

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

KAROLINE GUEDES

***Framework* para eficiência energética na manufatura  
sob a ótica da sustentabilidade**

Maringá  
2021

KAROLINE GUEDES

***Framework* para eficiência energética na manufatura  
sob a ótica da sustentabilidade**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia de Produção, Centro de Tecnologia da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Engenharia de Produção

Orientador(a): Profa. Dra. Francielle Cristina Fenerich

Coorientador(a): Prof. Dr. André Luiz Gazoli de Oliveira

Maringá  
2021

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

G924f Guedes, Karoline  
*Framework* para eficiência energética na manufatura sob a ótica da sustentabilidade /  
Karoline Guedes. -- Maringá, PR, 2021.  
156 f.: il. color., figs., tabs.

Orientadora: Francielle Cristina Fenerich.  
Coorientador: Prof. Dr. André Luiz Gazoli de Oliveira.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2021.

1. Eficiência Energética. 2. *Framework*. 3. Sustentabilidade. 4. Manufatura. I. Fenerich  
Francielle Cristina, orient. II. Gazoli de Oliveira, André Luiz, coorient. III. Universidade  
Estadual de Maringá. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
de Produção. IV. Título.

CDD 23.ed. 620.1

# FOLHA DE APROVAÇÃO

KAROLINE GUEDES

## ***Framework* para eficiência energética na manufatura sob a ótica dos pilares da sustentabilidade**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia de Produção, Centro de Tecnologia da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção pela Banca Examinadora composta pelos membros:

### BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Francielle Cristina Fenerich  
Universidade Estadual de Maringá – DEP/UEM



Prof. Dr. André Luiz Gazoli de Oliveira  
Universidade Federal do Paraná – UFPR



Prof. Dr. Danilo Hisano Barbosa  
Universidade Estadual de Maringá – DEP/UEM



Prof. Dr. Giancarlo Alfonso Lovón Canchumani  
Universidade Federal do Paraná – UFPR

Aprovada em: 27 de agosto de 2021.

Local da defesa: [meet.google.com/vuy-dayr-yno](https://meet.google.com/vuy-dayr-yno), conforme PORTARIA CAPES Nº 36, DE 19 DE MARÇO DE 2020 E Ofício Circular nº 10/2020-DAV/CAPES.

*Á minha amada e querida vó,  
que venceu um câncer em  
meio a uma pandemia. Se ela  
conseguiu, sei que sou capaz  
de qualquer coisa.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus pela oportunidade de chegar até aqui e por me dar forças para superar todas as dificuldades.

Aos meus pais, Marliza e José Carlos, e minha irmã Giovana, por sempre acreditarem e terem tanto orgulho de mim. Vocês são a razão de tudo.

Ao Carlos Roberto, por seu companheirismo e apoio incansável nessa caminhada, sempre me incentivando apesar de todas as dificuldades. Sem você e seu suporte nada disso seria possível.

Aos professores, orientadora Dr<sup>a</sup>. Francielle Cristina Fenerich e coorientador Dr. André Luiz Gazoli de Oliveira, todo o meu reconhecimento e gratidão pelas orientações, diálogos, incentivo, paciência, e meu profundo respeito. Obrigada por sempre me mostrar caminhos os quais eu não enxergava e que seguramente enriqueceram o trabalho.

Aos membros das bancas de qualificação e de defesa, professores Dr<sup>a</sup>. Carla Gonçalves Machado, Dr. Marco Antonio Ferreira, Dr. Giancarlo Alfonso Lovón Canchumani e Dr. Danilo Hisano Barbosa, não só pela disponibilidade como também pelas valiosas contribuições.

Aos amigos do mestrado, que compartilharam essa jornada comigo, e que fizeram muita falta nesse período de pandemia.

À CAPES pelo apoio financeiro concedido.

“Nunca se sinta culpado  
por começar de novo.  
Se você tentou e não  
acabou onde queria,  
ainda é um progresso”

(RUPI KAUR)

## ***Framework* para eficiência energética na manufatura sob a ótica dos pilares da sustentabilidade**

### **RESUMO**

O crescente consumo de energia por parte do setor da indústria alavancou a busca por alternativas e meios que promovam sua melhor utilização. Essa realidade aponta uma mudança de comportamento nas organizações em relação a preocupação com o meio ambiente, com a sociedade e a economia. Uma medida importante para mitigar impactos ambientais do processo de fabricação é a eficiência energética. O importante papel da eficiência energética está no aproveitamento dos recursos naturais disponíveis no meio ambiente, ao mesmo tempo que reduz gastos energéticos. Essa abordagem auxilia na redução do consumo de energia, além de benefícios em relação a sustentabilidade, produtos e serviços com eficiência energética. Com o exposto, o principal objetivo desta pesquisa é a construção de um *framework* de eficiência energética indicado para empresas de manufatura, contendo práticas de eficiência energética para cada pilar da sustentabilidade. A pesquisa foi desenvolvida em três etapas: investigação da literatura em busca de modelos de eficiência energética na manufatura, análise de conteúdo dos modelos encontrados, e desenvolvimento de um *framework* teórico para eficiência energética com viés na sustentabilidade. Este trabalho contribui para o desenvolvimento de pesquisas sobre as decisões em relação as práticas de eficiência energética nos ambientes de manufatura integrando as dimensões da sustentabilidade a fim de facilitar a implementação e permitir que as indústrias manufatureiras alcancem maiores níveis de sustentabilidade. Além disso, orienta as empresas na implementação da eficiência energética ao definir caminhos para a proposição de políticas de eficiência energética, métodos de avaliação, práticas sustentáveis de eficiência energética e análise dos resultados por meio de indicadores. O trabalho se limitou pela não aplicação do *framework* proposto. A contribuição vem da geração de conhecimentos e informações sobre EE e sustentabilidade, além da aplicação de um questionário para pesquisadores e especialistas da área a fim de avaliar e refinar o *framework* construído.

**Palavras-chave:** Eficiência Energética. Manufatura. Sustentabilidade. *Framework*.



## ***Framework for energy efficiency in manufacturing from the perspective of the pillars of sustainability***

### **ABSTRACT**

*The increasing energy consumption by the industry sector has encouraged the search for alternatives and means to promote its efficient use. This reality points to a change in behavior in organizations with regard to their concern for the environment, society, and economy. An important measure to reduce the environmental impacts of the manufacturing process is energy efficiency. The important role of energy efficiency is to take the best advantage of the natural resources available in the environment, while reducing energy costs. This approach assists in reducing energy consumption, in addition to benefits toward sustainability, energy efficient products and services. The main objective of this research is to develop an energy efficiency framework for manufacturing companies, with energy efficiency practices for each pillar of sustainability. The research was developed in three stages: literature review in search of models of energy efficiency in manufacturing, content analysis of the models that were found, and development of a theoretical framework for energy efficiency with a sustainability perspective. This work contributes to the development of research on energy efficiency decisions in manufacturing environments by integrating the dimensions of sustainability in order to improve implementation and enable manufacturing industries to increase sustainability. In addition, it supports companies in implementing energy efficiency by defining approaches for proposing energy efficiency policies, evaluation methods, sustainable energy efficiency practices, and analyzing results using indicators. This research was limited by the non-application of the proposed framework. The contribution comes from the generation of knowledge and information about EE and sustainability, in addition to the application of a questionnaire to researchers and specialists in the area in order to evaluate and refine the constructed framework.*

**Keywords:** *Energy Efficiency. Manufacturing. Sustainability. Framework.*

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 2.1 - Custos e benefícios de EE	29
Quadro 2.2 - Áreas e barreiras para a implementação de EE nas indústrias	31
Quadro 2.3 - Áreas e barreiras para a implementação de EE nas indústrias	32
Quadro 2.4 - Barreiras para a implementação de medidas sustentáveis	38
Quadro 2.5 - <i>Drivers</i> para a implementação de medidas sustentáveis	40
Quadro 2.6 - Indicadores para cada um dos objetivos da política energética	59
Quadro 3.1 - Critérios de inclusão e exclusão para seleção dos artigos	75
Quadro 4.1 - Categorização dos <i>frameworks</i> identificados	83
Quadro 4.2 - Classificação dos <i>frameworks</i> processuais	84
Quadro 4.3 - Classificação dos <i>frameworks</i> de simulação ou modelagem	88
Quadro 4.4 - Classificação dos <i>frameworks</i> teóricos ou conceituais	96
Quadro 4.5 - Práticas de EE encontradas na literatura	105
Quadro 4.6 - Barreiras encontradas na literatura	108
Quadro 4.7 - Impactos Econômicos	110
Quadro 4.8 - Impactos Ambientais	111
Quadro 4.9 - Impactos Sociais	112
Quadro 5.1 - Contribuições para o refinamento do <i>framework</i>	125
Quadro 5.2 - Possibilidades de políticas de EE	128
Quadro 5.3 - Tipos de dados a serem coletados para a etapa de avaliação	128
Quadro 5.4 - Indicadores e ferramentas	129
Tabela 5.1 - Percentual das respostas do questionário por questão	123

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Modelo de Sistema de Gestão de Energia para a ISO 50001	27
Figura 2.2 - Pilares da Sustentabilidade	43
Figura 2.3 - Classificação dos métodos e ferramentas de avaliação energética	45
Figura 2.4 - Etapas do método de mapeamento de valor de recursos	47
Figura 2.5 - Método iterativo para análise da agenda política da União Europeia	49
Figura 2.6 - <i>Framework</i> conceitual para a análise de entrevistas e documentos	50
Figura 2.7 - <i>Framework</i> orientado por big data	53
Figura 2.8 - Estrutura <i>loop</i> fechado de mineração de <i>big data</i> de energia	55
Figura 2.9 - <i>Framework</i> teórico dos fatores que afetam a EE	61
Figura 2.10 - <i>Framework</i> de gestão do sistema elétrico	62
Figura 2.11 - <i>Framework</i> de ações para a promoção da sustentabilidade	64
Figura 2.12 - <i>Framework</i> abrangente para sistemas energéticos sustentáveis	65
Figura 2.13 - <i>Framework</i> de gestão de energia na manufatura	66
Figura 2.14 - Modelo de avaliação de sustentabilidade integrada para sistemas de energia	67
Figura 2.15 - <i>Framework</i> de apoio à decisão para avaliação de sustentabilidade integrada de sistemas de energia	69
Figura 2.16 - <i>Framework</i> para sistemas de informação de energia	70
Figura 3.1 - Etapas da Pesquisa	73
Figura 3.2 - Passos da revisão da literatura	74
Figura 3.3 - Portifólio da revisão	77
Figura 4.1 - <i>Framework</i> de práticas de EE e sustentáveis	115

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	<i>Associação Brasileira de Normas Técnicas</i>
ACV	<i>Avaliação do Ciclo de Vida</i>
AED	<i>Análise Envoltória de Dados</i>
AIE	<i>Agência Internacional de Energia</i>
ANEEL	<i>Agência Nacional de Energia Elétrica</i>
BDDAF	<i>Big Data Driven Analytical Framework</i>
CO <sub>2</sub>	<i>Dióxido de Carbono</i>
DS	<i>Desenvolvimento Sustentável</i>
EE	<i>Eficiência Energética</i>
GF	<i>Grupo Focal</i>
GRI	<i>Global Reporting Initiative</i>
IDH	<i>Índices de Desenvolvimento Humano</i>
IDSH	<i>Índice de Desenvolvimento de Sustentabilidade Humana</i>
IEA	<i>Instituto de Energia e Ambiente</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
KPI	<i>Indicador-chave de desempenho relacionado à energia</i>
NO <sub>x</sub>	<i>Óxidos de Nitrogênio</i>
OCDE	<i>Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico</i>
ODS	<i>Objetivo de Desenvolvimento Sustentável</i>
ONU	<i>Organização das Nações Unidas</i>
PDCA	<i>Plan-Do-Check-Act</i>
P&D	<i>Pesquisa e Desenvolvimento</i>
PIB	<i>Produto Interno Bruto</i>
RFID	<i>Identificação por radiofrequência</i>
RSL	<i>Revisão Sistemática da Literatura</i>
SO <sub>2</sub>	<i>Dióxido de Enxofre</i>
TBL	<i>Triple Bottom Line</i>

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
1.1 TEMA E PROBLEMATIZAÇÃO	18
1.2 JUSTIFICATIVA	20
1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA	23
1.3.1 Objetivo Geral	23
1.3.2 Objetivos Específicos	24
<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>25</b>
2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA MANUFATURA	25
2.2 SUSTENTABILIDADE NA MANUFATURA	36
2.3 PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS DE EE NA MANUFATURA	44
<b>METODOLOGIA CIENTÍFICA</b>	<b>72</b>
3.1 ETAPA 1 – SELEÇÃO DOS MODELOS	73
3.2 ETAPA 2 – CONSTRUÇÃO DO <i>FRAMEWORK</i>	77
3.3 ETAPA 3 – AVALIAÇÃO DO <i>FRAMEWORK</i>	79
<b>DESENVOLVIMENTO</b>	<b>82</b>
4.1 ANÁLISE DE CONTEÚDO	82
4.2 CONSTRUÇÃO DO <i>FRAMEWORK</i>	113
<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS</b>	<b>122</b>
<b>CONCLUSÕES</b>	<b>131</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>134</b>
APÊNDICE A	145
APÊNDICE B	152
APÊNDICE C	153
APÊNDICE D	154

# INTRODUÇÃO

---

A energia é um recurso essencial para o crescimento econômico, pois pode afetar a sociedade como um todo e causar impactos significativos nas indústrias, as quais desempenham um papel importante no desenvolvimento dos países. Por isso, sua disponibilidade e utilização são cada vez mais importantes e discutidos pelos representantes de governos, gerencias de indústrias e acadêmicos, principalmente em relação as mudanças climáticas (SEOW; RAHIMIFARD, 2011; HEIDEIER *et al.*, 2020).

O relatório anual *World Energy Outlook* da Agência Internacional de Energia – AIE (2020) é a principal publicação sobre como o sistema global de energia poderá se desenvolver nas próximas décadas. Segundo o relatório, as circunstâncias atípicas do ano de 2020 exigem uma abordagem e caminhos excepcionais para uma recuperação sustentável da crise do Covid-19 no setor de energia.

De acordo com o relatório, a pandemia do Covid-19 causou incertezas e transtornos para o futuro energético mundial que levarão anos para se dissiparem. O relatório apresentou projeções para o futuro em diferentes cenários. No cenário principal (otimista), a demanda global de energia em 2020 deve cair 5%, e as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) relacionadas a energia, 7%. Porém, o relatório aponta uma queda em investimentos em energia de 18%. Segundo o relatório, neste cenário, a recuperação da economia global pós pandemia pode ou não acontecer em 2021, e a recuperação da demanda de energia em 2023. Porém, em um cenário de recuperação atrasada (pessimista) a crise de Covid-19 pode adiar para 2025 a retomada de demanda global de energia. Antes da pandemia, a demanda por

energia estava prevista para crescer 12% entre 2019 e 2030. No cenário principal pós crise do Covid-19, esse crescimento pode cair para 9% e, no cenário de recuperação atrasada, pode chegar a 4% (AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, 2020).

O relatório da Agência Internacional de Energia (2020) aponta as fontes de energia renováveis como as únicas a crescer em 2020, em especial a solar e a eólica, as quais devem apresentar um crescimento de aproximadamente 5% em 2020, isso graças a operação de novas capacidades e menores custos operacionais.

O forte crescimento das energias renováveis precisa ser combinado com investimentos em redes de eletricidade para fortalecer a transformação do setor de energia em relação a confiabilidade e segurança do fornecimento de eletricidade. Em relação aos combustíveis fósseis, o relatório aponta uma queda de 7% na demanda do carvão, 3% do gás natural e 8% de petróleo, os quais seguem vulneráveis às incertezas econômicas resultantes da crise do Covid-19 (AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, 2020).

O mundo está longe de uma recuperação sustentável. Somente com uma aceleração nas mudanças sobre como o mundo produz e consome energia pode alterar a tendência de emissões no futuro. Os investimentos em energia limpa são fundamentais para impulsionar o crescimento econômico, gerar empregos e reduzir emissões. Para auxiliar a recuperação econômica, o relatório aponta políticas e diretrizes para alcançar os objetivos de energia sustentável e mover a economia global de energia pós pandemia, como: investimentos em melhorias na eficiência, redes de energia e eletricidade com baixas emissões e combustíveis mais sustentáveis (AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, 2020).

Além disso, a crise do Covid-19 em nada muda a urgência de enfrentar o desafio climático mundial. Embora as respostas a pandemia tenham se concentrado, compreensivelmente, na mitigação dos riscos de saúde, emprego e liquidez, a atenção agora está voltada para a velocidade da recuperação, criação de novos empregos e no novo formato da economia (AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, 2020).

Segundo Cantarero (2020) a solução para as atuais crises climáticas e econômicas, além dos esforços de recuperação pós-Covid-19, pode estar na transição rápida para sistemas de energia de baixo carbono (sustentável e renovável), que compreende pressupostos de eficiência energética (EE), acessibilidade, confiabilidade e independência energética.

A EE é identificada como um elemento relevante para reduzir a ameaça de aumento do aquecimento global (BRUNKE; JOHANSSON; THOLLANDER, 2014). Segundo Patterson (1996), EE se refere ao uso de menos insumos (energia), para produzir a mesma quantidade de serviços, tendo como uma das suas funções mais importantes, evitar a

necessidade de novas fontes geradoras de energia, contribuindo com a redução de perdas, o uso racional de energia e melhoria da sustentabilidade. Portanto, a EE pode ser definida como proporções simples ou medidas sofisticadas que relacionam o uso real de energia a um processo “ideal” (DI VAIO; VARRIALE; ALVINO, 2018).

Com base em Abdelaziz, Saidur e Mekhilef (2011), a EE no setor industrial passou a ser considerada uma das principais funções do gerenciamento de energia na década de 1970. Desde então, o mundo reduziu seu orçamento de energia, utilizando maior eficiência enquanto ainda crescia economicamente, e percebeu a importância de proteger o meio ambiente. Segundo os autores, para a EE poder ser aprimorada, existem três abordagens: gerenciamento de energia, uso de tecnologias e por meio de políticas e/ou regulamentações, e, segundo os autores, todas são abordagens estratégicas viáveis na maioria das aplicações.

O aprimoramento da EE pela abordagem de gerenciamento de energia é uma estratégia utilizada pelas empresas a fim de atender a demanda de energia quando e onde for necessária, ajustando e otimizando seu consumo. Essa estratégia utiliza sistemas e procedimentos para reduzir os requisitos de energia por unidade de produção, mantendo ou reduzindo os custos totais da saída. Portanto, o principal objetivo do gerenciamento de energia está na redução dos custos e desperdícios energéticos sem afetar o processo de produção e a qualidade, além de minimizar os efeitos ambientais. Para obter eficácia, os programas de gerenciamento de energia devem incluir: análise de dados históricos, auditoria e contabilidade de energia, análise de engenharia e propostas de investimentos baseadas em estudos de viabilidade, e treinamento de pessoal (ABDELAZIZ; SAIDUR; MEKHILEF, 2011).

A abordagem pelo uso de tecnologias para a redução de energia pode ser pelo acionamento de velocidade variável no sistema operado por motor, pela utilização de motores elétricos de alta eficiência, de bicos eficientes no sistema de ar comprimido, de sistemas de recuperação de calor em caldeiras, entre outros. Já a abordagem de economia de energia por políticas ou regulamentações podem incluir legislação, regulamentos, tratados internacionais, acordos, incentivos de investimento, diretrizes para conservação de energia, pagamento de tributos ou padrões de EE. A utilização de políticas e regulamentos pode ser considerada como uma ferramenta de desenvolvimento de estratégias a longo prazo, para melhorar a EE e reduzir as emissões de gases do efeito estufa. Pode incluir além da gerência da empresa, o governo e associações de indústrias (ABDELAZIZ; SAIDUR; MEKHILEF, 2011).



Segundo Kamal, Al-Ghamdi e Koc (2019), além dos benefícios econômicos, mesmo que a longo prazo na utilização de EE nas organizações, existem também benefícios sociais e ambientais. Em relação aos sociais, os autores apresentam que a EE torna a energia mais acessível, devido aos preços mais baixos, o que significa um acesso maior à energia por parte da população. Além disso, investimentos em tecnologias e práticas de EE geram empregos nas organizações, o que aumenta o desenvolvimento geral da economia e da sociedade.

Em relação aos benefícios ambientais, a EE proporciona a maneira mais econômica para combater as mudanças climáticas, reduzir a demanda por energia, diminuir as emissões dos gases de efeito estufa relacionados à energia e reduzir o consumo de recursos naturais como água, minerais e petróleo. Além disso, organizações com menor consumo de energia apresentam uma imagem mais verde, o que pode influenciar na competitividade do mercado frente a consumidores preocupados com o meio ambiente e a sustentabilidade (KAMAL; AL-GHAMDI; KOC, 2019).

No Brasil, a EE registra poucos avanços mesmo apresentando programas como o Programa de Eficiência Energética da ANEEL (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA) por exemplo. Na área industrial, que representa aproximadamente 34% do consumo de energia no Brasil, os avanços relacionados a EE são pequenos comparados a outros países em desenvolvimento (INSTITUTO ENERGIA E AMBIENTE/USP, 2020).

O relatório E+ realizado pelo Instituto Energia e Ambiente apresenta que a EE no Brasil pode ser melhorada principalmente na área industrial melhorando o processo produtivo e utilizando máquinas e equipamentos mais eficientes (INSTITUTO ENERGIA E AMBIENTE/USP, 2020).

De acordo com Qu *et al.* (2016), as indústrias manufatureiras têm realizado mudanças em seus processos de produção de bens e serviços em busca de melhorar a eficiência e obter resultados econômicos e impactos positivos ao meio ambiente. É preciso determinar e entender as formas de utilização de energia na manufatura para otimizar os processos e a gestão das instalações, visando reduzir o consumo de energia.

Segundo Gahm *et al.* (2016), a busca por sustentabilidade levou as indústrias manufatureiras a reduzirem o consumo energético, e a melhorar a proporção de entrada de energia e a saída (produto) de um processo de produção, levando a melhoria na EE. Embora os padrões de gestão de energia apresentem boas práticas sustentáveis em indústrias de manufatura, muitas vezes falta modelos adequados para as melhores práticas de desempenho energético. Essa carência de modelos para a gestão de energia em relação a manufatura é particularmente grave nos países em desenvolvimento (JOVANOVIĆ; FILIPOVIĆ, 2016).

Segundo Hutchins, Robinson e Dornfeld (2013), as indústrias geralmente apresentam dificuldades para medir os impactos econômicos, ambientais e sociais, associados as suas atividades e processos.

Além disso, as indústrias manufatureiras podem aplicar práticas de sustentabilidade, adotando novas tecnologias de fabricação, desenvolvendo produtos mais ecológicos e introduzindo práticas de sustentabilidade na cadeia de suprimentos, por exemplo (SCHRETTLE *et al.*, 2014).

A sustentabilidade envolve questões sobre qualidade de vida, competitividade empresarial, tecnologias limpas, utilização dos recursos, responsabilidade social, entre outros. Segundo Secco (2019), a Organização das Nações Unidas (ONU) considera que a sustentabilidade também engloba a conservação da água do solo, dos recursos genéticos animais e vegetais, além de presar pela conservação do ambiente, ser tecnicamente apropriado, economicamente viável e socialmente aceito.

Ademais, a necessidade da sustentabilidade nas indústrias estimulou o interesse de desenvolvedores de políticas e tomadores de decisão, pois, mesmo incluindo a sustentabilidade na estratégia da empresa, os atuais modos de produção não podem ser considerados sustentáveis, sendo necessárias mudanças significativas em nível organizacional, comportamental, tecnológico e gerencial (NERI *et al.*, 2018).

Trianni, Cagno e Neri (2017) apontam que, para melhorar a sustentabilidade nas indústrias, é preciso implementar medidas eficazes e que tragam resultados benéficos para as empresas como, por exemplo, a EE junto a práticas sustentáveis.

## 1.1 TEMA E PROBLEMATIZAÇÃO

A redução de custos operacionais é uma das principais razões pelas quais as indústrias adotam a EE, porém, um desafio para os gestores é o temor por grandes investimentos em tecnologia verde. Com a abordagem de EE, a indústria pode ter ganhos em relação a melhor utilização das instalações, redução do consumo de energia e de custos com eletricidade. Os ganhos com a EE não devem ser tratados apenas em relação ao retorno financeiro, mas também em relação as questões ambiental e social que estão associadas ao consumo de energia. E o sucesso de estratégias e práticas de EE depende, principalmente, de mudanças comportamentais em todos os níveis, desde o chão-de-fábrica até a alta gerência (JAVIED; RACKOW; FRANKE, 2015).

O aumento no número de projetos, leis e diretrizes de responsabilidade ambiental, juntamente com o aumento do custo do combustível, são motivadores encontrados nas indústrias que podem ser vistos como oportunidades competitivas, e serem incentivo para a redução do consumo de energia (SEOW; RAHIMIFARD, 2011).

A utilização de menos matéria prima, energia e desperdício são obstáculos da manufatura frente à crescente demanda por produtos e serviços. À medida que os preços de material, energia e resíduos aumentam, as melhorias em EE apresentam benefícios ao serem implantadas. Para auxiliar as indústrias a analisar suas operações e implantar melhorias para reduzir o impacto ambiental, são necessárias metodologias detalhadas, as quais representam uma lacuna na literatura (SMITH; BALL, 2012).

Solnørdal e Thyholdt (2017) também defendem em seu estudo que existe um potencial inexplorado para EE no setor de manufatura, pois existe uma diferença entre o nível real de EE nas empresas e o que teoricamente poder ser alcançado, dado que todas as tecnologias econômicas são implementadas. Mesmo com iniciativas políticas voltadas a preencher essa lacuna, o setor industrial ainda possui um potencial significativo para melhorias. E para estimular ainda mais a EE nas indústrias de manufatura, é necessário um entendimento profundo dos fatores que impulsionam a implementação real das tecnologias de EE. Para os autores, o tamanho da empresa, o nível de escolaridade dos colaboradores, empresas inovadoras e que investem em P&D, além de estratégias ambientais, responsabilidade social corporativa e conscientização são motivadores importantes para impulsionarem a EE nas empresas.

O trabalho de revisão de Papetti *et al.* (2019) mostrou que nos últimos anos foram desenvolvidos vários métodos e ferramentas de EE para a manufatura, mas que são raros os que cumprem integralmente com as necessidades das indústrias em relação a gestão de energia. Segundo os autores, a maioria dos trabalhos se concentram em análises quantitativas de consumo de energia ao invés de analisar a eficiência de energia. A atenção é colocada, principalmente, na avaliação e visualização dos dados de consumo de energia, enquanto a análise de como aumentar a eficiência é insuficiente. Os métodos são geralmente específicos para um dado setor de manufatura e geralmente consideram apenas os sistemas de produção. Os autores confirmam que ainda falta na literatura uma estrutura que examine o processo de produção de uma forma holística e com múltiplos recursos.

O consumo de energia nas indústrias de manufatura pode ser reduzido com a utilização de tecnologias e equipamentos mais eficientes ou por meio do monitoramento e controle aprimorados da energia utilizada em infraestrutura e serviços técnicos. Além disso,

o uso de energia e as emissões de CO<sub>2</sub> podem ser reduzidas por meio da eficiência em motores, bombas, caldeiras, bem como na recuperação de energia em processos de produção e reciclagem de materiais empregados. A energia é essencial para o desenvolvimento sustentável, porém, a energia consciente, segura, ecológica, produzida e utilizada com eficiência é fundamental para o aumento da sustentabilidade nas indústrias (KAYGUSUZ; 2012).

Para Elkington (1994), a sustentabilidade é o equilíbrio entre os três pilares: ambiental (meio ambiente fornece recursos limitados), econômico (meio de fornecer à sociedade os bens e serviços que ela exige) e social (como as gerações futuras precisam atender as suas necessidades). É fundamental, portanto, alcançar um desenvolvimento sustentável equilibrando esses três aspectos. A produção ambientalmente consciente tem como objetivo criar bens e serviços utilizando de processos e sistemas não poluentes, juntamente com a redução do uso de energia e recursos naturais.

Segundo Kamal, Al-Ghamdi e Koc (2019), a literatura aponta, em sua maioria, benefícios econômicos na utilização de EE, negligenciando os benefícios sociais e ambientais. Portanto, para promover o desenvolvimento sustentável nas organizações é necessário levar em consideração as três dimensões simultaneamente, a fim de reduzir a demanda por energia e promover a eficiência no uso dos recursos nos processos de manufatura.

Para isso, existe a necessidade também, da utilização de métricas, sistemas, modelos e ferramentas que possibilitem o ajuste da sustentabilidade. A principal intenção com a avaliação da sustentabilidade é se informar sobre as decisões tomadas e garantir que as opções foram avaliadas e examinadas por seus efeitos de curto e longo prazo na sociedade, economia e meio ambiente (ABU-RAYASH; DINCER, 2019).

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O setor de manufatura desempenha um papel importante na economia global, além de fornecer produtos necessários à população, gera empregos e contribui para o desenvolvimento do bem-estar da sociedade e da economia (MENGHI *et al.*, 2019). Porém, com o crescente consumo energético, principalmente no setor industrial, o aumento acelerado por energia fez com que as indústrias e organizações se preocupassem com o consumo sustentável e a EE.

Com o aumento da preocupação e conscientização ambiental das empresas, surgiu a necessidade por normas e regulamentações com um padrão global para auxiliar a gestão de energia. Em vista disso, a certificação ISO 50001:2018 (Sistemas de Gestão de Energia) foi desenvolvida com o propósito de fornecer uma estrutura consolidada para a gestão de energia. Essa é uma norma técnica (não obrigatória) que foi desenvolvida com o objetivo de incentivar as empresas a produzir e consumir energia de forma sustentável, poupando dinheiro, conservando recursos e combatendo as mudanças climáticas. A norma estabelece condições para a garantia de melhor desempenho energético e consumo sustentável nas empresas. Por meio da gestão sistemática da energia, a norma busca reduzir as emissões de gases, redução do custo energético e outros impactos ambientais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018).

A ISO 50001:2018 é baseada na estrutura de melhoria contínua, também utilizada para outras normas conhecidas, como a ISO 14001:2015 (Sistema de Gestão Ambiental), por exemplo. Ela identifica os requisitos necessários para a gestão de energia estabelecendo o desenvolvimento de uma política para a EE, metas e objetivos para atender a essa política, planejamento, medição e avaliação dos resultados, e revisão e melhoria contínua da gestão energética (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018; 2015).

De acordo com Johansson e Thollander (2018), para uma gestão de energia adequada, é necessária uma avaliação de todo o processo de produção, envolvendo todos os departamentos, como: gerenciamento, qualidade, tecnologia da informação, produção, entre outros. Além disso, Svensson e Paramonova (2017) defendem que, além da colaboração das partes interessadas, é necessária a aplicação de métodos e ferramentas sustentáveis para apoiar a avaliação energética e a melhoria da EE em ambientes de manufatura.

Segundo Dunlop (2019), medir o sucesso da EE é complexo e desafiador, podendo ser estimado de diversas maneiras, em relação a várias qualidades, escalas e dimensões de energia. Menghi *et al.* (2019) apontam como métodos e ferramentas de EE: modelos e *frameworks* de apoio à implementação, cálculo de emissões, cálculo de indicadores, entre outros. Tais métodos e ferramentas são essenciais para a gestão de energia, pois auxiliam na identificação de barreiras para a implementação e oportunidades de melhoria, no monitoramento e análise de consumo de energia na indústria, aumentam a transparência do consumo em tempo real e melhoram a conscientização sobre energia.

Embora exista a necessidade da implementação de métodos e ferramentas para melhorar a conservação de energia nas indústrias, existem barreiras que impedem a aplicação com sucesso da EE considerando os três pilares da sustentabilidade (SMITH; BALL, 2012).

Segundo Kamal, Al-Ghamdi e Koc (2019) as principais barreiras e dificuldades encontradas na implementação de EE são relacionadas aos investimentos necessários, visto que os custos são altos a um curto prazo, porém, os benefícios, de longo prazo. Outro obstáculo encontrado é a dificuldade dos indivíduos e das organizações em se ajustarem às mudanças, custos e conhecimentos associados à tecnologia. Portanto, sistemas mais eficientes e mais novos tendem a ser ignorados pelos donos das empresas, pois tais tecnologias necessitam de investimentos em treinamentos, o que acaba não gerando benefícios a curto prazo.

Em vista disso, a revisão de literatura desenvolvida por Menghi *et al.* (2019), relevou um aumento no interesse sobre métodos e ferramentas de redução do consumo de energia e processos de produção mais sustentáveis. Segundo os autores, são vários os métodos e ferramentas desenvolvidas nos últimos anos, mas ainda falta uma estrutura que examine o processo de produção de maneira holística para capitalizar o grande potencial inexplorado de EE e sustentabilidade na manufatura, ou seja, uma metodologia abrangente para apoiar os tomadores de decisão na implementação de medidas sustentáveis nos processos de fabricação. Tais métodos são essenciais para as atividades de gerenciamento de energia e para permitir que os gerentes consigam identificar também oportunidades de melhoria.

Ainda na revisão de literatura de Menghi *et al.* (2019), foi verificado que os estudos, em sua maioria, desenvolvem e implementam métodos para sistemas de produção específicos ou para setores industriais selecionados, ou seja, falta trabalhos com o desenvolvimento de um método abrangente e generalizado.

De acordo com Biswas e Srivastava (2018), as organizações precisam não apenas adotar práticas sustentáveis, mas adotar a sustentabilidade como filosofia principal na organização, além de avaliar resultados e alinhar as estratégias de acordo com as três dimensões: econômica, ambiental e social.

Além disso, é identificado um *trade-off* entre as dimensões, onde as indústrias que adotam medidas sustentáveis frequentemente se preocupam mais com os impactos econômicos, do que com os sociais e ambientais. Essa priorização da dimensão econômica em relação às outras dimensões ocorre principalmente devido aos benefícios alcançados a curto prazo. Porém, buscar apenas os benefícios econômicos não é suficiente para obter um desenvolvimento sustentável a longo prazo, é essencial alavancar medidas capazes de melhorar as dimensões sociais e ambientais, para que os ganhos econômicos sejam relevantes (NERI *et al.*, 2018).

Para auxiliar no desenvolvimento sustentável e gerar benefícios nas dimensões da sustentabilidade, a ONU (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS) vem promovendo ações conhecidas como Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Dentre os 17 objetivos propostos para as mais diversas áreas, estão 3 que se enquadram e justificam esta pesquisa: o ODS7 – Energia limpa e acessível, ODS12 – consumo e produção responsáveis, e o ODS13 - ação contra a mudança global do clima.

Kagiannas *et al.* (2004) defendem em sua pesquisa, que *frameworks* podem ser ferramentas de política energética muito úteis para apoiar os procedimentos de implantação e monitoramento da evolução das políticas que serão utilizadas para o desenvolvimento sustentável.

Segundo Javied, Rackow e Franke (2015), o uso dos métodos e modelos existentes na literatura sobre a aplicação de EE auxiliam a superar as barreiras e dificuldades encontradas na sua implementação. Porém, para uma melhoria sustentável e contínua, é necessária a utilização de uma abordagem estruturada e sistemática.

Por fim, O'Driscoll, Kelly e O'Donnell (2015) dissertam que o alto consumo de energia por parte da indústria apresenta uma motivação econômica no uso de métodos e ferramentas que analisem e avaliem o uso de energia. Tais métodos auxiliam no aumento da eficiência do consumo de energia e na redução do desperdício, na identificação de melhorias, e para isso, é essencial que esses métodos tenham uma abordagem holística durante a implementação na produção.

Nesses termos, para promover a sustentabilidade em indústrias de manufatura utilizando práticas de EE, surge a pergunta que orienta esta pesquisa: **Como estruturar um *framework* com práticas de EE com foco em sustentabilidade para indústrias de manufatura?**

## 1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

### 1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um *framework* teórico com práticas de Eficiência Energética, a luz da sustentabilidade em indústrias manufatureiras.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

De forma a alcançar o objetivo geral, foram especificados os seguintes objetivos específicos:

- Fazer um levantamento de modelos da literatura referentes as práticas de EE utilizadas na indústria de manufatura;
- Caracterizar as ferramentas, métodos e fatores de sucesso dos modelos encontrados com foco em sustentabilidade;
- Analisar a relação entre a EE e a sustentabilidade com suas barreiras, benefícios e principais práticas;
- Relacionar as práticas de EE e sustentabilidade em uma estrutura.



---

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

A revisão bibliográfica de uma pesquisa busca expor conceitos e definições fundamentais para o entendimento do tema em questão. Primeiramente este capítulo apresenta uma breve discussão sobre os temas de eficiência energética (EE), benefícios, barreiras, e sua relação com a manufatura. Na sequência, tece considerações sobre o conceito de sustentabilidade e sua relação com a manufatura. Por fim, discute sobre pesquisas existentes na literatura em relação a práticas, modelos e estratégias de EE em ambientes industriais de manufatura que incluíram em sua aplicação de EE aspectos da sustentabilidade.

### 2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA MANUFATURA

O desenvolvimento econômico dos últimos anos contribuiu para o aumento do consumo de energia derivada de combustíveis fósseis, o que evidencia a preocupação pelo impacto ambiental da sua produção e do seu consumo, devido a condição finita dos recursos naturais. Nesse contexto, a EE é vista como uma estratégia para as indústrias pelo seu importante papel na agenda de políticas públicas em países desenvolvidos, por conta da sua relação com a obtenção de benefícios comerciais, competitividade no mercado e segurança energética, além dos benefícios ambientais (MAWSON; HUGHES, 2019).

O conceito de EE é, essencialmente, realizar o mesmo ou mais consumindo os mesmos recursos, com foco no alívio das operações e qualidade da produção. A ISO 50001, em sua primeira publicação de 2011, definiu a EE como a “razão ou outra relação quantitativa

entre uma saída de desempenho, serviços, produtos ou energia e uma entrada de energia” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011). Em sua publicação de 2018, descreveu como a “proporção ou outra relação quantitativa entre um desempenho, serviço, produto, matéria-prima ou resultado de energia e uma entrada de energia” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018).

Ainda segundo a ISO 50001, entende-se por desempenho um “resultado mensurável” em relação à EE, uso de energia e consumo de energia. Esse resultado, no sistema de gerenciamento de energia pode ser medido em relação a política energética da empresa, objetivos ou metas. A energia, é definida como eletricidade, combustível e outras formas análogas (incluindo renovável) que podem ser compradas, armazenadas, processadas, utilizadas em equipamentos ou processo, ou recuperadas. A energia é a capacidade de um sistema de produzir atividade ou realizar trabalho.

Portando, a ISO 50001 atribui como EE toda a relação quantitativa de um processo produtivo, ou seja, o resultado que pode ser mensurado de serviço, produto, matéria prima, ou energia, conforme a energia de entrada no processo. A EE é ainda, normalmente, utilizada por algumas organizações como um indicador de análise e avaliação do desempenho energético (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011).

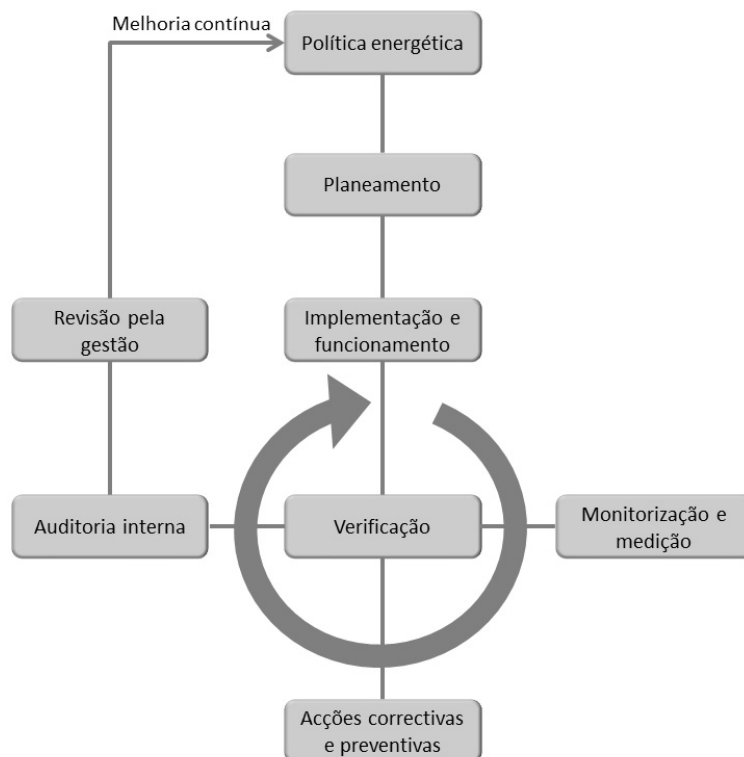
A ISO 50001 – Sistemas de Gerenciamento de energia, é uma norma desenvolvida e publicada pela *International Organization for Standardization* (Organização Internacional de Normalização) e que foi disponibilizada no Brasil pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) como ABNT NBR ISO 50001 de Gestão de Energia (JOVANOVIĆ; FILIPOVIĆ, 2016).

A ISO 50001 indica requisitos necessários para determinar, implementar, preservar e aprimorar um sistema de gestão de energia, com o objetivo de alcançar a EE, segurança energética, uso e consumo de energia, além de benefícios relacionados a sustentabilidade, como redução do consumo de energia e emissão de gases poluentes. Portanto, além dos benefícios econômicos que estão relacionados à redução do consumo de energia, a utilização da ISO 50001 contempla benefícios ambientais relacionados a conservação dos recursos naturais (MARIMON; CASADESÚS, 2017).

Segundo Chiu *et al.* (2015) a implementação da ISO 50001 melhorou os indicadores de desempenho energético das indústrias que a utilizaram, incluindo eficiência energética, segurança energética, uso de energia e consumo. A estrutura da ISO 50001 é projetada de acordo com outras normas de sistema de gestão ISO, como a ISO 9001 (Sistemas de Gestão da Qualidade) e ISO 14001 (Sistemas de Gestão Ambiental). Como todos os três sistemas de

gerenciamento são baseados no ciclo *Plan-Do-Check-Act* (PDCA), a ISO 50001 pode ser facilmente integrada a esses sistemas. A Figura 2.1 apresenta a estrutura utilizada pela norma para obter melhoria contínua na gestão de energia.

Figura 2.1 – Modelo de Sistema de Gestão de Energia da ISO 50001



Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018)

No contexto da ISO 50001, o PDCA pode ser resumido da seguinte forma:

- Planejar: conduzir a revisão energética e estabelecer a linha de base, indicadores de desempenho energético, objetivos, metas e planos de ação necessários para entregar resultados de acordo com as oportunidades de melhorar o desempenho energético e a política energética da organização.
- Fazer: implementar os planos de ação de gestão de energia.
- Verificar: monitorar e medir os processos e as principais características das operações que determinam o desempenho energético em relação à política e aos objetivos energéticos e relatar os resultados.
- Agir: realizar ações para melhorar continuamente o desempenho energético e o sistema de gestão de energia.

Para a implantação de práticas de EE em indústrias de manufatura, é importante que sejam analisadas a fundo os custos, benefícios, motivadores e possíveis barreiras dessa implementação. Kamal, Al-Ghamdi e Koc (2019) apresentam em sua pesquisa, os custos e benefícios relacionados à EE de maneira abrangente por meio da literatura. O Quadro 2.1, desenvolvido pelos autores, apresenta os custos e benefícios associados a aplicação de práticas de EE em níveis econômicos, ambientais e sociais.

Em relação aos benefícios econômicos, a primeira vantagem encontrada é que práticas de EE costumam ser economicamente mais vantajosas que o desenvolvimento de novos sistemas de geração de energia, ou seja, reduzir o custo com a compra de energia alivia a necessidade da geração de novos sistemas de transmissão e distribuição de energia. Além disso, a EE diminui o preço de compra de energia e traz benefícios econômicos como: aumento do valor patrimonial da planta e equipamentos da organização, redução de custos com matéria prima e mão de obra, investimentos de capital, economia de energia, economia no pagamento de impostos, aumento da produtividade e rendimentos, melhoria na infraestrutura de energia, redução de preços de energia, aumento de orçamentos públicos, segurança energética e aumento do PIB do país. Portanto, a EE não pode ser apenas considerada como uma questão energética, e sim, uma questão econômica de fundamental importância (KAMAL; AL-GHAMDI; KOC, 2019).

Em relação aos benefícios sociais, os autores apontam a redução de mortes devido ao aumento do conforto, saúde e bem-estar das pessoas, o que leva a uma diminuição de gastos com saúde, bem como redução na força de trabalho perdida devido a doenças. Além disso, apontam como benefícios sociais, a geração de empregos diretos e indiretos, a redução no preço da energia, que significa maior acesso à energia por parte da população e de economias financeiras, as quais podem construir uma maior infraestrutura de distribuição energética. Tais benefícios auxiliam no desenvolvimento da sociedade e da economia, fornecem vantagens competitivas às organizações devido a imagem sustentável que transmitem (KAMAL; AL-GHAMDI; KOC, 2019).

Ainda segundo Kamal, Al-Ghamdi e Koc (2019), a EE auxilia no combate de questões ambientais e climáticas nas organizações, que podem incluir a redução nas emissões de gases de efeito estufa como CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>, além da redução da poluição do ar e da água, e economia na utilização dos recursos naturais como minerais, água e petróleo. Ademais, outro benefício encontrado é a redução de custos de capacidade de produção, uso de água e preços, devido ao efeito induzido pela redução da demanda. O aumento da eficiência leva a uma redução dos poluentes que entram no ar e na água.

Quadro 2.1 – Custos e benefícios de EE

<b>Nível</b>	<b>Custos e Benefícios</b>	<b>Por quê?</b>
Econômico	Valor Patrimonial	O valor das plantas e equipamentos aumentam
	Matéria prima e Mão de Obra	Custos reduzidos de matéria prima e mão de obra
	Poupança em investimentos de capital	Não são comprados novos equipamentos para equilibrar o suprimento de energia
	Economia de energia	Devido ao aumento da eficiência
	Economia em imposto ambiental e compensação de carbono	Não pagamentos de impostos ambientais e de compensação de carbono
	Produtividade	Produzir o mesmo com menores níveis de consumo de energia, e aumento da produtividade em todos os setores
	Rendimentos	Aumento da receita devido a contas mais baixas
	Infraestrutura de energia	Benefícios para os fornecedores de energia devido a eficiência e aos padrões de energia
	Preços de energia	Redução nos preços de energia devido à menor demanda
	Orçamentos públicos	Aumento de orçamentos para outros projetos
	Segurança energética	Países importadores, importando menos energia, e países exportadores exportando mais energia
Efeito macroeconômico	Aumento do PIB	
Ambiental	Emissão de gases de efeito estufa	Redução na emissão de gases do efeito estufa
	Gestão de Recursos	Economia de recursos naturais
	Poluição do ar e da água	Redução de poluentes no ar e na água
Social	Saúde	Dia em hospitais e despesas médicas reduzidas
	Acessibilidade em energia	Maior oportunidade para pessoas terem acesso à energia por preços mais baixos
	Acesso à energia	Economias financeiras podem aumentar o acesso da infraestrutura à energia
	Desenvolvimento	Desenvolvimento da economia, sociedade e meio ambiente
	Imagem Pública	Boa imagem devido a menor consumo de energia
	Geração de emprego	Produção direta e indireta de empregos devido à eficiência energética

Fonte: Adaptado de Kamal, Al-Ghamdi e Koc (2019)

O trabalho de Walsh e Thornley (2012) buscou na literatura o motivo de as indústrias ignorarem as opções de mitigação das barreiras e destacou as que se destacaram nas intervenções políticas de EE. Em termos gerais, as principais barreiras apontadas foram: a falta de infraestrutura, suporte financeiro, custos de capital e problemas de localização.

A falta de infraestrutura se relaciona principalmente com a falta de tubulações para o transporte de calor, embora na geração elétrica também possa pertencer à infraestrutura da rede elétrica local. Os custos de capital incorporam custos de equipamento, engenharia e operacionais associados a medidas tecnológicas para melhorar a EE. O apoio financeiro incorpora a existência de estruturas financeiras para reduzir os riscos de alteração de processos existentes ou integração de novas tecnologias e o estabelecimento de incentivos adequados à melhoria da EE. O apoio pode ser fornecido em nível de fábrica e pode ser fornecido externamente por meio de iniciativas governamentais, como concessões ou preços de energia racional (ou carbono). A questão da localização pode refletir os diferentes locais de disponibilidade de calor da indústria e demanda de calor, uma vez que as oportunidades no local tenham se esgotado, e o transporte por grandes distâncias para os usuários finais pode ser inviável ou caro (WALSH; THORNLEY, 2012).

Brunke, Johansson e Thollander (2014) apontam como *drivers* os fatores e forças motrizes para que as organizações adotem políticas de EE, indo além da visão custo-benefício, para a promoção da cultura e conscientização das pessoas e organizações, para políticas sustentáveis. Para os autores esses principais motivadores são: compromisso da alta gerência, redução de custos resultantes do uso reduzido de energia, estratégia energética a longo prazo, contratos de longo prazo com isenção tributária, impostos, apoio de especialistas em energia e sistemas de certificação de eletricidade.

Na literatura encontram-se experiências e resultados com a aplicação de EE e desenvolvimento de um gerenciamento de energia que auxiliam a localização das possíveis barreiras normalmente encontradas. De acordo com Fresner *et al.* (2017), existe uma gama de medidas de EE que apresentam uma boa relação custo-benefício disponíveis na literatura, mas elas permanecem sem implementação devido a várias barreiras de implementação.

Entende-se por barreiras as dificuldades encontradas para a adoção de práticas e tecnologias energeticamente eficientes. Brunke, Johansson e Thollander (2014) realizaram uma investigação na literatura em busca das principais dificuldades e barreiras encontradas para a adoção de um gerenciamento e controle de energia, e de práticas de EE nas indústrias. O Quadro 2.2 apresenta as barreiras encontradas e categorizadas pelos autores, de acordo com a literatura.

Quadro 2.2 – Áreas e barreiras para a implementação de EE nas indústrias

<b>Origem</b>	<b>Área</b>	<b>Barreiras</b>
Externa	Mercado	Má qualidade de informações sobre o gerenciamento de energia
	Governo	Incerteza sobre preços futuros de energia e políticas fiscais
Interna	Consciência	Falta de conhecimento ou motivação da equipe
	Comportamental	Suporte insuficiente da alta gerência, falta de tempo ou outras prioridades
	Competência	Falta de informação sobre alocação de custos de energia, e falta de habilidades técnicas
	Econômica	Acesso limitado ao capital, incertezas em relação aos custos ocultos, outras prioridades de investimentos financeiros, e riscos técnicos
	Organizacional	Nenhuma opção para melhorar as práticas de gerenciamento de energia, dificuldade para cooperar entre divisões e autoridade limitada do gestor de energia

Fonte: Adaptado de Brunke, Johansson e Thollander (2014)

Devido a presença de barreiras, a implementação de práticas e medidas eficazes de EE na indústria é um desafio. Hassan, Burek e Asif (2017) identificaram na literatura as principais barreiras encontradas na implantação de EE: falta de investimentos, falta de políticas adequadas, uso de tecnologias inadequadas, falta de conscientização da equipe, falta de investimentos em treinamentos e qualificações educacionais de energia, informações limitadas em relação ao consumo de energia, e a baixa prioridade na gestão de energia.

Cagno *et al.* (2013) realizaram um levantamento da literatura sobre as barreiras encontradas para a implementação de tecnologias e de práticas de EE nas empresas, dividindo entre barreiras de origens externas e internas. As barreiras externas são: as relacionadas ao mercado, governo, fornecedores de tecnologia e serviços, *designers* e fabricantes, fornecedores de energia e fornecedores de capital. Entre as internas estão: as barreiras econômicas, comportamentais, organizacionais, de competências e consciência.

A divisão realizada por Cagno *et al.* (2013), a partir da literatura, pode ser analisada no Quadro 2.3.

Quadro 2.3 – Áreas e barreiras para a implementação de EE nas indústrias

<b>Origem</b>	<b>Área</b>	<b>Barreiras</b>
Externa	Mercado	Distorções de preços de energia, a baixa difusão de novas tecnologias, riscos de mercado e as dificuldades em obter habilidades externas
	Governo	Regulamentação e distorção nas políticas fiscais
	Fornecedores de tecnologia e serviços	Falta de interesse em tecnologias, fornecedores desatualizados e sem treinamento
	<i>Designers</i> e fabricantes	Características técnicas não adequadas às tecnologias e altos custos iniciais
	Fornecedores de energia	Falta de comunicação, distorção dos preços de energia e falta de interesse
	Fornecedores de capital	Altos custos para avaliar a capacidade de suporte de dívida e dificuldade em identificar a qualidade dos investimentos
Interna	Economia	Baixa disponibilidade de capital, custos de investimento, custos ocultos, riscos e intervenções não rentáveis
	Comportamental	Falta de interesse, inércia, critérios de avaliação dos investimentos equivocados e falta de compartilhamento dos objetivos
	Organizacional	Funções da gestão de energia sem poder suficiente, tomadores de decisões inexperientes, cadeia de decisão complexa, falta de tempo e de controle interno
	Competência	Falta de competência específica
	Consciência	Ignorância ou falta de conhecimento dos tomadores de decisão

Fonte: Adaptado de Cagno *et al.* (2013)

Segundo Cagno *et al.* (2013), sobre as barreiras de origens externas, na área de mercado, encontram-se as distorções de preços de energia, a baixa difusão de informações e novas tecnologias de EE, os riscos de mercado (incertezas) e as dificuldades em obter habilidades externas (especialistas). As barreiras relacionadas ao governo incluem a falta de uma regulamentação adequada (falta de padrões ou classes) para selecionar as tecnologias de EE mais eficazes, e a distorção nas políticas fiscais (impostos, subsídios). Tais barreiras desencorajam a adoção de tecnologias de EE e de conservação de recursos. Como barreiras de fornecedores de tecnologia e serviços tem-se a falta de interesse em tecnologias de EE, fornecedores não atualizados e sem treinamento sobre as tecnologias de EE, ou seja, eles não conseguem comunicar seu desempenho efetivo. As barreiras relacionadas aos *designers* e



fabricantes envolvem características técnicas não adequadas às tecnologias de EE, e os altos custos iniciais para adoção de novas tecnologias de EE. Em relação a área dos fornecedores de energia, citam-se as barreiras de falta de comunicação dos fornecedores de energia para com os clientes, além da distorção dos preços de energia e a falta de interesse na EE, ou seja, pode não estar interessado em informar ao cliente sobre as soluções de EE. Por último, as barreiras encontradas em relação aos fornecedores de capital, foram os altos custos para avaliar a capacidade de suporte de dívida da empresa, o que desencoraja os investidores a financiar projetos em EE, além da dificuldade em identificar a qualidade dos investimentos para os quais fornecem capital, ou seja, impede a difusão de tecnologias inovadoras de EE.

Em relação as barreiras de origens internas, da área econômica, são primeiramente as relacionadas a baixa disponibilidade de capital próprio suficientes para investir em tecnologias de EE, custos de investimento, custos ocultos (custos não declarados como práticas de EE), riscos e incertezas na implementação de EE, e intervenções não suficientemente rentáveis. Em relação a área comportamental dos operadores e tomadores de decisão dentro da empresa, tem-se como barreiras a falta de interesse em EE, inércia (resistência a mudança), critérios de avaliação dos investimentos em EE equivocados e falta de compartilhamento dos objetivos. As barreiras organizacionais são funções da gestão de energia sem poder suficiente para melhorar EE, tomadores de decisões que não obtém benefícios em melhorar a EE, cadeia de decisão complexa (muitas funções), falta de tempo do tomador de decisão e falta de controle interno (sistemas de controle adequados) para a implementação de práticas de EE. Barreiras relacionadas às competências envolvem a identificação de ineficiências e oportunidades devido à falta de competência específica sobre as técnicas de EE, e a implementação das intervenções e práticas para EE. Na área de consciência, a barreira visa apontar o desconhecimento (ignorância) dos tomadores de decisão sobre EE, nos quais eles simplesmente ignoram os possíveis benefícios e oportunidades advindos da implementação de EE (CAGNO *et al.*, 2013).

Além das barreiras encontradas na literatura, Cagno *et al.* (2013) acrescentaram duas barreiras, as relacionadas às áreas da tecnologia e as associadas à informação. Sobre as barreiras relacionadas à tecnologia, levando em conta as barreiras citadas anteriormente, de baixa difusão de novas tecnologias e falta de interesse dos fornecedores de energia, os autores descreveram que a empresa não consegue reconhecer se as tecnologias de EE não estão disponíveis devido à baixa difusão ou a falta de interesse dos fornecedores. Em relação à área de informação, observa-se a falta de informação sobre custos e benefícios, informações

pouco claras dos fornecedores de tecnologia, confiabilidade fraca da fonte de informação e questões sobre falta de informação de contratos de energia.

Cagno *et al.* (2013) apresentam também, a relação da interação das barreiras com os vários estágios de tomada de decisão na implementação das práticas de EE nas empresas. Os autores apontam que as empresas que se encontram nos estágios iniciais de implantação da EE estão mais suscetíveis a barreiras de consciência e comportamento, em estágios intermediários a barreiras organizacionais e de informações, e em estágios de maior maturidade, a barreiras econômicas, tecnológicas e de competência.

Tanto os investimentos em EE quanto em tecnologias limpas são compatíveis com os investimentos em automação e melhorias na segurança do trabalhador. Os investimentos em tecnologias limpas também são compatíveis com os investimentos na introdução de novas tecnologias de produção e mesmo na substituição de equipamentos antigos. Esse comportamento de investimento expressa o cuidado das empresas com o meio ambiente. Os formuladores de políticas precisam criar mecanismos para reconhecer esses investimentos e elaborar medidas políticas e financeiras (como subsídios, fundos públicos, garantias), e alocar fundos (HROVATIN; DOLŠAK; ZORIĆ, 2016).

Compreender as barreiras e os *drivers* encontrados em relação a adoção de medidas de EE nas indústrias é importante para saber lidar e obter resultados como redução de emissões a um custo baixo. Uma vez que as estratégias de investimento das empresas são normalmente o resultado de um complexo processo de decisão, um melhor entendimento das barreiras e *drivers* de EE é fundamental para o sucesso da implementação de medidas (VENMANS, 2014).

São vários os fatores que impulsionam as indústrias de manufatura a adotarem políticas de EE: econômicos, ambientais, organizacionais, políticos, gerenciais, tecnológicos, entre outros. A utilização da EE nas indústrias manufatureiras auxilia na diminuição do impacto ambiental, contribui na redução do consumo de energia (o que não deve ser confundida com a conservação de energia), além de melhorar a vantagem competitiva (WORRELL *et al.*, 2009).

Solnørdal e Foss (2018) apresentam os principais direcionadores para a EE em indústrias de manufatura: fatores organizacionais, econômicos, de mercado e políticos. Os direcionadores organizacionais abordam perspectivas de gerenciamento, competência e organização. Os autores apontam que uma estratégia clara de energia e um perfil ambiental estimulam e tem um efeito positivo sobre a EE nas indústrias. Afirmam ainda que, somente a utilização de indicadores de desempenho ou manufatura enxuta, não são suficientes para

gerar uma EE significativa. Empresas apoiadas em práticas de inovação tem maior probabilidade de melhorar sua EE se levar em consideração a redução do impacto ambiental. Programas de treinamento específicos de EE para os colaboradores das indústrias contribuem significativamente para o desempenho energético, além de aumentar o conhecimento sobre as tecnologias disponíveis, conscientizar sobre a importância de melhorar a EE e facilitar no processo de implementação. Outro impacto positivo na EE é a presença de um gerente de energia, principalmente se ele estiver próximo da alta gerência na estrutura organizacional da indústria, devido a facilidade de lidar com possíveis barreiras como capital humano, coleta de informações, flexibilidade de processos e restrições financeiras.

Em relação aos fatores econômicos, Solnørdal e Foss (2018) encontraram aspectos relacionados com os custos operacionais, considerações financeiras e ajuste tecnológico. Tanto o consumo, quanto as tarifas de energia afetam os custos operacionais, e a partir disso, as indústrias utilizam a EE não apenas pelo aumento das tarifas, mas também como um meio de produzir com maior eficiência e se tornar mais competitiva. O ajuste tecnológico se refere as vantagens alcançadas pela implementação de tecnologia de EE, como a atualização de instalações de produção, o aumento da produtividade e segurança na produção. As principais considerações financeiras na implementação de EE são de custos de investimento e tempo de recuperação.

Os fatores de mercado são aqueles motivados por aspectos externos a indústria, como: rede e informação, concorrência e domínio. A rede e informação entre as empresas ocorre por meio do compartilhamento de conhecimento e demonstram ser fatores importantes para a EE. O aspecto de concorrência motiva as indústrias a adotarem a EE com objetivo de reduzir os custos de produção e torná-las mais eficientes em termos de energia. Em relação ao aspecto de domínio, em países com economias menos desenvolvidas, é possível que a presença de domínio estrangeiro e investimentos estrangeiros tem um impacto significativo e positivo na EE (TRIANNI *et al.*, 2013).

Os fatores políticos se dividem em instrumentos prescritivos, econômicos e de suporte. O fator político econômico é definido como mais importante, devido ao estímulo de implantação de EE por meio de fornecimento de subsídios para o investimento e aumento de impostos sobre a energia. Os fatores prescritivos são os que obrigam as empresas a realizarem ações específicas de EE. Os fatores políticos de suporte, são os baseados na cooperação e tem como objetivo superar as restrições tradicionais e projetar a identificação de oportunidades de EE, medidas de cooperação, capacitação e políticas de informação. São exemplos dos fatores políticos de suporte os acordos voluntários e programas

governamentais (TANAKA, 2011). Para Solnørdal e Foss (2018), os aspectos decisivos de melhorias da EE na manufatura são fatores internos da indústria: fatores organizacionais, gerenciais e econômicos. Porém, constata que muitas indústrias ainda não tem o entendimento comum dos fatores, o que pode resultar na implementação equivocada de políticas ambientais, ou até mesmo em uma não aplicação dessas políticas. Com a importância atribuída aos fatores internos nas empresas, busca-se o estímulo da conscientização ambiental, estratégias energéticas e de iniciativas de aprimoramento de competências em EE.

## 2.2 SUSTENTABILIDADE NA MANUFATURA

A compreensão e importância da conservação e do uso racional dos recursos naturais destacaram as exigências de normas e do mercado pela redução dos impactos ambientais da indústria. A relação entre o ambiente e o setor industrial se torna essencial para o desenvolvimento sustentável (DS) das empresas.

O termo “desenvolvimento sustentável” foi definido na década de 1980, na elaboração do relatório *Brundtland*, intitulado “Nosso futuro comum”, na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento em 1988 (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1988). Segundo o relatório, o DS é “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades”. Ou seja, “um processo de transformação no qual o uso dos recursos, dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de atender as necessidades e aspirações humanas”. Foram determinadas 17 ações para a promoção do DS, chamadas de Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), que envolvem várias ações para alcançar benefícios nas três dimensões da sustentabilidade: ambiental, econômica e social (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1988, p. 48).

Dentro os objetivos, existem três objetivos específicos que estão conectados a esta pesquisa: ODS7, ODS12 e ODS13, que dizem respeito a energia limpa e acessível, consumo e produção responsáveis e ação contra a mudança global do clima.

Hart e Milsten (2003) definem sustentabilidade como as expectativas para melhorar o desempenho ambiental e social da sociedade atual sem comprometer as capacidades das gerações futuras de atender às suas necessidades.

Elkington (1994) trouxe a definição de que uma sociedade sustentável precisa atender a três condições: o uso de recursos renováveis não deve exceder a sua regeneração; o uso de recursos não renováveis não deve exceder o desenvolvimento de substitutos renováveis sustentáveis, e; as taxas de poluição não devem exceder a capacidade assimilativa do meio ambiente. Portanto, DS é o objetivo e a sustentabilidade é o meio para atingi-lo.

Segundo Hahn *et al.* (2015), as organizações e seus tomadores de decisão devem lidar com possíveis imprevistos, entender a complexidade do ambiente e pensar de maneira sistêmica, ou seja, compreender o paradigma da sustentabilidade e entender que as práticas sustentáveis precisam passar por mudanças e adaptações, visando se adequar ao longo do tempo. A sustentabilidade exige mudanças de pensamento e práticas em todos os níveis, com base em iniciativas de todos os indivíduos de uma organização. Ela se baseia em práticas, e não apenas em teorias, por meio do compartilhamento de experiências reais, fronteiras organizacionais e setores econômicos.

Várias definições de sustentabilidade são encontradas na literatura (BROWN, 2003; LUBIN; ESTY, 2010; WANG, 2017), porém, o valor e a crença do aprimoramento e preservação do meio ambiente permanecem os mesmos. Ou seja, o desenvolvimento e a evolução de uma sociedade rumo a um planeta em que o ambiente é reservado para as gerações futuras, agrega valor e ganhos financeiros no presente.

A sustentabilidade pode ser implementada nas organizações por meio de medidas e práticas como, por exemplo, saúde e segurança do trabalho, eco eficiência e EE. No entanto, muitas organizações ainda resistem para implementá-las, e mesmo o setor sendo um dos maiores consumidores de energia, a adoção de tais medidas tem sido lenta (TRIANNI; CAGNO; NERI, 2017).

Trianni, Cagno e Neri (2017) apresentam um levantamento da literatura com as principais barreiras encontradas para a implementação de medidas sustentáveis nas indústrias. As barreiras são organizadas em externas e internas, e em categorias, para melhorar sua representação e compreensão. As barreiras consideradas externas foram: barreiras regulatórias, de suporte e de mercado. As barreiras internas: de organização, comportamento de gestão, comportamento do trabalhador, informação, tecnologia/serviço e barreiras econômicas, conforme detalhamento no Quadro 2.4.

Quadro 2.4 – Barreiras para a implementação de medidas sustentáveis

<b>Barreiras externas</b>		
<b>Categoria</b>	<b>Barreira</b>	<b>Descrição da barreira</b>
Regulatória	Requerimentos legais	São excessivos ou ineficazes em relação às reais necessidades da empresa
	Burocracia	Quantidade excessiva de documentos necessários, e que não é adaptada de acordo com as capacidades da empresa
	Falta de incentivos	Sem incentivos econômicos, como isenções fiscais e subsídios
	Distorção da política	Impostos, subsídios ou outra política que desestimule a implementação de medidas
Apoio/ Suporte	Falta de suporte técnico externo	Empresa não recebe suporte técnico adequado às suas necessidades
	Falta de consultoria	Consultoria inadequada (de serviços, contas, seguradoras, poderes públicos) que possa ajudar a empresa nas diferentes fases da tomada de decisão
Mercado	Falta de demanda	Os clientes não são sensíveis ao problema, portanto, não exigem um nível mínimo de desempenho sustentável
	Incerteza da tendência futura	Sem orientação sobre a tendência futura, por exemplo, os preços da energia, recursos naturais ou multas mais baixas de sustentabilidade
	Distorção de preço	Os preços não refletem todas as externalidades (que podem estar relacionadas, por exemplo, ao meio ambiente ou aos custos sociais)
<b>Barreiras Internas</b>		
<b>Categoria</b>	<b>Barreira</b>	<b>Descrição da barreira</b>
Organização	Falta de tempo	Empresa não tem tempo suficiente para a implementação da medida
	Falta de pessoal	A empresa não possui pessoal suficiente para a implementação da medida
	Resistência à mudança/ Inércia	A organização é contra a mudança, pois leva a uma modificação nas formas de trabalhar e nos hábitos
	Atitude/ outras prioridades	A cultura e os valores da empresa inibem a implementação das medidas

continua

<b>Categoria</b>	<b>Barreira</b>	<b>Descrição da barreira</b>
Organização	Comunicação	Falta de comunicação entre a gestão e os trabalhadores ou entre os próprios trabalhadores
	Sistema organizacional	A empresa não tem objetivos, rotina, estrutura organizacional e tomada de decisões
Comportamento de gestão	Compromisso/ Conscientização	O gerente não tem consciência e/ ou compromisso
	Perícia	O gerente não possui habilidades adequadas com relação ao problema ou possui experiência limitada
Comportamento dos trabalhadores	Sem treinamento/ qualificação	A falta de habilidade ou treinamento do pessoal, em relação a uma área de medida específica
	Consciência	A equipe não está ciente do problema e ignora os pontos críticos da empresa com relação ao assunto
	Envolvimento	Os funcionários não envolvidos têm uma oportunidade de fazer parte do processo de tomada de decisão e realização
Em formação	Falta de informação	Ou inadequação das informações de propriedade da empresa com referência a todos os aspectos relacionados à implementação da medida
	Confiabilidade da informação	Problemas com a confiabilidade das fontes de informação, as fontes não são adequadas
Tecnologia/ Serviço	<i>Lock in</i>	A solução é incompatível com o status atual do sistema
Econômico	Acesso limitado ao capital	A empresa não tem capital suficiente para a implementação
	Despesas ocultas	O investimento acarreta custos extras ou perda de benefícios que não são devidamente estimados na análise de investimentos
	Risco	Relacionado ao sucesso das medidas, por exemplo, interrupção da produção, perdas na qualidade
	Custo de investimento	Altos custos de investimento impedem as empresas de implementar medidas de sustentabilidade
	<i>Time for revenge</i>	Medida não suficientemente lucrativa, como baixo retorno e longo período de tempo necessário

Fonte: Trianni, Cagno e Neri (2017)

Segundo os autores, as organizações só são capazes de perceber as barreiras internas pelo que elas realmente são, e a percepção das barreiras externas é baseada no efeito que elas têm na própria organização e nas barreiras internas. A identificação das barreiras para adoção de medidas sustentáveis nas indústrias direciona a própria implementação de tais medidas, de modo a superar as barreiras existentes (TRIANNI; CAGNO; NERI, 2017).

Para superar as barreiras, existem *drivers* ou direcionadores/motivadores que incentivam as organizações a adotar e implementar medidas de sustentabilidade. Neri *et al.* (2018) trazem um levantamento da literatura com os principais *drivers* conforme Quadro 2.5.

Quadro 2.5 – *Drivers* para a implementação de medidas sustentáveis

<b><i>Drivers</i> internos</b>		
<b>Categoria</b>	<b><i>Driver</i></b>	<b>Descrição</b>
Regulatório	Conformidade com a regulamentação	A empresa deve estar em conformidade com a regulamentação governamental sustentável
	Sanções regulatórias e impostos	Determinados pelos reguladores às empresas que não alcançam um ou mais limites de desempenho de sustentabilidade
Apoio/ Suporte	Financiamento externo	Presença de apoio monetário, como, por exemplo, empréstimo de instituição financeira
	Subsídios públicos	Criação de fundos monetários públicos para empresas
	Cooperação e <i>networking</i>	Compartilhamento de conhecimentos, recursos e iniciativas comuns entre empresas
	Suporte de consultor	Consultores podem fornecer competências e conhecimento
	Apoio do governo	Pode consistir em fornecer conselhos e informações para a adoção de medidas
Pressões externas	Pressões dos clientes	Conscientização dos clientes sobre questões de sustentabilidade
	Pressões dos parceiros	Conscientização dos parceiros comerciais sobre questões de sustentabilidade
	Ações dos concorrentes	Concorrentes que já adotaram medidas específicas
Mercado	Crescimento de vendas	Perspectiva de aumento de <i>market share</i> e vendas
	Novas oportunidades de mercado	Prospecção de novas oportunidades de mercado
	Aumento no preço dos recursos	Aumento contínuo e previsível no preço dos recursos
	Criação de vantagem competitiva	Utilizar a sustentabilidade como ferramenta para atingir o objetivo do negócio
	Escassez de recursos	Esgotamento dos recursos naturais e preocupações com a sustentabilidade

continua



<b><i>Drivers externos</i></b>		
<b>Categoria</b>	<b><i>Driver</i></b>	<b>Descrição</b>
Organização	Melhorar a marca e a imagem da empresa	Para manter a imagem da empresa, a adoção de medidas sustentáveis é essencial
	Melhoria do desempenho	Disposição de melhorar o desempenho relacionado à sustentabilidade
	Antecipação de mudanças regulatórias	Estar em conformidade não apenas com a regulamentação existente, mas também com a regulamentação futura
	Valores e cultura organizacional	Valores e cultura da empresa consistentes com a sustentabilidade
	Experiências anteriores em sustentabilidade	Experiência anterior em sustentabilidade e disponibilidade de conhecimento de <i>business cases</i> eficazes para a sustentabilidade
	Incluindo a sustentabilidade no nível estratégico	O grau de integração dos princípios de sustentabilidade (visão e missão) na estratégia global da empresa, em particular com uma perspectiva de longo prazo
	Adoção de certificações	Adoção de certificações e sistemas de gestão
	Acordos voluntários	Resultado das políticas públicas governamentais, com contratos que trazem benefícios em termos de sustentabilidade
Funcionários	Compromisso da gestão	Gestão comprometida com o aumento da sustentabilidade
	Compromisso do funcionário	Funcionários comprometidos com a sustentabilidade
	Treinamento e educação	Programas de treinamento e educação aumentam a conscientização sustentável e o conhecimento dos funcionários
Informação	Diálogo e incentivo	Permite que pessoas, tarefas, processos e sistemas interajam de forma intencional e cooperativa aos objetivos de sustentabilidade
	Disponibilidade, confiabilidade e clareza das informações	As empresas devem receber uma quantidade razoável de informações relevantes, e mesmo se disponível, a informação é frequentemente desagregada e considerada não confiável
Inovação	Inovação de produto	Pode ajudar a empresa a melhorar seu desempenho de sustentabilidade
	Inovação tecnológica	Pode levar a um melhor desempenho de sustentabilidade
	Qualidade	Pode ajudar a empresa a melhorar seu desempenho de sustentabilidade
	Maior eficiência nos processos	Pode aumentar também o desempenho da sustentabilidade, ou seja, um processo mais eficiente consome menos recursos

Fonte: Neri *et al.* (2018)

Segundo os autores, um driver pode enfrentar uma barreira, o que significa que ele pode ajudar a organização a adotar medidas sustentáveis reduzindo ou eliminando o efeito das barreiras. Além disso, mostram como drivers externos podem reduzir barreiras de adoção a medidas sustentáveis e facilitando os drivers internos, estimulando partes interessadas internas a enfrentar as barreiras internas existentes (NERI et al., 2018).

A questão atual sobre a sustentabilidade traz também a discussão sobre quais as dimensões e estratégias necessárias para um desenvolvimento sustentável, incorporando questões políticas, econômicas, tecnológicas, de justiça sociais e de preservações ambientais (LE ROUX; PRETORIUS, 2016).

Uma das definições mais conhecidas e utilizadas de sustentabilidade é a dos três pilares ou tripé da sustentabilidade (*triple bottom line* – TBL), proposta por Elkington (1994; 1998; 2004), e trata dos resultados positivos em relação as dimensões econômica, social e ambiental, por meio da medição do desempenho dos negócios e o sucesso da organização. São eles, os pilares:

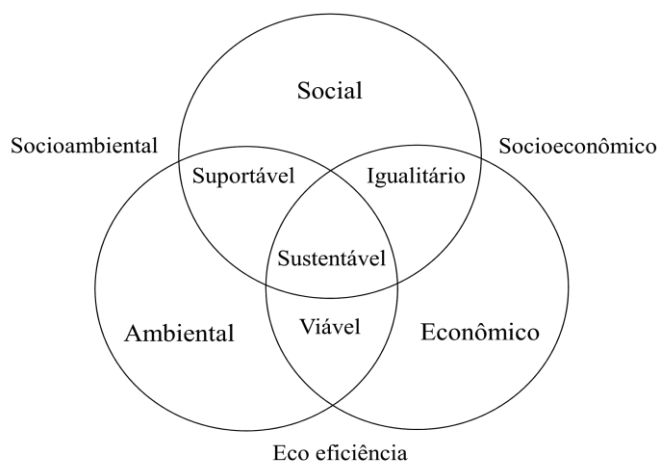
- a) Social: que se refere a condução de práticas comerciais justas e benéficas ao trabalho, capital humano e sociedade. Compreende as pessoas e suas condições de vida na organização, como as relações entre salários justos, leis trabalhistas e o próprio ambiente de trabalho.
- b) Ambiental: que se refere as práticas que não comprometem os recursos naturais do planeta e como são utilizados pela sociedade (comunidades e organizações), para a conservação do meio ambiente para as gerações futuras.
- c) Econômico: que atribui o impacto das práticas de negócios da organização na economia do sistema (lucro). Se refere a produção, distribuição e consumo de bens e serviços, e deve considerar a dimensão social e ambiental. É fundamentada na gestão adequada dos recursos naturais para o crescimento econômico, desenvolvimento social e melhor distribuição de renda.

A estrutura do TBL destaca as relações entre as três dimensões principais e como obter equilíbrio entre elas, conforme apresentado na Figura 2.2.

O TBL é uma interpretação da sustentabilidade e coloca em condições de igual importância as dimensões ambiental, social e econômica na tomada de decisões. Ou seja, o TBL deve se relacionar de modo que haja sinergia entre as dimensões e que resulte em decisões estratégicas eficientes nas organizações, como: redução de custos, atendimento das

metas de lucros, geração de menos poluentes, diminuição de desperdícios, utilização racional dos recursos naturais e vantagem competitiva (PERROTT, 2014; ELKINGTON, 1994).

Figura 2.2 – Pilares da Sustentabilidade



Fonte: Elkington (1994)

Na literatura são encontradas inconsistências em relação à estrutura do TBL. Autores, na maioria das vezes, abordam apenas uma ou duas dimensões. O TBL pressupõe que as indústrias incluam todas as três dimensões de maneira abrangente (MOLDAN; JANOUSHKOVÁ; HÁK, 2012). No entanto, o tripé da sustentabilidade raramente se completa, ou seja, existe desequilíbrio entre o nível de importância distribuído para as dimensões (CORSI *et al.*, 2020).

Trianni, Cagno e Neri (2017) apresentam que, frequentemente, há maior ênfase na dimensão econômica da sustentabilidade, bem como *trade-offs* em relação as dimensões econômicas e ambientais, e em relação as dimensões econômicas e sociais.

Isso pode ser justificado pelo desafio de entender que os processos não devem degradar o meio ambiente, trazer benefícios para a sociedade e serem economicamente viáveis, todos em equilíbrio e cada nível levando o todo em consideração (ALHADDI; 2015). Com um planeta de recursos finitos e uma população em crescimento, focar apenas em lucro não é suficiente para um desenvolvimento sustentável.

De acordo com Nicoletti Junior, de Oliveira e Helleno (2018), a sustentabilidade em indústrias manufatureiras tem sido objeto de estudo de várias pesquisas e se concentrou principalmente na relação entre a sustentabilidade e seu desempenho na manufatura.

As indústrias manufatureiras, em geral, consomem muita energia e quantidades significativas de recursos. O uso e o gerenciamento de energia têm impactos fundamentais

para o desenvolvimento sustentável das empresas de manufatura e o aumento da EE é essencial (GAHM *et al.*, 2016).

Ahmad e Wong (2019) definem a manufatura sustentável como a produção de bens manufaturados por meio de processos que diminuem os impactos ambientais, o uso de energia e os recursos naturais, são seguros para os colaboradores e consumidores, e são economicamente viáveis. As pressões morais e governamentais do mercado exigem que as indústrias manufatureiras mensurem e melhorem seus desempenhos sustentáveis, principalmente em relação aos pilares da sustentabilidade.

## 2.3 PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS DE EE NA MANUFATURA

As práticas sustentáveis auxiliam as empresas a desenvolver oportunidades e a gerenciar possíveis riscos econômicos, ambientais e sociais, criando valor a longo prazo. Por isso, é preciso que as organizações se adaptem a novos modelos de desenvolvimento, bem como mudanças de atitudes, culturas e interesses (CHAKRABARTY; WANG, 2012).

Muitos trabalhos na literatura pesquisam sobre os resultados encontrados na relação entre as práticas ambientais e seus efeitos no desempenho das indústrias. Alguns investigam a relação entre as práticas ambientais e os resultados econômicos, outros focam os estudos na relação entre as práticas de sustentabilidade e em como os consumidores valorizam produtos sustentáveis (SCHRETTLE *et al.*, 2014; IJOMAH *et al.*, 2007; KAEBERNICK; KARA; SUN, 2003).

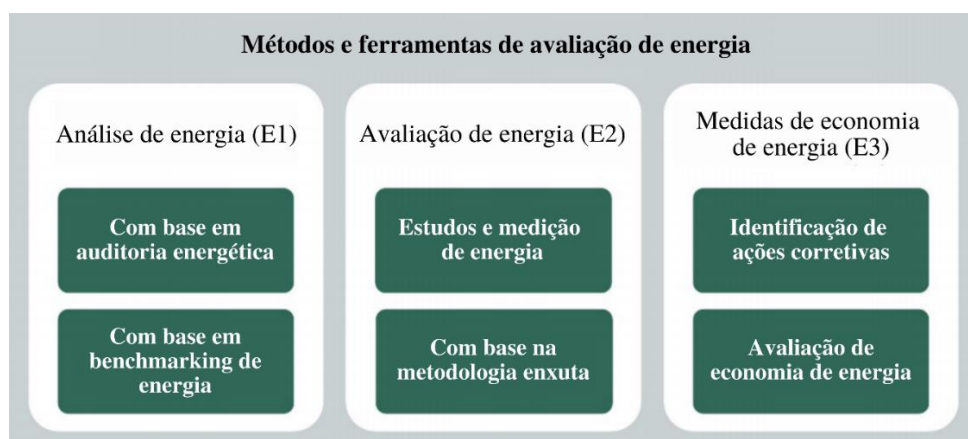
Para que uma indústria de manufatura gerencie seu uso de energia, é necessário que ela tenha uma estrutura ou *framework* de políticas energéticas claramente definido para sistemas eficientes em termos de energia. Esse *framework* deve abordar princípios para evitar o desperdício de energia, maximizar a produtividade de energia, comprar energia a baixos custos, investir em soluções energeticamente eficientes, usar energia de fontes renováveis ou sustentáveis, e medir e verificar o uso de energia (ADENUGA; MPOFU; BOITUMELO, 2019).

Em um estudo recente, Menghi *et al.* (2019) conduziram uma extensa revisão de métodos e ferramentas de avaliação de energia em sistemas de manufatura. Particularmente, eles defendem que a necessidade de mitigar os impactos ambientais dos processos de fabricação torna a EE um fator chave de sucesso para a produção sustentável. Os autores analisaram artigos publicados até o ano de 2018, com foco em ferramentas e métodos de apoio a gestão de energia industrial, e foram selecionados um total de 64 artigos que

atenderam aos critérios de inclusão. A revisão mostrou que a maior parte dos artigos se concentrou de 2012 a 2018, indicando o aumento do interesse no assunto, principalmente depois de 2011, ano em que a norma ISO 50001 foi publicada. Segundo os autores, a ISO 50001 contribui fortemente para aumentar a consciência em relação ao consumo de energia, e estimulou a academia a buscar novos métodos e ferramentas, com o objetivo de melhorar o desempenho relacionado à energia e identificar oportunidades de economia de energia.

A principal contribuição desse artigo é que os autores, ao analisar os trabalhos selecionados, identificaram a possibilidade de dividi-los em 3 grupos principais e 6 subgrupos, que seguiam a mesma estrutura da ISO 50001: artigos com análise de energia (E1), avaliação de energia (E2) e artigos com medidas de economia de energia (E3), conforme apresentado na Figura 2.3.

Figura 2.3 – Classificação dos métodos e ferramentas de avaliação energética



Fonte: Menghi *et al.* (2019)

A partir dessa categorização, foi realizada uma análise sobre o foco de pesquisa dos estudos, em que, aproximadamente, um terço dos artigos enfocou aspectos relacionados a estudos e medição de energia, seguidos por estudos que analisam métodos baseados em auditorias energéticas e métodos baseados em *benchmarking* energético. Uma parcela significativamente menor dos estudos focou em métodos de identificação de ações corretivas e métodos de avaliação de economia de energia (MENGHI *et al.*, 2019).

A análise final dos autores revelou um interesse decisivo e crescente por métodos e ferramentas que reduzam o consumo de energia e tornem os processos produtivos mais sustentáveis (MENGHI *et al.*, 2019). Os artigos selecionados incidiram principalmente no desenvolvimento de novas metodologias e em aplicações reais, envolvendo os setores mais

intensivos em energia e aqueles com um potencial de EE ainda inexplorado. A análise desses artigos, por parte dos autores, permitiu ainda determinar os limites da pesquisa científica atual, que são:

- Validação por setor: os métodos são normalmente desenvolvidos e implementados para sistemas de produção específicos, ou setores industriais selecionados, e isso impedem que os métodos e ferramentas sejam generalizados;
- Análise holística: os estudos analisam apenas os fluxos de energia e não fornecem uma visão holística da EE para todo o sistema de produção;
- Extensão do limite do sistema: não são examinados os processos de produção e os serviços técnicos de construção simultaneamente. E não permitem estender os limites de análise para adotar uma abordagem hierárquica;
- Coleta de dados: essa fase requer esforços intensivos de pesquisa com alto capital humano e envolvendo muitos especialistas. A coleta de dados deve ser apoiada por novas estratégias para aumentar a disponibilidade de dados, reduzindo tempo e o esforço de recursos, melhorando sua precisão e limitando a incerteza dos resultados;
- Identificação dos pontos de melhoria: os métodos e as ferramentas devem integrar modelos de tomada de decisão capazes de apoiar a interpretação de resultados e a seleção de medidas de EE pragmáticas, aplicáveis e eficazes.

Além disso, os autores identificaram possíveis estratégias de solução para superar esses limites, como: simplificar a coleta de dados, explorando os sistemas de gerenciamento de dados atuais e as oportunidades da Indústria 4.0; fornecer métodos padronizados e métricas para apoiar a avaliação de energia eficaz e *benchmarking*; agilizar a elaboração dos dados, a interpretação dos resultados e os processos de tomada de decisão por meio de ferramentas amigáveis, e; adotar uma abordagem holística para obter o melhor compromisso dos pontos de vista econômico e ambiental.

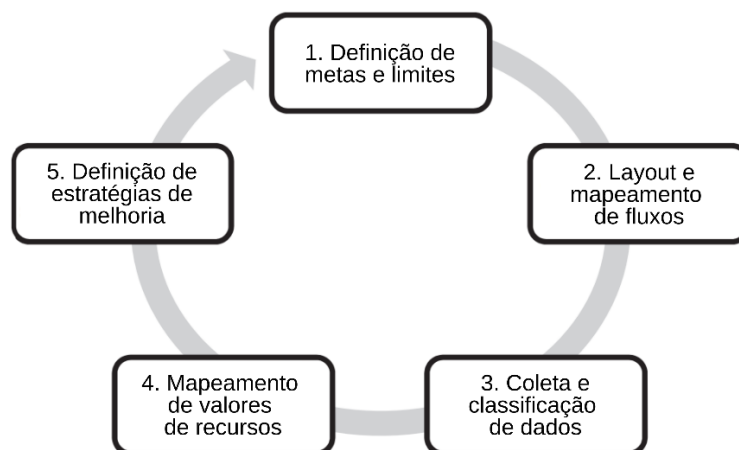
Anteriormente a esse estudo, Edelenbosch *et al.* (2017) realizaram uma comparação de modelos de avaliação e economia de energia utilizados no setor industrial encontrados na literatura. Os autores analisaram a estrutura dos modelos, limites, impulsionadores, tecnologias incluídas, além de políticas e medidas relativas a EE. Como resultados, os autores afirmam que os modelos mostram diferentes respostas para mitigar as emissões de CO<sub>2</sub>, em que as incertezas são o potencial de troca de combustível ou melhorias na intensidade energética. Além disso, os modelos mostram uma mudança do uso de carvão para eletricidade

como medida para reduzir as emissões industriais. Curiosamente, os modelos que utilizam tecnologias industriais parecem ser mais restritos na flexibilidade de usar diferentes tipos de combustível. Essa divergência destaca que o entendimento das respostas e custos de mitigação em toda a economia de energia é uma área para melhorias futuras nos modelos.

Papetti *et al.* (2019) realizaram um extenso estudo, mapeando e classificando métodos de avaliação de eficiência de energia em sistemas de manufatura. Para fazer a análise dos artigos, os autores definiram alguns requisitos como: dados de entrada do sistema, estado dos fluxos de energia, integridade dos sistemas de energia, tipo de avaliação de EE, indicador de desempenho, melhorias e usabilidade. Após a análise dos métodos, os autores notaram que nenhum método ou ferramenta cumpriu totalmente os requisitos, e que a maioria dos estudos apresentam análises quantitativas de consumo com o objetivo de aumentar a consciência ao invés da análise de EE.

Para preencher essa lacuna, os autores desenvolveram um método para avaliar a eficiência dos recursos de sistemas de manufatura chamado de mapeamento de valor de recurso. O método é apresentado na Figura 2.4.

Figura 2.4 – Etapas do método de mapeamento de valor de recursos



Fonte: Papetti *et al.* (2019)

O método proposto busca avaliar recursos em diferentes níveis, fornecendo *feedbacks* qualitativos e quantitativos para melhorar a eficiência dos recursos de uma fábrica. Por meio do método proposto, um gerente de processo, por exemplo, seria capaz de responder às seguintes questões: Quando, onde e por que ocorre o desperdício de recursos? Quem é o responsável por isto? Quais são as estratégias de melhoria mais adequadas?

Após a implementação do método em uma fábrica de aparelhos de cozinha, os autores destacam que a principal contribuição do método proposto em comparação com os estudos da literatura existente é que o método é capaz de alocar, representar e analisar o consumo de recursos de acordo com sua contribuição para a geração de valor (PAPETTI *et al.*, 2019). A implementação do método em um contexto industrial real permite avaliar suas potencialidades e identificar possíveis fragilidades a serem enfrentadas. O estudo de caso mostra como a análise foi conduzida, começando com uma visão geral do consumo geral da fábrica e, na sequência, entrando em mais detalhes para os processos críticos. O estudo se concentrou nos fluxos de eletricidade, água, óleo, gás e ar comprimido, quantificando a poupança de recursos que pode ser alcançada com a implementação do plano de ação desenvolvido. Mesmo que o limite teórico não possa ser atingido, a implementação do método permitiu entender que as margens de melhoria e os benefícios alcançáveis são significativos, graças à redução do desperdício e das atividades sem valor agregado.

Simsek *et al.* (2019) realizaram uma revisão da literatura com o objetivo de avaliar a política energética do Chile para alcançar as metas energéticas futuras, avaliando os instrumentos de política e estudando os desafios existentes. O artigo apresenta quatro contribuições principais para a literatura, apresentadas a seguir:

- Visão ampla do setor de energia chileno, considerando a demanda de energia, o mix de geração, o potencial de energia renovável e o contexto econômico;
- Aborda a questão de como as políticas energéticas na última década foram desenvolvidas no Chile;
- Resume os compromissos ambientais e as principais metas energéticas de longo prazo do Chile;
- Propõe uma avaliação sobre os instrumentos de política energética existentes e necessários para o Chile, considerando a promoção da energia renovável e da eficiência energética para alcançar as metas energéticas futuras e vários desafios associados.

Como conclusão, o trabalho pôde fornecer percepções aos tomadores de decisão para desenvolver planos de energia sustentável de longo prazo para que o Chile alcance seus objetivos energéticos e ambientais (SIMSEK *et al.*, 2019).

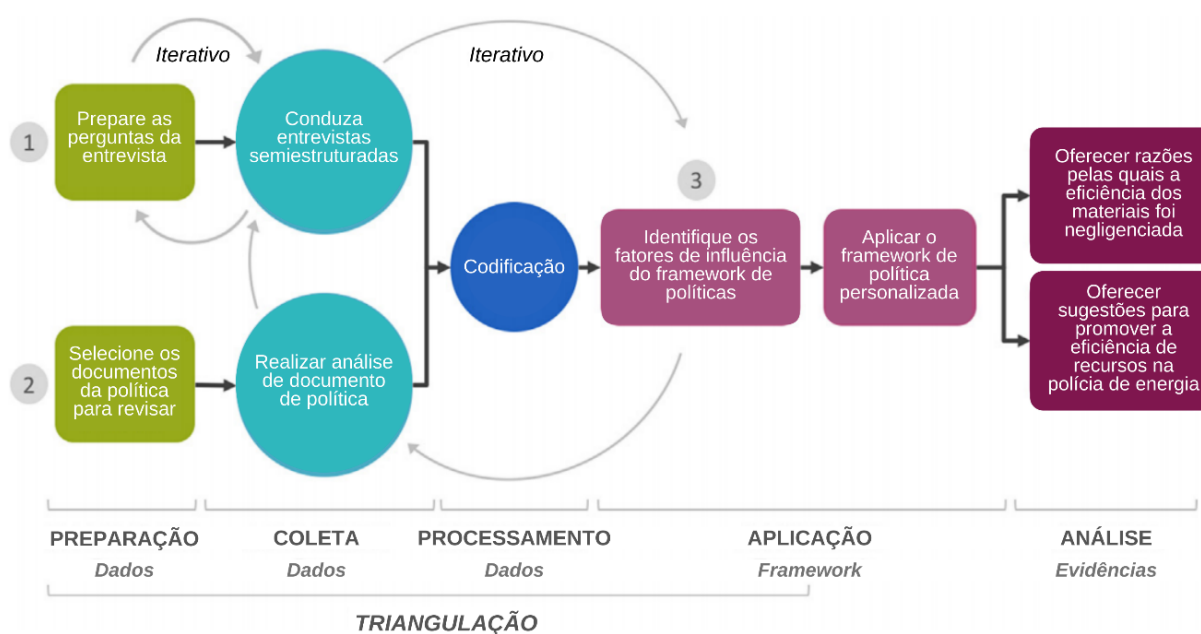
Ainda sobre eficiência não só de energia, mas de recursos, Hernandez *et al.* (2018) realizaram, por meio da compreensão das políticas atuais de energia, clima e recursos dos



países da União Europeia, uma avaliação dos estudos existentes que investigam o destaque ou não, da eficiência de materiais nessas áreas de política, além de uma revisão das estruturas que examinam o processo de definição da agenda de políticas nesses países.

Os autores desenvolveram um método iterativo para coletar e analisar informações das empresas da União Europeia por meio de entrevistas e documentos. A visão geral do método iterativo usado para analisar a definição da agenda política da União Europeia é apresentada na Figura 2.5.

Figura 2.5 – Método iterativo para análise da agenda política da União Europeia

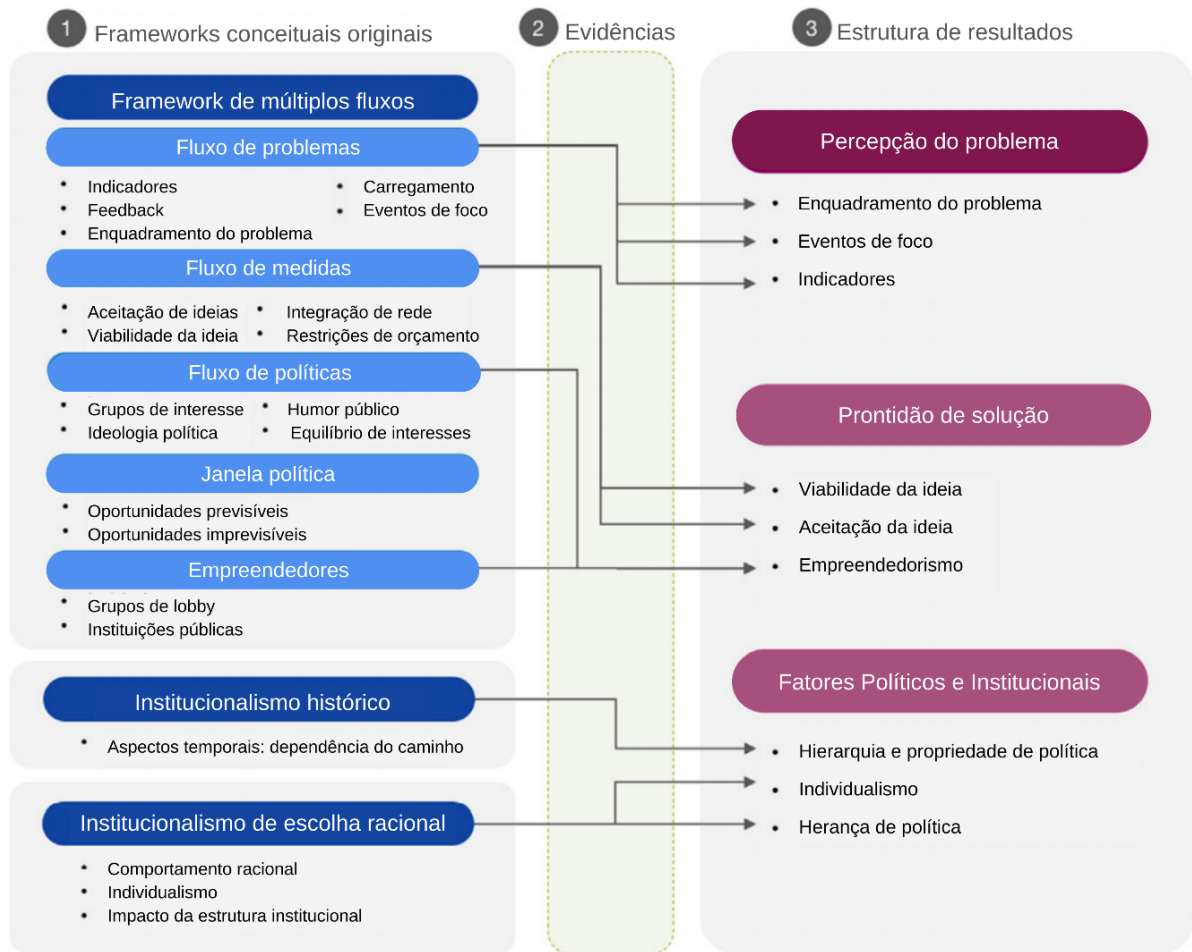


Fonte: Hernandez *et al.* (2018)

Com as informações das entrevistas e documentos de política que foram triangulados para identificar as variáveis que influenciam as decisões dos formuladores de políticas, os autores desenvolveram um *framework* conceitual estruturado em três partes: percepção do problema, fatores institucionais e políticos, e prontidão para solução. O *framework* conceitual usado para estruturar a análise de entrevistas e documentos de política é apresentado na Figura 2.6.

O *framework* primeiro avalia a percepção do problema por meio da avaliação das evidências relativas em como as soluções da eficiência de recursos são entendidas entre a comunidade política; como os indicadores são usados para rastrear o progresso em EE, a eficiência de recursos e de emissões, e; quais eventos que podem ter despertado a atenção dos formuladores de políticas que trabalham nessas áreas (HERNANDEZ *et al.*, 2018).

Figura 2.6 – *Framework* conceitual para a análise de entrevistas e documentos



Fonte: Hernandez *et al.* (2018)

A influência dos fatores institucionais e políticos é examinada, combinando variáveis da corrente política e as abordagens institucionalistas - institucionalismo histórico e de escolha racional. São consideradas quatro variáveis que podem encorajar os formuladores de políticas a adotar ou desconsiderar uma solução específica: o impacto da hierarquia vertical (a natureza das interações entre os diferentes níveis de gestão); a influência da propriedade da política, isto é, quais locais são donos de quais políticas; o efeito da herança da política, ou em outras palavras, a influência de desenvolvimentos de política anteriores, e; o papel do individualismo, ou seja, o comportamento racional (HERNANDEZ *et al.*, 2018).

Na última etapa os autores exploram a prontidão da eficiência de recursos como uma solução política. Três aspectos específicos são abordados, com base nas discussões das entrevistas: a viabilidade técnica de implementação; se ele se alinha com os valores normativos prevalentes dos formuladores de políticas (sua aceitação de valor), e; o papel

desempenhado pelos empresários de políticas, ou seja, os atores que buscam soluções políticas específicas (HERNANDEZ *et al.*, 2018).

Como principais resultados, Hernandez *et al.* (2018) afirmam que a combinação das teorias proporcionou uma compreensão valiosa dos fatores e variáveis que influenciam o processo de definição da agenda de políticas de energia da União Europeia. Além disso, a análise mostrou que a falta de integração da eficiência de recursos nas políticas de energia e clima ocorre devido a uma combinação de fatores. Entre eles está a dificuldade de enquadrar a lógica para buscar a eficiência de recursos, a inadequação dos indicadores monitorados, a falta de adesão política de alto nível, o bloqueio da política do comércio de emissões, gestão de políticas desordenadas por parte das gerências, e falta de uma área industrial designado.

Para os autores, havendo vontade política de alto nível, uma infinidade de ações políticas pode ser executada para alcançar a integração da eficiência de recursos nas estratégias de energia e clima da União Europeia. Com base nesta evidência e nos métodos propostos, enfatizam a necessidade de as partes interessadas da indústria conduzirem a transição para uma indústria pesada com baixo teor de carbono na União Europeia. Dado o papel fundamental a ser desempenhado pelos governantes e pelas indústrias, o domínio do estudo deve ser naturalmente ampliado para investigar as atitudes, expectativas e ambições dessas partes interessadas (HERNANDEZ *et al.*, 2018).

Fresner *et al.* (2017), analisaram sobre medidas de EE que permanecem sem implementação, desenvolveram um método de auditoria com foco no consumo de energia de pequenas e médias empresas. O modelo foi construído dividindo o processo em operações unitárias e atribuindo o consumo anual a essas unidades, a partir de medições ou por cálculo. O consumo está vinculado aos impulsionadores do consumo e às perdas correspondentes, desenvolvendo assim uma compreensão da origem do consumo de energia, das prioridades e do potencial de redução. O método auxilia na identificação de medidas, capacitação, informação e sensibilização e os passos estão descritos a seguir.

1. Reunião com os representantes do setor;
2. Uma auditoria de patrulhamento é feita por meio de questionamentos para áreas intensivas de energia da empresa para delinear o potencial de economia;
3. Com base nos resultados da avaliação, é decidido junto com a gestão se uma auditoria completa é necessária;
4. Na auditoria completa, os dados são coletados para os processos de produção;

5. O questionário é discutido e dados adicionais são coletados. As práticas de gestão de energia são discutidas em conjunto com as práticas operacionais;
6. Os dados coletados são analisados e um relatório é preparado;
7. O relatório é apresentado com a análise do uso atual de energia e as medidas de melhoria da EE propostas são discutidas com a administração;
8. O acompanhamento é organizado de forma a apoiar eficazmente a implementação das medidas selecionadas e dos elementos básicas da gestão energética.

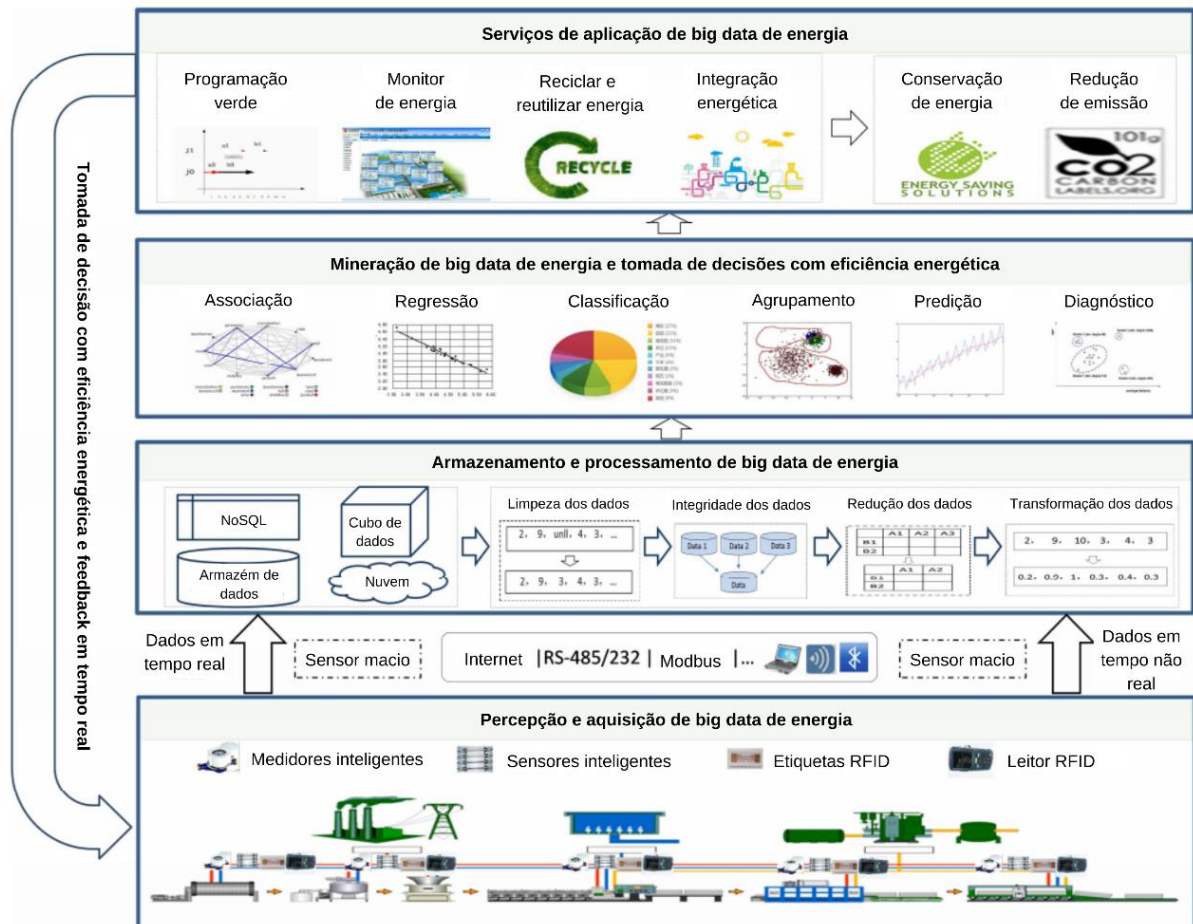
O modelo teórico de auditoria foi aplicado em 280 empresas de vários setores e países, e foi identificado que as auditorias energéticas são normalmente utilizadas para superar as barreiras de EE na indústria, mas que ainda são necessárias ferramentas eficazes e abrangentes para realizar a auditoria energética propriamente dita. Para os autores, as ferramentas precisam ser bem direcionadas, transparentes e abrangentes (FRESNER *et al.*, 2017).

Ainda sobre modelos da literatura para auxiliar a melhoria de EE e reduzir o consumo de energia, Zhang *et al.* (2018) desenvolveram um *framework* analítico que orienta, por meio da *big data* a redução do consumo de energia e as emissões em indústrias de manufatura intensivas no uso de energia. O *framework* é aplicado em duas etapas, a primeira de aquisição de *big data* de energia, e a segunda de mineração de dados de energia.

Segundo Zhang *et al.* (2018), as indústrias manufatureiras sempre buscam por melhorias na vantagem competitiva sustentável, e a produção limpa tornou-se uma estratégia eficaz que está resultando no desenvolvimento da informação da fábrica. Portanto, utilizar de novas tecnologias para coletar dados referentes ao consumo de energia auxilia na economia de energia e reduz as emissões de gases poluentes. Além disso, a prática de coleta dos dados de energia no processo de fabricação auxilia a melhora na tomada de decisão em relação a EE. Em vista disso, os autores desenvolveram um *framework* analítico, com base nas lacunas encontradas em estudos da literatura. Para isso, os autores classificaram e fizeram uma comparação em relação aos aspectos, lacunas e desafios dos estudos relacionados a energia, *big data* e manufatura. Sobre medição do consumo de energia na produção, muitos estudos se concentraram principalmente na medição do consumo de energia nas indústrias manufatureiras intensivas em energia. E a medição do consumo de energia em ambiente severo de produção raramente é investigada. No que diz respeito ao *big data* energético na fabricação, a maioria das aplicações da mineração de dados se concentra apenas nos métodos de análise do consumo de energia ou nos métodos de mineração de *big data*. Pouco esforço

tem sido dedicado aos métodos integrados de análise de consumo de energia por meio da mineração de *big data*. Zhang *et al.* (2018) desenvolveram então o BDDAF: *Big Data Driven Analytical Framework*, apresentado na Figura 2.7.

Figura 2.7 – *Framework* analítico orientado por *big data*



Fonte: Zhang *et al.* (2018)

O *framework* proposto por Zhang *et al.* (2018) apresenta quatro componentes, de baixo para cima: percepção e aquisição de *big data* de energia, armazenamento e processamento de dados de energia, mineração de *big data* de energia e tomada de decisão eficiente em termos de energia e serviços de aplicação de *big data* de energia.

O componente de percepção e aquisição de *big data* de energia utiliza dispositivos de *Internet of Things – IoT* (Internet das Coisas) como, por exemplo, medidores inteligentes, sensores inteligentes, leitor RFID (Identificação por radiofrequência) e etiquetas RFID, e que são configurados no ambiente de fabricação distribuída e dinâmica para capturar os dados de energia. Enquanto isso, o sensor macio é usado para medir os dados de energia em condições

extremas, como alta temperatura, alta pressão, alto ácido e alcalino, etc. Em seguida, os dados coletados são transferidos para bancos de dados corporativos por meio de protocolos de comunicação padrão, como internet RS-485/323 – Modbus.

O componente de armazenamento e processamento de *big data* de energia utiliza de uma linguagem de consulta estruturada (NoSQL) para armazenar os conjuntos de dados em larga escala e desordenados. A estrutura de computação em tempo real da *Storm* é usada para processar os dados de energia que precisam de uma alta capacidade de processamento em tempo real. Enquanto isso, a estrutura de computação de *Hadoop* é usada para processar os dados de energia em tempo não real.

No componente de mineração de *big data* de energia e tomada de decisão eficiente em termos de energia é realizada a associação e classificação dos dados, combinando os métodos de análise de consumo de energia e as abordagens de mineração de *big data*. Com base nos resultados minerados, melhores tomadas de decisão com EE para serviços de aplicação serão fornecidas as gerencias.

O último componente de serviços de aplicação de *big data* de energia é usado para fornecer aplicações importantes em tempo real e em tempo não real com base nas informações e conhecimentos minerados. Para promover a implementação da estratégia de produção limpa, bem como o desenvolvimento da produção e consumo sustentáveis, são projetados diversos tipos de serviços de aplicação, como, por exemplo, agendamento verde, monitor de energia, integração energética, reciclagem e reutilização de energia.

Além disso, o *framework* proposto projeta um processo de controle em *loop* fechado de aplicação para a fábrica, que fornece uma orientação e ajuste em tempo real para a produção com EE. A estrutura de *loop* fechado consiste na camada de dados, camada do modelo e camada objetiva, conforme apresentado na Figura 2.8.

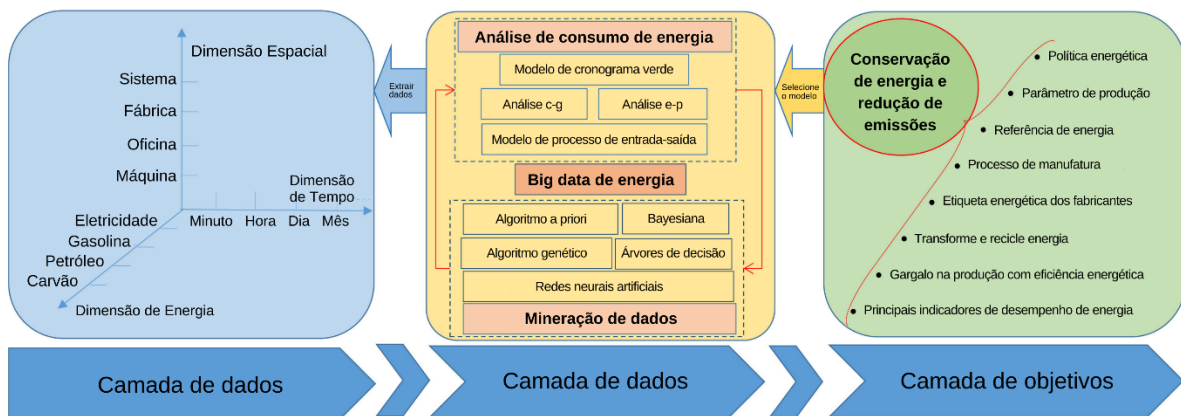
A camada de dados inclui dados de energia com três dimensões de dados energéticos, ou seja, a dimensão espacial (máquina, oficina, fábrica, sistema), dimensão energética (carvão, gás combustível, petróleo, eletricidade) e dimensão temporal (minuto, hora, dia, mês). De acordo com diferentes objetivos de aplicação, todos esses conjuntos de dados de energia foram limpos, integrados e armazenados em diferentes bancos de dados corporativos.

A camada do modelo refere-se principalmente aos modelos de mineração de dados energéticos, incluindo modelos de análise de consumo de energia (por exemplo, o modelo de processo de entrada-saída, o modelo de cronograma verde, análise de e-p, análise c-g) e modelos de mineração de *big data* (por exemplo, árvores de decisão, conjunto áspero teoria, redes neurais artificiais, algoritmos apriori, algoritmos genéticos, estimativa bayesiana).

A camada objetiva são os objetivos de conservação de energia e redução de emissões, que vem das aplicações de produção. Esses objetivos vêm de todos os lados, principalmente, em níveis macroscópicos e microscópicos. De acordo com diferentes demandas da camada objetiva, são selecionados modelos adequados de mineração de dados de energia e dados de consumo de energia para realizar a descoberta do conhecimento. Finalmente, com base nos resultados minerados, os gestores corporativos podem tomar melhores decisões de EE.

A análise proposta pelos autores mostra que a estrutura de *loop* fechado parte dos objetivos da aplicação e, finalmente, atende aos objetivos da aplicação. Em primeiro lugar, os objetivos de aplicação são propostos, depois, com base nos diferentes objetivos, os modelos adaptativos são selecionados e estabelecidos, e, são extraídos dados adequados de consumo de energia para implementar a mineração de dados energéticos. Por fim, as informações e conhecimentos são obtidos para atender aos objetivos da aplicação.

Figura 2.8 – Estrutura *loop* fechado de mineração de *big data* de energia



Fonte: Zhang *et al.* (2018)

Os autores ainda realizaram uma prova de conceito implementando o *framework* em uma fábrica de cerâmica. Após a implementação foi possível monitorar e analisar os dados de energia gerados durante todo o processo produtivo, e foram descobertos problemas anteriormente negligenciados, sendo confirmado pela análise de dados de energia que essas falhas teriam impactos sérios no consumo de energia (ZHANG *et al.*, 2018).

Para os autores, foram alcançados os objetivos finais do *framework* de conservação de energia e redução das emissões, em que, sua eficácia pode beneficiar as empresas de manufatura, o governo e a sociedade. Além disso, o *framework* melhora a EE na fabricação, auxilia a reduzir custos de produção, e aumenta a vantagem competitiva sustentável no

mercado, além de reduzir a ameaça a saúde humana com a redução de doenças respiratórias devido a redução das emissões de poluentes.

As limitações encontradas no trabalho mostram que o *framework* proposto e as principais tecnologias de habilitação para análise de *big data* de energia fornecem um novo tipo de infraestrutura para melhorar a EE em todo o processo de produção. Para os autores, os modelos de mineração de dados energéticos devem ser estudados integrando profundamente a análise de consumo de energia e a mineração de dados. Futuras pesquisas podem ser realizadas usando a teoria da mineração de dados, em que, um modelo matemático será estabelecido para identificar o conhecimento oculto e as regras a partir de *big data* de energia. Por exemplo, como estabelecer um modelo quantitativo, como equações espaciais e controle distribuído em tempo real para sistemas de fabricação eficientes em energia (ZHANG *et al.*, 2018).

Yang (2006) desenvolveu uma pesquisa comparando as políticas e estratégias energéticas de EE na Índia com as da China. Para a realização da pesquisa, foram utilizados documentos, opiniões de especialistas e estudos de caso, que foram levantados por meio de entrevistas com formuladores de políticas, auditorias de energia nas indústrias intensivas em energia, e avaliações dos impactos das políticas e estratégias na indústria. Como principais resultados e recomendações de melhoria das políticas energéticas, o autor apontou que na Índia, a política de EE e o investimento em eficiência energética industrial são questões importantes, visto que o país aumentará a demanda de energia nos próximos 15 anos e que existe um enorme potencial para conservação de energia. Constatou ainda que uma série de políticas de EE foram desenvolvidas e implementadas na Índia, e que a divulgação de detalhes sobre EE e nomeações obrigatórias de gerentes e profissionais de EE, facilitaram muito a EE nas empresas industriais. No entanto, nem todas as políticas de EE foram integralmente implementadas ou cumpridas pelas indústrias, como, por exemplo, políticas que incluem padrões de energia obrigatórios, e desenvolvimento institucional de EE e capacitação em promoção da EE para profissionais do setor industrial. Além disso, algumas políticas energéticas não são boas para a promoção da EE e, portanto, precisam ser melhoradas ou revisadas. Essas políticas incluem:

- Políticas de preços atuais que têm um impacto negativo sobre a viabilidade de investimentos em EE para as empresas;
- Política de subsídio de energia que prejudicaria as tecnologias de EE;



- A energia industrial está completamente fora da regulamentação ou controle do governo, o que encorajará o setor industrial indiano a desenvolver usinas descentralizadas, pequenas e ineficientes;
- Plantas e/ou equipamentos usados e desatualizados foram importados para a Índia sem os regulamentos necessários. As ineficiências são transferidas de uma fábrica para outra, pois o equipamento ineficiente removido de uma fábrica é normalmente revendido para instalação em outra província.

É urgente o refinamento dessas políticas de EE e o estabelecimento de melhores normas de conservação de energia no país para o setor industrial. E como conclusão do estudo, assim como na China, a Índia pode precisar estabelecer um sistema de gestão nacional, provincial e local mais poderoso para monitorar, verificar e implementar a EE. Sem tal sistema, o governo dificilmente pode colocar em prática uma política energética útil, legislação ou padrões de EE (YANG; 2006).

Saidur e Mekhilef (2010) desenvolveram um estudo que analisou o uso de energia, a economia de energia e as emissões por meio de auditorias de energia em 22 indústrias da Malásia. Segundo os autores, o estudo é útil para o *benchmarking* e para outras medidas de políticas energéticas. Além disso, os resultados podem fornecer orientações e percepções importantes para futuras alocações de pesquisa e desenvolvimento de projetos de energia.

Primeiramente foram selecionadas as indústrias que seriam alvo do estudo e que aceitaram aplicar a auditoria. Por meio do método de uma auditoria de energia passo a passo, foram coletadas a classificação de potência, o tempo de operação de equipamentos/máquinas que consomem energia e o fator de potência das 22 indústrias de produção de borracha. Esses dados foram então analisados para investigar a repartição do equipamento de uso final/uso de energia das máquinas. A auditoria aplicada no estudo de caso seguiu os seguintes passos:

1. Inicialmente, uma reunião de auditoria de energia é realizada com o gerente da instalação/engenheiro de manutenção para apresentar o objetivo da auditoria de energia e os membros do grupo de auditoria. O gerente da instalação, então, explica o processo de fabricação da empresa e os equipamentos/máquinas que consomem energia, e fornece registros de operação e manutenção para revisão pelos auditores.
2. Após a reunião, o engenheiro de manutenção leva a equipe de auditoria à fábrica para uma auditoria no local. Os auditores, juntamente com os representantes dos operadores dos equipamentos, inspecionam os equipamentos que consomem energia.

3. Em seguida, os auditores revisam o manual de operação e as especificações dos equipamentos consumidores de energia.
4. Além da inspeção das instalações, os auditores devem se reunir novamente com a equipe da instalação para revisar as conclusões preliminares e as recomendações a serem consideradas.
5. Junto com a auditoria de energia, uma lista de verificação é preenchida para investigar a ênfase das indústrias na conservação de energia ou conscientização da conservação de energia em suas instalações industriais.

Após a auditoria passo a passo no local, os dados e recomendações foram combinados para produzir o relatório de auditoria de energia no local. Os resultados da auditoria mostraram que o motor elétrico é responsável por uma grande fração do consumo total de energia, seguido por bombas, aquecedores, sistemas de refrigeração e iluminação. Estratégias de economia de energia foram aplicadas para estimar a economia de energia e custos. Os autores verificaram que uma quantidade significativa de energia e contas de serviços públicos podem ser economizadas junto com a redução de emissão, aplicando as estratégias previstas para a energia usando motores industriais e de alta eficiência nas indústrias de borracha da Malásia (SAIDUR, MEKHILEF; 2010).

Patlitzianas *et al.* (2008) realizaram uma revisão de literatura em busca de indicadores de energia a fim de construir um *framework* operacional de indicadores adequados para decisores e analistas de políticas energéticas sustentáveis. A metodologia utilizada pelos autores para o desenvolvimento do *framework* envolveu a análise documental de políticas de energia sustentável e na investigação do papel dos desenvolvedores de políticas energéticas sustentáveis.

Uma série de indicadores de energia foram encontrados na análise e investigação do estudo, como indicadores tecnológicos e técnico-físicos, socioeconômicos também de gastos com P&D, por exemplo. Para a seleção adequada de indicadores de energia é necessário analisar o alto grau das políticas que se decidem monitorar. Essas políticas determinam o tipo de indicadores, o nível de análise e, conseqüentemente, os dados que devem estar disponíveis para análise. Portanto, para propor o *framework* operacional, os autores levaram em consideração alguns critérios de políticas energéticas para selecionar os indicadores sustentáveis, como em relação a sua adequação: descrição realista, transparente, simples e com capacidade de comparação; em relação a sua integridade, como: adequação técnica e científica, e reconhecimento internacional; e por fim, em relação a sua flexibilidade, como:

cálculo fácil, existência de dados de qualidade corretos, capacidade de mapear mudanças e fácil conexão com outros modelos (PATLITZIANAS *et al.*, 2008).

Após a definição dos critérios de seleção dos indicadores, os autores dividiram esses indicadores em três grupos de objetivos da política energética: segurança de abastecimento, competitividade do mercado de energia e proteção ambiental. Para auxiliar, portanto, os formuladores de política energética, os autores recomendam os indicadores apresentados no Quadro 2.6.

Quadro 2.6 – Indicadores para cada um dos objetivos da política energética

<b>O.1 Indicadores de segurança de abastecimento de energia</b>
Dependência de importações Dependência de importação de combustível sólido Dependência das importações de petróleo Dependência das importações de gás natural Diferenciação de combustível primário Diferenciação de combustível de produção de energia elétrica Diferenciação de combustível de energia Suprimentos estratégicos de petróleo
<b>O.2 Indicadores do mercado competitivo de energia</b>
Intensidade energética Eficiência de conversão de energia Eficiência da produção de energia elétrica Transformação do setor de energia <ul style="list-style-type: none"> <li>Regulador de energia independente</li> <li>Participação privada</li> <li>Divisão de empresa pública</li> <li>Lei de energia para a reforma e privatização de empresas de energia</li> <li>Ajuste da lista de preços de energia</li> </ul> Nível de competição Consumo de energia per capita Consumo de energia elétrica per capita
<b>O.3 Indicadores de proteção ambiental</b>
Porcentagem de fontes renováveis de energia na produção de energia primária Porcentagem de fontes renováveis de energia na produção de energia elétrica Indicadores de intensidade de CO <sub>2</sub> emitido <ul style="list-style-type: none"> <li>CO<sub>2</sub> emitido por PIB</li> <li>CO<sub>2</sub> emitido por consumo interno bruto de energia</li> <li>CO<sub>2</sub> emitido per capita</li> <li>CO<sub>2</sub> emitido por eletricidade e produção de vapor</li> </ul> Aplicação do Protocolo de Kyoto

Fonte: Patlitzianas *et al.* (2008)

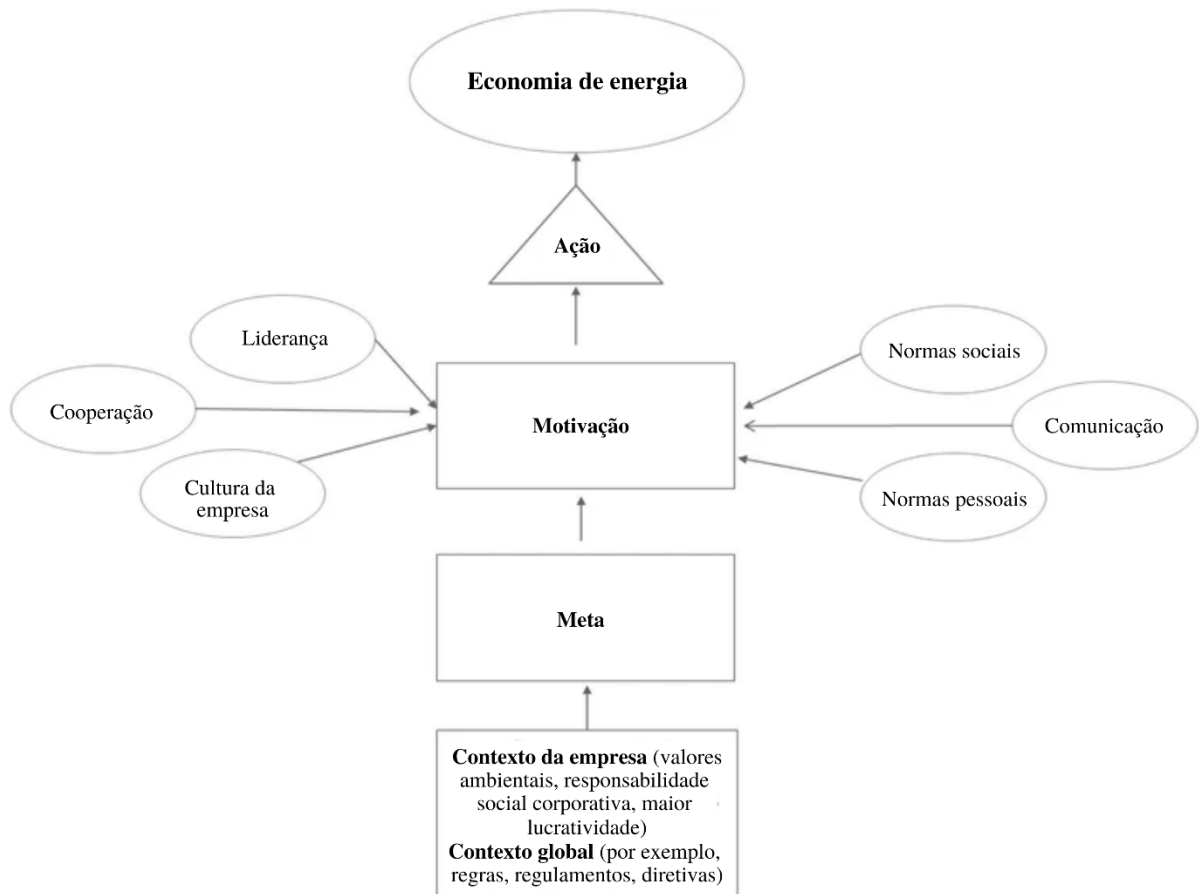
Em relação a cada objetivo, o primeiro, de segurança do abastecimento, não visa maximizar a independência energética ou minimizar a dependência de um país, mas sim minimizar os perigos envolvidos na dependência do abastecimento externo. Em relação ao segundo objetivo, os indicadores refletem a capacidade de fornecimento de produtos e serviços de energia que podem competir com os padrões internacionais. E o terceiro objetivo, da política energética, refere-se à proteção de todos os parâmetros externos que são influenciados pela produção de energia.

As principais contribuições do estudo de Patlitzianas *et al.* (2008) mostraram que a definição da política energética constitui um importante processo para o desenvolvimento do setor energético. Além disso, os autores defendem que os esforços de pesquisa para o desenvolvimento de metodologias e estruturas são até agora limitados na literatura científica internacional.

Segundo os autores, os *frameworks* encontrados na literatura dizem respeito principalmente ao meio ambiente e ao crescimento sustentável. Esses *frameworks*, mesmo que apoiem a tomada de decisão, não propõem ações adequadas de melhoria. Limitada é a quantidade de esforços no desenvolvimento de indicadores de energia relativos à evolução dos objetivos da política energética. Além disso, os indicadores desenvolvidos atingem ótimos padrões de análise e requerem dados analíticos, muitas vezes indisponíveis e, por vezes, até não confiáveis. Por último, segundo os autores, são necessários mais estudos, com o intuito de melhorar a qualidade dos indicadores já existentes e de melhorar a conexão dos indicadores com as políticas, objetivos e suas interações. Por isso, os autores destacam que a falta de indicadores com base nos três objetivos da política energética é evidente, além de um processamento para melhor cobrir a necessidade de comunicação entre as partes envolvidas (PATLITZIANAS *et al.*, 2008).

Mahapatra *et al.* (2018) desenvolveram um *framework* teórico, apresentado na Figura 2.9, com os fatores que afetam o desempenho de um projeto de EE baseado no comportamento da organização. Os autores identificaram que a economia de energia, que é o principal objetivo do projeto de EE, é o resultado das ações dos colaboradores que é desencadeada por sua motivação, influenciada por diversos fatores como objetivos, normas pessoais e sociais, cultura da empresa, liderança, comunicação e cooperação entre os colaboradores.

Figura 2.9 – *Framework* teórico dos fatores que afetam a EE



Fonte: Mahapatra *et al.* (2018)

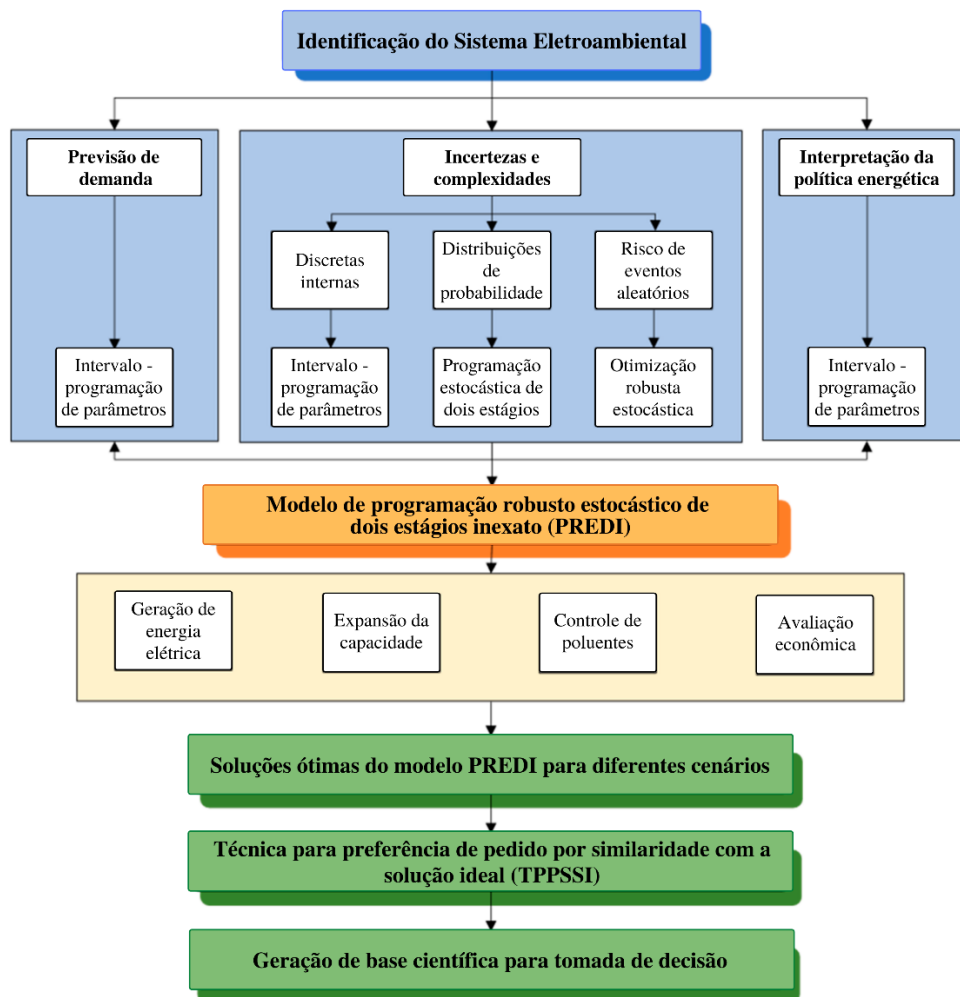
Os autores argumentam que a gestão da motivação deve ter prioridade na gestão dos membros da organização. Uma maneira de nutrir a motivação é definir metas específicas (por exemplo, metas de EE), que pode surgir do contexto da empresa como valores ambientais, responsabilidade social corporativa e lucratividade aprimorada, ou devido ao contexto global, como regras e regulamentações governamentais. O estabelecimento de metas incentiva os participantes a se esforçarem substancialmente, e quando uma meta é definida, ela influencia o funcionamento da indústria por meio de sua influência dos gestores e na motivação dos funcionários. No entanto, o cumprimento de metas bem-sucedidas exige que os funcionários estejam comprometidos com elas (MAHAPATRA *et al.*, 2018).

A maior contribuição dos autores é a de que, por meio da mudança de comportamento da organização, é possível melhorar o uso de energia nas indústrias de manufatura. Vários fatores podem afetar o sucesso do processo de mudança, como por exemplo, uma meta para que todos permaneçam focados, ajam e avaliem o progresso, ter liderança dedicada e

*feedback* contínuo, o projeto deve ser participativo por natureza, onde os trabalhadores da produção na base da hierarquia são envolvidos na tomada de decisões e são reconhecidos por seu esforço (MAHAPATRA *et al.*, 2018).

Zhang *et al.* (2020) desenvolveram um *framework* de gestão de sistemas de energia voltado para o meio ambiente, conforme apresentado na Figura 2.10, que reúne a previsão do consumo de energia elétrica, um modelo de planejamento do sistema elétrico regional e uma análise pós-otimização. Além disso, os autores integram ferramentas para apoiar a administração do sistema elétrico, considerando o ajuste de energia e cenários de mitigação de poluentes. Comparado com ferramentas de otimização típicas, este método pode não apenas refletir várias incertezas expressas como valores de intervalo e distribuição de probabilidade, mas também pode fazer uma compensação entre risco do sistema e custo de acordo com as atitudes dos tomadores de decisão.

Figura 2.10 – *Framework* de gestão do sistema elétrico



Fonte: Zhang *et al.* (2020)

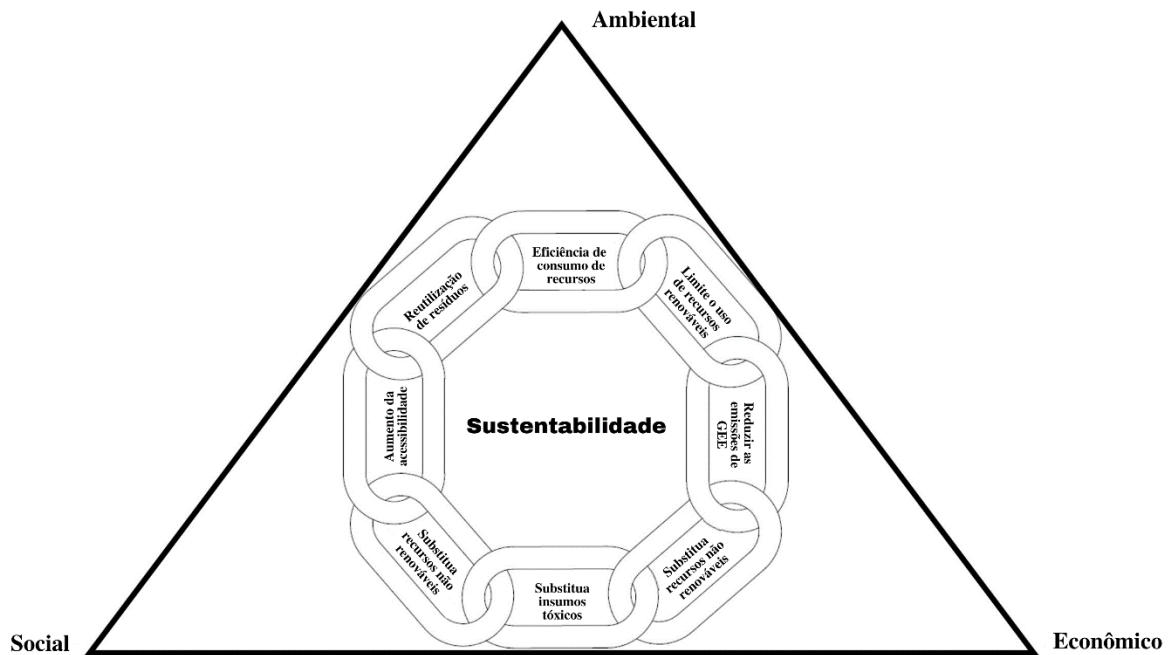
O *framework* proposto é eficiente no tratamento de vários tipos de incertezas expressas como probabilidades estocásticas e valores de intervalo, e é focado na avaliação quantitativa da estabilização do sistema. Além disso, o *framework* é capaz de atingir um equilíbrio entre metas de geração de energia elétrica pré-reguladas e esquemas de geração realistas. O estudo realizou uma análise detalhada dos esquemas otimizados de geração de energia elétrica, dos esquemas de expansão de capacidade e do custo total do sistema, e a fim de identificar os fatores de impacto mais influentes da seleção do esquema ideal, o método TPPSSI foi aplicado durante o período pós-otimização (ZHANG *et al.*, 2020).

Em suma, as principais conclusões tiradas do estudo de Zhang *et al.* (2020) são: a prevenção do consumo de energia com base em dados históricos limitados caracterizados pela estocasticidade; o *framework* auxilia na criação de esquemas de geração de energia estáveis e confiáveis em termos de diferentes modos de geração de energia com base em planos de ajuste da estrutura de energia e políticas regionais de redução de emissão de poluentes; e ajuda a identificar os fatores mais influentes nas decisões de planejamento, analisando e gerando esquemas ótimos de geração de eletricidade de forma abrangente. Além disso, os resultados indicam que o *framework* pode auxiliar a manter um desenvolvimento sustentável e para suplementar continuamente a eletricidade na área de estudo.

De Oliveira Neto *et al.* (2018) desenvolveram um *framework* de ações e recomendações específicas para auxiliar a adoção da sustentabilidade nas indústrias. O *framework* apresentado na Figura 2.11 propõe ações específicas de sustentabilidade que garantam o funcionamento dos sistemas ecológicos ao mesmo tempo que promovem o desenvolvimento sustentável. As ações identificadas também podem ser utilizadas em análises multicritério e para o desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade.

As principais contribuições práticas do estudo de Oliveira Neto *et al.* (2018) vêm de sugerir a aplicação das ações pelas organizações para: aumentar a eficiência do consumo de recursos, aumentar a coleta de recursos renováveis limitados por suas taxas de regeneração, reduzir as emissões de gases de efeito estufa, reaproveitar resíduos como insumo em outros processos, substituir insumos tóxicos por orgânicos, substituir a energia de fontes não renováveis por renováveis, aumentar a acessibilidade e aumentar a manufatura sustentável.

Figura 2.11 – *Framework* de ações para a promoção da sustentabilidade



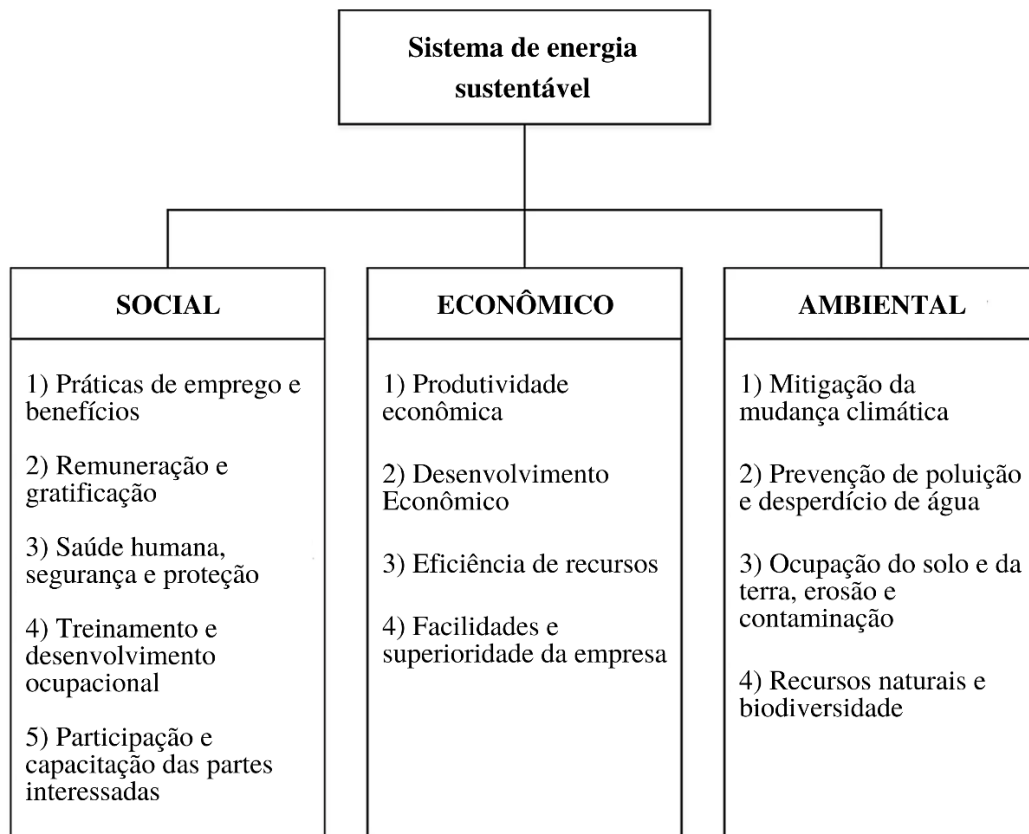
Fonte: de Oliveira Neto *et al.* (2018)

Portanto, o *framework* envolve ações específicas de sustentabilidade com o objetivo de melhorar as funções do sistema ecológico, ao mesmo tempo em que garante o desenvolvimento sustentável, mantendo o equilíbrio entre os fatores econômicos, ambientais e sociais. Isso sugere oportunidades sobre *design* e desenvolvimento de produtos verdes, eficiência no consumo de recursos, reaproveitamento de resíduos, produção de energia limpa, redução de emissões de carbono, estratégias de desenvolvimento de produtos de baixo valor agregado para promover o acesso de todos os indivíduos e criação de empregos com remuneração justa (DE OLIVEIRA NETO *et al.*, 2018).

O estudo de Hendiani *et al.* (2020) propõe um *framework* de avaliação da sustentabilidade em sistemas de energia de acordo com critérios para os três pilares da sustentabilidade, conforme apresentado na Figura 2.12.



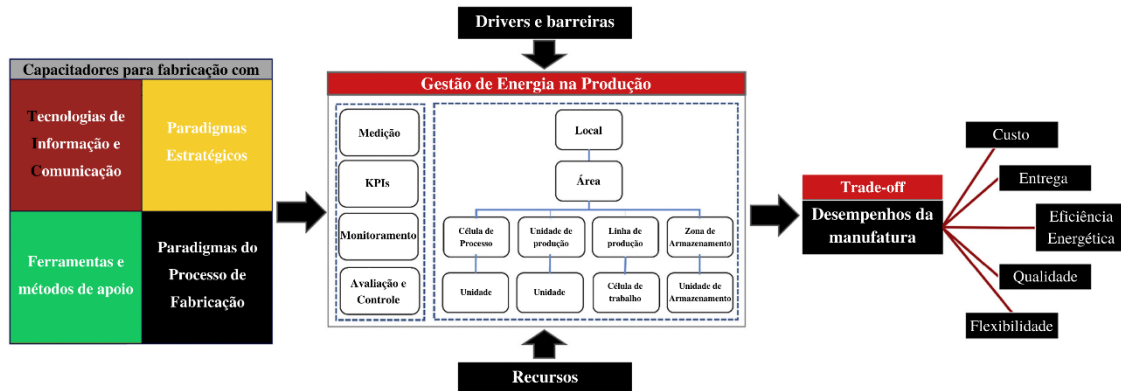
Figura 2.12 – *Framework* abrangente para sistemas energéticos sustentáveis



Fonte: Hendiani *et al.* (2020)

O principal objetivo do *framework* é medir o quão sustentável é um sistema de energia e como os formuladores de políticas podem melhorar a qualidade das práticas de sustentabilidade no sistema associado. Um sistema de energia sustentável maximiza os lucros com uma equipe socialmente enriquecida e, ao mesmo tempo, minimiza os impactos ambientais prejudiciais (HENDIANI *et al.*, 2020).

May *et al.* (2017) desenvolveram um *framework* com base em uma análise abrangente e sistemática da literatura para descrever o processo dinâmico de gerenciamento de energia na manufatura. O *framework*, apresentado na Figura 2.13, fornece aspectos-chave da gestão de energia na manufatura, e pode ser útil para avaliar os métodos existentes de empresas em diferentes setores industriais a partir de uma perspectiva de EE e para analisar a maneira como as empresas de manufatura estão integrando conceitos de EE em seus processos industriais.

Figura 2.13 – *Framework* de gestão de energia na manufatura

Fonte: May *et al.* (2017)

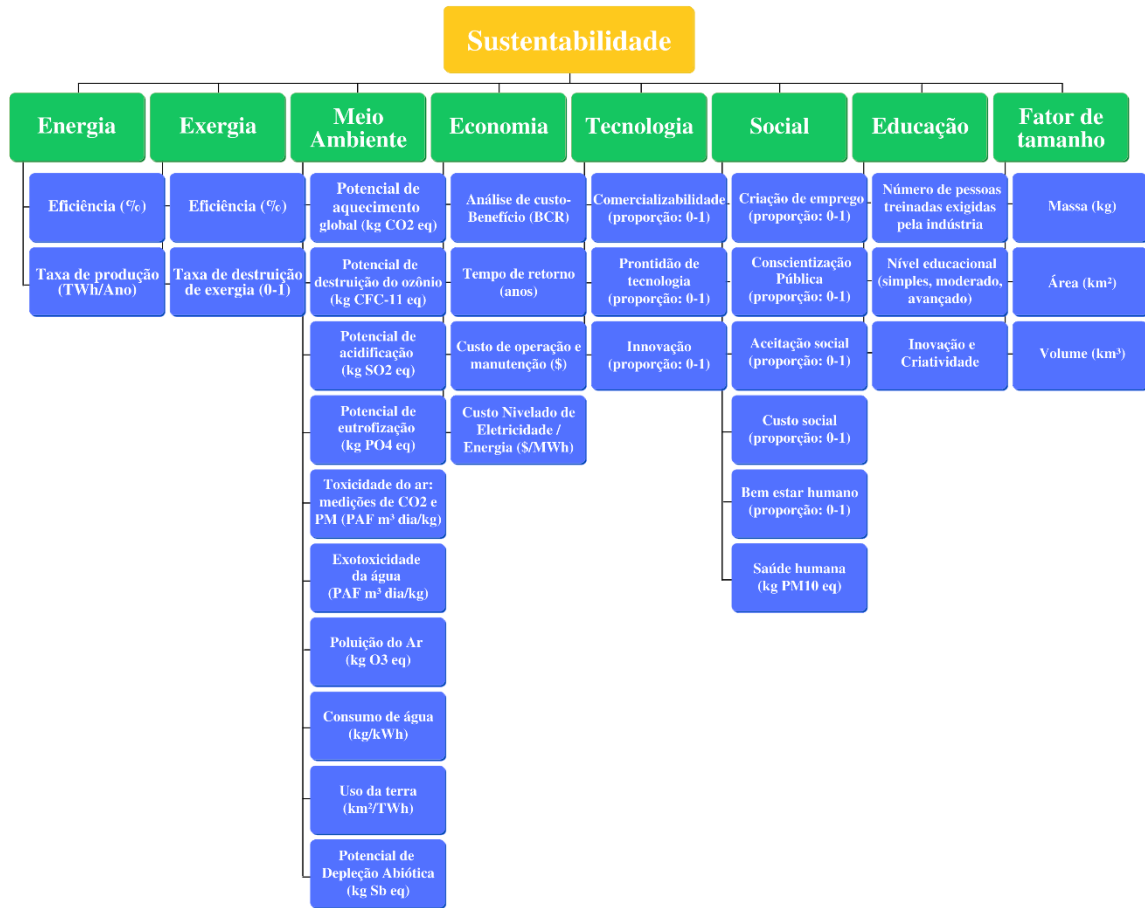
O *framework* foi dividido em seis áreas da gestão de energia: *drivers* e barreiras, tecnologias de informação e comunicação, paradigmas estratégicos, ferramentas e métodos de apoio, paradigmas do processo de manufatura e desempenhos da manufatura no *trade-off*. O *framework* considera diferentes aspectos e suas relações na área de gestão de energia na manufatura, com o objetivo de descrever as atividades e os fatores-chave necessários para integrar EE na manufatura do ponto de vista do gerente de energia de uma indústria (MAY *et al.*, 2017).

Segundo os autores, na dimensão central do *framework* estão localizadas as componentes do gerenciamento de energia: medição, indicadores-chave de desempenho relacionados à energia (KPIs), monitoramento e avaliação, e controle. Outra dimensão inclui os diferentes níveis operacionais em uma instalação de fabricação de acordo com local, área, célula de trabalho, unidade de trabalho. Os *drivers* e as barreiras do gerenciamento de energia são os controles, que direcionam e restringem projetos e atividades relacionados à energia. Por último, os recursos (por exemplo, pessoas, máquinas, ferramentas) são os mecanismos de aprimoramento (MAY *et al.*, 2017).

Além disso, o *framework* auxilia no foco em oportunidades para os colaboradores em um sistema de manufatura para promover mudanças em direção a EE, e as características internas da indústria, como capacidade, organização e estrutura ambientais, podem determinar uma transição bem-sucedida para a EE e uma maior competitividade (MAY *et al.*, 2017).

Abu-Rayash e Dincer (2019) desenvolveram um modelo de avaliação de sustentabilidade capaz de identificar e investigar os principais parâmetros que influenciam a sustentabilidade dos sistemas de energia. O modelo segue uma abordagem integrada e explora as variáveis que influenciam a avaliação da sustentabilidade, incluindo energia, exergia, economia, meio ambiente, sociedade, educação em tecnologia e o tamanho do sistema de energia. Essas variáveis são levadas em consideração na avaliação da sustentabilidade de um sistema energético em uma abordagem metodológica, integrando conceitos baseados na termodinâmica, bem como outros modelos matemáticos na avaliação de cada variável. Um índice para cada variável foi desenvolvido para refletir seu grau de influência sobre o índice geral de sustentabilidade. No modelo apresentado na Figura 2.14, a sustentabilidade é avaliada por meio da investigação dos aspectos energéticos e exergéticos, impacto ambiental, impacto econômico, tecnologia, aspecto social, educação e fator de tamanho associado ao sistema energético.

Figura 2.14 – Modelo de avaliação de sustentabilidade integrada para sistemas de energia



Fonte: Abu-Rayash e Dincer (2019)

O modelo transforma a avaliação da sustentabilidade dos sistemas de energia de um processo qualitativo em um quantitativo. Os autores, ao avaliar o modelo por meio de simulações, notaram que a dimensão econômica recebe uma prioridade mais alta sobre as outras dimensões devido às suas características de tempo e espaço. Além disso, a dimensão social pode ser avaliada de uma maneira melhor, utilizando de indicadores como: bem-estar humano, saúde humana, custo social e responsabilidade ética, para refletir com precisão a dimensão social (ABU-RAYASH; DINCER, 2019).

Santoyo-Castelazo e Azapagic (2014) construíram um *framework* que apoia o desenvolvimento sustentável dos sistemas de energia, considerando as três dimensões da sustentabilidade: ambiental, social e econômico. Utilizando a abordagem de ciclo de vida, o *framework* integra as três dimensões para permitir avaliações nos níveis de tecnologia e sistemas. O *framework* compreende análise de cenário, avaliação do ciclo de vida, custeio do ciclo de vida, avaliação da sustentabilidade social e análise de decisão multicritério, que são usados para avaliar e identificar as opções de energia mais sustentáveis.

O *framework* proposto pelos autores para avaliação de sustentabilidade integrada de sistemas de energia é delineada na Figura 2.15 e envolve as seguintes etapas: seleção de indicadores ambientais, econômicos e sociais a serem utilizados na mensuração da sustentabilidade; seleção e especificação de tecnologias energéticas; definição de cenários e horizonte de tempo; avaliação ambiental, econômica e social com base no ciclo de vida; e a integração de indicadores de sustentabilidade por meio de uma análise de decisão multicritério para determinar as opções mais sustentáveis para o futuro (SANTOYO-CASTELAZO; AZAPAGIC, 2014).

Figura 2.15 - *Framework* de apoio à decisão para avaliação de sustentabilidade integrada de sistemas de energia

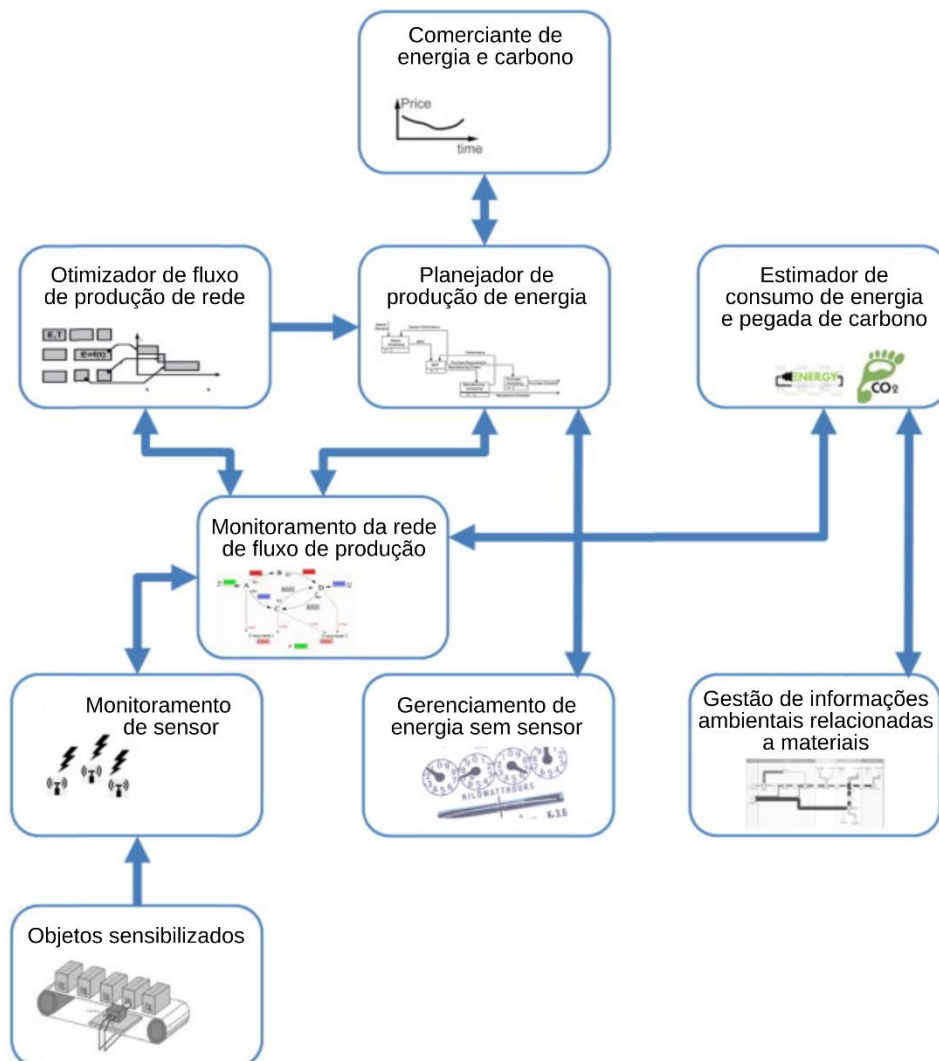


Fonte: Santoyo-Castelazo e Azapagic (2014)

Com o *framework* são simulados onze cenários até 2050, considerando diferentes tecnologias, combinações de eletricidade e metas de mudança climática. Os resultados mostram que, com base nos 17 critérios (avaliação ambiental, social e econômica) de sustentabilidade usados pelos autores, o cenário baseado em combustíveis fósseis, é insustentável, independentemente das preferências por diferentes critérios de sustentabilidade. Isso se deve principalmente aos altos custos e impactos ambientais associados aos combustíveis fósseis. No geral, os cenários mais sustentáveis são aqueles com maior utilização de energias renováveis (como por exemplo: eólica, solar, hídrica, geotérmica e biomassa) e nuclear. Essas rotas de eletricidade permitiriam cumprir as metas nacionais de emissão de gases de efeito estufa até 2050 de forma mais sustentável do que a prevista pela política atual. No entanto, alguns *trade-offs* entre os critérios de sustentabilidade são necessários, principalmente no que diz respeito aos impactos sociais (SANTOYO-CASTELAZO; AZAPAGIC, 2014).

Zampou *et al.* (2014) desenvolveram um *framework* que identifica as principais funcionalidades para caracterizar um sistema de informação de energia na manufatura, conforme apresentado na Figura 2.16. As funcionalidades são classificadas em duas categorias amplas: monitoramento de energia e análise com consciência de energia, as quais são combinadas no *framework* construído. Como pré-requisito para a implantação de tais funcionalidades, os autores apresentaram também uma abordagem integrando fluxos de energia e informações operacionais. Além disso, as tecnologias suportam o manuseio em tempo real e grande escala de dados de energia são fornecidas.

Figura 2.16 – *Framework* para sistemas de informação com consciência energética



Fonte: Zampou *et al.* (2014)

A etapas do *framework* permitiram a identificação e validação de alguns recursos importantes que um sistema de informação com reconhecimento de energia deve oferecer suporte. Devido à natureza intensiva de dados de um sistema de informação com consciência de energia, seu *design* é altamente dependente da extração de informações de modelos de dados díspares e da “colagem” de vários fluxos de informações. Embora existam vários modelos de dados disponíveis para muitos aspectos da manufatura, como pedidos, planos de processo e execuções de produção, essa integração de dados é de extrema importância para apoiar as operações do dia a dia e as decisões estratégicas com consciência energética. Considerando que os tipos de dados que as empresas de manufatura capturam são na verdade muito semelhantes, há grandes benefícios que podem ser obtidos tirando proveito de estruturas de dados comuns reutilizáveis ou “modelos de dados universais”. O estudo ainda tem um impacto significativo para os profissionais de manufatura, pois captura as necessidades atuais em relação à EE e apresenta uma solução de sistema de informação que facilita essas necessidades.

---

## METODOLOGIA CIENTÍFICA

---

Para o desenvolvimento de uma pesquisa, faz-se necessário a justificativa e apresentação das metodologias utilizadas em todas as suas etapas, visando possibilitar uma contextualização de sob qual ótica foi delineada e executada a pesquisa para atingir os objetivos e obter os resultados propostos, além de permitir a possibilidade de a pesquisa ser replicada.

A abordagem metodológica desta pesquisa é classificada como qualitativa, pois tem como objetivo a construção de um *framework* de EE na manufatura à luz da sustentabilidade com base na análise de conteúdo da literatura, painel comparativo e avaliação. Em relação aos objetivos, a abordagem é classificada como exploratória com um levantamento da literatura e na verificação do nível de padrões e características, para aprimorar o *framework* proposto (ENSSLIN; VIANA, 2008).

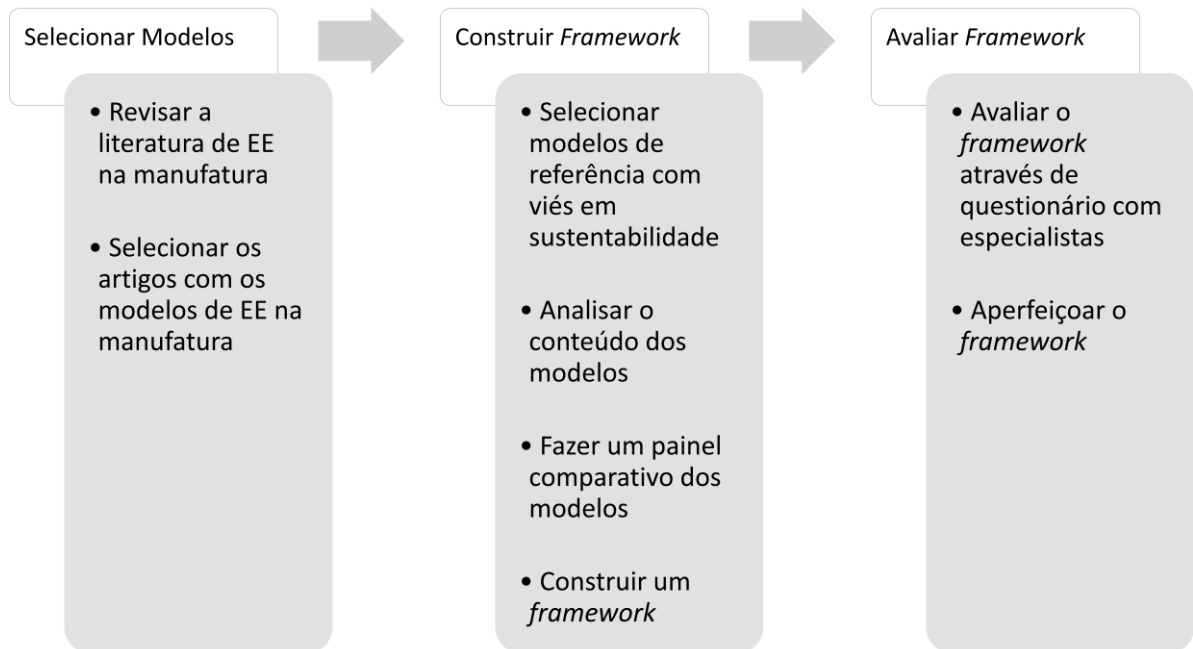
A proposição de um *framework* visa ser útil para o gestor definir os modelos dos processos com características mais ajustadas ao seu real cenário. Com ele, é possível selecionar métodos e ferramentas para as etapas de desenvolvimento, e ser como um guia na definição de modelos específicos (ODEH; KAMM, 2003). A construção de um *framework* pode consistir na integração de pesquisas, trabalhos ou *frameworks* diferentes que resumem elementos comuns, ampliando o trabalho final (CHOFREH; GONI; KLEMEŠ, 2018).

Portanto, a partir dos artigos científicos encontrados na literatura, a relação entre EE, manufatura e sustentabilidade é construída. Em vista disso, esta pesquisa foi composta por 3 etapas (Figura 3.1): a etapa 1 de seleção de modelos apresentada na seção 3.1, por meio de uma revisão de literatura; a etapa 2 descrita na seção 3.2, em que foi realizada a análise de



conteúdo dos artigos encontrados na literatura, além de painéis comparativos que serão utilizados como base para o desenvolvimento do *framework*; e a etapa 3, apresentada na seção 3.3 em que foi realizada a avaliação do modelo proposto.

Figura 3.1 – Etapas da Pesquisa



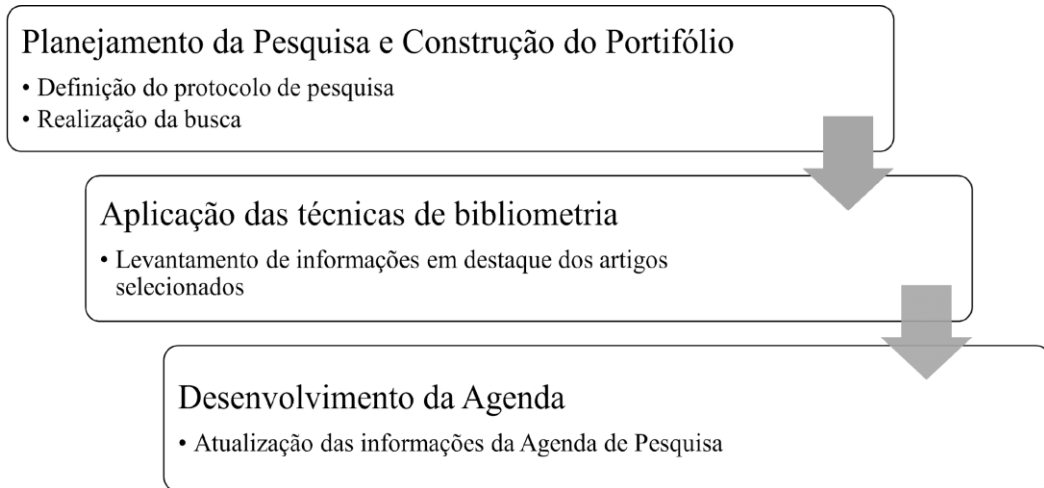
Fonte: A autora (2021)

### 3.1 ETAPA 1 – SELEÇÃO DOS MODELOS

Para a seleção de modelos da etapa 1 foi realizado um *update* da revisão de Fenerich, Da Costa e De Lima (2017) em busca de estudos base para a construção do *framework* a partir de 2015 (ano limite que foi realizada a revisão anterior). Para a realização de uma revisão, é necessário que um protocolo seja desenvolvido para comprovar seu rigor. Um protocolo de pesquisa é um plano que descreve as etapas e procedimentos específicos sobre como será conduzida a revisão e deve conter detalhes suficientes para garantir a replicação da mesma (TRANFIELD *et al.* 2003).

Portanto, para a realização da etapa 1, foi seguido o mesmo protocolo estabelecido por Fenerich, Da Costa e De Lima (2017), e a revisão foi organizada em três etapas principais, conforme apresentado na Figura 3.2.

Figura 3.2 – Passos da revisão da literatura



Fonte: A autora (2021)

Na primeira fase, de planejamento da pesquisa e construção do portfólio, o principal objetivo foi encontrar as abordagens de EE em ambientes industriais existentes na literatura. Esse objetivo é alcançado com a seguinte pergunta de pesquisa: “Quais são os modelos publicados a partir de 2015 que podem ser direcionadores na compreensão do estado da arte e das tendências das pesquisas e práticas para mensurar a EE em ambientes industriais?”.

Seguindo a revisão anterior (FENERICH; DA COSTA; DE LIMA, 2017), as principais fontes de dados foram as bases: *Science Direct*, *Emerald*, *Springer*, *IEEE Xplorer*, *ISI Web of Knowledge*, *Scopus* e *Cambridge*. Foram selecionados os artigos científicos completos publicados em inglês, em periódicos, limitado ao período de 2015 a 2020, pois a pesquisa anterior foi realizada até 2014. Os termos de busca utilizadas foram: “*strategy AND energy AND efficiency*”; “*strategy AND energy AND operations*”; “*strategy AND energy AND management*”; “*productivity AND management AND energy*” e “*productivity AND indicators AND energy*”, e a busca dos termos de pesquisa foi realizada para o título, palavras-chave e resumo dos artigos.

Para a seleção dos trabalhos para o estudo foram utilizados os critérios de inclusão e exclusão apresentados no Quadro 3.1.

Na busca inicial, por meio das palavras-chave nas bases de dados, retornaram 14.180 artigos. Com o critério de exclusão de publicações repetidas, 7.319 foram descartados, totalizando para a próxima etapa 6.861 artigos.

Com todo o protocolo de pesquisa definido, para um melhor aproveitamento do conteúdo dos artigos em estudo, as leituras foram realizadas por meio dos mesmos passos seguidos por Fenerich, Da Costa e De Lima (2017): leitura de reconhecimento, exploratória, seletiva e crítico reflexiva.

Quadro 3.1 – Critérios de inclusão e exclusão para seleção dos artigos

<b>Critérios</b>	
Inclusão	Estudos que apresentam modelos de EE na manufatura
	Estudos que descrevem indicadores de EE na manufatura
	Estudos que descrevem indicadores de desempenho produtivos que contemplem o uso de energia na manufatura
	Estudos que descrevem práticas e/ou procedimentos para o cálculo de desempenho energético na manufatura
	Estudos que descrevem procedimentos adotados para o desenvolvimento de indicadores de EE na manufatura
	Estudos que correlacionam EE, estratégia e/ou operação
Exclusão	Publicações que não possuem a versão completa disponível
	Publicações cinzas
	Publicações que não atingem o objetivo da pesquisa
	Publicações repetidas

Fonte: A autora (2021)

A leitura de reconhecimento refere-se a leitura de material bibliográfico por meio do título dos artigos; a leitura exploratória do resumo do artigo, que busca identificar se as informações e/ou dados selecionados são relevantes ao estudo a ser realizado utilizando-se dos critérios de inclusão e exclusão; a leitura seletiva para a identificação da pesquisa (referência bibliográfica e localização), caracterização (busca do tema central, dos objetivos, conceitos utilizados e do referencial teórico), definição das contribuições do artigo para o estudo proposto; e a leitura crítica reflexiva, orientada aos artigos que apresentaram indicadores de EE na manufatura, que utilizaram um modelo de referência, que desenvolveram ou adotaram um procedimento para o desenvolvimento dos indicadores de EE, que apresentaram sobre o uso dos indicadores de desempenho na manufatura e que relacionaram indicadores de desempenho produtivo com as áreas de decisão. Com a leitura dos artigos utilizando os critérios de inclusão e exclusão, 6.686 artigos foram descartados, permanecendo 185 artigos científicos para aplicação dos próximos filtros da revisão.

Após a análise e seleção dos artigos para o portfólio, foram extraídas informações referentes ao banco de dados originário, critérios de inclusão, ano de publicação, características das publicações, país de estudo, número de citações de cada artigo, periódicos com mais publicações, instituição, número de artigos por autor, e palavras-chave mais recorrentes destes 185 artigos.

E por fim, com as informações encontradas na análise bibliométrica, foi realizada a atualização da agenda de pesquisa realizada por Fenerich, Da Costa e De Lima (2017). Os artigos selecionados para o portfólio foram divididos em duas categorias: Operações e Sustentabilidade, e três subcategorias: estratégias, indicadores e práticas, conforme Quadros do APÊNDICE A.

A categoria de operações apresenta os artigos puramente de EE na manufatura, e a de sustentabilidade apresenta os artigos relacionados às energias renováveis, EE com o intuito da redução de emissão de gases e o estudo de outros tipos de energia. A subcategoria de estratégia é representada pelos artigos que apresentam uma abordagem estratégia em torno da EE; a de indicadores, apresenta os artigos com indicadores de desempenho energético e sistemas de gerenciamento de energia em ambientes de manufatura, e; a de práticas, contém os artigos que apresentam práticas e recomendações para EE. Nas subcategorias foram alocados dados referentes a: periódicos, temas, autores, palavras-chave e artigos sugeridos. Uma agenda de pesquisa pode ser utilizada como um guia para novas pesquisas em EE, uma vez que apresenta nas subcategorias informações para sugestão de leitura e podem ser direcionadores na compreensão do estado da arte e tendência das práticas em EE.

Os artigos encontrados na literatura, desde 2015, relacionados a EE em ambientes industriais, foram divididos nas categorias de operações e sustentabilidade, e os artigos da subcategoria de práticas de sustentabilidade serão a base teórica para a construção do *framework* desta pesquisa. Foram identificados 75 artigos que se enquadram na categoria de sustentabilidade, sendo 29 de práticas, 29 de estratégias e 19 sobre indicadores com características sustentáveis. Os artigos da categoria de práticas passaram para a etapa 2, de análise de conteúdo e painel comparativo, com o objetivo de identificar as variáveis necessárias para a construção do *framework*.

Além disso, usando a metodologia de bola de neve, também conhecida como *snowball*, as publicações e os autores frequentemente mencionados foram adicionados ao processo de pesquisa (STEINHARDT *et al.*, 2021). O método bola de neve é uma forma de encontrar artigos por meio da bibliografia no documento principal para encontrar outros títulos relevantes. Essa estratégia garantiu a inclusão de artigos que pudessem ter sido

excluídos por palavras de indexação adicionais utilizadas ou por indexação diferente dos artigos (BAGNI *et al.*, 2021). No caso desta pesquisa, como foi realizada a busca por artigos de EE na manufatura, foram escassos os artigos com foco em sustentabilidade, devido à falta desse viés nas palavras-chave utilizadas.

A pesquisa por meio da abordagem de bola de neve resultou em 45 publicações (APÊNDICE B) advindas das palavras ‘*sustainability*’, ‘*sustainable*’, ‘*tbl*’ e ‘*triple bottom line*’. Após a leitura dos títulos e resumos, 20 estudos foram incluídos no estudo, pois mencionavam práticas sustentáveis de EE na manufatura. Os dados dos artigos foram analisados e compilados juntamente com o restante dos trabalhos, totalizando assim um portfólio de 52 artigos (29 práticas, 3 práticas do artigo de revisão anterior e 20 de práticas do *snowball*), conforme apresentado na Figura 3.3.

Figura 3.3 – Portfólio da revisão



Fonte: A autora (2021)

## 3.2 ETAPA 2 – CONSTRUÇÃO DO *FRAMEWORK*

Com a seleção dos artigos encontrados na literatura, foi realizada, primeiramente, a análise de conteúdo, para descrever e interpretar o conteúdo de todos os trabalhos. Essa análise, conduziu e auxiliou a compreensão desses conteúdos além de uma leitura comum, ou seja, é uma interpretação profunda com o objetivo de descobrir as relações entre o conteúdo e os aspectos exteriores (FREITAS; JANISSEK, 2000).

De acordo com Bardin (2011), a análise de conteúdo é um conjunto de técnicas de análise de comunicações, que busca superar as incertezas e enriquecer a leitura das informações e dados disponíveis. A importância da análise de conteúdo vem da produção de inferências sobre o conteúdo de uma informação, ou seja, não apenas produzir suposições, mas basear com pressupostos teóricos e segundo o contexto histórico e social da pesquisa. Para a realização de uma análise de conteúdo são realizadas três fases: pré-análise, exploração do material e tratamento dos resultados, inferência e interpretação, conforme a organização proposta por Bardin (2011):

1. Pré-análise: é a fase em que os artigos são lidos superficialmente (leitura flutuante) para operacionalizar e sistematizar as ideias iniciais. Essa fase tem como objetivo explorar o material para a seleção dos artigos submetidos à análise, escolher categorias ou temas principais, formulação de hipóteses e objetivos, e desenvolver indicadores que serão utilizados para a análise. Nessa etapa, é preciso obedecer às regras de exaustividade (não omitir nada), representatividade (representar o todo), homogeneidade (referir-se ao mesmo tema), pertinência (ajustar-se ao conteúdo e objetivo da pesquisa) e exclusividade (um artigo não estar em mais de uma categoria).
2. Exploração do material: consiste na aplicação das técnicas definidas na fase anterior. Essa fase consiste essencialmente da caracterização dos artigos, definindo as dimensões a serem analisadas como: contexto, espaço e tempo, e conteúdo. Esse processo transforma os dados dos artigos em descrições exatas das características pertinentes do conteúdo e as categorias vão se tornando cada vez mais claras e adequadas aos objetivos do estudo.
3. Tratamento de resultados, inferência e interpretação: os resultados da fase anterior são manipulados para produzir conhecimento e permitir aplicação. Como resultado final, tem-se os conteúdos analisados de forma significativa, para a proposição de inferências e adiantar interpretações dos objetivos previamente definidos. A inferência é uma ferramenta de indução para investigar as causas a partir dos efeitos. A interpretação tem sentido com a relação entre o referencial teórico e os dados obtidos. As interpretações levam as inferências a buscar a profundidade do conteúdo e das afirmações dos artigos.

Para a análise de conteúdo dos artigos desta pesquisa, foi utilizado o método proposto por Duriau, Reger e Pfarrer (2007) em conjunto com as fases propostas por Bardin (2011), em que serão realizados: (I) definição da amostra, (II) codificação e (III) análise e interpretação dos resultados, por meio dos softwares ATLAS.ti Cloud e Taguette.

A etapa (I), de definição da amostra, é determinada pelos 29 artigos resultantes da agenda de pesquisa da RSL na categoria de práticas de sustentabilidade. A etapa (II), de codificação, aborda as unidades de análise das amostras segundo a determinação da subcategoria da agenda de pesquisa: práticas, indicadores ou estratégias. A etapa (III) de análise, foi realizada a qualificação dos artigos com o auxílio dos softwares ATLAS.ti Cloud e Taguette visando a identificação das características dos artigos, como por exemplo: em relação ao tipo do estudo (teórico/conceitual, revisão de literatura, modelagem/simulação, estudo de caso, pesquisa-ação ou *survey*), identificou-se o setor industrial de aplicação do estudo, as ferramentas utilizadas, dificuldades/barreiras encontradas e os fatores de sucesso na implementação dos modelos, a fim de auxiliar a construção do *framework* desta pesquisa. Além disso, foram identificados também, os impactos das práticas de EE em relação às dimensões ambiental, econômica e social da sustentabilidade em cada um dos artigos.

### 3.3 ETAPA 3 – AVALIAÇÃO DO *FRAMEWORK*

Uma vez que um *framework* é construído, se faz necessária a avaliação crítica do seu conteúdo. Na etapa 3 foi realizado um questionário para avaliar e refinar o *framework* construído (GIL, 2010).

De acordo com MacKenzie *et al.* (2011), uma vez que são gerados conteúdos para estruturar um *framework*, estes devem ser avaliados quanto a sua validade de conteúdo. Nesta pesquisa, a estratégia de avaliação utilizada para aprimorar o *framework* foi a aplicação de um questionário a especialistas e pesquisadores da área. A aplicação de um questionário foi escolhida para identificar a adequação dos itens do *framework*, bem como sua viabilidade, usabilidade e utilidade (PLATTS, 1993).

Segundo Flynn *et al.* (1990), o questionário é normalmente utilizado como método de coleta de dados e fornece uma base para a construção e administração das questões a serem avaliadas, de forma a maximizar sua confiabilidade e validade. Para a construção do questionário, é necessário um conjunto de variáveis com base na literatura e no pensamento lógico do pesquisador. Além disso, para definir quem vai responder o questionário, ou seja, ‘a amostra’, é preciso selecionar indivíduos com um nível de conhecimento apropriado ao que propõe o estudo (FLYNN *et al.* 1990).

Para esta pesquisa, foram selecionados como amostra os autores e coautores dos trabalhos encontrados na revisão de literatura, totalizando 212 possíveis respondentes, e as perguntas foram desenvolvidas com base nas práticas do *framework* proposto e suas relações.

As questões do questionário são fechadas e a fim de coletar informações adicionais do pesquisador, para cada questão foi adicionada a opção de justificar a resposta. Assim, informações que não foram contempladas no questionário e que o pesquisador considerou importante, ele poderia acrescentar nesses itens.

O questionário foi enviado eletronicamente a 212 pesquisadores, sendo esses autores ou coautores dos artigos utilizados como portfólio nesta pesquisa. No corpo do e-mail, foi adicionada uma carta de convite para os pesquisadores responderem ao questionário de forma anônima e voluntária. Foram obtidas 16 respostas ao questionário enviado, as quais foram analisadas em planilhas eletrônicas (Excel).

Para analisar os resultados obtidos na aplicação do questionário, a escala Likert é normalmente utilizada como escala de intervalo (ANAND; BAHINIPATI, 2012). No questionário aplicado neste trabalho, foi utilizada uma escala Likert de cinco pontos que variou os níveis de influência em: 1- definitivamente não, 2- provavelmente não, 3- indeciso, 4- provavelmente sim, e 5- definitivamente sim, para os pesquisadores analisarem se a prática em questão está adequada ou não ao *framework*.

Além disso, é necessária a aplicação de um teste piloto do questionário antes de ser aplicado a amostra selecionada. O teste piloto fornece um *feedback* sobre como o questionário em relação a sua facilidade de resposta e clareza das informações, além de indicar pontos que necessitam de atenção, buscando sempre a objetividade das questões do questionário. Por meio de um teste piloto, é possível aplicar um questionário preliminar a um pequeno grupo de respondentes, não havendo a necessidade de selecioná-los aleatoriamente. O teste piloto foi submetido a três professores do departamento do Programa de Pós-graduação desta pesquisa, a fim de avaliar a interpretação das questões, a tradução para o inglês, e a lógica do questionário. Após o teste piloto, o questionário passa por uma revisão, a fim de ajudar a garantir a validade e confiabilidade das variáveis, além de torná-las mais fáceis de utilizar (FLYNN *et al.*, 1990).

O questionário já testado e aprimorado, pode ser aplicado de maneira presencial ou virtual (via e-mail). A pesquisas por e-mail são eficazes para áreas de pesquisa bem definidos e específicos, quando possuem um escopo restrito. Ainda segundo Flynn *et al.* (1990), a abordagem via e-mail normalmente utilizada é de enviar o questionário a uma amostra relativamente grande e esperar que um número aceitável seja retornado (de 10 a 20%). Nesta pesquisa, o questionário obteve um retorno de 12,26% de respostas e foi enviado por e-mail a cada 2 dias durante 36 dias (13/08/2021 a 17/09/2021), utilizando um formulário do *Google Forms* para coletar as respostas dos pesquisadores, o qual encontra-se no Apêndice C.



Os resultados do questionário foram organizados e agrupados utilizando planilhas eletrônicas do Excel, a fim de organizar, analisar e tirar conclusões válidas dos dados empíricos. A análise das informações relativas à avaliação do *framework* proposto neste trabalho está apresentada no capítulo 5, onde foram analisados os percentuais das respostas de cada questão em relação a escala Likert e também em relação as sugestões escritas pelos pesquisadores.

## 4

## DESENVOLVIMENTO

---

Essa seção é dedicada a aplicação dos procedimentos metodológicos e na abordagem dos principais resultados coletados da literatura sobre práticas de EE na manufatura com viés em sustentabilidade. Com os resultados da análise de conteúdo e painel comparativo da literatura, o *framework* é construído e refinado.

### 4.1 ANÁLISE DE CONTEÚDO

Em virtude da busca cada vez maior por parte das indústrias por uma produção mais limpa, melhora da EE, redução do consumo de energia e de emissões de gases poluentes, cresce também a busca por métodos e ferramentas que auxiliem gestores industriais a atingir esses objetivos sustentáveis. Visto que, a implementação de práticas de EE, buscando também objetivos sustentáveis nas indústrias de manufatura, apresenta abordagens com características e aspectos relevantes, é necessário identificar essas características e aspectos para que o *framework* seja construído.

Após a realização do levantamento da literatura em busca de artigos com modelos de EE relacionados a sustentabilidade realizada de acordo com a etapa 1 apresentada no capítulo 3, foram encontrados 52 artigos sobre práticas de EE e sustentabilidade. A partir desse portfólio foram identificados que os modelos apresentavam abordagens diferentes em relação a metodologia utilizada. O Quadro 4.1 apresenta as abordagens e os autores identificados.

Quadro 4.1 – Categorização dos *frameworks* identificados

<b>Framework</b>	<b>Autores</b>
Processual	Zampou, Plitsos, Karagiannaki e Mourtos (2014); Zhang, Ma, Yang, Lv e Liu (2018); Papetti, Menghi, Domizio, Germani e Marconi (2019); Zhang, Fu, Xie, Hu, Li e Guo (2020).
Modelagem/ Simulação	Zampou, Plitsos, Karagiannaki e Mourtos (2014); Carvalho, Larsen e Goldman (2015); Guo, Duflou, Qian, Tang e Lauwers (2015); O'Driscoll, Kelly e O'Donnell (2015); Wang e Feng (2015); Li, Zhang e Liu (2016); Edelenbosch, Kermeli, Crijns-Graus, Worrell, Bibas, Fais, Fujimori, Kyle, Sano e Van Vuuren (2017); Lin e Du (2017); Solnørdal e Thyholdt (2017); Summerbell, Khripko, Barlow e Hesselbach (2017); Edem e Balogun (2018); Ferreira, Arnal, Royo, García-Armingol, López-Sabirón e Ferreira (2019); Grigoroudis, Kouikoglou, Phillis e Kanellos (2019); Gong, Kao e Peters (2019); Peng, Zou, Wang, Chen, Wei, Wu, Yang e Li (2019); Safarzadeh e Rasti-Barzoki (2019); Braglia, Castellano, Gabbrielli e Marrazzini (2020); Wang e Yuan (2020).
Teórico/ Conceitual	Yang (2006); Patlitzianas, Doukas, Kagiannas e Psarras (2008); Saidur e Mekhilef (2010); Santoyo-Castelazo e Azapagic (2014); Ball (2015); Büscher e Sumpf (2015); Wang, Lu, Li e Li (2015); Bhanot, Rao e Deshmukh (2016); Bergquist e Söderholm (2016); Liang, Dong, Luo, Ren, Zhang, Gao e Dou (2016); May, Stahl, Taisch e Kiritsis (2016); McQuaid e Bergmann (2016); Fresner, Morea, Krenn, Uson e Tomasi (2017); Grilli, De Meo, Garegnani e Paletto (2017); Ingarao (2017); Silvestre e Gimenes (2017); Mahapatra, Alm, Hallgren, Bischoff, Tuglu, Kuai, Yang, Umoru, (2017); Martín-Gamboa, Iribarren, García-Gusano e Dufour (2017); de Oliveira Neto, Pinto, Amorim, Giannetti e de Almeida (2018); Hernandez, Cooper-Searle, Skelton e Cullen (2018); Abeelen, Harmsen e Worrell (2019); Abu-Rayash e Dincer (2019); Assada, Alkana, Chinnathaia, Ahmada, Rushforth e Harrisona (2019); Brinkerink, Chegut e Letterie (2019); Menghi, Papetti, Germani e Marconi (2019); Naicker e Thopil (2019); Simsek, Lorca, Urmee, Bahri e Escobar (2019); Trianni, Cagno, Bertolotti, Thollander e Anderssonc (2019); Bahl, Gupta e Elzinga (2020); Hendiani, Sharif, Bagherpour e Ghannadpour (2020); Cin, Acuner e Onaygil (2021).

Fonte: A autora (2021)

Ao analisar o Quadro 4.1, é possível concluir que a abordagem mais encontrada na literatura foi de *frameworks* teóricos (21), seguido por modelos de simulação ou modelagem (17), e apenas quatro processuais. A partir da identificação das abordagens dos modelos, foi realizada uma análise em relação ao tipo de estudo, setor da indústria, ferramentas utilizadas, os limitantes encontrados e as práticas de sucesso dos *frameworks*.

Quadro 4.2 – Classificação dos *frameworks* processuais

Artigo	Tipo de Estudo	Área da Indústria	Ferramenta utilizada	Práticas de EE	Limitantes/ Lacunas
Zampou <i>et al.</i> (2014)	Estudo de Caso e Modelo	Indústria de manufatura	<i>Framework</i> para sistemas de informação de energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Promover o gerenciamento baseado em energia e suporte inteligente à decisão</li> <li>- Definição de decisões estratégicas com consciência energética</li> <li>- Coleta de dados de consumo de energia</li> <li>- Monitoramento do consumo de energia</li> <li>- Utilização de novas tecnologias e IoT</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preocupações ambientais, legislação mais rígida e custos inflacionados de energia</li> </ul>
Zhang <i>et al.</i> (2018)	Prova de Conceito	Indústrias com uso intensivo de energia	<i>Framework</i> Analítico orientado por <i>big data</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definição e aplicação de objetivos e políticas energéticas</li> <li>- Monitoramento e análise dos dados de energia gerados durante o processo produtivo</li> <li>- Combinação de métodos de análise de consumo de energia</li> <li>- Utilização de novas tecnologias para aprimorar o monitoramento dos processos produtivos</li> <li>- Tomada de decisão eficiente em termos de energia e serviços de aplicação de <i>big data</i> de energia</li> <li>- Utilização de indicadores de desempenho relacionados a energia</li> <li>- Investimento em P&amp;D</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- São poucas as ferramentas de medição do consumo de energia em indústrias de uso intensivo de energia</li> <li>- São poucas as metodologias que combinam aplicação de mineração de dados por <i>big data</i> a métodos de análise do consumo de energia</li> </ul>

continua

<b>Artigo</b>	<b>Tipo de Estudo</b>	<b>Área da Indústria</b>	<b>Ferramenta utilizada</b>	<b>Práticas de EE</b>	<b>Limitantes/ Lacunas</b>
Papetti <i>et al.</i> (2019)	Estudo de Caso	Indústrias de manufatura	Mapeamento de Valor de Recursos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definição de metas e objetivos energéticos</li> <li>- Coleta, avaliação e monitoramento de dados de EE</li> <li>- Utilização de indicadores de desempenho relacionados a energia</li> <li>- Identificação dos fluxos de energia</li> <li>- Definição de um plano para redução do consumo de energia</li> <li>- Definição de um plano de ação concreto e viável para lidar efetivamente com as ineficiências</li> <li>- Utilização de ferramentas para o uso ideal de energia</li> <li>- Ter uma visão geral do processo produtivo para a tomada de decisão com princípios de manufatura sustentável</li> <li>- Melhorar a consciência das partes interessadas e estender os limites da análise energética</li> <li>- Definição de estratégias de melhoria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- São poucas as metodologias mais abrangentes e com resultados a longo prazo</li> <li>- Dificuldade na medição do consumo de energia em tempo real</li> <li>- Faltam métodos de avaliação de EE de maneira estruturada e eficaz</li> </ul>
Zhang <i>et al.</i> (2020)	Estudo de Caso e Modelo	Indústria de manufatura	Modelo para previsão e otimização do consumo de energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementação de um sistema de gerenciamento de energia</li> <li>- Desenvolvimento de políticas e medidas energéticas</li> <li>- Incentivo para o desenvolvimento sustentável</li> <li>- Monitoramento da eficácia das políticas e medidas desenvolvidas</li> <li>- Previsão do consumo de energia</li> <li>- Otimização do consumo de energia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento no consumo de energia</li> </ul>

Fonte: A autora (2021)

O Quadro 4.2 apontou as principais características dos *frameworks* processuais encontrados na revisão de literatura. Algumas práticas específicas foram utilizadas com maior frequência, como a definição e aplicação de objetivos, metas e políticas energéticas; monitoramento e análise dos fluxos de energia; utilização de novas tecnologias e investimento em P&D; ter uma visão geral do processo produtivo para uma melhor tomada de decisão; e a utilização de indicadores de desempenho relacionados a energia.

Zampou *et al.* (2014) identificaram as principais funcionalidades que podem ser utilizadas em um sistema de informação para o monitoramento de energia e análises com consciência de energia. Embora existam modelos de dados disponíveis para muitos aspectos da manufatura, como pedidos, planos de processo e execuções de produção, essa integração de dados feita por Zampou *et al.* (2014) é de extrema importância para apoiar as operações do dia a dia e as decisões estratégicas com consciência energética.

Em relação a definição de metas e políticas energéticas, Zhang *et al.* (2018) defendem que o próprio governo pode auxiliar na definição de objetivos energéticos para conversação eficiente de energia por meio da gestão conjunta com as empresas. Os autores propõem também que o governo desenvolva políticas e padrões relacionadas ao consumo de energia, como penalidade financeira e administrativa em algum grau, quando a empresa não atingir o objetivo proposto. Também podem ser implementados esquemas de incentivo que satisfaçam o grau do sistema de benchmarking de energia.

Já para Papetti *et al.* (2019), a definição de metas de energia claras e alcançáveis vem de uma análise consistente e na definição do objetivo principal, da precisão, da frequência e dos limites do sistema. Tais limites podem se concentrar em uma única máquina, em áreas de produção, ou em todo o chão de fábrica. Pode referir-se a diferentes intervalos de tempo, desde um único tempo de ciclo até toda a produção anual. Pode considerar um ou mais produtos ou famílias de produtos (ou seja, grupos de bens que passam por processos de produção semelhantes). De acordo com o modelo hierárquico, diferentes níveis de detalhamento podem ser adotados. A definição dos limites do sistema está estritamente relacionada ao objetivo principal da análise e aos dados adicionais disponíveis.

Sobre a prática de monitoramento e análise dos fluxos de energia, tanto Zampou *et al.* (2014) quanto Zhang *et al.* (2018) e Papetti *et al.* (2019) defendem a utilização de ferramentas para a coleta de dados relacionados ao consumo de energia em tempo real. Os estudos defendem que as novas tecnologias auxiliam no monitoramento dos processos produtivos e do consumo de energia em tempo real.

Ainda em relação a utilização de novas tecnologias, além de auxiliar na medição e monitoramento dos dados, Zhang *et al.* (2018) defendem também a aquisição de equipamentos e maquinários atualizados, uso de IoT, além da manutenção preventiva para evitar o desperdício desnecessário de energia.

Em relação ao investimento em P&D, Zhang *et al.* (2018) argumentam que pode trazer novas compreensões sobre o consumo de energia na manufatura, o que fornece uma direção de pesquisa teórica e prática no acadêmico e campo industrial, além do próprio desenvolvimento de novas tecnologias.

Para os dois modelos apresentados, foram propostas práticas para analisar, de maneira geral e abrangente, todo o processo produtivo da indústria para orientar e melhorar o processo de tomada de decisão na implementação de práticas sustentáveis de energia. Papetti *et al.* (2019) propõem a utilização de ferramentas para mapeamento de fluxos de energia de toda a planta da indústria, que se faz necessário para entender completamente como os recursos são usados, para alocar adequadamente os consumos, e para interpretar os resultados de forma eficaz.

O *framework* de Zhang *et al.* (2018) sugere a utilização de sensores e medidores inteligentes para a coleta e armazenamento de dados em tempo real de energia. Por meio da análise do consumo de energia, informações e conhecimentos importantes são descobertos a partir desses dados de energia, o que otimiza e melhora a tomadas de decisão de EE pelos gestores corporativos.

A utilização de indicadores relacionados a energia, segundo Zhang *et al.* (2018) podem ser usados para fortalecer a base teórica necessária para apoiar a tomada de decisões nas indústrias. Além disso, os indicadores podem identificar possíveis drivers de energia específicos da indústria em seu sistema de produção e tornar transparente o perfil de comportamento energético do sistema de produção. Por exemplo, os gerentes das oficinas podem encontrar o problema de excesso no consumo de energia na produção e resolvê-lo.

Para Papetti *et al.* (2019), o uso de indicadores de desempenho relacionados a energia pode auxiliar na visualização de forma fácil, rápida e eficiente, como e onde a energia e os recursos são usados ou desperdiçados. Porém, para os autores, o uso de indicadores de áreas da indústria específicos não permite a identificação das operações e/ou departamentos menos eficientes e as soluções práticas para melhorar o desempenho do processo de fabricação. São necessários indicadores adequados aos níveis de processo e planta padronizados.

O Quadro 4.3 apresenta a análise para os *frameworks* de simulação ou modelagem encontrados na revisão de literatura.

Quadro 4.3 – Classificação dos *frameworks* de simulação ou modelagem

<b>Artigo</b>	<b>Tipo de Estudo</b>	<b>Área da Indústria</b>	<b>Ferramenta utilizada</b>	<b>Práticas de EE</b>	<b>Limitantes/Lacunas</b>
Carvalho, Larsen e Goldman (2015)	Estudo de Caso	Indústrias de Serviços de Energia	Estimativas de economia de energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicação efetiva de políticas, regulamentos e normas de EE sustentáveis a longo prazo</li> <li>- Proposição metas de redução de emissão de gases poluentes</li> <li>- Coleta de banco de dados de EE</li> <li>- Investimentos financeiros e de conhecimento para programas de EE</li> <li>- Economia de energia para indústrias que aplicaram pelo menos uma política de conservação de energia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de investimentos financeiros e de conhecimento</li> <li>- Descontos e incentivos de energia não são atraentes para as indústrias</li> </ul>
Guo <i>et al.</i> (2015)	Estudo de Caso e Simulação	Usinagem	Modelo para previsão do consumo de energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redução do consumo de energia na produção</li> <li>- Redução do impacto ambiental dos processos de fabricação</li> <li>- Coleta de dados de consumo de energia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento contínuo dos preços de energia</li> </ul>
O'Driscoll, Kelly e O'Donnell (2015)	Estudo de Caso e Modelagem	Usinagem	Medição do consumo de energia (algoritmo de detecção de eventos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicação de abordagens para o monitoramento e gerenciamento de energia</li> <li>- Investimentos em novas tecnologias</li> <li>- Coleta, processamento e análise dos dados de consumo de energia</li> <li>- Treinamento aos gerentes e tomadores de decisão para análise dos dados de energia</li> <li>- Acompanhamento do fluxo de energia, quantificação e análise dos dados para identificar oportunidades de melhoria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A implementação de sistemas de medição de energia é muito complexa</li> <li>- Dependência de combustíveis fósseis</li> </ul>

continua



<b>Artigo</b>	<b>Tipo de Estudo</b>	<b>Área da Indústria</b>	<b>Ferramenta utilizada</b>	<b>Práticas de EE</b>	<b>Limitantes/Lacunas</b>
Wang e Feng (2015)	Estudo de Caso	Indústria de manufatura	Análise Envoltória de Dados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investimentos em novas tecnologias e processos sustentáveis</li> <li>- Desenvolvimento de fontes alternativas de energia renovável</li> <li>- Investimentos em proteção ambiental</li> <li>- Atuação do governo na proposição de regulamentos relacionados a economia de energia e redução de emissões de gases poluentes e políticas ambientais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Crescimento na demanda de consumo de energia e recursos</li> <li>- Expansão da poluição ambiental</li> </ul>
Li, Zhang e Liu (2016)	Estudo de Caso	Indústria de manufatura	Análise Envoltória de Dados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicação efetiva de políticas, regulamentos e normas de EE sustentáveis</li> <li>- Investimento em novas tecnologias</li> <li>- É fundamental restringir a redução do custo de energia causada pela melhoria de EE</li> <li>- É necessária uma política tributária de energia para intervir no preço e na demanda de energia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investimentos em novos equipamentos aumenta o consumo de energia</li> <li>- Efeito rebote na melhoria da EE</li> </ul>
Edelenbosch <i>et al.</i> (2017)	Estudo de Caso e Simulação	Indústria de Cimento	Modelos de Avaliação Integrada e Modelo de Economia de Energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Emprego de estratégias para mitigar emissões</li> <li>- Definição de políticas climáticas para mitigar as emissões</li> <li>- Investimentos em tecnologias de mitigação de emissões</li> <li>- Compreensão das tecnologias existentes de mitigação de emissões</li> <li>- Busca de alternativas de energias renováveis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento do consumo de energia</li> <li>- O setor da indústria continua dependente de combustíveis fósseis</li> </ul>

continua

<b>Artigo</b>	<b>Tipo de Estudo</b>	<b>Área da Indústria</b>	<b>Ferramenta utilizada</b>	<b>Práticas de EE</b>	<b>Limitantes/ Lacunas</b>
Lin e Du (2017)	Estudo de Caso e Simulação	Metalúrgica	Modelo de Regressão e Análise de Cenários	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definição de estratégias de conservação de energia e redução de emissões de gases poluentes</li> <li>- Investimentos em P&amp;D e novas tecnologias</li> <li>- Diminuição do uso de combustíveis fósseis</li> <li>- Elevação o nível de educação e de tecnologia da mão de obra</li> <li>- O governo deve promover reformas administrativas para a indústria para remover as barreiras de economia de energia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento na demanda de energia, poluição ambiental e pouca segurança energética</li> </ul>
Solnørdal e Thyholdt (2017)	Estudo de Caso	Indústria de manufatura	Modelo de Regressão	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entendimento profundo dos fatores que impulsionam a implementação de EE</li> <li>- Investimentos em EE</li> <li>- Definição de políticas de EE</li> <li>- Objetivos ambientais e de economia de energia impulsionam a EE</li> <li>- Elevação do nível de conhecimento da organização sobre as inovações ambientais por meio de treinamentos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dificuldade em alcançar um nível real de EE</li> <li>- A importância do conhecimento e da educação têm sido pouco explorados na literatura</li> </ul>
Summerbell <i>et al.</i> (2017)	Estudo de Caso e Modelagem	Indústria de Cimento	Aplicação de um Algoritmo de Custo Mínimo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinação de oportunidades de reduzir as emissões</li> <li>- Aumento no uso de energias renováveis</li> <li>- Definição de estratégias de EE</li> <li>- Levantamento de dados de consumo de energia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto consumo de energia e emissão de gases poluentes</li> </ul>
Edem e Balogun (2018)	Estudo de Caso	Usinagem	Modelo para verificação do uso de energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planejamento de processos da indústria</li> <li>- Redução do consumo de energia</li> <li>- Determinação de maneiras de reduzir os impactos ambientais</li> <li>- Melhoria no rendimento para evitar desperdícios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto consumo de energia</li> </ul>

continua

<b>Artigo</b>	<b>Tipo de Estudo</b>	<b>Área da Indústria</b>	<b>Ferramenta utilizada</b>	<b>Práticas de EE</b>	<b>Limitantes/Lacunas</b>
Ferreira <i>et al.</i> (2019)	Estudo de Caso	Indústria Agroalimentar	Avaliação do Ciclo de Vida	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investimentos em novas tecnologias</li> <li>- Utilização de tecnologias para aumentar a EE</li> <li>- Avaliação dos impactos ambientais dos produtos e processos</li> <li>- Diminuição do consumo de energia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Crescimento na tendência de impactos e mudanças climáticas</li> </ul>
Grigoroudis <i>et al.</i> (2019)	Modelo matemático	Indústria de manufatura	Modelo de definição e avaliação de sustentabilidade energética	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fornecimento de energia adequado, confiável e acessível em conformidade com as dimensões sociais e ambientais</li> <li>- Uso de indicadores de energia para as 3 dimensões da sustentabilidade</li> <li>- Utilização de fontes de energia renováveis</li> <li>- Redução do consumo de energia e da emissão de gases poluentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dificuldade na avaliação da sustentabilidade energética</li> <li>- Dependência de combustíveis fósseis</li> </ul>
Gong, Kao e Peters (2019)	Estudo de Caso	Indústria de computadores	Modelo de decisão de investimento (programação dinâmica)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicação efetiva de políticas, regulamentos e normas de EE sustentáveis</li> <li>- Investimentos em novas tecnologias</li> <li>- Investimentos em tecnologias e processos sustentáveis</li> <li>- Redução de emissões de gases poluentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento da produção industrial</li> <li>- Demora no retorno do investimento</li> <li>- Investimentos em novos equipamentos aumenta o consumo de energia</li> </ul>

continua

<b>Artigo</b>	<b>Tipo de Estudo</b>	<b>Área da Indústria</b>	<b>Ferramenta utilizada</b>	<b>Práticas de EE</b>	<b>Limitantes/ Lacunas</b>
Peng <i>et al.</i> (2019)	Estudo de Caso	Indústria de metais e de construção	Modelo de Análise de entrada-saída de energia e Análise de rede ecológica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Promoção de gestão sustentável de energia e metais</li> <li>- Foco em estratégias de conservação de energia</li> <li>- Adoção do uso de novas tecnologias de economia de energia</li> <li>- Realização de avaliações quantitativas do consumo de energia</li> <li>- Adoção de prática de reciclagem dos metais</li> <li>- Aumento da eficiência no uso de energia e metais</li> <li>- Aumento do nível de conhecimento dos colaboradores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento da urbanização e consequente aumento no consumo de energia e de metais</li> </ul>
Safarzadeh e Rasti-Barzoki (2019)	Modelo de Simulação	Indústria de manufatura	Teoria dos Jogos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os governos devem motivar as indústrias a seguir programas de EE</li> <li>- Os governos podem promover políticas financeiras de incentivo</li> <li>- Redução do consumo de energias renováveis</li> <li>- Melhorias tecnológicas de EE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Efeito rebote da melhoria de EE</li> <li>- Falta de políticas energéticas</li> <li>- Limitação de recursos naturais (não renováveis)</li> </ul>

continua

<b>Artigo</b>	<b>Tipo de Estudo</b>	<b>Área da Indústria</b>	<b>Ferramenta utilizada</b>	<b>Práticas de EE</b>	<b>Limitantes/Lacunas</b>
Braglia <i>et al.</i> (2020)	Estudo de Caso e Modelo	Indústria de Papel	Modelo de implantação do custo de energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de um sistema de apoio a decisão, monitoramento e controle</li> <li>- Classificação e análise da causa das perdas relacionadas à energia, com foco na sua redução e eliminação, proporcionando oportunidades de maior eficiência</li> <li>- Ações corretivas na energia disponível no processo</li> <li>- Priorização de ações corretivas em função dos recursos disponíveis e do impacto esperado dos projetos de melhoria em relação às perdas</li> <li>- Utilização de abordagens sistemáticas e estruturadas para padronizar as atividades de melhoria</li> <li>- Investimentos em tecnologias</li> </ul>	- Crescimento dos impactos ambientais
Wang e Yuan (2020)	Estudo de Caso	Indústria de Cigarro	Análise Envoltória de Dados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investimentos em novas tecnologias</li> <li>- Cálculo do potencial de economia de energia e redução das emissões</li> <li>- A otimização das estruturas de energia é uma forma importante de diminuir as emissões de CO<sub>2</sub></li> <li>- Redução no uso de eletricidade</li> <li>- Fortalecimento do uso de energias limpas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento das emissões de gases poluentes</li> <li>- Dependência de energias não renováveis</li> </ul>

Fonte: A autora (2021)

Na classificação dos *frameworks* que apresentaram modelos de simulação ou de modelagem notamos que entre os principais modelos apresentados, se destacaram a Análise Envoltória de Dados, Avaliações do custo de energia, Avaliação do Ciclo de Vida e Modelos de Regressão, além de pesquisas com Modelo de decisão de investimento, Método de implantação do custo da energia, e Teoria dos Jogos. Em relação aos mais utilizados, destaca-se que:

- Análise Envoltória de Dados (AED): a AED é uma abordagem não paramétrica para avaliação da eficiência, e tem sido amplamente usada para medir a produtividade ambiental e energética (WANG; FENG, 2015). Além disso, é uma abordagem metodológica inovadora, que permite quantificar com precisão os resultados do processo tecnológico (LI; ZHANG; LIU, 2016). O método AED tem muitas vantagens para avaliações de eficiência, por exemplo, não é necessário estimar a função de produção com antecedência, o que tem evitado assim a influência de fatores subjetivos dos tomadores de decisão. Ainda, pode retratar os níveis de produção eficazes e fornecer benchmarks para melhorar a eficiência (WANG; YUAN, 2020).
- Avaliação do Ciclo de Vida (ACV): é uma ferramenta utilizada para avaliar os impactos ambientais de produtos e processos e pode ser aplicada para avaliar inúmeras implicações ambientais no processo produtivo. A ACV é a base para metodologias emergentes, como a pegada ambiental do produto, ou seja, é um procedimento harmonizado para medir a pegada ambiental dos produtos e para melhorar a comunicação do desempenho ambiental (FERREIRA et al., 2019).
- Modelo de Regressão: é uma técnica utilizada para analisar a relação entre uma variável independente ou mais, e é normalmente aplicada em análises do comportamento das emissões de gases. Esse modelo é um meio significativo de análise de situações econômicas, e permite quantificar e analisar a variável em questão. O modelo de regressão pode projetar também o consumo de energia por meio de variáveis como o custo de energia, por exemplo (LIN; DU, 2017; SOLNØRDA; THYHOLDT, 2017).
- Análise da economia de energia: é preciso estimar a economia de energia de maneira abrangente ao implementar políticas de EE, visando analisar o desempenho dessas políticas, e aplicar mudanças e melhorias direcionadas e assertivas (CARVALLO; LARSEN; GOLDMAN, 2015). Da mesma maneira, O'Driscoll, Kelly e O'Donnell (2015) identificaram que a utilização de abordagens para captura e análise do

consumo de energia facilita a redução dos impactos energéticos e ambientais, pois auxilia na identificação de ineficiências e na implementação de estratégias de melhoria focadas.

- Avaliação do custo de energia: é utilizada para classificar e quantificar os custos relacionados a energia (SUMMERBELL et al., 2017). Essa avaliação auxilia na identificação dos fatores econômicos de energia, e proporciona também a identificação de oportunidades de maior eficiência e eficácia na redução e eliminação desses custos (BRAGLIA et al., 2020). Os modelos de avaliação do custo de energia priorizam ações corretivas em função dos recursos disponíveis e do impacto esperado dos projetos de melhoria em relação aos custos. Isso é crucial para evitar a dispersão de capital e outros recursos na implementação de projetos ineficazes.

Em relação as práticas mais utilizadas, temos: a definição e aplicação de políticas energéticas e sustentáveis, tanto por parte dos governos, como pelas organizações; a proposta de metas de redução do consumo de energia e da emissão de poluentes; o investimento em novas tecnologias, e na promoção de treinamentos para promover o conhecimento dos gestores. Além disso, os modelos identificaram a importância da coleta, análise, avaliação e monitoramento do fluxo e consumo de energia nas indústrias, principalmente para a implementação adequada de EE nas indústrias. Muitos trabalhos destacam também a influência da EE para a sustentabilidade, mostrando a importância da adoção de objetivos ambientais nas indústrias, e da importância da utilização de energias limpas (LIANG *et al.*, 2016; EDELENBOSCH *et al.*, 2017; FRESNER *et al.*, 2017); SOLNØRDAL; THYHOLDT, 2017; ZHANG *et al.*, 2018; MENGHI *et al.*, 2019). Braglia *et al.* (2020) defendem que melhorar a EE na indústria é uma forma importante de aumentar a competitividade, que também ajudará a reduzir o aquecimento global e alcançar uma produção sustentável.

Uma dificuldade em comum identificada nos estudos, e que justifica a busca por ferramentas de EE e sustentáveis, é aumento do consumo de energia, e conseqüentemente, da emissão de gases poluentes por parte da indústria. A dependência por energias não renováveis, a falta de investimentos em novas tecnologias e conhecimento, além da falta de políticas energéticas e ambientais, tanto por parte dos gestores da organização quanto dos governantes também são obstáculos a serem vencidos pelas indústrias.

Quanto aos *frameworks* teóricos e conceituais, o Quadro 4.4 apresenta a análise dos trabalhos selecionados na revisão de literatura.

Quadro 4.4 - Classificação dos *frameworks* teóricos ou conceituais

Artigo	Tipo de Estudo	Área da Indústria	Ferramenta utilizada	Práticas de EE	Limitantes/ Lacunas
Yang (2006)	Estudo de Caso	Indústria de manufatura	Análise e comparação de políticas de EE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estabelecimento de um sistema de gerenciamento de energia com nomeações de gerentes e profissionais de EE</li> <li>- Realização de auditorias de EE</li> <li>- Aplicação de políticas de preços, desenvolvimento institucional e tecnologia de EE</li> <li>- Estabelecimento de normas de conservação de energia</li> <li>- Divulgação dos resultados de EE</li> </ul>	- Aumento da demanda de energia
Patlitzianas <i>et al.</i> (2008)	Revisão de Literatura	Indústria de manufatura	<i>Framework</i> operacional de indicadores de sustentabilidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formulação de políticas de energia sustentável</li> <li>- Utilização de indicadores de energia sustentável</li> <li>- Análise do uso de energia e seus impactos econômicos, ambientais e sociais</li> <li>- Monitoramento da evolução das políticas implementadas</li> </ul>	- Falta de uma estrutura de indicadores adequada
Saidur e Mekhilef (2010)	Estudo de Caso e Modelo	Industria de Borracha	Análise do uso e da economia de energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investimento e utilização de novas tecnologias e equipamentos modernos e de alto rendimento</li> <li>- Coleta de dados relacionados ao uso e economia de energia</li> <li>- Análise da emissão de gases poluentes na produção</li> <li>- Realização de auditorias de energia</li> <li>- Aplicação de estratégias de economia de energia</li> <li>- Aplicação de políticas de redução de emissão</li> </ul>	- Alto uso de energia pelas indústrias de borracha

continua



Artigo	Tipo de Estudo	Área da Indústria	Ferramenta utilizada	Práticas de EE	Limitantes/ Lacunas
Santoyo-Castelazo e Azapagic (2014)	Estudo de Caso e Modelo	Indústria de manufatura	<i>Framework</i> de apoio à decisão para avaliação da sustentabilidade da energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Esforços do governo para o desenvolvimento de políticas</li> <li>- Utilização de indicadores ambientais, econômicos e sociais</li> <li>- Adoção de tecnologias energéticas</li> <li>- Utilização de fontes de energia renováveis</li> <li>- Redução do consumo de energia e emissão de gases poluentes</li> </ul>	- Falta de uma metodologia genérica para sistemas energéticos permitindo uma avaliação de sustentabilidade
Ball (2015)	Revisão de Literatura	Indústria de manufatura	Análise da EE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investimentos em novas tecnologias</li> <li>- Planejamento dos processos da indústria</li> <li>- Capacitação dos gerentes e tomadores de decisão</li> <li>- Redução do uso de eletricidade</li> <li>- Promoção de melhorias de rendimento para evitar desperdícios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dependência de combustíveis fósseis</li> <li>- Falta de conhecimento em EE por parte da gerência</li> </ul>
Büscher e Sumpf (2015)	Estudo de Caso	Indústria de manufatura	Método para aceitação de novas tecnologias	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilização de redes inteligentes integradas ao sistema de energia</li> <li>- Desenvolvimento de confiança e segurança aos colaboradores na implementação de novas tecnologias</li> </ul>	- Aceitação social às novas tecnologias
Wang <i>et al.</i> (2015)	Estudo de Caso e Modelo	Usinagem	Modelo de planejamento sustentável	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estímulo e melhoria de EE e redução da emissão durante o processo produtivo</li> <li>- Coleta de dados do consumo de energia de todo o processo de produção</li> <li>- Investimentos em novas tecnologias e máquinas de alto rendimento</li> <li>- Monitoramento dos dados de energia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de abordagens para gestão sustentável</li> <li>- Alto consumo de energia</li> </ul>

continua

<b>Artigo</b>	<b>Tipo de Estudo</b>	<b>Área da Indústria</b>	<b>Ferramenta utilizada</b>	<b>Práticas de EE</b>	<b>Limitantes/ Lacunas</b>
Bhanot, Rao e Deshmukh (2016)	Revisão de Literatura e Modelo	Usinagem	Indicadores Sustentáveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilização de tecnologias sustentáveis</li> <li>- Redução do consumo de energia</li> <li>- Redução da emissão de poluentes e geração de resíduos</li> <li>- Utilização de indicadores para avaliar a sustentabilidade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Impactos da manufatura no meio ambiente</li> <li>- Aumento do consumo de recursos não renováveis</li> </ul>
Bergquist e Söderholm (2016)	Estudo de Caso	Indústria de Papel	Análise das estratégias energéticas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Esforços de P&amp;D e novas tecnologias</li> <li>- Redução no consumo de energia</li> <li>- Melhoria no aproveitamento das matérias primas e de energia</li> <li>- Redução de emissões</li> <li>- Estratégias do governo para a substituição do petróleo por biocombustíveis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dependência de combustíveis fósseis</li> </ul>
McQuaid e Bergmann (2016)	Revisão de Literatura	Indústria de manufatura	Análise do desenvolvimento de empregos em indústrias de energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Promoção do bem-estar humano e a distribuição justa de empregos</li> <li>- Promover oportunidades para inovação e empreendedorismo</li> <li>- Utilização de fontes de energia renováveis</li> <li>- Treinamentos para aumentar a conscientização e a compreensão da EE</li> <li>- Promover programas de habilidades especializadas em EE e sustentabilidade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Empregabilidade e a escassez de habilidades</li> </ul>
Liang <i>et al.</i> (2016)	Estudo de Caso	Indústria de manufatura	Método de Regressão	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definição das estratégias de mitigação de emissões industriais</li> <li>- Aplicação de políticas, regulamentos e normas de EE e sustentáveis</li> <li>- Utilização de tecnologias de controle de emissões</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento da produção industrial e o consequente aumento das emissões</li> </ul>

continua

Artigo	Tipo de Estudo	Área da Indústria	Ferramenta utilizada	Práticas de EE	Limitantes/ Lacunas
Fresner <i>et al.</i> (2017)	Estudo de Caso e Modelo	Indústria de manufatura	Modelo Teórico de Auditoria energética	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proposição de políticas de EE e sustentáveis</li> <li>- Apoio a medidas de financiamento e investimentos em tecnologias de EE</li> <li>- Realização de auditorias de energia</li> <li>- Capacitação de gerentes e tomadores de decisão</li> <li>- Armazenamento de informações de consumo de energia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Métodos e ferramentas de auditoria energética eficazes e abrangentes são escassos</li> <li>- Demora no retorno financeiro</li> </ul>
Grilli et al. (2017)	Estudo de Caso e Modelo	Indústria de manufatura	Framework de avaliação da energia renovável	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definição e aplicação de EE</li> <li>- Utilização de fontes de energia renováveis</li> <li>- Redução da emissão de gases do efeito estufa</li> <li>- Melhoria na segurança energética e qualidade de vida</li> <li>- Medição dos impactos sustentáveis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dependência de combustíveis fósseis</li> <li>- Impactos ambientais, sociais e econômicos do uso de energia renovável</li> </ul>
Ingarao (2017)	Revisão de Literatura	Indústria de Metal	Análise da eficiência de materiais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proposição de medidas e políticas de EE e sustentáveis</li> <li>- Definição de estratégias para mitigar os impactos ambientais de produção</li> <li>- Melhoria no rendimento para evitar desperdícios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redução no impacto ambiental de todo o processo produtivo</li> </ul>
Mahapatra <i>et al.</i> (2017)	Estudo de Caso e Modelo	Indústria de manufatura	<i>Framework</i> teórico de fatores que afetam o desempenho de um projeto de EE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementação de auditorias de energia</li> <li>- Implementação da ISO 50.001</li> <li>- Treinamento de pessoal</li> <li>- Redução do consumo de energia</li> <li>- Desenvolvimento de políticas, metas, e objetivos de EE</li> <li>- Conscientização do chão de fábrica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mudança de comportamento</li> </ul>

continua

Artigo	Tipo de Estudo	Área da Indústria	Ferramenta utilizada	Práticas de EE	Limitantes/Lacunas
Martín-Gamboa <i>et al.</i> (2017)	Revisão de Literatura	Indústria de manufatura	Indicadores Sociais, Econômicos e Ambientais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementação de um sistema de gestão de energia sustentável</li> <li>- Definição de políticas e medidas energéticas e sustentáveis</li> <li>- Melhorias na EE</li> <li>- Redução das emissões de gases de efeito estufa</li> <li>- Segurança energética</li> <li>- Utilização de indicadores de desempenho sustentável</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Emissão de gases poluentes</li> <li>- Falta de um indicador que integre todas as dimensões da sustentabilidade</li> </ul>
May <i>et al.</i> (2017)	Revisão de Literatura e Modelo	Indústria de manufatura	<i>Framework</i> para gerenciamento de energia na manufatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementação de um sistema de gestão de energia</li> <li>- Desenvolvimento de políticas e medidas de EE e sustentabilidade</li> <li>- Coleta de dados de consumo de energia</li> <li>- Redução do consumo de energia e emissão de gases poluentes</li> <li>- Utilização de novas tecnologias</li> <li>- Monitoramento do consumo de energia e das emissões</li> <li>- Investimentos em P&amp;D e inovações</li> <li>- Utilização de indicadores de desempenho de EE e de sustentabilidade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento no consumo de energia</li> <li>- Dependência de combustíveis fósseis</li> </ul>
Silvestre e Gimenes (2017)	Estudo de Caso e Modelo	Indústria de Petróleo	Modelo teórico de diretrizes sustentáveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desenvolvimento de políticas, metas, e objetivos sustentáveis para a indústria</li> <li>- Definição de uma gerência de energia com funções, responsabilidades e autoridade</li> <li>- Estabelecimento de métricas, avaliação e correção do desempenho energético e sustentável</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de padronização nas diretrizes sustentáveis para a indústria</li> </ul>
De Oliveira Neto <i>et al.</i> (2018)	Estudo de Caso e Modelo	Indústria de manufatura	Framework para ações sustentáveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Políticas públicas de incentivo a EE</li> <li>- Utilização de fontes de energia renováveis</li> <li>- Redução de emissão de gases do efeito estufa</li> <li>- Reaproveitamento de recursos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de incentivos para ações das três dimensões da sustentabilidade</li> </ul>

continua

Artigo	Tipo de Estudo	Área da Indústria	Ferramenta utilizada	Práticas de EE	Limitantes/ Lacunas
Hernandez <i>et al.</i> (2018)	Estudo de Caso e Modelo	Indústria de manufatura	<i>Framework</i> Conceitual de políticas energéticas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificação das variáveis que vão influenciar a formulação de políticas de EE</li> <li>- Formulação de políticas de EE</li> <li>- Utilização de indicadores para avaliar a EE</li> <li>- Medição as emissões de gases</li> <li>- Análise da viabilidade de implementação</li> <li>- Capacitação de gestores e partes interessadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de políticas energéticas</li> <li>- Falta de conhecimento em EE por parte da gerência</li> </ul>
Abeelen, Harmsen e Worrell (2019)	Estudo de Caso e Modelo	Indústria de manufatura	Indicadores de EE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desenvolvimento de políticas de EE</li> <li>- Redução do consumo de energia</li> <li>- Coleta de dados de consumo de energia</li> <li>- Utilização de indicadores de EE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de orientação sobre o melhor indicador de EE</li> </ul>
Abu-Rayash e Dincer (2019)	Estudo de Caso e Modelo	Indústria de manufatura	<i>Framework de</i> avaliação da sustentabilidade em sistemas de energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementação de um sistema de gestão de energia</li> <li>- Utilização de indicadores sustentáveis</li> <li>- Utilização de fontes de energia renováveis</li> <li>- Redução do consumo de energia, emissão de gases poluentes e geração de resíduos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento da demanda de energia</li> <li>- Falta de modelos de avaliação de sustentabilidade para sistemas de energia</li> </ul>
Assada et al. (2019)	Revisão de Literatura e Modelo	Indústria de manufatura	Framework de indicadores de sistemas de energia de manufatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementação de um sistema de gerenciamento de energia</li> <li>- Integração de medidas sustentáveis ao sistema</li> <li>- Coleta de dados de consumo de energia</li> <li>- Utilização de indicadores de energia padronizados</li> <li>- Identificação de ineficiências</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento do preço de energia e dos impactos ao meio ambiente</li> </ul>
Brinkerink, Chegut e Letterie (2019)	Estudo de Caso e Modelo	Indústria de manufatura	Análise do consumo e eficiência de energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investimentos em tecnologias ambientais e equipamentos de alto rendimento</li> <li>- Análise dos impactos ambientes relacionados ao consumo de energia e emissão de gases</li> <li>- Adição de metas ambientais às metas competitivas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A utilização de equipamentos modernos aumenta o consumo de energia</li> </ul>

continua

Artigo	Tipo de Estudo	Área da Indústria	Ferramenta utilizada	Práticas de EE	Limitantes/ Lacunas
Menghi <i>et al.</i> (2019)	Revisão de Literatura e Modelo	Indústria de manufatura	Modelo Conceitual de Avaliação de energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumenta da transparência do consumo de energia utilizando de métodos de análise</li> <li>- Utilização de indicadores de energia padronizados para avaliar como a energia é consumida durante o processo de produção</li> <li>- Identificação de desperdícios de energia na produção</li> <li>- Utilização de métodos de economia de energia para identificar oportunidades de redução de consumo e dos impactos ambientais</li> <li>- Investimento em tecnologias que melhorem a sustentabilidade e a EE</li> <li>- Capacitação dos gestores de EE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Impactos ambientais nos processos de fabricação</li> <li>- São escassos os métodos abrangentes e adequados para EE em ambientes industriais</li> </ul>
Naicker e Thopil (2019)	Revisão de Literatura e Modelo	Indústria de manufatura	Framework para seleção de energia renovável	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incentivo do governo</li> <li>- Formulação de políticas de energia sustentável</li> <li>- Utilização de fontes de energia renováveis</li> <li>- Investimentos em P&amp;D</li> <li>- Investimentos em novas tecnologias</li> <li>- Investimentos em habilidades e conhecimento dos colaboradores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dependência de combustíveis fósseis</li> <li>- Falta de conhecimento e habilidades</li> <li>- Alto custo de investimento inicial</li> </ul>
Simsek <i>et al.</i> (2019)	Revisão de Literatura	Indústria de manufatura	Avaliação da política energética	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O governo deve desenvolver leis, regulamentos, códigos e padrões de EE</li> <li>- Elevação da utilização de energias renováveis</li> <li>- Junção de ferramentas de energia renovável e de EE para produzir impacto substancial</li> <li>- Determinação de planos de energia sustentável de longo prazo para alcançar metas ambientais e de energia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de políticas energéticas</li> <li>- Falta de conhecimento dos formuladores de energia</li> </ul>

continua

<b>Artigo</b>	<b>Tipo de Estudo</b>	<b>Área da Indústria</b>	<b>Ferramenta utilizada</b>	<b>Práticas de EE</b>	<b>Limitantes/ Lacunas</b>
Trianni <i>et al.</i> (2019)	Revisão de Literatura e Modelo	Indústria de manufatura	Modelo de avaliação de práticas de EE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementação de um sistema de gestão de energia</li> <li>- Aplicação de práticas de EE</li> <li>- Investimentos em novas tecnologias</li> <li>- Proposição de medidas e políticas de EE</li> </ul>	- Falta de uma abordagem para avaliar as práticas de EE
Hendiani <i>et al.</i> (2020)	Revisão de Literatura e Modelo	Indústria de manufatura	<i>Framework</i> de avaliação da sustentabilidade para sistemas de energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementação de um sistema de gestão de energia sustentável</li> <li>- Aplicação efetiva de políticas e medidas sustentáveis</li> <li>- Determinar o nível de sustentabilidade existente no sistema de energia</li> <li>- Utilização de indicadores de desempenho sustentável</li> </ul>	- Emissão de gases poluentes
Bahl <i>et al.</i> (2021)	Revisão de Literatura e Modelo	Indústria Alimentar	<i>Framework</i> conceitual de estratégias sustentáveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicação de estratégias sustentáveis em todo o processo produtivo</li> <li>- Utilização de tecnologia de ponta</li> <li>- Utilização de fontes de energia renováveis</li> <li>- Reutilização do calor perdido pelas caldeiras</li> <li>- Redução da emissão de gases do efeito estufa</li> </ul>	- Emissão de gases poluentes
Cin, Acuner e Onaygil (2021)	Estudo de Caso e Modelo	Indústria de manufatura	<i>Framework</i> de políticas de EE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desenvolvimento de políticas de EE</li> <li>- Apoio e incentivo dos governos</li> <li>- Economia pela redução do consumo de energia</li> <li>- Treinamentos para aumentar a conscientização e a compreensão da EE</li> <li>- Utilização da abordagem de melhoria contínua</li> </ul>	- Falta de políticas públicas de EE

Fonte: A autora (2021)

Os artigos do Quadro 4.4 apresentaram *frameworks* teóricos ou conceituais, de como analisar e avaliar o consumo de energia, e métodos e ferramentas de medidas de economia de energia. Esses modelos visam também apoiar a avaliação energética e a colaboração das partes interessadas para ajudar os gerentes a melhorar as tomadas de decisão na EE.

As abordagens mais frequentes dos *frameworks* teóricos ou conceituais, foram os métodos de análise e avaliação das políticas energéticas por parte dos governos e dos gestores das indústrias, e ferramentas de análise e avaliação do consumo, economia e eficiência de energia. O restante dos modelos apresentou abordagens de como implementar estratégias sustentáveis nas indústrias, como realizar auditorias energéticas, sobre análise das emissões de gases poluentes, e do uso de indicadores sustentáveis.

Com a análise de conteúdo dos modelos teóricos, foi percebida a importância da utilização de métodos e ferramentas para avaliação de energia (MENGHI *et al.*, 2019). Os modelos são essenciais para as atividades de gestão de energia, pois permitem que os tomadores de decisão identifiquem oportunidades de melhoria e rastreiem os efeitos de suas decisões sobre o uso de energia. Além disso, essas ferramentas podem ajudar as indústrias a lidar com o conhecimento e as barreiras organizacionais da implementação de medidas de redução de energia (SAIDUR; MEKHILEF, 2010). Os métodos e ferramentas permitem o monitoramento e a análise do consumo de energia de uma fábrica e seus processos de fabricação, e representam o primeiro passo para o aumento da EE.

Além disso, as ferramentas e métodos de avaliação de energia aumentam a transparência do consumo de energia em tempo real de um sistema e melhoram a consciência energética. Eles permitem analisar diferentes aspectos da produção, como por exemplo, tecnologias e matéria-prima, e avaliar seus efeitos na EE. Os modelos do Quadro 4.4, em sua maioria, fornecem às empresas de manufatura, métodos abrangentes e pragmáticos de medir, controlar e melhorar a EE em sistemas de produção.

Acerca das áreas de aplicação dos modelos na indústria, a maioria dos modelos foram desenvolvidos para indústrias de manufatura em geral (cerca de 43% dos modelos), seguido de indústrias de usinagem (12%), metalúrgica (9%), indústria de cimento (6%) e papel (6%). O restante dos modelos foi aplicado em indústrias de cigarro, borracha, petróleo, agroalimentar e de energia.

Para a construção do *framework* desta pesquisa, foi necessário identificar as práticas encontradas nos Quadros 4.2, 4.3 e 4.4 e analisar a maneira que elas se relacionam. O Quadro 4.5 aponta o levantamento das práticas de EE e seus respectivos autores.



Quadro 4.5 – Práticas de EE encontradas na literatura

<b>Prática</b>	<b>Autores</b>
Definição de um grupo de profissionais para a gestão de energia	Yang (2006); Mahapatra <i>et al.</i> (2017); Silvestre e Gimenes (2017); Braglia <i>et al.</i> (2020).
Programas de gestão de energia	Yang (2006); McQuaid e Bergmann (2016); Braglia <i>et al.</i> (2020); Ball (2015).
Uso de sistemas de gestão de energia	Büscher e Sumpf (2015); O'Driscoll, Kelly e O'Donnell (2015); Fresner <i>et al.</i> (2017); Martín-Gamboa <i>et al.</i> (2017); Assada <i>et al.</i> (2019); Menghi <i>et al.</i> (2019); Trianni <i>et al.</i> (2019); Braglia <i>et al.</i> (2020); Hendiani <i>et al.</i> (2020); Zhang <i>et al.</i> (2020).
Implementação da ISO 50001	Mahapatra <i>et al.</i> (2017); Menghi <i>et al.</i> (2019).
Auditorias energéticas	Yang (2006); Saidur e Mekhilef (2010); Fresner <i>et al.</i> (2017), Mahapatra <i>et al.</i> (2017).
Conscientização e treinamento do pessoal	Ball (2015); Büscher e Sumpf (2015); Carvallo, Larsen e Goldman (2015); O'Driscoll, Kelly e O'Donnell (2015); McQuaid e Bergmann (2016); Fresner <i>et al.</i> (2017); Lin e Du (2017); Mahapatra <i>et al.</i> (2017); Silvestre e Gimenes (2017); Solnørdal e Thyholdt (2017); Hernandez <i>et al.</i> (2018); Menghi <i>et al.</i> (2019); Naicker e Thopil (2019); Peng <i>et al.</i> (2019); Cin, Acuner e Onaygil (2021).
Empenho por parte dos gestores e envolvimento dos colaboradores	O'Driscoll, Kelly e O'Donnell (2015); McQuaid e Bergmann (2016); Lin e Du (2017); Silvestre e Gimenes (2017); Solnørdal e Thyholdt (2017); Zhang <i>et al.</i> (2018).
Mudança cultural sobre a importância de práticas sustentáveis	Lin e Du (2017); Solnørdal e Thyholdt (2017).
Adoção de novas tecnologias	Yang (2006); Saidur e Mekhilef (2010); Ball (2015); Büscher e Sumpf (2015); Carvallo, Larsen e Goldman (2015); O'Driscoll, Kelly e O'Donnell (2015); Wang <i>et al.</i> (2015); Wang e Feng (2015); Bergquist e Söderholm (2016); Li, Zhang e Liu (2016); Edelenbosch <i>et al.</i> (2017); Fresner <i>et al.</i> (2017); Lin e Du (2017); Zhang <i>et al.</i> (2018); Brinkerink, Chegut e Letterie (2019); Ferreira <i>et al.</i> (2019); Gong, Kao e Peters (2019); Menghi <i>et al.</i> (2019); Naicker e Thopil (2019); Peng <i>et al.</i> (2019); Safarzadeh e Rasti-Barzoki (2019); Trianni <i>et al.</i> (2019); Braglia <i>et al.</i> (2020); Wang e Yuan (2020); Bahl <i>et al.</i> (2021).
Adoção de tecnologias limpas e sustentáveis	Zampou <i>et al.</i> (2014); Wang e Feng (2015); Bergquist e Söderholm (2016); Bhanot, Rao e Deshmukh (2016); Liang <i>et al.</i> (2016); Gong, Kao e Peters (2019); Naicker e Thopil (2019); Bahl <i>et al.</i> (2021).

continua

Prática	Autores
Investimento em P&D	Bergquist e Söderholm (2016); Lin e Du (2017); Zhang <i>et al.</i> (2018); Naicker e Thopil (2019).
Investimentos em proteção ambiental	Wang e Feng (2015); Edelenbosch <i>et al.</i> (2017); Solnørdal e Thyholdt (2017).
Políticas e estratégias para de incentivo do uso eficiente de energia	Yang (2006); Patlitzianas <i>et al.</i> (2008); Saidur e Mekhilef (2010); Ball (2015); Carvallo, Larsen e Goldman (2015); Guo <i>et al.</i> (2015); Wang <i>et al.</i> (2015); Wang e Feng (2015); Bergquist e Söderholm (2016); Bhanot, Rao e Deshmukh (2016); Li, Zhang e Liu (2016); Liang <i>et al.</i> (2016); Fresner <i>et al.</i> (2017); Grilli <i>et al.</i> (2017); Lin e Du (2017); Ingarao (2017); Mahapatra <i>et al.</i> (2017); Martín-Gamboa <i>et al.</i> (2017); Solnørdal e Thyholdt (2017); De Oliveira Neto <i>et al.</i> (2018); Edem e Balogun (2018); Hernandez <i>et al.</i> (2018); Zhang <i>et al.</i> (2018); Abeelen, Harmsen e Worrell (2019); Gong, Kao e Peters (2019); Papetti <i>et al.</i> (2019); Safarzadeh e Rasti-Barzoki (2019); Simsek <i>et al.</i> (2019); Trianni <i>et al.</i> (2019); Hendiani <i>et al.</i> (2020); Wang e Yuan (2020); Zhang <i>et al.</i> (2020); Cin, Acuner e Onaygil (2021).
Políticas e estratégias para o incentivo do uso de medidas sustentáveis	Patlitzianas <i>et al.</i> (2008); Saidur e Mekhilef (2010); Guo <i>et al.</i> (2015); Wang <i>et al.</i> (2015); Wang e Feng (2015); Bhanot, Rao e Deshmukh (2016); Liang <i>et al.</i> (2016); Edelenbosch <i>et al.</i> (2017); Fresner <i>et al.</i> (2017); Lin e Du (2017); Ingarao (2017); Mahapatra <i>et al.</i> (2017); Martín-Gamboa <i>et al.</i> (2017); Silvestre e Gimenes (2017); Solnørdal e Thyholdt (2017); Edem e Balogun (2018); Assada <i>et al.</i> (2019); Brinkerink, Chegut e Letterie (2019); Grigoroudis <i>et al.</i> (2019); Gong, Kao e Peters (2019); Menghi <i>et al.</i> (2019); Naicker e Thopil (2019); Peng <i>et al.</i> (2019); Hendiani <i>et al.</i> (2020); Bahl <i>et al.</i> (2021).
Levantamento de dados sobre o consumo de energia	Saidur e Mekhilef (2010); Carvallo, Larsen e Goldman (2015); O'Driscoll, Kelly e O'Donnell (2015); Wang <i>et al.</i> (2015); Fresner <i>et al.</i> (2017); Mahapatra <i>et al.</i> (2017); Silvestre e Gimenes (2017); Summerbell <i>et al.</i> (2017); Zhang <i>et al.</i> (2018); Abeelen, Harmsen e Worrell (2019); Assada <i>et al.</i> (2019); Menghi <i>et al.</i> (2019); Papetti <i>et al.</i> (2019); Braglia <i>et al.</i> (2020).
Levantamento de dados sobre emissão de gases poluentes	Saidur e Mekhilef (2010); Carvallo, Larsen e Goldman (2015); Grilli <i>et al.</i> (2017); Martín-Gamboa <i>et al.</i> (2017); Silvestre e Gimenes (2017); Summerbell <i>et al.</i> (2017); De Oliveira Neto <i>et al.</i> (2018).

continua

<b>Prática</b>	<b>Autores</b>
Avaliação e análise do consumo energético	Patlitzianas <i>et al.</i> (2008); Carvallo, Larsen e Goldman (2015); Guo <i>et al.</i> (2015); O'Driscoll, Kelly e O'Donnell (2015); Silvestre e Gimenes (2017); Edem e Balogun (2018); Zhang <i>et al.</i> (2018); Brinkerink, Chegut e Letterie (2019); Ferreira <i>et al.</i> (2019); Menghi <i>et al.</i> (2019); Papetti <i>et al.</i> (2019); Peng <i>et al.</i> (2019); Braglia <i>et al.</i> (2020); Wang e Yuan (2020).
Utilização de fontes de energia renováveis	Bergquist e Söderholm (2016); McQuaid e Bergmann (2016); Edelenbosch <i>et al.</i> (2017); Grilli <i>et al.</i> (2017); Lin e Du (2017); De Oliveira Neto <i>et al.</i> (2018); Grigoroudis <i>et al.</i> (2019); Naicker e Thopil (2019); Safarzadeh e Rasti-Barzoki (2019); Simsek <i>et al.</i> (2019); Wang e Yuan (2020); Bahl <i>et al.</i> (2021).
Proposição de plano de ação para correção de perdas energéticas	Ball (2015); Edem e Balogun (2018); Papetti <i>et al.</i> (2019); Simsek <i>et al.</i> (2019); Braglia <i>et al.</i> (2020).
Monitoramento do consumo de energia	Patlitzianas <i>et al.</i> (2008); Carvallo, Larsen e Goldman (2015); Guo <i>et al.</i> (2015); O'Driscoll, Kelly e O'Donnell (2015); Wang <i>et al.</i> (2015); Silvestre e Gimenes (2017); Edem e Balogun (2018); Zhang <i>et al.</i> (2018); Abeelen, Harmsen e Worrell (2019); Ferreira <i>et al.</i> (2019); Papetti <i>et al.</i> (2019).
Monitoramento da emissão de gases poluentes	Carvallo, Larsen e Goldman (2015); Liang <i>et al.</i> (2016); Grilli <i>et al.</i> (2017); Martín-Gamboa <i>et al.</i> (2017); Edem e Balogun (2018); Hernandez <i>et al.</i> (2018).
Prevenção na geração de resíduos	Wang e Feng (2015); Bahl <i>et al.</i> (2021).
Uso eficiente das matérias primas e recursos	Bergquist e Söderholm (2016); Ingarao (2017); De Oliveira Neto <i>et al.</i> (2018); Assada <i>et al.</i> (2019); Peng <i>et al.</i> (2019); Bahl <i>et al.</i> (2021).
Compartilhamento dos resultados	Yang (2006).
Melhor compreensão das tecnologias de mitigação de emissões de gases poluentes	Edelenbosch <i>et al.</i> (2017).
Utilização de indicadores de desempenho	Patlitzianas <i>et al.</i> (2008); Bhanot, Rao e Deshmukh (2016); Grilli <i>et al.</i> (2017); Martín-Gamboa <i>et al.</i> (2017); Hernandez <i>et al.</i> (2018); Zhang <i>et al.</i> (2018); Abeelen, Harmsen e Worrell (2019); Assada <i>et al.</i> (2019); Grigoroudis <i>et al.</i> (2019); Menghi <i>et al.</i> (2019); Papetti <i>et al.</i> (2019); Hendiani <i>et al.</i> (2020).
Melhoria Contínua	Mahapatra <i>et al.</i> (2017); Menghi <i>et al.</i> (2019); Cin, Acuner e Onaygil (2021).
Qualidade de vida dos colaboradores	McQuaid e Bergmann (2016).

Fonte: A autora (2021)

A partir do Quadro 4.5, foi possível identificar as principais práticas propostas pelos autores dos modelos encontrados na literatura. A prática que se destacou foi a de promoção de políticas, regulamentos, metas, objetivos ou estratégias para o uso eficiente de energia, tanto por parte dos governos, como das organizações. Em seguida, pelo investimento e adoção de novas tecnologias, práticas e medidas sustentáveis, realização de análise e avaliação da situação atual de consumo de energia da indústria, bem como seu monitoramento, e a conscientização e treinamento dos colaboradores sobre EE, além da importância da sustentabilidade não só a nível industrial, mas para a sociedade como um todo.

Foram percebidas nos artigos, além das práticas, algumas barreiras de EE nas indústrias, que foram semelhantes às encontradas por pesquisas anteriores. O Quadro 4.6 mostra os trabalhos e as respectivas barreiras (internas e externas) encontradas.

Quadro 4.6 – Barreiras encontradas na literatura

	<b>Barreira</b>	<b>Autores</b>
Interna	Processos ineficientes	Solnørdal e Thyholdt (2017); Brinkerink, Chegut e Letterie (2019).
	Falta de investimento em novas tecnologias	Carvallo, Larsen e Goldman (2015); Bergquist e Söderholm (2016); Edelenbosch <i>et al.</i> (2017); Naicker e Thopil (2019).
	Falta de conhecimento dos colaboradores e capacitação	Ball (2015); Carvallo, Larsen e Goldman (2015); Bergquist e Söderholm (2016); McQuaid e Bergmann (2016); Hernandez <i>et al.</i> (2018); Naicker e Thopil (2019); Simsek <i>et al.</i> (2019); Cin, Acuner e Onaygil (2021).
	Dificuldade na mudança comportamental do pessoal	Mahapatra <i>et al.</i> (2017).
	Falta de conhecimento sobre a demanda de consumo e planejamento ineficiente	Büscher e Sumpf (2015); O'Driscoll, Kelly e O'Donnell (2015).
	Dificuldade na medição do consumo de energia em tempo real	Zampou <i>et al.</i> (2014); Büscher e Sumpf (2015); Papetti <i>et al.</i> (2019).
	Falta de conhecimento sobre o retorno do investimento	Fresner <i>et al.</i> (2017); Gong, Kao e Peters (2019).

continua

Barreira		Autores
Externa	Utilização de matérias prima e energias insustentáveis	Ball (2015); O'Driscoll, Kelly e O'Donnell (2015); Wang e Feng (2015); Bergquist e Söderholm (2016); Liang <i>et al.</i> (2016); McQuaid e Bergmann (2016); Edelenbosch <i>et al.</i> (2017); Grilli <i>et al.</i> (2017); De Oliveira Neto <i>et al.</i> (2018); Grigoroudis <i>et al.</i> (2019); Naicker e Thopil (2019); Wang e Yuan (2020); Bahl <i>et al.</i> (2021).
	Falta de incentivo por parte dos governos	De Oliveira Neto <i>et al.</i> (2018); Hernandez <i>et al.</i> (2018); Naicker e Thopil (2019); Safarzadeh e Rasti-Barzoki (2019); Simsek <i>et al.</i> (2019); Cin, Acuner e Onaygil (2021).

Fonte: A autora (2021)

Para a construção do *framework*, deve-se levar em consideração as possíveis barreiras que as indústrias poderão enfrentar ao implementar EE em seus processos produtivos. As práticas de sucesso, encontradas na literatura, buscam minimizar essas barreiras, visando proporcionar benefícios tanto para a indústria como para a sociedade, como um todo.

Por fim, na análise de conteúdo, foram identificados possíveis impactos das práticas de EE nas dimensões do tripé da sustentabilidade (Ambiental, Econômico, Social). Foi percebido o impacto positivo de, pelo menos, uma das dimensões da sustentabilidade nos artigos analisados. O Quadro 4.7 apresenta os principais impactos positivos e sustentáveis nas indústrias relacionados à dimensão econômica.

Quadro 4.7 – Impactos Econômicos

Impacto	Autores
Redução de custos	Yang (2006); Saidur e Mekhilef (2010); Ball (2015); Carvallo, Larsen e Goldman (2015); Guo <i>et al.</i> (2015); O'Driscoll, Kelly e O'Donnell (2015); Wang <i>et al.</i> (2015); Wang e Feng (2015); Bergquist e Söderholm (2016); Li, Zhang e Liu (2016); Edelenbosch <i>et al.</i> (2017); Fresner <i>et al.</i> (2017); Ingarao (2017); Lin e Du (2017); Mahapatra <i>et al.</i> (2017); Silvestre e Gimenes (2017); Solnørdal e Thyholdt (2017); Summerbell <i>et al.</i> (2017); Edem e Balogun (2018); Hernandez <i>et al.</i> (2018); Zhang <i>et al.</i> (2018); Brinkerink, Chegut e Letterie (2019); Gong, Kao e Peters (2019); Papetti <i>et al.</i> (2019); Menghi <i>et al.</i> (2019); Peng <i>et al.</i> (2019); Safarzadeh e Rasti-Barzoki (2019); Simsek <i>et al.</i> (2019); Braglia <i>et al.</i> (2020); Wang e Yuan (2020).
Produtividade	Saidur e Mekhilef (2010); Wang <i>et al.</i> (2015); Li, Zhang e Liu (2016); Edelenbosch <i>et al.</i> (2017); Lin e Du (2017); Brinkerink, Chegut e Letterie (2019); Ferreira <i>et al.</i> (2019); Gong, Kao e Peters (2019); Menghi <i>et al.</i> (2019); Wang e Yuan (2020).
Vantagem Competitiva	Patlitzianas <i>et al.</i> (2008); Zhang <i>et al.</i> (2018); Brinkerink, Chegut e Letterie (2019); Braglia <i>et al.</i> (2020).

Fonte: A autora (2021)

Com base no Quadro 4.7, os principais benefícios identificados foram em relação a redução de custos, seguidos pelo aumento da produtividade das indústrias e, por fim, impactos positivos relacionados a vantagem competitiva no mercado. O maior benefício encontrado foi o relacionado a redução de custos, que podem ser tanto de energia quanto de recursos, mantendo ou aumentando a capacidade produtiva da organização.

Na sequência, os benefícios para reduzir os impactos ambientais e sustentáveis mais recorrentes nos artigos foram identificados, conforme Quadro 4.8.

Quadro 4.8 – Benefícios na redução dos impactos Ambientais

Impacto	Autores
Desenvolvimento Sustentável	Patlitzianas <i>et al.</i> (2008); Menghi <i>et al.</i> (2019); Silvestre e Gimenes (2017); Zhang <i>et al.</i> (2018); Safarzadeh e Rasti-Barzoki (2019); Braglia <i>et al.</i> (2020).
Redução do consumo de energia	Yang (2006); Saidur e Mekhilef (2010); Ball (2015); Carvallo, Larsen e Goldman (2015); Guo <i>et al.</i> (2015); O'Driscoll, Kelly e O'Donnell (2015); Wang <i>et al.</i> (2015); Wang e Feng (2015); Bergquist e Söderholm (2016); Li, Zhang e Liu (2016); Fresner <i>et al.</i> (2017); Ingarao (2017); Lin e Du (2017); Solnørdal e Thyholdt (2017); Edem e Balogun (2018); Hernandez <i>et al.</i> (2018); Zhang <i>et al.</i> (2018); Brinkerink, Chegut e Letterie (2019); Gong, Kao e Peters (2019); Menghi <i>et al.</i> (2019); Peng <i>et al.</i> (2019); Safarzadeh e Rasti-Barzoki (2019); Simsek <i>et al.</i> (2019); Wang e Yuan (2020).
Redução das emissões de gases poluentes	Saidur e Mekhilef (2010); Ball (2015); Wang e Feng (2015); Bergquist e Söderholm (2016); Liang <i>et al.</i> (2016); Edelenbosch <i>et al.</i> (2017); Summerbell <i>et al.</i> (2017); Zhang <i>et al.</i> (2018); Brinkerink, Chegut e Letterie (2019); Gong, Kao e Peters (2019); Papetti <i>et al.</i> (2019); Simsek <i>et al.</i> (2019); Braglia <i>et al.</i> (2020); Wang e Yuan (2020).
Uso de energias renováveis	O'Driscoll, Kelly e O'Donnell (2015); Bergquist e Söderholm (2016); Liang <i>et al.</i> (2016); Edelenbosch <i>et al.</i> (2017); Fresner <i>et al.</i> (2017); Silvestre e Gimenes (2017); Summerbell, Khripko, Barlow e Hesselbach (2017); Safarzadeh e Rasti-Barzoki (2019); Simsek <i>et al.</i> (2019).

Fonte: A autora (2021)

Segundo o Quadro 4.8, destaca-se que o principal benefício encontrado com a aplicação de práticas sustentáveis de EE foi a redução do consumo de energia pelas indústrias. Outros benefícios encontrados foi a melhoria no contexto ambiental, com redução de emissão de gases poluentes, em geral, nos processos de fabricação, o desenvolvimento sustentável das indústrias e a busca cada vez maior do uso de energias renováveis. Por fim, foram identificados os benefícios para reduzir os impactos sociais mais recorrentes, conforme Quadro 4.9.

Quadro 4.9 – Benefícios na redução dos impactos Sociais

<b>Impacto</b>	<b>Autores</b>
Qualidade de Vida e Saúde	Zhang <i>et al.</i> (2018); Safarzadeh e Rasti-Barzoki (2019).
Geração de emprego	Yang (2006); Bergquist e Söderholm (2016); Solnørdal e Thyholdt (2017).
Desenvolvimento de conhecimento e habilidades	Yang (2006); Lin e Du (2017); Solnørdal e Thyholdt (2017); Brinkerink, Chegut e Letterie (2019); Peng <i>et al.</i> (2019).
Segurança energética	Patlitzianas <i>et al.</i> (2008); Silvestre e Gimenes (2017).

Fonte: A autora (2021)

Conforme Quadro 4.9, os principais benefícios sociais mencionados foram o desenvolvimento de conhecimento e habilidades dos gerentes e colaboradores, e da geração de emprego. Além disso, foram encontrados benefícios relacionados à segurança energética e a qualidade de vida e saúde dos colaboradores da organização e da sociedade ao redor. Os benefícios de melhoria na qualidade de vida e saúde podem ser decorrentes da redução da poluição, por exemplo, que melhoram a qualidade do ar e podem diminuir a ocorrência de doenças respiratórias.

Conforme Safarzadeh e Rasti-Barzoki (2019), o bem-estar social na sociedade pode ser melhorado significativamente após os aperfeiçoamentos na EE, desde a produção de mais produtos e serviços de energia. Além disso, a melhoria do índice do PIB (Produto Interno Bruto) pode ser mencionada como um efeito secundário de fabricar mais produtos com o mesmo ou até menos consumo de energia, produzidos por indústria com práticas de EE.

Com a análise dos impactos da implementação da EE nas dimensões do tripé da sustentabilidade, é possível perceber que há uma valorização das dimensões econômica e ambiental em relação a dimensão social. Por isso, as organizações devem não apenas adotar práticas de EE, mas adotar a sustentabilidade como filosofia principal na organização, além de avaliar resultados e alinhar as estratégias de acordo com as três dimensões: econômica, ambiental e social.



## 4.2 CONSTRUÇÃO DO *FRAMEWORK*

A partir do levantamento das principais práticas de sucesso mais frequentes na literatura, a identificação das barreiras e possibilidades de mitigá-las, o *framework* de EE com foco na sustentabilidade foi construído. Para isso, foram consideradas as informações identificadas no levantamento da literatura e na análise de conteúdo com o objetivo de descrever os principais fatores e atividades necessárias para promover a EE na manufatura integrando as dimensões da sustentabilidade.

O *framework* desenvolvido busca auxiliar indústrias de manufatura a implementarem práticas de EE a luz da sustentabilidade. A base para a construção do *framework* seguiu o método de Menghi *et al.* (2019), que dividiu os métodos de avaliação de energia em grupos de análise, avaliação e medidas. O *framework* desta pesquisa foi construído com 4 grupos de práticas de EE: a primeira de definição de políticas energéticas e sustentáveis; a segunda etapa de avaliação do processo produtivo; a terceira etapa para a aplicação das práticas de EE e sustentáveis nas indústrias de manufatura, e; por fim, uma etapa de análise das práticas implementadas por meio de indicadores.

Além disso, para a construção do *framework*, foram utilizados também, alguns requisitos estabelecidos pela norma NBR ISO 50.001 – Sistemas de Gestão de Energia, relacionados ao uso eficiente de energia pelas organizações. As diretrizes para implantação de Sistema de Gestão de Energia baseado no ciclo PDCA da ISO 50.001 apresenta requisitos de: responsabilidade de gestão; definição de política energética; requisitos legais; indicadores de desempenho energético; objetivos de energia; metas de energia e planos de ação da gestão de energia; competência, treinamento e conscientização; comunicação; documentação; operação e controle; aquisição de equipamentos; monitoramento, medição e análise; avaliação da conformidade com os requisitos legais e outros requisitos; auditoria interna do sistema de gestão de energia; não conformidades, ação corretiva e ação preventiva; controle de registros; e a revisão do gerenciamento de energia (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018).

Dessa forma, levando em consideração os requisitos da ISO 50.001, os benefícios encontrados na literatura, tanto em relação a EE, quanto em relação aos impactos positivos nas dimensões da sustentabilidade, e buscando mitigar as barreiras usualmente encontradas na literatura, foram listadas as seguintes práticas para compor o *framework* de EE integrando as dimensões da sustentabilidade, de forma a auxiliar a implementação de EE e a obter benefícios

sustentáveis. As principais práticas encontradas na literatura (Quadro 4.5), e que fizeram parte do *framework* foram:

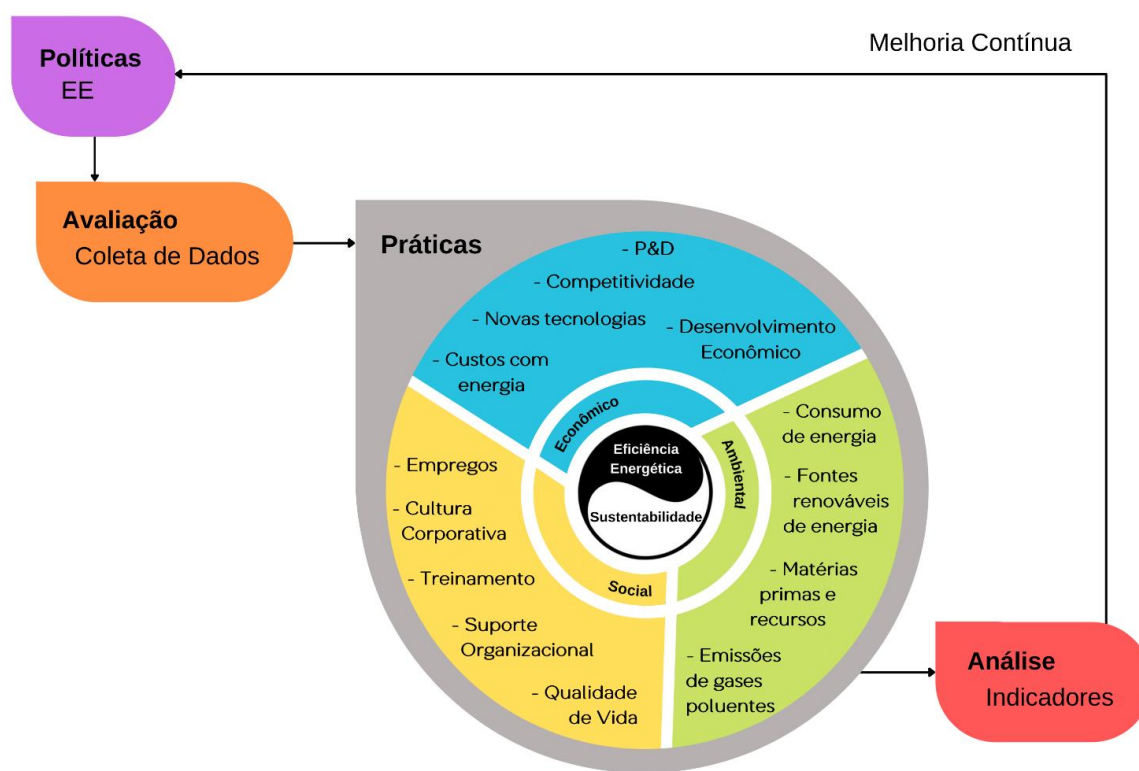
- Desenvolvimento de políticas e estratégias de incentivo do uso eficiente de energia;
- Desenvolvimento de políticas e estratégias de incentivo do uso de medidas sustentáveis;
- Adoção de novas tecnologias;
- Avaliação e análise do consumo energético;
- Monitoramento o consumo de energia;
- Conscientização e treinamento do pessoal;
- Empenho por parte dos gestores e envolvimento dos colaboradores;
- Utilização de fontes de energia renováveis;
- Utilização de indicadores de desempenho;
- Proposta de planos de ação para correção de perdas energéticas.

Essas práticas visam promover a implementação adequada e eficaz de EE em indústrias manufatureiras, além de promover a sustentabilidade. Tais práticas estão associadas a ISO 50.001, a qual foi desenvolvida justamente para ajudar a melhorar a EE das organizações por meio de um sistema de gestão de energia (JOVANOVIĆ; FILIPOVIĆ, 2016). Assim, o processo detalhado para a implementação eficaz de EE com benefícios sustentáveis, é detalhado na Figura 4.1.

Conforme a estrutura apresentada, o *framework* se baseia em quatro etapas principais: de políticas, avaliação, práticas e análise. A etapa de políticas ampara as etapas posteriores, ou seja, aponta a direção a ser seguida bem como suas limitações. Todas as etapas especificam práticas de sucesso para que uma indústria implemente, realize a manutenção e a melhoria de um sistema de gerenciamento de energia, com o propósito de capacitar a indústria no apoio a melhoria contínua do seu desempenho energético com a EE, e o uso e consumo de energia.

O *framework* proposto visa contribuir com a implementação da EE em indústrias de manufatura e incluir as dimensões da sustentabilidade, respeitando assim a funcionalidade do sistema energético orientado para o desenvolvimento sustentável e construído sobre as premissas da sustentabilidade (DE OLIVEIRA NETO *et al.*, 2018).

Figura 4.1 – *Framework* de EE integrando as dimensões da sustentabilidade



Fonte: A autora (2021)

O primeiro passo para a implementação de EE é a definição de um grupo de profissionais que serão responsáveis por essa implementação e pela gestão de energia (YANG, 2006; SILVESTRE; GIMENES, 2017; BRAGLIA *et al.*, 2020). Esse grupo ficará responsável por determinar, documentar, implementar, monitorar e melhorar a gestão de energia de acordo com as práticas propostas, além de medir, verificar e relatar a EE e a sustentabilidade, bem como outras atividades que contribuem para as metas que serão definidas (CIN; ACUNER; ONAYGIL, 2021). Com o grupo de profissionais definidos, é possível iniciar a implementação das práticas propostas pelo *framework*.

As etapas do *framework* construído são descritas a seguir.

### 1. Políticas

O processo de implantação de práticas de EE se inicia com a definição de políticas e metas energéticas para a EE. As políticas definidas pelos gestores de energia devem assumir o comprometimento da indústria em busca de melhorias energéticas e sustentáveis (ZHANG *et al.*, 2018).

O objetivo da política deve ser simples, claro e focado, e deve ser aplicado por meio de uma combinação cuidadosamente selecionada de legislação, regulamentação e processos administrativos. Ao decidir o combustível e a cobertura do setor de utilização final, a escolha deve ser feita de acordo com os objetivos gerais da política e as estimativas dos potenciais de EE para os diferentes combustíveis e setores (CIN; ACUNER; ONAYGIL, 2021).

É preciso que essas políticas sejam realistas e apropriadas ao tamanho da indústria, bem como da quantidade de energia que é consumida. Além disso, as políticas energéticas definidas devem considerar as condições financeiras, operacionais e técnicas da indústria, bem como o empenho por parte dos colaboradores e das partes interessadas (SOLNØRDAL; THYHOLDT, 2017).

Os gestores de energia, a partir da determinação das políticas, precisam definir metas de redução de energia, de emissões de gases poluentes e de recursos, o que significa a redução de custos e, conseqüentemente, aumento dos lucros e melhoria de competitividade. As metas energéticas e sustentáveis traçadas pelos gestores devem ser documentadas, e estabelecidos cronogramas para o seu o cumprimento. Além disso, os gestores devem analisar a existência de regulamentações de energia propostas pelo governo, para estar em conformidade com as mesmas (WANG; YUAN, 2020; MENGHI *et al.*, 2019; PENG *et al.*, 2019).

Cin, Acuner e Onaygil (2021) determinam, por exemplo, políticas de: uso eficiente de energia, prevenção de perdas e desperdícios de energia, redução de custos de energia e de emissões de carbono, e melhoria da eficiência para a proteção do meio ambiente. Além de: medidas para aumentar a eficiência na produção, a promoção de atividades de conscientização dos colaboradores, e desenvolver mecanismos financeiros de apoio a implementação de EE.

Segundo os autores, é preciso definir requisitos mínimos de economia de energia, limites na instalação de tecnologias com tempos de vida mais curtos, maiores recompensas por economias mais profundas e o uso de fluxos de financiamento adicionais. Além disso, o monitoramento, a verificação e a avaliação são essenciais para a integridade dos programas. Finalmente, as regras do programa devem ser tão simples quanto possível, mas tão complexas quanto necessário (CIN; ACUNER; ONAYGIL, 2021).

É possível também fazer a combinação de medidas políticas alternativas, como: impostos sobre energia e carbono, subsídios, abatimentos fiscais, isenções fiscais, programas de obrigação de EE, implantação de medidores inteligentes, financiamentos para assistência técnica e treinamentos para as ações de EE. As políticas podem começaram com metas baixas, mas sendo aumentadas ao longo do tempo, permitindo um período de “aprendizagem” para a implementação de EE (CIN; ACUNER; ONAYGIL, 2021).

## 2. Avaliação

Na etapa de avaliação, os gestores de energia precisam levantar as informações e características do seu consumo de energia, de recursos e de emissões de gases poluentes (SUMMERBELL *et al.*, 2017). Zhang *et al.* (2018) propõem, por exemplo, o uso de redes e sensores inteligentes que coletam e monitoram os dados relacionados a economia ou ao consumo de energia e de emissões.

Um sistema de energia pode não funcionar com sucesso sem um medidor de uso e economia inteligente apropriado. Portanto, o sucesso de um sistema depende muito da conformidade comportamental dos colaboradores, porque as ações (confiança), a ausência de ações (falta de confiança) e as contra ações (desconfiança) de usuários individuais de medidores inteligentes podem ter efeitos cumulativos significativos sobre a racionalidade geral. Essas expectativas em relação a confiança implicam uma mudança qualitativa nas prerrogativas subjacentes ao setor de energia. Uma confiança ativa em tecnologia (medidores inteligentes), mercados (gestão de reputação, sistemas de sanção) e organizações (supervisão, intermediários de confiança) se tornará indispensável para o futuro sistema de energia funcionar (BÜSCHER; SUMPFF, 2015).

Com o levantamento de dados do consumo de energia e de recursos, é possível identificar, por exemplo, quais as fontes de energia estão sendo utilizadas, o consumo real de energia e de recursos por todo o processo produtivo, quais máquinas, equipamentos e processos afetam significativamente o uso e consumo de energia, e determinar a situação atual em relação ao desempenho energético da indústria (FERREIRA *et al.*, 2019; PAPETTI *et al.*, 2019).

A EE é geralmente definida como a quantidade de energia usada para uma unidade de produção útil. Com isso, o levantamento de dados relativos ao consumo de energia é feito pela quantidade de produção energética e física (Joule/kg) e a intensidade energética por meio de valores energéticos e monetários (Joule/R\$). A principal escolha na definição do uso de energia de referência é medir a produção útil em termos físicos (por exemplo, toneladas) ou econômicos (\$/R\$/€). A economia de energia é, por definição, uma consequência das atividades de economia de energia, ou seja, significa uma quantidade de energia economizada determinada pela medição e/ou estimativa do consumo antes e depois da implementação de uma medida de melhoria da EE, garantindo a normalização para condições externas que afetam o consumo de energia (ABELEN; HARMSSEN; WORRELL, 2019).

E a coleta de dados sobre a utilização de fontes de energia renováveis pode ser feita por meio da quantidade de geração de eletricidade renovável (excluindo energia hidrelétrica; % do

total), a qual mede a participação da energia renovável na produção total de energia elétrica (GRIGOROUDIS *et al.* 2019).

### 3. Práticas

Na etapa de práticas, são realizadas as propostas de planos de ação e de melhoria no uso de energia (BRAGLIA *et al.*, 2020) considerando as três dimensões da sustentabilidade, para atingir as metas definidas na primeira etapa. Essas ações incluem a conscientização sobre a importância da sustentabilidade e da EE para a indústria (MENGHI *et al.*, 2019; PENG *et al.*, 2019), a realização de treinamento tanto dos gestores de energia, quanto dos colaboradores da indústria (SOLNØRDAL; THYHOLDT, 2017; HERNANDEZ *et al.*, 2018), investimentos em novas tecnologias – máquinas, equipamentos e sistemas (PENG *et al.*, 2019; SAFARZADEH; RASTI-BARZOKI, 2019; WANG; YUAN, 2020) e em projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) (ZHANG *et al.*, 2018).

São propostas também, a realização de auditorias energéticas (FRESNER *et al.*, 2017), a utilização de fontes renováveis de energia (SIMSEK *et al.*, 2019), e o uso eficiente de matérias primas e recursos (PENG *et al.*, 2019).

Além disso, as práticas da dimensão ambiental da sustentabilidade buscam a redução do consumo de energia, bem como da emissão de gases poluentes como: CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> e PM<sub>2.5</sub>, e o uso eficiente de recursos e matérias primas (GRIGOROUDIS *et al.* 2019).

O investimento em novas tecnologias e a forma dessas tecnologias influenciam a estrutura e o emprego nas organizações (BÜSCHER; SUMPF, 2015). Por isso, devem ser promovidos treinamentos para os colaboradores a fim de apoiar a inclusão de novas tecnologias de energias renováveis, de baixo carbono, de EE, além de tecnologias ambientais e limpas, gestão e reutilização de resíduos, e redução do carbono no fornecimento e gestão de energia (MCQUAID; BERGMANN, 2016; ZAMPOU *et al.*, 2014).

Para atrair e reter trabalhadores qualificados e atualizar as competências dos contratados, é importante considerar o potencial das pessoas poderem ter carreiras que valorizem no setor. O papel dos empregadores na indústria é crucial para aumentar o investimento em competências e desenvolvimento de carreira para os trabalhadores, especialmente os jovens trabalhadores e mulheres, por exemplo, por meio de estágios de qualidade (MCQUAID; BERGMANN, 2016).

A promoção de empregos no setor de energia deve ter como objetivo ajudar as pessoas a obter carreiras em que as políticas não se preocupem, principalmente, com a entrada rápida de pessoas no mercado de trabalho, mas que considerem investimentos significativos no capital

humano das pessoas que entram na indústria, para promover a produtividade e melhorar a “qualidade” do emprego e a sua sustentabilidade. Portanto, é necessário apoiar o desenvolvimento de trabalhadores pouco qualificados e candidatos a empregos para que possam entrar e progredir na indústria. Da mesma forma, há um forte preconceito de gênero na indústria, que pode igualmente reduzir a entrada e retenção dos melhores funcionários e inibir a igualdade social (MCQUAID; BERGMANN, 2016).

O financiamento de P&D tem o potencial para construir sistemas e infraestrutura de inovação que ajudam a garantir impactos mais amplos e de longo prazo sobre o desenvolvimento econômico da indústria. P&D é uma atividade sustentável que fornece empregos desde em empresas independentes muito pequenas até em universidades e departamentos de pesquisa em empresas globais (NAICKER; THOPIL, 2019).

Em relação a prática de estabilidade de empregos, McQuaid e Bergmann (2016) argumentam que, inicialmente, os trabalhadores altamente qualificados se beneficiarão diretamente com a aquisição de novas tecnologias, mas mais empregos de qualificação média serão criados à medida que a manufatura e os serviços sustentáveis são atualizados, embora observem que os menos qualificados e os trabalhadores mais velhos precisarão se adaptar. Consequentemente, a questão do treinamento e do desenvolvimento de carreira de longo prazo para pessoas pouco qualificadas da indústria é importante.

Além disso, em relação a treinamentos de EE e sustentabilidade para melhoria da cultura corporativa e dos colaboradores, segundo Mahapatra *et al.* (2017), quando os valores sustentáveis estão ancorados na cultura da empresa, os colaboradores tendem a se envolver em um comportamento de EE e assumir a responsabilidade coletiva do funcionamento das práticas implantadas.

Os trabalhadores do chão de fábrica devem estar cientes das implicações das atividades de produção no uso de energia, por exemplo. A comunicação entre gestores e colaboradores ajuda a convencer todos os participantes sobre a importância de se comprometer com a meta definida e de gerenciar o *feedback*. As pessoas têm maior probabilidade de agir com base nas informações se forem específicas e comunicadas de maneira pessoal (MAHAPATRA *et al.* 2017).

A prática de utilização de fontes renováveis de energia, pode ser maximizada com o apoio do governo (incluindo estruturas políticas, subsídios e impostos reduzidos) para uma implementação bem-sucedida (SANTOYO-CASTELAZO; AZAPAGIC, 2014). O aspecto financeiro relacionado ao investimento de capital necessário para projetos de energias renováveis pode ser maior do que os projetos de energia não renováveis. As tecnologias de

energias renováveis que possuem instalações de P&D bem estabelecidas e que contam com o apoio do governo têm maior probabilidade de receber investimentos, como financiamento para trabalho de desenvolvimento. O apoio financeiro é um fator importante em projetos de energias renováveis e está intimamente ligado a sistemas de apoio político e tecnológico. No entanto, o capital para a maioria das usinas convencionais foi fornecido por subsídios do governo e esse não é o caso das usinas de energias renováveis que estão sujeitas a altos custos de capital (NAICKER; THOPIL, 2019).

Com isso, alinhando as práticas às dimensões da sustentabilidade, é possível desenvolver a eficiência de energia e dos recursos (TRIANNI *et al.*, 2019), uma melhora das estruturas organizacionais, suas habilidades, bem-estar dos funcionários e valorização dos aspectos sustentáveis (MCQUAID; BERGMANN, 2016). Ao separar as práticas pelos benefícios ambientais, econômicos e sociais na implementação de EE, é possível combinar esforços para atingir os objetivos e medidas propostos.

Assim, para se beneficiar da sinergia da EE e da sustentabilidade, o *framework* conceitual deve ser visto como uma abordagem holística voltada para práticas que se concentram na implementação de medidas de EE com valor sustentável que beneficia mutuamente o meio ambiente, a economia e a sociedade (MAY *et al.*, 2017; HENDIANI *et al.*, 2020).

Em um primeiro momento, as indústrias podem optar por ações de melhoria simples como: a utilização de lâmpadas mais eficientes (SANTOS *et al.*, 2015), a utilização de teto verde para diminuir o uso de ar-condicionado (AMORIM; SOARES, 2021), a compra de máquinas de alto rendimento (BRAGLIA *et al.*, 2020), o aproveitamento da captação da água da chuva, reutilização e reciclagem de materiais e resíduos (HERNANDEZ *et al.*, 2018), entre outros. Para então, na sequência, implementarem práticas que demandam maiores investimentos como por exemplo: esforços na utilização de fontes de energia renováveis (SIMSEK *et al.*, 2019), a procura e escolha de fornecedores de recursos e matérias primas que também sejam engajados e preocupados com o meio ambiente (INGARAO, 2017).

#### 4. Análise

A última etapa, de análise, conta com o monitoramento, medição e análise do consumo após a implementação das medidas e práticas de EE e sustentabilidade (FERREIRA *et al.*, 2019; PAPETTI *et al.*, 2019). Nesta etapa, são analisados o uso e consumo da energia real comparado ao esperado, a efetividade dos planos de ação e da aplicação das práticas para o cumprimento das políticas e metas propostas. Para isso, são utilizados de indicadores de desempenho



energético (consumo de energia) e sustentáveis (impacto social, econômico e ambiental) (PATLITZIANAS *et al.*, 2008; HERNANDEZ *et al.*, 2018; ZHANG *et al.*, 2018; MENGHI *et al.*, 2019; PAPETTI *et al.*, 2019).

A estrutura de indicadores proposta pela Agência Internacional de Energia, por exemplo, apresenta 30 indicadores que abordam questões sociais, econômicas e ambientais de desenvolvimento sustentável. Os componentes da dimensão social são: saúde, acessibilidade, preço acessível e disparidades na oferta e demanda de energia. Os da dimensão econômica são: uso, produção e abastecimento de energia; eficiência no fornecimento de energia e intensidade de energia no uso final; preços de energia, tributação e subsídios; segurança energética; e diversidade energética. A dimensão ambiental envolve mudanças climáticas globais, poluição do ar e da água, geração de resíduos, degradação da terra e desmatamento (PATLITZIANAS *et al.*, 2007).

A medição real do desempenho nas dimensões econômica, ambiental e social é um ponto de partida essencial para entender o que, e como medir a sustentabilidade na implementação de práticas de EE (BESKE-JANSSEN; JOHNSON; SCHALTEGGER, 2015).

Segundo Mahapatra *et al.* (2017), as ferramentas relacionadas a energia aplicáveis à medição e monitoramento de energia e sustentabilidade, são de naturezas diversas, e podem ser categorizadas como uma ferramenta ou sistema. Uma auditoria de sustentabilidade, por exemplo, pode ser considerada uma ferramenta, pois tem um foco estreito e visa atingir um objetivo específico de medição de desempenho. Outros exemplos de instrumentos incluem *benchmarking*, indicadores, ACV e relatórios.

Os sistemas também incorporam vários instrumentos que, geralmente, coordenam mais e seguem etapas sequenciais como o PDCA, por exemplo. Esses instrumentos podem ser classificados de acordo com as dimensões da sustentabilidade: econômicos, ambientais e sociais. Além disso, essas ferramentas podem frequentemente ser vinculadas a padrões internacionais, incluindo padrões de desempenho organizacional (MAHAPATRA *et al.*, 2017).

Em um primeiro momento, o *framework* pode ser utilizado para localizar e reduzir desperdícios, mas também pode servir como base para a manutenção da melhoria contínua do desempenho energético e sustentável da organização (CIN; ACUNER; ONAYGIL, 2021).

A aplicação da estrutura proposta contribui para o uso mais eficiente da energia em ambientes industriais, melhora a competitividade da empresa, e auxilia na redução de gases poluentes e outros impactos ambientais, tornando a indústria mais sustentável.

## 5

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

---

Para a avaliação e refinamento do *framework* desenvolvido, foi elaborado um questionário (APÊNDICE D), em que foram coletadas opiniões e percepções de pesquisadores e especialistas com conhecimento na área de EE e sustentabilidade. Aplicar o questionário possibilitou o refinamento do *framework*, principalmente sobre as práticas e suas relações, por meio da percepção dos pesquisadores respondentes do mesmo (GIL, 2010).

O questionário aplicado buscou avaliar o *framework* em termos de: viabilidade (o *framework* pode ser seguido?), usabilidade (quão fácil é seguir o *framework*?) e utilidade (o *framework* fornece passos úteis para resolver o objetivo para o qual ele foi construído?). Além disso, foram analisadas a relação entre as práticas propostas, confrontando práticas entre os pilares da sustentabilidade. Essa colaboração é primordial para o refinamento e respectiva avaliação das práticas e do *framework* proposto.

As questões do questionário são fechadas, porém, a fim de coletar informações adicionais do pesquisador, para cada questão foi adicionada a opção de justificar a resposta. Assim, informações que não foram contempladas no questionário e que o pesquisador considerou importante, ele poderia acrescentar nesses itens.

O questionário foi enviado eletronicamente a 212 pesquisadores, sendo esses autores ou coautores dos artigos utilizados como portfólio nesta pesquisa. No corpo do e-mail, foi adicionada uma carta de convite para os pesquisadores responderem ao questionário de forma anônima e voluntária. Foram obtidas 26 respostas ao questionário enviado, as quais foram analisadas em planilhas eletrônicas (Excel). A Tabela 5.1 apresenta os resultados percentuais referente às treze perguntas do questionário.

Tabela 5.1 – Percentual das respostas do questionário por questão

Questão	Escala Likert				
	1. DN	2. PN	3. I	4. PS	5. DS
1. Viabilidade (o <i>framework</i> pode ser seguido?)	0%	7,69%	15,38%	65,38%	11,54%
2. Usabilidade (quão fácil é seguir o <i>framework</i> ?)	0%	15,38%	23,08%	53,85%	7,69%
3. Utilidade (o <i>framework</i> fornece passos úteis para resolver o objetivo para o qual ele foi construído?)	7,69%	3,85%	26,92%	57,69%	3,85%
4. Você acha que existe relação entre a prática de investir em energia de P&D e a prática de aquisição de novas tecnologias?	3,85%	3,85%	23,08%	46,15%	23,08%
5. Você acha que o treinamento dos funcionários sobre eficiência energética pode ajudar a manter os empregos?	3,85%	3,85%	23,08%	38,46%	30,77%
6. A prática de treinamento pode auxiliar a indústria a alcançar um melhor desempenho econômico?	0%	0%	11,54%	46,15%	42,31%
7. Você acha que a prática de aumentar o uso de fontes renováveis de energia auxilia no aumento da competitividade das indústrias?	0%	7,69%	11,54%	26,92%	53,85%
8. Você acha que existe uma conexão entre a prática de reduzir as emissões de gases poluentes e aumentar a competitividade das indústrias?	3,85%	3,85%	23,08%	34,62%	34,62%
9. Em sua opinião, a prática de redução de consumos e desperdícios relacionados a matérias-primas, energia e outros recursos, pode aumentar o desenvolvimento econômico?	3,85%	0%	19,23%	30,77%	46,15%
10. Considerando que existe relação entre eficiência de processo e produtividade, essa relação pode aumentar reduzindo recursos e energia?	3,85%	0%	15,38%	57,69%	23,08%
11. Considerando a relação entre imagem sustentável e competitividade, as práticas de redução do consumo de recursos e energia podem potencializar essa relação?	3,85%	3,85%	15,38%	38,46%	38,46%
12. Você acha que a adoção das práticas do <i>framework</i> pode melhorar a sustentabilidade na implantação de eficiência energética?	3,85%	3,85%	7,69%	53,85%	30,77%
13. Você acha que o <i>framework</i> cobre todos os aspectos relevantes para as indústrias implementarem práticas de eficiência energética integrando sustentabilidade? Ou existem práticas que devem ser investigadas?	3,85%	7,69%	19,23%	61,54%	7,69%

Fonte: A autora (2021)

Legenda: 1. DN-Definitivamente Não; 2. PN-Possivelmente Não; 3. I-Indeciso; 4. PS-Possivelmente Sim; 5. DF-Definitivamente Sim.

O *framework* foi considerado possivelmente viável para 65,38% dos pesquisadores que responderam o questionário. Para 11,54% ele é definitivamente viável e possível de ser seguido pelas indústrias de manufatura. 15,38% dos respondentes se mostraram indecisos quanto a viabilidade do *framework*. A seguir estão algumas declarações, traduzidas para o idioma português, dos pesquisadores sobre a viabilidade:

“Trata-se de um modelo conceitual de alto nível.”;

“Estão claras as definições sobre a figura.”;

“O *framework* apresenta um fluxo lógico para seguir.”;

“O *framework* possui um nível abstrato. Precisa de mais detalhes para a implantação.”;

“O *framework* é muito acadêmico, sem ligação com motivação, estratégia, desafios organizacionais ou técnicos e barreiras.”;

“É um modelo geral, mas dá uma direção a seguir.”;

“A abordagem é comumente usada, mas as questões são específicas para os indicadores de análise que você está visando e estes podem mudar com as partes interessadas.”;

“A estrutura apresentada é complexa.”;

“A estrutura é clara quanto aos passos a seguir.”.

Dentre os respondentes, para 53,85% o *framework* possivelmente apresenta usabilidade, ou seja, ele é fácil de ser seguido. Para 23,08% a resposta para a questão da usabilidade foi indecisa. Segundo os pesquisadores:

“Entendo que a ideia do modelo é convergir para políticas que garantam melhorias de eficiência energética na indústria.”;

“Requer mais detalhes. É preciso evoluir de um modelo conceitual de alto nível para um modelo conceitual detalhado onde todas as variáveis possam estar relacionadas entre si.”;

“Algumas das práticas estão muito abstratas e gerais.”;

“O propósito, objetivo e indicadores não estão claros.”;

“Precisa de mais detalhes.”;

“A facilidade de uso vai depender das partes interessadas e de quem utilizará o *framework*.”.

Em relação a utilidade do *framework*, 57,69% dos respondentes definiram que possivelmente o *framework* fornece passos úteis para resolver o objetivo para o qual ele foi construído, e 26,92% se declaram indecisos. Sobre essa questão, os pesquisadores relataram:

“Acredito que com o monitoramento dos indicadores já é possível alcançar uma melhoria na sustentabilidade.”;

“O *framework* proporciona visão, mas não algo que possa ser facilmente operacionalizado.”;  
 “O modelo é útil porque todos os três principais motores são tratados adequadamente, isto é, o aspecto econômico, o ambiental e o social. Por conseguinte, acredito firmemente que funcionaria.”;

“A utilidade pode aumentar disponibilizando ferramentas a serem utilizadas em cada etapa.”;

“Parece para mim que o modelo enumera todos os itens possíveis para uma aplicação de eficiência energética.”;

“Acredito que falta uma metodologia para criar políticas, para realizar a avaliação e análise de eficiência energética.”;

“O *framework* é muito genérico.”.

Além da avaliação quanto a viabilidade, usabilidade e utilidade, foram levantadas as principais contribuições em relação as práticas do *framework*. As principais observações feitas pelos pesquisadores, também traduzidas para o idioma português, em cada uma das questões do questionário estão apresentadas no Quadro 5.1.

Quadro 5.1 – Contribuições para o refinamento do *framework*

<b>Contribuição</b>
<b>4. Você acha que existe relação entre a prática de investir em energia de P&amp;D e a prática de aquisição de novas tecnologias?</b>
“As Novas Tecnologias Energéticas de P&D devem proporcionar um equilíbrio entre a adaptação para a eficiência energética e o investimento para a autossuficiência energética.”
“Há um relacionamento significativo, pois novas tecnologias surgem como resultado de investimentos em P&D.”
“Isso vai depender da intensidade tecnológica e do posicionamento da estratégia.”
“É preciso um investimento sólido em P&D para alcançar/adquirir novas tecnologias.”
“Novas políticas podem auxiliar na obtenção de novas tecnologias.”
<b>5. Você acha que o treinamento dos funcionários sobre eficiência energética pode ajudar a manter os empregos?</b>
“Sim, a eficiência energética resulta em economia de energia e recursos para a indústria. Isto poderia ajudar a manter os empregos, já que agora sua margem de lucro é melhor.”
“Não sei se diretamente, mas ajuda a capacitar o funcionário.”
“Sim, e isso seria um diferencial.”

continua

“Isso pode ajudar a aumentar a consciência do impacto ambiental”.
“De fato, a educação dos funcionários ajuda a mudar o comportamento humano e aumentar a eficiência energética em qualquer instalação industrial.”
“Aumentar a conscientização pode melhorar significativamente a colaboração corporativa.”
<b>6. A prática de treinamento pode auxiliar a indústria a alcançar um melhor desempenho econômico?</b>
“Sim, uma vez que a energia é o recurso de produção mais caro, portanto, a eficiência energética contribui para a eficiência de custos.”
“Sim, por meio do ciclo PDCA, e o envolvimento dos funcionários.”
“Com monitoramento, sim.”
<b>7. Você acha que a prática de aumentar o uso de fontes renováveis de energia auxilia no aumento da competitividade das indústrias?</b>
“Sim. Os preços de energia e gás têm aumentado constantemente, fazendo com que muitas fábricas apertem seus cintos. Como consequência, muitos fabricantes têm adotado práticas de ‘fabricação eficiente em termos energéticos’ para se manterem competitivos. O objetivo final é a autossuficiência energética por meio de energia renovável.”
“Sim, e o apoio do governo pode ajudar.”
“Uma vez feita uma análise detalhada do custo-benefício das fontes renováveis, isso mostraria os possíveis benefícios para a indústria, incluindo abatimento de impostos, economia de energia, redução de impostos de carbono e redução dos custos operacionais.”
“A meu ver é um caminho para a solução.”
“Acho que isso só vai acontecer se houver exigências fiscais ou legais para fazê-lo.”
“Vai depender dos benefícios de custo nas instalações. Se o combustível for barato, então a energia renovável pode não ter um custo competitivo.”
<b>8. Você acha que existe uma conexão entre a prática de reduzir as emissões de gases poluentes e aumentar a competitividade das indústrias?</b>
“Sim, é por isso que muitas indústrias estão desenvolvendo estratégias de resiliência energética focadas em ser neutras em CO <sub>2</sub> e autossuficientes em energia.”
“Isso vai depender do setor econômico.”
“Se houver incentivos e políticas que incentivem a redução das emissões de gases poluentes no país de operação, isso aumentaria a competitividade.”
“Sim, e as evidências empíricas também mostram isso.”
“Isso vai variar com o país e tipo da indústria.”
“Não é certo que isso torne a indústria mais competitiva.”

continua

<b>9. Na sua opinião, a redução de consumos e desperdícios relacionados a matérias-primas, energia e outros recursos, pode aumentar o desenvolvimento econômico?</b>
“O uso eficiente de energia e recursos leva a redução de custos de produção, mais produtos produzidos, maior consumo e então o potencial para aumentar, além de aumentar os empregos para atender a demanda.”
“Só será possível se houver uma estratégia clara, e se o modelo e o ambiente de negócios forem favoráveis.”
“Sim, mas depende do custo da reciclagem e das políticas do país.”
<b>10. Considerando que existe relação entre eficiência de processo e produtividade, essa relação pode aumentar reduzindo recursos e energia?</b>
“De fato, ao aumentar a eficiência energética (reduzindo a energia), a produtividade energética (uso de energia por produto) irá aumentar.”
<b>11. Considerando a relação entre imagem sustentável e competitividade, as práticas de redução do consumo de recursos e energia podem potencializar essa relação?</b>
“Sim, é esperado que as empresas de manufatura sejam mais ‘verdes’.”
“É sempre bom para qualquer instalação/organização como um objetivo de relação pública (ou seja, melhorar sua imagem) para aumentar a eficiência energética.”
“Sim, e essa ação demonstraria responsabilidade.”
“Isso depende realmente do tipo de produtos, do tipo de economia e do tipo de cultura da empresa.”
<b>12. Você acha que a adoção das práticas do <i>framework</i> pode melhorar a sustentabilidade na implantação de eficiência energética?</b>
“Sim, as regulamentações governamentais e a pressão do mercado são boas para incentivar a transição para as energias renováveis.”
“Sim, é uma alternativa.”
<b>13. Você acha que o <i>framework</i> cobre todos os aspectos relevantes para as indústrias implementarem práticas de eficiência energética integrando sustentabilidade? Ou existem práticas que devem ser investigadas?</b>
“Acredito que os aspectos estão adequados, mas alguns precisam ser destacados, tais como: comportamento humano, nível de educação e políticas energéticas existentes ou em falta.”
“Sim, achei completo e adequado.”
“Uma regulamentação mais rigorosa por parte do governo poderia fomentar a adoção de práticas mais ambientalmente corretas.”
“Na minha opinião faltou trazer uma maior interação das práticas com o ecossistema.”

Fonte: A autora (2021)

Dessa forma, com as opiniões e percepções dos pesquisadores coletadas por meio do questionário, foi possível refinar o *framework* para promover uma maior viabilidade, utilidade e usabilidade. A principal crítica dos pesquisadores em relação ao *framework* foi em relação a falta de detalhes em relação a como alcançar as melhorias, quais políticas implementar, que tipo de variáveis medir, e quais os indicadores serão utilizados para analisar a implementação das práticas do *framework*. Em busca de diminuir a subjetividade do *framework*, e deixá-lo mais claro em relação a sua implementação, foram propostas possibilidades de políticas que podem ser definidas ao implementar a EE nos ambientes industriais. O Quadro 5.2 descreve as políticas sugeridas.

Quadro 5.2 – Possibilidades de políticas de EE

Cumprir metas de planos e diretrizes determinadas pelos governos
Estruturar um sistema de gestão de energia na empresa e definir os responsáveis
Apoiar e incentivar as ações da gestão de energia
Definir metas em busca da mitigação dos impactos ambientais
Identificar oportunidades e possibilidades de otimizar o consumo dos recursos
Definir metas de investimentos em novas tecnologias e treinamento dos colaboradores

Fonte: A autora (2021)

Como os pesquisadores recomendaram, além das políticas que podem ser definidas pela indústria, os governos devem promover regulamentações e políticas mais rígidas a fim de incentivar as indústrias a adotarem abordagens sustentáveis. Além disso, nessa etapa são identificadas as oportunidades de melhoria, relacionadas ao uso de energia. No Quadro 5.3 são apresentados alguns exemplos de tipos de dados para se medir ao implantar as práticas de EE propostas nesta pesquisa.

Quadro 5.3 – Tipos de dados a serem coletados para a etapa de avaliação

Quantidade de consumo de energia, de recursos (água, matéria prima etc.) e de emissões de gases poluentes por tonelada (CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> e PM <sub>2.5</sub> )
Taxa de produção antes e depois da implementação das práticas (%)
Taxa de utilização de fontes de energia renováveis - hídrica, solar, eólica, biomassa etc (%)
Quantia de investimento em máquinas e equipamentos, P&D, custo de manutenção e operação dessas máquinas, e retorno de investimento (R\$/ \$)
Valor dos salários dos funcionários (R\$/ \$)
Renda per capita (R\$/ \$)
Eficiência das atividades (%)

Fonte: A autora (2021)



Ainda com base nas considerações dos pesquisadores, em relação a subjetividade da etapa de análise, foram propostas possibilidades de indicadores que podem ser aplicados e monitorados, a fim de verificar os impactos da utilização das práticas propostas no *framework*. O Quadro 5.4 descreve as ferramentas e indicadores propostos e que foram encontrados nos trabalhos apresentados no Quadro 4.1 que medem e gerenciam vários aspectos de desempenho de sustentabilidade em sistemas de energia e os classifica de acordo com o tipo e dimensões econômicas, ambientais e sociais (MAHAPATRA *et al.*, 2017).

Quadro 5.4 – Indicadores e ferramentas

<b>Ambiental</b>	<b>Econômico</b>	<b>Social</b>
Avaliação do ciclo de vida	Análise do Custo do Ciclo de Vida	Análise do ciclo de vida social
Índices do GRI	Análise de Custo-Benefício	Índice de Desenvolvimento de Sustentabilidade Humana
Indicadores de Crescimento Verde	KPIs	Índice de Desenvolvimento Humano

Fonte: A autora (2021)

Em relação aos indicadores propostos, e que podem ser utilizados para a análise dos impactos ambientais, pode-se destacar: avaliação do ciclo de vida, índices do *Global Reporting Initiative* (GRI), e indicadores de crescimento verde da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). A avaliação do ciclo de vida é uma ferramenta utilizada para gestão ambiental e busca registrar e avaliar todos os impactos ambientais de todo o ciclo de vida do produto. O GRI é uma organização internacional que auxilia as empresas, governos e outras organizações a compreender e comunicar o impacto dos negócios em questões críticas por meio de relatórios de sustentabilidade (BESKE-JANSSEN; JOHNSON; SCHALTEGGER, 2015). Já a OCDE é uma organização econômica intergovernamental para estimular o progresso econômico e o comércio mundial, e os indicadores de crescimento verde da OCDE estão organizados em torno de quatro objetivos principais: redução do carbono; manutenção da base de ativos naturais; melhoria da qualidade de vida das pessoas; e implementação de medidas de política adequadas para o crescimento verde (SOLNØRDA; THYHOLDT, 2017; CHEN *et al.*, 2020).

Quanto aos indicadores dos impactos econômicos temos: análise do custo do ciclo de vida, análise de custo-benefício, e KPIs. A ferramenta de análise de custo do ciclo de vida determina a opção mais econômica para o fornecimento de energia, levando em conta custos tradicionais, ambientais e sociais, facilitando uma comparação objetiva das opções (GRILLI *et*

*al.*, 2017). A análise de custo-benefício é uma ferramenta utilizada para avaliar projetos, políticas, medidas e regulamentos relacionados a energia, ou comparar as alternativas possíveis a fim de encontrar a melhor opção que devolva maiores benefícios econômicos, para a sociedade, e com menores danos associados a impactos ambientais (BESKE-JANSSEN; JOHNSON; SCHALTEGGER, 2015). Já com o uso de indicadores chave de desempenho energético é possível descrever o sistema e os processos de consumo de energia por um determinado período de tempo, o que auxilia na tomada de decisão dos gestores, pois indica oportunidades de melhoria e verifica se as políticas e metas de energia estabelecidas estão sendo cumpridas (ASSADA *et al.*, 2019).

Nos indicadores que analisam os impactos sociais, temos: análise do ciclo de vida social índice de desenvolvimento de sustentabilidade humana, e índice de desenvolvimento humano. A análise do ciclo de vida social, é baseado no próprio ACV, com a diferença de acrescentar a análise dos impactos sociais e econômicos relacionados a energia, como: condições de trabalho dos colaboradores, direitos humanos e qualidade de vida (BESKE-JANSSEN; JOHNSON; SCHALTEGGER, 2015). A sustentabilidade dos recursos sociais pode ser quantificada usando medidas do Índice de Desenvolvimento de Sustentabilidade Humana (IDSH), como expectativa de vida, educação, renda disponível, crescimento pessoal, segurança, bem-estar e emissões per capita (KOH *et al.*, 2017). Os índices de desenvolvimento humano (IDH) representam o progresso social a longo prazo para três aspectos básicos do desenvolvimento humano: renda, educação e saúde (SHAH; RAGHOO; SURROOP, 2021).

Portanto, respondendo à pergunta de pesquisa: Como estruturar um *framework* com práticas de EE com foco em sustentabilidade para indústrias de manufatura? Destaca-se a necessidade de compreender os aspectos que podem interferir no processo de implementação de EE, identificando as práticas que podem ser utilizadas para facilitar a implementação; identificar as possíveis barreiras; os sujeitos envolvidos no processo, e os resultados esperados dessa implementação. Além disso, para que a implementação de EE seja efetiva, faz-se necessário compreender o gerenciamento de energia na manufatura sustentável, e identificar as ferramentas, os dados e as tecnologias necessárias. Ao identificar esses aspectos, é possível prever possíveis barreiras e limitações, e eliminar possíveis falhas. O *framework* desenvolvido possibilita que os gerenciadores de energia elaborem medidas para eliminar essas barreiras, dando maior enfoque aos *drivers*, e resultando assim, em uma maior eficiência na implementação da EE, alcançando uma indústria mais favorável ao meio ambiente, consequentemente, para a vida das pessoas e para a economia.

## 6

## CONCLUSÕES

---

A indústria manufatureira é uma grande consumidora de energia e emissora de gases poluentes. Avaliar os desafios para o futuro é importante, pois o crescimento da demanda por produtos e serviços não será proporcional ao crescimento da capacidade de energia. Portanto, iniciativas significativas para EE precisam ser desenvolvidas.

Nesta pesquisa, diferentes modelos e práticas de EE na indústria manufatureira foram apresentados. Políticas adequadas devem ser desenvolvidas para incentivar as indústrias a adotar práticas de EE e sustentabilidade, bem como mudanças na cultura organizacional de colaboradores, gerentes e proprietários das organizações.

Esta pesquisa buscou primeiramente o atendimento do objetivo geral de: desenvolver um *framework* teórico com práticas de EE na manufatura com foco na sustentabilidade. Além disso, buscou também pelo atendimento aos objetivos específicos:

- Fazer um levantamento de modelos da literatura referente as práticas de EE utilizadas na indústria de manufatura;

Por meio da revisão de literatura foi possível encontrar 185 modelos e *frameworks* de EE na manufatura publicados entre 2015 e 2020. Esses artigos foram analisados bibliometricamente, e separados em grupos de estudos operacionais e estudos sustentáveis. Além disso, os artigos foram separados por subgrupos de trabalhos que apresentaram práticas, estratégias ou indicadores de EE.

- Caracterizar as ferramentas, métodos e fatores de sucesso dos modelos encontrados com foco em sustentabilidade;

Os modelos e *frameworks* encontrados no grupo de sustentabilidade e subgrupo de práticas foram categorizados em relação ao foco do estudo, tipo do modelo ou *framework*, metodologia utilizada, área da indústria, bem como as práticas de sucesso, barreiras e limitações do estudo. Essa categorização torna possível a elaboração da análise de conteúdo que foi realizada na etapa seguinte.

- Analisar a relação entre a EE e a sustentabilidade com suas barreiras, benefícios e principais práticas;

Além dos artigos do portfólio advindo da revisão de literatura, foi necessária a busca por mais artigos com foco na sustentabilidade, a qual foi feita por meio da metodologia de *snowball*. Após a categorização de todos os artigos, foi realizada a análise de conteúdo dos estudos a fim de obter uma base teórica para a construção do *framework*.

- Relacionar as práticas de EE e sustentabilidade em uma estrutura.

Com base nas práticas encontradas nos artigos pela análise de conteúdo, foi construído o *framework* teórico de EE com foco nos pilares da sustentabilidade. O *framework* foi avaliado por meio de um questionário aplicado a pesquisadores e especialistas da área, a fim de realizar o seu refinamento e aperfeiçoamento.

Com isso, conclui-se que este estudo contribuiu para o desenvolvimento de pesquisas sobre as práticas de EE em ambientes industriais de manufatura integrando os pilares da sustentabilidade, e que pode ser utilizado para auxiliar a implantação de EE e permitir que as indústrias manufatureiras sejam mais sustentáveis.

Assim, o *framework* se baseou em quatro etapas principais: formulação de políticas, avaliação do estado atual, aplicação de práticas de melhoria, e análise da aplicação das práticas. A partir da utilização do *framework* por parte de gerentes de energia, espera-se que a implementação de práticas de EE em indústrias de manufatura seja mais efetiva, visto que o *framework* tenta reduzir as barreiras encontradas anteriormente na literatura, propondo práticas para superá-las. Além disso, na aplicação das práticas de EE propostas pelo *framework* são esperados não somente a implementação eficaz de EE, como em um desenvolvimento sustentável, por meio de práticas sustentáveis de EE.

Em relação à pesquisa e ao *framework* de EE e sustentabilidade para manufatura, foram identificadas as seguintes limitações:

- A quantidade limitada de artigos de EE com foco em sustentabilidade encontrados na fase de revisão de literatura, devido a falta de palavras-chave com esse viés;
- Devem ser conduzidos questionários para além de pesquisadores, especialistas e profissionais da área industrial, para aumentar o refinamento e aperfeiçoamento do *framework*;
- Realizar a aplicação do *framework* em empresas para validá-lo, mas, mesmo assim, o *framework* proposto pode ser utilizado pois tem como base dados e informações levantadas da literatura, além da aplicação do questionário, as quais fornecem um embasamento empírico para a aplicação no contexto industrial.

Com isso, o estudo apresenta a possibilidade de continuidade em pesquisas para um refinamento ainda maior do *framework* proposto, tendo como trabalhos futuros:

- Atualização da agenda de pesquisa com a adequação das palavras-chave relacionadas com o tema de EE e sustentabilidade;
- Aplicação do *framework* em indústrias de manufatura que desejam implementar práticas de EE e sustentabilidade, visando testar a efetividade das práticas propostas no *framework*;
- Validação do *framework* em relação a aplicação das práticas em diferentes áreas da indústria;
- Realização de estudos para avaliar o grau de sustentabilidade alcançado ao aplicar as práticas de EE.

A pesquisa desenvolvida traz contribuições para a área acadêmica devido a construção de conhecimento sobre EE em ambientes industriais relacionados a sustentabilidade. Já em relação ao âmbito industrial, a pesquisa traz contribuições referentes a construção de uma proposta de *framework* que pode ser utilizado por uma indústria real.

De todo modo, apesar de existir na literatura diversas pesquisas sobre sustentabilidade e EE, esta área ainda possui lacunas e oferece oportunidades de pesquisa devido a sua grande importância na atualidade.

## REFERÊNCIAS

---

ABEELLEN, C. J.; HARMSSEN, R.; WORRELL, E. Disentangling industrial energy efficiency policy results in the Netherlands. **Energy Efficiency**, v. 12, n. 5, p. 1313-1328, 2019.

ABDELAZIZ, E. A.; SAIDUR, R.; MEKHILEF, S. A review on energy saving strategies in industrial sector. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 15, n. 1, p. 150-168, 2011.

ABU-RAYASH, A.; DINCER, I. Sustainability assessment of energy systems: A novel integrated model. **Journal of Cleaner Production**, v. 212, p. 1098-1116, 2019

ADENUGA, O. T.; MPOFU, K.; BOITUMELO, R. I. Energy efficiency analysis modelling system for manufacturing in the context of industry 4.0. **Procedia CIRP**, v. 80, p. 735-740, 2019.

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA (AIE). "World Energy Outlook 2020". Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>.

AHMAD, S.; WONG, K. Y. Development of weighted triple-bottom line sustainability indicators for the Malaysian food manufacturing industry using the Delphi method. **Journal of Cleaner Production**, v. 229, p. 1167-1182, 2019.

ALHADDI, H. Triple bottom line and sustainability: A literature review. **Business and Management Studies**, v. 1, n. 2, p. 6-10, 2015.

AMORIM, N. C. R.; SOARES, M. G. Solar panel or green roof? What to consider when choosing. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. e77, 2021.

ANAND, G.; BAHINIPATI, B. K. Measuring horizontal collaboration intensity in supply chain: a graph-theoretic approach. **Production Planning & Control**, v. 23, n. 10-11, p. 801-816, 2012.

ASSAD, F.; ALKAN, B.; CHINNATHAI, M. K.; AHMAD, M. H.; RUSHFORTH, E. J.; HARRISON, R. A framework to predict energy related key performance indicators of manufacturing systems at early design phase. **Procedia Cirp**, v. 81, p. 145-150, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 14001: Sistemas de gestão ambiental — Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 50001: Sistemas de gestão da energia — Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2018.

BAGNI, G.; GODINHO FILHO, M.; THÜRER, M.; STEVENSON, M. Systematic review and discussion of production control systems that emerged between 1999 and 2018. **Production Planning & Control**, v. 32, n. 7, p. 511-525, 2021.

BAHL, H. C.; GUPTA, J. N. D.; ELZINGA, K. G. A framework for a sustainable craft beer supply chain. **International Journal of Wine Business Research**, v. 33, n. 3, p. 394-410, 2021.

BALL, P. Low energy production impact on lean flow. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 26, p. 412, 2015.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**; Tradução Luís Antero Reto, Augusto Pinheiro. São Paulo: Edições, v. 70, 2011.

BERGQUIST, A. K.; SÖDERHOLM, K. Sustainable energy transition: the case of the Swedish pulp and paper industry 1973–1990. **Energy Efficiency**, v. 9, n. 5, p. 1179-1192, 2016.

BESKE-JANSSEN, P.; JOHNSON, M. P.; SCHALTEGGER, Stefan. 20 years of performance measurement in sustainable supply chain management—what has been achieved?. **Supply chain management: An international Journal**, v. 20, n. 6, p. 664–680, 2015.

BHANOT, N.; RAO, P. V.; DESHMUKH, S. G. An integrated sustainability assessment framework: a case of turning process. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 18, n. 5, p. 1475-1513, 2016.

BRAGLIA, M.; CASTELLANO, D.; GABBRIELLI, R.; MARRAZZINI, L. Energy Cost Deployment (ECD): A novel lean approach to tackling energy losses. **Journal of Cleaner Production**, v. 246, p. 119056, 2020.

BRINKERINK, J.; CHEGUT, A.; LETTERIE, W. Energy performance and capital expenditures in manufacturing industries. **Energy Efficiency**, v. 12, n. 8, p. 2011-2038, 2019.

BROWN, Lester R. **Eco-economia: construindo uma economia para a terra**. Salvador: UMA, 2003.

BRUNKE, J. C.; JOHANSSON, M.; THOLLANDER, P. Empirical investigation of barriers and drivers to the adoption of energy conservation measures, energy management practices

and energy services in the Swedish iron and steel industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 84, p. 509-525, 2014.

BÜSCHER, C.; SUMPF, P. “Trust” and “confidence” as socio-technical problems in the transformation of energy systems. **Energy, sustainability and Society**, v. 5, n. 1, p. 1-13, 2015.

CAGNO, E.; WORRELL, E.; TRIANNI, A.; PUGLIESE, G. A novel approach for barriers to industrial energy efficiency. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 19, p. 290-308, 2013.

CANTARERO, M. M. V. Of renewable energy, energy democracy, and sustainable development: A roadmap to accelerate the energy transition in developing countries. **Energy Research & Social Science**, v. 70, p. 101716, 2020.

CARVALLO, J. P.; LARSEN, P. H.; GOLDMAN, C. A. Estimating customer electricity and fuel savings from projects installed by the US ESCO industry. **Energy Efficiency**, v. 8, n. 6, p. 1251-1261, 2015.

CHAKRABARTY, S.; WANG, L. The long-term sustenance of sustainability practices in MNCs: A dynamic capabilities perspective of the role of R&D and internationalization. **Journal of Business Ethics**, v. 110, n. 2, p. 205-217, 2012.

CHOFREH, A. G.; GONI, F. A.; KLEMEŠ, J. J. Evaluation of a framework for sustainable Enterprise Resource Planning systems implementation. **Journal of cleaner production**, v. 190, p. 778-786, 2018.

CIN, R.; ACUNER, E.; ONAYGIL, S. Analysis of energy efficiency obligation scheme implementation in Turkey. **Energy Efficiency**, v. 14, n. 1, p. 1-21, 2021.

CORSI, A.; PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; DA SILVA, V. L. Technology transfer for sustainable development: Social impacts depicted and some other answers to a few questions. **Journal of Cleaner Production**, v. 245, p. 118522, 2020.

DE OLIVEIRA NETO, G. C.; PINTO, L. F. R.; AMORIM, M. P. C.; GIANNETTI, B. F.; DE ALMEIDA, C. M. V. B. A framework of actions for strong sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v. 196, p. 1629-1643, 2018.

DI VAIO, A.; VARRIALE, L.; ALVINO, F. Key performance indicators for developing environmentally sustainable and energy efficient ports: Evidence from Italy. **Energy policy**, v. 122, p. 229-240, 2018.

DUNLOP, T. Mind the gap: A social sciences review of energy efficiency. **Energy Research & Social Science**, v. 56, p. 101216, 2019.

DURIAU, V. J.; REGER, R. K.; PFARRER, M. D. A content analysis of the content analysis literature in organization studies: Research themes, data sources, and methodological refinements. **Organizational research methods**, v. 10, n. 1, p. 5-34, 2007.



EDELENBOSCH, O. Y.; KERMELI, K.; CRIJNS-GRAUS, W.; WORRELL, E.; BIBAS, R.; FAIS, B.; FUJIMORI, S.; KYLE, P.; SANO, F.; VAN VUUREN, D. P. Comparing projections of industrial energy demand and greenhouse gas emissions in long-term energy models. **Energy**, v. 122, p. 701-710, 2017.

EDEM, I. F.; BALOGUN, V. A. Sustainability analyses of cutting edge radius on specific cutting energy and surface finish in side milling processes. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 95, n. 9, p. 3381-3391, 2018.

ELKINGTON, J. Towards the sustainable corporation: Win-win-win business strategies for sustainable development. **California Management Review**, v.36, n.2, p.90-100, 1994.

ELKINGTON, J. Accounting for the triple bottom line. **Measuring Business Excellence**, v. 2, n. 3, p. 18-22, 1998.

ELKINGTON, J. Enter the triple bottom line. In: Henriques, A., Richardson, J. (EDS.). **The Triple Bottom Line: Does it All Add Up?**. Londres: Earthscan, 2004. Cap.1, p. 1-16.

ENSSLIN, L.; VIANNA, W. B. O design na pesquisa quali-quantitativa em engenharia de produção—questões epistemológicas. **Revista Produção Online**, v. 8, n. 1, 2008.

FENERICH, F. C.; DA COSTA; S. E. G.; DE LIMA, E. P. Energy Efficiency in Industrial Environments: Overview and Research Agenda. **IEEE Latin America Transactions**, v. 15, n. 3, p. 415-422, 2017.

FERREIRA, V. J.; ARNAL, Á. J.; ROYO, P.; GARCÍA-ARMINGOL, T.; LÓPEZ-SABIRÓN, A. M.; FERREIRA, G. Energy and resource efficiency of electroporation-assisted extraction as an emerging technology towards a sustainable bio-economy in the agri-food sector. **Journal of Cleaner Production**, 233, 1123-1132, 2019.

FLYNN, B. B.; SAKAKIBARA, S.; SCHROEDER, R. G.; BATES, K. A.; FLYNN, E. J. Empirical research methods in operations management. **Journal of operations management**, v. 9, n. 2, p. 250-284, 1990.

FREITAS, H.; JANISSEK, R. **Análise léxica e análise de conteúdo**. Porto Alegre: Sphinx, Ed. Sagra Luzzatto, 2000.

FRESNER, J.; MOREA, F.; KRENN, C.; USON, J. A.; TOMASI, F. Energy efficiency in small and medium enterprises: Lessons learned from 280 energy audits across Europe. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 1650-1660, 2017.

GAHM, C.; DENZ, F.; DIRR, M.; TUMA, A. Energy-efficient scheduling in manufacturing companies: A review and research framework. **European Journal of Operational Research**, v. 248, n. 3, p. 744-757, 2016.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo, ed. 5, Atlas, 2010.

GRILLI, G.; DE MEO, I.; GAREGNANI, G.; PALETTO, A. A multi-criteria framework to assess the sustainability of renewable energy development in the Alps. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 60, n. 7, p. 1276-1295, 2017.

GONG, D. C.; KAO, C. W.; PETERS, B. A. Sustainability investments and production planning decisions based on environmental management. **Journal of Cleaner Production**, v. 225, p. 196-208, 2019.

GRIGOROUDIS, E.; KOUIKOGLOU, V. S.; PHILLIS, Y. A.; KANELLOS, F. D. Energy sustainability: a definition and assessment model. **Operational Research**, p. 1-41, 2019.

GUO, Y.; DUFLOU, J. R.; QIAN, J.; TANG, H.; LAUWERS, B. An operation-mode based simulation approach to enhance the energy conservation of machine tools. **Journal of Cleaner Production**, v. 101, p. 348-359, 2015.

HAHN, T.; PINKSE, J.; PREUSS, L.; FIGGE, F. Tensions in corporate sustainability: Towards an integrative framework. **Journal of Business Ethics**, v. 127, n. 2, p. 297-316, 2015.

HART, S. L.; MILSTEIN, M. B. Creating sustainable value. **Academy of Management Perspectives**, v. 17, n. 2, p. 56-67, 2003.

HASSAN, M. T.; BUREK, S.; ASIF, M. Barriers to industrial energy efficiency improvement – manufacturing SMEs of Pakistan. **Energy Procedia**, v. 113, p. 135-142, 2017.

HEIDEIER, R.; BAJAY, S. V.; JANNUZZI, G. M.; GOMES, R. D.; GUANAIS, L.; RIBEIRO, I.; PACCOLA, A. Impacts of photovoltaic distributed generation and energy efficiency measures on the electricity market of three representative Brazilian distribution utilities. **Energy for Sustainable Development**, v. 54, p. 60-71, 2020.

HELLENO, A. L.; DE MORAES, A. J. I.; SIMON, A. T. Integrating sustainability indicators and Lean Manufacturing to assess manufacturing processes: Application case studies in Brazilian industry. **Journal of cleaner production**, v. 153, p. 405-416, 2017.

HENDIANI, S.; SHARIFI, E.; BAGHERPOUR, M.; GHANNADPOUR, S. F. A multi-criteria sustainability assessment approach for energy systems using sustainability triple bottom line attributes and linguistic preferences. **Environment, Development and Sustainability**, p. 1-35, 2019.

HERNANDEZ, A. G.; COOPER-SEARLE, S.; SKELTON, A. C.; CULLEN, J. M. Leveraging material efficiency as an energy and climate instrument for heavy industries in the EU. **Energy Policy**, v. 120, p. 533-549, 2018.

HROVATIN, N.; DOLŠAK, N.; ZORIĆ, J. Factors impacting investments in energy efficiency and clean technologies: empirical evidence from Slovenian manufacturing firms. **Journal of cleaner production**, v. 127, p. 475-486, 2016.

HUTCHINS, M. J.; ROBINSON, S. L.; DORNFELD, D. Understanding life cycle social impacts in manufacturing: A processed-based approach. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 32, n. 4, p. 536-542, 2013.

IJOMAH, W. L.; MCMAHON, C. A.; HAMMOND, G. P.; NEWMAN, S. T. Development of robust design-for-remanufacturing guidelines to further the aims of sustainable development. **International Journal of Production Research**, v. 45, n. 18-19, p. 4513-4536, 2007.

INGARAO, G. Manufacturing strategies for efficiency in energy and resources use: The role of metal shaping processes. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 2872-2886, 2017.

INSTITUTO ENERGIA E AMBIENTE/USP (IEA). Instituto E+ Transição Energética (2020): Energia e desenvolvimento no Brasil. Rio de Janeiro/ RJ – Brasil.

JAVIED, T.; RACKOW, T.; FRANKE, J. Implementing energy management system to increase energy efficiency in manufacturing companies. **Procedia CIRP**, v. 26, n. 1, p. 156-161, 2015.

JOHANSSON, M. T.; THOLLANDER, P. A review of barriers to and driving forces for improved energy efficiency in Swedish industry—Recommendations for successful in-house energy management. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 618-628, 2018.

JOVANOVIĆ, B.; FILIPOVIĆ, J. ISO 50001 standard-based energy management maturity model – proposal and validation in industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 2744-2755, 2016.

KAEBERNICK, H.; KARA, S.; SUN, M. Sustainable product development and manufacturing by considering environmental requirements. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 19, n. 6, p. 461-468, 2003.

KAGIANNAS, A. G.; FLAMOS, A.; ASKOUNIS, D. T.; PSARRAS, J. Energy policy indicators for the assessment of the Euro-Mediterranean energy cooperation. **International journal of energy technology and policy**, v. 2, n. 4, p. 301-322, 2004.

KAMAL, A.; AL-GHAMDI, S. G.; KOC, M. Revaluing the costs and benefits of energy efficiency: A systematic review. **Energy Research & Social Science**, v. 54, p. 68-84, 2019.

KAYGUSUZ, K. Energy for sustainable development: A case of developing countries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 2, p. 1116-1126, 2012.

KOH, S.C. L.; GUNASEKARAN, A.; MORRIS, J.; OBAYI, R.; EBRAHIMI, S. M. Conceptualizing a circular framework of supply chain resource sustainability. *International Journal of Operations & Production Management*, 2017.

LE ROUX, C.; PRETORIUS, M. Conceptualizing the limiting issues inhibiting sustainability embeddedness. **Sustainability**, v. 8, n. 4, p. 364, 2016.

LIANG, H.; DONG, L.; LUO, X.; REN, J.; ZHANG, N.; GAO, Z.; DOU, Y. Balancing regional industrial development: analysis on regional disparity of China's industrial emissions and policy implications. **Journal of cleaner production**, v. 126, p. 223-235, 2016.

LI, K.; ZHANG, N.; LIU, Y. The energy rebound effects across China's industrial sectors: an output distance function approach. **Applied energy**, v. 184, p. 1165-1175, 2016.

LIN, B.; DU, Z. Promoting energy conservation in China's metallurgy industry. **Energy Policy**, v. 104, p. 285-294, 2017.

LUBIN, D. A.; ESTY, D. C. The sustainability imperative. **Harvard business review**, v. 88, n. 5, p. 42-50, 2010.

MACKENZIE, S. B.; PODSAKOFF, P. M.; PODSAKOFF, N. P. Construct measurement and validation procedures in MIS and behavioral research: Integrating new and existing techniques. **MIS quarterly**, p. 293-334, 2011.

MAHAPATRA, K.; ALM, R.; HALLGREN, R.; BISCHOFF, L.; TUGLU, N.; KUAI, L.; YANG, Y.; UMORU, I. A behavioral change-based approach to energy efficiency in a manufacturing plant. **Energy Efficiency**, v. 11, n. 5, p. 1103-1116, 2018.

MARIMON, F.; CASADESÚS, M. Reasons to adopt ISO 50001 energy management system. **Sustainability**, v. 9, n. 10, p. 1740, 2017.

MARTÍN-GAMBOA, M.; IRIBARREN, D.; GARCÍA-GUSANO, D.; DUFOUR, J. A review of life-cycle approaches coupled with data envelopment analysis within multi-criteria decision analysis for sustainability assessment of energy systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 150, p. 164-174, 2017.

MAWSON, V.; HUGHES, B. R. The development of modelling tools to improve energy efficiency in manufacturing processes and systems. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 51, p. 95-105, 2019.

MAY, G.; STAHL, B.; TAISCH, M.; KIRITSIS, D. Energy management in manufacturing: From literature review to a conceptual framework. **Journal of cleaner production**, v. 167, p. 1464-1489, 2017.

MCQUAID, R. W.; BERGMANN, A. Employment changes in the sustainable energy sector in Scotland. **World Journal of Science, Technology and Sustainable Development**, v. 13, n. 1, 2016.

MENGHI, R.; PAPETTI, A.; GERMANI, M.; MARCONI, M. Energy efficiency of manufacturing systems: A review of energy assessment methods and tools. **Journal of Cleaner Production**, v. 240, p. 118276, 2019.

MOLDAN, B.; JANOUŠKOVÁ, S.; HÁK, T. How to understand and measure environmental sustainability: Indicators and targets. **Ecological Indicators**, v. 17, p. 4-13, 2012.

NAICKER, P.; THOPI, G. A. A framework for sustainable utility scale renewable energy selection in South Africa. **Journal of Cleaner Production**, v. 224, p. 637-650, 2019.

NERI, A.; CAGNO, E.; DI SEBASTIANO, G.; TRIANNI, A. Industrial sustainability: Modelling drivers and mechanisms with barriers. **Journal of cleaner production**, v. 194, p. 452-472, 2018.

NICOLETTI JUNIOR, A.; DE OLIVEIRA, M. C.; HELLENO, A. L. Sustainability evaluation model for manufacturing systems based on the correlation between triple bottom line dimensions and balanced scorecard perspectives. **Journal of cleaner production**, v. 190, p. 84-93, 2018.

ODEH, M.; KAMM, R. Bridging the gap between business models and systems models. **Information and Software Technology**, v. 45, n. 15, p. 1053-1060, 2003.

O'DRISCOLL, E.; KELLY, K.; O'DONNELL, G. E. Intelligent energy based status identification as a platform for improvement of machine tool efficiency and effectiveness. **Journal of Cleaner Production**, v. 105, p. 184-195, 2015.

PAPETTI, A.; MENGHI, R.; DI DOMIZIO, G.; GERMANI, M.; MARCONI, M. Resources value mapping: A method to assess the resource efficiency of manufacturing systems. **Applied Energy**, v. 249, p. 326-342, 2019.

PATLITZIANAS, K. D.; DOUKAS, H.; KAGIANNAS, A. G.; PSARRAS, J. Sustainable energy policy indicators: Review and recommendations. **Renewable Energy**, v. 33, n. 5, p. 966-973, 2008.

PATTERSON, M. G. What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues. **Energy policy**, v. 24, no. 5, p. 377-390, 1996.

PENG, K.; ZOU, Z.; WANG, S.; CHEN, B.; WEI, W.; WU, S.; YANG, Q.; LI, J. Interdependence between energy and metals in China: evidence from a nexus perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 214, p. 345-355, 2019.

PERROTT, B. The sustainable organisation: Blueprint for an integrated model. **Journal of business strategy**, v. 35, n. 3, p. 26-37, 2014.

PLATTS, K. W. A Process Approach to Researching Manufacturing Strategy. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 13, n. 8, p. 4-17, 1993.

QU, M.; YU, S.; CHEN, D.; CHU, J.; TIAN, B. State-of-the-art of design, evaluation, and operation methodologies in product service systems. **Computers in industry**, v. 77, p. 1-14, 2016.

SAFARZADEH, S.; RASTI-BARZOKI, M. A game theoretic approach for pricing policies in a duopolistic supply chain considering energy productivity, industrial rebound effect, and government policies. **Energy**, v. 167, p. 92-105, 2019.

SHAH, K. U.; RAGHOO, P.; SURROOP, D. An Institutional-Based Governance Framework for Energy Efficiency Promotion in Small Island Developing States. **Climate**, v. 9, n. 6, p. 95, 2021.

SAIDUR, R.; MEKHILEF, S. Energy use, energy savings and emission analysis in the Malaysian rubber producing industries. **Applied Energy**, v. 87, n. 8, p. 2746-2758, 2010.

SANTOS, T. S.; BATISTA, M. C.; POZZA, S. A.; ROSSI, L. S. Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, p. 595-602, 2015.

SANTOYO-CASTELAZO, E.; AZAPAGIC, Ad. Sustainability assessment of energy systems: integrating environmental, economic and social aspects. **Journal of Cleaner Production**, v. 80, p. 119-138, 2014.

SCHRETTLE, S.; HINZ, A.; SCHERRER-RATHJE, M.; FRIEDLI, T. Turning sustainability into action: Explaining firms' sustainability efforts and their impact on firm performance. **International Journal of Production Economics**, v. 147, p. 73-84, 2014.

SECCO, C. **Identificação de aspectos prioritários para apoiar o desenvolvimento sustentável organizacional: uma aplicação na cadeia produtiva suinícola**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019.

SEOW, Y.; RAHIMIFARD, S. A framework for modelling energy consumption within manufacturing systems. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 4, n. 3, p. 258-264, 2011.

SILVESTRE, B. S. GIMENES, F. A. P. A sustainability paradox? Sustainable operations in the offshore oil and gas industry: The case of Petrobras. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 360-370, 2017.

SIMSEK, Y.; LORCA, Á.; URMEE, T.; BAHRI, P. A.; ESCOBAR, R. Review and assessment of energy policy developments in Chile. **Energy Policy**, v. 127, p. 87-101, 2019.

SMITH, L.; BALL, P. Steps towards sustainable manufacturing through modelling material, energy and waste flows. **International Journal of Production Economics**, v. 140, n. 1, p. 227-238, 2012.

SOLNØRDAL, M. T.; THYHOLDT, S. B. Drivers for energy efficiency: an empirical analysis of Norwegian manufacturing firms. **Energy Procedia**, v. 142, p. 2802-2808, 2017.

SOLNØRDAL, M. T.; FOSS, L. Closing the energy efficiency gap—A systematic review of empirical articles on drivers to energy efficiency in manufacturing firms. **Energies**, v. 11, n. 3, p. 518, 2018.

STEINHARDT, F.; DOLVA, A. S.; JAHNSEN, R.; ULLENHAG, A. Exploring two subdimensions of participation, involvement and engagement: A scoping review. **Scandinavian Journal of Occupational Therapy**, p. 1-23, 2021.

STEWART, D. W.; SHAMDASANI, P. Online focus groups. **Journal of Advertising**, v. 46, n. 1, p. 48-60, 2017.

SUMMERBELL, D. L.; KHRIPKO, D.; BARLOW, C.; HESSELBACH, J. Cost and carbon reductions from industrial demand-side management: Study of potential savings at a cement plant. **Applied Energy**, v. 197, p. 100-113, 2017.

SVENSSON, A.; PARAMONOVA, S. An analytical model for identifying and addressing energy efficiency improvement opportunities in industrial production systems—Model development and testing experiences from Sweden. **Journal of cleaner production**, v. 142, p. 2407-2422, 2017.

TANAKA, K. Review of policies and measures for energy efficiency in industry sector. **Energy policy**, v. 39, n. 10, p. 6532-6550, 2011.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. **British journal of management**, v. 14, n. 3, p. 207-222, 2003.

TREMBLAY, M. C.; HEVNER, A. R.; BERNDT, D. J. Focus Groups for Artifact Refinement and Evaluation in Design Research. **Communications of the Association for Information Systems**, v. 26, n. June, p. 599-618, 2010.

TRIANNI, A.; CAGNO, E.; BERTOLOTTI, M.; THOLLANDER, P.; ANDERSSON, E. Energy management: A practice-based assessment model. **Applied Energy**, v. 235, p. 1614-1636, 2019.

TRIANNI, A.; CAGNO, E.; THOLLANDER, P.; BACKLUND, S. Barriers to industrial energy efficiency in foundries: a European comparison. **Journal of Cleaner Production**, v. 40, p. 161-176, 2013.

TRIANNI, A.; CAGNO, E.; NERI, A. Modelling barriers to the adoption of industrial sustainability measures. **Journal of Cleaner Production**, v. 168, p. 1482-1504, 2017.

VENMANS, F. Triggers and barriers to energy efficiency measures in the ceramic, cement and lime sectors. **Journal of Cleaner Production**, v. 69, p. 133-142, 2014.

WALSH, C.; THORNLEY, P. Barriers to improving energy efficiency within the process industries with a focus on low grade heat utilisation. **Journal of Cleaner Production**, v. 23, n. 1, p. 138-146, 2012.

WANG, C. L. No-self, natural sustainability and education for sustainable development. **Educational Philosophy and Theory**, v. 49, n. 5, p. 550–561, 2017.

WANG, S.; LU, X.; LI, X. X.; LI, W. D. A systematic approach of process planning and scheduling optimization for sustainable machining. **Journal of Cleaner Production**, v. 87, p. 914-929, 2015.

WANG, Q.; YUAN, Q. Energy-saving and emission reduction potential of the tobacco industry: A case study of China's 18 cigarette enterprises. **Journal of Cleaner Production**, v. 244, p. 118429, 2020.

WANG, Z.; FENG, C. Sources of production inefficiency and productivity growth in China: a global data envelopment analysis. **Energy Economics**, v. 49, p. 380-389, 2015.

WORRELL, E.; BERNSTEIN, L.; ROY, J.; PRICE, L.; HARNISCH, J. Industrial energy efficiency and climate change mitigation. **Energy Efficiency**, v. 2, n. 2, 109–123, 2009.

YANG, M. Energy efficiency policy impact in India: case study of investment in industrial energy efficiency. **Energy policy**, v. 34, n. 17, p. 3104-3114, 2006.

ZAMPOU, E.; PLITSOS, S.; KARAGIANNAKI, A.; MOURTOS, I. Towards a framework for energy-aware information systems in manufacturing. **Computers in Industry**, v. 65, n. 3, p. 419-433, 2014.

ZHANG, Y.; FU, Z.; XIE, Y.; HU, Q.; LI, Z.; GUO, H. A Comprehensive Forecasting–Optimization Analysis Framework for Environmental-Oriented Power System Management—A Case Study of Harbin City, China. **Sustainability**, v. 12, n. 10, p. 4272, 2020.

ZHANG, Y.; MA, S.; YANG, H.; LV, J.; LIU, Y. A big data driven analytical framework for energy-intensive manufacturing industries. **Journal of Cleaner Production**, v. 197, p. 57-72, 2018.



# APÊNDICE A

---

<b>Eficiência Energética em Operações</b>
<b>Artigos de Estratégia</b>
A behavioral change-based approach to energy efficiency in a manufacturing plant
A comparative analysis of the environmental impacts of machine tool manufacturing facilities
A comparative assessment of electrification strategies for industrial sites: Case of milk powder production
A decision support system for waste heat recovery and energy efficiency improvement in data centres
A novel method for energy efficiency evaluation to support efficient machine tool selection
Active, passive, non-existing or conditional? Social relations shaping energy use at workplaces
An energy management strategy for supplying combined heat and power by the fuel cell thermoelectric hybrid system
An integrated framework for sizing and energy management of hybrid energy systems using finite automata
An investigation on the impact of toolpath strategies and machine tool axes configurations on electrical energy demand in mechanical machining
An IoT-based energy-management platform for industrial facilities
Assessment of product-service systems for increasing the energy efficiency of compressed air systems
Competition, carbon, and conservation: Assessing the energy savings potential of energy efficiency competitions
Decomposition of energy efficiency and energy-saving potential in China: A three-hierarchy meta-frontier approach
Discussion on energy conservation strategies for steel industry: Based on a Chinese firm
Energy control system for energy-efficient control of machine tools
Energy efficiency assessment of grinding strategy
Energy efficiency evolution of China's paper industry
Energy efficiency in industry: EU and national policies in Italy and the UK
Energy efficiency investments in small and medium sized manufacturing firms: The case of California energy crisis
Energy efficiency measures in electric motors systems: A novel classification highlighting specific implications in their adoption
Energy efficiency positioning in the system of innovative development of an enterprise
Energy management for stationary electric energy storage systems: A systematic literature review

Energy management in industry: a systematic review of previous findings and an integrative conceptual framework
Energy management strategy for industries integrating small scale waste-to-energy and energy storage system under variable electricity pricing
Energy modeling and minimizing energy consumption control strategy of wire electrical discharge machining (WEDM) through electrical parameters
Energy, economy, and environment analysis and optimization on manufacturing plant energy supply system
Energy-Aware Production Scheduling in Flow Shop and Job Shop Environments Using a Multi-Objective Genetic Algorithm
Energy-efficient cyber-physical production network - Architecture and technologies
Energy-Performance as a driver for optimal production planning
Factor and fuel substitution in China's iron & steel industry: Evidence and policy implications
Implementation of Brazil's energy policy through the national oil company: From institutional chaos to strategic order
Improving the energy efficiency of an electrolysytic process to extract phosphorus from municipal solid waste digestate through different strategies
Influence factors and operational strategies for energy efficiency improvement of CNC machining
Influencing factors on energy management in industries
Investigation of operation strategy of combined cooling, heating and power (CCHP) system based on advanced adiabatic compressed air energy storage
Method for process planning optimization with energy efficiency consideration
New efficiency opportunities arising from intelligent real time control tools applications: the case of Compressed Air Systems™ energy efficiency in production and use
On energetic evaluation of robotic belt grinding mechanisms based on single spherical abrasive grain model
Operation strategy of interconnected combined cooling, heating, and power systems based on exergoeconomic analysis
Optimal design of distributed energy systems for industrial parks under gas shortage based on augmented $\mu$ -constraint method
Optimal strategies of improving energy efficiency for an energy-intensive manufacturer considering consumer environmental awareness
Rapid evaluation of operation performance of multi-chiller system based on history data analysis
Results and prospects of applying an ISO 50001 based reporting system on a cement plant
Strategies of energy management in a cassava starch plant for increasing energy and economic efficiency
The choice of energy saving modes for an energy-intensive manufacturer considering non-energy benefits
The Impact of Operating Reserves on Investment Planning of Renewable Power Systems
Time-of-use electricity pricing for industrial customers: A survey of U.S. utilities
Trends in corporate energy strategy of Russian companies
Uncertainty analysis of industrial energy conservation management in China's iron and steel industry
Understanding the effects of energy management practices on renewable energy supply chains: Implications for energy policy in emerging economies
Utilizing stillage in the biorefinery: Economic, technological and energetic analysis

<b>Eficiência Energética em Operações</b>
<b>Artigos com Indicadores</b>
A comparative assessment of electrification strategies for industrial sites: Case of milk powder production
A study on lot-size dependence of the energy consumption per unit of production throughput concerning variable lot-size
An analysis of the electricity consumption reduction potential of electric motors in the South Korean manufacturing sector
Assessment of a Diagnostic Procedure for the Monitoring and Control of Industrial Processes
Different behaviors in natural gas production between national and private oil companies: Economics-driven or environment-driven?
Disturbance modelling through steady-state value deviations: The determination of suitable energy indicators and parameters for energy consumption monitoring in a typical sugar mill
Energy efficiency evaluation for machining systems through virtual part
Energy efficiency optimization of ethylene production process with respect to a novel FLPEM-based material-product nexus
Energy efficiency performance-based prognostics for aided maintenance decision-making: Application to a manufacturing platform
Energy utilization efficiency evaluation model of refining unit Based on Contourlet neural network optimized by improved grey optimization algorithm
Exploring the implications of Russian Energy Strategy project for oil refining sector
Factors affecting the electricity consumption and productivity of the lead acid battery formation process. The case of a battery plant in Colombia
Inter-state analysis of energy efficiency- a stochastic frontier approach to the Indian paper industry
Investigation of operation strategy of combined cooling, heating and power (CCHP) system based on advanced adiabatic compressed air energy storage
IoT-enabled real-time energy efficiency optimisation method for energy-intensive manufacturing enterprises
Linking energy efficiency and innovation practices: Empirical evidence from the foundry sector
Measuring energy economic efficiency: A mathematical programming approach
Measuring energy performance: A process based approach
Modeling, analysis, and improvement of integrated productivity and energy consumption in a serial manufacturing system
Multi-level and multi-granularity energy efficiency diagnosis scheme for ethylene production process
Operational performance management of the power industry: a distinguishing analysis between effectiveness and efficiency
Rapid evaluation of operation performance of multi-chiller system based on history data analysis
Regional energy-environmental performance and investment strategy for China's non-ferrous metals industry: a non-radial DEA based analysis
Regional total-factor energy efficiency and electricity saving potential of manufacturing industry in Turkey
Strategies of energy management in a cassava starch plant for increasing energy and economic efficiency
Structural design optimization of moving component in CNC machine tool for energy saving

<b>Eficiência Energética em Operações</b>
<b>Artigos de Práticas</b>
A dynamic control approach for energy-efficient production scheduling on a single machine under time-varying electricity pricing
A holistic approach to energy efficiency assessment in plastic processing
A simulation-based methodology for the analysis of the effect of lean tools on energy efficiency: An application in power distribution industry
An energy management framework tailor-made for SMEs: Case study of a German car company
Assessment of emerging energy-efficiency technologies for the pulp and paper industry: a technical review
Big Data enabled Intelligent Immune System for energy efficient manufacturing management
Cooling tower management in manufacturing companies: A cyber-physical system approach
Different behaviors in natural gas production between national and private oil companies: Economics-driven or environment-driven?
Energy efficiency determinants: An empirical analysis of Spanish innovative firms
Energy efficiency optimization in scheduling crude oil operations of refinery based on linear programming
Energy efficiency practices in facilities management in Johannesburg
Energy management system implementation in Serbian manufacturing -Plan-Do-Check-Act cycle approach
Evaluating project level investment trends for the US ESCO industry: 1990-2017
Heat integration of heat pump assisted distillation into the overall process
Improving Energy Efficiency in Discrete Parts Manufacturing System Using an Ultra-Flexible Job Shop Scheduling Algorithm
Improving the Energy Efficiency of Adsorption Chillers by Intensifying Thermal Management Systems in Sorbent Beds
Influence of the production fluctuation on the process energy intensity in iron and steel industry
Local and regional energy companies offering energy services: Key activities and implications for the business model
Material Flow Based Power Demand Modeling of an Oil Refinery Process for Optimal Energy Management
Modeling undesirable output with a DEA approach based on an exponential transformation: An application to measure the energy efficiency of Chinese industry
Multiplicative LMDI approach to South Africa's industrial energy consumption
Optimal heat pump integration in industrial processes
Optimizing industries power generation assets on the electricity markets
Parallel Machine Scheduling Under Time-of-Use Electricity Prices: New Models and Optimization Approaches
Portuguese SME toward energy efficiency improvement
Reconfiguration of Virtual Cellular Manufacturing Systems via Improved Imperialist Competitive Approach
Reduction of Energy Consumption by Proper Speed Selection in PMSM-Driven Roller Conveyors
Renewable energy integration into factories: Real-time control of on-site energy systems
Techno-economic analysis of energy efficiency improvement in electric motor driven systems in Swiss industry
The need for a comprehensive energy management information system for industries

<b>Eficiência Energética e Sustentabilidade</b>
<b>Artigos de Estratégia</b>
A life cycle energy analysis integrated process planning approach to foster the sustainability of discrete part manufacturing
A multi-objective teaching-learning-based optimization algorithm to scheduling in turning processes for minimizing makespan and carbon footprint
A recursive operations strategy model for managing sustainable chemical product development and production
A simple energy usage toolkit from manufacturing simulation data
An analytical model for identifying and addressing energy efficiency improvement opportunities in industrial production systems - Model development and testing experiences from Sweden
An Economic Evaluation of Energy Management Opportunities in a Medium Scale Manufacturing Industry in Lagos
An energy efficiency evaluation method of distributed CCHP system based on attribute theory for optimal investment strategy
An integrated sustainable manufacturing strategy framework using fuzzy analytic network process
An interoperable energy consumption analysis system for CNC machining
Analysis of energy saving potentials in intelligent manufacturing: A case study of bakery plants
Analysis of sustainable development factors in fuel and energy industry and conditions for achievement energy efficiency and energy security
Defining corporate energy policy and strategy to achieve carbon emissions reduction targets via energy management in non-energy intensive multi-site manufacturing organisations
Development of a Global Energy Management System for non-energy intensive multi-site industrial organisations: A methodology
Energy modeling method of machine-operator system for sustainable machining
Energy-cyber-physical system enabled management for energy-intensive manufacturing industries
Exploring the driving forces of energy consumption and environmental pollution in China's cement industry at the provincial level
Exploring the impact of energy efficiency as a carbon mitigation strategy in the U.S
Factors impacting investments in energy efficiency and clean technologies: empirical evidence from Slovenian manufacturing firms
Factors influencing industrial carbon emissions and strategies for carbon mitigation in the Yangtze River Delta of China
How to make strategic planning for corporate sustainability?
Integrated green scheduling optimization of flexible job shop and crane transportation considering comprehensive energy consumption
Motivating towards energy efficiency in small and medium enterprises
Providing energy data and information for sustainable manufacturing systems by Energy Cards
Quality-conscious optimization of energy consumption in a grinding process applying sustainability indicators
Sustainable Industrial Plants: Energy-Efficient, Asset-Aware, and Waste-Averse
Towards less energy intensive heavy-duty machine tools: Power consumption characteristics and energy-saving strategies
Towards sustainable development in industrial small and Medium-sized Enterprises: An energy sustainability approach
Who should determine energy efficiency level in a green cost-sharing supply chain with learning effect?
Zero waste strategy for green supply chain management with minimization of energy consumption

<b>Eficiência Energética e Sustentabilidade</b>
<b>Artigos de Indicadores</b>
A performance evaluation of the energy, environmental, and economic efficiency and productivity in China: An application of global data envelopment analysis
A service-oriented architecture and its ICT-infrastructure to support eco-efficiency performance monitoring in manufacturing enterprises
A step to clean energy - Sustainability in energy system management in an emerging economy context
Analysis of energy efficiency and carbon dioxide reduction in the Chinese pulp and paper industry
Assessment of energy efficiency measures in the petrochemical industry in Thailand
Benchmarking energy performance of industrial small and medium-sized enterprises using an energy efficiency index: Results based on an energy audit policy program
Determinants of innovation in energy intensive industry and implications for energy policy
Development of a framework for the integration and management of sustainability for small- and medium-sized enterprises
Energy-based evaluation and improvement for sustainable manufacturing systems considering resource efficiency and environment performance
Expanding exergy analysis for the sustainability assessment of SJ-type oil shale retorting process
Fallacies of energy efficiency indicators: Recognizing the complexity of the metabolic pattern of the economy
Implementation of EU energy policy priorities in the Baltic Sea Region countries: Sustainability assessment based on neutrosophic MULTIMOORA method
Improving resource efficiency and environmental impacts through novel design and manufacturing of disposable baby diapers
Multi-scale decomposition of energy-related industrial carbon emission by an extended logarithmic mean Divisia index: a case study of Jiangxi, China
Resources value mapping: A method to assess the resource efficiency of manufacturing systems
Sources of energy productivity change in China during 1997-2012: A decomposition analysis based on the Luenberger productivity indicator
Sustainable value and cleaner production - Research and application in 19 Portuguese SME
Trends and prospects of energy efficiency development in Slovenian industry
Using problem-oriented monitoring to simultaneously improve productivity and environmental performance in manufacturing companies

<b>Eficiência Energética e Sustentabilidade</b>
<b>Artigos de Práticas</b>
A big data driven analytical framework for energy-intensive manufacturing industries
A game theoretic approach for pricing policies in a duopolistic supply chain considering energy productivity, industrial rebound effect, and government policies
A sustainability paradox? Sustainable operations in the offshore oil and gas industry: The case of Petrobras
A systematic approach of process planning and scheduling optimization for sustainable machining
An operation-mode based simulation approach to enhance the energy conservation of machine tools
Balancing regional industrial development: analysis on regional disparity of China's industrial emissions and policy implications
Comparing projections of industrial energy demand and greenhouse gas emissions in long-term energy models
Cost and carbon reductions from industrial demand-side management: Study of potential savings at a cement plant
Drivers for energy efficiency: an empirical analysis of Norwegian manufacturing firms
Energy and resource efficiency of electroporation-assisted extraction as an emerging technology towards a sustainable bio-economy in the agri-food sector
Energy Cost Deployment (ECD): A novel lean approach to tackling energy losses
Energy efficiency in small and medium enterprises: Lessons learned from 280 energy audits across Europe
Energy efficiency of manufacturing systems: A review of energy assessment methods and tools
Energy performance and capital expenditures in manufacturing industries
Energy-saving and emission reduction potential of the tobacco industry: A case study of China cigarette enterprises
Estimating customer electricity and fuel savings from projects installed by the US ESCO industry
Intelligent energy based status identification as a platform for improvement of machine tool efficiency and effectiveness
Interdependence between energy and metals in China: evidence from a nexus perspective
Leveraging material efficiency as an energy and climate instrument for heavy industries in the EU
Low energy production impact on lean flow
Manufacturing strategies for efficiency in energy and resources use: The role of metal shaping processes
Promoting energy conservation in China's metallurgy industry
Resources value mapping: A method to assess the resource efficiency of manufacturing systems
Review and assessment of energy policy developments in Chile
Sources of production inefficiency and productivity growth in China: A global data envelopment analysis
Sustainability analyses of cutting edge radius on specific cutting energy and surface finish in side milling processes
Sustainability investments and production planning decisions based on environmental management
Sustainable energy transition: the case of the Swedish pulp and paper industry 1973-1990
The energy rebound effects across China's industrial sectors: An output distance function approach

## APÊNDICE B

---

<b>Snowball</b>
“Trust” and “confidence” as socio-technical problems in the transformation of energy systems
A behavioral change-based approach to energy efficiency in a manufacturing plant
A Comprehensive Forecasting–Optimization Analysis Framework for Environmental-Oriented Power System Management—A Case Study of Harbin City, China
A framework for a sustainable craft beer supply chain
A framework for sustainable utility scale renewable energy selection in South Africa
A framework of actions for strong sustainability
A framework to predict energy related key performance indicators of manufactory systems at early design phase
A multi-criteria framework to assess the sustainability of renewable energy development in the Alps
A multi-criteria sustainability assessment approach for energy systems using sustainability triple bottom line attributes and linguistic preferences
A review of life-cycle approaches coupled with data envelopment analysis within multi-criteria decision analysis for sustainability assessment of energy systems
An integrated sustainability assessment framework: a case of turning process
Analysis of energy efficiency obligation scheme implementation in Turkey
Disentangling industrial energy efficiency policy results in the Netherlands
Employment changes in the sustainable energy sector in Scotland
Energy management: A practice-based assessment model
Energy management in manufacturing: From literature review to a conceptual framework
Energy sustainability: a definition and assessment model
Sustainability assessment of energy systems: A novel integrated model
Sustainability assessment of energy systems: integrating environmental, economic and social aspects



## APÊNDICE C

---

Carta de convite do questionário enviada por e-mail:

Dear Researchers, my name is Karoline and I'm a master's degree student at the State University of Maringá (UEM) - Brazil. I am developing a research to propose a CONCEPTUAL FRAMEWORK OF ENERGY EFFICIENCY PRACTICES FOR MANUFACTURING INTEGRATED WITH THE TRIPLE BOTTOM LINE (TBL), and to evaluate this framework, I need your collaboration by answering the following questionnaire.

<https://forms.gle/RFCBCsK5c3RUbJBo7>

Thank you for your support.

Best regards, Karoline Guedes

## APÊNDICE D

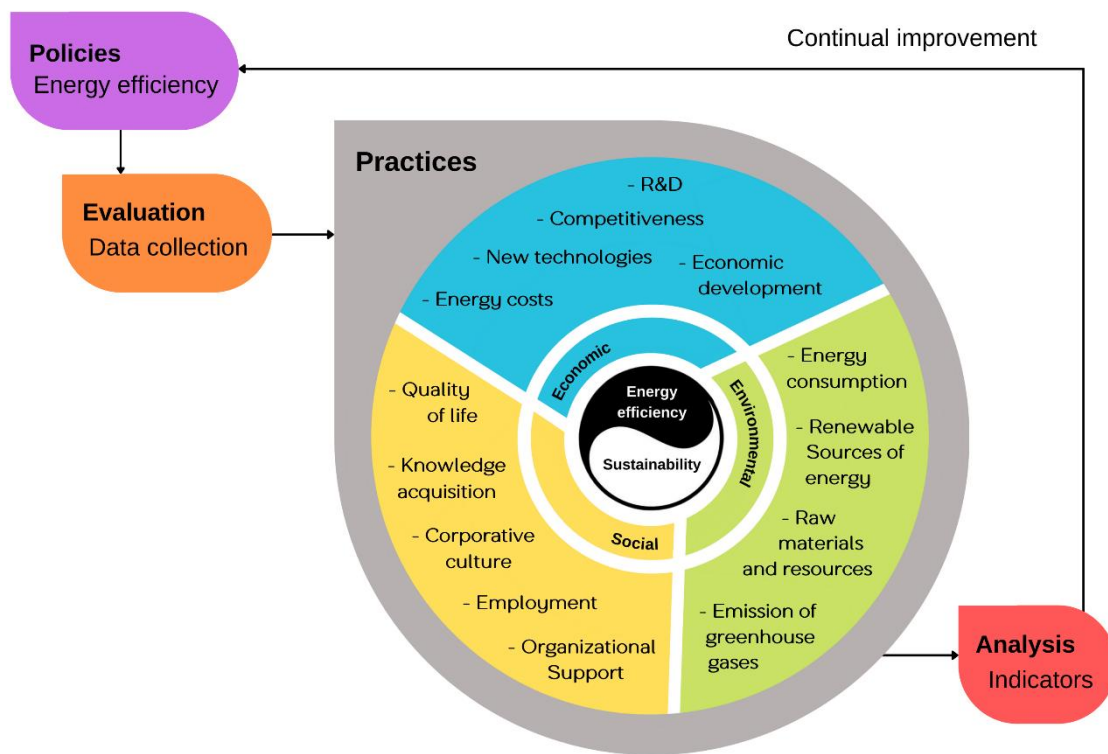
---

### **Questionário enviado aos pesquisadores:**

The framework is being developed based on the academic literature related to Energy efficiency practices for manufacturing. The implementation of these practices contributes to the sustainable development of industry, and the integration of environmental, economic, and social dimensions (triple bottom line – TBL), which is a key to promoting sustainable in the energy efficiency practices.

The framework has 4 stages: I) definition of energy and sustainable policies; II) evaluation stage where the information and characteristics of the variables necessary for the analysis of energy and sustainable performance indicators are collected; III) the practices stage energy efficiency: improvement actions are presented considering the TBL to achieve the goals set in the first stage, and IV) analysis of the implemented practices through energy and sustainable performance indicators.

The energy efficiency practices with TBL are proposed according to the following framework:



In your analysis as a researcher, how would you rate the presented framework with respect to:

5-Definitely Yes    4-Probably Yes    3-Indecisive    2-Probably No    1-Definitely No

Please, if possible, justify your answer.

1. Feasibility (can the framework be followed?)
2. Usability (how easy it is to follow it?)
3. Utility (does the framework provide a useful step towards solving the problem it is meant to solve?)
4. In your opinion, there is a relationship between the practice of investing in R&D on energy and the practice of acquiring new technologies?

5. Do you think that promoting training for employees on energy efficiency knowledge can help maintain jobs?
6. Can the practice of promoting training for organizational learning assist the industry to achieve better economic performance?
7. Do you think that the practice of increasing the use of renewable sources of energy assists the increase of competitiveness in the industries?
8. Do you think that is a relationship between the practice of reducing GHG emissions and reducing energy consumption?
9. In your opinion, the practice of reducing consumption and waste related to raw materials, energy and others resources, can increase the economic development?
10. Considering that there is a relationship between process efficiency and productivity, can this relationship increase by reducing resources and energy?
11. Considering that there is a relationship between a sustainable image and competitiveness, can practices to reduce the consumption of resources and energy enhance this relationship?
12. Do you agree that the adoption of these practices of the *framework* can encourage sustainability in the implementation of energy efficiency?
13. Do you think that the framework covers all relevant aspects for industries to implement energy efficiency practices integrating sustainability, or are there any other practices that should be investigated?