devem pelo fato de o Brasil possuir uma parcela de consumo fixo de energia muito grande, ou seja, o consumo de energia é similar quando há produção de pequenas ou de grandes quantidades (IEA, 2016, *apud* NASCIMENTO, 2017, p. 20).

Acoroni, Silva e Souza (2014) destacam que o setor industrial brasileiro emprega 2/3 da energia utilizada nas indústrias em sistemas motrizes; daí a força motriz se tornar o principal foco de atuação dos programas de eficiência energética. Essa é uma tendência que tem se ampliado para outros sistemas, como iluminação, por exemplo.

Nunes e Mendes Jr. (2016) ressaltam que a gestão eficaz da energia na indústria insere-se em um contexto específico, pois está sujeito a muitos fatores, tais como: como localização, design de produto e a escolha do processo, que dificultam, muitas vezes, replicar soluções de economia de energia vindas de um tipo de indústria para outros setores e ou para localização diversa (NUNES; MENDES JR., 2016).

Neste contexto, realizou-se neste trabalho uma breve descrição sobre a eficiência energética nas indústrias e o uso de metodologias de gestão para o incremento da eficiência energética em parques industriais. Para isso, apontou o desempenho e os resultados alcançados por indústrias que optaram pelo emprego de metodologias de gerenciamento com o objetivo de reduzirem perdas e

desperdícios energéticos, consumo de energia elétrica, custos operacionais, entre outros fatores. Essa realidade vem encontrando espaço na indústria brasileira, muito devido à competitividade acirrada, mas também aos altos custos do insumo energia elétrica, o qual impacta negativamente nos resultados finais dos negócios. A aplicação das metodologias estudadas (Ciclo PDCA, 5W2H e WCM) são estratégias para tornar o uso da energia elétrica no processo produtivo mais eficiente.

Para isso, lançou-se mão de pesquisa bibliográfica, a partir da técnica de análise de conteúdo, sob uma perspectiva qualitativa, em que papel crucial é conferido à interpretação dos dados das fontes consultadas, com vistas a integrar os conhecimentos no universo em que o tema escolhido tem sentido.

## **1.1 Objetivos**

O objetivo geral da pesquisa foi analisar se a adoção das metodologias de gestão pela indústria trouxe benefícios para os programas de eficiência energética e identificar a natureza da contribuição atingida. A proposta consiste, de um lado, estudar o Ciclo PDCA, 5W2H e Programa WCM, metodologias de sistemas de gerenciamento, as quais propõem ferramentas adequadas à gestão da eficiência energética e são amplamente utilizadas pelas indústrias; de outro lado, descrever suas respectivas implementações, funcionalidades, respostas e resultados em plantas industriais.

Os objetivos específicos adotados foram: (a) descrever os sistemas industriais de energia e gestão da eficiência energética; (b) descrever e analisar a contribuição das ferramentas da gestão da qualidade para o incremento da eficiência energética na indústria.

## **1.2 Justificativa**

Políticas e programas de eficiência energética têm o fim de promover o uso eficiente de energia elétrica em todos os setores da economia, seja na melhoria de equipamentos, de processos ou nos usos finais de energia. No caso do setor industrial, existem, por um lado, ações que contribuem para o uso eficiente de energia; de outro, barreiras que funcionam como entraves organizacionais (tais como fatores econômicos; falta de integração entre sistemas de gestão, etc.) que implicam em perda de eficiência energética ao longo do tempo.

Este trabalho analisou as potencialidades e as limitações das três ferramentas/estratégias de gestão da qualidade Ciclo PDCA, 5W2H e Programa WCM, a fim de trazer à luz os benefícios de seus respectivos empregos para otimizar a eficiência energética no setor industrial.

O interesse é mostrar que as metodologias de gestão, preexistentes nas organizações, quando bem gerenciados, podem trazer benefícios para a gestão de energia no setor industrial e contribuir para a sustentabilidade do negócio.

### **1.3 Estrutura de trabalho**

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos:

Neste primeiro capítulo apresentou-se o tema e sua caracterização, o problema, objetivos e justificativa. No capítulo 2, foram apresentados os sistemas industriais de energia e gestão da eficiência energética com ênfase em ações para usos eficientes de energia, barreiras para a melhoria da eficiência energética, diagnóstico energético e a importância da medição e verificação. No capítulo 3, contemplaram-se as contribuições das metodologias de gestão da qualidade para o incremento da eficiência energética na indústria, foram tratadas as metodologias Ciclo PDCA, 5W2H e o programa WCM, além de casos de indústrias que as aplicaram. O capítulo 4 analisou e apontou as potencialidades e as limitações de cada ferramenta foco do trabalho. Enfim, o capítulo 5 explicitou as considerações finais.

## 2 SISTEMAS INDUSTRIAIS DE ENERGIA E GESTÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Pode-se dizer que os sistemas industriais de energia fornecem o processo de aquecimento, refrigeração ou de energia elétrica necessária para a conversão de matérias-primas e fabricação de produtos finais. Esses sistemas incluem aquecimento direto e indireto, refrigeração, eletricidade, iluminação, sistemas de automação, sistemas de transmissão para levar combustível, vapor e eletricidade aos equipamentos; bem como sistemas de geração e cogeração (reaproveitamento) de energia. No Brasil, de acordo com o Ministério das Minas e Energia (MME), os sistemas industriais de energia são classificados conforme os seguintes usos finais: força motriz; calor de processo; aquecimento direto; refrigeração e ar condicionado; iluminação; eletroquímica (SOLA; MOTA, 2015).

Face o consumo energético intensivo da indústria e de tempos cada vez mais duros para a produção de energia, considerando-se, ainda, a inclusão de custos socioambientais crescentes em orçamentos de projetos energéticos, vê-se a necessidade de programas sistemáticos de eficiência energética nos diversos setores industriais do Brasil (GODOI; OLIVEIRA JÚNIOR, 2009).

Para Godoi e Oliveira Júnior (2009), a eficiência energética dos processos industriais envolve ações de racionalização de energia, que devem conduzir a:

- a) eficiência no uso final da energia;
- b) introdução de eficiente sistema de controle de processos para gestão das cargas, substituição de sistemas/equipamentos obsoletos e ineficientes, etc.;
- c) recuperação de energia;
- d) perspectiva econômico-financeira da energia, que forneça respaldo à tomada de decisão, esclarecendo acerca de maior aporte energético aos sistemas/ equipamentos existentes ou, se são estes que devem ser substituídos;
- e) visão da cadeia de valores de produção, com seus elos a montante e a jusante, em que se questione, por exemplo, se determinada embalagem (elo a montante) mais, ou menos, energointensiva se compatibiliza ou não com os esforços aplicados em racionalização de energia dos sistemas produtivos;
- f) compromisso dos órgãos de marketing, lançamento de novos produtos, engenharia de projeto/produto, engenharia de produção e/ou engenharia industrial (incluindo manutenção), contabilidade e finanças, quanto à dos produtos finais quando utilizados pelos clientes;
- g) esclarecimento quanto às amplas implicações socioambientais da energia, com suas externalidades positivas e negativas;
- h) mudanças na cultura e no comportamento de uso da energia (GODOI; OLIVEIRA JÚNIOR, 2009, p. 5).

Godoi e Oliveira Júnior (2009) defendem a adoção de programas de eficiência energética, a partir de argumentos que vêm as ações de redução de consumo e de perdas de energia como a criação de uma verdadeira usina virtual de energia:

Para consumir menos energia ou produzir mais trabalho útil num determinado sistema, como se mais energia fosse disponibilizada, sem que este fenômeno esteja ocorrendo, deve-se racionalizá-la (mudar os hábitos de consumo, introduzir competente controle de processo, substituir equipamentos obsoletos, etc.), reduzindo o consumo energético sem prejuízo da quantidade ou da qualidade dos bens e serviços produzidos ou do conforto proporcionado, disponibilizando, no final, mais energia. É como se houvesse um suprimento adicional, virtual, de energia, o qual decorre do processo de racionalização. A eficiência energética também é conhecida como produtora de usinas virtuais de energia sem qualquer impacto socioambiental (GODOI; OLIVEIRA JÚNIOR, 2009, p. 7).

Segundo Ferreira (2019), o setor industrial tem um consumo de aproximadamente 46% da energia elétrica brasileira (MME/EPE, 2018). Logo, a eficiência energética aplicada à indústria, pode não só contribuir com a minimização de um consumo significativo de energia, como também com grandes ganhos ambientais, já que o Brasil conta com aproximadamente 318 mil unidades industriais, segundo dados do IBGE-2019. Assim, há potencial de ganhos expressivamente impactantes (IBGE, 2019).

Na próxima seção, apresentam-se algumas das estratégias empregadas para se atingir eficiência energética a despeito das dificuldades.

## **2.1 Ações para uso eficiente de energia**

Sola e Mota (2015) destacam que diversas estratégias para uso eficiente de energia têm sido utilizadas no setor industrial, por meio de programas de gerenciamento de energia, os quais incluem auditoria energética, conscientização e treinamento de pessoal. Outra forma, citada pelos autores, é a adoção de tecnologias energeticamente eficientes. Do ponto de vista de políticas governamentais, eles enumeram importantes estratégias para incentivo ao uso eficiente de energia no setor industrial, tais como: acordos com indústrias com metas de eficiência energética; normas com índices mínimos de eficiência energética; incentivos fiscais e crédito para financiamento; programas de auditoria energética e orientação às indústrias para adoção das melhores práticas (SOLA; MOTA, 2015).

Para Sola e Mota (2015), existem muitas oportunidades para melhoria da eficiência energética nos sistemas industriais de energia. Em relação à força motriz, os autores indicam a melhoria da eficiência energética por meio de: motores de alto rendimento (alta eficiência); adequação à carga; correção do fator de potência; instalação de dispositivos para controle de partida e velocidade; manutenção periódica; balanceamento de tensão de alimentação (SOLA; MOTA, 2015).

Para Ferreira (2019), quando se considera a questão da iluminação no setor industrial, essa constitui parcela importante do consumo final de eletricidade, já que os postos de trabalho devem ser iluminados a fim de se obter uma percepção visual mais apurada. Logo, o investimento em ações de eficiência energética nesse campo tem o fim de se reduzir a capacidade instalada de sistemas de iluminação, utilizando-se outras tecnologias, tais como luminárias e lâmpada eficientes. A ação mais comumente empregada pelos parques fabris tem sido a substituição de lâmpadas de vapor de sódio por lâmpadas de LED no sistema de iluminação. Os resultados apontam, segundo a autora, a redução do desperdício e, conseqüentemente, a diminuição de gastos, devido a um custo benefício de médio prazo mais interessante do ponto de vista financeiro e ambiental (FERREIRA, 2019).

Já Fiuza, Lobo e Avelar (2017) destacam a evolução tecnológica em alguns segmentos energéticos que obtiveram maiores ganhos de eficiência energética, dentre eles, o setor industrial, no qual o efeito da tecnologia é, para eles, particularmente significativo, porque aumenta a competitividade entre indústrias do mesmo segmento (FIUZA; LOBO; AVELAR, 2017).

Esses autores efetivaram uma pesquisa com 104 empresas do setor alimentício do estado do Paraná (PR), a fim de saber de suas principais estratégias para o desenvolvimento da eficiência energética em seus respectivos negócios. Do conjunto de empresas pesquisadas, 49 (47%) conseguiram implementar 64 ações ligadas à modernização das instalações elétricas internas, automação, motores elétricos, caldeiras, iluminação, etc. Esses empreendimentos atuaram fortemente em iniciativas para reduzir o consumo de energia térmica e elétrica (FIUZA; LOBO; AVELAR, 2017).

Autores, como Sola e Mota (2015), chamam a atenção para o fato de que, de modo geral, as indústrias brasileiras não adotam ações para substituição de tecnologias visando à melhoria da eficiência energética de forma sistêmica em todos os usos finais.

Como será demonstrado, a seguir, existem barreiras organizacionais a serem transpostas para se atingir mais plenamente a eficiência energética no setor industrial brasileiro.

## 2.2 Barreiras para melhoria da eficiência energética nas indústrias

Para Sola e Mota (2015), muitos projetos para a melhoria da eficiência energética encontram impedimentos nas organizações, ainda que sejam economicamente viáveis. Eles chamam o fenômeno de ‘paradoxo da eficiência’, como se pode ver a seguir:

As ações para melhoria da eficiência energética nas organizações encontram impedimentos que não aparecem nos cálculos de investimento. Muitos projetos para melhoria da eficiência energética, apesar de viáveis economicamente, não são adotados pelas empresas. Esse fenômeno é conhecido entre os especialistas (...) como *efficiency paradox* ou *efficiency gap* e é uma forte evidência da existência de barreiras para o uso eficiente de energia nas organizações (SOLA; MOTA, 2015, p. 500).

Do ponto de vista governamental, Nascimento (2017) aponta algumas importantes barreiras. A primeira barreira diz respeito à ausência de valorização da eficiência energética na melhoria da produtividade e da economia. A segunda barreira, por sua vez, concerne ao fato de que há uma inclinação para que as opções de fornecimento de energia sejam decididas por critérios políticos. Por fim, a outra barreira apontada é o fato de que os planejadores de energia superestimam regularmente a demanda de energia futura e não incluem o potencial da eficiência energética como fonte para atender a demanda futura (NASCIMENTO, 2017).

Para Nascimento (2017), faltam aos gestores políticos modelos melhores que contenham uma visão mais estratégica de demanda futura de energia, em que a eficiência energética seja alçada como de alta prioridade, acima da capacidade de fornecimento de energia (NASCIMENTO, 2017).

No nível organizacional, apontam-se três tipos de barreiras que vêm impactando negativamente a adoção de eficiência energética nas empresas: barreiras de informação e de decisão; barreiras econômicas e financeiras e barreiras de gestão. Para a descrição dessas barreiras, dá-se destaque às posições de Sola e Mota (2015):

- a) **barreiras de informação e de decisão:** a eficiência energética pode ser comprometida em uma organização caso ocorra a chamada assimetria de informações, ou seja, quando um

setor retém informação relevante para outros setores, mas não compartilha o conhecimento. Isso costuma ocorrer devido a preferências por outros objetivos, por descompromisso com as questões energéticas, etc. No nível do comando, são as informações que alimentam o processo decisório, então, esse fator constitui-se em uma barreira contrária à eficiência energética;

- b) **barreiras econômicas e financeiras:** considerando-se que decisões são tomadas por meio de discussões dos gestores e as estratégias das empresas definidas a partir dessas decisões, no que diz respeito a projetos para melhoria da eficiência energética, a grande preocupação dos gestores têm sido informações sobre investimentos. Quem decide, normalmente, apresenta um perfil de grande aversão ao risco. Assim, mesmo com perspectivas positivas de ganho, um projeto visando à melhoria da eficiência energética, muitas vezes, não é adotado;
- c) **barreiras de gestão:** muitas vezes, o foco da empresa é o sistema de produção, sem que seja dada importância ao fato de que, ao longo do tempo, os sistemas industriais perdem a eficiência inicial; logo, torna-se necessária a integração de ações de operações e de manutenção com o sistema de gestão da qualidade, gestão de energia e gestão da produção; caso contrário, pode haver perda da eficiência energética com o passar do tempo (SOLA; MOTA, 2015, p. 500).

Por fim, os autores apontam outra barreira para a eficiência energética, a falta de profissionais da empresa aptos a pesquisar e avaliar processos e tecnologias energeticamente eficientes e ou oportunidades de investimento em eficiência energética. A falta de pessoal especializado nas organizações impacta negativamente no fornecimento de informações relevantes a quem decide sobre o levantamento de melhoria da eficiência energética. Para Sola e Mota (2015), essa é uma barreira que pode influenciar outras.

A indústria que opta por instalar programas de eficiência energética conta com métodos e técnicas capazes de substituir consumo exagerado de energia elétrica por consumo inteligente. É o que se vê a seguir.

### 2.3 Diagnóstico energético

Silva (2013) explica que, nas ações de conservação da energia nos processos produtivos, destaca-se o papel da inteligência ao adequar os processos e os sistemas às boas práticas de engenharia, economia e administração. Para ele, o cumprimento de objetivos de aprimoramento do desempenho dos sistemas energéticos depende da definição dos métodos e das técnicas que serão empregados. Silva (2013, p. 13) completa seu raciocínio, afirmando que “o diagnóstico energético é o primeiro passo no sentido de substituição de consumo energético por inteligência e permite o início ordenado de um programa de eficiência energética.”.

Conceitualmente, o diagnóstico energético é compreendido por Ferreira (2019, p. 28) “como sendo a análise sistemática do fluxo de energia de um sistema onde o objetivo é designar projetos de combate ao desperdício de acordo com os resultados obtidos.”.

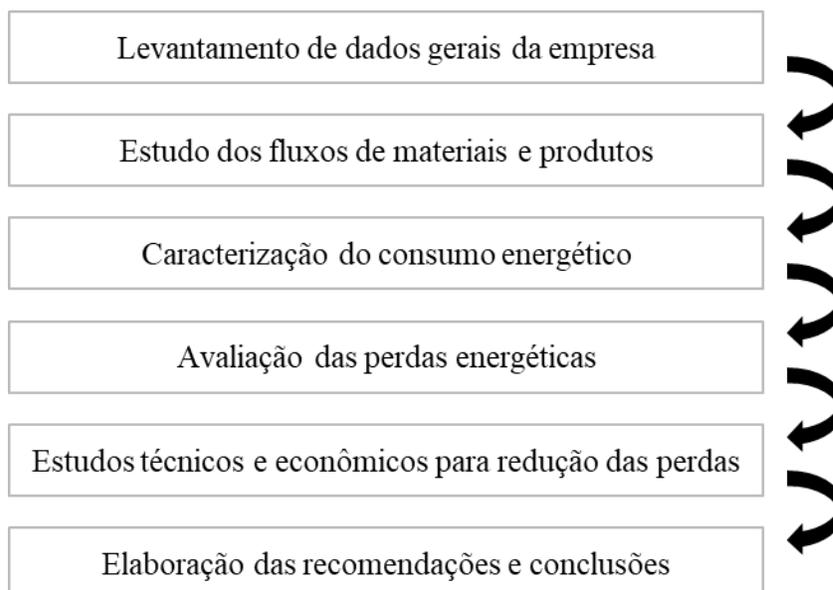
Para Ferreira (2019), é fundamental compreender o consumo energético da indústria no seu processo produtivo através da realização de um diagnóstico energético, que abrange as etapas identificar e quantificar de um possível programa de gestão energética.

Ferreira (2019) aponta que, para as empresas industriais, essas medidas têm caráter preventivo para novas instalações e caráter corretivo para antigas instalações. Pode-se dizer que o processo de diagnóstico se inicia a partir dos seguintes questionamentos: quanta energia está sendo consumida; quem está consumindo energia; como é consumida a energia e sua frequência.

A finalidade é conhecer os principais consumidores do fluxo de energia da empresa e, a partir desse diagnóstico, estabelecer prioridades e desenvolver projetos que mais se enquadram com o perfil encontrado e acompanhar o seu resultado.

Ferreira (2019) apresenta as etapas de um diagnóstico energético (genérico), baseado no modelo proposto por Marques *et al.* (2007). A autora ressalva que as etapas previstas devem ser administradas da forma mais compatível com o perfil de cada empresa, considerando-se os requisitos técnicos e de pessoal da instituição, além de outros aspectos que os tomadores de decisão julgar necessários. As etapas propostas podem ser vistas na Figura 1, a seguir:

Figura 1 - Etapas de um Diagnóstico Energético



Fonte: Ferreira (2019, p. 30)

Silva (2013) frisa que em um diagnóstico energético as informações não estão inicialmente disponíveis, logo, são necessárias visitas a campo, entrevistas *in loco*, consultas a fabricantes de equipamentos, estabelecimento de correlações, tomadas de sinal ou medidas, etc. Do conjunto de informações desejáveis, Silva (2013) destaca as seguintes:

- a) Consumos mensais de água, energia elétrica e combustíveis, ao longo de um ano;
- b) Plantas, desenhos e esquemas detalhados das instalações (*as built*, se possível);
- c) Balanços energéticos e de material, atualizados, para cada unidade;
- d) Temperaturas e pressão nos pontos relevantes, valores medidos e de projeto;
- e) Características elétricas dos equipamentos e valores medidos associados;
- f) Considerações sobre as especificações do produto, de caráter energético;
- g) Considerações ambientais e de locação da empresa;
- h) Perspectivas de alterações no processo (SILVA, 2013, p. 16).

Na etapa final, após o trabalho de levantamento de informações, passa-se a elaboração do relatório do diagnóstico que deve conter três aspectos: avaliação da realidade encontrada, recomendações e conclusões.

Ferreira (2019) afirma que esse relatório se constitui em um verdadeiro banco de dados que auxiliará a determinação da economia energética e contribuirá para as decisões relativas a quais projetos são mais viáveis tecnicamente para a empresa (FERREIRA, 2019).

Por fim, Morais (2015) considera que as recomendações devem ser inseridas em um plano de ação contendo responsável, prazo de conclusão e acompanhadas semanalmente pelo gestor de energia, de modo que seja implantada a maioria das recomendações feitas no diagnóstico (MORAIS, 2015).

Outro aspecto a ser considerado na busca pela eficiência energética diz respeito ao emprego da metodologia M&V (medição e verificação), a qual dá garantias técnicas a projetos dessa natureza.

Os protocolos de medição e verificação são peças fundamentais para desenvolvimento e avaliação adequados de projetos de ações de eficiência energética que se pretendam implantar, pois funcionam como uma garantia técnica do projeto (LEITE; STAROSTA; SANTOS, 2017).

Segundo Morais (2015), medição e verificação são os termos utilizados para a metodologia empregada para comprovar os resultados de economia em energia e custos devido a ações de eficiência energética, em geral, resultantes de trocas ou modernização de equipamentos, em muitos casos, utilizando técnicas estatísticas para tais determinações (MORAIS, 2015).

Mesmo internamente nas indústrias, os projetos que promovem a redução do consumo de energia acabam não sendo executados, muitas vezes, por não terem um plano de Medição e Verificação (M&V) bem definido (MORAIS, 2015).

Leite, Starosta e Santos (2017) explicam que o plano M&V tem como objetivo estabelecer a linha de base dos padrões de consumo de energia da instalação (ou do equipamento ou sistema em que se pretende implantar um projeto de eficiência energética), para que seja comparada aos resultados obtidos ao final da implantação do projeto ou das ações de eficiência energética. (LEITE; STAROSTA; SANTOS, 2017).

A alta demanda de energia requerida pelos sistemas industriais, as mudanças conjunturais que colocaram na ordem do dia as mudanças climáticas, de um lado, e, de outro, a necessidade de redução de perdas energéticas e de desperdício de energia, também alavancaram a um patamar de maior importância o gerenciamento eficaz dos recursos energéticos nas plantas industriais, porque é seu papel garantir a melhoria contínua do desempenho energético da indústria que adotar a gestão energética. A próxima seção trata justamente dessas relações.

## 2.4 Gestão de energia na indústria

Morais (2015, p. 23) afirma que, na indústria, um Sistema de Gestão de Energia (SGE) “tem como objetivo encontrar variáveis de consumo dentro de uma instalação industrial que possam ser controladas e otimizadas, gerando indicadores e recursos que demonstrem eficiência dos fatores que afetam diretamente o consumo e os usos finais da energia.” Para o autor, a falta de um SGE traz prejuízos em relação às oportunidades nas empresas, dificulta uma visão sistêmica, o estabelecimento de prioridades e a gestão de ações que possam trazer maior retorno financeiro e maior impacto nos ganhos de eficiência energética (MORAIS, 2015).

Sob essa última perspectiva colocada por Moraes (2015), Souza (2017) arrola outras consequências relativas à ausência de um sistema de gestão energética. Para o autor, essa falta gera, pelo lado da oferta, o uso ineficiente que pode causar perdas ao sistema e o mau dimensionamento que representa déficit na infraestrutura; pelo lado da demanda (empresa), a falta de otimização no processo de contratação do fornecimento de energia elétrica gera desperdícios de oportunidades, incidências de multas e, por consequência, um aumento do custo do produto final (SOUZA, 2017).

Segundo Mathias (2014, *apud* FURLANI, 2017, p. 13), “sistemas de gestão energética desenvolvem atividades que permitem avaliar, quantificar e qualificar o consumo da energia na organização, possibilitando a preservação dos recursos energéticos específicos.” (FURLANI, 2017).

Morais (2015) defende, em consonância com Marques *et al.* (2007), que a gestão energética de uma instalação industrial requer a execução das seguintes medidas:

- a) conhecimento das informações relacionadas com os fluxos de energia, as ações que influenciam esses fluxos e os processos e atividades que utilizam a energia e se relacionam com um produto ou serviço;
- b) acompanhamento dos índices de controle como, por exemplo, consumo de energia, custos específicos, fator de utilização e os valores médios, contratados, faturados e registrados de energia;
- c) atuação nos índices com vista a reduzir o consumo energético através da implementação de ações que buscam a utilização racional de energia (MORAIS, 2015, p. 23).

As medidas mencionadas não levam, por si só, ao uso inteligente da energia em uma determinada planta, elas precisam ser somadas com algumas fases fundamentais de um SGE, como,

por exemplo, o comprometimento da liderança, a análise do desempenho energético da planta, a definição de metas tangíveis (MORAIS, 2015).

Bortolo (2018, p. 14) afirma que “a indústria precisa e deve atrair muita atenção de novas metodologias e processos para visar o menor desperdício de energia. Um melhor aproveitamento da energia na indústria afeta diretamente na sua competitividade, reduzindo custos da produção e obtendo mais lucro ao produto final.” (BORTOLO, 2018).

Segundo Souza (2017), no planejamento da gestão energética, destacam-se três termos: revisão energética, linha de base energética e indicadores de desempenho. Esses termos são identificados por variáveis práticas, como, por exemplo, volume de produção e máquinas ociosas por falta de manutenção, que de certa forma intervém diretamente no montante de economia de energia, além de comprovar se o sistema está dentro dos limites aceitáveis (SOUZA, 2017).

Para fins ilustrativos do papel da gestão energética na indústria, apresentam-se dois casos de sucesso, no Quadro 1, a seguir:

Quadro 1 - Casos de Gestão de Energia na indústria

<b>Casos de Gestão de Energia na indústria</b>		
<b>Empresa</b>	<b>Indústria Multibrás</b>	<b>Indústria de petróleo e gás</b>
Problema	Foi elaborado um diagnóstico energético na unidade Joinville, que identificou diversas oportunidades para efficientização do uso de energia elétrica. Nesse diagnóstico, foram avaliados o sistema de iluminação, os motores elétricos e a sala de geração de ar comprimido.	Grande empresa do setor de petróleo e gás, com despesas com energia elétrica de cerca de R\$ 145 milhões ao ano, contratou uma consultoria internacional para a elaboração de projeções de comportamento dessas despesas ao longo dos cinco anos seguintes, considerando as diversas influências em diferentes cenários.
Soluções	<ul style="list-style-type: none"> <li>No sistema de iluminação foi feito o <i>retrofit</i> da iluminação (modernização das luminárias), com a substituição das lâmpadas fluorescentes de 40 W por outras mais eficientes de 32 W, além da troca de reatores eletromagnéticos por eletrônicos.</li> <li>Para os motores elétricos, foi feita a padronização com substituição de motores <i>Standard</i>, em caso de queima, por motores de alto rendimento, eliminando-se a prática do rebobinamento.</li> <li>Na sala de ar comprimido, eliminaram-se os vazamentos de ar, fazendo-se as manutenções preventivas, e reduziu-se a temperatura da sala com a abertura de áreas para ventilação interna.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Suporte técnico com base no conjunto das regulamentações existentes para o setor elétrico brasileiro, para o ajuste de uma ferramenta própria de projeções estatísticas às condições legais do mercado nacional de energia.</li> <li>Apoio na interação e identificação de diferenças entre as ferramentas já adotadas pelos órgãos governamentais e a ferramenta própria.</li> <li>Elaboração de projeções das tarifas de energia (mercado regulado), e dos preços da energia (mercado livre), em diferentes cenários, ao longo dos cinco anos subsequentes.</li> </ul>

Benefícios alcançados	O investimento total em eficiência energética na unidade industrial foi de R\$ 450.720,50, que resultaram em ganhos anuais de R\$ 235.827,80, além de ganhos energéticos de 3.516 MWh. Além das ações de eficiência energética, adotou-se ampla campanha de conscientização para os empregados da Multibrás.	Ferramenta gerencial para suporte à administração na gestão energética de suas principais plantas industriais.
-----------------------	--	--

Fonte: ProcelInfo e NS Energia<sup>2</sup>

Analisando-se as ações de gestão energética adotadas pela Multibrás S.A., observa-se (a) a função do diagnóstico energético, ao identificar três focos de atenção para a melhoria do fluxo de energia; (b) a adoção da modernização do sistema de iluminação por lâmpadas mais eficientes e energeticamente mais econômicas; (c) a substituição tecnológica com a adoção de motores de alto rendimento na busca por eficiência; (d) a ação de manutenção apoiando a produção e (e) a adequação da infraestrutura para redução da carga térmica. Conclui-se desses dados que a gestão energética envolve decisão, ação e resultado, além do envolvimento de todos, dos gestores aos colaboradores. Ao final, a indústria alcançou ganhos financeiros e energéticos consideráveis.

O caso da indústria de petróleo e gás demonstra a importância de os gestores estarem prontos para: (a) reconhecer a necessidade de uso de ferramentas apropriadas a darem respostas confiáveis quanto às condições do mercado de energia; (b) adequar as ferramentas para a gestão de energia em parâmetros confiáveis; (c) elaborar projeções de índices tarifários com base em diferentes mercados e em diferentes cenários ao longo do tempo. Esse caso demonstra que a gestão energética se faz com a obtenção de dados relevantes para a tomada de decisão e cálculos de retorno das ações que serão implementadas.

Logo, uma gestão energética correta controla os consumos de energia, os gastos energéticos como também as indicações dos potenciais problemas que podem ser atacados. Já o insumo energético mal gerido pode tornar-se fator limitante ao crescimento ou à sobrevivência de uma indústria.

A próxima seção trata das metodologias de gestão, advindas da Qualidade Total, e da contribuição que pode ser dada às indústrias para o incremento da eficiência energética.

<sup>2</sup> Referências: ProcelInfo sobre Multibrás (disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp>) e NS Energia sobre indústria de petróleo e gás (disponível em: <http://nsenergia.com.br/>). Ambas as referências sem data. Acesso em: 19 jan. 2021.

### **3 CONTRIBUIÇÕES DE METODOLOGIAS DE GESTÃO DA QUALIDADE PARA O INCREMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA**

As ferramentas da qualidade foram criadas para dar suporte ao cumprimento dos objetivos visados, quais sejam mensurar e analisar processos e procedimentos das empresas, a fim de estimular resoluções para os problemas encontrados. Comumente, essas ferramentas são comparadas a metodologias que cooperam para a diminuição de desperdícios e dos custos operacionais, ao mesmo tempo em que aumentam a celeridade na execução das atividades.

Batista e Flauzino (2012) observam que muitas empresas têm dificuldade em conceber a Gestão Energética como uma prática gerencial com caráter decisivo para as diretrizes do planejamento estratégico, já que existe a necessidade de integrar a aplicação de conceitos de engenharia, economia e administração aos sistemas energéticos (BATISTA; FLAUZINO, 2012).

Nos programas em que se busque a eficiência energética na indústria, toma-se como foco neste trabalho a preocupação em descrever e expor os principais benefícios em se empregar algumas dessas metodologias para potencializar tanto as etapas de aplicação dos programas de eficiência energética quanto o alcance dos resultados almejados. Para isso, são apresentados projetos em que se aplicaram o Ciclo PDCA, 5W2H e o Programa WCM.

#### **3.1 Ciclo PDCA**

O Ciclo PDCA é uma ferramenta de gestão com ampla aplicabilidade, usado nas organizações para gerenciar os processos internos de forma a garantir o alcance das metas definidas, a partir do emprego das informações geradas no processo como fator de direcionamento das decisões (MARIANI, 2005).

O Ciclo está dividido em quatro etapas. A primeira, *PLAN*, corresponde ao planejamento, quando se definem as metas ideais do processo analisado e se estabelecem os métodos para a sua consecução. A segunda etapa, *DO*, compreende-se como a execução, ou seja, tanto as ações

efetivamente cumpridas por equipe educada e treinada para isso, quanto o registro das informações geradas no processo. Já a terceira etapa, *CHECK*, ocorre quando há a verificação por meio da comparação entre os dados coletados e registrados e o que foi planejado, a fim de se delimitar o grau de alcance dos resultados esperados. Por fim, a quarta etapa, *ACTION*, implica em ações corretivas, a partir do que foi revelado pela etapa anterior: (i) se os resultados propostos não foram atingidos, devem-se estudar as ações corretivas e retomar a metodologia PDCA; (ii) se os resultados propostos foram atingidos, então se deve padronizar o processo, a fim de que se assegure sua continuidade (MARIANI, 2005). O desenvolvimento dessas etapas é que configuram a ideia de ciclo e de melhoria contínua.

Ainda no âmbito organizacional, no Brasil, o ciclo PDCA foi adaptado para MASP (Metodologia de Análise e Solução de Problemas). O MASP, se utilizado de modo sistêmico nas organizações, conduz à solução de problemas e a sistematização dos resultados, traduzindo-se em um diferencial competitivo de mercado. Para Mariani (2005), o MASP é o PDCA em oito etapas, quais sejam:

- I. identificação do problema: identificação de um desvio e/ ou uma não conformidade, a fim de delimitar claramente o problema que se quer resolver;
- II. observação: investigação dos problemas, ou seja, descobrir todas as características do problema;
- III. análise para descobrir causas: sugestões e ideias com a finalidade de contribuir para identificar as causas;
- IV. plano de ação: planejamento das contramedidas para eliminar o problema; por meio da elaboração de estratégia capaz de certificar que as ações propostas agirão sobre as causas;
- V. ação para eliminar as causas: atuação para eliminar as causas principais dos problemas por meio de reuniões e de capacitação;
- VI. verificação da eficácia da ação: exame dos resultados alcançados, avaliar se as ações foram executadas conforme planejado e registrar os efeitos indesejados;
- VII. padronização: documentação dos procedimentos a serem seguidos por todos os colaboradores, para evitar a não conformidade. Os novos padrões são comunicados, os colaboradores são educados e capacitados, posteriormente, controle do cumprimento dos mesmos;
- VIII. Conclusão: instalação de uma cultura de aprendizagem organizacional, para que os problemas sejam resolvidos e que todos estejam integrados (MARIANI, 2005, p. 115).

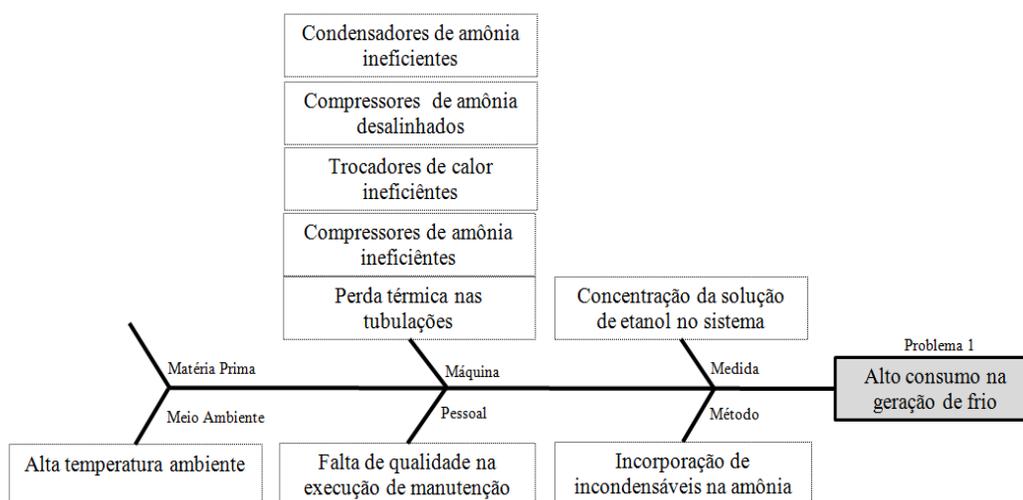
No caso da gestão de energia elétrica, é interessante avaliar a aplicabilidade do Ciclo PDCA, através do estudo de projetos que já adotaram a metodologia com o fim de se obter maiores níveis de eficiência energética. A seguir, apresenta-se o caso de uma indústria de bebidas.

### 3.1.1 Caso 1 – Indústria de bebidas

Corrêa (2017), em um estudo de caso de uma indústria de bebidas, abordou o uso das ferramentas baseadas no Ciclo PDCA/MASP na melhoria do consumo de energia elétrica. Neste estudo, o autor aponta que na fase diagnóstica, verificou-se, por meio da análise do histórico de consumo e do perfil de uso de energia elétrica, que havia maiores oportunidades de redução de consumo na geração de frio e de ar comprimido.

Em relação ao problema de alto consumo na geração de frio, foram identificadas as seguintes causas, como se pode ver na Figura 2, a seguir:

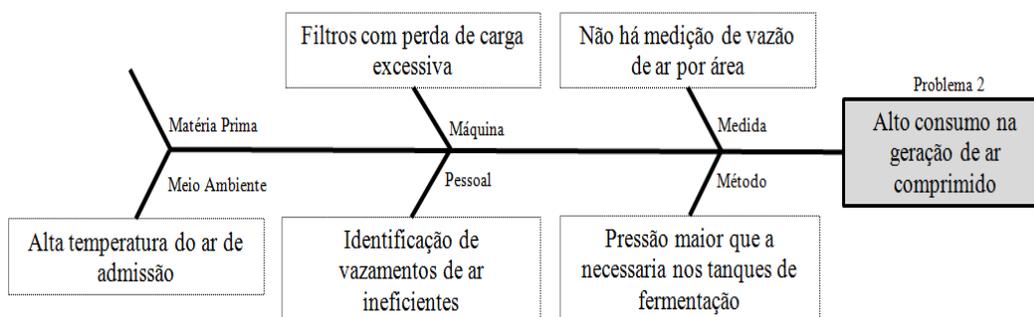
Figura 2 - Causas do alto consumo de energia elétrica na geração de frio



Fonte: Corrêa (2017, p.24)

Já em relação ao problema de alto consumo de energia elétrica na geração de ar comprimido, foram identificadas as causas que se seguem, destacadas na Figura 3:

Figura 3 - Causas do alto consumo de energia elétrica na geração de ar comprimido



Fonte: Corrêa (2017, p.25)

O Plano de Ação, elaborado na etapa de Planejamento das contramedidas, segundo o autor, cumpriu com o objetivo de ser constituído por ações de eficiência energética de baixo custo financeiro, assim, a maior parte dos procedimentos previstos basearam-se na revisão e na alteração das ações operacionais, em detrimento de desenvolvimento de projetos e alterações estruturais (CORRÊA, 2017).

Os resultados alcançados, tanto em relação ao índice de energia elétrica quanto ao alcance da meta, caracterizaram o Plano de Ação como assertivo. Para isso, segundo Corrêa, colaborou o fato de a equipe ter contado com a participação de especialistas que detinham conhecimento técnico do processo analisado e embasamento teórico das ações de eficiência a serem realizadas. Para ele, o sucesso na identificação de ineficiências depende da participação de colaboradores de diferentes funções e níveis hierárquicos.

Outro fator positivo, apontado por Corrêa, foi a lista de padrões que foi sendo elaborada ao longo do desenvolvimento das etapas do PDCA, sobretudo na Execução (*Do*). Através da análise da causa fundamental dos problemas priorizados (etapa III do MASP), observou-se que a redução do índice de energia elétrica foi consequência da aplicação das ferramentas de gestão.

No Quadro 2, é possível visualizar os padrões resultantes da aplicação do PDCA para o estudo de caso feito por Corrêa (2017), como se segue:

Quadro 2 - Padrões resultantes do Ciclo PDCA/MASP para uma indústria de bebidas

Padrão	Ação	Responsável
Padrão 1	Realizar purga de incondensáveis do sistema de amônia.	Supervisor Utilidades
Padrão 2	Realizar check de estanqueidade de ar comprimido.	Supervisor Elétrica
Padrão 3	Calibrar setpoints de temperatura e produção de água desaerada.	Supervisor Filtração
Padrão 4	Calibrar setpoints de temperatura e vazão dos resfriadores de mosto.	Supervisor Brassagem
Padrão 5	Checar estanqueidade das válvulas de etanol.	Supervisor Utilidades
Padrão 6	Realizar check de eficiência dos resfriadores de etanol.	Supervisor Utilidades
Padrão 7	Checar pulverização dos bicos aspersores das torres de resfriamento.	Supervisor Utilidades
Padrão 8	Calcular a eficiência dos compressores de amônia.	Supervisor Utilidades
Padrão 9	Captar sobrenadante nos tanques decantadores de trube.	Supervisor Brassagem
Padrão 10	Checar a eficiência das bombas da Utilidades e Processo.	Supervisor Utilidades
Padrão 11	Checar a queda da pressão através dos filtros de saída dos compressores de ar.	Supervisor Utilidades
Padrão 12	Realizar limpeza química periódica nos trocadores de calor.	Supervisor Utilidades

Fonte: Adaptado de Corrêa (2017)

Corrêa (2017) afirma que os resultados de desempenho energético da indústria de bebidas estudada confirmam a efetividade da metodologia utilizada como forma de gestão de energia elétrica. O autor alerta que o conhecimento profundo do processo a ser analisado determina os cuidados na elaboração do Plano de Ação e isso tem reflexos no desempenho do processo.

### 3.1.2 Caso 2 – Empresa de mineração - Grupo Votorantim

Nascimento (2017) desenvolveu um estudo de caso em uma empresa de mineração global, integrante do Grupo Votorantim, que atua no mercado de metais não ferrosos (produção de ligas de zinco). Na ocasião, o estudo foi desenvolvido com base no Programa de Gestão de Energia da Eletrobrás (2005), aliado aos princípios do PDCA, com fins de reduzir o consumo de energia elétrica (NASCIMENTO, 2017).

Primeiro, procedeu-se à identificação dos parâmetros que levaram, depois, às ações de redução do consumo de energia elétrica. Os parâmetros identificados foram os seguintes:

- a) **vetores primários e secundários da empresa** - para fins do estudo, apenas a energia elétrica foi identificada como vetor secundário, por representar a maior parte dos custos de transformação do concentrado em zinco metálico;

- b) **parâmetros de controle** – foi identificado o consumo específico de energia elétrica *Smelter*, orçado para 2017 com o valor de 736,2 kWh/t, projetado em acordo com a estimativa de produção do mesmo ano;
- c) **metas de redução de consumo** – em conformidade ao que foi definido como parâmetro de controle, o consumo específico da unidade industrial estava 3,3% acima do orçado, assim se utilizou o valor de 3% como meta de redução do consumo específico de energia elétrica dos setores *Smelter*;
- d) **sistemas de medição** – optou-se pelo sistema de medição SIGE, com o uso de *dashboards* que possibilitavam o acompanhamento do consumo diário e mensal das unidades produtivas e a visualização da meta de cada uma;
- e) **ações realizadas de ver e agir** – as ações de Ver e Agir tiveram como foco realizar tarefas que reduzissem o consumo de energia elétrica, com o emprego de medidas simples e fáceis de serem colocadas em prática (NASCIMENTO, 2017, p. 33-34).

A partir desse último parâmetro, Nascimento (2017) relata o que foi verificado e quais ações foram implementadas, para que se atingisse a eficiência energética almejada. O Quadro 3 apresenta a síntese das iniciativas corretivas:

Quadro 3 - Ações corretivas para redução do consumo de energia em empresa mineradora

Medidas	Checagem	Ação corretiva
Desligamento de refletores	Áreas abertas com iluminação acesa durante o dia.	Desligamento dos refletores.
	Lâmpadas de vapor de sódio de 400W com reatores de alto consumo de energia.	Troca por 12 lâmpadas e refletores de LED de 150 W.
	Existência de áreas internas com telhas translúcidas que, desnecessariamente, mantinham lâmpadas acesas.	Houve troca de telhas convencionais por telhas translúcidas para permitir a entrada de luz natural e desligamento de 13 lâmpadas de vapor de sódio de 400W e reatores de 120 W.
	Nas áreas abertas e com relé fotovoltaico, que, no painel elétrico, o dispositivo se encontrava no modo 'manual'; o mesmo foi alterado para o modo automático.	Com relé fotovoltaico automatizado, 16 lâmpadas de vapor de sódio com diferentes potências deixaram de ficar ligadas sem necessidade, durante o dia.
Desligamento de unidades hidráulicas	Operadores acionam a unidade hidráulica e, por comodidade, deixam-na ligada sem uso.	Confecção de placas de aviso e fixação nos painéis de controle, a fim de conscientizar o profissional sobre o desperdício de energia ocasionado pelo mau hábito.

Fonte: Adaptado de Nascimento (2017)

Segundo Nascimento (2017), as ações de desligamento de refletores, troca de lâmpadas e desligamento de unidades hidráulicas geraram uma economia anual de quase R\$40.000,00 e uma redução do consumo de energia da ordem de 152 MWh/ano. A autora destaca que as etapas de

*Check* e *Action* do PDCA foram as responsáveis por apontar os problemas e as ações corretivas pertinentes.

Outro aspecto revelado pelo processo foi a percepção do papel que os maus hábitos comportamentais têm no comprometimento da eficiência energética. Daí a importância do envolvimento de toda a empresa no Programa de Redução do Consumo de Energia.

### 3.2 5W2H

A metodologia 5W2H traduz-se na utilização de perguntas (elaboradas em inglês) com o objetivo de gerar respostas estratégicas que esclareçam o problema a ser resolvido; que organizem as ideias na resolução de problemas; que permitam a divisão em etapas de um processo em execução, com o intuito de encontrar falhas que impeçam o término adequado do processo (SILVA; SILVA, 2017). O Quadro 4 explicita a significação de cada etapa.

Quadro 4 - Definição das etapas da metodologia 5W2H

Perguntas da 5W2H	Definições
<b>What:</b> <b>O quê?</b>	São descritas as ações a serem realizadas; registra-se qual é a situação atual e qual deve ser o cenário ao final.
<b>Why:</b> <b>Por quê?</b>	Indicam-se as possíveis causas das não conformidades ou as vantagens que a empresa pode ter ao investir em determinado projeto.
<b>Where:</b> <b>Onde?</b>	Precisa-se considerar o contexto geral do planejamento estratégico que está sendo elaborado e a sua abrangência.
<b>When:</b> <b>Quando?</b>	Estabelece-se qual é o prazo para isso; é importante não focar apenas no resultado final, mas, sim, em todas as etapas.
<b>Who:</b> <b>Quem?</b>	A atribuição de responsabilidades é indispensável ao plano de ação, definem-se as pessoas que vão coordenar e executar o plano.
<b>How:</b> <b>Como?</b>	Deve-se ter um escopo dos procedimentos e métodos que devem ser adotados, além de estabelecer critérios de avaliação e qualidade.
<b>How Much:</b> <b>Quanto?</b>	A última etapa da aplicação 5W2H é estimar os custos que as soluções propostas terão para a empresa. Isso ajuda a avaliar a viabilidade de cada ideia apresentada.

Fonte: Adaptado de Silva e Silva (2017)

A metodologia 5W2H, ainda, pode ser utilizada para criar um Plano de Ação para atingimento de metas e para a busca constante da melhoria contínua (SILVA; SILVA, 2017).

Conforme se fez em relação ao Ciclo PDCA, cabe agora verificar a aplicabilidade da metodologia 5W2H para a gestão de energia elétrica, a partir do estudo de projeto que já empregou a metodologia com o fim de se obter maiores níveis de eficiência energética.

### 3.2.1 Caso 3 – Indústria de sorvetes

Samed *et al.* (2011) investigaram como a energia elétrica é consumida em uma pequena indústria alimentícia (fábrica de sorvetes). O projeto constou de diagnosticar, analisar os principais problemas relacionados ao consumo de energia elétrica e, conseqüentemente, propor uma estratégia para sanar os desperdícios detectados no setor produtivo e comercial. Para o cumprimento desses objetivos, empregaram-se ferramentas de apoio à gestão, com destaque para a metodologia 5W2H nas fases do Plano de Ação e Monitoramento.

Os dados foram coletados por meio de três instrumentos: visita técnica; folhas de verificação para os pontos críticos de desperdício e ineficiência energética, como iluminação, climatização, faturas de energia, motores, tomadas e conectores; questionário aplicado aos colaboradores para coletar informações sobre o conhecimento deles a respeito do uso de energia elétrica, fatos ou acidentes que possam ter vivenciado (SAMED *et al.*, 2011).

Desses instrumentos foi possível verificar dois conjuntos distintos de informações. Em relação às folhas de verificação, os dados apontam que, quanto a:

- a) material: fiação desencapada, remendada, improvisada, exposta em áreas molhadas, principalmente na produção;
- b) mão de obra: colaboradores despreparados em relação tanto aos aspectos técnicos e de segurança quanto aos conceitos de uso eficiente de energia elétrica;
- c) meio ambiente: excesso de iluminação e distribuição irregular de luminárias;
- d) máquina: subutilização de motores por um longo tempo (que leva a ultrapassagem do limite mínimo estabelecido para o fator de potência 0,92) e conseqüente aumento do desperdício de energia elétrica;
- e) método: falta de limpeza e manutenção nas máquinas, dispositivos e equipamentos em todos os setores (SAMED *et al.*, 2011).

Por sua vez, o exame das contas de energia elétrica da indústria estudada, por um período de três meses consecutivos em 2011, permitiu a identificação de um consumo reativo excedente, gerado de um fator de potência abaixo de 0,92, que, por sua vez, estava ligado ao incorreto dimensionamento da carga associada aos motores, os quais operavam em regime de

baixo carregamento ou de baixa potência durante um longo período; além da existência de lâmpadas de descarga de reator indutivo de baixo fator de potência (SAMED *et al.*, 2011).

Segundo a análise de Samed *et al.* (2011), os problemas detectados devem-se à ausência de planejamento referente à alocação das cargas entre os motores disponíveis durante o processo produtivo, subutilizando os motores, o que ocasiona o consumo excessivo de reativos, os quais foram taxados nas faturas.

Esse conjunto de dados permitiu a elaboração do plano de ação e monitoramento, com base na metodologia 5W2H, para minimizar os desperdícios de energia elétrica; como também se extraiu as necessidades prioritárias para a indústria estudada, a saber:

- a) investimento em capacitação e conscientização dos colaboradores sobre que ações adotarem diante de problema técnico e o que fazer para o uso eficiente da energia elétrica;
- b) opção pelo uso de equipamentos de alto rendimento e ou certificados com baixo consumo;
- c) realização periódica de manutenção em todos os setores da empresa, voltada tanto para motores, iluminação, fiação, quanto para limpeza das máquinas, dispositivos e equipamentos;
- d) controle das variações de carga e correção do fator de potência (SAMED *et al.*, 2011).

Por fim, estabeleceram-se todas as atividades que deviam ser realizadas pela empresa para cumprimento do plano de ação através da metodologia 5W2H, a fim de propor as ações corretivas para as principais causas apontadas; identificando quem será o responsável pelas ações; determinando prazos para a execução de cada ação; definindo, ainda, a forma de execução e monitoramento da ação.

Samed *et al.* (2011) arrolaram, como resultado das abordagens elaboradas para a indústria de sorvete, ações capazes de melhorar substancialmente a eficiência energética, como se pode verificar:

(...) promover a introdução de novas tecnologias de controle de demanda e correção de fator de potência, remodelação da utilização de máquinas e equipamentos, introdução de procedimentos de manutenção preventiva e capacitação dos colaboradores para a realização das atividades operacionais, além de propiciar a implantação e o acompanhamento de um programa de política energética, estabelecidos para assegurar o cumprimento dos objetivos e o alcance das metas (Samed *et al.*, 2011, p. 11).

Segundo os autores, ficou definido que um colaborador da empresa ficaria responsável pela realização de diagnósticos energéticos, análise das tarefas definidas no Plano de Ação

5W2H em termos de conformidade, acompanhamento e avaliação das atividades e dos processos produtivos em relação à eficiência e eliminação dos problemas de manutenção. Para Samed *et al.* (2011), somente após essas verificações é que seria possível agir sobre os dados obtidos, gerando novos planos de ação, a fim de minimizar o desperdício de energia elétrica e aprimorar a política de manutenção.

Na avaliação final, Samed *et al.* (2011) destacam o apoio e compromisso da direção da empresa para a implantação do programa de redução de desperdício de energia do insumo energia elétrica. Além disso, ressaltam que as ações propostas constituem, em verdade, as primeiras iniciativas rumo à Gestão Energética a serem efetivadas em indústrias de pequeno porte, entretanto a efetividade de tal projeto deverá passar por certo esforço dos colaboradores na substituição de antigas rotinas de trabalho por novos procedimentos operacionais, visando à eficiência energética e à redução do desperdício de energia.

### 3.3 Programa WCM

Segundo Martins (2016), o *World Class Manufacturing* (WCM) – Manufatura de Classe Mundial – teve suas origens no Sistema Toyota de Produção (TPS), baseado no modelo de Produção Enxuta, mas com características próprias, visto que o WCM é um sistema de gestão integrado de redução de custos para otimização dos processos industriais, através de um conjunto sistematizado de métodos e de ferramentas, empregados para atingir níveis de excelência mundial, ou seja, a indústria ou empresa que adotar o programa pode ter os mesmos desempenhos das grandes organizações industriais do mundo (MARTINS, 2016).

Borges e Oliveira (2016) ressaltam que, conceitualmente, o WCM baseia-se no *Total Productive Maintenance* (TPM); no *Total Quality Control* (TQC); *Total Industrial Engineering* (TIE) e no *Just In Time* (JIT). Sobre a importância dessas metodologias para o programa WCM, Martins (2016) é enfático ao explanar sobre os benefícios auferidos à organização no cenário mercadológico atual:

A força destas metodologias está no combate implacável a todos os tipos de perdas e desperdícios que oneram os custos de uma empresa e que causam o baixo desempenho da produtividade, da qualidade e da competitividade. O objetivo é maximizar o desempenho da empresa e minimizar os seus custos. São fortes metodologias de trabalho para as

empresas e contribui de maneira importante e contínua para o melhoramento de sua performance (MARTINS, 2016, p. 15).

Condizente com as metodologias de apoio do programa WCM, as principais metas são: zero acidente; zero falha de máquina; zero defeito; zero reclamação de cliente; zero resíduo.

Pode-se dizer que o WCM baseia-se em três elementos essenciais:

- a) combate sistemático a cada desperdício e perda existente em toda a cadeia (cliente e fornecedor);
- b) envolvimento das pessoas e desenvolvimento de suas respectivas competências;
- c) utilização rigorosa de métodos e ferramentas apropriados para as ineficiências do processo (MARTINS, 2016).

Um dos conceitos mais caros ao WCM é o de perdas. Martins (2016, p. 16) explica seu sentido no bojo do programa da seguinte forma:

Entende-se por perda, a diferença entre o padrão e o realizado dos recursos necessários para a transformação da matéria prima em produto acabado. Normalmente, as empresas utilizam mais recursos que o necessário. Exemplo - se compra mais matéria prima e energia, pois, parte disto será descartado como refugo e não utilização. Estas formas de desperdícios, denominamos de perdas.

Estruturalmente, o WCM está organizado em 10 pilares gerenciais e em 10 pilares técnicos que representam as diversas áreas de uma empresa (modelo tradicional). Os pilares gerenciais são ligados à alta direção através de compromissos e empenho da organização com o programa, de modo a aplicar técnicas e métodos de gestão de objetivos, planos e projetos; a gerenciar, por meio da difusão, o conhecimento criado por meio da solução dos problemas, a fim de que a organização assuma os traços culturais da melhoria contínua. Já os pilares técnicos têm a finalidade de reduzir as perdas e desperdícios existentes na empresa, cada qual com finalidade e objetivos específicos (MARTINS, 2016).

Costa e Figueiredo (2020) advertem que, embora os pilares gerenciais sejam responsáveis pelo nível estratégico do WCM, eles não precisam ser implementados um a um. O que importa é ter esses pilares gerenciais bem enraizados na alta administração, para facilitar a implantação dos pilares técnicos do modo mais efetivo possível e com resultados mais positivos (COSTA; FIGUEIREDO, 2020).

Em relação aos pilares técnicos, Costa e Figueiredo (2020) afirmam que, para alcançar o padrão de excelência, é necessário um desenvolvimento paralelo de todos os pilares. Cada pilar é focado em um sistema de produção, utilizando ferramentas apropriadas para alcançar a excelência global. Assim, por meio dos dez pilares técnicos<sup>3</sup>, o WCM identifica as áreas de maior perda dentro das organizações, de maneira a atuar na eliminação de qualquer tipo de desperdício.

Cada pilar pode ser avaliado de 0 a 5 pontos. Assim, os 10 pilares técnicos e os 10 pilares gerenciais resultam em 100 pontos distribuídos (pontuação máxima). Os níveis são alcançados segundo uma pontuação pré-determinada: 50 pontos é bronze; 60 pontos é prata; 70 pontos é ouro. Acima de 85 pontos, atinge-se a categoria mais almejada, ou seja, a empresa é considerada uma planta de classe mundial (MARTINS, 2016).

### **3.3.1 Caso 4 – Indústria de compressores herméticos**

(Baseado na Dissertação de Mestrado ‘Eficiência Energética: gestão metodológica para a redução de energia elétrica na indústria’, de Martins, 2016)

Em uma indústria de compressores, especializada em soluções para refrigeração e líder mundial em compressores herméticos, foi proposto o desenvolvimento de um modelo de gestão metodológico para complementação do programa WCM, a partir da mesma lógica adotada pelas abordagens dos pilares técnicos, com o objetivo de reduzir o consumo de energia, uma vez que este é o principal vetor energético da empresa, como também pelo apelo ambiental.

A proposta de complementação do WCM se explica pelo fato de a energia fazer parte do pilar meio ambiente, entretanto a mesma é tratada somente numa abordagem focada. Segundo Martins (2016), essa visão não permite a compreensão exata de se estar diante de uma perda intangível para o meio. O problema, segundo o autor, era a ausência de um método de priorização e um modelo de gerenciamento apropriado para analisar as perdas energéticas e os seus impactos em toda a cadeia produtiva. O autor alega, ainda, que as contramedidas eram tímidas e o monitoramento dos resultados e indicadores deixavam a desejar, porque não havia bons sistemas de medição. Assim, o autor propôs desenvolver um modelo de gestão energética, nas bases do

---

<sup>3</sup> Os 10 pilares técnicos são os seguintes: segurança; desdobramentos de custos; melhoria focada; manutenção autônoma e organização do posto de trabalho; manutenção planejada; logística; gestão preventiva de equipamento; desenvolvimento de pessoas; meio ambiente e controle da qualidade.

WCM, capaz de gerenciar sistematicamente o consumo de energia elétrica e promover a melhoria da eficiência energética nas indústrias.

Martins (2016) propôs a implementação do pilar Energia em 7 passos, quais sejam:

Quadro 5 – Os 7 passos da metodologia WCM

<b>Passos</b>	<b>Caracterização</b>
<b>Passo 1</b>	Escolha da área modelo. Devem-se iniciar as atividades pela área de maior consumo de energia. É a área piloto em que se desenvolverá os 6 passos restantes.
<b>Passo 2</b>	Investigação. Consiste investigar as características dos equipamentos contidos na área modelo. Devemos entender qual a natureza de consumo; a quantidade de equipamentos elétricos; potência; fluxo energético, etc.
<b>Passo 3</b>	Medição. Consiste medir a energia pontual, entrada e saída, em cada equipamento. O objetivo é avaliar o consumo real de cada componente de consumo ou geração de energia..
<b>Passo 4</b>	Análise. Consiste na estratificação do consumo baseado nos 7 tipos de perda de energia. Cada tipo de perda é calculado e valorizado monetariamente em reais (R\$).
<b>Passo 5</b>	Contramedidas. Para cada perda identificada, uma solução deve ser aberta no sentido de reduzi-la ou eliminá-la.
<b>Passo 6</b>	Padronização. Consiste em garantir o registro, compartilhamento, divulgação e treinamento de todos os envolvidos nas soluções implementadas. A finalidade é a manutenção das melhorias ao longo do tempo.
<b>Passo 7</b>	Expansão horizontal. Todas as soluções de sucesso devem ser expandidas para processos ou equipamentos similares. O objetivo é aumentar a velocidade de expansão e os resultados correspondentes.

Fonte: Martins (2016, p. 24)

Em especial, o passo 4 dedica-se à análise dos dados coletados na etapa anterior e do consumo medido, em que são identificados, de um lado, a energia real que os equipamentos precisam para a produção e, de outro, os desperdícios. Esses desperdícios são classificados como perdas, as quais são ocasionadas pelo não aproveitamento correto de energia, tais como: consumo desnecessário; consumo excessivo; não otimização e manutenção dos equipamentos; problema na transmissão, transformação e uso de fontes de energias não sustentáveis. Na análise, torna-se possível estratificar 7 tipos de perda de energia e agrupar o consumo de energia, classificado como perda, em diferentes etapas relacionadas à produção e ao uso desta energia.

Veja no Quadro 5, a caracterização de cada um dos tipos de perda, segundo Martins (2016).

Quadro 6 - Tipos de perdas de energia e suas respectivas caracterizações

Tipo de perda	Caracterização
<b>Perda Tipo 1</b> Devido ao consumo desnecessário em ambiente sem produção	a) consumo de energia em horário não produtivo; b) processos sem produção no momento, mas com algum tipo de consumo, devido a alguns equipamentos estar energizados; c) uso não necessário da energia.
<b>Perda Tipo 2</b> Devido ao consumo excessivo durante a produção normal	a) equipamentos operando sempre com capacidade máxima: <ul style="list-style-type: none"> <li>• temperatura mais baixa do que o necessário;</li> <li>• temperatura acima do especificado;</li> <li>• pressão de ar comprimido acima do necessário.</li> </ul> b) baixa saturação de produção: <ul style="list-style-type: none"> <li>• equipamentos operando ociosamente;</li> <li>• consumo não proporcional à produção;</li> <li>• início ou desligamento não otimizados.</li> </ul> c) superdimensionamento dos equipamentos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• motores elétricos trabalhando com rotação acima do necessário;</li> <li>• sistema de iluminação superdimensionado.</li> </ul>
<b>Perda Tipo 3</b> Devido a não otimização dos equipamentos	a) equipamento não opera em condições de projeto: <ul style="list-style-type: none"> <li>• falta de manutenção.</li> </ul> b) falta de manutenção preventiva: <ul style="list-style-type: none"> <li>• equipamentos degradados e operando abaixo da capacidade nominal.</li> </ul> c) equipamentos obsoletos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• projetos de equipamentos antigos;</li> <li>• não utilizar motores de alto rendimento;</li> <li>• equipamentos operando em faixas fixas de trabalho;</li> <li>• ausência de controles para desligar as máquinas, quando sem produção.</li> </ul>
<b>Perda Tipo 4</b> Devido a não recuperação de parte da energia consumida	a) energia térmica residual: <ul style="list-style-type: none"> <li>• não recuperar calor de exaustores, compressores, caldeiras, etc.</li> </ul> b) energia cinética: <ul style="list-style-type: none"> <li>• não recuperar a energia residual de mecanismos em movimento.</li> </ul>
<b>Perda Tipo 5</b> Devido a perdas na distribuição e transmissão de energia	a) vazamentos de ar comprimido; b) perda de carga de ar comprimido; c) falta de isolamento térmico em tubulações; d) fuga de energia em condutores; e) baixa condutibilidade de condutores.
<b>Perda Tipo 6</b> Perdas durante fase de transformação da energia elétrica em outra forma de energia	a) baixa eficiência durante o processo de transformação de energia; exemplos de baixa eficiência: <ul style="list-style-type: none"> <li>• convertendo energia elétrica em iluminação, mas com baixo rendimento devido à tecnologia das lâmpadas tradicionais;</li> <li>• compressores com baixo rendimento durante a transformação de energia elétrica em energia pneumática e mecânica;</li> <li>• equipamentos com baixo rendimento durante a transformação de energia elétrica em calor (aquecedores) ou em frio (refrigeradores).</li> </ul>
<b>Perda Tipo 7</b> Perdas na fonte de energia por não utilizar fontes alternativas como as renováveis, as abundantes, ambas de menor impacto ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>• trocar a energia de hidroelétrica por energia eólica;</li> <li>• adotar energia fotovoltaica em substituição a fontes poluidoras;</li> <li>• evitar o uso de iluminação artificial com o uso de lentes convergentes para refletir a luz solar em ambientes fechados;</li> <li>• adotar células de combustível ao invés do uso de combustíveis não renováveis.</li> </ul>

Fonte: Martins (2016, p. 26-30)

O percurso de implantação dos 7 passos de energia na área modelo ocorreu após a percepção da significância dos custos energéticos das plantas. Assim, o pilar Energia foi introduzido com o fim de reunir esforços nas áreas de maior impacto ambiental-energético. Martins (2016, p. 36) explica que “o percurso dos 7 passos de energia segue um fluxo lógico de tratativa e resolução de problemas relacionados aos consumos energéticos.”. Passa-se, a partir desse ponto, à descrição sintética do percurso desenvolvido na área de fabricação de compressores da família EG1, que inclui processos de montagem e usinagem, segundo Martins (2016). Ressalte-se que em função da extensão deste trabalho, não serão tratados aqui detalhes técnicos.

### PASSO 1 – Escolha do processo Modelo

O projeto foi desenvolvido na área de produção por ser onde o consumo de energia é maior, respondendo por 92% do consumo total da planta.

#### a) Alto consumo

O vetor energia elétrica foi identificado como o principal consumo energético da empresa, 72% maior que o uso de gás natural na planta.

#### b) Expansão

O projeto foi desenvolvido em uma área piloto dentro da usinagem, para depois ser expandido para outros setores da indústria. O que determinou a escolha do local foi o consumo de mais de 12 milhões de Kwh/ano.

### PASSO 2 – Investigação do consumo

Neste passo, foi preciso identificar todos os pontos de consumo de energia elétrica e analisar os consumos reais de cada um. A lógica da metodologia é individualizar o problema e atacá-lo, indo sempre dos processos com maior perda para os de menor.

No caso do projeto, os maiores consumos estavam localizados nos processos de fabricação. Com o mapeamento dos equipamentos, foram identificados mais de 40 componentes de força, representados pelos motores elétricos. Já a unidade de refrigeração e hidráulica representavam 35% do consumo de energia elétrica.

### PASSO 3 – Medição

Foram instalados medidores em vários pontos da empresa para compreender seu consumo energético. Avaliou-se a energia que chegava ao equipamento e a saída, quanto de energia saía do sistema. A diferença (entre entrada e saída) determinou a energia utilizada pelo equipamento.

Avaliaram-se, também, os componentes fixos e as variáveis de consumo. O fixo representa o consumo de energia sem nenhuma relação com a produção. O custo variável é o componente dependente da produção. A finalidade da metodologia é transformar o consumo fixo em variável, de forma que, sem produção, não haja consumo. Na área escolhida, o custo fixo representava 57%, muito alto e comprometedor para a empresa.

#### PASSO 4 – Análise dos dados de medição

Nessa etapa, para cada tipo de perda foi calculado o consumo e a perda correspondentes. A mensuração foi feita com base no consumo anual (12 meses). Esse passo permitiu estratificar e agrupar a parte do consumo referente à perda, tanto em etapas de produção quanto no uso da energia.

As perdas tipo 1 (consumo desnecessário), tipo 6 (transformação) e tipo 3 (não otimização) representaram 83% das perdas identificadas, as quais normalmente são as mais significativas dentro das indústrias. Como essas perdas envolvem maior valor financeiro, com as correções, representaram os maiores ganhos.

A perda tipo 2 (consumo excessivo), decorrente de erros operacionais ao definir parâmetros de trabalho dos equipamentos, e conseqüentemente, maior consumo, não são comuns ocorrerem. A perda tipo 5 (distribuição) muito relacionada à vazamentos na rede, por ser de fácil percepção, é tratada rotineiramente pela manutenção industrial. A perda 4 (energia não recuperada), tratava-se de energia residual, normalmente, perda de baixo valor e de baixo impacto para a empresa.

Segundo Martins (2016), a perda tipo 7 (uso de energia alternativa), que responde mais ao apelo ambiental do que as demais, tinha como meta substituir as fontes de grande impacto ambiental, como, hidrelétricas, por fontes renováveis e de baixo impacto, como a solar, eólica, etc. Entretanto, no projeto, elas não foram tratadas, devido à combinação de dois fatores: a maturidade da metodologia ao quantificar as perdas tipo 7 e aos custos de implementação de projetos ligados a este tipo de perda.

Assim, pelo viés financeiro, dos 7 tipos de perdas encontrados, as perdas 1, 6 e 3 representaram os maiores valores que as demais. Isso determinou, no passo 5, a priorização das ações dos projetos de contramedidas.

#### PASSO 5 - Contramedidas

A partir do estabelecimento das perdas mais importantes, passou-se à discussão sobre a solução capaz de reduzi-las ou eliminá-las, com o menor custo, a fim de se obter os maiores retornos financeiros.

#### **Perda Tipo 1 – Consumo inútil (período sem produção)**

Problema 1: consumo de energia elétrica sem produção de compressores.

Causa raiz: erro operacional – os operadores, sistematicamente, esqueciam-se de desligar os equipamentos quando saíam ou por alguma parada.

Método usado – padrão de análise de causa raiz faz parte do conjunto de ferramentas do programa WCM.

Ações corretivas:

- a) realizado treinamento para todos os integrantes da área;
- b) criada nova instrução de trabalho para a equipe de manutenção;
- c) implementada gestão visual para alertar quando os equipamentos estão ligados e desligados.

Problema 2: circuito em série que permanecia ligado continuamente.

Ação corretiva: os motores foram separados, de forma que os principais foram desligados nos horários não produtivos, deixando-se apenas o motor auxiliar em funcionamento, sem prejuízo para a qualidade do processo em que eles estavam envolvidos.

#### **Perda Tipo 1 – Consumo inútil (consumo desnecessário)**

Problema: os transportadores permaneciam energizados mesmo durante as fases não produtivas.

Causa raiz: erro no programa de manutenção.

Ação corretiva: alterada a lógica do programa para o desligamento dos equipamentos quando não há produção na linha.

### **Perda Tipo 6: Perdas durante fase de transformação da energia elétrica em outra forma de energia**

Esse tipo de perda envolve os processos de iluminação, processo ar comprimido LP (baixa pressão) e processo ar comprimido HP (alta pressão).

#### **a) Iluminação**

Problema: perda ocasionada pelo uso de 453 lâmpadas convencionais na área modelo.

Ação corretiva: troca por 180 lâmpadas de LED, determinaram o alcance de 350 luxes (lm) em detrimento dos 200 (lm) anteriores.

#### **b) Ar comprimido de baixa pressão**

Problema: o emprego de transformadores obsoletos (30 anos de uso) e de controle manual que continuavam operando mesmo quando não havia consumo nos pontos de uso da fábrica.

Ação corretiva: os transformadores foram substituídos por outros novos e de controles automáticos.

### **Perda Tipo 3: Não otimização do processo**

Problema: a estratificação apontou o equipamento SF021 com instabilidade na pressão do circuito devido à regulagem incorreta e não precisa das válvulas.

Ação corretiva: eliminou-se o controle manual das válvulas, instalando-se inversores que corrigiram o giro do motor em função da pressão exigida.

Outros problemas verificados e solucionados estavam relacionados à operacionalização básica, principalmente de motores, tais como: restabelecimento de rebobinamento, troca de sensores quebrados ou fora de uso, eixos desgastados e contadores danificados.

### **Perda do Tipo 2 – Consumo excessivo (acima do especificado)**

Problema: equipamentos eram utilizados pelos operadores de forma incorreta, provocando o consumo variável e excessivo em intervalos de tempo sem produção.

Ação corretiva: o ciclo operacional foi revisado e os operadores passaram por treinamento, o que acarretou eliminação desse tipo de perda.

### **Perda do Tipo 4 – Não uso de energia recuperável**

Lugar: na caldeira.

Ação corretiva: o calor gerado pelos transformadores passou a ser utilizado para aquecer a água que entrava na caldeira: a água entrando a 90°C na caldeira provocou uma redução do Gás natural utilizado como insumo para aquecer a caldeira.

#### PASSO 6 – Padronização

As melhorias implementadas foram registradas, para fins de divulgação e manutenção de boas práticas, foram documentadas em forma de manuais, livro e de um guia que permitisse a instalação de novos projetos.

#### PASSO 7 – Expansão horizontal

Essa etapa consiste em expandir para outras áreas similares da empresa as melhorias alcançadas na área modelo. Segundo Martins (2016), é uma forma barata e de resultados rápidos, pois já se tem equipe treinada e conhecimento consolidado que permite a aplicação dos métodos e técnicas em áreas com os mesmos tipos de perdas.

Martins (2016) relata que, no caso do projeto desenvolvido na empresa de compressores, as melhorias advindas das perdas 3 e 6 foram expandidas para a área de refrigeração. As instalações de válvulas de fluxo e inversores para reduzir o giro dos motores, quando a demanda diminuiu, foram expandidas para outras áreas. Assim como a substituição de lâmpadas comuns por LED, perda tipo 6: transformação/iluminação, foi expandida para vários setores. Ao final, Martins (2016) aponta que o total de ganhos com a expansão foi da ordem de 5 milhões de Kwh/ano e de R\$1,5 milhão ao ano.

Martins (2016) ressalta os resultados dos indicadores, porque os mesmos demonstraram a eficácia da metodologia do programa WCM. A empresa, antes do projeto, gastava 1,6 kwh por compressor produzido; depois do projeto, houve uma redução de 14,3% do consumo de energia, com as expansões, atingiu ganho total de R\$ 2,465 milhões/ano e redução de 8.216 660 kwh/ano.

O estudo das metodologias de gestão para a eficiência energética mostrou-se muito útil à gestão do uso da energia, redução de perdas e eliminação de desperdícios energéticos. Cada caso apresentado indica que, a despeito do porte, a indústria tem muito a ganhar com a adesão ao emprego inteligente do insumo energia elétrica.

## 4 ANÁLISE CRÍTICA DAS METODOLOGIAS DE GESTÃO EM RELAÇÃO À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA INDÚSTRIA

Cabe agora uma avaliação sobre o quanto cada metodologia pode contribuir para a gestão de energia e ou alcance da eficiência energética nas plantas industriais. Não se pretende, no contexto discursivo desenvolvido aqui, julgar quaisquer das metodologias. Ao contrário, a intenção é realçar todos os aspectos que ajudaram às indústrias avançar rumo ao uso inteligente da energia elétrica, sem deixar, contudo, de apontar fatores de aprimoramento ou de ajustes que possam servir, também, como uma contribuição desse estudo.

Para avaliarmos a potencialidade das metodologias estudadas, lançam-se como pontos de reflexão algumas perguntas caracteristicamente relacionadas ao escopo da gestão de energia e da eficiência energética. As ações de eficiência energética em plantas industriais passam pelo conhecimento do fluxo de energia, pelo consumo energético e pela avaliação das perdas de energia. Há de se considerar também a integração de sistemas de gestão, para que de fato as ações corretivas tragam os resultados esperados. Desse modo, surgem as seguintes questões:

- a) As metodologias (PDCA, 5W2H, WCM) têm caráter estratégico para as empresas que as adotam? Por quê?
- b) Essas metodologias (PDCA, 5W2H, WCM) favorecem a documentação dos procedimentos?
- c) Qual a contribuição dessas metodologias (PDCA, 5W2H, WCM) para fornecer informações consistentes e suficientes para a tomada de decisão por parte dos gestores?
- d) As metodologias (PDCA, 5W2H, WCM) servem para dar destaque à gestão de energia?
- e) Até que ponto essas metodologias (PDCA, 5W2H, WCM) contribuem para a melhoria contínua?
- f) As metodologias (PDCA, 5W2H, WCM) cooperam para a diminuição de desperdícios e dos custos operacionais?
- g) As metodologias (PDCA, 5W2H, WCM) aumentam a celeridade na execução das atividades?

h) Essas metodologias (PDCA, 5W2H, WCM) permitem ao gestor analisar cenários e planejar as demandas de energia?

Vários outros questionamentos poderiam ainda ser feitos, mas, para os objetivos a que esse estudo se propõe, considera-se o elenco apresentado suficiente para a análise da contribuição de cada metodologia para o alcance da eficiência energética. Aqui serão considerados os casos apresentados como fonte de exemplificação da efetividade ou não do aspecto analisado; porém, não se deixa de considerar a existência de outros contextos em que o aspecto em foco possa ter ocorrido.

Neste estudo, foram apresentados casos de indústrias de diferentes segmentos e portes. Isso não ocorreu ao acaso, visto a necessidade de se ter um pouco da representação do parque fabril brasileiro, formado por indústrias pequenas, médias e grandes; regionais, nacionais e globais, dentre outras várias naturezas. Infelizmente, não foi possível abranger um número maior de descrições de casos.

#### **4.1 Potencialidades e limitações do ciclo PDCA**

O Ciclo PDCA busca pela melhoria contínua dos processos internos de uma empresa, isso leva a um planejamento mais estratégico, porque se trabalha em favor da detecção e do tratamento de falhas (MARIANI, 2005). No caso da indústria de bebidas (caso 1), os problemas relativos ao consumo de energia elétrica estavam no sistema de geração de frio e no sistema de ar comprimido, a aplicação do Ciclo PDCA permitiu chegar a soluções baseadas na revisão dos procedimentos e na alteração de ações operacionais, sem envolver alterações estruturais, ou seja, buscaram-se soluções práticas, econômicas e eficazes para a empresa, que atingiu seus objetivos no campo da eficiência energética com ações de baixo custo financeiro. Vê-se que escolher esse método já foi uma decisão estratégica (CORRÊA, 2017). Na empresa de mineração (caso 2), sobretudo nas etapas de *Check* e de *Action* do Ciclo PDCA, foram apontados problemas de consumo elevado de energia elétrica dos setores *Smelter*, as ações corretivas como desligamento de refletores, troca de lâmpadas convencionais por LED e desligamento de unidades hidráulicas em momentos de não produção geraram economia e atingimento da meta de diminuição de consumo de insumo energia

elétrica (NASCIMENTO, 2017). Esses fatos comprovam que as indústrias tiveram ganhos em várias esferas: financeira, processual, tecnológica, energética, etc.

Além desses ganhos, a indústria de bebidas é um exemplo de geração de vários documentos ao longo do desenvolvimento do Ciclo, como gráficos, diagramas, quadro de padrões (na etapa *Action*) constituídos com as ações corretivas. Os padrões determinados pelas melhorias implantadas precisam passar por manutenção, a fim de que o ciclo seja permanentemente colocado em ação, ou seja, para que haja a continuidade das melhorias, cada novo ciclo, devidamente documentado, gera novo aprendizado, e, assim, sucessivamente, vão surgindo as expertises. No caso da empresa de mineração, observa-se que boa parte das ações corretivas estava relacionada a maus hábitos comportamentais impactando no consumo de energia, o que propiciou comunicados e avisos, no intuito de motivar os colaboradores a cooperarem permanentemente com a eficiência energética.

O fornecimento de informações consistentes advindas da aplicação do Ciclo PDCA ficou evidenciado nos dois casos (1 e 2) apresentados. Foi possível constatar que a aplicação do Ciclo PDCA/MASP mostrou-se bastante eficaz na indústria de bebidas ao determinar os sistemas em que havia maiores perdas de energia (geração de frio e ar comprimido); já na empresa de mineração, a junção entre o Programa de Gestão de Energia da Eletrobrás e os princípios do PDCA revelou dados relativos ao vetor secundário energia elétrica como o mais impactante para a empresa; explicitou como parâmetros de controle a energia elétrica em setores *Smelter*; indicaram a meta de redução de consumo de energia em 3%, etc. Além disso, a aplicação das etapas *Check* e *Action* do PDCA foram determinantes para a implantação das melhorias. Assim, pode-se perceber que decisões de cunho energético são tomadas com base em dados concretos, muitas vezes oriundos das medições e das verificações.

Neste estudo, busca-se analisar a efetividade das metodologias em termos de gestão de energia e de eficiência energética. Tanto na indústria de bebidas quanto na empresa de mineração, percebeu-se nitidamente que o Ciclo PDCA colaborou para que os princípios da gestão de energia estivessem presentes. O conhecimento das informações relativas aos fluxos energéticos permitiu a identificação dos sistemas com mais oportunidades de redução de consumo, daí os projetos luminotécnicos, ações corretivas para o sistema de ar comprimido e ações corretivas para o sistema de geração de frio. A aplicação dos índices de controle acabou por revelar a falta de qualidade na execução da manutenção; falta de calibração de equipamentos; a necessidade de adoção de

tecnologias mais modernas e eficientes do ponto de vista energético, etc. E, sobretudo, as ações corretivas, propostas e executadas, trouxeram soluções para a diminuição do gasto de energia elétrica e para a diminuição de perdas.

O insumo energia elétrica é passível de ser efficientizado em parques fabris que adotem o Ciclo PDCA como ferramenta de gestão. Os casos 1 e 2 comprovam que a metodologia usada, isoladamente ou em conjunto com outros instrumentos de gestão, traz resultados positivos em termos de eficiência energética. A indústria de bebidas deixa isso claro ao explicitar o conjunto de padronizações que podem contribuir para a melhoria contínua dos sistemas em que a metodologia foi aplicada, desde que as equipes de execução do Plano sejam bem treinadas e que se estabeleçam ações corretivas quando da verificação e identificação de outras situações problema.

Nesse sentido, para que existam reflexos positivos e alcance das metas almeçadas, a partir de uma cuidadosa elaboração do Plano de Ação, é imprescindível a participação de especialistas (de vários níveis hierárquicos) no Ciclo PDCA. Corrêa (2017) ressalta que colaboradores com diferentes funções e diferentes embasamentos agregam muito valor à equipe de implantação do PDCA, porque permite a identificação das ineficiências com muito mais eficácia.

No caso da indústria de bebidas, a série de padrões originados da aplicação do PDCA certamente é um fator de cooperação para a redução do índice de energia elétrica, porque nasceram das ações corretivas aplicadas. Na empresa de mineração, mais claramente, a adoção da metodologia cooperou para que houvesse economia financeira e redução do consumo de energia graças às ações corretivas que envolveram a eliminação de desperdícios e modernização de equipamentos. Os dois casos demonstram, de diferentes formas, que onde se alcança melhores níveis de eficiência energética, há, conseqüentemente, diminuição de custos operacionais, direta e indiretamente. O emprego do Ciclo PDCA contribuiu bastante para esse resultado.

Quando se considera o fator celeridade por meio do Ciclo PDCA, pode-se analisar a questão por dois pontos de vista. Por se tratar de um ciclo de melhoria contínua, as vantagens da metodologia são mais perceptíveis quanto mais há continuidade do processo de busca por possíveis melhorias em processos, atividades e procedimentos; seja na eliminação de desperdícios, de perdas ou na priorização de recursos. Por outro lado, a otimização do tempo ocorre na execução das tarefas que já passaram pelas ações corretivas, uma vez que já houve a eliminação de não conformidades, erros, etc., dando maior dinamicidade à execução das atividades. Quanto mais padronização e cultura da aprendizagem houver na organização, mais agilidade. O fator que mais pode determinar

a celeridade são as pessoas a frente da gestão e dos projetos do que propriamente à metodologia em si.

Outro aspecto do Ciclo PDCA é sua natureza preventiva e contínua, devido à ideia subjacente de se estar à frente das necessidades da empresa, do processo produtivo, dos níveis de qualidade, do surgimento de situações problema graves. Um problema corrigido gera aprendizados, os quais dão origem a novos padrões de excelência, entretanto o sistema ou processo não é abandonado, continua a passar por verificações, por monitoramentos que fornecem dados que, por sua vez, podem indicar a necessidade de novas ações corretivas. Assim, o ciclo se inicia novamente, trazendo benefícios continuados para a empresa. Mas, para isso acontecer, há algumas exigências, como o comprometimento da alta gestão, o treinamento de equipes de alto desempenho e a divulgação e capacitação dos colaboradores em termos dos benefícios da eficiência energética para o empreendimento.

O surgimento de novos cenários energéticos já faz parte do cotidiano das empresas neste início de século XXI. Porém, mais apto para contornar os revezes estará o empreendimento que já contar com uma metodologia de gestão que coopere com soluções racionais, fruto de processos contínuos de criação de expertises e de padronização das melhores práticas em energia elétrica, como também em outros fatores. O PDCA tem ótimas contribuições a esse respeito.

## **4.2 Potencialidades e limitações do 5W2H**

A metodologia 5W2H é reconhecida como de fácil aplicação; adaptável à realidade de qualquer empresa, porque atende a distintas necessidades (gestão, manutenção, planejamento estratégico, etc.); potencializa a produtividade, uma vez que determina prazo, margem de custos, metas, equipe ou colaborador responsável, etc. (SILVA; SILVA, 2017) Como uma metodologia de cunho gerencial, a 5W2H contribui para o mapeamento e a padronização de um determinado processo, como foi o caso da indústria de sorvetes (caso 3). Essa metodologia tem por objetivo gerar respostas estratégicas que esclareçam situações problema, visto sua característica de organizar as ideias, a partir das perguntas chave. Outra característica interessante é que ela permite dividir um processo em etapas, para descobrir onde se localiza a falha, com isso, sistematiza tarefas (SAMEDI *et al.*, 2011). Por fim, a 5W2H é muito utilizada para a criação de planos de ação, como foi exposto na indústria de sorvetes.

Quando de sua aplicação (caso 3), viu-se que, na etapa de diagnóstico energético, foram levantados vários tipos de dados, a partir de diferentes fontes documentais, dentre elas as folhas de verificação que geraram informações sobre as causas de desperdício de energia na indústria e as frequências de ocorrência das mesmas; também a fatura de energia elétrica serviu à identificação do consumo reativo excedente, ocasionado pelo mau dimensionamento da carga associada aos motores. Essa etapa contribuiu para a elaboração do Plano de Ação, cuja formatação seguiu as etapas previstas na metodologia 5W2H (SAMED *et al.*, 2011).

A visualização do planejamento explicitou a necessidade de ações corretivas urgentes para sanar problemas de desperdício de energia, de correção de não conformidades, da necessidade de monitoramento dos processos produtivos, enfim, todas as informações bastante coerentes e consistentes com a realidade encontrada na indústria estudada (SAMED *et al.*, 2011). Isso facilita para o gestor a tomada de decisão em função da busca pela eficiência energética, pois ele consegue perceber o fato e a relevância de se corrigir as falhas, a fim de se obter maior ganho energético, eficiência dos processos produtivos e economia.

Outro destaque do plano de ação da 5W2H, é o fato de as ações corretivas propostas irem na direção da gestão de energia, porque atacam a correção do fluxo de energia (ao propor o controle das variações de carga com adoção de novas tecnologias); analisa o consumo de energia (quando identifica o consumo reativo excedente) e avalia as perdas (ao propor ações para correção do fator de potência), (SAMED *et al.*, 2011). Então, pode-se afirmar que, na indústria de sorvetes, verifica-se que a metodologia 5W2H serve aos propósitos da gestão de energia, mostrada em sua fase inicial; entretanto, a ação de capacitação dos colaboradores sobre o uso eficiente de energia elétrica e o envolvimento do gestor são sinais claros de que deve ter havido progressos nessa direção.

Na indústria de sorvetes, os sucessivos monitoramentos previstos no plano de ação 5W2H se encarregarão de fornecer novos dados, a fim de se gerar outros planos de ação, ou seja, a identificação de novos problemas ocasiona oportunidade de se buscar novamente soluções de eficiência energética, logo a metodologia contribui para a melhoria contínua.

Na aplicação da metodologia 5W2H na indústria de sorvetes, observa-se que faltou ao plano de ação determinar percentuais a serem alcançados: quais as metas de diminuição de desperdício de energia, de fluxo luminoso, de diminuição de consumo de excedente reativo? Quando se detalha o plano nesse nível, isso torna o projeto mais desafiante, mais motivador para o engajamento dos colaboradores, principalmente se os resultados das primeiras ações já mostrarem algum avanço. O

objetivo das ações previstas foi cooperar tanto para a eficiência energética quanto para a economia operacional.

Quanto à celeridade nas atividades, pode-se dizer que esse é um dos pontos fortes da metodologia 5W2H, porque ela organiza as tarefas de cada etapa. O que pode atrapalhar é a falta de detalhamento no preenchimento de cada quesito (pergunta) do formulário. Informações muito genéricas, imprecisas ou incompletas podem gerar confusão e perda de tempo. Ao passo que o excesso de detalhamento pode tornar o método impraticável; deve valer o bom senso.

Por fim, não se pode dizer que a metodologia 5W2H sozinha é capaz de fornecer ao gestor dados suficientes para que o mesmo analise possíveis cenários e planeje demandas. Uma das principais críticas à metodologia é justamente o fato de que o sistema *check-list* não facilita a visualização das ações necessárias por ordem de prioridade, o que pode ocasionar conflito no uso de recursos (financeiros, de manutenção, de pessoal), assim, sugere-se o emprego conjunto de outra ferramenta que possa compensar essa deficiência (SEBRAE-BA, 2019).

Importante ressaltar neste estudo que a metodologia 5W2H foi muito útil a uma indústria de pequeno porte, pois explicitou os problemas a serem atacados e organizou as tarefas e as equipes envolvidas na solução dos problemas. Isso demonstra que existe um modelo simples de ferramenta que pode ser utilizado por empresas interessadas em implantar projeto de eficiência energética de forma prática e organizada. Pode-se dizer que a metodologia 5W2H tem seu valor e traz benefícios para a indústria que optar por aplicá-la, entretanto, a depender da complexidade do projeto, pode ser necessário a inclusão de outras ferramentas.

### **4.3 Potencialidades e limitações do programa WCM**

O caráter estratégico da metodologia<sup>4</sup> WCM fica claro, quando se considera que o programa atua por meio de três frentes: combate sistemático a cada desperdício e perda existente em toda a cadeia (porque trabalha para identificar e eliminar desperdícios sistêmicos), envolvimento das pessoas (com os respectivos desenvolvimentos de suas competências) e utilização rigorosa de métodos e ferramentas apropriados para eliminar problemas e tornar os processos mais eficientes. Na indústria de compressores, foi possível observar essas três atuações, a partir do

---

<sup>4</sup> Neste trabalho, os termos metodologia e programa são tomados como sinônimos, quando se tratar de referência ao WCM.

desenvolvimento de uma complementação à metodologia WCM, aplicada à eficiência energética, para priorizar e gerenciar adequadamente as perdas energéticas que, até então, impactavam toda a cadeia produtiva. Observou-se, pela descrição de cada passo de execução do programa, que o combate sistemático de desperdícios e perdas permitiu ações corretivas em perdas do tipo 1, 2, 3, 4 e 6; quanto ao envolvimento das pessoas, foram identificados maus hábitos dos operadores (perdas do tipo 1 e 2), o que acarretou na necessidade de treinamento para a adoção de boas práticas, logo houve o desenvolvimento de suas competências; enquanto que, para se eliminar os problemas e tornar os processos mais eficientes, fez-se uso da ferramenta ‘causa raiz’ e da elaboração de nova Instrução de Trabalho para solucionar a perda tipo 1, além da revisão do ciclo operacional para correção da perda tipo 2, os quais são exemplos da utilização rigorosa de métodos e ferramentas apropriados para a aplicação da metodologia WCM. Por esses dados, vê-se que o viés estratégico da metodologia WCM perpassa toda a organização: pessoas, equipamentos e métodos rigorosos.

Como um programa de melhoria contínua, a metodologia WCM, em seu passo 6, prevê a etapa de padronização das aprendizagens adquiridas a partir da resolução de uma situação problema, com o fim de divulgação e manutenção das boas práticas. Na indústria de compressores, foram gerados manuais, livro e guia para se replicar as experiências bem sucedidas em outras áreas com problemas similares. Sobre esse aspecto, Martins (2016) comenta o fato de ser um método barato de expandir conhecimento e alcançar eficiência energética.

O estudo de Martins (2016) evidenciou que a tomada de decisão no programa WCM é baseada na aplicação dos 7 passos de energia e demonstrou toda uma metodologia progressiva para a obtenção de dados precisos e confiáveis. Desse modo, os passos 1, 2 e 3 são determinantes para a tomada de decisão. Com base na indústria de compressores (caso 4), no passo 1, na escolha do processo modelo, identificou-se a área de maior consumo de energia da empresa, a usinagem; por sua vez, no passo 2, investigação do consumo, foi realizado o mapeamento dos equipamentos da usinagem e a identificação dos maiores consumos envolvidos no processo de fabricação; por fim, no passo 3, medição, houve a avaliação da diferença entre a energia de entrada e a energia de saída, além da avaliação dos componentes fixos e as variáveis de consumo. Com base em todos os dados levantados e analisados, definiu-se, como objetivo final, transformar o consumo fixo em variável, ou seja, sem produção, sem consumo de energia. A partir dessa premissa, estavam colocados os objetivos operacionais a serem alcançados nos passos 4, 5, 6 e 7 seguintes.

Do ponto de vista da gestão de energia, o caso indústria de compressores ilustra uma situação interessante em relação à adaptabilidade da metodologia WCM a quaisquer sistemas em que se queira aplicá-la. O programa WCM foi capaz de oferecer as bases, através das quais, foi possível constituir o pilar Energia a partir da sua estratificação em 7 passos. Com isso, o pilar Energia ganhou todas as características da gestão de energia: os fluxos de energia estão contemplados no passo 2 (investigação dos fluxos energéticos); o acompanhamento dos índices de controle está presente no passo 3 (avaliação de cada componente de consumo de energia) e atuação nos índices de energia com vistas a reduzir o consumo energético através da implementação de ações corretivas está focalizado no passo 5 (contramedidas). Logo, percebe-se que a iniciativa de Martins (2016) em implementar um modelo de gestão de energia, com base no programa WCM, e, considerando os resultados obtidos na aplicação do modelo, pode-se afirmar que a eficiência energética passou a estar, nesses termos, bem referenciada na metodologia.

Se uma empresa adota a metodologia é no intuito de se tornar cada vez melhor em relação a seus processos produtivos. Faz parte da filosofia do WCM a melhoria contínua de equipamentos, de pessoas e de processos, com o fim de se obter o máximo de excelência operacional com o menor custo. Os traços dessa filosofia podem ser vistos nos pilares gerenciais e nos pilares técnicos. Entre os pilares gerenciais, encontra-se, por exemplo, o *Route Map* usado para definir um plano em etapas com indicadores para se alcançar níveis de excelência (bronze, prata e ouro), ou seja, prevê-se uma melhoria gradual, porém contínua; outro fator é a qualificação das pessoas, para garantir a gestão do conhecimento, visto que são elas as responsáveis por expandir as boas práticas para outras áreas; outro pilar é o desenvolvimento da competência da organização para melhorias, toda a organização precisa se tornar competente em solucionar e prevenir problemas, baseando-se nos métodos já implementados. Por sua vez, entre os pilares técnicos, a priorização de atividades de melhoria dos processos de produção e trabalho; o foco nas rotinas de manutenção preventiva de equipamentos (visando à melhoria contínua na disponibilidade e na confiabilidade deles), além do pilar específico para a gestão preventiva de equipamentos (envolvendo ações colaborativas entre mecânicos, operadores, fornecedores, etc.); enfim, todos os pilares (gerenciais e técnicos) previstos na metodologia convergem para a melhoria contínua.

Na indústria de compressores, a aplicação dos 7 passos de Energia e a identificação dos tipos de perda propiciaram, na área modelo, a adoção de contramedidas relacionadas à melhoria de processos (circuito em série desmembrado; correção de erro em programa de manutenção; revisão

de ciclo operacional, etc.); à melhoria das pessoas (treinamentos para correção de maus hábitos dos operadores) e melhorias de equipamentos (adoção de tecnologias mais modernas e eficientes, do ponto de vista mecânico e energético, na troca de equipamentos obsoletos). Essas melhorias foram replicadas em outras áreas com os mesmos problemas, segundo Martins (2016).

Quando se considera a avaliação da metodologia WCM em função da diminuição de desperdícios e de custos operacionais, pode-se dizer que esses preceitos estão na base do programa. Basta lembrar que o WCM está balizado em zero perda, a partir da diminuição de desperdícios; além disso, no pilar Energia, o passo 4 prevê a monetização de cada perda em moeda corrente para a quantificação do valor monetário que está sendo perdido com a situação problema analisada. Na indústria de compressores, a análise, nesses termos, apontou dados significativos: os tipos de perdas mais representativas eram responsáveis por 83% das identificadas (consumo desnecessário, transformação de energia elétrica em outra fonte e não otimização); as ações corretivas foram expandidas para outras áreas e renderam ganhos monetários e energéticos. Os dados comprovam a eficiência da metodologia WCM com respeito aos quesitos de redução de desperdícios e de custos operacionais.

Em relação à celeridade, o programa WCM apresenta tal característica após a etapa de padronização, quando o conhecimento gerado é expandido para outras áreas, trazendo resultados de forma rápida para os processos produtivos.

Para Martins (2016), o ponto central da metodologia WCM passou a ser a estratificação da energia em 7 tipos diferentes de perdas, pois o processo de mensuração e a atuação focada dá mais rapidez à efetivação das melhorias, porque as perdas são tratadas com exclusividade e as contramedidas (ações corretivas) são individualizadas. Com isso, têm-se pequenos problemas sendo tratados individualmente; contrariamente, a se enfrentar as complexidades de um grande problema. Logo, há obtenção de bons resultados e otimização das equipes de trabalho. Dessa forma, vê-se que no programa WCM o conceito de celeridade está relacionado aos 7 passos do pilar Energia, como: priorizar os problemas que mais trazem perdas financeiras para o negócio; escolher uma área modelo para aplicar os passos da metodologia; entender o consumo de energia da área a partir de levantamento de dados sobre os equipamentos; medir o consumo real de energia dos equipamentos; estratificar cada tipo de perda e monetizar em moeda corrente cada uma delas; aplicar contramedidas para erradicação do problema; padronizar, divulgar e treinar as pessoas em relação ao conhecimento adquirido e expandir os resultados para acelerar a velocidade dos

resultados correspondentes. Assim, a celeridade é adquirida no próprio processo de melhoria contínua, nos termos deste trabalho, em eficiência energética. O caso da indústria de compressores exemplificou como ocorreu a aplicação de cada passo do pilar Energia, quais contramedidas foram aplicadas e como se deu a expansão dos resultados para outras áreas. Na metodologia WCM, a sistematização dos passos a serem desenvolvidos pelos profissionais responsáveis por atuarem na área modelo, a tipologia de perdas de energia e o treinamento da equipe conferem velocidade às ações; pois não há perda de tempo com experimentações; além disso, na fase de expansão, é que se ganha maior celeridade, pois o conhecimento adquirido atinge toda a planta de uma só vez, trazendo resposta para todos os problemas congêneres.

Em relação à capacidade de a metodologia WCM prover a alta gestão de dados suficientes para analisar cenários e planejar demandas de energia, pode-se considerar essas questões por dois enfoques. Primeiro, será dos pilares gerenciais que virão as respostas ligadas a decisões estratégicas, o que pressupõe o completo comprometimento da alta gestão com a implementação do programa WCM. Segundo, esse comprometimento configura-se no atendimento a pelo menos dois pilares gerenciais específicos que definem as condições necessárias tanto para a análise de cenários futuros quanto para o planejamento de demandas de energia. O pilar gerencial *Route Map* é um plano básico de implementação da metodologia WCM na organização, que apresenta as etapas com indicadores para se alcançar o nível desejado em termos de classe mundial (bronze, prata ou ouro). Isso já esclarece que o programa faz uso de uma ferramenta antecipatória dos indicadores necessários para se atingir qualquer um dos níveis, o que determina um olhar para dentro e um olhar para fora da organização, ou seja, o gestor defronta-se com possíveis cenários e demandas de energia correlacionadas a serem controlados. Uma metodologia que possui uma ferramenta como essa oferece uma vantagem estratégica para a empresa, porque obriga a alta gestão a adotar medidas que favoreçam alcançar os objetivos traçados. Já o pilar gerencial Nível de Detalhe, especificamente, tem a responsabilidade de determinar a profundidade de um projeto, definindo metas, tempo, investimento e até análise de resultados. É onde se verifica a disponibilidade de dados que a organização possui para analisar o sistema e, dessa forma, tomar decisões estratégicas, as quais são definidas pela alta gerência.

A metodologia WCM mostrou ser muito avançada em termos estratégicos, com os pilares gerenciais, como também em termos processuais, considerando-se os pilares técnicos, com vistas a se alcançar as melhores práticas advindas de manufaturas de Classe Mundial. A estratificação de

passos, como os empregados no pilar energia, elenca uma série de procedimentos a serem rigorosamente aplicados no intuito de se alcançar níveis de excelência nos sistemas produtivos, ao mesmo tempo em que permite detectar falhas processuais e humanas.

Em relação a esta seção, as análises desenvolvidas demonstraram alguns aspectos que merecem ser ressaltados, porque revelam a funcionalidade das metodologias para os parques fabris brasileiros.

O primeiro aspecto é quanto aos objetivos que cada modelo se propõe a desenvolver. As três metodologias são sistematizações de procedimentos que, aplicados ao insumo energia, trouxeram contribuições para a gestão de energia e para o aumento da eficiência energética, como foi ilustrado nos casos de indústrias descritos.

O segundo aspecto diz respeito ao fato de que as metodologias identificaram vários problemas relacionados ao consumo de energia: incorreções na calibragem de equipamentos; falhas na manutenção; equipamentos obsoletos; alto consumo de excedente reativo; falta de correção do fator potência; falta de controle das variações de carga, etc. Desse ponto de vista, as metodologias aplicadas foram eficazes na fase de investigação dos fatores de perdas energéticas.

Ainda em relação a essa mesma etapa, evidenciou-se que maus hábitos comportamentais quanto ao uso de energia elétrica parecem ser uma constante nos parques fabris brasileiros, demandaram, nos casos apresentados, iniciativas de reeducação dos colaboradores nesses termos.

Em relação às ações corretivas, chama a atenção, além de ser adequadas aos problemas apontados, o fato de serem práticas e econômicas, contribuindo para a redução de custos operacionais e aumento da eficiência energética. Vale destacar que em todas as metodologias (Ciclo PDCA, 5W2H, WCM) houve destaque para a formação de equipes multidisciplinares, como método de avaliação das situações problema e implantação das ações corretivas.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Aspectos introdutórios relacionados à Eficiência Energética voltada à Indústria, passando por conceitos, normas, evolução e metodologias são importantes para entender a importância das metodologias PDCA, 5W2H e WCM.

Um dos objetivos deste estudo foi descrever os sistemas industriais de energia e a gestão da eficiência energética, o que promoveu a oportunidade de verificar algumas das premissas teóricas estudadas no capítulo 2 deste trabalho. Se por um lado, é fato que os programas de eficiência energética nas indústrias estão sendo ampliados para outros sistemas, além dos sistemas motrizes, como o de iluminação, de ar comprimido, de geração de frio, por exemplo. Já há reconhecimento de que a economia de energia pode ser alcançada em outros sistemas.

Por outro lado, é prudente considerar que possa haver alguma dificuldade em replicar soluções de um parque fabril para outro, visto que essa ponderação é verdadeira, caso se considere somente o sistema motriz, o qual pode ser muito específico para cada segmento, entretanto foi possível perceber que ações corretivas como projetos luminotécnicos voltados para a substituição de lâmpadas de vapor de sódio por LED e o treinamento de colaboradores sobre as melhores práticas no uso da energia elétrica foram bastante recorrentes e podem ser replicadas em diferentes tipos de indústrias.

Outro objetivo da pesquisa foi o de descrever as contribuições das metodologias de gestão da qualidade para o incremento da eficiência energética na indústria. Com relação às ações de racionalização de energia que, nos processos industriais, levam à eficiência energética, nas análises das metodologias foi possível perceber a preponderância de 6 delas: recuperação de energia (PDCA, 5W2H, WCM); mudanças na cultura e no comportamento de uso da energia (PDCA, 5W2H, WCM); perspectiva econômico-financeira da energia fornecendo respaldo para a tomada de decisão (WCM); introdução de sistema de controle de processos de gestão de cargas (WCM) e substituição de sistemas/equipamentos obsoletos e ineficientes (PDCA, 5W2H, WCM); além de aumento da eficiência no uso final da energia (PDCA, 5W2H, WCM).

Podem-se elencar também as ações para uso eficiente de energia identificadas nas indústrias focalizadas no trabalho, quais sejam: conscientização e treinamento de pessoas; adoção de tecnologias energeticamente eficientes; adequação à carga; correção do fator de potência; adoção

de motores de alto rendimento; manutenção periódica; substituição de lâmpadas de vapor de sódio por LED.

Ao longo das análises do uso das metodologias, pôde-se constatar também a existência de barreiras para a melhoria da eficiência energética nas indústrias tratadas aqui. A barreira de informação e de decisão está mais bem bloqueada no programa WCM, quando se consideram os pilares gerenciais e a formação de equipes multidisciplinares como premissas dessa metodologia, pois todas as decisões são tomadas de forma interativa e partir de multicritérios, dada a participação de colaboradores de posições hierárquicas diferentes.

Em relação à barreira econômico-financeira, o programa WCM, exemplificado na indústria de compressores, determinou o não tratamento da perda tipo 7, ou seja, não houve ação corretiva devido à avaliação econômica; somente as ações de menor impacto financeiro foram priorizadas, embora fosse a perda de maior apelo ambiental.

Já a barreira de gestão é anulada com a adoção de qualquer das metodologias estudadas (PDCA, 5W2H ou WCM), porque todas passam pelo viés da integração de sistemas para melhor diagnosticar as perdas e desperdícios de energia e sugerir as ações corretivas para as situações problema identificadas. Além disso, todas as metodologias exigem para sua adoção e aplicação o comprometimento do corpo gestor, que é o responsável pelas decisões estratégicas.

Por fim, a proposta foi a de analisar criticamente as potencialidades e limitações das metodologias de gestão em relação à eficiência energética na indústria. Do ponto de vista da gestão de energia, as metodologias Ciclo PDCA, 5W2H e WCM provaram ser eficazes, uma vez que têm como premissa de seus processos a investigação de dados sobre os fluxos de energia das indústrias em que estão implantadas; acompanham os índices de consumo de energia, de custos específicos e implantam ações para reduzir o consumo energético através da utilização racional do insumo energia elétrica.

Da perspectiva da eficiência energética, pode-se dizer que este trabalho cumpriu seus objetivos, pois conseguiu evidenciar que há uma gama de iniciativas nos parques fabris brasileiros em busca da efficientização de seus processos produtivos em termos do uso inteligente da energia, seja visando unicamente à redução de custos com o insumo, seja pela redução de perdas e de desperdícios de energia, seja por querer alcançar o nível classe mundial em eficiência de processos e produtos. As metodologias são sistematizações das melhores práticas; implantam visão mais objetiva sobre o uso e o consumo de energia; organizam dados estratégicos; geram documentos

importantes para efeito tanto do registro quanto da tomada de decisão; colaboram para a implantação de nova cultura organizacional em termos de uso de energia elétrica; conscientizam; promovem redução de custos com o insumo energia elétrica; trazem ganhos tecnológicos e ambientais (menor gasto com energia, menor produção de gases de efeito estufa); preparam para cenários energeticamente mais críticos.

Por outro lado, a implantação dessas metodologias exige total comprometimento dos gestores e dos tomadores de decisão nas indústrias com o processo; treinamento e capacitação da equipe de implantação no emprego e nas particularidades de cada uma das metodologias; treinamento e capacitação dos colaboradores em termos de uso e consumo de energia; integração de equipes e de setores, a fim de se diagnosticar os problemas e eliminar as causas; disseminação das boas práticas; manutenção e correção de problemas sempre que necessário (melhoria contínua).

Apesar das exigências, as metodologias Ciclo PDCA, 5W2H e programa WCM provaram ser objetivas, confiáveis, adaptáveis e versáteis. Este estudo comprovou que variados tipos e tamanhos de indústrias podem se valer dos benefícios trazidos pelo emprego de qualquer uma das metodologias; o objetivo de cada indústria é que determinará a metodologia que melhor se coaduna aos interesses energéticos a serem atingidos.

Este estudo trouxe para este autor importantes aprendizagens sobre o tratamento estratégico do insumo energia elétrica dentro das indústrias. Os desafios que cada setor industrial enfrenta para alcançar a eficiência energética, como também a importância das fases de diagnóstico e de definição das ações corretivas; sem falar do ponto de vista humano, nunca se pode esquecer que os colaboradores precisam ser considerados nos planos de ação, visto que são os elementos mais importantes para a eliminação dos problemas energéticos.

Em termos de investigações futuras, é preciso pesquisar a aplicação de outras metodologias para ampliação do escopo; considerar a aplicação dessas metodologias e de outras na pequena empresa, visto ser o maior contingente no país e a que mais necessita de potencializar seus recursos. Outra sugestão é investigar o potencial de ações corretivas dos parques fabris brasileiros que podem alcançar uma generalização de nível global.

## REFERÊNCIAS

- ACORONI, J. C. P.; SILVA, A. V.; SOUZA, E. D. Eficiência Energética: melhores práticas em economia de energia em um setor industrial. In: **Revista Científica Semana Acadêmica**, vol. 1, n. 44, 2014, 30 p. Disponível em: [https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo\\_junio.pdf](https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_junio.pdf). Acesso em: 12 jan. 2021.
- BATISTA, O. E.; FLAUZINO, R. A. Medidas de gestão Energética de Baixo Custo como Estratégia para Redução de Custos com Energia Elétrica. In: **Revista Gepros**, n. 4, Bauru, SP, Brasil, 2012. Disponível em: <https://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/921>. Acesso em: 17 jan. 2021.
- BEN. Balanço Energético Nacional 2017 – Ano Base 2016. Brasília (DF): **EPE**, 2017. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Balanco-Energetico-Nacional-2017>. Acesso em: 8 jan. 2021.
- BORGES, R. C.; OLIVEIRA, E. H. *World Class Manufacturing (WCM): estudo de caso da implantação do pilar controle da qualidade no processo de cromação de uma empresa do setor automotivo no sul de Minas Gerais*. In: **Revista Exacta**, vol. 14, no. 1, 2016, p. 85. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/exacta/article/viewFile/5404/3145>. Acesso em: 9 fev. 2021.
- BORTOLO, L. C. **A busca pela eficiência energética na indústria**. 2018. 62 p. TCC. Curso de Engenharia Elétrica – Centro Universitário UNIFACVEST. Lages (RS): 2018. Disponível em: <https://www.unifacvest.edu.br/assets/uploads/files/arquivos/870fe-bortolo,-l.-c.-a-busca-pela-eficiencia-energetica-na-industria.-tcc,-2018..pdf>. Acesso em: 12 jan. 2021.
- BRASIL. **Lei n. 10.295**, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Brasília, DF, 2001. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/110295.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110295.htm) . Acesso em: 25 fev. 2021.
- CORRÊA, F. O. **Aplicação do Ciclo PDCA como ferramenta de gestão de energia elétrica em uma cervejaria**. 2017. 43 p. TCC. Curso de Engenharia de Energia – Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Araranguá. Araranguá (SC): 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/182312/Trabalho%20de%20Conclus%C3%A3o%20de%20Curso%20>. Acesso em: 11 fev. 2021.
- FERREIRA, A. **Atuação da Comissão Interna de Conservação de Energia em uma Indústria**. 2019. 77 p. TCC. Curso de Engenharia Elétrica – Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora (MG): 2019. Disponível em: [https://www.ufjf.br/eletrica\\_energia/files/2016/11/TCC-Analu-Ferreira-Final.pdf](https://www.ufjf.br/eletrica_energia/files/2016/11/TCC-Analu-Ferreira-Final.pdf). Acesso em: 9 jan. 2021.

FIUZA, C. A.; LOBO, J. W.; AVELAR, F. S. Estado das Ações em Eficiência Energética na Indústria Alimentícia do Estado do Paraná. In: **Revista Gestão, Tecnologia e Inovação**, vol. 1, n. 3, set.-dez., 2017. Disponível em: <http://www.opet.com.br/faculdade/revista-engenharias/pdf/n3/Artigo5-n3-Fabio.pdf>. Acesso em: 4 jan. 2021.

FURLANI, S. **Sistema de Gestão Energética em uma Edificação pública no município de Vila Maria/RS: iluminação e climatização**. 2017. 49 p. Monografia. Curso de Especialização em Eficiência Energética Aplicada a Processos Produtivos - Universidade Federal de Santa Maria. Camargos (RS): 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/12566>. Acesso em: 8 jan. 2021.

GODOI, J. M. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, S. Gestão da Eficiência Energética. In: **2ª International Workshop-Advances in Cleaner Production**. São Paulo, Brazil, may, 2009, 11 p. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sexoes/5a/1/J.%20M.%20A.%20Godoi%20-%20Resumo%20Exp.pdf>. Acesso em: 4 jan.2021.

IBGE. **Pesquisa Industrial Anual, Empresa 2019**. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/1719/pia\\_2019\\_v36\\_n1\\_empresa\\_informativo.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/1719/pia_2019_v36_n1_empresa_informativo.pdf). Acesso em: 21/02/2021.

LEITE, B.; STAROSTA, J.; SANTOS, R. Os desafios de um controle de desempenho – ABESCO. In: **Revista Eficiência Energética/Agência Nacional de Energia Elétrica**, n. 1, Brasília (DF): ANEEL, 2017, p. 12-13. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656877/15495819/Revista+de+Efici%C3%A2ncia+Energ%C3%A9tica+PEE+-+2017.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2021.

MARIANI, C. A. Método PDCA e ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos industriais: um estudo de caso. In: **Innovation and Management Review**, v. 2, n. 2, p. 110-126, 2005. Disponível em: <http://www.spell.org.br/documentos/ver/26326/metodo-pdca-e-ferramentas-da-qualidade-no-geren>. Acesso em: 19 fev. 2021.

MARTINS, F. L. **Eficiência Energética: gestão metodológica para a redução de energia elétrica na indústria**. 2016. 73 p. Dissertação de Mestrado. Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis (SC): 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/175088>. Acesso em: 27 dez. 2020.

MORAIS, E. O. **Gestão da Energia na Indústria: estudo de caso Braskem**. 2015. 135 p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas (SP): 2015. Disponível em: [http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/265753/1/Morais\\_EversonOdilson\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/265753/1/Morais_EversonOdilson_M.pdf). Acesso em: 17 jan. 2021.

NASCIMENTO, P. G. M. **Eficiência Energética na Indústria: estudo de caso em uma empresa metalúrgica**. 2017. 63 p. TCC. Curso de Engenharia de Energia - Universidade Federal do Pampa, Bagé (RS): 2017. Disponível em:

<http://dspace.unipampa.edu.br:8080/handle/rii/2708?locale=en>. Acesso em: 7 jan. 2021.

NS ENERGIA. **Ferramenta gerencial para suporte à administração**. Casos de sucesso. Site. Disponível em: <http://nsenergia.com.br/clientes-parceiros/casos-de-sucesso>. Acesso em: 19 jan. 2021.

NUNES, W. A. R.; MENDES JR., R. Os Sistemas de Gestão de Energia Elétrica como uma medida de redução de custos na indústria brasileira. In: **CONBREPRO – VI Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção**, Ponta Grossa (PR), Brasil, 30 nov./02 dez., 2016, 11 p. Disponível em: <http://anteriores.aprepro.org.br/conbrepro/2016/down.php?id=1870&q=1>. Acesso em: 6 jan. 2021.

PROCELINFO. **Eficiência energética na Multibrás S.A.** Casos de Sucesso. *Blog*. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BAE81473E-313C-4AD9-9E17-54EFA873>. Acesso em 19 jan. 2021.

SAMED, A.; KATAYAMA, J.; LAURIS, N.; ESTEVES, I. H.; SPAGNOLLI, G. Sistema de Gestão Energética. In: **Rev. O Setor Elétrico**, ago., 2011. Disponível em: <https://www.osetoreletrico.com.br/sistema-de-gestao-energetica/>. Acesso em: 15 jan. 2021.

SANTOS, E. P. **Avaliação de Eficiência Energética em Instalação Elétrica Industrial**. 2015. 49 p. TCC. Curso de Engenharia Elétrica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco (PR): 2015. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/8104>. Acesso em: 21 jan. 2021.

SEBRAE-BA. **Empreendedorismo**: conheça as principais ferramentas de gestão. Salvador (BA): 2019. 34 p. *E-Book*. Disponível em: [https://www.sebraeatende.com.br/system/files/conheca\\_as\\_principais\\_ferramentas\\_de\\_gestao.pdf](https://www.sebraeatende.com.br/system/files/conheca_as_principais_ferramentas_de_gestao.pdf). Acesso em: 6 fev. 2021.

SILVA, R. A.; SILVA, O. R. **Qualidade, padronização e certificação**. Curitiba (PR): Ed. InterSaberes: 2017, 256 p. Disponível em: [https://www.sebraeatende.com.br/system/files/conheca\\_as\\_principais\\_ferramentas\\_de\\_gestao.pdf](https://www.sebraeatende.com.br/system/files/conheca_as_principais_ferramentas_de_gestao.pdf). Acesso em: 6 fev. 2021.

SILVA, R. R. **Modelos para Análises de Sistemas Energéticos Industriais aplicados a Estudos de Eficiência Energética**. 2013. 254 p. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Mecânica – Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. Campinas (SP): 2013. Disponível em: [http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/264458/1/Silva\\_RafaelRodriguesda\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/264458/1/Silva_RafaelRodriguesda_M.pdf). Acesso em: 9 jan. 2021.

SOLA, A. V. H.; MOTA, C. M. M. Melhoria da Eficiência Energética em Sistemas Motrizes Industriais. In: **Revista Production**, vol. 25, n. 3, p. 482-497, 2015. Disponível em: <https://www.prod.org.br/doi/10.1590/0103-6513.063311>. Acesso em: 7 jan. 2021.

SOUZA, P. H. R. **Planejamento de um Sistema de Gestão de Energia Elétrica** – estudo de caso: UFFPR – Campus Medianeira. 2017. 79 p. TCC. Curso de Engenharia de Produção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Medianeira. Medianeira (PR): 2017. Disponível em:  
<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/14818/1/planejamentogestaoenergiaelettrica.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2021.