

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

Dissertação de Mestrado

NELLY HEINE MARQUES CORDEIRO

**Diretrizes para Modelos Estratégicos de Eficiência Energética em
Ambientes de Manufatura**

Maringá
2021

NELLY HEINE MARQUES CORDEIRO

**Diretrizes para Modelos Estratégicos de Eficiência Energética em
Ambientes de Manufatura**

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): ou 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)

C794d

Cordeiro, Nelly Heine Marques

Diretrizes para modelos estratégicos de eficiência energética em ambientes de manufatura / Nelly Heine Marques Cordeiro. -- Maringá, PR, 2021.
168 f.: il. color., figs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Francielle Cristina Fenerich.

Coorientador: Prof. Dr. André Luiz Gazoli de Oliveira.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia de Produção, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2021.

1. Eficiência energética - Manufatura. 2. Indústria. 3. Modelos estratégicos - Diretrizes. 4. *Framework*. 5. Manufatura - Administração da produção. I. Fenerich, Francielle Cristina, orient. II. Oliveira, André Luiz Gazoli de, coorient. III. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia de Produção. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. IV. Título.

CDD 23.ed. 658.5

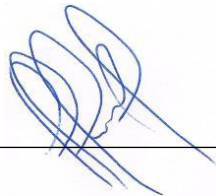
FOLHA DE APROVAÇÃO*

NELLY HEINE MARQUES CORDEIRO

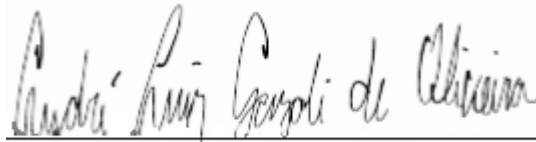
Diretrizes para Modelos Estratégicos de Eficiência Energética em Ambientes de Manufatura

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



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



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



Prof. Dr. Marco Antônio Ferreira
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR



Prof.ª Dr.ª Carla Gonçalves Machado
Jönköping International Business School

Aprovada em: 21 de junho de 2021.

Local da defesa: <https://meet.google.com/sap-afpn-bvr>

AGRADECIMENTOS

Acredito que todas as coisas acontecem no momento certo. E Deus preparou tudo em detalhes para que eu conseguisse chegar até aqui. A minha força vem d'Ele e sou grata por ter me sustentado em todas as circunstâncias.

Realmente tenho muito a agradecer. Depois de um longo período buscando uma oportunidade viável de ingressar em um programa de mestrado e por incentivo da minha querida amiga Rubya Vieira de Mello Campos, participei do processo de seleção e hoje tenho o privilégio de fazer parte da primeira turma do PGP/UEM, instituição que respeito e admiro.

Nesses anos de aprendizado, muitas pessoas foram essenciais para que essa incrível jornada fosse cumprida.

Primeiramente quero agradecer a minha família, eles que são a minha base, meu porto seguro. Ao meu esposo Marcelo A. Cordeiro por acreditar em mim, mesmo quando eu mesma duvidava que poderia continuar. Amo você meu grande incentivador da vida.

Aos meus filhos Lucca e Lorenzo, que foram meninos valentes em minhas ausências, além de um bálsamo que acalmava meu coração em momentos de angústia. O amor que sinto por vocês é tamanho que não cabem em palavras.

À minha mãe Maria por todo o apoio nesse período. Seu cuidado incondicional me permitiu lhe confiar em muitos momentos meus bens mais preciosos: meus filhos. Não tenho como agradecer minha mãe. Você é essencial.

Quero também agradecer aos professores do PGP por me permitir adentrar no universo da pesquisa em Engenharia. Vocês são sensacionais! Mas dentre todos os mestres que passaram por meu caminho, agradeço de maneira especial àquela que me orientou nesse desafio, Prof^a. Dr^a. Francielle Cristina Fenerich. Obrigada por me direcionar no caminho das pesquisas em eficiência energética, algo que no início era totalmente novo para mim, mas que me permitiu explorar novos horizontes e me desafiar. Quanto aprendizado!

De igual maneira agradeço ao Prof. Dr. André Luiz Gazoli de Oliveira por participar na orientação desta pesquisa, sendo sempre preciso em suas considerações. Sua participação agregou muito aos resultados que obtivemos!

Enfim, sou grata a todas as outras pessoas que, em menor ou maior grau, foram capazes de me apoiar, mesmo de forma indireta. Muito obrigada!

EPÍGRAFE

*“Lâmpada para os meus pés é a tua palavra
e luz para os meus caminhos.”*

(Salmos 119:105)

Diretrizes para Modelos Estratégicos de Eficiência Energética em Ambientes de Manufatura

RESUMO

O aumento do consumo de energia e seu impacto sobre os custos operacionais e as emissões de gases de efeito estufa justificam maior atenção à eficiência energética industrial. Desta forma, surge a necessidade de rever a maneira com que a manufatura se relaciona com a energia, propiciando enxergar a eficiência energética como um meio de obter vantagem competitiva. O intuito do estudo é propor um conjunto de diretrizes para orientar modelos estratégicos de eficiência energética que possibilitem direcionar a tomada de decisão em ambientes industriais, sendo que as etapas para o desenvolvimento da pesquisa incluem a preparação de uma base conceitual por meio de uma revisão sistemática de literatura sobre o tema e análise de conteúdo, seguido pelo desenvolvimento do *framework* inicial de diretrizes estratégicas, categorias e elementos-chaves, para que na terceira etapa ocorresse o refinamento deste modelo por meio da realização de um grupo focal com especialistas. Os resultados apontam para um conjunto de 15 diretrizes distribuídas entre os aspectos relacionados a decisões estratégicas para a gestão de energia, o estabelecimento de uma equipe responsável pela gestão de energia, a determinação do estado atual relacionado a energia, o desenvolvimento da estratégia e definição de metas, a operacionalização de estratégias e práticas em eficiência energética e questões relacionadas ao controle e monitoramento. Cada diretriz foi alinhada às categorias, áreas de decisão e elementos-chave correspondentes, estando estes fatores correlacionados ao direcionamento proposto para cada uma delas, permitindo a construção de um *framework* proposto ao modelo de diretrizes. A contribuição da pesquisa está na construção de uma arquitetura e um conjunto de diretrizes estratégias relacionadas a eficiência energética em manufatura que poderão fornecer orientações aos formuladores de políticas em manufatura e orientações para pesquisas futuras.

Palavras-chave: Eficiência Energética. Modelos Estratégicos. Diretrizes.

Guidelines for Strategic Energy Efficiency Model in Manufacturing Environments

ABSTRACT

The increase in energy consumption and its impact on operating costs and greenhouse gas emissions justify greater attention to industrial energy efficiency. Thus, there is a need to review the way in which manufacturing relates to energy, enabling us to see energy efficiency as a means of obtaining a competitive advantage. The aim of the study is to propose a set of guidelines to guide strategic energy efficiency models that make it possible to direct decision-making in industrial environments, and the steps for the development of the research include the preparation of a conceptual basis through a systematic review of literature on the subject and content analysis, followed by the development of the initial model of strategic guidelines and architecture, so that in the third stage the refinement of the model occurs through an empirical research of consultation with specialists. The results point to a set of 15 guidelines distributed among aspects related to strategic decisions for energy management, the establishment of a team responsible for energy management, the determination of the current state related to energy, the development of the strategy and the definition of goals, the operationalization of strategies and practices in EE and issues related to control and monitoring. Each guideline was aligned to the corresponding categories, decision areas and key elements, these factors being correlated to the proposed direction for each of them, allowing the construction of the proposed architecture to the guideline model. The contribution of the research is in the construction of an architecture and a set of strategic guidelines related to energy efficiency in manufacturing that can provide guidance to policy makers in manufacturing and guidance for future research.

Keywords: Energy Efficiency. Strategic Models. Guidelines.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 OBJETIVOS.....	13
1.2 JUSTIFICATIVA.....	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 DIRETRIZES ESTRATÉGICAS.....	17
2.2 ESTRATÉGIA EM OPERAÇÕES.....	19
2.2.1 Prioridades Competitivas e Decisões Estratégicas Operacionais.....	22
2.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM AMBIENTES DE MANUFATURA.....	24
2.4 MODELOS ESTRATÉGICOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM MANUFATURA.....	26
2.5 REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA MANUFATURA.....	30
2.5.1 Análise Bibliométrica.....	31
3 METODOLOGIA.....	36
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	36
3.2 PLANEJAMENTO DE PESQUISA.....	38
3.2.1 Preparação da base conceitual: Revisão Sistemática de Literatura.....	39
3.2.2 Desenvolvimento do Modelo Inicial de Diretrizes Estratégicas em Eficiência Energética.....	43
3.2.3 Refinamento do modelo.....	45
DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	48
4.1 DESENVOLVIMENTO DO MODELO INICIAL DO <i>FRAMEWORK</i> E DAS DIRETRIZES.....	48
4.1.1 Foco e Categorização das Diretrizes.....	49
4.1.2 Áreas de Decisão e Elementos-Chave Relacionados às Diretrizes.....	49
4.1.3 Formato das Diretrizes.....	52
4.1.4 Desenvolvimento do modelo inicial de diretrizes para modelos estratégicos de eficiência energética em manufatura.....	53
4.1.4.1 <i>Diretrizes Relacionadas à Decisões Estratégicas para a Gestão de Energia</i>	58
4.1.4.2 <i>Diretrizes Relacionadas à Estabelecimento de Equipe Responsável pela Gestão de</i>	

<i>Energia</i>	62
4.1.4.3 <i>Diretriz Voltada a Determinação do Estado Atual Relacionado a Energia</i>	66
4.1.4.4 <i>Diretriz Voltada ao Desenvolvimento da Estratégia e Definição de Metas</i>	69
4.1.4.5 <i>Diretrizes Relacionadas à Operacionalização de Estratégias e Práticas em EE</i>	71
4.1.4.6 <i>Diretrizes Relacionadas ao Controle e Monitoramento</i>	84
4.1.4.7 <i>Considerações sobre as Diretrizes propostas</i>	88
4.2 REFINAMENTO DO MODELO INICIAL DAS DIRETRIZES	88
4.2.1 Caracterização dos especialistas consultados	89
4.2.2 Procedimento para coleta, análise e síntese de dados da consulta aos especialistas	91
4.2.3 Mudanças derivadas do refinamento	94
4.2.4 Versão aprimorada das diretrizes e do <i>framework</i>	98
4.2.5 Considerações sobre o refinamento das diretrizes e do <i>framework</i>	105
5 CONCLUSÃO	106
REFERÊNCIAS	109
APÊNDICE A – Artigo: “ <i>Energy Efficiency in Industrial Environments: An Updated Review and a New Research Agenda</i> ”	126
APÊNDICE B - Protocolo de pesquisa empírica	143

INTRODUÇÃO

No ambiente competitivo atual, o setor de manufatura requer estratégias que especifiquem o tipo de vantagem competitiva desejada além de articular como essa vantagem pode ser alcançada.

Skinner (1969) apresenta que a relação entre a estratégia da empresa e a manufatura não era facilmente compreendida, embora a política de produção necessitasse ser especificamente projetada para atender as necessidades definidas no nível estratégico.

Hayes e Upton (1998) reforçam que a estratégia em operações define ações e decisões que deverão ser realizadas pela organização e incidem sobre os ambientes interno e externo, buscando a melhoria da posição da empresa no mercado, partindo do pressuposto que toda estratégia é elaborada por meio de um processo decisório, pelo fato de que a organização deve seguir uma estratégia clara e coerente usando as operações para criar vantagem competitiva. Posteriormente, Hayes *et al.* (2004) conceituam a estratégia de operações como um conjunto de objetivos, políticas e restrições que descrevem como a organização se propõe a dirigir e desenvolver os recursos investidos nas operações de forma a melhor executar sua missão.

Desta forma, percebe-se que a estratégia corporativa deve fornecer a seleção, desenvolvimento e exploração de recursos, uma vez que muitas das competências com maior valor competitivo residem no processo de produção, o que reforça a ideia de que a estratégia corporativa deve se tornar muito mais explícita a respeito da fabricação (HAYES; PISANO, 1994).

Kim *et al.* (2014) propuseram um modelo de estratégia de operações para vincular a estratégia de negócios à estratégia de produção, considerando as compensações entre prioridades competitivas, estabelecendo metas de desempenho e planos de ação. Kristal *et al.* (2010) avaliaram a influência da estratégia de operações sobre os recursos

competitivos em termos de custo, tempo, qualidade e flexibilidade no desempenho dos negócios. Além desses quatro critérios competitivos, Nand *et al.* (2013) propuseram um modelo de estratégia de operações integradas considerando também as fronteiras de ativos operacionais. Ao definir estratégias de negócios apropriadas a produção sustentável, Choy *et al.* (2016) salientam que as empresas precisam formular estratégias para minimizar o desperdício durante o processo de produção.

Desta forma, surge a necessidade de rever a maneira com que a manufatura se relaciona com o recurso foco deste estudo, a energia, propiciando enxergar a eficiência energética (EE) como um meio de obter vantagem competitiva, ao mesmo tempo em que promove a sustentabilidade, pois para Çengel (2011) o intuito da eficiência energética é buscar reduzir o uso de energia ao nível mínimo, sem reduzir a qualidade da produção e a lucratividade.

De acordo com Gutowski *et al.* (2006; 2007), as taxas de produção industrial são estreitamente relacionadas à eficiência de um processo de fabricação, sendo que os resultados de seus estudos mostram que os requisitos de eletricidade dos processos de fabricação aumentaram muito nas últimas décadas.

Yan (2004) ressalta que a progressão do setor manufatureiro em direção a melhores taxas de processamento e requisitos de energia mais altos é uma tendência que precisa ser monitorada e avaliada. Nesse sentido, a relação intensa entre as indústrias e o consumo da energia elétrica é evidente, ilustrando a importância de um projeto de eficiência energética para indústrias.

Analisando o tema, Geller (2003, p.47) faz o seguinte questionamento: “Se as medidas de eficiência energética são eficazes no custo, por que não são rotineiramente adotadas por consumidores e empreendedores?”

De acordo com Martins (2016), esta pergunta traz à tona outras indagações: Por que as empresas que são em sua grande maioria orientadas a resultados e necessitam reduzir constantemente seus custos não adotam em suas rotinas ou processos administrativos medidas de eficiência energética? Será que ao gerir a energia, promovendo a eficiência energética, uma empresa consegue controlar os seus custos com energia?

Para Schulze *et al.* (2016), melhorar a eficiência energética na manufatura torna-se uma tarefa importante e difícil devido à alta complexidade de sistemas de energia industrial. Os sistemas de produção com seus processos de suporte diferem entre indústrias, o que tornam a generalização e a vantagem de escala um desafio, pois mesmo

em diferentes locais da organização, pode haver diferenças em termos de desempenho energético. Dada a alta complexidade de melhoria da eficiência energética na indústria, existe uma forte necessidade de uma abordagem sistemática para gerenciar uso de energia industrial.

Verifica-se no Brasil ações voltadas a EE como o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL, 2019), que alcançou no ano de 2018 vantagens ambientais e econômicas como a economia de 22,99 bilhões de kWh, que corresponde a 4,87% de todo consumo nacional de energia elétrica no período e a redução da emissão de 1,701 milhão tCO₂ equivalentes na atmosfera, quantidade correspondente à emissão de 584 mil veículos em um ano. No mesmo ano, um projeto do PROCEL voltado às indústrias obteve uma economia de 42 milhões de kWh/ano com ações de eficiência energética implementadas em 4 indústrias intensivas em consumo de energia, além de disseminar ações voltadas a gestão energética industrial em pequenas, médias e grandes empresas.

De acordo com o MME/EPE (2020), os ganhos de eficiência energética no Brasil têm aportado contribuição histórica importante no atendimento ao consumo de energia do país, tendo gerado economias de energia da ordem de 14% entre 2005 e 2018. Os estudos de planejamento energético mostram que a eficiência energética continuará a desempenhar papel relevante como fonte de atendimento ao crescimento do consumo de energia no médio e longo prazo.

A atividade industrial no Brasil (extrativa, transformação e produção de eletricidade e combustíveis) responde por parcelas expressivas do consumo de combustíveis e de eletricidade, além de apontar para potencial de eficiência energética a ser aproveitado. A relevância da indústria brasileira para o aproveitamento das oportunidades de eficiência energética, além de representar por si só um vetor de ganho de competitividade, também potencializa ganhos em inovação tecnológica tanto em uso quanto na produção de produtos relacionados ao mercado de eficiência energética (MME/EPE, 2020).

Fernandes (2015) afirma que a redução das perdas nos processos industriais implica no aumento da eficiência destes, sendo que os princípios de conservação podem trazer resultados relacionados a redução das perdas de energia, consumo responsável, processos otimizados, menor impacto ambiental e estímulo à programas de conscientização e uso eficiente de energia.

Desta forma, mover ações de eficiência energética na indústria é reconhecidamente uma forma de auxiliar a transformação de seus processos em busca de competitividade e sustentabilidade e resulta em múltiplos benefícios para a indústria e para a sociedade em geral. Uma indústria mais eficiente reduz seus custos com energia, atinge ganhos de produtividade e maior competitividade, pode melhorar a qualidade dos produtos, aumentar a interação entre áreas através da gestão de energia e ter resultados positivos em outros temas, além dos benefícios em termos de imagem institucional (MME/EPE, 2020).

Diante deste cenário surgem as seguintes perguntas de pesquisa: Quais os aspectos fundamentais a serem considerados em modelos estratégicos de EE? Quais diretrizes permitirão direcionar a tomada de decisão em caráter estratégico para a promoção da eficiência energética?

Assim, com base nos pressupostos de estratégia em operações e eficiência energética, o estudo busca estruturar os aspectos essenciais para o desenvolvimento de diretrizes que favoreçam o direcionamento de estratégias relacionadas ao consumo de energia. Para tanto, é proposto um *framework* que organiza elementos e estabelece um conjunto de premissas que determinam as condições necessárias para o processo de melhoria do desempenho energético, apresentando conexões entre fatores que impactam os resultados, a fim de nortear indústrias que tenham interesse no aproveitamento das oportunidades de eficiência energética, que podem representar um vetor de ganho de competitividade e ampliar o conhecimento sobre potenciais ganhos de eficiência, visando um processo de transformação em direção a níveis mais altos de eficiência e competitividade nas indústrias.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral do estudo é propor um conjunto de diretrizes para orientar modelos estratégicos de eficiência energética em manufatura.

Para tanto, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Organizar a partir da literatura os elementos chaves utilizados na construção de estratégias em EE.
- Construir um *framework* que categorize e relacione os elementos das diretrizes.

- Refinar as diretrizes e o *framework* em uma abordagem empírica por grupo focal com especialistas.

1.2 JUSTIFICATIVA

De acordo com Porter (2004), cada empresa possui uma estratégia competitiva, podendo esta ser desenvolvida explicitamente por meio de um processo de planejamento, como evoluir implicitamente a partir das atividades de vários departamentos funcionais da empresa, que acabam por buscar métodos ditados pela sua orientação profissional e pela soma dos conhecimentos empíricos enraizados na empresa. No entanto, nem sempre o resultado é a melhor estratégia.

A motivação para o estudo, apoia-se no fato de que por mais que seja de conhecimento que a capacidade de uma empresa em competir no mercado dependa da escolha e implementação de boas estratégias, Barney e Hesterly (2011) discutem que estas acabam sendo quase sempre a melhor aposta sobre como a concorrência evolui e como a evolução pode ser explorada de maneira positiva para se obter a vantagem competitiva.

Para Falconi (2013), a implementação da estratégia em uma organização está relacionada a diretriz desta estratégia, em um vínculo direto com a definição da meta atrelada ao objetivo principal da diretriz que se quer alcançar, sendo preciso considerar os meios e métodos utilizados para atingi-la.

Lima *et al.* (2005) abordam que as diretrizes estratégicas têm caráter orientativo e devem se antecipar aos problemas de implementação, garantindo a coerência da estratégia. Os autores reforçam que as diretrizes estratégicas fundamentam a elaboração de políticas, programas e projetos para a criação da estratégia organizacional, sendo que o desenvolvimento de diretrizes deve estabelecer um conjunto de premissas, onde se determinam as condições necessárias para a implantação de um processo organizacional de caráter corporativo. Essas premissas se referem a aspectos conceituais e corporativos, definindo o posicionamento da empresa em relação às práticas estabelecidas, sendo que este estudo leva em consideração os aspectos energéticos na tomada de decisão.

No setor industrial, o conceito de eficiência energética vem ganhando corpo em decorrência do contexto mundial onde impera a necessidade por redução de custos e melhorias em produtividade para aumento da competitividade, além da necessidade de alinhamento desses fatores aos princípios de desenvolvimento sustentável. No passado, fatores ligados a necessidade do desenvolvimento sustentável, correlacionados ao acesso

à energia e a sua utilização, o desenvolvimento econômico, as preocupações ambientais e o desenvolvimento de novas tecnologias eram considerados de maneira independente, diminuindo o impacto que podem causar na eficiência energética (TASSINI, 2012).

Sola e Kavaleski (2004) apontam que a promoção da eficiência energética nas empresas é indispensável para que haja redução de custos, sendo que as ações de eficiência energética devem ser criadas e acompanhadas considerando a relação entre programas de conscientização, gestão de energia e emprego de tecnologias energeticamente eficientes.

Pesquisas apontam para métodos e tecnologias para melhoria da eficiência energética de sistemas de fabricação. Dufloy *et al.* (2016) apresentaram uma abordagem sistemática para manufatura com eficiência energética em diferentes níveis do sistema (nível de processo, de máquinas, de instalações, entre outros). Já Zhou *et al.* (2016) demonstram um modelo que sugere que a eficiência energética pode ser melhorada a partir dos aspectos de *design* e uso de máquinas e ferramentas.

Desta forma, percebe-se a necessidade do direcionamento de estratégias que possibilitem economia de energia e auxiliem no diagnóstico de *gaps* de eficiência energética nos processos e na implementação de programas que tragam retorno econômico e ambiental.

Numa tentativa de contribuir para o preenchimento da lacuna relacionada a dificuldade em encontrar estudos que concentrem diretrizes estratégicas para eficiência energética, o estudo aborda como o desenvolvimento de diretrizes servirão de apoio para a avaliação da implementação das estratégias e do desempenho energético, proporcionando melhores estratégias em EE no setor de manufatura. O estudo permite disponibilizar a sociedade, principalmente ao meio institucional, diretrizes que possibilitem nortear estratégias que contribuam para a redução do consumo de energia industrial, sendo que a contribuição teórica do estudo está relacionada a construção de um *framework* de diretrizes que apresentam direcionamentos e conexões relevantes para modelos estratégicos em EE.

O estudo está estruturado de forma que no Capítulo 2 tem-se o referencial teórico relacionado a estratégia em operações e eficiência energética, além de uma revisão sistemática de literatura sobre o tema, o Capítulo 3 apresenta a metodologia proposta para a pesquisa. No Capítulo 4 são apresentados os resultados do *framework* inicial e das diretrizes, bem como o refinamento dos mesmos, que levou a versão aprimorada das diretrizes. O Capítulo 5 apresenta a conclusão do estudo, seguida das Referências

utilizadas na pesquisa. No Apêndice A consta o artigo de revisão sistemática de literatura intitulado “*Energy Efficiency in Industrial Environments: An Updated Review and a New Research Agenda*”, que direcionou teoricamente o estudo, bem como o Apêndice B que apresenta o protocolo de pesquisa adotado para o estudo empírico.

REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentada uma revisão da literatura que conceitua e contextualiza temas relacionados a diretrizes estratégicas, estratégia em operações e modelos estratégicos em eficiência energética em manufatura. Foram considerados para este referencial, publicações voltadas a diretrizes estratégicas, estratégia com viés em manufatura e eficiência energética. Apresenta-se também a revisão sistemática de literatura sobre eficiência energética em manufatura que serviu como base teórica para o estudo, possibilitando obter um panorama geral dos temas que nortearam o desenvolvimento das diretrizes propostas na pesquisa.

2.1 DIRETRIZES ESTRATÉGICAS

Diretrizes estratégicas são elementos orientadores que fundamentam a elaboração de políticas, programas e projetos para a realização da estratégia organizacional (LIMA *et al.*, 2005).

Argyris (1993) reforça que a diretriz procura transformar o conhecimento em ação através da construção de estratégias funcionais em diferentes níveis de políticas, rotinas e culturas, em alinhamento com a estratégia corporativa.

Nesse sentido, Lima *et al.* (2005) afirmam que para a elaboração das diretrizes deve-se, previamente, estabelecer um conjunto de premissas, onde se determinam as

condições necessárias para a implementação de um processo empresarial de natureza corporativa, neste caso, para a eficiência energética em indústrias.

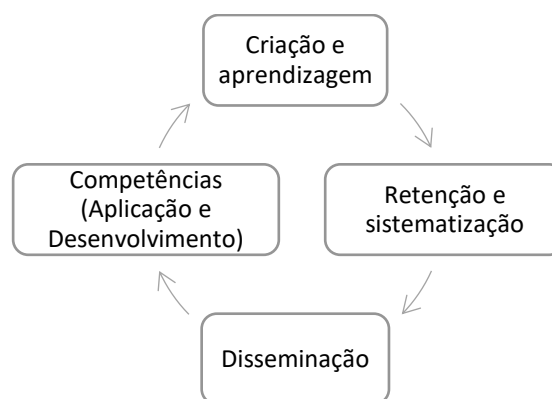
Segundo Watson (2003), um sistema de gestão estratégica consiste no mecanismo para definir e desdobrar diretrizes, objetivando executar um determinado programa para a melhoria do negócio.

Nesse sentido, Lima *et al.* (2005) ressaltam que as diretrizes devem orientar o desenvolvimento de um sistema de mensuração do desempenho e evolução do processo, valorando os ativos intangíveis da corporação e mantendo a consistência e coerência com a realização da estratégia corporativa, contribuindo para a realização da missão da empresa.

As diretrizes estratégicas tem caráter orientativo e devem antecipar-se aos problemas típicos de implantação e garantir a coerência estratégica, sendo que tais premissas definem o posicionamento da empresa em relação às práticas (neste caso de eficiência energética), onde estas premissas referem-se a aspectos conceituais e empresariais de natureza interdisciplinar e deve desenvolver interfaces com as diferentes funções e processos organizacionais e de gestão existentes, fundamentando o desenvolvimento corporativo, garantindo sua coerência e consistência (LIMA *et al.*, 2005).

Para ilustrar o processo de formulação de diretrizes estratégicas, Gouvêa da Costa *et al.* (2005) agrupam os elementos fundamentais para a elaboração destas, indicando as relações de causa e efeito, como pode visto na Figura 1:

Figura 1 - Lógica de relacionamento das diretrizes



Fonte: Adaptado de Gouvêa da Costa *et al.* (2005).

Entende-se que a origem do processo se dá na criação de conhecimento, neste caso em eficiência energética. O conhecimento gerado nesses processos deve ser retido e sistematizado para a sua futura disseminação. A aplicação do conhecimento se dá através

das competências organizacionais e individuais que são mobilizadas em diferentes processos dentro da organização. Como as competências estão em constante desenvolvimento, provocam um processo de contínua aprendizagem (GOUVÊA DA COSTA, *et al.* 2005).

No contexto deste trabalho, a diretriz é definida como uma recomendação, uma prática de *design* ou um princípio estratégico de eficiência energética para a indústria. Desta forma, serão abordados na sequência pontos de interesse para a pesquisa em relação a estratégia em operações.

2.2 ESTRATÉGIA EM OPERAÇÕES

O termo estratégia tem sido abordado por diferentes prismas ao longo do tempo. Para Mintzberg (2000) a estratégia requer uma série de definições, porém estando relacionada a um padrão, isto é, consistência de comportamento ao longo do tempo.

Bracker (1980) ressalta que a estratégia apresenta características voltadas a análise situacional ou ambiental que determina a posição da empresa no mercado e o uso apropriado dos recursos da empresa para alcançar os objetivos.

Partindo deste pressuposto, Andrews (1991) conceitua estratégia como um padrão de decisão em uma empresa que determina seus objetivos, propósitos ou metas, produzindo as principais políticas e planos para a obtenção de resultados. Além disso, o autor ressalta que a estratégia proporciona definir a escala dos negócios, além do tipo de organização econômica e humana que pretende ser, assim como a natureza da contribuição econômica e não econômica que deseja proporcionar a seus acionistas, funcionários e comunidades.

Já a estratégia de operações é voltada a uma das áreas funcionais da organização, sendo que sua tarefa principal de acordo com Hayes *et al.* (2008) é guiar a empresa na montagem e alinhamento dos recursos, sustentando a implantação da estratégia competitiva. Os primórdios da abordagem sobre estratégia de operações são remetidos a Skinner (1969), com a discussão de que o setor de operações precisava deixar de ser apenas reativo e operacional, pois a natureza de suas decisões direcionava para uma postura mais estratégica da função.

É importante ressaltar a afirmação de Schroeder *et al.* (2011) de que o mecanismo de geração de lucro de qualquer empresa está relacionado às suas operações. Assim, ao

desenvolver estratégias, é importante dar a devida atenção às operações, concedendo o papel estratégico adequado a esta função.

Para Platts (1994), o processo de fabricação depende das decisões tomadas pela separação das áreas de decisão e da realização das metas explícitas nos critérios de desempenho, ressaltando que é preciso identificar estes critérios priorizando-os em ganhadores, qualificadores e menos importantes e relacioná-los com as áreas da decisão, formando assim o processo decisório.

Já Leong *et al.* (1990) diferenciaram estratégias de operações em termos de conteúdo e processo, sendo que o conteúdo apresenta os problemas estratégicos que o gerenciamento deve resolver e os métodos e procedimentos utilizados na tomada de decisões refletem o processo de desenvolvimento de estratégias operacionais. Segundo Slack e Lewis (2009), a estratégia de conteúdo é composta por decisões e medidas específicas que determinam o papel, o objetivo e as atividades das operações. Ou seja, o conteúdo da estratégia foca no que será decidido e o processo da estratégia demonstra como as decisões serão utilizadas.

Desta forma, Slack e Lewis (2009) consideram a estratégia de operações como o padrão de decisões que determina as competências de longo prazo da função operações, conciliando os requisitos do mercado com os processos e recursos operacionais da empresa, fornecendo uma base sólida para a vantagem competitiva sustentável da organização. Para que isso ocorra, Hayes *et al.* (2008) sugerem que as operações sejam projetadas e gerenciadas de maneira que suas ações e atributos estejam de acordo com as necessidades da organização e das demais funções, o que possibilitaria acompanhar as mudanças relacionadas a mercados, tecnologias e aspectos socioeconômicos que impactam os sistemas operacionais e as práticas de gestão.

Para Grant (2008), a formulação da estratégia está em compreender as relações entre recursos, capacidades, vantagem competitiva e lucratividade, em particular, uma compreensão dos mecanismos pelos quais a vantagem competitiva pode ser sustentada ao longo do tempo. Para Collis e Montgomery (1994) esta abordagem baseada em recursos enxerga as empresas como um conjunto de diferentes capacidades e ativos, sendo que duas empresas não podem ser iguais, pois estas não têm ao longo do tempo o mesmo conjunto de experiências, não adquirem os mesmos ativos ou habilidades e não constroem a mesma cultura organizacional.

Grant (2008) conceitua recursos como *inputs* no processo produtivo e salienta que os recursos individuais das organizações incluem: equipamentos, habilidades individuais

dos empregados, patentes, marca, finanças, entre outros, sugerindo seis categorias para classificar os recursos: recursos financeiros, recursos físicos, recursos humanos, recursos tecnológicos, reputação e recursos organizacionais. Para o autor, nem todos os recursos têm o potencial de sustentar vantagens competitivas. Para ter potencial, os recursos devem ser valiosos, raros, imperfeitamente imitáveis e não ter substitutos estrategicamente equivalentes (PLATTS *et al.*, 2003).

Nesse sentido, Grant (2008) propõe uma abordagem para a análise estratégica que estabelece um procedimento de cinco estágios para a formulação da estratégia: (1) análise da base de recursos da empresa; (2) avaliação das capacidades; (3) avaliação do potencial de geração de lucros das capacidades e recursos; (4) seleção da estratégia; e (5) expansão e aprimoramento do conjunto de capacidades e recursos. Além disso, o autor explica que os retornos dos recursos e capacidades da empresa dependem de dois fatores-chave, sendo o primeiro fator a sustentabilidade da vantagem competitiva a qual os recursos e capacidades conferem a empresa e o segundo fator estando relacionado a habilidade dessa empresa em se apropriar dos resultados obtidos por meio dos recursos.

Percebe-se que as abordagens que contemplam a argumentação da dinâmica dos recursos como em Collis e Montgomery (1994), apresentam uma relação entre três forças fundamentais de mercado (escassez, apropriabilidade e demanda) para determinar o valor de um recurso ou de uma capacidade. Para os autores, os recursos não podem ser avaliados isoladamente, porque seu valor é determinado pelas interações com as forças de mercado, pois um recurso que é valioso em uma indústria específica ou em um período específico, poderia deixar de ter o mesmo valor em uma indústria diferente ou em outro espaço de tempo.

Assim, a forma como os recursos se completam deve ser aproveitada para que ganhos de desempenho possam ser alcançados, uma vez que as empresas buscam estratégias diferentes na implantação de recursos e exibem combinações exclusivas de envolvimento destes, visto que os recursos são distribuídos de forma heterogênea entre as empresas, o que pode explicar as diferenças de desempenho entre elas (HUGHES *et al.*, 2018).

April (2012) reforça que o uso de uma abordagem baseada em recursos é fundamental para o desenvolvimento de uma estratégia fundamentada que reflita a estratégia competitiva da empresa.

Desta forma, indiferente do foco e da abordagem, a estratégia segundo Mintzberg, *et al* (2000), deve apresentar consistência em comportamento ao longo do tempo, além de

permitir, conforme Barney (1996), um padrão de alocação de recursos que garanta às empresas manterem ou melhorarem o seu desempenho.

2.2.1 Prioridades Competitivas e Decisões Estratégicas Operacionais

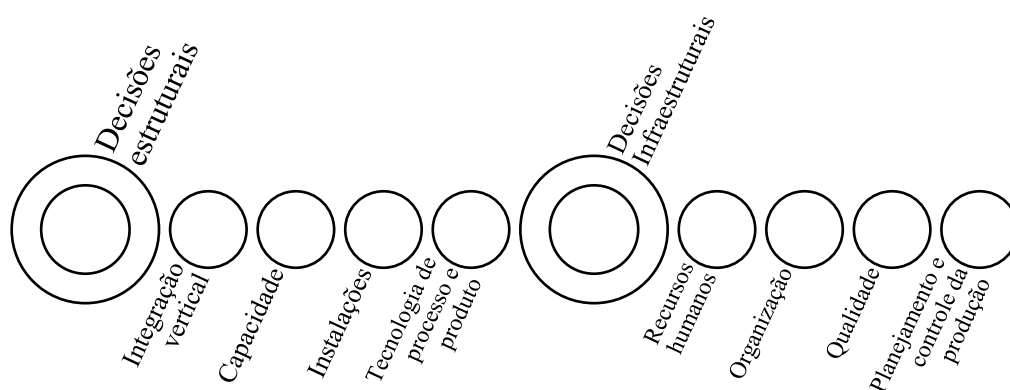
Não existe consenso absoluto sobre a classificação das prioridades competitivas, havendo pequenas divergências na apresentação do conjunto, porém com classificações se assemelhando de autor para autor (SKINNER, 1969; WHEELWRIGHT, 1978; HAYES e UPTON, 1998). De acordo com Dangayach e Deshmukh (2000), há um conjunto de tarefas que deve ser executado pela função operações a fim de apoiar a estratégia da organização, ressaltando que a ênfase relativa dada a cada uma dessas tarefas representa as prioridades competitivas da operação, onde a avaliação dessas prioridades indicará a sua intenção estratégica.

Wheelwright e Hayes (1984) entendem que essas prioridades estão relacionadas ao custo, a qualidade, a confiabilidade e a flexibilidade, sendo que as prioridades competitivas podem orientar a alocação de recursos pertinentes nas várias áreas das operações para que os objetivos sejam alcançados.

Para Hayes *et al.* (2008) a estratégia de operações é formada pelas prioridades competitivas e pelas decisões tomadas nas áreas estruturais e infraestruturais das operações. A respeito das categorias de decisões estruturais e infraestruturais, Hayes e Pisano (1994) consideram que estas são o meio para a implementação de uma estratégia competitiva, servindo para o desenvolvimento das capacidades desejáveis.

Voss (1995) menciona que há uma lógica hierárquica no conteúdo da estratégia de operações, sendo que as prioridades competitivas são os guias das decisões estruturais e essas direcionam as decisões infraestruturais, conforme pode ser observado na Figura 2:

Figura 2 - Áreas de decisão estruturais e infraestruturais



Fonte: Baseada em Wheelwright e Hayes (1985).

De acordo com Wheelwright e Hayes (1985), as decisões estruturais são relacionadas a integração vertical, a capacidade, instalações, tecnologia do processo e do produto.

A integração vertical diz respeito a decisões sobre o que será produzido internamente, o que será obtido de terceiros e como serão os acordos com os fornecedores (BECKMAN; ROSENFIELD, 2008). Em relação à capacidade, os autores ainda ressaltam que são necessárias análises referentes a o que, como e quanto será produzido, balizadas em termos de necessidade de mercado e possibilidade tecnológica disponível.

Referente as instalações, Stevenson (2009) coloca que são avaliados aspectos relacionados ao tamanho da planta industrial, à localização geográfica, aos processos produtivos e ao grau de especialização dos recursos de produção. O autor coloca que em relação a tecnologia do processo, devem ser consideradas questões quanto ao tipo e ao grau de automação do processo produtivo, manuseio de materiais e as decisões que especificam como os diferentes estágios do processo se conectam.

O estudo de Leong *et al.* (1990) reporta a uma quinta prioridade estratégica: a inovação, tendo essa uma íntima relação com a tecnologia do produto. Heizer e Render (1993) reforçam o exposto considerando a importância em selecionar e projetar produtos inovadores, sendo que Alegre-Vidal *et al.* (2004) apresentam a relação entre estratégia de operações e inovação de produto, levando em consideração as prioridades voltadas a qualidade e flexibilidade.

Definidas as áreas de decisão estruturais, Wheelwright e Hayes (1985) tratam sobre as decisões infraestruturais sendo estas: força de trabalho (recursos humanos), organização, qualidade e planejamento e controle de produção.

Boyer e Lewis (2002) consideram que as decisões de qualidade são relativas ao estabelecimento de políticas e sistema de gestão da qualidade, sendo abordados critérios como de inspeção de entrada de materiais, reprovações na linha de produção e avaliação de fornecedores.

Em relação ao estabelecimento de políticas de recursos humanos, Barros Neto (1999) aborda que as decisões têm relação com o elemento humano, como recrutamento, seleção, contratação, treinamento, promoção, remuneração e motivação.

Slack e Lewis (2009) colocam que em relação ao Planejamento e Controle das Operações, deve-se priorizar a maneira como a empresa se organiza em termos de previsão e programação dos recursos na produção.

As questões relacionadas a organização, tratam da definição da quantidade de níveis hierárquicos da empresa, estrutura do setor de produção, nível de centralização, estilo de liderança, organização do trabalho, entre outros (SILVA, 2003).

Desta forma, Fine e Hax (1985) afirmam que projetar uma estratégia de operações eficaz é uma tarefa árdua que sofre interferência de uma série de variáveis, internas e externas à organização, levando em consideração diversos fatores para o desenvolvimento da estratégia, sendo preciso acompanhar as negociações entre as forças externas e estreitar os relacionamentos internos com as demais funções organizacionais. Percebe-se então que as estratégias de operações surgem do entendimento de que a função de manufatura deve apoiar à competitividade da organização.

Com base no exposto, percebe-se que o planejamento de sistemas de produção não se limita apenas a decisões de investimento baseadas em curto prazo, mas o processo de tomada de decisão estratégica determina que considerações sejam feitas em relação aos impactos de longo prazo (MAY *et al.*, 2016). Assim, direcionando ao foco do estudo, o objetivo estratégico de obter fábricas eficientes em energia só poderia ser realmente alcançado pela integração entre o nível estratégico, o gerenciamento de produção e demais áreas funcionais.

2.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM AMBIENTES DE MANUFATURA

O aumento do consumo de energia e sua influência sobre as emissões de gases de efeito estufa justificam maior atenção a EE, especialmente para a EE industrial. Lamberts (2010) relata que a preocupação com a crise energética colocou em foco a busca por EE

não somente pelas questões econômicas, mas também pela necessidade do recurso para manutenção dos processos e redução dos impactos ambientais.

A *International Energy Agency* (2015) afirma que a EE visa oferecer mais serviços com a mesma energia consumida ou os mesmos serviços com menor consumo de energia. Ou seja, a EE é uma forma de gerenciar este recurso a fim de reduzir o aumento no consumo de energia.

Desta forma, Ribeiro (2005) define EE como um conjunto de práticas e políticas que levem à redução dos custos com energia ou aumente a quantidade de energia oferecida, sem alteração da geração ou uso. As concepções abordadas pelo autor em relação a EE dizem respeito ao planejamento dos recursos; eficiência na geração, transmissão e distribuição; gerenciamento da demanda e eficiência no uso. Para este estudo são focados os aspectos relacionados ao planejamento integrado dos recursos (com práticas que subsidiem os gestores a avaliar os custos e benefícios sob a ótica da oferta e demanda, de forma que a energia utilizada pelo sistema seja a de menor custo financeiro e ambiental) e na eficiência de uso final (utilizando tecnologias e práticas que estimulem a EE).

A energia utilizada nos processos de fabricação normalmente representa mais de um terço de toda energia consumida na cadeia de suprimentos, sendo um dos fatores que mais influenciam no custo total de fabricação em uma grande parte das indústrias. Outro fator relevante diz respeito a regulamentações sobre emissões de dióxido de carbono e gases de efeito estufa, sendo essa uma questão crítica para os fabricantes. Portanto, a redução no consumo de energia tem impacto direto nos custos relacionados à energia para a produção, além de questões ambientais relacionadas a escassez de recursos naturais e emissões de poluentes, sendo estes fatores que interferem diretamente na competitividade dos negócios (PARK; LEE, 2012). Outro fator relevante considerado por Apostolos *et al.* (2014) é de que geralmente a energia necessária é proporcional ao tamanho do sistema de fabricação, não sendo considerada adequada para a comparação da eficiência energética duas configurações diferentes de fábricas.

De acordo com Fenerich *et al.* (2013), uma vez que a energia é considerada um fator de produção necessário em empresas de manufatura, a gestão de recursos energéticos pode ser realizada por meio de uma série de atividades, como estimativa da quantidade necessária de energia, medição de consumo de energia e análise da eficiência energética.

Existe um debate na literatura sobre os benefícios da EE. Algumas contribuições

afirmam que uma grande proporção do setor industrial não implementou melhorias em EE apesar de estarem associadas a maiores lucros ao invés de custos (BACKLUND *et al.*, 2011; BROWN, 2001; THOLLANDER e PALM, 2013; TRIANNI e CAGNO, 2012).

Para Backlund *et al.* (2011), a diferença de EE entre as empresas é considerada a consequência de barreiras associadas a fatores econômicos, organizacionais, obstáculos comportamentais e a falta de adoção de medidas inovadoras na gestão da EE.

Yoon *et al.* (2015) revisaram as tecnologias de ponta para economia de energia no processo de usinagem, sendo que um estudo semelhante foi conduzido por Zhang *et al.* (2014), onde em uma visão geral do estado da arte em técnicas de eficiência energética de manufatura, são apresentados e analisados os desafios envolvidos. É interessante notar que são apresentados nesses estudos várias tecnologias e métodos eficientes em energia para a fabricação.

Dito isto, Schulze *et al.* (2016) elencam em sua revisão sistemática de literatura, três temas predominantes nos estudos que analisam o gerenciamento de energia de uma maneira estratégica, sendo: a necessidade de uma estratégia energética a longo prazo, o planejamento e o processo de definição de metas relacionadas ao nível organizacional e a necessidade de uma abordagem sistemática de gerenciamento de riscos estratégicos relacionada ao uso de energia para minimizar a exposição da empresa.

Na sequência são apresentadas algumas características dos modelos estratégicos de eficiência energética selecionados na literatura que dentre outros fatores, podem direcionar as diretrizes propostas na pesquisa.

2.4 MODELOS ESTRATÉGICOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM MANUFATURA

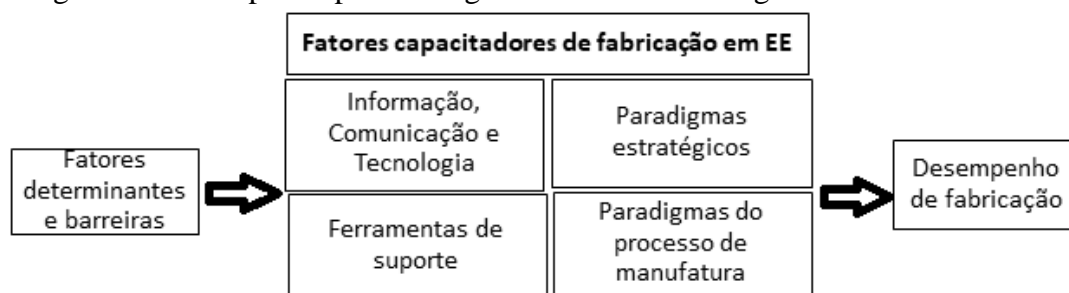
Para a operacionalização de um modelo e garantir o seu alinhamento com a estratégia de negócios da empresa, é necessária a criação de um conjunto de diretrizes orientadoras fundamentadas em uma estratégia, neste caso, voltadas a EE (LIMA *et al.*, 2005).

De acordo com Fenerich *et al.* (2013), um sistema para medir o consumo de energia em ambientes de produção pode concentrar os esforços de uma decisão no ponto exato do problema, além de contribuir para a estratégia de negócios, beneficiando os custos de produção e a organização do trabalho.

Em um estudo recente, Ouyang e Fu (2019) afirmam que a literatura relacionada à energia e manufatura, pode ser agrupada em três categorias: (1) as que se concentram no processo de tomada de decisão gerencial em relação à adoção de tecnologias para economia de energia; (2) aquelas que se concentram na lacuna de EE e em oportunidades rentáveis de EE em plantas industriais; e (3) as que se concentram em operações de manufatura com consciência energética e que consideram a energia como uma variável de decisão, um objetivo ou uma restrição.

Já May *et al.* (2016) elencam seis principais aspectos relacionados a gestão de energia, sendo: (1) fatores determinantes e barreiras; (2) tecnologias da informação e comunicação; (3) paradigmas estratégicos; (4) ferramentas e métodos de suporte; (5) paradigmas do processo de fabricação; e (6) *trade off* de desempenho na fabricação, sendo que as relações entre os fatores podem ser vistas na Figura 3:

Figura 3 - Principais aspectos do gerenciamento de energia na manufatura.



Fonte: Adaptado de May (2016).

Neste contexto, alguns estudos direcionam o entendimento sobre o tema. O modelo conceitual de Fenerich *et al.* (2013) apresenta um sistema estratégico de controle de energia baseado no modelo proposto pela ISO 50001:2011 e nas dimensões de desempenho do modelo *Balanced Scorecard* (BSC), estabelecendo conexão entre a estratégia das áreas funcionais da empresa (marketing, produção, finanças e recursos humanos) e as áreas de decisão inseridas na estratégia de produção (desenvolvimento de produto, engenharia de processos, manutenção, instalações e qualidade), sendo que estas são diretamente ligadas à política energética da empresa, da qual deriva o plano estratégico de energia para as operações.

Já Choi e Paul (2014) propuseram um modelo de estimativa do consumo de energia de um processo considerando vários recursos que consomem energia, sendo: 1) energia consumida por uma máquina durante o estado ocioso, estado de configuração e estado de corte; 2) energia de manuseio de materiais; 3) energia de transporte de

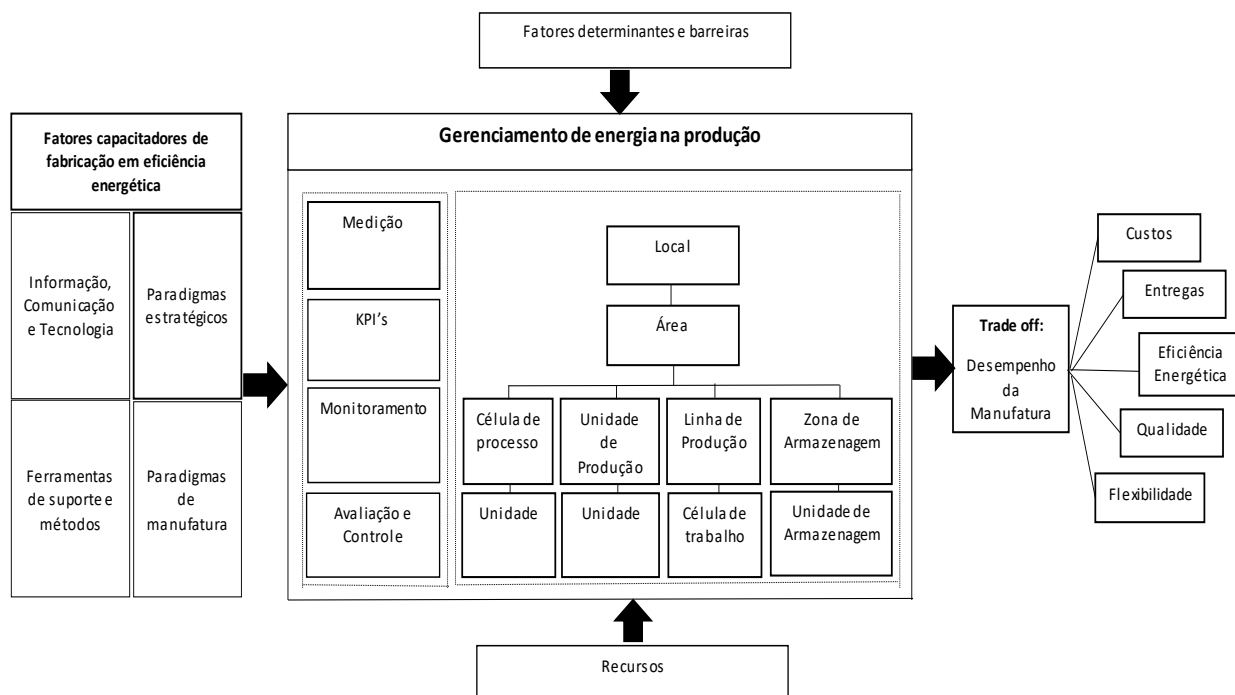
ferramentas e 4) energia de transporte de cavacos. Zhang e Ge (2015) propuseram uma abordagem de avaliação energética para otimização do planejamento de processos orientada para máquinas e ferramenta.

Prabhu, Trentesaux e Taisch (2015) abordam os desafios sobre operações de manufatura com consciência energética. Tan e Yavuz (2015) mostram um plano baseado na oferta de energia e tecnologias, mostrando os benefícios financeiros de seu modelo estocástico. Liu, Yang e Cheng (2017) estudam um problema de programação de fluxo com o objetivo de minimizar o consumo de energia usando uma decomposição em três etapas. Wang, Chen e Song (2018) mostram uma relação não linear entre restrições de energia e índices de lucro de negócios baseados em modelos matemáticos. Lee e Kwon (2019) investigam o potencial de efeito sinérgico de sustentabilidade ambiental e a melhoria da reputação corporativa no desempenho de mercado de uma empresa, comparando abordagens tradicionais e inovadoras.

No que diz respeito às estratégias e decisões gerenciais para otimização de energia, May *et al.* (2016) apresentam diferentes grupos de estudos relacionados ao tema. O primeiro grupo avaliado, fornece uma análise para melhorar o apoio à tomada de decisão em aspectos gerenciais importantes, baseada nos estudos de Sandberg e Söderström (2003) e Anderson e Newell (2004). O segundo grupo de pesquisadores avalia as tendências gerais de estratégias que incentivam a economia energética sustentável (MANDIL, 2007; RUSSELL, 2005). Outro grupo avaliado apresenta modelos de tomada de decisão e simulações para otimizar o consumo de energia na manufatura (THOLLANDER, MARDAN e KARLSSON, 2009; ÖNÜT *et al.*, 2008). Há também uma comparação de práticas internacionais e estratégias de gestão, que diz respeito à análise das ações estratégicas de EE em manufatura para traçar tendências e oportunidades de melhoria (LUKEN e PIRAS, 2011; GUTOWSKI *et al.*, 2005).

Avaliando os pressupostos elencados, May *et al.* (2016) consideram em seu modelo conceitual diferentes aspectos e suas relações na área de gerenciamento de energia, com o objetivo de descrever as atividades e os principais fatores necessários para integrar a EE à manufatura, como pode ser visto na Figura 4:

Figura 4 - Modelo de gerenciamento de energia em manufatura.



Fonte: Adaptado de May (2016).

No modelo apresentado na Figura 4, é ilustrado no centro da estrutura os principais fenômenos investigados, onde a EE em manufatura está localizada com suas variáveis relacionadas. Uma das dimensões avaliada diz respeito aos principais componentes do gerenciamento de energia: medição, KPIs, monitoramento, avaliação e controle. Outra dimensão inclui os diferentes níveis operacionais em uma instalação, ou seja, local, área, célula de trabalho e unidade de trabalho. Os fatores capacitadores para EE em manufatura atuam como uma entrada para os principais fenômenos, enquanto os níveis de desempenho no *trade off* (desempenho *versus* procedimentos para EE) são considerados como resultado. As barreiras e os direcionadores para a gestão de energia são os controles que direcionam e restringem projetos e atividades relacionadas à energia. Por último, os recursos relacionados a pessoas, máquinas e ferramentas, são apresentados como mecanismos de aprimoramento.

Assim, o modelo proposto por May *et al.* (2016) demonstra uma forma de avaliar os métodos existentes em diferentes setores industriais sob a perspectiva de EE, permitindo analisar a maneira como as empresas de manufatura integram os conceitos de EE em seus processos industriais.

Desta forma, é relevante o posicionamento de Zhang e Ge (2015) de que o consumo de energia deve ser considerado juntamente com outras restrições de fabricação, como especificidades da produção, competitividade, custo, rendimento, dentre outros

requisitos das demais áreas funcionais, para que haja efetividade na tomada de decisão. Esta afirmação evidencia o exposto por Olson *et al.* (2005) de que o desempenho de uma estratégia é relacionado a forma em que um conjunto de políticas e práticas estão alinhados aos requisitos dessa estratégia.

As observações do referencial teórico, permitiram verificar a articulação entre modelos estratégicos em EE, processos organizacionais para a gestão da EE e o desenvolvimento de visão estratégica em EE. A próxima seção apresenta resultados da revisão sistemática de literatura que possibilitou o desenvolvimento de diretrizes que direcionam o posicionamento das empresas em relação às estratégias e práticas em EE.

2.5 REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA MANUFATURA

A revisão sistemática da literatura visa fornecer um método robusto para analisar a literatura por meio de um exame abrangente e exaustivo no universo do campo de pesquisa, atendendo a um tema específico. O método é abrangente porque tenta reunir o maior número possível de trabalhos relacionados ao tópico específico sob exame e é exaustivo porque tenta realizar um exame minucioso do conteúdo dessas obras (KITCHENHAM, 2004).

A técnica foi utilizada para encontrar um universo compreensível de estudos acerca da eficiência energética em ambientes industriais que pudessem direcionar o modelo de diretrizes. Esta análise resultou em um conjunto de artigos que abordam sobre eficiência energética em manufatura com foco em operações. Desta forma, o universo refinado de estudos foi caracterizado e uma priorização foi realizada.

Primeiramente, o objetivo da revisão sistemática de literatura foi realizar um estudo bibliométrico e atualizar a agenda de pesquisa de Fenerich *et al.* (2017) para eficiência energética em ambientes industriais. Por meio do estudo foi possível a identificação dos modelos estratégicos e operacionais existentes na literatura relacionados a eficiência energética. A metodologia utilizada para este estudo encontra-se descrita na Seção 3.2.1 e os resultados são apresentados no Apêndice A.

Os resultados da primeira revisão sistemática serviram de base para o desenvolvimento dessa e de outras pesquisas pelos componentes do grupo de estudos de Eficiência Energética do PGP/UEM (o artigo encontra-se em Apêndice A), sendo que

aqui são apresentados os resultados inerentes a abordagem proposta neste trabalho, que enfatiza a área de operações e subcategorias relacionadas a estratégias e práticas em EE, que serviram de base para a elaboração das diretrizes estratégicas em EE.

2.5.1 Análise Bibliométrica

A bibliometria contribui na identificação de padrões históricos, tendências e interesses de pesquisa, resultando em previsões precisas de um campo de pesquisa. A análise bibliométrica é frequentemente utilizada para avaliação da performance em diferentes níveis científicos (O'RIELLY; JESWIET, 2014).

As buscas iniciais da revisão retornaram em 14.180 artigos, sendo que destes, 7.319 foram descartados por estarem duplicados e outros 6.686, após leitura de títulos e resumo, foram descartados por não se enquadrarem nos critérios de inclusão estabelecidos. Desta forma, foram selecionadas para esta pesquisa 86 publicações das bases estabelecidas sendo que o número de publicações incluídas, são em sua maioria pertencentes às bases *Scopus* e *Web of Science*, considerando que essas foram as primeiras bases em que foram feitas as buscas de material para a pesquisas, visto que possuem uma quantidade maior de arquivos. Ao acrescentar os documentos das demais bases, identificou-se duplicação de arquivos, o que acarretou na entrada de um número menor documentos das outras bases.

Os critérios de exclusão estão relacionados a publicações que não possuem a versão completa disponível, publicações cinzas ou que não atingem o objetivo da pesquisa.

Na Quadro 1 pode-se observar os critérios utilizados para inclusão de material desta etapa da revisão, sendo que grande parte das publicações selecionadas apresentam correlação entre eficiência energética, estratégia e operações.

Quadro 1 - Critérios de inclusão (I) do protocolo de pesquisa

Critérios
(I) Estudos que correlacionam eficiência energética, estratégia ou operação.
(I) Estudos que apresentam modelos estratégicos ou operacionais de eficiência energética.
(I) Estudos que descrevem práticas e/ou procedimentos para melhoria de desempenho energético nos sistemas produtivos.

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Os 86 artigos qualificados do portfólio da revisão de sistemática de literatura apresentavam modelos estratégicos de EE, sendo que 51 destes tinham relação com estratégias em EE e 35 voltados a práticas em EE.

Foi possível também identificar com a bibliometria que a China foi o país de destaque em relação a quantidade de trabalhos publicados, representando 32,8% do total de artigos, seguido dos Estados Unidos e Reino Unido com 8,06%, Itália com 5,91% e Alemanha com 4,83%. Quanto as instituições que apresentam maior volume em publicações, até o fechamento da revisão, a chinesa *Beijing Institute of Technology* liderava com 6 publicações. O periódico que apresentou mais publicações sobre o tema foi o *Journal of Cleaner Production*, com 32 publicações sobre tema. O autor com maior número de publicações do portfólio foi *Jianjun Ouyang* da chinesa *Shandong Technology and Business University* com 3 publicações.

Nota-se que uma das possibilidades relevantes para que exista um diagnóstico da EE é mapear estudos que vislumbram a adoção de estratégias em eficiência energética, bem como as práticas que evidenciam oportunidades de melhoria e direcionam as ações para o alcance dos objetivos estratégicos. Nesse sentido, foi realizada uma priorização do material de acordo com seus conteúdos para identificar os principais conceitos e *frameworks* de eficiência energética.

No Quadro 2 os artigos do portfólio estão divididos na categoria de Operações, com o desmembramento nas subcategorias estratégia e práticas, com o objetivo de identificar os periódicos presentes na categoria e subcategorias, os principais temas e palavras-chave e as publicações relacionadas.

Quadro 2 - Características do portfólio de publicações em eficiência energética com foco em estratégias e práticas em operações.

Eficiência Energética em Operações	
Estratégia	
Periódicos	Journal of Cleaner Production, Applied Energy, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, International Journal of Applied Engineering Research, Energy, Energy Policy, European Journal of Industrial Engineering, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology.

Temas	Gestão de energia, eficiência energética, consumo de energia, eficiência energética na indústria, desempenho energético, estratégia de operação e sistemas, política energética, conservação de energia na indústria, energia renovável, comportamento do trabalhador, consumo de energia e emissões de gases de efeito estufa, consumo de energia em fábricas, desempenho operacional, eficiência energética e consciência ambiental, inovação, estratégia corporativa de energia, estratégia de manufatura, ISO 50001, sistema de controle de energia, sistema de apoio à decisão, sistemas de energia distribuída.
Principais palavras-chave	Energy efficiency, energy conservation, energy management, industry, optimization, cnc machining, demand response, distributed energy system, energy, energy audit, energy management system, energy performance contracting, energy saving, game model, non-energy benefits, production scheduling, sustainable machining.
Artigos relacionados	Wang; Li (2015), Wen <i>et al.</i> (2018), Schulze <i>et al.</i> , (2016), Vallejos-Cifuentes <i>et al.</i> (2019), Wei <i>et al.</i> (2016), Uz (2018), Weitzel & Glock (2018), Feng <i>et al.</i> (2016), Wang; Lin (2017), Yang <i>et al.</i> (2019) e Van Stiphout <i>et al.</i> (2016). May <i>et al.</i> (2016), Mahapatra <i>et al.</i> (2015), Khawaja <i>et al.</i> (2019), Vine, Jones (2016), Costa-Campi, Garcia-Quevedo, Segarra (2015), Lin, Zheng (2016), Malinauskaite <i>et al.</i> (2019), Carvallo <i>et al.</i> (2019), Silvestre <i>et al.</i> (2018), Li <i>et al.</i> (2017), Ouyang e Fu (2019), Wu <i>et al.</i> (2019), Ouyang, Ju (2017), Barkhordar <i>et al.</i> (2018), Tryndina <i>et al.</i> (2019), Fernando <i>et al.</i> (2018), Richert (2017), Lu, Peng, Xu (2019), Li <i>et al.</i> (2017), Wang, Cheng e Song (2018), Sadrievn, Nasrtdinova, Melnik (2015), Adewunmi, Alister e Phooko (2019), Catarino, Henriques, Egreja (2015), Barkhordar <i>et al.</i> (2018), Isaksson, Hiller, Lane (2019), Dumitru <i>et al.</i> (2016), Ghadimi <i>et al.</i> (2015), Tan e Yavuz (2015), Xing <i>et al.</i> (2019), Stiphout, De Vos, Deconinck (2016), Luo <i>et al.</i> (2019), Dasgupta, Roy (2015), Xing <i>et al.</i> (2019), Blass <i>et al.</i> (2014), Schaefer e Guenther (2016), Wang, Jin (2017), Chiaroni <i>et al.</i> (2016), Velasco-Fernández <i>et al.</i> (2020), Mkwanzani <i>et al.</i> (2019), Schlueter; Rosano (2016), Abolarin (2015), Ball (2015), O'Driscoll; Kelly; O'Donnell (2015), Pusnik <i>et al.</i> (2017), Finnerty <i>et al.</i> (2018).
Práticas	
Periódicos	Journal of Cleaner Production, Applied Energy, Energy Policy, IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, South African Journal of Industrial Engineering.
Temas	Gestão de energia, consumo de energia, eficiência energética, demanda de energia, eficiência energética na indústria, custos de energia, economia de energia, redução de emissões, armazenamento de energia, conservação de energia, demanda de energia e emissões de carbono, energia renovável, gestão térmica, gestão de sistemas, inovação em energia eficiência, reaproveitamento de calor de resíduos industriais, serviços de energia, sistemas de manufatura.
Principais palavras-chave	Energy efficiency, Energy management, Energy consumption, Energy savings, Industry, Manufacturing, Optimization, Scheduling.

Artigos relacionados

Lee *et al.* (2017), Wang *et al.* (2018), Arteconi *et al.*, (2017), Ding *et al.* (2015), Fresner *et al.* (2016), Bonfá *et al.* (2019), Kindström, Ottosson (2016), Xing *et al.* (2019), Zuberi *et al.* (2017), Ouyang, Shen (2016), Wang *et al.* (2017); Thompson (2014), Baysan (2018), Yang, Feng, Liu (2016), Wallerand *et al.* (2018), Masoudinejad *et al.* (2015), Islam, Ponnambalam, Lam (2016), Jovanovic, Filipovic, Bakic (2017), Gopalakrishnan *et al.* (2014), Alarfaj, Bhattacharya (2018), Goosen, Swanepoel, Plessis (2016), Pelser, Vosloo, Mathews (2018), Menghi *et al.* (2019), Kwan, Shen, Yao (2019), Kong, Hasanbeigi, Price (2016), Weißfloch, Geldermann (2016), Trianni, Cagno, Accordini (2019), Bühler *et al.* (2019), Bonfai *et al.* (2019), Wei, Hong e Alam (2015), Eden, Balogun, Mativenga (2017), Diaz-Elsayed (2015), Liu, Wang, Zhou (2019), Wena *et al.* (2018), Olanrewaju (2019), Brinkerink; Chegut; Letterie (2019).

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Com base na análise dos estudos relacionados, foi possível também delinear as tendências das pesquisas em EE.

No ano de 2015 pode-se observar o foco das pesquisas em novas formas de produção para tornar o consumo mais eficiente, com assuntos voltados para questões econômicas, gestão de energia (ABOLARIN, 2015) surgindo propostas de práticas para a redução do consumo (HAN; YUN, 2015) e o desenvolvimento de processos mais enxutos (BALL, 2015).

Neste período há preocupação com a imagem da empresa e o atendimento à legislação (O'DRISCOLL; KELLY; O'DONNELL, 2015), pois com o crescente aumento do consumo de energia, surge a necessidade de ponderar os impactos causados pela emissão de gases de efeito estufa. Desta forma, percebe-se a relação da EE como a tendência de um futuro mais sustentável, sendo necessário buscar inovações que possam contribuir para suprir a demanda por energia na indústria (SONG; OH, 2015; COSTA-CAMPI; GARCÍA-QUEVEDO; SEGARRA, 2015), levando em consideração a necessidade de reduzir as emissões de carbono.

Já no ano de 2016, surge a preocupação com as barreiras impostas tanto pelo mercado de energia quanto pelas empresas para que a EE seja alcançada (HENRIQUES; CATARINO, 2016), sugerindo abordagens estruturadas para controlar o consumo e analisar os impactos ambientais (SCHLUETER; ROSANO, 2016).

Em 2017 nota-se uma busca por fontes de energia que sejam, ao mesmo tempo mais econômicas, renováveis e com baixa emissão de gás carbônico (PUSNIK *et al.*, 2017). Nota-se proposições sobre formas de armazenamento da energia gerada e a redução do desperdício, buscando por novas tecnologias capazes de proporcionar um maior armazenamento a um custo viável (ARTECONI *et al.*, 2017).

O ano de 2018 desponta com preocupações relacionadas às políticas (FINNERTY *et al.* 2018) e estratégias em EE em relação aos países e as empresas, para fomento e priorização da EE, sendo também abordada a importância da fabricação sustentável (LIU *et al.*, 2018).

O foco dos estudos de 2019 tem relação com as tendências da Indústria 4.0 (LU; PENG; XU, 2019) e a Inteligência Artificial como possibilidade de controlar microrredes, a fim de proporcionar maior economia de energia, independência energética e eficiência ao integrar diversas soluções, como sistema eólico e fotovoltaico, controle de cargas e armazenamento (KWAN; SHEN; YAO, 2019), além de indicar situações de desperdício com o uso de ferramentas como IoT, buscando além da otimização dos processos, uma produção mais limpa e melhoria da performance energética (BRINKERINK; CHEGUT; LETTERIE, 2019).

Os poucos estudos disponíveis avaliados no ano de 2020 (a coleta de dados da revisão sistemática foi finalizada em abril de 2020), seguem na direção de busca de estratégias corporativas (TEIXEIRA, 2020) para produção mais limpa e redução de emissões de CO₂.

Com base no exposto, verificou-se a predominância de estratégias de energia relacionadas ao consumo, gestão de energia, emissão de poluentes pela indústria e energia renovável, além de trabalhos que abordam sobre políticas energéticas em busca de processos produtivos mais eficientes. Além disso, a ocorrência de artigos relacionados a ISO 50001 aponta que empresas estão incentivando políticas compatíveis com a norma, auxiliando também a utilização de tecnologias para o gerenciamento de energia.

Desta forma, a revisão sistemática de literatura forneceu a pesquisa uma série de aspectos sobre a EE e o caminho das pesquisas na área, favorecendo a derivação das diretrizes propostas por análise de conteúdo dos artigos do portfólio.

No capítulo subsequente são expostos os métodos propostos para o alcance dos objetivos da dissertação.

METODOLOGIA

Este capítulo descreve o método utilizado para o desenvolvimento da pesquisa, com a finalidade de responder às questões motivadoras deste estudo. O desenho metodológico da pesquisa pretende atender o objetivo de propor diretrizes para modelos estratégicos de eficiência energética em ambientes industriais.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O estudo tem características de pesquisa básica, tendo como objetivo gerar conhecimento que seja útil para a ciência, sem necessariamente haver uma aplicação prática. Vale ressaltar que teorias elaboradas pela pesquisa básica também são empregadas para solucionar problemas práticos (RICHARDSON, 2007).

A pesquisa pode ser classificada quanto aos objetivos como exploratória, haja vista que após uma revisão sistemática de literatura, análise de conteúdo e um refinamento por meio de um grupo focal com especialistas, foi possível propor diretrizes que direcionem as estratégias em operações relacionadas a EE. Este tipo de pesquisa tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito. Minayo e Sanches (1993) relatam que a maioria das pesquisas exploratórias envolve levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado e análises de modelos que estimulem a compreensão. O esforço de sistematização também é um processo exploratório, embora exija um processo descritivo para a sistematização.

A abordagem metodológica utilizada no estudo é a qualitativa, pois de acordo com

Minayo e Sanches (1993), o método qualitativo destina-se a aprofundar a complexidade de fenômenos, fatos e processos particulares e específicos de grupos delimitados em extensão e capazes de serem abrangidos intensamente. Richardson (2007) relata que a abordagem qualitativa pode ser utilizada em situações complexas ou particulares que buscam descrever essa complexidade e analisar a interação de múltiplas variáveis. Desta forma, os métodos de coleta e análise de dados permitiram que as informações necessárias para o alcance do objetivo fossem descritas e interpretadas, favorecendo a proposta de diretrizes estratégicas de EE para operações, o que torna a abordagem apropriada às características do estudo.

O estudo envolve um esforço para sistematizar o conhecimento sobre eficiência energética, por meio da identificação, organização e avaliação das diretrizes. Nesse sentido, Deschamps (2013) salienta que o esforço de sistematização envolve a coleta, organização e análise de informações sobre um objeto de estudo de forma racional, de modo que padrões e denominadores podem ser identificados. Além disso, envolve aprofundar o conhecimento de um objeto de estudo: 1) levando em consideração diferentes pontos de vista sobre o objeto e sua relação com outros objetos; 2) decompor o estudo do objeto em diferentes partes, que podem ser vistas como conceitos, aspectos, recursos e características, para que as peças possam ser comparadas e analisadas minuciosamente por meio de uma lógica de análise estruturada; e 3) sintetizar e formalizar descobertas por meio de uma lógica que é capaz de representar os padrões e denominadores identificados no estudo.

Este esforço de sistematização é principalmente um processo qualitativo. Nesse sentido, o método aplicado nesta pesquisa leva em consideração uma abordagem qualitativa, além de utilizar a coleta e análise de dados que são, na sua maioria, de natureza qualitativa.

A estratégia para o desenvolvimento desta pesquisa foi baseada na aplicação de pesquisa bibliográfica e procedimentos empíricos. Além disso, a pesquisa requer uma abordagem qualitativa pelo fato de que a consideração subjetiva da realidade pelos autores e especialistas consultados é relevante para o cumprimento dos objetivos da pesquisa.

A coleta e análise de dados foi desenhada de forma a permitir a captura das perspectivas e interpretações de diferentes autores e especialistas, sendo fundamentada nos princípios da triangulação de dados. Dados primários e secundários foram levados em consideração, sendo que os dados secundários compõem a bibliografia consultada e

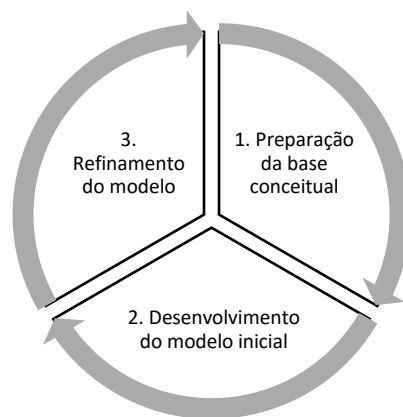
os dados primários foram obtidos por meio de grupo focal com especialistas. A sistematização foi realizada por meio de um modelo declarativo, no qual as diretrizes são expressas no formato de declarações. Em relação ao *framework* proposto, este representa as relações entre os aspectos abordados no modelo.

3.2 PLANEJAMENTO DE PESQUISA

O desenvolvimento da metodologia partiu da lógica de investigar na literatura as categorias, áreas de decisão e elementos-chave essenciais aos modelos estratégicos de EE, permitindo propor diretrizes para estes modelos. Desta forma, as etapas para o desenvolvimento da pesquisa incluem uma revisão sistemática de literatura sobre o tema, análise de conteúdo para a identificação de aspectos elementares dos modelos estratégicos de eficiência energética da literatura, levando ao desenvolvimento de um *framework* e de diretrizes estratégicas que posteriormente foram refinadas por meio de grupo focal.

O desenvolvimento da pesquisa pode ser resumido em três fases principais como pode ser observado na Figura 5, sendo que cada procedimento é delineado nas seções subsequentes.

Figura 5 - Fases de desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Autoria Própria (2021).

A preparação da base conceitual envolveu a realização de uma revisão sistemática da literatura no campo de eficiência energética em manufatura, a fim de compreender o contexto e construir os fundamentos conceituais do estudo. Já na fase de desenvolvimento do modelo inicial houve a identificação e organização das diretrizes do modelo inicial, bem como a construção do *framework* que relaciona as diretrizes. Na terceira e última fase ocorreu o refinamento do modelo inicial por meio de grupo focal para consulta a especialistas, gerando o modelo aprimorado das diretrizes e do *framework*.

3.2.1 Preparação da base conceitual: Revisão Sistemática de Literatura

A pesquisa teve início por uma revisão sistemática da literatura realizada pelo grupo de pesquisa em Eficiência Energética do PGP/UEM o qual a autora participa, tendo a finalidade de identificar materiais relevante e sintetizar as informações necessárias por meio de análise bibliométrica para um *update* do estudo de Fenerich *et al.* (2017).

Para a realização da revisão sistemática de literatura, foi adotado o processo ProKnow-C (*Knowledge Development Process - Constructivist*), que se propõe à construção do conhecimento no pesquisador considerando as suas percepções sobre o tema, bem como o reconhecimento científico dos artigos analisados.

Sobre o uso do instrumento de intervenção ProKnow-C, faz-se necessário elucidar as etapas de seu processo para desenvolvimento do conhecimento que inclui a seleção do portfólio bibliográfico, análise bibliométrica, análise sistêmica e definição da pergunta de pesquisa, objetivo geral e objetivos específicos (ENSSLIN *et al.*, 2010).

O ponto de partida para a revisão sistemática de literatura foi a definição dos parâmetros de pesquisa, sendo estes relacionados a artigos que apresentassem tema central em eficiência energética em ambientes produtivos, que apresentassem indicadores, além de modelos e referências para gestão estratégica e operacional da energia em ambientes industriais. As bases de dados pesquisadas foram as mesmas do artigo base para o *update*, sendo: *Science Direct, Emerald, Springer, IEEE Xplorer, ISI Web of Knowledge, Scopus, Cambrigde*. Foram selecionados apenas artigos científicos completos publicados em periódicos internacionais, limitado ao período de 2015 a 2020, sendo o recorte temporal baseado na data final das buscas do artigo base (FENERICH *et al.*, 2017).

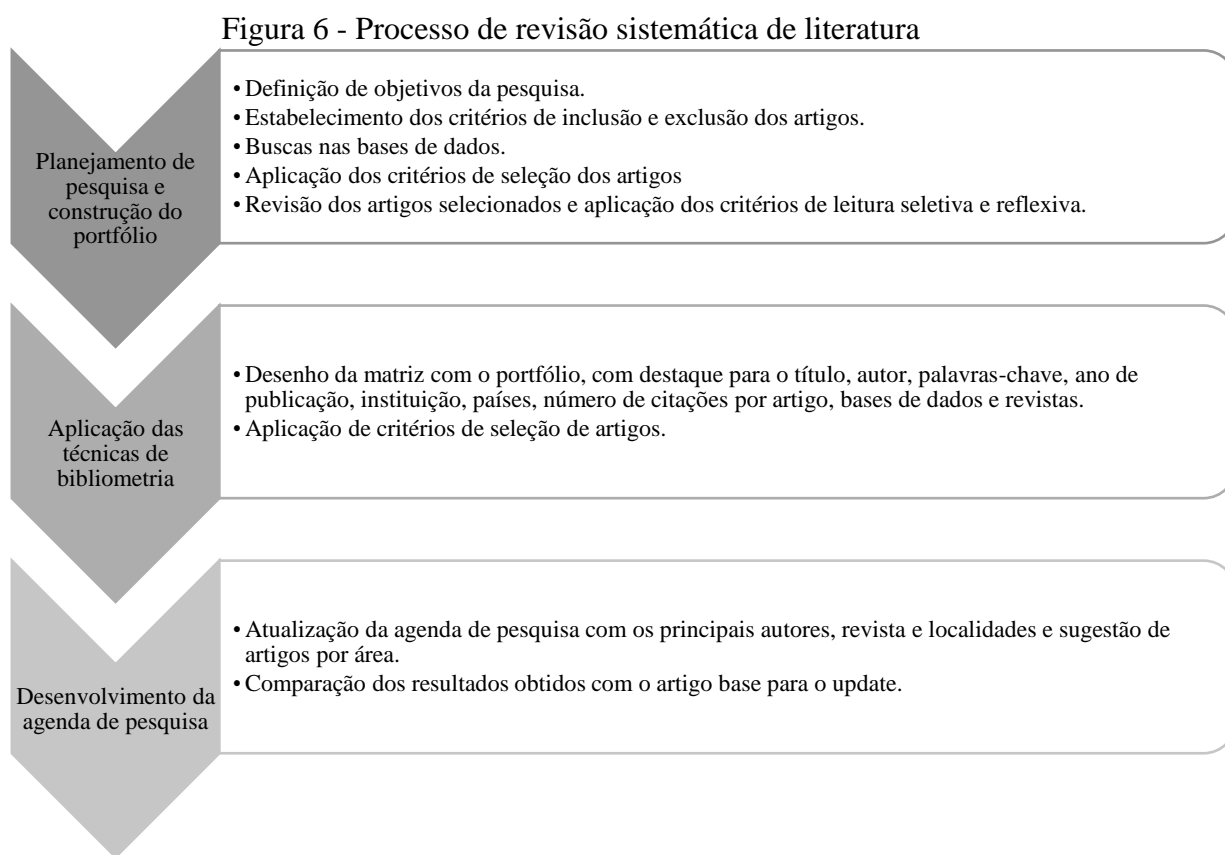
As *strings* de buscas utilizadas foram as mesmas do artigo de Fenerich *et al.* (2017), com direcionamento para palavras constantes no título, palavras-chaves e resumo dos artigos, bem como os procedimentos de revisão e leitura, que são norteados pelos estudos de Lima e Miotto (2007) para pesquisas bibliográficas.

Para a realização da bibliometria, foram avaliadas a ocorrência de publicações por base e a frequência de estudos por cada critério estabelecido. Foi possível identificar o número de publicações por ano, mensurar os indicadores bibliométricos propostos por Du *et al.* (2013), além dos países, periódicos, instituições e autores com maior produtividade,

artigos mais citados e realizar uma comparação com os resultados do estudo base.

Já a atualização da agenda de pesquisa foi classificada em dois grandes grupos, sendo, Operações e Sustentabilidade, que por sua vez foram divididos em subáreas, a saber: estratégia, indicadores e práticas. Esta divisão possibilitou mapear os artigos em cada uma das categorias, o que permitiu caracterizar e qualificar os modelos estratégicos de EE para posteriormente delimitar os elementos buscados nos modelos que permitiram desenvolver as diretrizes para os modelos estratégicos.

A Figura 6 apresenta o esquema utilizado para a realização da revisão sistemática de literatura:



Fonte: Adaptado de Fenerich *et al.* (2017).

Essa primeira fase da revisão serviu de base para a criação de um portfólio inicial com 186 artigos, onde após leitura seletiva com a finalidade de selecionar aqueles que apresentassem modelos de EE direcionados a estratégias e práticas de operações, foram selecionados para o desenvolvimento deste estudo 86 artigos que possuíam relação com a categoria de operações, sendo subdivididos em 2 subcategorias: estratégias (com 51 artigos) e práticas (com 35 artigos).

Após o término do processo de revisão sistemática de literatura, o próximo passo foi a sistematização dos aspectos dos modelos da literatura analisada, cujos

procedimentos são elencados na seção seguinte.

3.2.1.1 *Sistematização dos principais aspectos dos modelos estratégicos de EE*

O objetivo principal desta etapa foi sistematizar os principais aspectos de modelos estratégicos de eficiência energética para a elaboração do *framework* e o direcionamento do conjunto de diretrizes.

Os artigos qualificados passaram por uma análise de conteúdo, um método utilizado na análise de dados qualitativos com o objetivo de buscar o sentido do texto. Para Bardin (2010) a análise de conteúdo consiste em técnicas de análise de mensagens por meio de procedimentos sistemáticos, quer sejam quantitativos ou qualitativos, admitindo inferência a respeito do conteúdo da mensagem, sendo que a análise possibilita que diferentes unidades de registro sejam empregadas. Bardin (2010) explica que a análise temática consiste em encontrar núcleos de sentido que sejam significantes para a mensagem analisada. Para análise dos dados da pesquisa, propõe-se as etapas da análise de conteúdo de Bardin (2010), sendo: pré-análise, exploração do material, tratamento dos resultados, inferência e interpretação.

A unidade de análise tem relação com os modelos estratégicos em EE e as categorias estão relacionadas a estratégias em operações e práticas de EE a fim de identificar a relação entre as áreas de decisão e os parâmetros energéticos para a proposta de diretrizes.

Para análise de conteúdo inicial, foram qualificados do portfólio da revisão de literatura 86 artigos que apresentavam modelos estratégicos de EE, sendo que 51 destes tinham relação com estratégias em EE e 35 voltados a práticas em EE.

Para uma análise mais profunda, foi utilizado o *software* Atlas TI, indicado para análises longitudinais que usam instrumentos diversos e complementares, tendo como objetivo organizar, registrar e possibilitar o acompanhamento dos registros efetuados, contribuindo para a confiabilidade do estudo. As técnicas de análise de conteúdo associadas ao uso do *software*, consistem em leitura flutuante, preparação dos materiais, identificação e codificação dos documentos, criação das unidades, associação dos documentos primários, descoberta das passagens relevantes, construção dos códigos, contagem de palavras e seleção de segmentos do texto (QUEIROZ e CALVALCANTE, 2011).

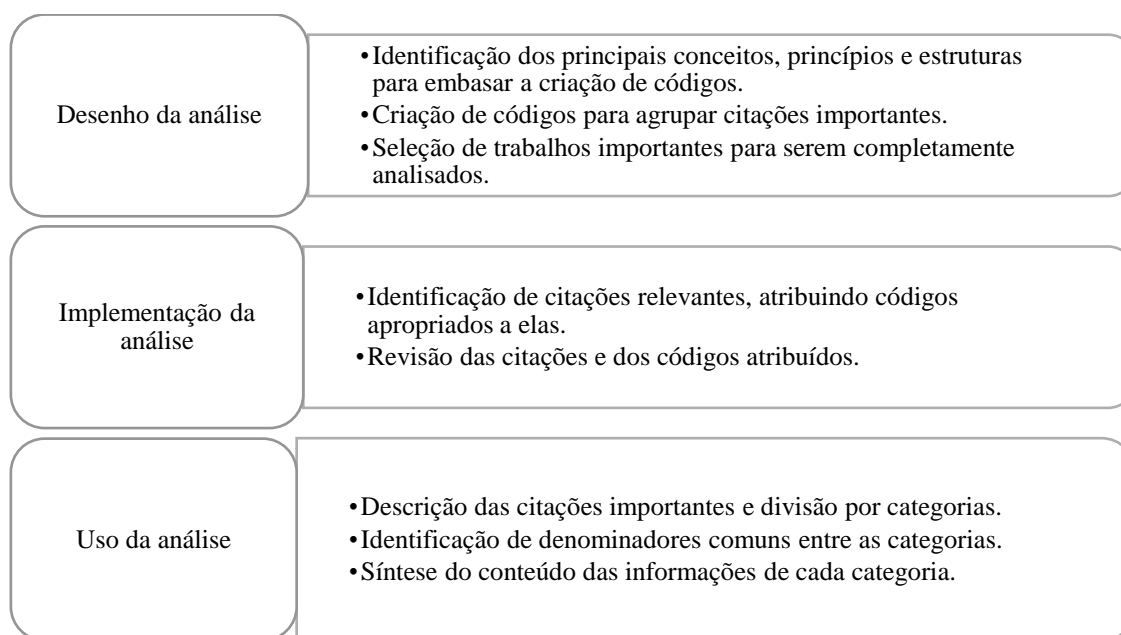
Para a derivação das diretrizes e identificação dos aspectos dos modelos, foi realizada uma priorização dos artigos de acordo com seu conteúdo e uma primeira revisão da literatura foi realizada para identificar os principais conceitos e modelos de EE. Esta base conceitual serviu como ponto de partida para a concepção dos códigos a serem considerados na análise de conteúdo.

Com base nos conceitos e estruturas identificados, um conjunto de códigos foi elaborado, funcionando como dimensões a serem consideradas na análise. Os códigos compreendiam: categorias, áreas de decisão, elementos chaves, recomendações, macro aspectos, práticas e possíveis diretrizes.

A análise de conteúdo de cada artigo selecionado foi realizada por um procedimento de leitura do artigo, identificando citações relevantes e atribuindo o código apropriado para os trechos selecionados. Desta forma, uma citação relevante conteria um segmento de informações relacionadas a uma recomendação, um elemento-chave ou um princípio que poderia levar a derivação de uma diretriz.

É importante salientar que após o mapeamento inicial dos artigos selecionados do portfólio da revisão sistemática, verificou-se a necessidade de buscar alguns temas específicos que completariam as diretrizes e que apresentavam lacunas no material até então analisado. Desta forma, conforme a necessidade de complementação de algum ponto, novas buscas foram realizadas, desta vez, especificamente por assunto, haja vista que a revisão teve um aspecto geral em relação à eficiência energética em manufatura. Desta forma, foram acrescentados ao portfólio 27 artigos e 8 publicações diversas como decretos, leis e relatórios da ANEEL e do MME. O processo de análise de conteúdo pode ser observado na Figura 7.

Figura 7 - Procedimentos adotados para análise de conteúdo



Fonte: Adaptado de Silveira (2014).

Desta forma, as bases conceituais do estudo foram estabelecidas por um procedimento de pesquisa que utilizou de revisão sistemática da literatura apoiada pela análise de conteúdo de 113 artigos e 8 publicações diversas para possibilitar o desenvolvimento do texto e do *framework* das diretrizes propostas.

3.2.2 Desenvolvimento do Modelo Inicial de Diretrizes Estratégicas em Eficiência Energética

Esta etapa refere-se à definição de diretrizes para modelos estratégicos que estejam relacionadas a parâmetros energéticos, categorias, áreas de decisão e elementos-chaves. Segundo Watson (2003), um sistema de gestão estratégica consiste no mecanismo para definir e desdobrar diretrizes, objetivando executar um determinado programa para a melhoria do negócio. May *et al.* (2016) direcionam o tema afirmando ser necessário que haja alinhamento das atividades relacionadas a EE com os objetivos corporativos.

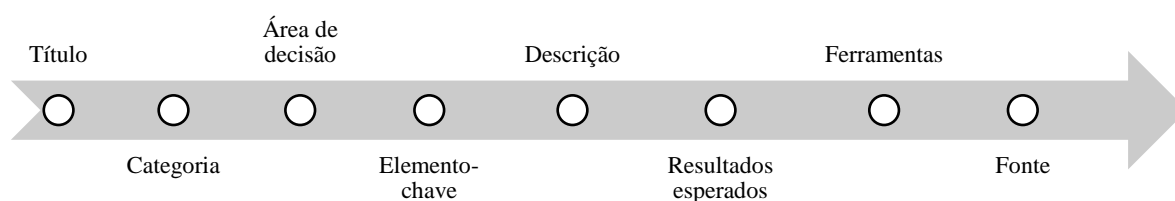
Com o objetivo de identificar e compreender quais os elementos favoráveis à implementação das estratégias que possibilitariam a melhoria da EE, a pesquisa baseia-se nas proposições de Kotter (1995), Raps (2005), Hrebiniak (2006) e Brenes, Mena e Molina (2008), que elencam quatro dimensões facilitadoras da implementação da estratégia, sendo, o processo de comunicação das estratégias, o alinhamento organizacional em prol do alcance da estratégia, a definição de objetivos e

responsabilidades na organização e o controle e acompanhamento da implementação das estratégias, possibilitando lidar de modo abrangente com as principais dimensões influenciadoras para orientar as prioridades em relação a EE nas organizações e favorecer a tomada de decisão em ambientes de manufatura.

No contexto desta pesquisa, as diretrizes foram apresentadas como princípios de eficiência energética recomendados, o que é desejável para a implementação de estratégias relacionadas à energia, sendo um esforço para sistematizar o conhecimento sobre estratégias para eficiência energética em manufatura, onde o relato das diretrizes pretende atender tanto as necessidades de pesquisadores quanto da indústria, auxiliando nas etapas de planejamento e execução de estratégias em EE.

As diretrizes foram descritas em forma de declaração, em uma adaptação ao modelo proposto por Cavalcante (2018), sendo seu texto organizado conforme os pontos apresentados na Figura 8:

Figura 8 - Formato das diretrizes



Fonte: Autoria própria (2021).

Definida a forma das diretrizes, foram elencados os aspectos macro os quais as diretrizes fariam parte, seguindo os direcionamentos de modelos estratégicos da literatura que tratam de decisões estratégicas para implementação de gestão de energia relacionados aos seguintes pontos:

- Decisões estratégicas para a gestão de energia.
- Estabelecimento de equipe responsável pela gestão de energia.
- Determinação do estado atual relacionado ao consumo de energia.
- Desenvolvimento de estratégias e definição de metas.
- Operacionalização de estratégias e práticas em EE.
- Monitoramento e controle.

As diretrizes desenvolvidas foram divididas entre os aspectos apresentados. Após a elaboração do texto das diretrizes, estas passaram por um refinamento por meio de um estudo empírico sistematizado com especialistas que ocorreu por meio de grupo focal como apresentado na seção seguinte.

3.2.3 Refinamento do modelo

Como dito, as diretrizes propostas no estudo passaram por análise por meio de grupo focal, devido este método ser frequentemente utilizado em estudos qualitativos e exploratórios, sendo um procedimento válido e útil quando os objetivos do estudo assim o exigem (SAMPIERI *et al.*, 2010).

Nesse sentido, o papel do especialista representa uma perspectiva específica sobre os assuntos a ser integrada com outras visões, não implicando em palavra final ou definitiva a respeito do mesmo. Para Pinheiro *et al.* (2013) a especialidade de seus integrantes pode se referir aos ambientes ou situações de interesse da pesquisa, ou mesmo aos fenômenos ou conceitos a serem tratados.

No paradigma de especialistas, as avaliações são realizadas por observadores altamente habilitados. Essa técnica de pesquisa pressupõe uma habilidade qualificada por parte dos especialistas, que deteriam um conhecimento mais objetivo dos assuntos estudados, o que asseguraria realizar avaliações válidas (CRESWELL, 2010; GÜNTHER; PINHEIRO, 2008).

Para Santos *et al.* (2004) o método deve propiciar investigar os temas determinados, onde os especialistas podem dar suas conclusões e recomendações. Devem ter a mesma integridade e conduta de outros métodos científicos e técnicos e devem buscar o consenso, sem eliminar as discordâncias.

O método permite que um pequeno número de especialistas detecte problemas significantes em diferentes aspectos. Leveridge (1986) recomenda que para julgar a relevância das opiniões coletadas, o grupo de especialistas tenha de três a seis membros e que sejam feitos tantos encontros quantos forem necessários para que todas as questões sejam respondidas. O processo compreende recorrer a um grupo de especialistas no assunto, permitindo selecionar, fazer julgamentos e fomentar a criatividade de sugestões para a resolução de um problema (MENDES *et al.*, 2008).

Primeiramente, o protocolo foi encaminhado a 4 especialistas que aceitaram participar da pesquisa, possuindo estes conhecimento e atuando nas áreas de estratégia,

operações e gestão de energia que atuam em empresas privadas e públicas e também no meio acadêmico, a fim de que pudessem deliberar primeiramente de forma individual acerca das diretrizes e do *framework*, sendo que os pontos a serem avaliados foram estruturados como pode ser observado no Quadro 6 (Capítulo 4), com a intenção de evitar viés nas opiniões, que poderiam ser influenciadas por outros participantes. O protocolo foi analisado pelos especialistas e devolvido em data anterior a realização da etapa em grupo.

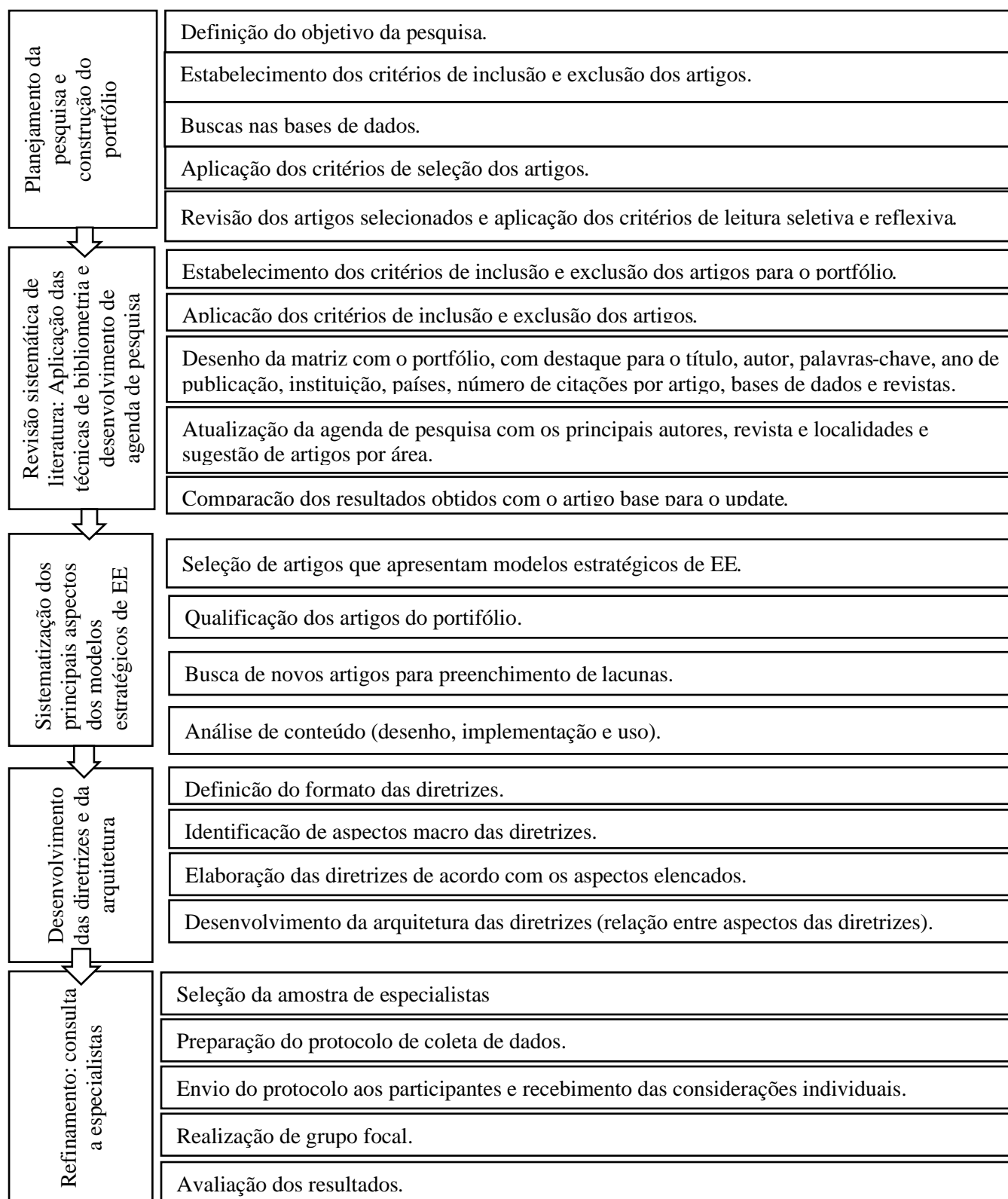
A fim de obter o consenso da opinião, foi realizado um grupo focal composto por 3 especialistas dos 4 citados anteriormente (um destes não conseguiu participar do fórum por impedimentos profissionais). A coleta de dados ocorreu por meio de uma série de questionamentos relacionados as diretrizes que foram propostas no estudo, pressupondo que os especialistas são aptos a avaliar a efetividade das diretrizes apresentadas. O método foi formatado conforme as etapas apresentadas a seguir:

1. Seleção da amostra de especialistas.
2. Preparação do protocolo para o grupo focal (Apêndice B).
3. Envio de carta-convite para participação na pesquisa (Apêndice B).
4. Envio do protocolo por e-mail aos participantes que aceitaram participar da pesquisa para análise individual das diretrizes e do *framework*.
5. Devolução pelos participantes do protocolo com as considerações feitas ao modelo.
6. Realização de grupo focal com especialistas.
7. Verificação de consenso dos participantes do grupo focal por meio de análise de conteúdo (análise do documento enviado e do conteúdo do grupo focal).
8. Avaliação do julgamento dos especialistas sobre a coerência das diretrizes propostas.

É possível verificar que a pesquisa combina diferentes abordagens metodológicas, sendo a revisão sistemática da literatura e a análise de conteúdo necessárias para a identificação das diretrizes e argumentos do modelo, além do aspecto empírico abordado com a opinião de especialistas por meio de análises individuais e grupo focal para refinamento da proposta.

As etapas elencadas para realização do estudo podem ser verificadas na Figura 9:

Figura 9 - Etapas para o desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Autoria própria (2021).

Relacionados os métodos para o alcance dos objetivos propostos, os resultados do estudo são apresentados no capítulo subsequente.

DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados dois pontos primordiais da pesquisa: o desenvolvimento do modelo inicial do *framework* e o texto proposto para as diretrizes e o refinamento destes. A intenção é proporcionar uma visão geral sobre os critérios adotados para o desenho das diretrizes e a apresentação do texto delas, de modo que estas possam apoiar o processo de tomada de decisão relacionado a estratégias energéticas nas indústrias, além da apresentação dos resultados do refinamento e o modelo aprimorado do *framework* e das diretrizes.

4.1 DESENVOLVIMENTO DO MODELO INICIAL DO *FRAMEWORK* E DAS DIRETRIZES

Para a operacionalização de um modelo e garantir o seu alinhamento com a estratégia de negócios da empresa, Lima *et al* (2005) coloca sobre a necessidade da criação de um conjunto de diretrizes orientadoras fundamentadas em uma estratégia, neste caso, voltadas a EE. Para o desenvolvimento do *framework* e das diretrizes propostas na pesquisa, foram delineados fatores fundamentais para as relações propostas, sendo estes: o foco e a categorização das diretrizes, as áreas de decisão e os elementos-chaves relacionados, o formato das diretrizes e os aspectos macro considerados para o desenvolvimento, bem como o texto das diretrizes de acordo com cada um dos aspectos elencados como detalhado a seguir.

4.1.1 Foco e Categorização das Diretrizes

O foco das diretrizes é propor linhas gerais para modelos estratégicos em eficiência energética voltados ao setor industrial, buscando direcionar para a importância da energia na manutenção dos processos, abordando além de aspectos econômicos, questões organizacionais, tecnológicas e pontos relacionados ao uso racional do recurso em uma percepção sustentável, proporcionando gerenciar este recurso a fim de reduzir o aumento no consumo de energia.

As diretrizes foram concebidas levando em consideração duas categorias: Estratégia e Operações. Na categoria Estratégia, foram relacionadas diretrizes que apresentam uma abordagem estratégica em torno da eficiência energética, tratando de aspectos relacionados a análise situacional ou ambiental da empresa e o uso apropriado dos recursos para alcançar os objetivos ou metas, a fim de produzir as principais políticas e planos para a obtenção de resultados relacionado ao recurso energia.

Já a categoria Operações está relacionada à eficiência energética em ambientes de manufatura, relacionando diretrizes voltadas às competências da função operações e conciliando os requisitos energéticos com os processos, instalações, tecnologia e demais recursos operacionais da indústria.

4.1.2 Áreas de Decisão e Elementos-Chave Relacionados às Diretrizes

As áreas de decisão elencadas para as diretrizes foram baseadas nas prioridades competitivas e áreas de decisão estruturais e infraestruturais de Wheelwright e Hayes (1985), além de outras áreas de decisão identificadas e selecionadas dos modelos estratégicos em EE identificados na literatura. Desta forma, as áreas de decisão compreendidas no *framework* proposto para as diretrizes são: organização, tecnologia, custos, processo, desempenho, capacidade e suprimentos.

Após a análise dos modelos, foi possível também extrair os principais elementos atribuídos a estes por meio de mapeamento de suas características, sendo escolhidos como elementos-chave aqueles que apresentavam relação com o foco estratégico das diretrizes.

O elementos-chave elencados referem-se a: Políticas, regulamentações e decisões estratégicas; Barreiras econômicas, organizacionais e comportamentais; Alinhamento estratégico com áreas funcionais; Fatores determinantes de sucesso; Auditorias; Práticas em EE; Especificações do processo; Tecnologia do processo; Tecnologia da informação

e comunicação; Ferramentas e métodos de suporte em EE; Gestão de energia; Oferta de energia; Sistema de medição de consumo energético; Instalações; Sustentabilidade; Monitoramento, avaliação e controle. A justificativa teórica para esses elementos é apresentada no Quadro 3:

Quadro 3 – Justificativa teórica dos elementos-chave das diretrizes estratégicas em EE

Elemento	Justificativa Teórica
Políticas, regulamentações e decisões estratégicas	May <i>et al.</i> (2016), Mahapatra <i>et al.</i> (2015), Khawaja <i>et al.</i> (2019), Vine, Jones (2016), Feng <i>et al.</i> (2017), Costa-Campi, Garcia-Quevedo, Segarra (2015), Lin, Zheng (2016), Malinauskaite <i>et al.</i> (2019), Jovanovic, Filipovic, Bakic (2017), Carvallo <i>et al.</i> (2019), Silvestre <i>et al.</i> (2018), Li <i>et al.</i> (2017), Schulze <i>et al.</i> (2016), Ouyang e Fu (2019), Wu <i>et al.</i> (2019), Ouyang, Ju (2017), Barkhordar <i>et al.</i> (2018), Wang, Li (2015), Tryndina <i>et al.</i> (2019), Fernando <i>et al.</i> (2018), Fenerich <i>et al.</i> (2013), Decreto n° 1.040, de 11 de janeiro de 1994; Lei n.º 9.991, de 24 de julho de 2000; Berni (2015), PROCEL (2019); Altoé <i>et al.</i> (2017), Sola e Mota (2019), ABNT (2018), Rudberg <i>et al.</i> (2013), Ates e Durakbasa (2012), Abdelaziz <i>et al.</i> (2011), Thollander e Ottosson (2010), Vasudevan e Higgins (2004).
Barreiras econômicas, organizacionais, comportamentais	Backlund (2011), May <i>et al.</i> (2016), Mahapatra <i>et al.</i> (2015), Richert (2017), Costa-Campi, Garcia-Quevedo, Segarra (2015), Sadrievn, Nasrtdinova, Melnik (2015), Adewunmi, Alister e Phooko (2019), Catarino, Henriques, Egreja (2015), Barkhordar et al (2018), Blass et al. (2014), Rudberg et al. (2013), Ates e Durakbasa (2012), Abdelaziz et al. (2011), Stawicki et al. (2010), Wang et al. (2017), Chai e Yeo (2012), Hasanbeigi et al (2010), Schaefer e Guenther (2016), Chiaroni et al. (2016), González et al. (2012); Martin et al. (2012), Isaksson, Hiller, Lane (2019), Dumitru et al (2016), Brunke, Johansson, Thollander (2014); Cooremans (2011); Prindle e Finlinson (2011); Hillary (2004); Strachan et al. (2003).
Alinhamento estratégico com áreas funcionais	Olson (2005), Richert (2017), May <i>et al.</i> (2016), Mahapatra <i>et al.</i> (2015), Lu, Peng, Xu (2019), Li <i>et al.</i> (2017), Wang, Cheng e Song (2018),
Fatores determinantes de sucesso	May <i>et al.</i> (2016), Schulze <i>et al.</i> (2016), Mahapatra <i>et al.</i> (2015), Liu <i>et al.</i> (2018), Lu, Peng, Xu (2019), Carvallo et al (2019), Wang, Jin (2017), Li <i>et al.</i> (2017), Sola, Mota (2019), Olanrewaju (2019), Wu <i>et al.</i> (2019), Wena <i>et al.</i> (2018), Silvestre <i>et al.</i> (2018), Isaksson, Hiller, Lane (2019), Richert (2017), Fenerich <i>et al.</i> (2013).

Auditorias	Malinauskaite <i>et al.</i> (2019), Fresner <i>et al.</i> (2016), Bonfá <i>et al.</i> (2019), Schulze, Ottosson e Thollander (2015), Abdelaziz <i>et al.</i> (2011), Fenerich <i>et al.</i> (2013).
Práticas em EE	Gutowski (2005), Luken e Piras (2011), Mahapatra <i>et al.</i> (2015), Sola, Mota (2019), Kindström, Ottosson (2016), Xing <i>et al.</i> (2019), Catarino, Henriques, Egreja (2015), Zuberi <i>et al.</i> (2017), Ouyang, Shen (2016), Fernando <i>et al.</i> (2018), Wang <i>et al.</i> (2017); Bonfá <i>et al.</i> (2018); Lee <i>et al.</i> (2017); Ding <i>et al.</i> (2015), Thompson (2014).
Especificações do processo	May <i>et al.</i> (2016), Zhang, Ge (2015), Diaz-Elsayed (2015), Lee <i>et al.</i> (2017), Liu <i>et al.</i> (2018), Baysan (2018), Eden, Balogun, Mativenga (2017), Trianni, Cagno, Accordini (2019), Wu, Li, Qu (2017), Feng <i>et al.</i> (2016), Vallejos-Cifuentes <i>et al.</i> (2019), Lu, Peng, Xu (2019), Salahi, Jafari (2016), Yang, Feng, Liu (2016), Liu, Zhang, Lu (2018), Chen <i>et al.</i> (2017), Ding <i>et al.</i> (2015), Liu, Wang, Zhou (2019), Ghadimi <i>et al.</i> (2015), Ng <i>et al.</i> (2019), Fenerich <i>et al.</i> (2013),
Tecnologia do processo	Tan e Yavuz (2015), Kwan, Shen, Yao (2019), Kong, Hasanbeigi, Price (2016), Weißloch, Geldermann (2016), Schulze <i>et al.</i> (2016), Lin, Zheng (2016), Lu, Peng, Xu (2019), Wang, Lin (2017), Zuberi <i>et al.</i> (2017), Ng <i>et al.</i> (2019), Trianni, Cagno, Accordini (2019); Masoudinejad <i>et al.</i> (2015); Zuberi <i>et al.</i> (2017); Bühler <i>et al.</i> (2019), Bonfai <i>et al.</i> (2019); Feng <i>et al.</i> (2016), Zhang e Ge (2015).
Tecnologia da informação e comunicação	May <i>et al.</i> (2016), Richert (2017), Wei, Hong e Alam (2015), Lu, Peng, Xu (2019), Goosen, Swanepoel, Plessis (2016)
Ferramentas e métodos de suporte	May <i>et al.</i> (2016), Baysan (2018), Wang <i>et al.</i> (2018), Yang, Feng, Liu (2016), Lee <i>et al.</i> (2017), Bonfá <i>et al.</i> (2018), Yang <i>et al.</i> (2019), Liu <i>et al.</i> (2017), Xing <i>et al.</i> (2019), Wallerand <i>et al.</i> (2018), Masoudinejad <i>et al.</i> (2015), Dasgupta, Roy (2015)
Gestão de energia	Khawaja <i>et al.</i> (2019), Malinauskaite <i>et al.</i> (2019), Weitzel, Glock (2018), Schulze <i>et al.</i> (2016), Islam, Ponnambalam, Lam (2016), Jovanovic, Filipovic, Bakic (2017), Alarfaj, Bhattacharya (2018), Goosen, Swanepoel, Plessis (2016), Wen <i>et al.</i> (2018), ABNT (2018): ISO 5001:2018; Pelsler, Vosloo, Mathews (2018), Gopalakrishnan <i>et al.</i> (2014), Richert (2017), Menghi <i>et al.</i> (2019).
Oferta de energia	Feng <i>et al.</i> (2016), Ghadimi <i>et al.</i> (2015), Tan e Yavuz (2015), Xing <i>et al.</i> (2019), Stiphout, De Vos, Deconinck (2016), Wang, Lin (2017), Dasgupta, Roy (2015), Feng <i>et al.</i> (2016), Ghadimi <i>et al.</i> (2015), Tan e Yavuz (2015), Xing <i>et al.</i> (2019), Stiphout, De Vos, Deconinck (2016), PROCEL (2019).

Sistema de medição de consumo de energia	Fenerich <i>et al.</i> (2013), Zhang e Ge (2015), Choi e Paul (2014), May <i>et al.</i> (2016), Richert (2017), Diaz-Elsayed (2015), Zhang <i>et al.</i> (2017), Salonitis (2015), Fresner <i>et al.</i> (2016), Trianni, Cagno, Accordini (2019), Zheng <i>et al.</i> (2017), Salah, Jafari (2016), Chen <i>et al.</i> (2017), O'Driscoll, Kelly, O'Donnell (2015), Zhou <i>et al.</i> (2019), Wang <i>et al.</i> (2015); Ang <i>et al.</i> (2010); Drack <i>et al.</i> (2006), Rietbergen e Blok (2010), Martins (2016), Sola e Mota (2019), Balanço Energético Nacional (2019), PROCEL (2019), Soares (2015), Hu <i>et al.</i> (2017), May <i>et al.</i> (2016). Liu <i>et al.</i> (2018), Jovanović, Filipović, Bakić (2017), Velasco-Fernández <i>et al.</i> (2020), Bunse <i>et al.</i> (2011), Mkwanzani <i>et al.</i> (2019), Bourne <i>et al.</i> (2005), Andersson, Arfwidsson e Thollander (2018).
Instalações	Adewunmi, Alister e Phooko (2019), Arteconi <i>et al.</i> (2016), Khudhair; Farid (2004), Dincer; Rosen (2001); Li <i>et al.</i> (2015); Tennakoon, Waidyasekara, Ekanayake (2019); Kang <i>et al.</i> (2017); Qian <i>et al.</i> (2011).
Sustentabilidade	Diaz-Elsayed (2015), Kong, Hasanbeigi, Price (2015), Wang, Lin (2017), Chen <i>et al.</i> (2017), O'Driscoll, Kelly, O'Donnell (2015), Ouyang e Fu (2019), Wu <i>et al.</i> (2019), Li <i>et al.</i> (2016); Zhang e Lahr (2014); Dong <i>et al.</i> (2013); Li <i>et al.</i> (2010); Liang <i>et al.</i> (2016); Brinkerink, Chegut, Letterie (2019); Menghi <i>et al.</i> (2019).
Monitoramento, avaliação e controle	May <i>et al.</i> (2016), Luo <i>et al.</i> (2019), Richert (2017), Schlechtendahl, Eberspaecher, Verl (2016), Salonitis (2015), Ghadimi <i>et al.</i> (2015), Arteconi <i>et al.</i> (2016), Fenerich <i>et al.</i> (2013), Gong, Luo, Yan (2018), Wu, Li, Qu (2017), Islam, Ponnambalam, Lam (2016), Zhang, Ge (2015), Zhou <i>et al.</i> (2019), Coatalem <i>et al.</i> (2016), Ding <i>et al.</i> (2015), Dilek (2017), Bonfá <i>et al.</i> (2017), Richert (2017), Cagno e Trianni (2014).

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Cada diretriz foi alinhada às categorias, áreas de decisão e elementos-chave correspondentes, estando estes fatores correlacionados ao direcionamento proposto para cada uma delas.

4.1.3 Formato das Diretrizes

As diretrizes propostas estão estruturadas a partir de oito definições: título, categoria, área de decisão, elementos-chave, descrição, resultados esperados, ferramentas recomendadas e fonte. Este formato de especificação foi adaptado do modelo proposto por Cavalcante (2018).

As diretrizes são especificadas a partir dos seguintes elementos:

- **Título:** Apresenta um resumo da diretriz e propõe o que deve ser feito.
- **Categoria:** Relaciona a qual categoria do *framework* proposto pertencente à diretriz.
- **Área de decisão:** Relaciona as áreas de decisão do *framework* proposto que se enquadram à diretriz.
- **Elementos-chave:** Apresenta os elementos-chave do *framework* proposto que se relacionam com a diretriz.
- **Descrição:** Aborda as características da diretriz, apresentando seus métodos e processos.
- **Resultados esperados:** Apresenta quais resultados são esperados ao adotar a diretriz em questão.
- **Ferramentas recomendadas:** Apresenta ferramentas que podem ser utilizadas no apoio para a implementação ou execução da diretriz.
- **Fonte:** Indica as fontes da literatura que dão origem à diretriz.

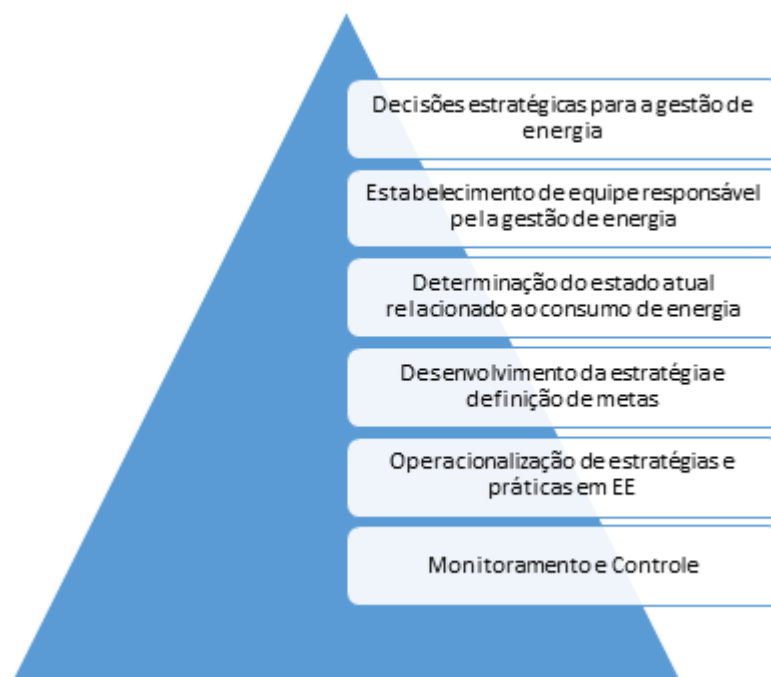
Como forma de organização e identificação, as diretrizes foram ordenadas numericamente de 1 a 15.

4.1.4 Desenvolvimento do modelo inicial de diretrizes para modelos estratégicos de eficiência energética em manufatura

Como visto no Capítulo 2, a eficiência energética em ambientes industriais busca otimizar o uso de energia, mantendo a produtividade e reduzindo o consumo energético ou aumentando a produtividade sem que haja elevação do consumo de energia, tendo potencial de aumentar a competitividade no setor e também reduzir os fatores ambientais negativos do processo produtivo.

As diretrizes foram delineadas seguindo os direcionamentos de modelos estratégicos da literatura, que de forma macro, tratam de aspectos relacionados a decisões estratégicas para implementação de gestão de energia, como apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Aspectos macro das diretrizes estratégicas em EE



Fonte: Autoria própria (2021).

Os aspectos macro elencados foram delineados com base na análise de modelos de eficiência energética da literatura consultada, onde os seis aspectos considerados nessa pesquisa buscam abranger pontos importantes para a implementação de modelos estratégicos de eficiência energética, sendo a justificativa teórica para a definição dos aspectos macro das diretrizes relacionada a seguir.

O ponto de partida para a implementação de um modelo estratégico de eficiência energética é definido por uma decisão de gestão estratégica (aspecto 1) que constitui a base para a implementação da gestão de energia (MARTIN *et al.*, 2012). Em seguida, uma equipe responsável (comitê de energia) precisa ser estabelecida (aspecto 2) (GONZÁLEZ *et al.*, 2012).

Como próxima etapa, o estado atual de consumo de energia deve ser determinado (aspecto 3) por meio de uma auditoria. O objetivo é identificar os principais processos em consumo de energia, para quantificar seu uso e analisar o potencial de aumento da eficiência energética (ABDELAZIZ *et al.*, 2011).

Com base nos resultados da auditoria, o comitê instituído para gerir as questões relacionadas a energia, juntamente com a alta direção, desenvolvem a política energética para a empresa e definem as respectivas metas (aspecto 4) (ATES e DURAKBASA, 2012). É importante ressaltar que no processo de planejamento, os itens relacionados à

energia devem ser operacionalizados em uma perspectiva geral da empresa, envolvendo os níveis de grupos de negócios, áreas funcionais e a nível de instalação.

A implementação concentra-se no nível operacional da gestão de energia e com base no plano de ação desenvolvido no processo de planejamento estratégico, diferentes medidas de eficiência energética e ações de natureza técnica, organizacional ou gerencial podem ser aplicadas (aspecto 5). Esse elemento também inclui decisões operacionais quanto à aquisição, alocação, utilização e disposição de recursos, especialmente quanto aos investimentos financeiros, calculando e aprovando os períodos de retorno (FLEITER *et al.*, 2012).

Por fim, a fase de controle (aspecto 6) garante a coleta constante de dados relacionados à energia em um sistema de informação de energia e assim, monitora o uso e os custos de energia relacionados. Além disso, nessa fase são definidos os principais indicadores de desempenho (KPI – *Key Performance Indicator*) e realizadas medições e avaliações de desempenho das medidas de eficiência energética implementadas, além de sugestão de ações corretivas (BUNSE *et al.*, 2011).

Desta forma, as diretrizes encontram-se divididas entre os aspectos apresentados conforme disposto no Quadro 4:

Quadro 4 – Direcionamento em relação aos aspectos macro das diretrizes estratégicas em EE

Diretrizes	Aspectos Macro
Diretrizes 1 e 2	1. Decisões estratégicas para a gestão de energia
Diretrizes 3 e 4	2. Estabelecimento de equipe responsável pela gestão de energia
Diretriz 5	3. Determinação do estado atual relacionado a energia
Diretriz 6	4. Desenvolvimento da estratégia e definição de metas
Diretrizes 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13	5. Operacionalização de estratégias e práticas em EE
Diretrizes 14 e 15	6. Controle e monitoramento

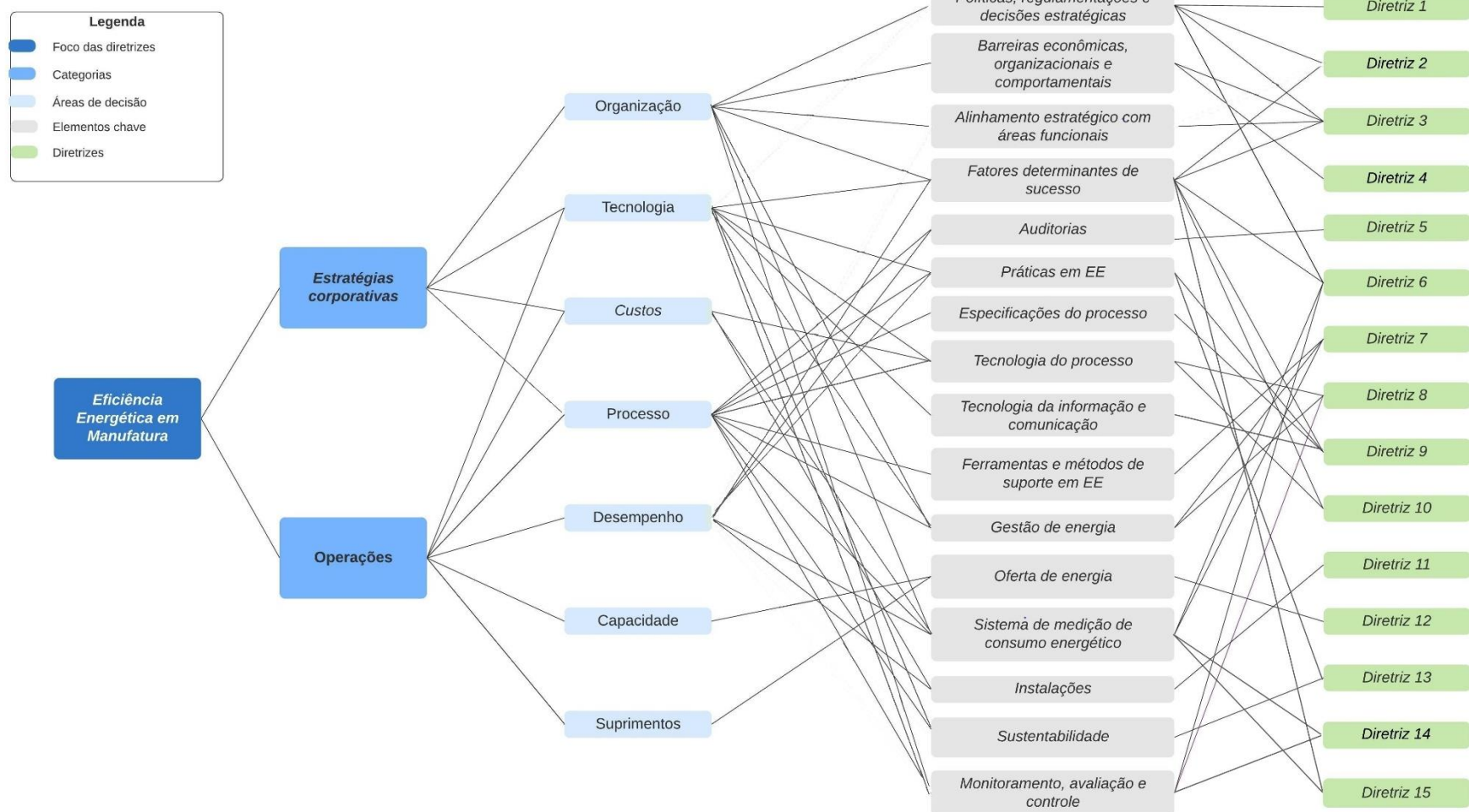
Fonte: Autoria própria (2021).

É importante ressaltar que o estudo não se baseia em um segmento específico da indústria, sendo as diretrizes apresentadas em uma perspectiva geral, portanto entende-se que a proposta é passível de adaptações quanto a aplicação de acordo com o tipo de

indústria, cabendo uma análise sobre a disponibilidade de recursos da organização e a viabilidade das ações em cada contexto, de modo que as práticas para EE sejam efetivas e sustentáveis a longo prazo.

As diretrizes propostas foram delineadas de acordo com os aspectos macro apresentados no Quadro 4, estando estas relacionadas às categorias, áreas de decisão e elementos-chave apresentados no *framework* apresentado na Figura 11, cujo intuito é lidar de modo abrangente com as principais dimensões influenciadoras para orientar as prioridades em relação a EE nas organizações e favorecer a tomada de decisão, buscando apresentar a relação entre os fatores elencados e as diretrizes propostas.

Figura 11 – *Framework* das diretrizes estratégicas em EE



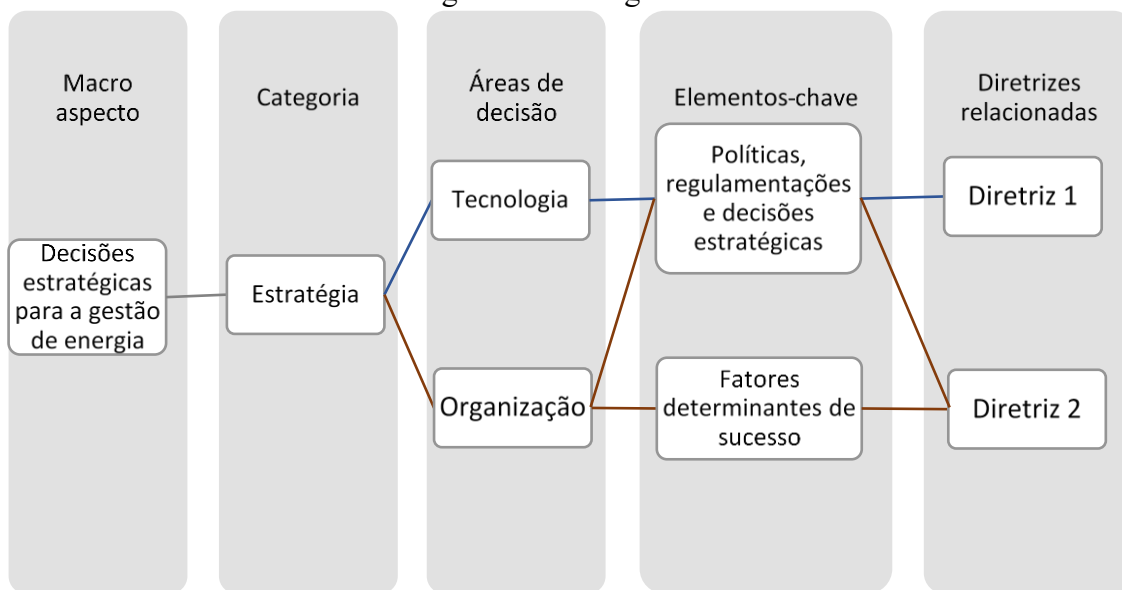
Fonte: Autoria própria (2021).

A seguir são descritas as 15 diretrizes propostas neste estudo, organizadas nos seis macro aspectos característicos apresentados no Quadro 4.

4.1.4.1 Diretrizes Relacionadas à Decisões Estratégicas para a Gestão de Energia

Nessa seção são apresentadas as diretrizes #1 e #2 que compõem o bloco voltado às decisões estratégicas para a gestão de energia. A correlação entre estas diretrizes e os elementos correspondentes apresentados na Figura 11, foram desdobrados na Figura 12, demonstrando de forma evidente as características e alinhamentos das diretrizes que fazem parte do primeiro grupo.

Figura 12 - Alinhamento de diretrizes em relação ao aspecto “Decisões estratégicas para a gestão de energia”



Fonte: Autoria própria (2021).

Diretriz 1: Modernizar a indústria por meio de incentivos fiscais para a substituição de equipamentos ineficientes.

Categoria: Estratégia.

Área de decisão: Tecnologia.

Elemento-chave: Políticas, regulamentações e decisões estratégicas.

Descrição: Existem várias ações que podem ser adotadas para aumentar o uso racional de

energia na indústria, como a utilização de processos e equipamentos mais eficientes. No Brasil, incentivos fiscais para equipamentos industriais eficientes só têm sido concedidos ocasionalmente e por curtos períodos de tempo, como, por exemplo, durante o período de racionamento de energia elétrica em 2001.

Outra questão para o incentivo à eficiência energética poderia estar relacionada à concessão de incentivos tributários, ou seja, quanto um setor industrial poderia ter de desconto em determinado tributo se alcançar as metas de economia de energia estabelecidas pela regulação e os entes com capacidade constitucional de estabelecer tributos (BERNI, 2015). Essa possibilidade e as referidas quantificações de incentivos tributários para o setor industrial tem por parâmetro a Lei n.º 9.991, de 24 de julho de 2000, sobre a realização de investimentos em eficiência energética e Pesquisa e Desenvolvimento das empresas concessionárias do setor de energia elétrica.

O Decreto nº 1.040, de 11 de janeiro de 1994, trata da inclusão que deve ser promovida pelos agentes financeiros oficiais, entre as linhas prioritárias de crédito e financiamento, dos projetos destinados à conservação e uso racional da energia e ao aumento da eficiência energética, inclusive os projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico nestes campos. De acordo com o referido decreto, a classificação como prioritária dos projetos deverá basear-se em pareceres técnicos emitidos pelas Secretarias Executivas do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e do Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e do Gás Natural (CONPET), conforme for o caso. Os agentes financeiros oficiais de fomento também poderão firmar acordos de cooperação com as Secretarias Executivas do PROCEL e do CONPET para a avaliação técnica dos projetos.

De acordo com o PROCEL (2019), há linhas de crédito específicas para programas de eficiência energética no Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), como o BNDS Automático, o FINAME e o PROESCOS mas sua utilização têm sido limitada devido ao altos juros praticados no país (apesar dos juros destas linhas do BNDES serem inferiores às do mercado financeiro em geral) e da baixa prioridade que é dada pela maioria dos executivos industriais brasileiros a programas de eficiência energética.

Desta forma, percebe-se que há muito espaço para ampliar a gestão governamental na área de conservação de energia no Brasil, principalmente quanto à criação de instrumentos legais de incentivo à geração descentralizada de energia por fontes renováveis e de incentivo à eficiência energética (ALTOÉ *et al.*, 2017).

Resultados esperados: Incremento da eficiência energética por meio de incentivos fiscais que

favoreçam a modernização da indústria.

Ferramentas recomendadas: Políticas governamentais de incentivo tributário a empresas que comprovarem melhoria nos índices de EE e maior acesso a linhas de financiamento disponíveis para programas de eficiência energética, executados pelos próprios consumidores ou por ESCO's (*Energy Services Company*), além de financiamento de projetos de P&D voltados para novos equipamentos ou processos que possibilitem ganhos de eficiência energética.

Fonte: Decreto nº 1.040, de 11 de janeiro de 1994; Lei n.º 9.991, de 24 de julho de 2000; Berni (2015), PROCEL (2019); Altoé *et al.* (2017).

Diretriz 2: Desenvolver e implementar um plano estratégico de longo prazo que inclua políticas relevantes para o uso de energia.

Categoria: Estratégia.

Área de decisão: Organização.

Elemento-chave: Políticas, regulamentações e decisões estratégicas; Fatores determinantes de sucesso.

Descrição: A gestão de energia é a estratégia de atender a demanda de energia quando e onde é necessário. Isso pode ser alcançado pela otimização deste recurso, usando sistemas e procedimentos para reduzir os requisitos de energia por unidade de produção, mantendo constante ou reduzindo os custos totais de saídas desses sistemas (ABDELAZIZ *et al.*, 2011).

O planejamento dos sistemas de produção não se limita apenas às decisões de investimentos com efeitos de curto prazo, mas o processo de tomada de decisão estratégica dita que as considerações também sejam feitas pensando nos impactos de longo prazo. Assim, um objetivo estratégico de tornar fábricas eficientes energeticamente só poderia ser alcançado por uma forte conectividade e integração do nível estratégico com o gerenciamento e planejamento de produção e níveis de controle, afetando completamente o desenho final do sistema de produção ecoeficiente (MAY *et al.*, 2016).

Os processos e ações organizacionais em gestão de energia compreendem duas áreas centrais: estratégica e operacional. Sola e Mota (2019) abordam a respeito do tema, enfatizando que a área estratégica envolve a política energética documentada, planejamento estratégico de

longo prazo na área de energia, procedimentos documentados na área de energia, planejamento de melhorias em eficiência energética, disponibilização de recursos necessários para o sistema de energia, sendo que o representante do gerenciamento de energia deve possuir habilidades e autoridade, além de proporcionar educação e treinamento ao pessoal na área de energia. Já a área operacional incluiu ações relacionadas ao monitoramento do uso de energia nos processos e na planta, aplicação de indicadores de desempenho energético nos processos e a operacionalização de um sistema de informação de energia para a planta.

Como um componente estratégico final da gestão de energia, Vasudevan e Higgins (2004) defendem uma gestão estratégica de riscos de energia, definida como uma abordagem sistemática para analisar a exposição das empresas a vários componentes de risco relacionados ao seu uso e permitindo gerenciá-los no contexto financeiro e de tolerâncias a riscos.

Ates e Durakbasa (2012) destacam a importância de uma estratégia energética formal. Porém, percebe-se que um grande número de empresas não formaliza essas estratégias. Thollander e Ottosson (2010) analisaram a existência e duração de uma estratégia de energia de longo prazo na indústria sueca de papel e celulose e indústrias de fundição. Os resultados revelaram que a maioria das empresas pesquisadas não tinham uma estratégia ou desenvolveram uma estratégia de energia com foco apenas no curto prazo. Esses resultados indicaram claramente que a energia naquele momento não era altamente priorizada como uma questão estratégica, o que é surpreendente quando se leva em conta o contexto de uso intensivo de energia dessas indústrias.

Como governos em geral têm impulsionado iniciativas de economia de energia e os preços deste insumo tendem a aumentar constantemente, empresas industriais podem ser direcionadas a ampliar o foco da gestão de energia em um nível estratégico (RUDBERG *et al.*, 2013).

Desta forma, para implementar a gestão de energia em uma empresa, um sistema formal de gestão de energia pode ser uma ferramenta de suporte, auxiliando na definição de um conjunto de elementos que interagem para assim estabelecer uma política de energia e objetivos energéticos, além da viabilização de processos e procedimentos que favoreçam atingir esses objetivos (ABNT/ISO, 2018).

Resultados esperados: Formalização e implementação de estratégias e políticas relacionadas à gestão de energia.

Ferramentas recomendadas: Sistema de gestão de energia para padronização de procedimentos e políticas, além do uso de algoritmos, modelagem, técnicas estatísticas, KPI's,

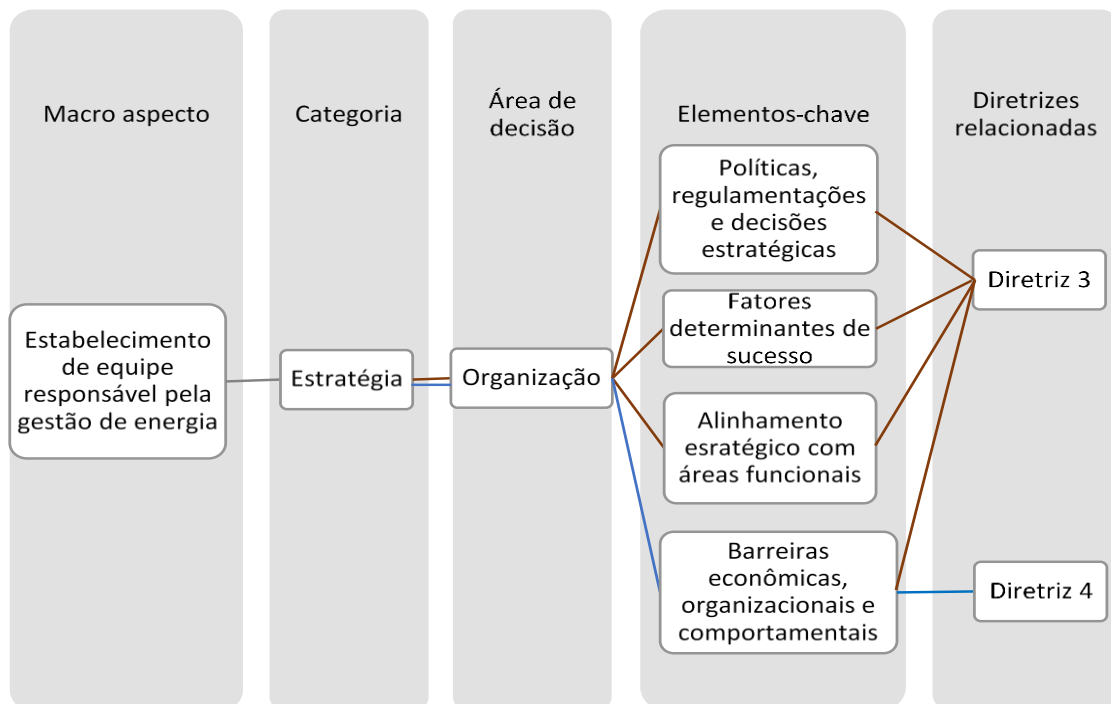
simulação e benchmarking para auxiliar a tomada de decisões estratégicas voltadas à eficiência energética e gestão da demanda de energia.

Fonte: Sola e Mota (2019), ABNT (2018), Schulze *et al.* (2016), May *et al.* (2016), Rudberg *et al.* (2013), Ates e Durakbasa (2012), Abdelaziz *et al.* (2011), Thollander e Ottosson (2010), Vasudevan e Higgins (2004).

4.1.4.2 Diretrizes Relacionadas à Estabelecimento de Equipe Responsável pela Gestão de Energia

Nessa seção são apresentadas as diretrizes #3 e #4 que compõem o bloco 2 voltado ao estabelecimento de equipe responsável pela gestão de energia. A correlação entre estas diretrizes e os elementos correspondentes apresentam-se desdobrados na Figura 13.

Figura 13 - Alinhamento de diretrizes em relação ao aspecto “Estabelecimento de equipe responsável pela gestão de energia”



Fonte: Autoria Própria (2021).

#Diretriz 3: Compor equipe responsável pela gestão de energia.

Categoria: Estratégia.

Área de decisão: Organização.

Elemento-chave: Políticas, regulamentações e decisões estratégicas; Fatores determinantes de sucesso; Barreiras econômicas, organizacionais e comportamentais; Alinhamento estratégico com áreas funcionais.

Descrição: A gestão de energia envolve atividades, procedimentos e rotinas sistemáticas em uma empresa (SCHULZE *et al.*, 2016). Para tanto, uma equipe responsável pela gestão de energia (comitê de energia) precisa ser estabelecida. Esta equipe deve ser multifuncional e liderada por um gerente de energia que se reporta diretamente à alta administração (GONZÁLEZ *et al.*, 2012; MARTIN *et al.*, 2012).

Um fator relevante para a formulação de estratégias é o elemento organizacional da gestão de energia, que compreende dois aspectos principais: estrutura de governança da empresa e políticas e procedimentos. A estrutura de governança visa definir linhas formais de autoridade e responsabilidade (ABDELAZIZ *et al.*, 2011). As políticas e os procedimentos visam abordar todos os aspectos da cadeia de valor de energia corporativa em relação a aquisição, conversão, distribuição e uso de energia (ATES e DURAKBASA, 2012).

Rudberg *et al.* (2013) argumentam que os principais pré-requisitos para o estabelecimento de uma estratégia sob a perspectiva do sistema de energia são a continuidade da política em relação às questões de energia como um fator externo e o estabelecimento de um gerente que assuma a responsabilidade principal pela gestão de energia, bem como a possibilidade de integrar o planejamento de energia e iniciar atividades de economia desse recurso em toda a empresa como um fator interno.

Ates e Durakbasa (2012) em um estudo sobre práticas de gestão de energia em indústrias, fornecem uma lista de tarefas relevantes para o cargo de gerente de energia: desenvolvimento de planos de ação para a gestão de energia, identificação de fontes de financiamento, desenvolvimento de uma estrutura organizacional que funcione bem, estabelecimento e implementação de medidas de eficiência energética, comunicação e avaliação da eficácia do programa de gestão de energia. Todavia, o processo de tomada de decisão, desde a geração da ideia até a implementação do projeto de eficiência energética, deve envolver atores internos, como gerente geral, gerente de energia, de instalação, além de gerentes

operacionais, engenheiros, *etc.* (CHIARONI *et al.*, 2016).

A alta e média gerência devem trabalhar juntas para desenvolver a estratégia, sendo que os gerentes de nível médio têm o papel de implementar a estratégia na organização (de cima para baixo), contribuindo com o planejamento estratégico (SCHAEFER e GUENTHER, 2016). A motivação e a conscientização da alta administração e da equipe são elementos importantes para ações voltadas para a eficiência energética (HASANBEIGI *et al.*, 2010). De acordo com Chai e Yeo (2012), a motivação (econômica e ambiental) e capacidades (técnicas e financeiras) são pré-requisitos para implementar medidas de eficiência energética. Wang *et al.* (2017) relatam que a motivação dos gerentes pode estar ligada a aspirações pessoais e participação em decisões importantes.

Outro elemento para o bom funcionamento da gestão de energia são as medidas de incentivo realizadas pela organização para motivar os funcionários a participarem ativamente do aumento da eficiência energética (SCHULZE *et al.*, 2016). Nesse sentido, Stawicki *et al.* (2010) recomendam o reconhecimento de conquistas fornecendo recompensas para a equipe operacional e técnica. Em sua opinião, isso ajuda a sustentar o impulso e aumentar o apoio geral ao programa de gestão de energia.

Desta forma, a alta administração deve ser o ponto de partida de uma cultura de energia em toda a empresa e defensora da comunicação ativa das ações proposta para a área. Uma cultura de energia também inclui aspectos como o envolvimento da alta administração no processo de tomada de decisão do setor de energia, além de educação e treinamento relacionados às práticas de eficiência energética (BLASS *et al.*, 2014; STAWICKI *et al.*, 2010).

Resultados esperados: Desenvolver equipes engajadas em políticas energéticas nas organizações.

Ferramentas recomendadas: Desenvolvimento de equipes gerenciais e técnicas por meio de treinamentos focados às necessidades de cada função na área de gestão de energia e engajamento da equipe por meio de incentivos financeiros e profissionais.

Fonte: Schulze *et al.* (2016), Blass *et al.* (2014), Rudberg *et al.* (2013), Ates e Durakbasa (2012), Abdelaziz *et al.* (2011), Stawicki *et al.* (2010), Wang *et al.* (2017), Chai e Yeo (2012), Hasanbeigi *et al.* (2010), Schaefer e Guenther (2016), Chiaroni *et al.* (2016), González *et al.* (2012), Martin *et al.* (2012).

Diretriz 4: Desenvolver uma cultura organizacional de comprometimento em medidas de conservação de energia na indústria.

Categoria: Estratégia.

Área de decisão: Organização.

Elemento-chave: Barreiras econômicas, organizacionais e comportamentais.

Descrição: Indivíduos com suas atitudes e percepções podem ser uma barreira ou um estímulo para a implementação bem sucedida de uma estratégia (HILLARY, 2004). Prindle e Finlinson (2011) relatam que empresas com uma estratégia bem sucedida em energia e emissões de gases de efeito estufa estão envolvendo pessoas de vários níveis organizacionais em diversos aspectos de seus negócios. O comprometimento dos gerentes é necessário para tomar decisões sobre investimentos em medidas de eficiência energética, além de estabelecer metas de energia para a organização envolvendo os demais funcionários, a fim de aumentar sua consciência e motivação para atividades de economia de energia, além do seu envolvimento ajudar a utilizar conhecimentos e iniciativas, bem como aceitação para eficiência energética (BRUNKE, JOHANSSON, THOLLANDER, 2014; COOREMANS, 2011).

Segundo Isaksson, Hiller, Lane (2019) há duas características que moldam o engajamento mútuo para reduzir o uso de energia: a estratégia de comunicação sobre questões de energia empreendida pelo local de trabalho e o apoio à eficiência e conservação de energia entre os colaboradores, sendo necessária a mudança de práticas cotidianas dos trabalhadores.

No que diz respeito a como as questões de energia são comunicadas no local de trabalho, Dumitru *et al.* (2016) indicam a existência de comunicação deficiente em questões de energia entre várias categorias de funcionários dentro das organizações. Por exemplo, os funcionários não estão cientes das medições de energia ou há poucas informações e discussões relacionadas ao uso de energia no local de trabalho para promover economia de energia nas atividades diárias.

Isaksson, Hiller, Lane (2019) reforçam que a relação de apoio dos colegas de trabalho para a eficiência energética, pode ser mais forte ou mais fraca, dependendo de como eles se relacionam com as questões de energia dentro de suas funções e com as práticas no local de trabalho.

Nesse sentido, é necessário que a empresa busque atenuar eventuais resistências por parte dos colaboradores, por meio de comunicação, capacitação e integração de funcionários, com a intenção de gerar motivação e comprometimento da equipe (STRACHAN *et al.*, 2003).

Desta forma, o compromisso com a eficiência e conservação de energia no local de trabalho terá relação sobre a forma como os motivadores da mudança informam e envolvem seus colegas de trabalho em questões de energia, de forma que haja apoio a estratégia adotada.

Resultados esperados: Alcance de melhores resultados na conservação e eficiência de recursos energéticos, por meio de engajamento da equipe e comunicação eficaz da estratégia adotada e dos procedimentos para a obtenção da EE.

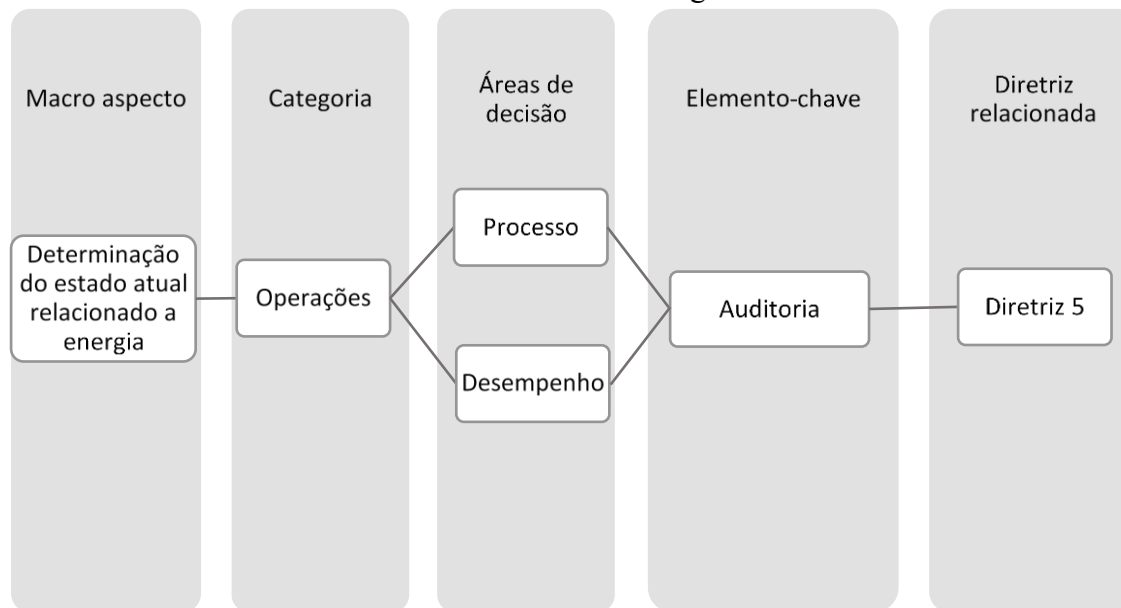
Ferramentas recomendadas: Canais de comunicação assertivos que fomentem o diálogo entre a equipe, incentivo ao trabalho contínuo de redução de energia, medição das relações de engajamento ativo, passivo, inexistente e condicional dos colaboradores para eficiência energética pelo modelo de Isaksson, Hiller, Lane (2019).

Fonte: Isaksson, Hiller, Lane (2019), Dumitru *et al.* (2016), Brunke, Johansson, Thollander (2014), Cooremans (2011), Prindle e Finlinson (2011), Hillary (2004), Strachan *et al.* (2003).

4.1.4.3 Diretriz Voltada a Determinação do Estado Atual Relacionado a Energia

Nessa seção é apresentada a diretriz #5 que compõem o bloco 3 voltado à determinação do estado atual relacionado a energia. A correlação entre a diretriz e os elementos correspondentes apresentam-se desdobrados na Figura 14.

Figura 14 - Alinhamento de diretriz em relação ao aspecto “Determinação do estado atual relacionado a energia”



Fonte: Autoria Própria (2021).

Diretriz 5: Realizar auditorias energéticas para identificar processos chaves em consumo e o potencial de economia de energia.

Categoria: Operações.

Área de decisão: Processo; Desempenho.

Elemento-chave: Auditoria.

Descrição: As auditorias de eficiência energética são avaliações globais do desempenho real dos sistemas que utilizam energia em uma instalação, traçando um comparativo com o nível de desempenho projetado ou das melhores práticas da indústria em questão (MALINAUSKAITE *et al.*, 2019).

Fresner *et al.* (2017) sugere que para a realização de auditorias energéticas, é importante que haja o levantamento de dados gerais da empresa, bem como o estudo dos fluxos de materiais e produtos para posterior caracterização do consumo energético, que possibilitem a avaliação de perdas de energia e desenvolvimento de estudos técnicos e econômicos das alternativas de redução de perdas, além da elaboração de recomendações e conclusões.

O estudo de Abdelaziz *et al.* (2011) descreve três diferentes tipos de auditorias

energéticas: auditorias preliminares, auditorias gerais e auditorias detalhadas. Uma auditoria preliminar é o tipo mais simples e rápido de auditoria, envolvendo entrevistas mínimas com o pessoal de operação, uma revisão breve de dados operacionais e a descrição da organização da instalação. A auditoria geral expande a auditoria preliminar, coletando informações mais detalhadas sobre a operação, por exemplo, a medição adicional de consumo específico de energia de máquinas ou sistemas. Por último, a auditoria detalhada novamente expande a auditoria geral, fornecendo um modelo dinâmico de características de uso de energia da instalação existente que, por exemplo, permite a identificação das variações do perfil de carga a curto e longo prazo.

Fenerich *et al.* (2013) salientam que todas as atividades devem passar por um processo interno de auditoria, seguida de uma revisão na gestão que pode incluir mudanças na gestão do poder político.

Vistos os diferentes tipos de auditorias que podem ser realizadas, Nogueira (1990) ressalta que não é tarefa trivial estabelecer a duração de uma auditoria, pois esta depende da complexidade enfrentada e da profundidade desejada em cada situação. Por outro lado, quando se implanta uma sistemática de auditorias, sua realização periódica pode induzir a prazos menores pela capacitação atingida.

Desta forma, as auditorias energéticas são destacadas por Schulze, Ottosson e Thollander (2015), como uma importante medida de gestão energética, sendo necessário que as empresas verifiquem constantemente seu *status quo* e identifiquem o potencial de poupança energética.

Resultados esperados: contabilizar e apurar o consumo de energia, a eficiência energética dos equipamentos e as perdas, tendo como finalidade reduzi-las sem afetar a produção, por meio da apresentação de medidas de utilização racional de energia.

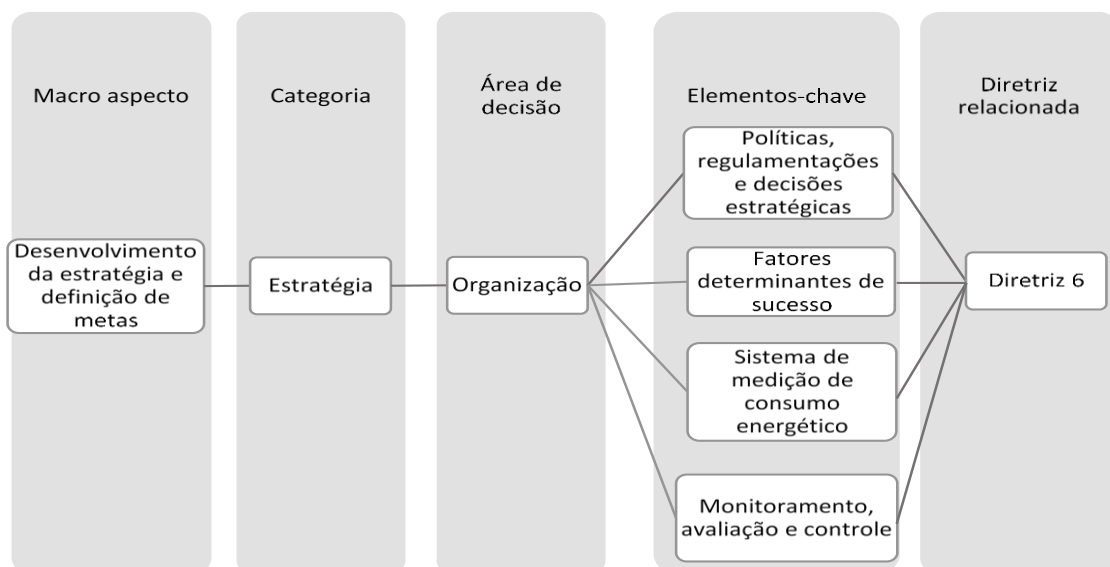
Ferramentas recomendadas: *Check list, Mark IV Plus* (pacote de programas computacionais disponibilizado pela Eletrobrás como ferramenta para a execução de auditorias e análises de desempenho de sistemas energéticos), instrumentos de medida: termômetros digital com vários tipos de ponta sensora, analisadores de gases de chaminé (por absorção química ou eletrônicos), medidores de velocidade de ar/líquidos (anemômetros ou tubos de *Pitot*), psicrômetros, tacômetros, luxímetros e amperímetros de alicate.

Fonte: Schulze, Ottosson e Thollander (2015), Abdelaziz *et al.* (2011), Fresner *et al.* (2017), Nogueira (1990), Fenerich *et al.* (2013), Malinauskaite *et al.* (2019).

4.1.4.4 Diretriz Voltada ao Desenvolvimento da Estratégia e Definição de Metas

Nessa seção é apresentada a diretriz #6 que compõem o bloco 4 voltado ao desenvolvimento da estratégia e definição de metas de energia. A correlação entre a diretriz e os elementos correspondentes apresentam-se desdobrados na Figura 15.

Figura 15 - Alinhamento de diretriz em relação ao aspecto “Desenvolvimento da estratégia e definição de metas”.



Fonte: Autoria Própria (2021).

Diretriz 6: Estabelecer metas de conservação de energia em instalações industriais.

Categoria: Estratégia

Área de decisão: Organização

Elemento-chave: Políticas, regulamentações e decisões estratégicas; Monitoramento, avaliação e controle; Sistema de medição de consumo de energia; Fatores determinantes de sucesso.

Descrição: As metas possuem um papel importante para obtenção de sucesso na redução de energia, porém é preciso que estas sejam atingíveis e que permitam visualizar o caminho traçado para obtenção dos resultados. Desta forma, é necessária a identificação das possibilidades de redução, avaliando o histórico de consumo e identificando os pontos a serem

melhorados, além do estabelecimento de ações claras e definição dos responsáveis para efetivação das propostas, pois para atingir as metas organizacionais, é fundamental a cooperação dos membros da equipe apesar de seus próprios interesses (MAHAPATRA *et al.* 2017).

A análise de consumo permite verificar quais fatores produtivos utilizam mais energia elétrica e quais mudanças devem ser realizadas para redução do consumo, neste sentido Martins (2016) recomenda a otimização dos equipamentos e instalações, substituição de motores superdimensionados, correção do fator de potência baixo e redução dos picos de demanda para redução do consumo de energia na indústria.

A medição do consumo de energia é um passo importante para avaliar o consumo energético em uma instalação industrial. Richert (2017) sugere uma avaliação histórica das instalações, com o objetivo de definir o alcance de medição e identificação de fatores que influenciam o comportamento do consumo de energia, como o comportamento humano ou questões técnicas. O objetivo é determinar quais áreas, equipamentos ou processos devem ser medidos na instalação e com base no escopo definido, coletar dados detalhados que permitam a visualização dos níveis de consumo e custos em diferentes escalas de análise.

Com relação ao planejamento de energia e o processo de definição de metas a nível de empresa, Rietbergen e Blok (2010) fornecem uma taxonomia de metas para uso de energia industrial ou redução de emissão de gases de efeito estufa. Além disso, eles distinguem diferentes alvos de coberturas (consumo de energia, emissões de CO₂ ou todas as emissões de gases de efeito estufa), bem como diferentes categorias de metas quantitativas, incluindo metas de volume (por exemplo, redução da energia total em x% em 10 anos), metas de eficiência física (por exemplo, o uso de energia deve atingir um determinado nível de GJ / tonelada de produto em 10 anos), metas de intensidade econômica (por exemplo, a intensidade energética deve atingir um dado nível kWh / \$ vendas até o ano 2030) e metas econômicas (por exemplo, todas as medidas de melhoria da eficiência energética com um período de retorno de menos de cinco anos devem ser implementadas). Dependendo das metas específicas que uma empresa deseja alcançar, diferentes categorias de metas precisam ser consideradas no planejamento de energia.

Drack *et al.* (2006) apresenta um quadro para a obtenção de dados de medição do consumo de energia na fabricação cuja estrutura é composta por seis etapas, sendo essas, iniciação, medição e configuração, identificação do potencial total do sistema, análise, determinação dos subsistemas e análise do comportamento de cada subsistema. Salonitis (2015), ressalta que para medir o consumo de energia de cada subsistema, um procedimento de

medição deve ser estabelecido, onde uma série de tarefas específicas devem ser programadas para avaliar o efeito da combinação de parâmetros sobre a eficiência energética. Tal avaliação compara a necessidade de energia para o item produzido, de forma que cada subsistema é ativado e desativado numa sequência pré-definida.

Para a redução da demanda projetada de energia por meio de metas de conservação, são estabelecidas metas de conservação de energia com base em programas existentes ou novos programas, sendo que as economias de energia associadas a estas metas são descontadas da demanda projetada de energia (PNE 2030, 2007).

Resultados esperados: Estabelecimento de metas relacionadas ao percentual do uso de energia em diversas dimensões, que permitam diminuir as perdas e economizar energia.

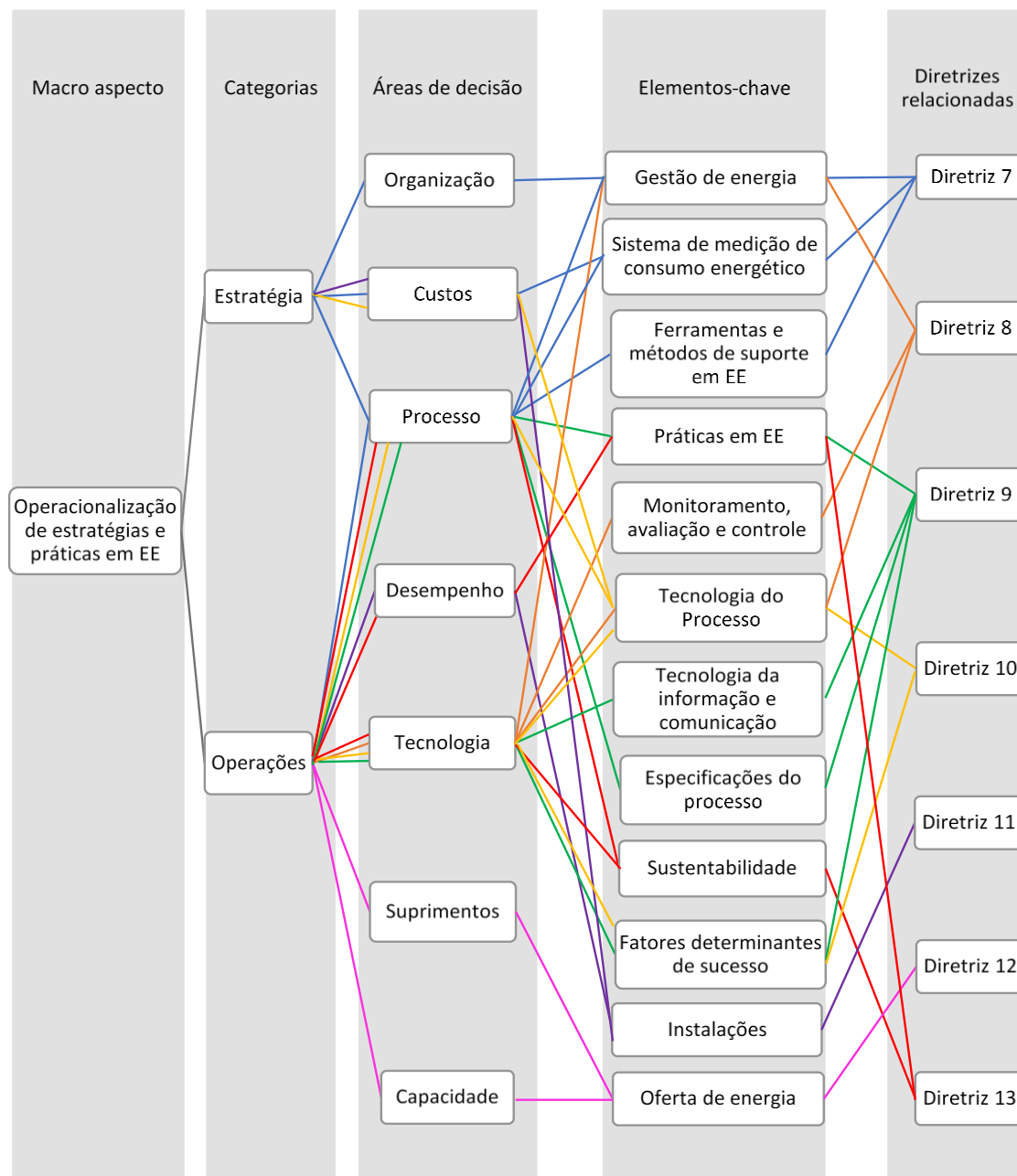
Ferramentas recomendadas: Análise Envoltória de Dados (DEA) (ZHOU *et al.*, 2019), modelo de Análise do Índice de Decomposição (IDA) de Ang *et al.* (2010), Análise de Fronteira Estocástica (SFA) (WANG *et al.*, 2016; ZHOU *et al.*, 2012), estabelecimento de metas de abrangência tanto organizacionais quanto individuais de conservação de energia.

Fonte: Zhou *et al.* (2019), Richert (2017), Wang *et al.* (2016), Zhou *et al.* (2012), Ang *et al.* (2010), Drack *et al.* (2006), Salonitis (2015), Mahapatra *et al.* (2017), Rietbergen e Blok (2010), Martins (2016).

4.1.4.5 Diretrizes Relacionadas à Operacionalização de Estratégias e Práticas em EE

Nessa seção são apresentadas as diretrizes #7 a #13 que compõem o bloco 5 voltado a operacionalização de estratégias e práticas em EE. A correlação entre estas diretrizes e os elementos correspondentes apresentam-se desdobrados na Figura 16.

Figura 16 - Alinhamento de diretrizes em relação ao aspecto “Operacionalização de estratégias e práticas em EE”



Fonte: Autoria Própria (2021).

Diretriz 7: Adotar normas ISO 50001:2018 de gestão otimizada de energia.

Categorias: Estratégia; Operações.

Áreas de decisão: Organização; Processo; Custos.

Elemento-chave: Gestão de energia; Ferramentas e métodos de suporte a EE; Sistema de Medição de Consumo Energético.

Descrição: Schulze *et al.* (2016) destacam que um dos meios mais promissores de reduzir o consumo de energia e seus custos relacionados é por meio da implementação de um sistema de gestão de energia.

Para tanto, a ISO 50001 apresenta requisitos para aumentar a eficiência energética, sendo a padronização um pré-requisito que permite a poupança de energia na fabricação, porém é indispensável que haja perspectiva estratégica da gestão de energia nas indústrias para a efetividade desses sistemas (JOVANOVIĆ, FILIPOVIĆ, BAKIĆ, 2017).

A norma ISO 50001:2018 é um padrão que estabelece requisitos para sistemas de gestão de energia, que segundo a própria ISO, é a forma que a organização deve implementar uma política de energia, estabelecer objetivos, metas e planos de ação relacionados ao uso de energia.

Além disso, a ABNT (2018) delibera em relação a ISO 50001:2018, estabelecendo que os principais pontos a serem atendidos estão relacionados a elaborar uma política interna para consumo eficiente de energia, definindo objetivos e metas para que a política seja implantada e para que a empresa busque de forma permanente a melhoria contínua de seu desempenho energético. Para tanto é necessário levantar dados sobre o consumo de energia e utilizá-los na tomada de decisões, a fim de melhorar a forma de consumir energia por meio de novas tecnologias e ferramentas, como as plataformas de gestão de energia e utilidades.

A norma estabelece que para garantir a efetividade do sistema, é necessário monitorar em tempo real as operações e mensurar resultados, permitindo rever sistematicamente a performance do Sistema de Gestão de Energia para identificar onde a eficiência pode ser aumentada, pois o sistema deve ser capaz de identificar desvios, anomalias e oportunidades de economia, além de atender os requisitos legais e contratuais associados à gestão de energia.

A atualização da norma em 2018 trouxe uma ênfase mais forte no papel da alta gerência, salientando a importância em estimular a mudança de cultura organizacional. Esta atualização também permitiu que a norma fosse alinhada aos requisitos da ISO para as normas de sistemas de gestão, facilitando a integração nos sistemas de gestão existentes da organização.

Sendo assim, Menghi *et al.* (2019) constatam que a norma tem contribuído para o aumento da consciência em relação ao consumo de energia, estimulando a busca por novos métodos e ferramentas para melhoria do desempenho energético e identificação de oportunidades de economia deste recurso.

Resultados esperados: Garantia de eficiência energética, redução dos custos operacionais e diferencial competitivo por operar conforme padrões internacionais de eficiência energética e

sustentabilidade.

Ferramentas recomendadas: Ciclo PDCA, plataformas de gestão de energia (como por exemplo a *Powerhub*), *software* ISO 50001 *analyzer* proposto por Gopalakrishnan *et al.* (2014), abordagem metodológica baseada na norma ISO 50001 adaptada para pequenas e médias empresas de Richert (2017), *KPI's* de eficiência energética e *benchmarking*.

Fonte: ABNT (2018): ISO 5001:2018, Schulze *et al.* (2016), Jovanović, Filipović, Bakić (2017), Pelsler, Vosloo, Mathews (2018), Gopalakrishnan *et al.* (2014), Richert (2017), Menghi *et al.* (2019).

Diretriz 8: Conjugar o sistema de gestão de energia a sistemas de controle e automação.

Categoria: Operações.

Área de decisão: Tecnologia.

Elemento-chave: Gestão de Energia; Tecnologia do Processo; Monitoramento, Avaliação e Controle.

Descrição: Segundo o Balanço Energético Nacional (BEM, 2019), “o gerenciamento e a conservação de energia elétrica têm destaque crescente, em progressão geométrica, por razões específicas: crescente rigidez nos critérios de faturamento e nas tarifas de energia elétrica, e sua aplicação à quase que totalidade dos processos industriais”. Já de acordo com o PROCEL (2019), pode-se verificar que “a importância do gerenciamento vem crescendo também dada a sua potencialidade de facilitar a manutenção e a operação das plantas, trazendo ganhos de produtividade, em termos de manutenção e vida útil de equipamentos e sistemas”.

Nesse sentido, o sistema de gestão de energia agregado a sistemas de controle e automação pode ser utilizado como ferramenta de gestão de eficiência energética, podendo reduzir os custos e melhorar a produtividade, assim como a competitividade da indústria.

O gerenciador de energia é um equipamento ou sistema que realiza o monitoramento e o controle de processos buscando otimizar o consumo dos insumos energéticos e utilidades de forma automática sem interrupção de produção ou prejuízo no conforto ambiental. Pode-se citar como as principais aplicações: eliminação de desperdícios; aumento da eficiência; mudança nos padrões de consumo; monitoramento das concessionárias de energia; elaboração de rateios com

alta precisão; controle de cargas; controle do fator de potência; conhecimento das sazonalidades do consumo; determinação do custo específico, consumo específico e custo de produção por setores e períodos.

Os sistemas de gerenciamento de energia são implantados basicamente para monitorar as grandezas elétricas e acompanhar o perfil histórico de medições de energia de uma unidade consumidora. Sua instalação é motivada pela necessidade de reduzir custos ocasionados por multas de ultrapassagem de demanda e fator de potência, tornando eficiente o uso da energia e conseqüentemente, diminuindo os custos relacionados a energia, além de propiciar ganhos de produtividade, pois se trata de uma ferramenta que facilita a manutenção e a operação das plantas industriais (SOARES, 2015).

Para May *et al.* (2016) a maioria dos softwares e sistemas de controle automatizados visam a melhoria nos modos de economia em máquinas e linhas de produção específicas. Os autores apresentam uma metodologia inovadora que diz respeito ao uso de sistemas de controle inteligentes, enfatizando o potencial de melhoria de economia de energia em dispositivos automatizados para a otimização de múltiplos estágios dos processos. Há uma atenção especial no emprego de uma plataforma para serviços eficientes em energia, bem como as aplicações de algoritmos de IA para encontrar soluções ideais.

Portanto, a adoção de um sistema de gestão de energia, seja impulsionado pela política ou pela estratégia de uma empresa, pode levar à economia de energia e custos associados (MAULINAUSKAUTE *et al.*, 2019).

Resultados esperados: Além da redução dos custos operacionais, um sistema de gerenciamento integrado de energia pelo lado da demanda possibilita que a indústria tenha uma atitude responsável e econômica no processo produtivo.

Ferramentas recomendadas: Normas da série ISO 50001, sistema de apoio à decisão com base no monitoramento do consumo de energia online de máquinas (HU *et al.*, 2012). Ren e Zhang (2010) propõem uma abordagem de economia de energia relacionada à TI com base em dados em nuvem, desenvolvendo uma série de serviços que permitem a medição dinâmica, planejamento e gestão dos processos de fabricação. May *et al.* (2016) sugere o suporte por meio de TIC nas seguintes dimensões: Sistemas de TI para Produção (por exemplo *SCADA*, *MES*, *ERP*, etc.), suporte para processos de manufatura (ex: *CAD*, *CAM*, etc.), *Future Enterprise Systems* e *IoT*, além de sistemas de controle inteligente.

Fonte: Sola e Mota (2019), Balanço Energético Nacional (2019), PROCEL (2019), Soares

(2015), Maulinauskaute *et al.* (2019), Hu *et al.* (2012). Ren e Zhang (2010), May *et al.* (2016).

Diretriz 9: Aplicar práticas que proporcionem melhoria da eficiência energética nas indústrias.

Categoria: Operações.

Área de decisão: Tecnologia; Processo.

Elemento-chave: Práticas em EE; Especificações do processo; Fatores determinantes de sucesso.

Descrição: O conhecimento das melhores práticas encontradas na indústria auxilia as empresas a economizar energia e a melhorar a sua produtividade. A partir de um ponto de vista de operação da produção, a redução do consumo de energia durante o processamento pode ser conseguida por vários meios, por exemplo, a capacidade de produção pode ser ajustada, considerando a demanda de produção e variações de preços de energia. Outro fator a ser considerado está relacionado à forma de utilização da capacidade da máquina, que gera alterações nos níveis de consumo de energia durante a operação (LEE *et al.*, 2017).

Já Sola e Mota (2019) apontam que práticas relacionadas à manutenção tem alto impacto na eficiência energética em indústrias, pois equipamentos trabalhando por um longo tempo sem manutenção podem gerar desde perdas de energia até um colapso do sistema.

Ding *et al.* (2015) apresentam em seu estudo um modelo de fabricação cujo objetivo é minimizar o custo total de eletricidade por meio do agendamento adequado dos trabalhos, de tal forma que o tempo total de conclusão das tarefas não exceda um prazo de produção pré-determinado.

Para Wang *et al.* (2017) na etapa de programação da produção, tarefas são atribuídas às máquinas com base na informação histórica, sendo que o estado das máquinas em tempo real (por exemplo, o consumo de energia, fila de tarefas ou mau funcionamento) raramente é considerado. Como resultado, as tarefas podem não ser perfeitamente atribuídas às máquinas e grandes quantidades de energia são consumidas. Para essa situação os autores propõem uma metodologia denominada *REEOM*, integrando tecnologias de Internet das Coisas (*IoT*), processamento de eventos complexos (*CEP*) e método de escalonamento em tempo real. O método tem o intuito de programar ou reprogramar o plano de produção de acordo com o status

das máquinas em tempo real, a fim de que a eficiência energética possa ser melhorada.

As TIC's têm melhorado significativamente a capacidade e a facilidade de medição inteligente em tempo real, o que combinado com o aprendizado de máquina e tecnologias de inteligência artificial, permite gerenciar o uso de energia de forma dinâmica, em uma perspectiva da indústria 4.0 (BONFÁ *et al.*, 2018).

Para Thompson (2014), a adoção de tecnologias eficientes em energia está ligada aos processos técnicos de inovação com o objetivo de melhorar a produtividade. Quando inovações para melhorias de eficiência energética são adotadas, os benefícios percebidos são redução de custos, melhoria da competitividade e a redução das emissões.

Resultados esperados: Adoção de práticas que proporcionem maior conservação de energia e melhor utilização dos recursos disponíveis.

Ferramentas recomendadas: *Benchmarking*, *KPI's* relacionados a consumo de energia, custo de energia e eficiência energética; *IoT* aliada a processamento de eventos complexos (Wang *et al.*, 2017); agendamento de processos de acordo com os períodos de menor custo da energia; realização de diagnósticos energéticos e divulgação pelos órgãos competentes de informações sobre as melhores práticas para indústrias; oferecer cursos e treinamentos aos colaboradores que possibilitem economia de energia, podendo estar relacionados a fatores como iluminação, motores, bombas, ventiladores, aquecimento direto, vapor de processo e ar comprimido.

Fonte: Wang *et al.* (2017), Bonfá *et al.* (2018), Lee *et al.* (2017), Ding *et al.* (2015), Sola e Mota (2019), Thompson (2014).

#Diretriz 10: Otimizar o rendimento dos processos e diminuir custos com energia.

Categoria: Estratégia e Operações.

Área de decisão: Custos; Tecnologia; Processo.

Elemento-chave: Tecnologia do processo; Fatores determinantes de sucesso.

Descrição: A eficiência energética do sistema de produção tornou-se uma restrição importante para o processo de fabricação, mas outras restrições de fabricação, como custo e rendimento também precisam ser considerados (ZHANG e GE, 2015).

No setor industrial, a força motriz é responsável pelo maior consumo de eletricidade e

apresenta um grande potencial de economia de energia, principalmente por meio da utilização de equipamentos de alto rendimento e também pela adequação à carga para um consumo mais eficiente de recursos energéticos na indústria. Há um número significativo de pesquisas sobre tópicos específicos relacionados ao consumo de energia de motores elétricos, tecnologia de materiais, processos de fabricação e equipamentos envolvidos nos processos, uma vez que estes são alguns dos aspectos mais relevantes a serem otimizados considerando a grande quantidade de energia que consomem (MAY *et al.*, 2016; TRIANNI, CAGNO, ACCORDINI, 2019; MASOUDINEJAD *et al.*, 2015; ZUBERI, TIJDINK, PATEL, 2017; BÜHLER *et al.*, 2019, BONFAI *et al.*, 2019).

Ações como a troca de motores antigos por versões de alto rendimento, adaptações em transformadores, compressores, *chillers* e em sistemas de ar condicionado, refrigeração e iluminação são direcionadores para processos e equipamentos mais eficientes.

Para Feng *et al.* (2016), o custo da operação de energia tem duas origens: o custo de manutenção de instalações e o consumo de energia da operação. Enquanto o consumo de energia da operação é contínuo e proporcional à utilização de uma fonte de energia primária, o custo de manutenção periódica é previsto de acordo com os agendamentos.

Outro fator que leva a aumento no rendimento dos processos e redução de custos está relacionado ao nível de automação da planta. De acordo com May *et al.* (2016), os métodos de automação de processos são um dos principais instrumentos para transformar o padrão de consumo de energia e emissões de gases dos processos de fabricação. O investimento em automação se justifica quando é possível permitir que os processos sejam simplificados e acelerados, com a economia chegando a diversos âmbitos. Ao adotar mecanismos de trabalho automatizados, ocorre a elevação das etapas produtivas ao máximo de eficiência e ao mínimo de desperdícios.

Percebe-se a importância de melhorar a EE das máquinas e equipamentos como uma das etapas básicas para uma mudança em direção a processos industriais com melhor rendimento e eficientes em recursos.

Resultados esperados: Processos mais eficientes energeticamente que favoreçam a redução de custos com energia e aumento no rendimento produtivo por meio de processos automatizados e equipamentos mais eficientes.

Ferramentas recomendadas: Busca por aperfeiçoamento e a introdução de novas tecnologias são opções que proporcionam ganhos competitivos na estratégia de negócios e na eficiência energética. Ferramentas como avaliação do ciclo de vida (estudos acadêmicos utilizam este

método para avaliar os impactos ambientais no processo de eficiência), *benchmarking*, avaliação de energia, modelagem e análise, simulação de eventos discretos, podem ter resultados satisfatórios.

Fonte: May *et al.* (2016), Trianni, Cagno, Accordini (2019), Masoudinejad *et al.* (2015), Zuberi, Tijdink, Patel (2017), Bühler *et al.* (2019), Bonfai *et al.* (2019), Feng *et al.* (2016), Zhang e Ge (2015).

Diretriz 11: Melhorar o desempenho energético das instalações industriais.

Categoria: Estratégia; Operações.

Área de decisão: Desempenho; Custos.

Elemento-chave: Instalações.

Descrição: A infraestrutura e as atividades desenvolvidas em instalações industriais implicam diretamente no uso de energia, estando estas relacionadas a aquecimento, espaço de refrigeração e iluminação, sendo notório que a redução do consumo de energia tem impactos em muitos aspectos de manufatura (ADEWUNMI *et al.*, 2019).

Na gestão de instalações, alguns estudos sobre eficiência energética incluem Qian *et al.* (2011) com foco nos edifícios verdes e tecnologias inovadoras em edifícios e Kang *et al.* (2017) que examinam a economia de energia por meio da iluminação.

O resultado da pesquisa de Adewunmi *et al.* (2019) indicam que as empresas estão mais conscientes em relação ao consumo de energia de seus edifícios e os principais investimentos têm sido realizados em iluminação, equipamentos e ventilação com eficiência energética e de forma suplementar, adoção de redução da carga e o envolvimento dos ocupantes para melhorar a eficiência das instalações, porém, o estudo aponta que o investimento inicial necessário para colocar em prática uma estratégia de eficiência energética em relação às instalações é considerado o maior obstáculo.

Em relação ao consumo de energia dos edifícios, estes podem ser divididos em duas categorias principais, sendo: (1) Energia Incorporada, que é a quantidade total de energia primária não renovável exigida para os processos diretos e indiretos envolvidos na criação de um edifício, sua manutenção, bem como o final do ciclo de vida; e a (2) Energia Operacional, que é definida como a energia primária exigida para a iluminação, aquecimento, arrefecimento

e de alimentação dos serviços disponibilizados (TENNAKOON, WAIDYASEKARA, EKANAYAKE, 2019).

Os autores acima citados identificam algumas estratégias para projetos com redução de Energia Incorporada, sendo estas:

- Seleção de materiais fabricados com uso menos intensivos em energia e o aumento do uso de material reciclado, reutilizado e de origem local.
- A alteração da forma de construção e do plano de layout.
- Projetos de construção com baixos requisitos de manutenção ou aumento da vida útil que um edifício permanece funcional.
- Reutilização de estruturas e construções existentes e a concepção de construções flexíveis e que permita adaptações futuras.

Em relação às estratégias para projetos com redução de Energia Operacional, Tennakoon, Waidyasekara, Ekanayake (2019) sugerem:

- Aumento do isolamento, recuperação do calor, do ar, da ventilação, uso de janelas com melhor desempenho térmico e redução das perdas de infiltração.
- Uso de equipamentos com melhor desempenho energético.
- Alteração de um edifício e seus elementos em termos de forma, orientação, aberturas e mecanismos de sombreamento e fatores como a relação janela/parede.
- Utilização de softwares de modelagem e simulação de energia e a adoção de novas abordagens de aquisição para facilitar a concepção de edifícios energeticamente eficientes.

Li *et al.* (2015) exploraram uma integração eficiente em sistemas térmicos fotovoltaicos para aquecimento, ventilação e ar condicionado, em um sistema de armazenamento térmico com dispositivos que permitem a coleta e utilização otimizadas da energia solar em edifícios de alto desempenho.

Dincer e Rosen (2001) já se referiam ao armazenamento de energia térmica para aplicação de resfriamento como promissores, identificando seu potencial para alterar a dinâmica de consumo, reduzir a demanda de energia e reduzir os custos de sistemas de ar condicionado.

Arteconi *et al.* (2016) propõe o uso de bombas de calor como dispositivos eficientes para fornecer aquecimento e resfriamento em edifícios, especialmente se combinado com o conceito de gerenciamento do lado da demanda, que se refere a todas as ações destinadas a alterar perfis de carga de eletricidade para otimizar a energia do sistema, desde a geração até a entrega e uso final, melhorando a eficiência energética e otimizando a alocação de recursos de

forma a permitir o uso eficiente de eletricidade.

O armazenamento de energia térmica pode ser usado para gerenciamento de carga elétrica em edifícios mudando o aquecimento elétrico e demandas de resfriamento, por exemplo, de períodos de pico para períodos fora de pico. Fora dos horários de pico, o aquecimento ou resfriamento pode ser gerado pela rede elétrica e durante o horário de pico, utiliza-se a energia térmica armazenada no dispositivo, a fim de nivelar os perfis de carga (KHUDHAIR; FARID, 2004).

Portanto, percebe-se inúmeras formas de melhorar o desempenho energético das instalações, sendo relevante avaliar a relação entre impactos e custos das medidas que resultem em vantagem competitiva em relação ao aumento da eficiência energética.

Resultados esperados: Obter instalações industriais mais eficientes energeticamente.

Ferramentas recomendadas: Sistema de armazenamento de energia térmica, recuperação do excedente de eletricidade fotovoltaica, *softwares* de modelagem e simulação de energia, edifícios de alto desempenho.

Fonte: Arteconi *et al.* (2016), Khudhair; Farid (2004), Dincer; Rosen (2001), Li *et al.* (2015), Tennakoon, Waidyasekara, Ekanayake (2019), Adewunmi *et al.* (2019), Kang *et al.* (2017), Qian *et al.* (2011).

#Diretriz 12: Aumentar a produção de energia a partir do uso mais eficiente do combustível utilizado por meio da cogeração.

Categoria: Operações.

Área de decisão: Suprimentos; Capacidade.

Elementos-chave: Oferta de energia.

Descrição: A cogeração é o processo que permite, a partir de um único combustível, a produção simultânea de calor e de energia elétrica. De acordo com Feng *et al.* (2016), as fábricas tendem a ter os seus próprios sistemas de conversão e transmissão de energia para suprir a demanda de energia nas linhas de produção. O autor enfatiza que se deve atentar para fatores relacionados a como operar sistemas de conversão e transmissão de energia no local e como alcançar os melhores resultados em termos de energia, custo e emissões, sendo este, um modelo de

produção e distribuição energética eficiente para consumo interno ou de terceiros.

Para um processo industrial, na condição em que há demanda simultânea das utilidades de energia térmica e eletromecânica, a aplicação da cogeração se apresenta como provável alternativa, com a vantagem do uso racional de combustível. Para Feng *et al.* (2016), o calor e energia combinados em um sistema de cogeração, melhoram a eficiência energética ao longo dos sistemas em média em 70%, sendo que a cogeração pode usar diferentes fontes de energia. Desta forma, a expansão dos sistemas de cogeração tende a aumentar o rendimento dos processos e diminuir os custos financeiros.

De acordo com o PROCEL (2019), no Brasil, a medida em que são reduzidos os potenciais hidroelétricos, surge a tendência em diversificar sua matriz para aumentar a oferta de energia e garantir o suprimento da demanda crescente, sendo que entre as alternativas para o equacionamento deste problema, está o uso do gás natural e a biomassa. Para a melhor escolha entre os processos em separado ou a cogeração, torna-se necessária uma análise mais aprofundada do empreendimento, considerando também seus aspectos técnicos e econômicos (YIN *et al.*, 2019).

Resultados esperados: Economia de recursos energéticos em comparação a uma configuração convencional, além da autossuficiência energética e economia na operação.

Ferramentas recomendadas: Tecnologias - turbinas a gás, turbinas a vapor, motores de combustão interna, ciclo combinado (aproveitamento da rejeição térmica de um ciclo primário de geração eletromecânica numa segunda máquina térmica), microssistemas de cogeração (aplicações em pequeno porte), microturbinas (podem operar com combustíveis gasosos - gás natural, biogás ou propano, ou com alguns combustíveis líquidos leves, porém com níveis de emissões mais elevados), células a combustível (dispositivo eletroquímico capaz de converter diretamente a energia do combustível em eletricidade).

Fonte: Feng *et al.* (2016), Ghadimi *et al.* (2015), Tan e Yavuz (2015), Xing *et al.* (2019), Stiphout, De Vos, Deconinck (2016), Wang, Lin (2017), Dasgupta, Roy (2015), Yin *et al.* (2019), PROCEL (2019).

Diretriz 13: Escolher estratégias eficientes de mitigação de emissões industriais para o desenvolvimento sustentável.

Categoria: Estratégia; Operações.

Área de decisão: Tecnologia; Processo; Desempenho.

Elemento-chave: Sustentabilidade; Práticas em eficiência energética.

Descrição: A industrialização atua como motor do crescimento econômico e impacta significativamente para o aumento do desempenho ambiental relacionado a emissão de poluentes e consumo de energia. Porém, a forma como as empresas poderiam reduzir os impactos ocasionados pelos processos fabris requer uma análise mais cuidadosa da compreensão do seu desempenho ambiental.

A Agenda 2030 da ONU para o Desenvolvimento Sustentável colocou a produção sustentável entre as dezessete metas para a construção de um mundo melhor (ONU, 2015). De fato, através do desenvolvimento de sistemas de produção não poluentes e processos que consomem quantidades limitadas de recursos, é possível combinar a sustentabilidade ambiental, econômica e social (MENGHI *et al.*, 2019).

Brinkerink, Chegut, Letterie (2019) reiteram que o impacto do investimento no desempenho ambiental é um importante fator para formuladores de políticas e empresas, apresentando em sua pesquisa uma relação positiva entre investimento conjunto em instalações e equipamentos para o alcance da eficiência energética e consequente sustentabilidade das operações.

Menghi *et al.* (2019) salientam a necessidade de mitigar os impactos ambientais dos processos de fabricação, enfatizando a eficiência energética um fator chave de sucesso para a produção sustentável e uma medida importante para reduzir os impactos ambientais dos processos de fabricação, sendo o primeiro passo para a implementação de uma produção sustentável.

De acordo com Liang, Dong, Luo (2016), indústrias de grande escala e atividades econômicas intensivas levam ao aumento das emissões, sendo os processos sustentáveis e limpos a base para alcançar economia de energia e mitigação de emissões. Desta forma, a produção mais limpa e a economia circular são citadas por Dong *et al.* (2013) e Li *et al.* (2010) como uma estratégia preventiva, integrada e aplicada a processos, produtos e serviços com os objetivos de reduzir os riscos e conseguir benefícios econômicos para as empresas por meio da ecoeficiência, proporcionando melhorias econômicas, tecnológicas e ambientais, sendo estas estratégias fundamentais para tornar as indústrias verdes do ponto de vista técnico.

Outra forma de investimento na proteção ambiental por meio da mitigação das emissões

é a utilização de fontes alternativas de energia renovável (especialmente as fontes de energia de baixo carbono, ou seja, nuclear, hidrelétrica, eólica e solar) para substituir os combustíveis fósseis tradicionais (carvão e petróleo), sendo estas opções apresentadas por Liang, Dong, Luo (2016) para reduzir as emissões de gases do efeito estufa proveniente da manufatura.

Resultados esperados: Projetar estratégias e políticas que equilibrem o desenvolvimento industrial, a redução de emissões e o consumo de energia.

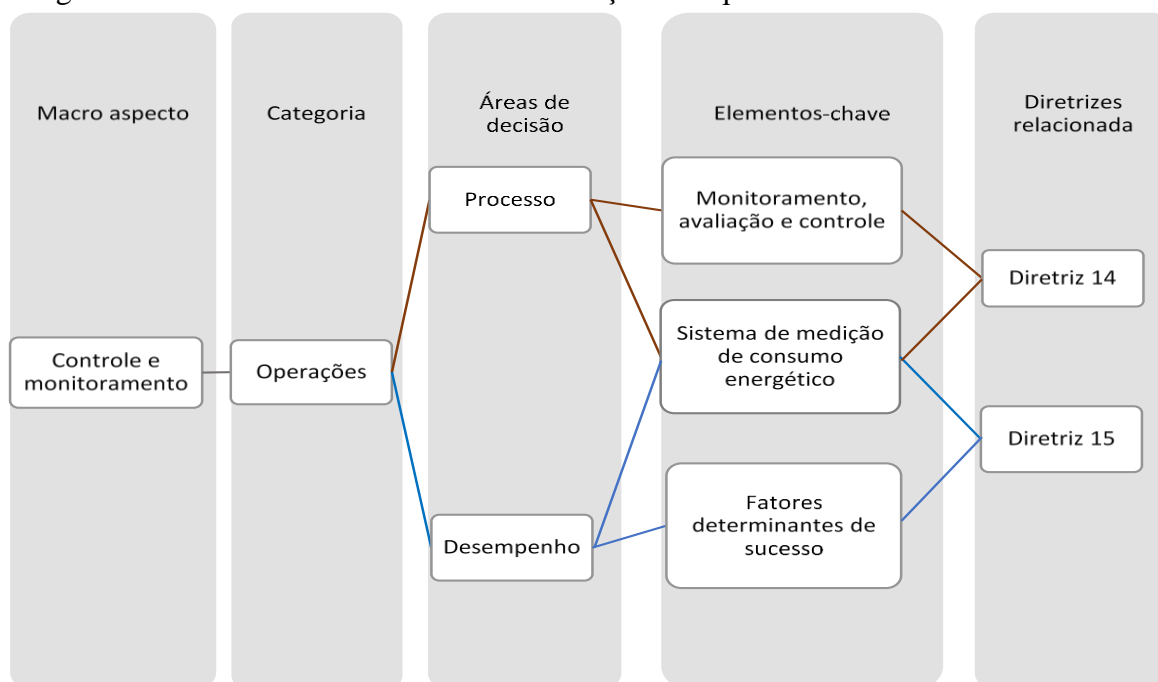
Ferramentas recomendadas: Implementação de medidas de redução de emissões e economia de energia, políticas direcionadas a inovações tecnológicas nos processos, por meio de atualizações e transferência de tecnologia, subsídios financeiros governamentais e medidas de eco-compensação. Além disso, Li *et al.* (2016) e Zhang e Lahr (2014) sugerem modelos de entrada-saída, de análise de decomposição e de análise econômica para avaliação de cenários.

Fonte: Li *et al.* (2016), Zhang e Lahr (2014), Dong *et al.* (2013), Li *et al.* (2010), Liang, Dong, Luo (2016), Brinkerink, Chegut, Letterie (2019), Menghi *et al.* (2019).

4.1.4.6 Diretrizes Relacionadas ao Controle e Monitoramento

Nessa seção são apresentadas as diretrizes #14 e #15 que compõem o bloco 6 voltado ao controle e monitoramento. A correlação entre estas diretrizes e os elementos correspondentes apresentam-se desdobrados na Figura 17.

Figura 17: Alinhamento de diretrizes em relação ao aspecto “Controle e Monitoramento”



Fonte: Autoria Própria (2021).

Diretriz 14: Monitorar fluxos de energia por medições em tempo real

Categoria: Operações.

Área de decisão: Processos.

Elemento-chave: Monitoramento, avaliação e controle; Sistema de medição de consumo de energia.

Descrição: Uma condição para a eficiência energética das empresas é que haja monitoramento da energia utilizada a fim de identificar os padrões de consumo do negócio, pois sem medidas detalhadas, os fluxos de energia permanecem invisíveis e acabam por não serem reconhecidos nem considerados importantes. Cagno *et al.* (2014) apoiam esta constatação, mostrando que a falta de consciência da energia é um dos principais obstáculos para práticas de eficiência no setor industrial.

Em uma perspectiva técnica, Richert (2017) relata que dados de energia podem ser obtidos com a ajuda de medições de energia de baixo para cima (*bottom-up*), que requerem a adoção de tecnologias de medição em tempo real, demonstrando o consumo de energia em diferentes escalas personalizadas para vários níveis de análise. Consequentemente, a geração de informações relacionadas à energia podem ser interpretadas e produzir ação. Richert (2017)

salienta a importância em definir o histórico de consumo para calcular futuras melhorias ambientais e financeiras.

Após a avaliação histórica, Salonitis (2015) reitera sobre a definição do alcance de medição e a identificação de fatores que influenciam o fluxo de energia, por exemplo, o comportamento humano ou questões técnicas, determinando quais áreas ou processos serão medidos. Com base no escopo definido, a instalação de equipamento de medição é necessária para recolher dados detalhados.

Para operacionalizar o monitoramento, hardwares de medição devem ser instalados no processo, permitindo por meio de um software capturar os dados e visualizar o nível de consumo de energia em cada ponto de medição. Para Bonfá *et al.* (2017), o produto final é a visualização em tempo real do estado atual da empresa em relação ao consumo de energia, que tende a aumentar a consciência energética e por sua vez criar chances de identificar potenciais de otimização.

Resultados esperados: Possibilidade de avaliar os custos relacionados, o seu impacto ambiental e opções de mitigação de riscos relacionados ao consumo de energia.

Ferramentas recomendadas: Cartas de controle por variáveis, hardware de medição que requeiram poucos recursos financeiros e não gerem paradas operacionais, medidores de potência e energia portáteis que possam ser instalados diretamente no local a ser monitorado, dispositivos de dados em tempo real que se comuniquem através de conectividade via internet.

Fonte: Bonfá *et al.* (2017), Salonitis (2015), Richert (2017), Cagno (2014), Schlechtendahl, Eberspaecher, Verl (2016), Ghadimi *et al.* (2015), Arteconi *et al.* (2016).

Diretriz 15: Avaliar o desempenho por meio de indicadores de eficiência energética adequados à operação.

Categoria: Operações.

Área de decisão: Desempenho.

Elemento-chave: Sistema de medição de consumo de energia; Fatores determinantes de sucesso.

Descrição: Um tema recorrente na gestão de energia é o controle de desempenho de energia,

que inclui os aspectos, tais como a definição e a utilização de indicadores de desempenho chave (*KPI*) relacionados a energia (ANDERSSON, ARFWIDSSON e THOLLANDER, 2018).

De acordo com Jovanović, Filipović, Bakić (2017), os indicadores de eficiência energética permitem o acompanhamento do desempenho e das metas relacionadas à energia, além do rastreamento de perdas e a realização de melhorias.

Bourne *et al.* (2005) salienta que o conteúdo do sistema de medição está relacionado ao que está sendo medido e como as medidas estão estruturadas, sendo que as medidas de desempenho podem ser divididas naquelas relacionadas aos resultados (competitividade, desempenho financeiro) e as relacionadas com os determinantes dos resultados (qualidade, flexibilidade, utilização de recursos e inovação).

Para o gerenciamento efetivo de energia, é necessário um sistema planejado e bem estruturado que possibilite a detecção e análises do consumo, sendo relevante identificar indicadores apropriados para cada aplicação, em cada unidade do processo (MKWANANZI *et al.*, 2019).

Bunse *et al.* (2011) relatam que não há um indicador exclusivo de eficiência energética aplicado em diferentes contextos, pois o desenvolvimento e aplicação de indicadores de eficiência energética dependem da finalidade para a qual serão aplicados. Velasco-Fernández *et al.* (2020) reitera que a complexidade do desempenho de um sistema de energia requer a combinação de uma variedade de indicadores, sendo que de acordo com May *et al.* (2016), estes devem possibilitar a visualização dos fatores causais e os impactos relacionados, de forma que as informações sirvam de apoio ao processo decisório.

May *et al.* (2016) reafirma a necessidade de indicadores chave de desempenho relacionados à energia que sejam personalizados, a fim de verificar fatores relacionados a energia específicos da empresa e de seu sistema de produção, além de proporcionar a identificação do comportamento do sistema de produção em relação à energia. Além disso, os *KPI's* têm o papel de reconhecer relações de causa-efeito e servir de subsídio para a preparação de ações de melhoria, possibilitando comunicar o estado atual de consumo de energia adequadamente às áreas inter e intra funcionais.

Desta forma, a implantação de um sistema de indicadores no gerenciamento de energia pode atuar na economia de recursos produtivos, elevando a eficiência da conversão e reduzindo as emissões de resíduos (LIU *et al.*, 2018).

Resultados esperados: Melhoria no desempenho das operações por meio da análise de indicadores que forneçam informações relevantes sobre o consumo de energia e apoiem o

desenvolvimento de políticas e a definição de prioridades, permitindo o monitoramento dos processos.

Ferramentas recomendadas: *BSC (Balanced Scorecard)*, *SMART (Strategic Measurement and Reporting Technique)*, *PMQ (Performance Measurement Questionnaire)*, *KPI's* adequados à resposta que se espera e às características do processo.

Fonte: Liu *et al.* (2018), Jovanović, Filipović, Bakić (2017), May *et al.* (2016), Velasco-Fernández *et al.* (2020), Bunse *et al.* (2016), Mkwanzani *et al.* (2019), Bourne *et al.* (2005), Andersson, Arfwidsson e Thollander (2018).

4.1.4.7 Considerações sobre as Diretrizes propostas

Conforme descrito por Deschamps (2013), estabelecer diretrizes envolve um esforço de sistematização, coleta, organização e análise de informações sobre um objeto de estudo de forma racional, de modo que padrões possam ser identificados. No contexto desta pesquisa, as diretrizes foram apresentadas como princípios de eficiência energética recomendados, o que é desejável para a implementação de estratégias relacionadas à energia.

Neste sentido, a apresentação deste conjunto de diretrizes é um esforço para sistematizar o conhecimento sobre estratégias para eficiência energética em manufatura, sendo que o relato das diretrizes pretende atender tanto as necessidades de pesquisadores quanto da indústria, auxiliando nas etapas de planejamento e execução de estratégias em EE.

4.2 REFINAMENTO DO MODELO INICIAL DAS DIRETRIZES

Na seção anterior foram derivadas da literatura por uma revisão sistemática apoiada pela utilização da técnica de análise de conteúdo um conjunto de diretrizes (princípios orientadores) para a modelos estratégicos em eficiência energética. No entanto, o conjunto de diretrizes precisa ser refinado por meio de uma abordagem empírica para verificar a relevância das diretrizes e sua abrangência. Neste caso, a abordagem empírica foi baseada em opiniões de especialistas sobre as diretrizes.

Nesta seção é apresentada a fase de refinamento da pesquisa. Esta etapa teve como objetivo avaliar as diretrizes propostas visando identificar oportunidades de melhoria.

Para o refinamento foi realizado um grupo focal com especialistas. A ideia principal da realização de uma pesquisa com especialistas era que sua experiência prática permitiria coletar dados empíricos, o que levaria a enriquecer o modelo, uma vez que as diretrizes originais foram derivadas da literatura e precisavam ser vistas por meio de uma perspectiva prática.

Para realizar o refinamento das diretrizes propostas, foram convidados, por meio de uma carta de apresentação por e-mail, 15 especialistas da área de eficiência energética, sendo que quatro (4) aceitaram participar, cinco (5) não responderam ao convite e seis (6) não possuíam disponibilidade em relação às datas sugeridas.

O estudo consistiu-se em duas rodadas de refinamento: a rodada de análises individuais com quatro (4) especialistas e uma rodada em grupo com a participação de três (3) desses especialistas.

Com a finalidade de gerar um conjunto refinado robusto de diretrizes, um procedimento estruturado foi projetado e implementado para coletar, analisar e sintetizar dados de uma avaliação qualitativa realizada pelos especialistas.

Para que as diretrizes fossem robustas e, portanto, cumprissem satisfatoriamente o propósito do estudo, duas características eram necessárias: 1) uma seleção adequada de especialistas experientes; e 2) um procedimento definido para coletar, analisar e sintetizar dados da consulta aos especialistas. Na seção seguinte são apresentadas as características dos especialistas participantes da pesquisa.

4.2.1 Caracterização dos especialistas consultados

Os especialistas foram caracterizados de acordo com sua experiência. Esta foi realizada por meio da verificação de sua *expertise*, que incluiu seu tempo de experiência, bem como o escopo de sua especialização.

Na caracterização também se observou o tipo de atuação em que os especialistas têm participado em relação a eficiência energética, que foi: como praticante (atuação na indústria), consultor/analista e/ou na academia/pesquisa.

A caracterização dos quatro (4) especialistas participantes são apresentadas na Quadro 5, que retrata que a seleção de especialistas levou em consideração um balanceamento das qualidades e das experiências. Ou seja, um conjunto equilibrado de especialistas (no que diz respeito à sua atuação profissional) era desejado, a fim de verificar as diretrizes por meio de uma variedade de percepções.

Quadro 5 - Caracterização dos especialistas participantes da pesquisa.

Especialista	Caracterização	Praticante (P) / Consultor(C) / Pesquisador (A)
#E1	Consultor técnico de Empresa Estatal de Pesquisa Energética, mestre em planejamento energético, com 15 anos de experiência na área. Realiza estudos e pesquisas no setor energético brasileiro subsidiando o MME em seu planejamento e políticas públicas. Coordena grupo de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica e eficiência energética.	C
#E2	Analista de Pesquisa Energética com mais de 10 anos de experiência na área. Mestrado em Planejamento Energético. Desenvolve estudos em entidade governamental de demanda de energia e eficiência energética, incluindo análises de indicadores, modelagem de demanda para cenários de médio e longo prazo (PDE e PNE), oportunidades de eficiência energética, avaliação e proposição de políticas públicas, com foco no setor industrial. Trabalhou na adaptação da Calculadora 2050, considerando a matriz energética e desafios nacionais. Participa de estudos de resposta da demanda, potencial de demanda de gás natural com o Novo Mercado de Gás, precificação de carbono e da elaboração do Balanço de Energia Útil.	C/A
#E3	Engenheiro Eletricista com mais de 10 anos de experiência na indústria. Atua como Supervisor de Excelência Energética em planta frigorífica.	P
#E4	Doutor em Engenharia Elétrica. Experiência profissional com ênfase em Eletrônica de Potência e pesquisa nos temas: Sistemas de fornecimento ininterrupto de energia, retificadores, inversores e conversores estáticos de potência funcionando a partir de fontes alternativas de energia. Coordena curso de pós graduação em Eficiência Energética.	A

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Após a seleção dos especialistas, eles foram convidados a participar de um grupo focal para que em consenso, pudessem deliberar sobre as diretrizes e o *framework* apresentado. A seguir são apresentados os procedimentos para condução do refinamento empírico do estudo.

4.2.2 Procedimento para coleta, análise e síntese de dados da consulta aos especialistas

Como dito anteriormente, o estudo foi realizado em duas rodadas de consultas com especialistas. Primeiramente, foi enviado um protocolo de pesquisa contendo as diretrizes e a arquitetura para cada um dos especialistas que aceitaram participar da pesquisa, com a finalidade que fizessem apontamentos de forma individual acerca das diretrizes e do *framework*, a fim de evitar possível viés pela opinião dos demais participantes. Os convidados avaliaram o documento e encaminharam suas análises previamente a data marcada para a segunda rodada, ou seja, o grupo focal. Na rodada em grupo foi realizado o refinamento final ou confirmação das diretrizes, no formato de um fórum de decisão, onde três dos quatro especialistas debateram e chegaram a um acordo sobre a versão final das diretrizes (o especialista 4 teve um impedimento na data agendada para o grupo focal e não participou do encontro).

O procedimento de grupo focal compreendeu três etapas: contextualização, análise de diretrizes e da sua completude e parecer conjunto pelos especialistas.

A primeira etapa da reunião foi para contextualização, que funcionou como ponto de entrada para o debate sobre as diretrizes, onde foi apresentado o objetivo da pesquisa, a forma como as diretrizes foram elaboradas e a lógica de escolha das categorias, áreas de decisão e elementos chaves da arquitetura.

A análise das diretrizes e do *framework* foram o cerne de todo o estudo. A lógica era que, para cada diretriz, os especialistas colocassem seu ponto de vista (cujos apontamentos prévios já tinham sido feitos no documento enviado) e após, entrassem em acordo sobre a concordância ou não da diretriz, o que poderia levar a uma alteração na redação dela. O modelo para análise e parecer pelos especialistas para cada diretriz (de forma individual previamente e posteriormente em consenso no grupo focal) é mostrado no Quadro 6.

Quadro 6 - Modelo de análise e parecer para cada diretriz

Você concorda com a diretriz?	
SIM ()	NÃO ()
A diretriz está completa ou deve ser abordada como parte de outra diretriz? R:	A diretriz deve ser eliminada ou ter seu foco alterado? Por quê? R:
No caso de unir diretrizes, como deveria ser a redação? R:	No caso de alteração do foco, como deveria ser a redação? R:
No caso da diretriz estar completa, a redação está apropriada ou precisa de refinamento? Por quê? Qual a sua sugestão? R:	
Parecer sobre a diretriz: <input type="checkbox"/> Sem mudança <input type="checkbox"/> Refinamento semântico ou sintático <input type="checkbox"/> Mudança no foco da diretriz <input type="checkbox"/> Eliminação da diretriz	

Fonte: Adaptado de Silveira (2014).

Como resultado, a natureza do refinamento gerado pelos especialistas em relação a cada diretriz seria uma das seguintes: Sem mudança; Refinamento semântico ou sintático; Mudança no foco da diretriz; ou Eliminação da diretriz.

Em relação ao *framework*, foram colocados os seguintes questionamentos:

- Na sua percepção, falta algum elemento ao modelo?
- As conexões apresentadas no modelo são coerentes? Caso verifique discrepância em alguma relação, relate onde está o conflito e qual a sua sugestão para adequação.
- Quais as recomendações para o modelo ser concluído?

Os resultados da avaliação individual dos especialistas estão apresentados no Quadro 7, onde é possível perceber que além dos quesitos sugeridos para análise, os especialistas de modo geral sugeriram ferramentas e fontes de pesquisa que foram inseridas na análise:

Quadro 7 - Avaliação qualitativa da convergência dos refinamentos das diretrizes

Diretriz/Especialista	#E1	#E2	#E3	#E4
#Diretriz 1	C	C	C	S
#Diretriz 2	B	F	N	N
#Diretriz 3	N	F	N	N
#Diretriz 4	F	N	F	N
#Diretriz 5	B	N	F	F
#Diretriz 6	F	B	N	N
#Diretriz 7	N	N	N	N
#Diretriz 8	B	N	N	N
#Diretriz 9	B	N	F	F
#Diretriz 10	N	N	N	N
#Diretriz 11	F	N	N	N
#Diretriz 12	N	C	S	F
#Diretriz 13	F	F	N	N
#Diretriz 14	N	N	F	N
#Diretriz 15	N	N	N	N
Legenda:				
N	Nenhuma mudança			
S	Refinamento na semântica e sintaxe			
C	Mudança no foco da diretriz			
F	Sugestão de adição ou retirada de ferramenta			
B	Sugestão de adição de fonte.			
E	Eliminação da diretriz			

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

As células da tabela com áreas brancas indicam diretrizes que chegaram a um maior grau de concordância entre os especialistas consultados, visto que a legenda “N” indica que o especialista concordou com a versão original da diretriz.

Em segundo lugar, as linhas da tabela com área azul também representam um grau de concordância, sendo que as legendas "S" representarem uma pequena mudança na semântica ou sintaxe da diretriz, o que significa que o foco central da diretriz original permaneceu muito semelhante. Os refinamentos nesses casos foram mais de natureza ortográfica.

Em terceiro lugar, as áreas da tabela em cinza e legenda “C” indicam diretrizes que chegaram a um certo grau de desacordo dos especialistas em relação ao enfoque original da diretriz. Os refinamentos nesses casos foram relacionados ao conceito abordado na diretriz. Nestes casos, o objetivo era enfatizar um lado diferente do conceito de diretriz que não foi diretamente abordado na redação.

As cores rosa com legenda “F” e verde com legenda “B” da tabela indicam que os especialistas concordam com o texto original da diretriz, sugerindo apenas a adição de algumas ferramentas e/ou fonte de pesquisa para enriquecer ainda mais o contexto da diretriz.

É possível notar que a opção de legenda “E” em cinza escuro que remetia a eliminação da diretriz não foi sugerida por nenhum dos especialistas consultados.

4.2.3 Mudanças derivadas do refinamento

Os resultados das análises individuais e posteriormente em grupo, convergem para dois pontos de atenção. O primeiro em relação a #Diretriz 1, onde 75% dos especialistas sugerem mudança no foco, propondo substituir o termo da descrição “incentivos fiscais” por “incentivos financeiros”, haja vista que ações governamentais em relação a impostos seriam difíceis de serem efetivadas, havendo fontes diversas de recursos (foram citadas fontes de recursos provenientes na ANEEL e linhas de financiamento), não restringindo essa diretriz somente a questão fiscal, mas o acesso a outras fontes de recursos.

O #E4 (que não participou do grupo focal) sugere alteração em relação a semântica, sugerindo a adequação do título da #D1 para “Modernizar a indústria por meio de incentivos fiscais, **implementando de forma continuada soluções tecnológicas**” (grifo nosso). A discussão permitiu verificar que a melhor forma de apresentação da diretriz é “Modernizar a indústria por meio de incentivos financeiros para o incremento de forma continuada de soluções tecnológicas”, permitindo ampliar o leque de possibilidades para a atualização de tecnologia nas indústrias que favoreçam a eficiência energética.

Outro ponto de atenção é em relação a #Diretriz 12, onde o #E2 sugere mudança de foco, justificando que nem todas as indústrias têm potencial térmico para cogeração, sugerindo incluir, além da cogeração, a autoprodução de energia como uma alternativa em que a indústria gere e consuma sua própria energia, podendo ser viabilizada a partir de qualquer fonte de energia (com vantagens para fontes renováveis, como eólica ou solar). Outra sugestão do #E2 é o aproveitamento de calor residual dos processos, convertendo-o em energia útil, tendo essa ação um importante potencial para a eficiência energética.

O #E3 sugere mudança semântica, alterando o título da diretriz para “Potencializar o uso e a produção interna de energia a partir de fontes energéticas eficientes”, pois dessa forma, a diretriz não estaria restrita somente à cogeração, mas a diversas possibilidades viáveis relativas às diferentes demandas energéticas das indústrias. A alteração do título da #D12 foi aceita pelos demais participantes do grupo focal.

Em relação às demais diretrizes, os especialistas concordam em manter o foco, sendo sugerido em algumas delas a inserção ou retirada de ferramentas inicialmente propostas e a inserção de fontes de pesquisa específicas como relatórios do PDE 2030 (2021) e o *Roadmap*

de Ações de Eficiência Energética do Ministério de Minas e Energia (2020). As recomendações provenientes do refinamento foram organizadas no Quadro 8:

Quadro 8 - Sugestões dos especialistas em relação as diretrizes

Diretriz	Sugestão
#D1	(F) Adicionar: “contabilização da eficiência contra uma linha de base para que os ganhos sejam somáveis”. (C) A substituição de equipamentos é válida. É possível através de bônus para a realizar a troca de equipamentos específicos, como foi feito numa chamada prioritária do PEE da ANEEL. É uma boa prática associar à destinação correta do equipamento antigo, e maximiza os ganhos ao atrelar a contrapartidas como fornecimento de dados, monitoramento e auditoria energética (o equipamento pode estar mal dimensionado). Comprovar melhorias dos índices de EE para ganhar incentivos tributários. Não é específico para a troca de equipamentos e sim para a performance como um todo. (F) É preciso definir indicadores para monitoramento (melhora em relação ao histórico) ou se basear em um <i>benchmarking</i> (atingir determinado indicador) - não é simples quando a empresa produz vários produtos”. (C) Substituir o termo “recursos fiscais” por “incentivos financeiros”.
#D2	(B) MME/EPE. <i>Roadmap</i> de ações de eficiência energética: Propostas de Medidas no Setor Industrial Brasileiro (2020). (F) Adicionar: Índices mínimos.
#D3	(F) Adicionar: Incentivos financeiros e profissionais (indicadores atrelados ao bônus e promoção).
#D4	(F) Adicionar: <i>Workshops</i> anuais nas plantas industriais relativos à eficiência industrial (F) Adicionar: Capacitação e treinamento.
#D5	(B) MME/EPE. Plano Decenal de Expansão de Energia 2029 (2019). (F) Adicionar: Revisão de processos/procedimentos e identificação de oportunidades. (F) Adicionar: Identificar processos e cargas consumidoras estabelecendo o potencial de economia de energia.
#D6	(F) Adicionar: <i>Benchmarking</i> . (B) MME/EPE. Plano Decenal de Expansão de Energia 2029 (2019).
#D7	(N)
#D8	(B) MME/EPE. <i>Roadmap</i> de ações de eficiência energética: Propostas de Medidas no Setor Industrial Brasileiro (2020).
#D9	(B) MME/EPE. Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (2021). (F) Acrescentar: Capacitação e treinamento.
#D10	(N)
#D11	(F) Adicionar: Uso de energia térmica excedente para autoprodução de eletricidade.
#D12	(C) Nem sempre a cogeração é o melhor caminho, pensando no custo benefício. Depende da demanda térmica da indústria e da disponibilidade de combustível. Mas em muitos casos é válido. Interessante adicionar aproveitamento de calor residual dos processos e autoprodução de energia. (S) “Potencializar o uso e a produção interna de energia a partir de fontes energéticas eficientes”.

	(F) Adicionar: Redução do consumo de energia através da utilização de outras fontes viáveis de energia.
#D13	(F) Adicionar: Medida das emissões de poluentes locais e globais. (F) Retirar: Subsídios financeiros governamentais. (F) Adicionar: Norma ISO 14001.
#D14	(A) Relacionar a tecnologia.
#D15	(N)
Legenda: N: Nenhuma mudança S: Refinamento na semântica e sintaxe C: Mudança no foco da diretriz F: Sugestão de adição ou retirada de ferramenta B: Sugestão de adição de fonte. A: Adicionar relação com área de decisão	

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Os dados apresentados no Quadro 8 permitem obter uma visão geral da direção tomada pelos especialistas no estudo de refinamento, onde nota-se que o refinamento das diretrizes obteve em sua maioria, convergência nas avaliações.

Desta forma, os aspectos centrais originais e refinados das diretrizes podem ser observados o Quadro 9, sendo que pelas diferenças presente na redação do aspecto central, é possível ter uma visão geral rápida da direção tomada pelos especialistas no estudo de refinamento.

Quadro 9 - Aspectos centrais originais e refinados das diretrizes.

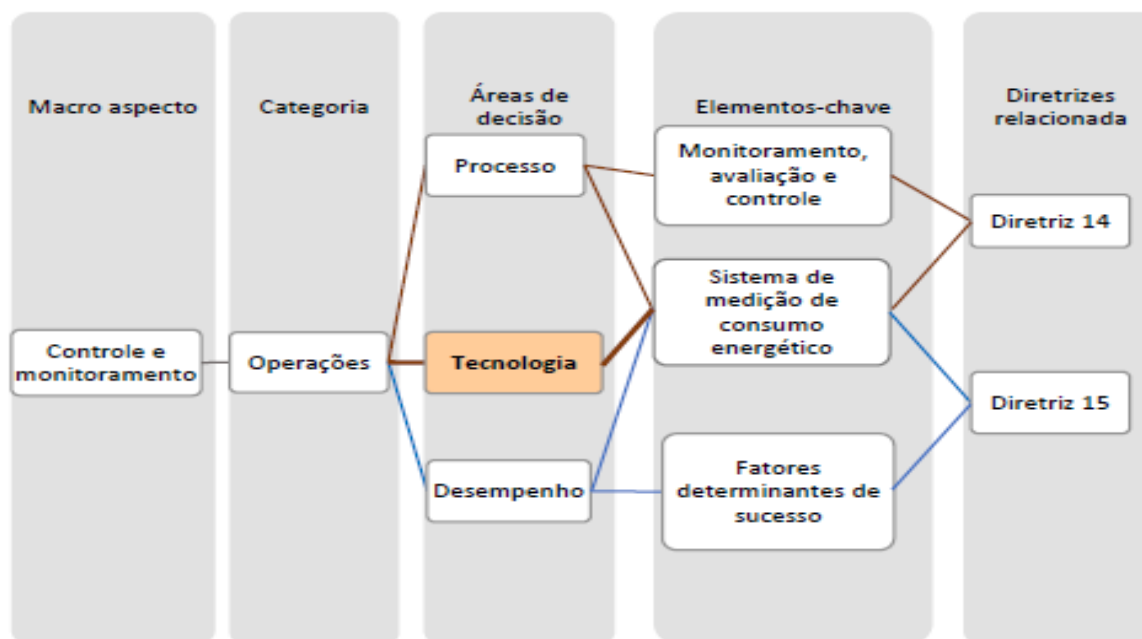
Diretriz	Aspecto central original	Aspecto central refinado
#D1	Incentivos fiscais para troca de equipamentos.	Incentivos financeiros para modernização da indústria.
#D2	Implementação de estratégias e políticas energéticas para a indústria.	Sem alteração do aspecto original.
#D3	Desenvolvimento de equipe para a gestão de energia.	Sem alteração do aspecto original.
#D4	Cultura organizacional de comprometimento em conservação de energia.	Sem alteração do aspecto original.
#D5	Realização de auditorias energéticas.	Sem alteração do aspecto original.
#D6	Metas de conservação de energia.	Sem alteração do aspecto original.
#D7	Adoção das normas ISO 50001:2018	Sem alteração do aspecto original.
#D8	Integração de sistemas de gestão, controle e automação de energia.	Sem alteração do aspecto original.
#D9	Adoção e práticas de eficiência energética na indústria.	Sem alteração do aspecto original.
#D10	Otimização de rendimento de processos.	Sem alteração do aspecto original.

#D11	Melhoria do desempenho das instalações.	Sem alteração do aspecto original.
#D12	Produção interna de energia por cogeração.	Otimização do uso da energia e produção interna de energia por fontes eficientes.
#D13	Estratégias de mitigação de emissões.	Sem alteração do aspecto original.
#D14	Monitoramento energético em tempo real.	Sem alteração do aspecto original.
#D15	Avaliação de desempenho por indicadores de EE.	Sem alteração do aspecto original.

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Em relação ao *framework* proposto, os especialistas entendem que não faltam elementos ao modelo, sendo as conexões apresentadas no *framework* coerentes, sendo proposta apenas a adição da área de decisão “tecnologia” à #D14, cuja a alteração pode ser observada no recorte da arquitetura apresentado na Figura 18:

Figura 18 - Refinamento de alinhamento da #D14



Fonte: Autoria Própria (2021).

Após o consenso dos especialistas, como resultado, foi gerada a versão final do *framework* e das diretrizes propostas.

4.2.4 Versão aprimorada das diretrizes e do *framework*

A versão refinada levou a algumas mudanças nas diretrizes propostas inicialmente, porém os pressupostos e implicações das diretrizes permaneceram praticamente os mesmos e não serão replicadas aqui, exceto para caso de novas orientações. Os pontos que apresentaram mudanças nas diretrizes são apresentados a seguir em negrito.

Diretriz 1: Modernizar a indústria por meio de incentivos financeiros para o incremento de forma continuada de soluções tecnológicas

Resultados esperados: Incremento da eficiência energética por meio de incentivos **financeiros** que favoreçam a modernização da indústria.

Ferramentas recomendadas: Políticas governamentais de incentivo **financeiro** às empresas que comprovarem melhoria nos índices de EE e maior acesso a linhas de financiamento disponíveis para programas de eficiência energética, executados pelos próprios consumidores ou por ESCO's (*Energy Services Company*), além de financiamento de projetos de P&D voltados para novos equipamentos ou processos que possibilitem ganhos de eficiência energética e **contabilização da eficiência contra uma linha de base para que os ganhos sejam somáveis, por meio benchmarking e definição de indicadores para monitoramento e adequação do dimensionamento do sistema. Utilização de bônus para a realizar a troca de equipamentos específicos (chamada prioritária do PEE da ANEEL).**

#Diretriz 2: Desenvolver e implementar um plano estratégico de longo prazo que inclua políticas relevantes para o uso de energia.

Ferramentas recomendadas: Sistema de gestão de energia para padronização de procedimentos e políticas, além do uso de algoritmos, modelagem, técnicas estatísticas, *KPI's*, **índices mínimos**, simulação e benchmarking para auxiliar a tomada de decisões estratégicas voltadas à eficiência energética e gestão da demanda de energia.

Fonte: Sola e Mota (2019), ABNT (2018), Schulze *et al.* (2016), May *et al.* (2016), Rudberg *et al.* (2013), Ates e Durakbasa (2012), Abdelaziz *et al.* (2011), Thollander e Ottosson (2010), Vasudevan e Higgins (2004), **MME/EPE (2020).**

#Diretriz 3: Compor equipe responsável pela gestão de energia.

Ferramentas recomendadas: Desenvolvimento de equipes gerenciais e técnicas por meio de treinamentos focados às necessidades de cada função na área de gestão de energia e engajamento da equipe por meio de incentivos financeiros e profissionais (**indicadores atrelados ao bônus e promoção**).

Diretriz 4: Desenvolver uma cultura organizacional de comprometimento em medidas de conservação de energia na indústria.

Ferramentas recomendadas: Canais de comunicação assertivos que fomentem o diálogo entre a equipe, incentivo ao trabalho contínuo de redução de energia, medição das relações de engajamento ativo, passivo, inexistente e condicional dos colaboradores para eficiência energética pelo modelo de Isaksson, Hiller, Lane (2019), **workshops anuais nas plantas industriais relativos à eficiência industrial além de capacitação e treinamento**.

Diretriz 5: Realizar auditorias energéticas para identificar processos chaves em consumo e o potencial de economia de energia.

Ferramentas recomendadas: *Check list, Mark IV Plus* (pacote de programas computacionais disponibilizado pela Eletrobrás como ferramenta para a execução de auditorias e análises de desempenho de sistemas energéticos), **identificação de processos e cargas consumidoras estabelecendo o potencial de economia de energia**, utilização de instrumentos de medida: termômetros digital com vários tipos de ponta sensora, analisadores de gases de chaminé (por absorção química ou eletrônicos), medidores de velocidade de ar/líquidos (anemômetros ou tubos de *Pitot*), psicrômetros, tacômetros, luxímetros e amperímetros de alicate, **além de revisão de processos/procedimentos e identificação de oportunidades**.

Fonte: Schulze, Ottosson e Thollander (2015), Abdelaziz *et al.* (2011), Fresner *et al.* (2017), Nogueira (1990), Fenerich, Costa e Lima (2013), Malinauskaite *et al.* (2019), **MME/EPE (2019)**.

Diretriz 6: Estabelecer metas de conservação de energia em instalações industriais.

Ferramentas recomendadas: Análise Envoltória de Dados (*DEA*) (ZHOU *et al.*, 2019), modelo de Análise do Índice de Decomposição (*IDA*) de Ang *et al.* (2010), Análise de Fronteira Estocástica (*SFA*) (WANG *et al.*, 2016; ZHOU *et al.*, 2012), estabelecimento de metas de abrangência tanto organizacionais quanto individuais de conservação de energia e *benchmarking*.

Fonte: Zhou *et al.* (2019); Richert (2017); Wang *et al.* (2016); Zhou *et al.* (2012) Ang *et al.* (2010); Drack *et al.* (2006), Salonitis (2015), Mahapatra, *et al.* (2017), Rietbergen e Blok (2010), Martins (2016), **MME/EPE (2019).**

Diretriz 7: Adotar normas ISO 50001:2018 de gestão otimizada de energia.

Nenhuma mudança.

Diretriz 8: Conjugar o sistema de gestão de energia a sistemas de controle e automação

Fonte: Sola e Mota (2019), Balanço Energético Nacional (2019), PROCEL (2019), Soares (2015), Maulinauskaute *et al.* (2019), Hu *et al.* (2012), Ren e Zhang (2010), May *et al.* (2016), **MME/EPE (2020).**

Diretriz 9: Aplicar práticas que proporcionem melhoria da eficiência energética nas indústrias.

Ferramentas recomendadas: *Benchmarking*, *KPI's* relacionados a consumo de energia, custo de energia e eficiência energética; *IoT* aliada a processamento de eventos complexos (Wang *et al.*, 2017); agendamento de processos de acordo com os períodos de menor custo da energia; realização de diagnósticos energéticos e divulgação pelos órgãos competentes de informações sobre as melhores práticas para indústrias; oferecer cursos e treinamentos aos colaboradores que possibilitem economia de energia, podendo estar relacionados a fatores como iluminação, motores, bombas, ventiladores, aquecimento direto, vapor de processo e ar comprimido, **além de capacitação e treinamento.**

Fonte: Wang *et al.* (2017); Bonfá *et al.* (2018); Lee *et al.* (2017); Ding *et al.* (2015), Sola e Mota (2019), Thompson (2014), MME/EPE (2021).

#**Diretriz 10:** Otimizar o rendimento dos processos e diminuir custos com energia.

Nenhuma mudança.

Diretriz 11: Melhorar o desempenho energético das instalações industriais.

Ferramentas recomendadas: Sistema de armazenamento de energia térmica, recuperação do excedente de eletricidade fotovoltaica, softwares de modelagem e simulação de energia, edifícios de alto desempenho e **uso de energia térmica excedente para autoprodução de**

eletricidade.

#Diretriz 12: Potencializar o uso e a produção interna de energia a partir de fontes energéticas eficientes

Descrição: De acordo com o PROCEL (2019), no Brasil, a medida em que são reduzidos os potenciais hidroelétricos, surge a tendência em diversificar sua matriz para aumentar a oferta de energia e garantir o suprimento da demanda crescente, sendo que entre as alternativas para o equacionamento deste problema, está o uso do gás natural e a biomassa. Para a melhor escolha entre os processos em separado ou a cogeração, torna-se necessária uma análise mais aprofundada do empreendimento, considerando também seus aspectos técnicos e econômicos (YIN *et al.*, 2019).

A cogeração é o processo que permite, a partir de um único combustível, a produção simultânea de calor e de energia elétrica. De acordo com Feng *et al.* (2016), as fábricas tendem a ter os seus próprios sistemas de conversão e transmissão de energia para suprir a demanda de energia nas linhas de produção. O autor enfatiza que se deve atentar para fatores relacionados a como operar sistemas de conversão e transmissão de energia no local e como alcançar os melhores resultados em termos de energia, custo e emissões, sendo este, um modelo de produção e distribuição energética eficiente para consumo interno ou de terceiros.

Para um processo industrial, na condição em que há demanda simultânea das utilidades de energia térmica e eletromecânica, a aplicação da cogeração se apresenta como provável alternativa, com a vantagem do uso racional de combustível. Para Feng *et al.* (2016), o calor e energia combinados em um sistema de cogeração, melhoram a eficiência energética ao longo dos sistemas em média em 70%, sendo que a cogeração pode usar diferentes fontes de energia. Desta forma, a expansão dos sistemas de cogeração tende a aumentar o rendimento dos processos e diminuir os custos financeiros.

Outra alternativa de potencialização interna da energia é o processo de recuperação de calor, que passa pelo aproveitamento de calor normalmente desperdiçado para o meio ambiente, convertendo-o em energia útil. Esta alternativa deve determinar os melhores meios para aproveitamento do calor, sem prejudicar o funcionamento e a eficiência das unidades produtivas. A recuperação de energia a partir de processos de produção representa uma oportunidade única para reduzir o consumo de energia, e as soluções são muitas vezes transversais entre setores. Apesar dos significativos benefícios econômicos, ambientais e energéticos de recuperação de

calor, sua implementação depende principalmente da economia e dos riscos técnicos envolvidos (FENG *et al.*, 2016; GHADIMI *et al.*, 2015; TAN e YAVUZ, 2015; XING *et al.*, 2019).

Já a autoprodução é uma alternativa em que o consumidor gera e consome sua própria energia, podendo substituir parte de sua demanda ou supri-la totalmente. A prática da autoprodução é comum entre indústrias eletrointensivas, que são mais sensíveis ao insumo energia elétrica. Essas indústrias investem na produção de energia elétrica, assumindo diversos riscos desconhecidos por um consumidor convencional, com o propósito de garantir a competitividade da atividade industrial por meio de proteção ao risco de preço e garantia de suprimento energético. Adicionalmente, a autoprodução agrega valor estratégico ao produto industrial, ampliando o domínio da indústria sobre o insumo energético (eficiência) e permitindo à empresa seguir uma política interna própria de produção/consumo de energia (WANG, LIN, 2017; STIPHOUT, DE VOS, DECONINCK, 2016).

Desta forma, para aumentar a produtividade industrial sem aumentar o consumo de energia e analisando as práticas voltadas para o uso consciente e eficiente de energia, percebe-se a importância do investimento em fontes alternativas de energia para a competitividade do setor.

Ferramentas recomendadas: Redução do consumo de energia através da utilização de outras fontes viáveis de energia, podendo recorrer a tecnologias de armazenamento e recuperação de calor para equilibrar o consumo de energia, como turbinas a gás, turbinas a vapor, motores de combustão interna, ciclo combinado (aproveitamento da rejeição térmica de um ciclo primário de geração eletromecânica numa segunda máquina térmica), microssistemas de cogeração (aplicações em pequeno porte), microturbinas (podem operar com combustíveis gasosos - gás natural, biogás ou propano, ou com alguns combustíveis líquidos leves, porém com níveis de emissões mais elevados), células a combustível (dispositivo eletroquímico capaz de converter diretamente a energia do combustível em eletricidade), aproveitamento de calor residual de processos, autoprodução de energia (dos mais diversos tipos como por exemplo, utilizando energia fotovoltaica e eólica), modelagem e simulação para avaliar a forma os sistemas de recuperação de calor.

Diretriz 13: Escolher estratégias eficientes de mitigação de emissões industriais para o desenvolvimento sustentável.

Ferramentas recomendadas: Implementação de medidas de redução de emissões e economia de energia, políticas direcionadas a inovações tecnológicas nos processos, por meio de atualizações e transferência de tecnologia, ~~subsídios financeiros governamentais~~, medidas de eco-compensação, **medidas de poluentes locais e globais e implementação da norma ISO 14001**. Além disso, Li *et al.* (2016) e Zhang e Lahr (2014) sugerem modelos de entrada-saída, de análise de decomposição e de análise econômica para avaliação de cenários.

Diretriz 14: Monitorar fluxos de energia por medições em tempo real

Área de decisão: Processos e tecnologia.

Diretriz 15: Avaliar o desempenho por meio de indicadores de eficiência energética adequados à operação.

Nenhuma mudança.

Sendo assim, tem-se no Quadro 12 o resumo da versão refinada das diretrizes de acordo com os aspectos macro definidos.

Quadro 12 - Versão refinada das diretrizes

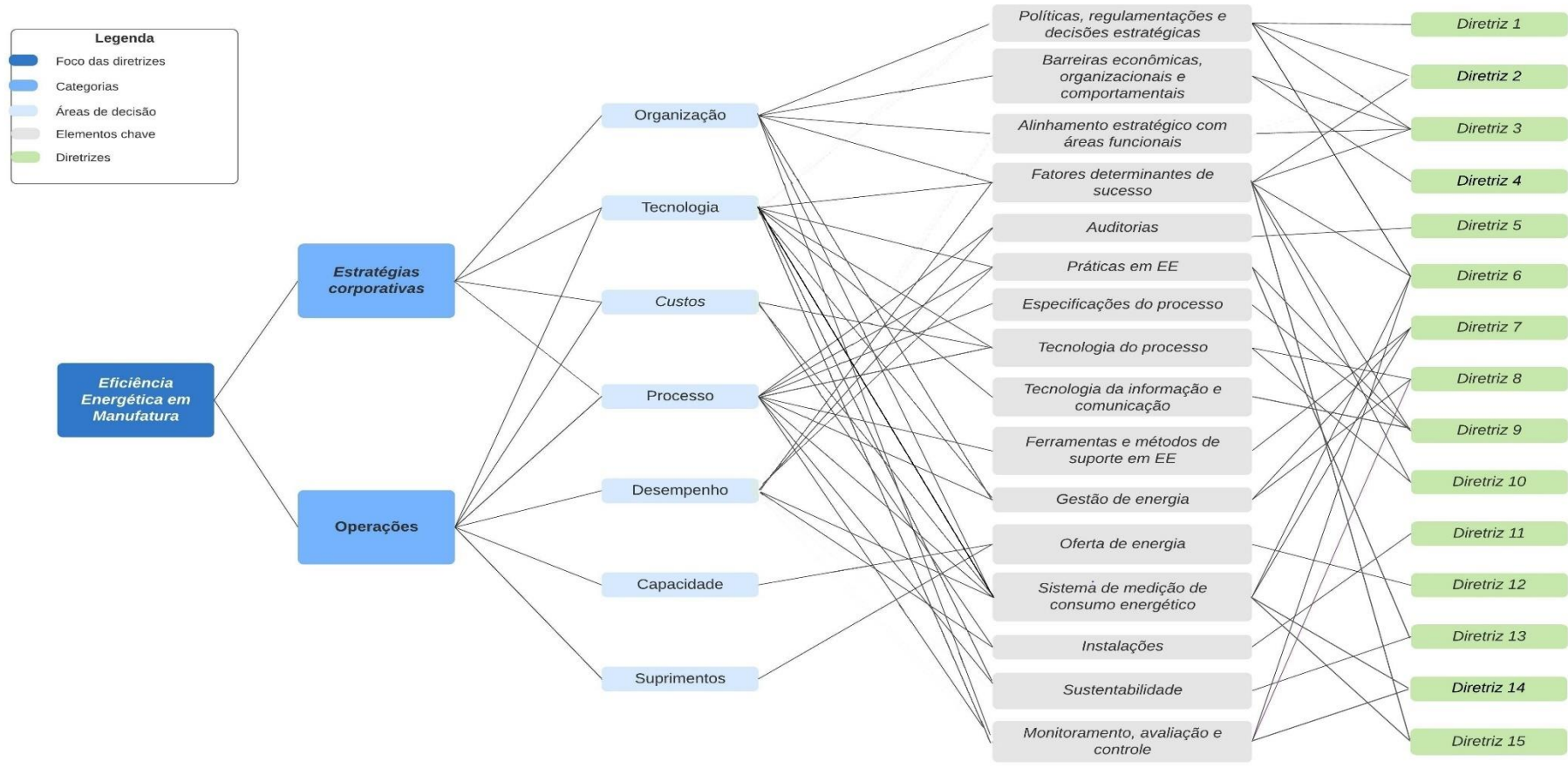
Decisões estratégicas para a gestão de energia
#D1: Modernizar a indústria por meio de incentivos financeiros para o incremento de forma continuada de soluções tecnológicas.
#D2: Desenvolver e implementar um plano estratégico de longo prazo que inclua políticas relevantes para o uso de energia.
Estabelecimento de equipe responsável pela gestão de energia
#D3: Compor equipe responsável pela gestão de energia.
#D4: Desenvolver uma cultura organizacional de comprometimento em medidas de conservação de energia na indústria.
Determinação do estado atual relacionado a energia
#D5: Realizar auditorias energéticas para identificar processos chaves em consumo e o potencial de economia de energia.
Desenvolvimento da estratégia e definição de metas
#D6: Estabelecer metas de conservação de energia em instalações industriais.
Operacionalização de estratégias e práticas em EE
#D7: Adotar normas ISO 50001:2018 de gestão otimizada de energia.
#D8: Conjuguar o sistema de gestão de energia a sistemas de controle e automação.
#D9: Aplicar práticas que proporcionem melhoria da eficiência energética nas indústrias.
#D10: Otimizar o rendimento dos processos e diminuir custos com energia.
#D11: Melhorar o desempenho energético das instalações industriais.
#D12: Potencializar o uso e a produção interna de energia a partir de fontes energéticas eficientes.
#D13: Escolher estratégias eficientes de mitigação de emissões industriais para o desenvolvimento sustentável.

Controle e monitoramento
#D14: Monitorar fluxos de energia por medições em tempo real.
#D15: Avaliar o desempenho por meio de indicadores de eficiência energética adequados à operação.

Fonte: Autoria própria (2021).

Além do desenvolvimento de um modelo declarativo, um esforço de sistematização requer uma organização de como as diretrizes se relacionam aos aspectos avaliados. Desta forma, mediante a consulta aos especialistas, tem-se que o *framework* das diretrizes apresentada atende à proposta, devendo ser incluída apenas a ligação da área de decisão “tecnologia” à Diretriz 14 como citado anteriormente. Desta forma, a arquitetura refinada é apresentada na Figura 19:

Figura 19 - *Framework* refinado das diretrizes.



Fonte: Autoria própria (2021).

4.2.5 Considerações sobre o refinamento das diretrizes e do *framework*

Como visto, as diretrizes apresentadas nesse estudo foram desenvolvidas por meio de uma revisão sistemática da literatura e aplicação da técnica de análise de conteúdo, sendo que estas foram refinadas e avaliadas através da concepção e condução de um estudo estruturado de refinamento de diretrizes por meio de grupo focal com especialistas na área.

O refinamento das diretrizes e do *framework* apresenta contribuições que permitem analisar a opinião de atores da indústria, de entidades governamentais de fomento a eficiência energética e pesquisadores em relação a pesquisa, sugerindo que os resultados das diretrizes possuem relevância para a para a indústria e academia, visto o alto grau de concordância no grupo focal.

A principal dificuldade encontrada foi relacionada a disponibilidade da participação de especialistas da área no encontro do grupo, fato esse que refletiu na baixa taxa de participantes. Desta forma, a principal ameaça à avaliação está relacionada a um possível viés de confirmação por parte dos especialistas, entretanto, acredita-se que essa ameaça foi mitigada uma vez que as áreas de atuação/pesquisa dos participantes eram heterogêneas, além do fato destes terem avaliado a proposta inicialmente de forma individual, para que só em um segundo momento, ou seja, durante a realização do grupo focal, pudessem expor suas ideias a respeito e em conjunto deliberassem sobre cada diretriz.

Assim, os resultados convergem para diretrizes estratégicas de eficiência energética que apresentam uma abordagem teórica lapidada pelo conhecimento prático dos especialistas, o que favorece o alinhamento destas ao contexto industrial.

Em relação aos modelos identificados na literatura, o estudo difere-se por condensar diretrizes de forma a delinear cada ação proposta para o alcance da eficiência energética, permitindo a visualização das relações que impactam no desdobramento de cada diretriz por meio do *framework* proposto.

Este modelo poderá servir como suporte para a implementação e manutenção de programas de eficiência energética em indústrias, auxiliando na organização do processo de definição de políticas energéticas por meio de recomendações, práticas e princípios de eficiência energética organizados de forma estratégica.

CONCLUSÃO

O objetivo principal desta pesquisa foi propor um conjunto de diretrizes para guiar modelos estratégicos de eficiência energética na indústria. Desta forma, três objetivos específicos foram derivados para cumprir o objetivo principal do estudo.

O primeiro objetivo específico foi organizar a partir da literatura um conjunto de princípios orientadores para as estratégias em eficiência energética, como relatado na seção 4.1. As diretrizes foram derivadas da literatura por uma revisão sistemática apoiada pela utilização da técnica de análise de conteúdo.

As quinze (15) diretrizes propostas tratam de problemas de forma holística, levando em consideração o *framework* para modelos estratégicos em eficiência energética. As diretrizes propostas neste estudo descrevem ações para viabilizar estratégias de eficiência energética, apresentando inúmeras referências e sugestões de ferramentas para o desenvolvimento de modelos estratégicos de eficiência energética voltados à indústria. Este *framework* pode ser útil para outras pesquisas aplicando a técnica como um procedimento para derivar diretrizes para outros processos ou sistemas.

O segundo objetivo era o de construir um *framework* para as diretrizes que categorizasse e relacionasse os elementos relacionados a estas, como também apresentado na seção 4.1. O *framework* sugerido apresenta relações entre as categorias de estratégia e de operações, áreas de decisão baseadas nas prioridades competitivas e áreas de decisão estruturais e infraestruturais de Wheelwright e Hayes (1985), além de outras áreas de decisão selecionadas dos modelos estratégicos em EE identificados na literatura, de onde também foram derivados os elementos-chaves que apresentavam relação como o foco das diretrizes. Cada diretriz foi alinhada às categorias, áreas de decisão e elementos-chave correspondentes, estando estes fatores correlacionados ao direcionamento proposto para cada uma delas, permitindo a construção de um diagrama que apresenta as relações entre os critérios avaliados e as diretrizes sugeridas. O

modelo se mostrou robusto, haja visto que houve apenas um apontamento no estudo empírico em relação ao modelo, que foi o de relacionar a área de decisão “tecnologia” à diretriz 14.

O terceiro objetivo foi refinar o *framework* e o texto das diretrizes. Isso foi realizado por meio de um estudo empírico em um grupo focal com especialistas para que o nível de convergência fosse satisfatório, como observado na seção 4.2.

O conjunto original de quinze (15) diretrizes foi refinado e atualizado, resultando em duas (2) diretrizes com alteração no aspecto central, sendo que as outras treze (13) diretrizes tiveram apenas sugestões que não afetam o cerne do contexto inicial proposto.

A abordagem empírica aplicada no estudo forneceu uma base para desenvolver diretrizes que fossem mais relevantes para a indústria de maneira prática e levou ao aprofundamento dos fundamentos conceituais do *framework*.

O projeto de pesquisa combinou duas diferentes abordagens metodológicas, revisão sistemática da literatura e opinião de especialistas por meio de grupo focal. A abordagem empírica aplicada no estudo forneceu uma base para desenvolver diretrizes que são mais relevantes para a comunidade prática e levaram ao aprofundamento dos fundamentos conceituais do modelo.

Uma limitação deste trabalho vem do fato de que a extração de recomendações, sua categorização e declaração de diretrizes, embora sistemáticas, por meio a realização da análise de conteúdo, são processos subjetivos. Além disso, a literatura analisada é abrangente, mas não exaustiva, o que significa que outras diretrizes não compreendidas aqui poderiam ser identificadas em leituras posteriores.

Outra limitação advém de que o estudo qualitativo, embora projetado para minimizar o viés por meio de um processo sistemático, ainda está limitado a subjetividade dos especialistas consultados, em menor ou maior grau. Além disso, o conjunto de especialistas consultados, embora satisfatório para alcançar a convergência nos refinamentos, não é exaustivo, o que significa que outros especialistas consultados poderiam levar a novos resultados.

Uma consideração importante deve ser feita: o estudo é fundamentado na premissa de que um modelo estratégico eficaz de eficiência energética exercerá influência positiva sobre os resultados estratégicos de uma organização, que podem ser verificados como um consenso na literatura. No entanto, o estudo não permite examinar relações causais entre a implementação de modelos estratégicos de eficiência energética e suas reais implicações nos resultados estratégicos.

A contribuição da pesquisa está na construção de um conjunto de diretrizes estratégias relacionadas a eficiência energética que poderão fornecer orientações aos formuladores de

políticas em manufatura e orientações para pesquisas futuras, pois estas apresentam-se como guia, descrevendo detalhadamente diversos pontos importante para elaboração de modelos estratégicos de eficiência energética. Além disso, apresentam diversas referências que podem ser consultadas, quais são os resultados esperados ao colocá-las em prática e sugere inúmeras ferramentas. O estudo também fornece um conjunto de evidências que foram obtidas por meio de mapeamento sistemático e pesquisa empírica com especialistas da indústria e academia, permitindo contribuir para a evolução das pesquisas sobre eficiência energética na indústria.

Como trabalhos futuros, as diretrizes, embora tenham sido refinadas por meio de um estudo empírico com procedimento sistemático, ainda precisam ser avaliadas no contexto real das indústrias. Uma possibilidade é a condução de um conjunto de casos exploratórios voltados para avaliar a implementação das diretrizes em organizações. Ao fazer isso, as diretrizes poderiam ser confirmadas para serem usadas como uma ferramenta de diagnóstico para iniciativas de eficiência energética. Como uma segunda abordagem para trabalhos futuro, ao modelo de diretrizes poderiam ser aplicados questionários como base para conduzir um estudo quantitativo com uma amostra adequada de empresas, o que permitiria generalizar conclusões sobre as diretrizes.

REFERÊNCIAS

- ABDELAZIZ, E. A., SAIDUR, R., MEKHILEF, S. A Review On Energy Saving Strategies In Industrial Sector. **Renewable And Sustainable Energy**. Volume 15, Issue 1, Pages 150-168, January 2011.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 50001**: Sistemas de gestão da energia – Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, Brasil, 2018.
- ABOLARIN, M. *et al.* An economic evaluation of energy management opportunities in a medium scale manufacturing industry in Lagos. In **International Journal of Engineering Research in Africa**, v. 14, p. 97-106, 2015.
- ADEWUNMI, Y. A.; ALISTER, A.; PHOOKO; B.; NOKUKHANYA, T. Energy efficiency practices in facilities management in Johannesburg. **Journal of Facilities Management**. Vol. 17 No. 4pp. 331-343, 2019. DOI 10.1108/JFM-11-2018-0067
- ALARFAJ, O.; BHATTACHARYA, K. Material Flow Based Power Demand Modeling of an Oil Refinery Process for Optimal Energy Management. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 34, n. 3, p. 2312-2321, 2018.
- ALEGRE-VIDAL, J., LAPIEDRA-ALCAMI, R. AND CHIVA-GOMEZ, R. (2004), “Linking operations strategy and product innovation: an empirical study of Spanish ceramic tile producers”, **Research Policy**, Vol. 33 No. 5, pp. 829-839, .2004.
- ALTOÉ, L. et al. Políticas públicas de incentivo à eficiência energética. **Estud. av.** vol.31 no.89 São Paulo Jan./Apr. 2017.
- ANDERSSON, E.; ARFWIDSSON, O.; THOLLANDER, P. Benchmarking energy performance of industrial small and medium-sized enterprises using an energy efficiency index: Results based on an energy audit policy program. **Journal of Cleaner Production**, 182, 883-895, 2018.
- ANDREWS, K. R. The concept of corporate strategy. In: MINTZBERG, H.; QUINN, J. B. (org.). **The strategy process, concepts, contexts, cases**. 2. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1991.
- ANG, B.W., MU, A.R., ZHOU, P., Accounting frameworks for tracking energy efficiency trends. **Energy Econ.** 32 (5), 1209e1219. 2010.
- APOSTOLOS, F., GEORGIOS, P., THEOCHARIS, A., GEORGE, C. On a generalized approach to manufacturing energy efficiency. **Int J Adv Manuf Technol** 73:1437–1452, 2014.
- APRRIL, K. A. Guidelines for developing a k-strategy. *Journal of Knowledge Management*, v. 6, n. 5, p. 445-456, 2002.
- ARGYRIS, C. Knowledge for action: a guide to over-coming barriers to organizational change. San Francisco: Jossey-Bass, 1993.

ARTECONI, A. et al. Thermal energy storage coupled with PV panels for demand side management of industrial building cooling loads. **Applied Energy**, v. 185, p. 1984-1993, 2017.

ATES, S. A; DURAKBASA, N. M. Evaluation of corporate energy management practices of energy intensive industries in Turkey. **Energy**. Volume 45, Issue 1, Pages 81-91, September 2012.

BACKLUND, S., THOLLANDER, P., GIUDICI, L. ,2011. Foundry Bench: A Study of Barriers to and Drivers for Energy Efficiency in the Foundry Industry in Finland, France, Germany, Italy, Poland, Spain and Sweden. **Linköping University**. Available at: www.ep.liu.se2011.

BALL, P. Low energy production impact on lean flow. **Journal of manufacturing technology management**, v. 26, n. 3, p. 412-428, 2015.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. (L. A. Reto & A. Pinheiro, Trad.). Lisboa: Edições 70, 2010.

BARKHORDAR, Z.A. and FAKOURIYAN, S. and SHEYKHHA, S. The role of energy subsidy reform in energy efficiency enhancement: Lessons learnt and future potential for Iranian industries. **Journal of Cleaner Production**. Volume 197, Part 1, Pages 542-550, October 2018.

BARNEY, J.B. **Gaining and Sustaining Competitive Advantage**. Reading: Addison-Wesley, 1996.

BARNEY, JAY J. B.; HESTERLY, WILLIAM S. **Administração Estratégica e Vantagem Competitiva**. 3. ed. São Paulo: Pearson, 2011.

BAYSAN S.; KABADURMUS O.; CEVIKCAN E.; SATOGLU S. I.; DURMUSOGLU M. B. A simulation-based methodology for the analysis of the effect of lean tools on energy efficiency: An application in power distribution industry. **Journal of cleaner production**, v. 211, p. 895-908, 2019.

BECKMAN, S. AND ROSENFELD, D. (2008), **Operations Strategy**, McGraw-Hill, New York, NY. 2008.

BERNI, M. D. **Incentivos tributários (IT) em programas de eficiência energética**. Revista O Papel. Jul/2015.

BLASS, V., CORBETT, C. J., DELMAS, M. A., MUTHULINGAM, S. Top management and the adoption of energy efficiency practices: Evidence from small and medium-sized manufacturing firms in the US. **Energy** 65, 560-571, 2014.

BONFÁ, F et al. New efficiency opportunities arising from intelligent real time control tools applications: the case of Compressed Air Systems energy efficiency in production and use. **Energy Procedia**. Volume 158, Pages 4198-4203, February 2019.

BOURNE, Mike; KENNERLEY, Mike; FRANCO-SANTOS, Monica. Managing through measures: a study of impact on performance. **Journal of manufacturing technology management**, 2005.

BOYER, K. K.; LEWIS, M. W. Competitive priorities: Investigating the need for trade-offs in operations strategy. **Production and Operations Management**, v. 11, n. 1, p. 9-20, 2002.

BRACKER, J. The historical development of the strategic management concept, **The Academy of Management Review**, v. 5, iss. 2, abr., p. 219- 224, 1980.

BRASIL. Lei n.º 9.991, de 24 de julho de 2000. Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União: 2000.

BRENES, ESTEBAN R.; MENA, MAURICIO; MOLINA, German E. Key success factors for strategy implementation in Latin America. **Journal of Business Research**, [S.l.], v. 61, n. 6, p. 590-598, June 2008.

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, M. A., 2001. Market failures and barriers as a basis for clean energy policies. **Energy Policy** 29,1197–1207. 2001.

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, **J. Clean. Prod.** 84, 509–525. 2014.

BÜHLER, F , ZÜHLSDORF B, NGUYEN TV, ELMGAARD B. A comparative assessment of electrification strategies for industrial sites: Case of milk powder production. **Applied Energy**, Volume 250, 15 September 2019, Pages 1383-1401

BUNSE, K.; VODICKA M.; SCHÖNSLEBEN P; BRÜLHART M; ERNST F. O. Integrating energy efficiency performance in production management – gap analysis between industrial needs and scientific literature. **Journal of Cleaner Production**. Volume 19, Issues 6–7, Pages 667-679, April–May 2011.

CAGNO, E; TRIANNI, A. Evaluating the barriers to specific industrial energy efficiency measures: an exploratory study in small and medium-sized enterprises. **Journal of Cleaner Production**. Volume 82, Pages 70-83, November 2014.

CARVALLO, J. P. et al. Evaluating project level investment trends for the U.S. ESCO industry: 1990–2017. **Energy Policy**. Volume 130, Pages 139-161, July 2019.

CATARINO J, HENRIQUES J, EGREJA F. Portuguese SME toward energy efficiency improvement. **Energy Efficiency**, 2015.

CAVALCANTE, B. H. **Diretrizes para o Desenvolvimento de Software em Startups**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação. Universidade Estadual de Maringá. 2018.

ÇENGEL, Y. A. Energy efficiency as an inexhaustible energy resource with perspectives from the U.S. and Turkey. **International Journal of Energy Research**. 35:153–161. 2011.

CHAI, K-H., YEO, C. Overcoming energy efficiency barriers through systems

CHEN, D. and LU, B. and CHEN, G. and YU, W. Influence of the production fluctuation on the process energy intensity in iron and steel industry. **Advances in Production Engineering & Management**. Volume 12, Number 1. pp 75–87. March 2017.
<https://doi.org/10.14743/apem2017.1.241>

CHIARONI, D., CHIESA, M., CHIESA, V., FRANZÒ, S., FRATTINI, F., TOLETTI, G., Introducing a new perspective for the economic evaluation of industrial energy efficiency technologies: An empirical analysis in Italy. **Sustainable Energy Technol. Assess.** 15, 1-10. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seta.2016.02.004>

CHOI, Y. C., PAUL, X. A., 2014. Production planning in highly automated manufacturing system considering multiple process plans with different energy requirements. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 70(9): 853-867.

CHOY, K. L. et al. A recursive operations strategy model for managing sustainable chemical product development and production. *Int. J. Production Economics*. 2016.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.07.011>

COATALEM M.; MAZURIC V.; PAPE-GARDEUX C. LE; MAÏZI, N. “Optimizing industries’ power generation assets on the electricity markets”. **Applied Energy**, v. 185, p. 1744-1756, 2017.

COLLIS, D.; MONTGOMERY, C. **Competing on Resources: Strategy in the 1990s**. Harvard Business Review. July-August, p. 118-128, 1994.

Contribuições: Diretrizes para iniciativas de engenharia empresarial. Pontificia

COOREMANS C., Make it strategic! Financial investment logic is not enough. **Energy Effic.** 4 (4) 473–492, 2011.

COSTA-CAMPI, M. T.; GARCÍA-QUEVEDO, J.; SEGARRA, A. Energy efficiency determinants: An empirical analysis of Spanish innovative firms. **Energy Policy**, v. 83, p. 229-239, 2015.

CRESWELL, J.W. **Projeto de pesquisa; métodos qualitativo, quantitativo e misto** (3. ed.). Porto Alegre: Artmed. 2010.

DANGAYACH, G. S.; DESMUKH, S. G. Manufacturing Strategy: Literature review and some issues. **International Journal of Operations and Production**. Vol. 21, n. 7, p. 884-932, 2001.

DASGUPTA S.; ROY J. Understanding technological progress and input price as drivers of energy demand in manufacturing industries in India. **Energy Policy**, v. 83, p. 1-13, 2015.

DESCHAMPS, F. **Proposal for the systematization of enterprise engineering contributions: Guidelines for enterprise engineering initiatives**. Pontifical Catholic University of Paraná, 2013.

DIAZ-ELSAIED, N.; DORNFELD, D.; HORVATH, A. A comparative analysis of the environmental impacts of machine tool manufacturing facilities. **Journal of Cleaner Production**. Volume 95, Pages 223-231, 15 May 2015.

DINCER I, ROSEN MA. Energetic, environmental and economic aspects of thermal energy

storage systems for cooling capacity. **Appl Therm Eng.**;21:1105–17. 2001.

DING J. Y. et al. Parallel machine scheduling under time-of-use electricity prices: New models and optimization approaches”. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, v. 13, n. 2, p. 1138-1154, 2015.

DONG S., et al. Nanostructured transition metal nitrides for energy storage and fuel cells. **Coordination Chemistry Reviews**. Volume 257, Issues 13–14, Pages 1946-1956, July 2013.

DU, H., WEI L.; BROWN L.; MARILYN A.; WANG Y. AND SHI Z. "A bibliometric analysis of recent energy efficient literatures: an expanding and sifting focus", **Energy Efficiency**, v. 6, pp 177 - 190, 2013.

DUFLOW, J. R., SUTHERLAN J. W., DORNFELD D., e t al, 2016. Towards energy and resource efficient manufacturing: A processes and systems approach. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, 61: 587–609.

DUMITRU, A. et al. Low carbon energy behaviors in the workplace: A qualitative study in Italy and Spain. **Energy Research & Social Science**. Volume 13, Pages 49-59, March 2016.

ENSSLIN, L., GIFFHORN, E., ENSSLIN, S. R., PETRI, S. M. & VIANNA, W. B. Avaliação do desempenho de empresas terceirizadas com o uso da metodologia multicritério de apoio à decisão-construtivista. **Pesquisa Operacional**, v.30, n.1, p.125-152, 2010b.

FALCONI, V. **O verdadeiro poder**. 2. ed. Nova Lima: Falconi Editora, 2013.

FENERICH, F. C. ; COSTA S. E. G. DA; LIMA E. P. DE. Proposition of a strategic management system for energy. **22nd International Conference on Production Research, ICPR**. 2013.

FENERICH, F. C.; COSTA S. E. G. DA; LIMA E. P. de. “*Energy Efficiency in Industrial Environments: Overview and Research Agenda*”, **IEEE**, v. 15, pp 415 - 422, 2017.

FENG L.; MEARS L.; BEAUFORT C.; SCHULTE J. Energy, economy, and environment analysis and optimization on manufacturing plant energy supply system. **Energy Conversion and Management**, v. 117, p. 454-465, 2016.

FERNANDES, J. P. O. **Proposta de metodologia para gestão de produção, visando redução de consumo de energia elétrica em unidade fabril do setor de bens de consumo**. Guaratinguetá: Campus de Guaratinguetá, UNESP, 2015.

FERNANDO Y.; BEE P. S.; JABBOUR C. J. C.; THOMÉ A. M. T. Understanding the effects of energy management practices on renewable energy supply chains: Implications for energy policy in emerging economies. **Energy Policy**, v. 118, p. 418-428, 2018.

FINE, C.H. AND HAX, A.C. (1985), “Manufacturing strategy: a methodology and an illustration”, **Interfaces**, Vol. 15 No. 6, pp. 28-46.

FINNERTY N.; STERLING R.; CONTRERAS S.; COAKLEY D.; KEANE M. M. Defining corporate energy policy and strategy to achieve carbon emissions reduction targets via energy management in non-energy intensive multi-site manufacturing organisations. **Energy**, v. 151, p. 913-929, 2018.

FLEITER, T., HIRZEL, S., WORRELL, E. The characteristics of energy-efficiency measures: a neglected dimension. **Energy Policy**. 51, 502-513, 2012.

FRESNER J. et al. 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.

GELLER, H. S. **Revolução Energética** – Políticas para um Futuro Sustentável. Ed. Relemu Dumará, 1ª Edição, Rio de Janeiro, 2003. LIMA, E. P.; et al. Diretrizes estratégicas para a implementação da gestão do conhecimento organizacional. *Produto e Produção*, vol 8, n. 2, p. 57-73, jun. 2005.

GHADIMI, P.; KARA, S.; KORNFELD, B. Renewable energy integration into factories: Real-time control of on-site energy systems. **CIRP Annals**, v. 64, n. 1, p. 443-446, 2015.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GONG F-Q, LUO S.; YAN J-Y. Energy Storage and Dissipation Evolution Process and Characteristics of Marble in Three Tension-Type Failure Tests. **Rock Mech Rock Eng** **51**, 3613–3624, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00603-018-1564-4>

GONZÁLEZ, A. J., CASTRILLÓN, R., QUISPE, E. C. Energy efficiency improvement in the cement industry through energy management. **Proceedings of the Cement Industry Technical Conference, 2012 IEEEIAS/ PCA 53rd**, San Antonio, Texas, USA, 14-17 May 2012.

GOOSEN, P. and SWANEPOEL, J. A. and DU PLESSIS, J. N. The need for a comprehensive energy management information system for industries. **S. Afr. J. Ind. Eng.** [online], vol.27, n.3, pp.1-11. ISSN 2224-7890. 2016. <http://dx.doi.org/10.7166/27-3-1626>.

GOPALAKRISHNAN, B., RAMAMOORTHY, K., CROWE, E., CHAUDHARI, S., LATIF, H., 2014. A structured approach for facilitating the implementation of ISO 50001 standard in the manufacturing sector. **Sustain. Energy Technol. Assessments** 7, 154e165.

GOUVÊA DA COSTA, S.; JARA, J.; SORIA, M. A. Z.; GODOY TORALES, R. Alinhando a gestão do conhecimento com a estratégia da empresa: o caso Itaipu Binacional. In: **VI Seminário Nacional da Gestão da Informação e do Conhecimento no setor de energia elétrica – SINCONEE**, 6., Recife, 2005. Anais... Brasília: Eletrobrás, 2005, p.1-9.

GRANT, R.M. **Contemporary Strategy Analysis**, Blackwell, Malden, MA. 2008.

GÜNTHER I.A.; PINHEIRO J.Q (Orgs). **Métodos de pesquisa nos estudos pessoa-ambiente** (pp. 53-74). São Paulo: Casa do Psicólogo. 2008.

GUTOWSKI T, DAHMUS J, THIRIEZ A, BRANHAM M, JONES A. A thermodynamics characterization of manufacturing processes. **IEEE International Symposium On Electronics And The Environment**, Orlando, FL, USA; May 7-10. 2007.

GUTOWSKI T, DAHMUS J, THIRIEZ A. Electrical energy requirements for manufacturing processes. **CIRP LCE**; 2006.

- HAN J.; YUN, S. J. An analysis of the electricity consumption reduction potential of electric motors in the South Korean manufacturing sector. **Energy Efficiency**, v. 8, n. 6, p. 1035-1047, 2015.
- HASANBEIGI, A., MENKE, C., DU PONT, P., Barriers to energy efficiency improvement and-making behaviour in Thai industry. **Energy Effic.** 3, 33–52. 2010. Doi: 10.1007/s12053-009-9056-8
- HAYES, R. H., UPTON, D., PISANO, G., & WHEELWRIGHT, S. C. (2008). **Produção, estratégia e tecnologia: em busca da vantagem competitiva**. Porto Alegre: Bookman.
- HAYES, R. H.; PISANO, G. P.; UPTON, D. M.; WHEELWRIGHT, S. C. **Operations, Strategy and Technology: Pursuing the Competitive Edge**. John Willey&Sons, EUA, 2004.
- HAYES, R.; UPTON, D. Operations based strategy. **California Management Review**, v. 40, n. 4, p. 8-25, 1998. <https://doi.org/10.2307/41165962>
- HAYES, R.; WHEELWRIGHT, S. C. **Restoring our Competitive Edge – Competing through Manufacturing**. John Willey & Sons, 1984.
- HAYES, ROBERT H. PISANO, GARY P. Beyond World-Class: the new manufacturing strategy. **Harvard Business Review**, Jan-Fev, 1994.
- HEIZER, J. AND RENDER, B. **Production and Operation Management**, Allyn and Bacon, Boston, MA. 1993.
- HENRIQUES J.; CATARINO J. Motivating towards energy efficiency in small and medium enterprises. **Journal of Cleaner Production**, v. 139, p. 42-50, 2016.
- HENRIQUES, J.; CATARINO, J. Sustainable value and cleaner production: Research and application in 19 Portuguese SME. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 379-386, 2015.
- HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R.; FERNÁNDEZ-COLLADO, C.; BAPTISTA-LUCIO, P. **Metodología de la investigación** (4a ed.). Cidade do México: McGraw-Hill Interamericana. 2006.
- HILLARY R. Environmental management systems and the smaller enterprise. **Journal of cleaner production** 12(6): 561-569. 2004.
- HREBINIAK, LAWRENCE G. **Fazendo a estratégia funcionar: o caminho para uma execução bem sucedida**. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- HU, R.; ZHANG, C. Discussion on energy conservation strategies for steel industry: Based on a Chinese firm. **Journal of Cleaner Production**. Volume 166, Pages 66-80, 10 November 2017.
- HU, S., LIU, F., HE, Y., HU, T. An on-line approach for energy efficiency monitoring of machine tools. **Journal of Cleaner Production**, 27, 133–140. 2012.
- HUGHES, PAUL et al. (2018) Strategy, operations, and profitability: the role of resource orchestration. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 38, n. 4,

p. 1125-1143.

IEA. International Energy Agency. (2015) **Key world energy statistics 2015**. Disponível em www.iea.org

ISAKSSON, C.; HILLER, C.; LANE, A.L. Active, passive, non-existing or conditional? Social relations shaping energy use at workplaces. **Energy Research & Social Science**, Volume 51, Pages 148-155, May 2019.

ISLAM, S.; PONNAMBALAM, S.G.; LAM, H.L. Energy management strategy for industries integrating small scale waste-to-energy and energy storage system under variable electricity pricing. **Journal of Cleaner Production**. Volume 127, Pages 352-362, 20 July 2016.

JOVANOVIĆ B.; FILIPOVIĆ J.; BAKIĆ V. Energy management system implementation in Serbian manufacturing—Plan-Do-Check-Act cycle approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 162, p. 1144-1156, 2017.

KANG, M., HEBERT, P.R., THOMPSEN, R. AND VANDUSEN, A. “An analysis of energy and cost saving opportunities: Lighting system considerations for an institutional food service facility”, **Journal of Facilities Management**, Vol. 15 No. 2, pp. 207-226. 2017.

KHAWAJA, Y et al. An integrated framework for sizing and energy management of hybrid energy systems using finite automata. **Applied Energy**. Volume 250, 15, Pages 257-272, September 2019.

KHUDHAIR AM, FARID MM. A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials. **Energy Convers Manag**; 45:263–75, 2004.

KIM, Y.H., STING, F.J., LOCH, C.H. Top-down, bottom-up, or both? Toward an integrative perspective on operations strategy formation. **J. Oper. Manag.** 32(7–8), 462–474. 2014.

KINDSTRÖM D.; OTTOSSON M. Local and regional energy companies offering energy services: Key activities and implications for the business model. **Applied Energy**, v. 171, p. 491-500, 2016.

KONG L.; HASANBEIGI A.; PRICE L. Assessment of emerging energy-efficiency technologies for the pulp and paper industry: a technical review. **Journal of Cleaner Production**, v. 122, p. 5-28, 2016.

KOTTER, John P. Leading change: why transformation efforts fail. **Harvard Business Review**, Boston, v. 73, n. 2, p. 59-67, Mar./Apr. 1995.

KRISTAL, M. M., HUANG, X., ROTH, A.V. The effect of an ambidextrous supply chain strategy on combinative competitive capabilities and business performance. **J. Oper. Manag.** 28(5), 415–429. 2010.

KWAN T. H.; SHEN Y.; YAO Q. An energy management strategy for supplying combined heat and power by the fuel cell thermoelectric hybrid system. **Applied Energy**, v. 251, p. 113318, 2019.

LAMBERTS, et. al. **A casa eficiente: consumo e geração de energia.** Florianópolis: UFSC: Lab EEE/2010.

LEE S.; CHUNG B. D.; JEON H. W.; CHANG J. A dynamic control approach for energy-efficient production scheduling on a single machine under time-varying electricity pricing. **Journal of Cleaner Production**, v. 165, p. 552-563, 2017.

LEE, J., KWON, H. B.. The Synergistic Effect of Environmental Sustainability and Corporate Reputation on Market Value Added (MVA) in Manufacturing Firms.” **International Journal of Production Research**, 1–19. 2019.

LEE, S.; DO CHUNG, B. and JEON, H.W. and CHANG, J. A dynamic control approach for energy-efficient production scheduling on a single machine under time-varying electricity pricing. **Journal of Cleaner Production**. Volume 165, 1, Pages 552-563, November 2017.

LEONG, G.K., SNYDER, D.L. and WARD, P.T. (1990), “Research in the process and content of manufacturing strategy”, **Omega**, Vol. 18 No. 2, pp. 109-122.

LEVERIDGE, L. Evaluation of Computer - Assisted Systems. **Computers in Medicine**, 12 (4):90-96. 1986.

LI S, JOE J, HUA J, KARAVA P. System identification and model-predictive control of office buildings with integrated photovoltaic-thermal collectors, radiant floor heating and active thermal storage. **Sol Energy**;113:139–57. 2015.

LIANG, H. *et al.* 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.

LIMA, E. P; et al. Diretrizes estratégicas para a implementação da gestão do conhecimento organizacional. **Produto e Produção**, vol 8, n. 2, p. 57-73, jun. 2005.

LIMA, T. C. S.; MIOTO, R. C. T. "Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica", **Rev. Katál**, Florianópolis, v. 10, 2007.

LIN B.; ZHENG Q. Energy efficiency evolution of China's paper industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 1105-1117, 2017.

LIU C, WANG J, ZHOU M C. Reconfiguration of Virtual Cellular Manufacturing Systems via Improved Imperialist Competitive Approach. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**. Volume: 16 Issue: 3. 2019.

LIU J.; ZHANG S.; WAGNER F. Exploring the driving forces of energy consumption and environmental pollution in China's cement industry at the provincial level. **Journal of Cleaner Production**, v. 184, p. 274-285, 2018.

LIU, G., YANG, H.; CHENG, M. A Three-Stage Decomposition Approach for Energy-Aware Scheduling with Processing-Time-Dependent Product Quality. **International Journal of Production Research** 55 (11): 3073–3091. 2017.

LU Y.; PENG T.; XU X. Energy-efficient cyber-physical production network: Architecture and technologies. **Computers & Industrial Engineering**, v. 129, p. 56-66, 2019.

LUKEN, R. A.; PIRAS S. A critical overview of industrial energy decoupling programs in six developing countries in Asia. *Energy Policy*. Volume 39, Issue 6, Pages 3869-3872, June 2011.

LUO, Y. et al. A decision support system for waste heat recovery and energy efficiency improvement in data centers. **Applied Energy**. Volume 250 Pages 1217-1224, 15 September 2019.

MAHAPATRA R., NIJSURE Y., KADDOUM G., UL HASSAN N. AND YUEN C., Energy Efficiency Tradeoff Mechanism Towards Wireless Green Communication: A Survey. in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 18, no. 1, pp. 686-705, Firstquarter, 2016. doi: 10.1109/COMST.2015.2490540.

MALINAUSKAITE, J. et al. Energy efficiency in industry: EU and national policies in Italy and the UK. *Energy*. Volume 172, Pages 255-269, April 2019.

MARTIN, R., MUÛLS, M., DE PREUX, L. B., WAGNER, U. J. Anatomy of a paradox: Management practices, organizational structure and energy efficiency. **Journal of Environmental Economics and Management** 63 (2), 208-223, 2012.

MARTINS, F. L. **Eficiência energética**: gestão metodológica para a redução de energia elétrica na indústria. (Dissertação de mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal De Santa Catarina. 2016.

MAY G, STAHL B, TAISCH M, KIRITSIS D, Energy management in manufacturing: From literature review to a conceptual framework. *Journal of Cleaner Production* (2016), vol 167, 20 November 2017, Pages 1464-1489. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.10.191

MENDES, W.; Travassos, C.; Martins, M.; Marques, P. M. Adaptação dos instrumentos de avaliação de eventos adversos para uso em hospitais brasileiros. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, São Paulo, v. 11, n.1, p. 55-66, mar. 2008.

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**. Volume 240, 10 December 2019, 118276.

MINAYO, M. C. DE S.; SANCHES, O. **Quantitativo-qualitativo**: oposição ou complementaridade? *Cad. Saúde Pública*, 9: 239-62, 1993.

MINTZBERG, Henry; AHLSTRAND, Bruce; LAMPEL, Joseph. **Safári de estratégia**: um roteiro pela selva do planejamento estratégico. Porto Alegre: Bookman, 2000.

MKWANANZI, T., MANDEGARI, M., & GÖRGENS, J. F. 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**, v. 176, p. 211-223, 2019.

MME/EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029**. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2019.

MME/EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030**. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2021.

MME/EPE. **Roadmap de ações de eficiência energética**: Propostas de Medidas no Setor Industrial Brasileiro. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, (2020).

NAND, A. A., SINGH, P. J., POWER, D. Testing an integrated model of operations capabilities: na empirical study of Australian air lines. **Int.J.Oper.Prod.Manag.** 33(7),887–911. 2013.

NG, R.T.L. and FASAHATI, P. and HUANG, K. and MARAVELIAS, C.T. Utilizing stillage in the biorefinery: Economic, technological and energetic analysis. **Applied Energy**. Volume 241, 1 May 2019, Pages 491-503

O'RIELLY, K; JESWIET, J. Strategies to improve industrial energy efficiency. **Procedia Cirp**, vol. 15, pp. 325-330, 2014.

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.

OLANREWAJU, O. A. Multiplicative LMDI approach to South Africa's industrial energy consumption. **S. Afr. J. Ind. Eng.** Vol.30 n.1. Pretoria. May 2019.
<http://dx.doi.org/10.7166/30-1-2037>

OLSON, E. M., SLATER, S. F., HULT, G. T. M. The importance of structure and process to strategy implementation. **Business Horizons**, v. 48, n 1 p. 47-54. 2005.

ONU. **Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development**. U Nations - New York: United Nations, Department of Economic, 2015.

OUYANG J.; SHEN, H. The choice of energy saving modes for an energy-intensive manufacturer considering non-energy benefits. **Journal of cleaner production**, v. 141, p. 83-98, 2017.

OUYANG, J.; FU, J. Optimal strategies of improving energy efficiency for an energy-intensive manufacturer considering consumer environmental awareness. **International Journal of Production Research**. Volume 58- Issue 4, 2020.

OUYANG, Jianjun and FU, Jie. Optimal strategies of improving energy efficiency for an energy-intensive manufacturer considering consumer environmental awareness. **International Journal Of Production Research**. doi.org/10.1080/00207543.2019.1607977

PARK, Y. J. and LEE, G. B., “Application of Heuristic Approaches to Minimization of Energy Consumption in Inner Layer Scrubbing Process in PCB Manufacturing,” **Int. J. Precis. Eng. Manuf.**, Vol. 13, No. 7, pp. 1059-1066, 2012.

PELSER W A, VOSLOO J C, MATHEWS M J. Results and prospects of applying an ISO 50001 based reporting system on a cement plant. **Journal of Cleaner Production**. Volume 198, Pages 642-653, 10 October 2018.

PENG T.; XU. X. An interoperable energy consumption analysis system for CNC machining. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 1828-1841, 2017.

PINHEIRO, J.Q.; FARIAS, T.M.; ABE-LIMA, J.Y. (2013). Paineis de especialistas e estratégia multimétodos: reflexões, exemplos, perspectivas. **Psico**, v. 44, n. 2, p. 184-192.

PLATTS, K. W. Characteristics of methodologies for manufacturing strategy formulation. In: **Computer Integrated Manufacturing Systems**. v. 7, n.2, p. 93-99, 1994.

PLATTS, K. W. *et al.* Realizing Strategy through Measurement. **International Journal of Operations & Production Management**. v. 14, n.3, p. 140-152, 1994.

PORTER, Michael E. **Estratégia Competitiva: técnicas para análise de indústrias e da concorrência**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

PRABHU, V. V., D. Trentesaux, and M. Taisch. 2015. "Energy-Aware Manufacturing Operations." **International Journal of Production Research** 53 (23): 6994–7004.

PRINDLE W., FINLINSON S., How organizations can Drive behavior-based energy efficiency, in: F.P. Sioshansi (Ed.), *Energy, Sustainability and the Environment: Technology, Incentives, Behavior*, **Elsevier**, pp. 305–335, 2011.

PROCEL Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Resultados PROCEL 2019**. Eletrobras: 2019.

PUSNIK M.; AL-MANSOUR F.; SUCIC B.; CESEN M. Trends and prospects of energy efficiency development in Slovenian industry. **Energy**, v. 136, p. 52-62, 2017.

QIAN, Q.K., CHAN, E.H.W.; XU, P. "Market expectations and policy deficiencies in the promotion of building energy efficiency in China", **Journal of Facilities Management**, Vol. 9 No. 4, pp. 230-248. 2011.

QUEIROZ, T. L. de A.; CAVALCANTE, P. S. As contribuições do software Atlas TI para a análise de relatos de experiência escritos. **X Congresso Nacional de Educação – EDUCERE**. Anais... Pontifícia Universidade Católica do Paraná. 2011.

RAPS, Andreas. **Strategy Implementation** – an insurmountable obstacle? *Handbook of Business Strategy*, Bingley, v. 6, n. 1, p. 141-146, 2005.

REN, L., ZHANG, L. An efficient it energy-saving approach based on cloud computing for networked green manufacturing. **Advanced Materials Research** 139-141, 1374–1377. 2010.

RIBEIRO, Z. B. **Parâmetros para análise de eficiência energética em eletricidade**. 2005. 123 p. (Mestrado em Engenharia). Programa Interunidades de Pós Graduação em Engenharia (EP, FEA, IEE, IF). Universidade de São Paulo. 2005.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa Social: Métodos e Técnicas**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2007.

RICHERT M. An energy management framework tailor-made for SMEs: Case study of a German car company. **Journal of Cleaner Production**, v. 164, p. 221-229, 2017.

RIETBERGEN M G, BLOK K. Setting SMART targets for industrial energy use and industrial energy efficiency. **Energy Policy**. Volume 38, Issue 8, Pages 4339-4354, August 2010.

- RUDBERG, M., WALDEMARSSON, M., LIDESTAM, H. Strategic perspectives on energy management: A case study in the process industry. **Applied Energy** 104, 487-496, 2013.
- SADRIEVN, A.R.; NASRTDINOVA, V.M.; MELNIK, A.N. Energy efficiency positioning in the system of innovative development of an enterprise. **International Journal of Applied Engineering Research** vol.10 N20, pages 41060-41065, 2015.
- SALAHIN.; JAFARI M. A. Energy-Performance as a driver for optimal production planning. **Applied energy**, v. 174, p. 88-100, 2016.
- SALONITIS, K. Energy efficiency assessment of grinding strategy. **International Journal of Energy Sector Management**, v. 9, n. 1, p. 20-37, 2015.
- SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, P. B.; PÉREZ, M. D. L. L. C. **Metodologia de la investigación**, v. 5. Mcgraw-hill México, 2010.
- SANTOS, M.; COELHO, G. M.; DOS SANTOS, D. M.; FELLOWS FILHO, L. Prospecção de tecnologias de futuro: métodos, técnicas e abordagens. **Parcerias Estratégicas**, n. 19, p.189 – 229. 2004.
- SCHAEFER, T., GUENTHER, T. Exploring strategic planning outcomes: the influential role of top versus middle management participation. **J Manag Control**, 27, 205–249, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00187-016-0230-9>
- SCHLECHTENDAHLA J., EBERSPÄCHERA P., SCHRAML P., VERLA A., ABELEB E. Multi-level Energy Demand Optimizer System for Machine Tool Controls. **Procedia CIRP**. Volume 41, Pages 783-788, 2016.
- SCHLUETER, B. A.; ROSANO, M. B. A holistic approach to energy efficiency assessment in plastic processing. **Journal of Cleaner Production**, v. 118, p. 19-28, 2016.
- SCHROEDER, R.G., GOLDSTEIN, S.M. AND RUNGTUSANATHAM, M.J. **Operation Management**, McGraw-Hill, New York, NY. 2011.
- SCHULZE, Mike; NEHLER, Henrik and OTTOSSON, Mikael and THOLLANDER, Patrik. Energy management in industry systematic review of previous findings and an integrative conceptual framework. **Journal of Cleaner Production**, 2016.
- SENADO FEDERAL. DECRETO Nº 1.040, DE 11 DE JANEIRO DE 1994. Disponível em: <http://www6.senado.gov.br/legislacao/ListaPublicacoes.action?id=138970>.
- SILVA, E. M. **Alinhamento das estratégias competitivas com as estratégias de produção: estudo de casos no polo moveleiro de Votuporanga - SP**. 163p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos (SP). 2003.
- SILVEIRA, W.G. **Guidelines for Hoshin Kanri**: Proposal for strategy management capability. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. 2014.
- SILVESTRE, H.C.; GOMES, R.C.; LAMBA, J.R.; CORREIA, A.M. Implementation of Brazil's energy policy through the national oil company: From institutional chaos to strategic order. **Energy Policy**. Volume 119, Pages 87-96, August 2018.

SKINNER, W. Manufacturing: Missing Link Corporate Strategy. **Harvard Business Review**, v. 47, n. 3, 1969.

SLACK, N., & Lewis, M. **Estratégia de operações** (2. ed.). Porto Alegre: Bookman. 2009.

SOARES, Gerdson Tanaka. **Sistema de gerenciamento de energia como ferramenta de eficiência energética na indústria**. 2015. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Belém, 2015. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

SOLA, A. V. H. E Kavaleski, J. L. Eficiência energética nas indústrias: cenários e oportunidades. **XXIV Encontro Nac. de Eng. De Produção** – Florianópolis, SC, Brasil, Novembro de 2004, p. 3326 – 3333.118, http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2004_Enegep0702_1061.pdf.

SOLA, A., MOTA, C. Melhoria da eficiência energética em sistemas motrizes industriais. **Production**. vol.25 no.3 São Paulo July/Sept. 2015 Epub Feb 27, 2015.

SONG, C.; OH, W. Determinants of innovation in energy intensive industry and implications for energy policy. **Energy Policy**, v. 81, p. 122–130, 2015.

STAWICKI, B., LOZO, B., LAJÍĆ, B. Energy management guidelines in pulp and paper production. **Cellulose Chemistry and Technology** 44 (10), 521-529, 2010.

STIPHOUT A. Van.; DE VOS K.; DECONINCK G. The impact of operating reserves on investment planning of renewable power systems. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 32, n. 1, p. 378-388, 2016.

STRACHAN PA, SINCLAIR IM, LAL D. Managing ISO 14001 implementation in the United Kingdom Continental Shelf (UKCS). **Corporate Social Responsibility and Environmental Management** 10(1): 50-63. 2003.

TAN, B., and Y. YAVUZ. “Modelling and Analysis of a Business Model to Offer Energy-Saving Technologies as a Service.” **International Journal of Production Research** 53 (23): 7118–7135. 2015.

TASSINI, J. O. **Eficiência energética em sistemas de refrigeração industrial**: estudo de caso. Guaratinguetá: campus de Guaratinguetá, universidade Estadual Paulista, 2012.

TEIXEIRA, G. F. G.; JUNIOR O.C. How to make strategic planning for corporate sustainability? **Journal of Cleaner Production**, v. 230, p. 1421-1431, 2019.

TENNAKOON G.A, WAIDYASEKARA K G.A.S, EKANAYAKE B.J. A Conceptual Framework to Optimise the Impact of Embodied Energy and Operational Energy in Buildings during the Design Stage. **Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bangkok**, Thailand, March 5-7, 2019.

THOLLANDER, P., OTTOSSON, M. Energy management practices in Swedish energy-intensive industries. *Journal of Cleaner Production*. 18 (12), 1125-1133, 2010.

THOLLANDER, P., PALM, J. Improving Energy Efficiency in Industrial Energy Systems. Springer, London. ISBN 978-1-4471-4161-7. 2013.

THOMPSON, S., SI, M. Análise estratégica de e projetos de eficiência NERGY: Estudo de caso de uma usina siderúrgica em Manitoba. **Renovar. Sustentar. Rev. energia** 40, 814-819. 2014.

TRIANNI, A. and CAGNO, E. and ACCORDINI, D. Energy efficiency measures in electric motors systems: A novel classification high lighting specific implications in their adoption. **Applied Energy**, 2019.

TRYNDINA, N; MOISEEV, N; LOPATIN, E; PROSEKOV, S; JIANG K. Trends in Corporate Energy Strategy of Russian Companies. **International Journal of Energy Economics and Policy; Mersin** Vol. 10, Ed. 1, 202-207, 2020.

VASUDEVAN, S., HIGGINS, B. Strategic Energy Risk Management for End Users. **The Journal of Structured and Project Finance** 10 (1), 74-78, 2004.

VELASCO-FERNÁNDEZ, R.; PÉREZ-SÁNCHEZ, L.; CHEN, L.; GIAMPIETRO M. A becoming China and the assisted maturity of the EU: Assessing the factors determining their energy metabolic patterns. **Energy Strategy Reviews**. Volume 32, November 2020.

VELASCO-FERNÁNDEZ, R.; DUNLOP, T.; GIAMPIETRO, M. Fallacies of energy efficiency indicators: Recognizing the complexity of the metabolic pattern of the economy. **Energy Policy**, v. 137, p. 111089, 2020.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em Administração** (4a ed.). São Paulo: Atlas. 2003.

VINE, E. L; JONES C. M. Competition, carbon, and conservation: Assessing the energy savings potential of energy efficiency competitions. **Energy Research & Social Science**. Volume 19 , Pages 158-176, September 2016.

VOSS, C.A. Alternative paradigms for manufacturing strategy. **International Journal of Operations and Production Management**, Vol. 15 No. 4, pp. 5-16. 1995.

WALLERAND, A.S. et al. Optimal heat pump integration in industrial processes. **Applied Energy**. Volume 219, Pages 68-92, June 2018.

WANG S. et al. Big Data enabled Intelligent Immune System for energy efficient manufacturing management, **Journal of Cleaner Production**, v. 195, p. 507-520, 2018.

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, K-J, NGUYEN, PH. Capacity planning with technology replacement by stochastic dynamic programming. **Eur. J. Oper. Res.** 260, 739–750, 2017.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2016.12.046>

WANG, Q., HANG, Y., SUN, L., ZHAO, Z., Two-stage innovation efficiency of new energy enterprises in China: a non-radial DEA approach. **Technol. Forecast. Soc. Chang.** 112, 254e261. 2016.

WANG, S., M. CHEN, and M. SONG. 2018. "Energy Constraints, Green Technological Progress and Business Profit Ratios: Evidence from Big Data of Chinese Enterprises." *International Journal of Production Research* 56 (8): 2963–2974.

WANG, X.; LIN, B. Factor and fuel substitution in China's iron & steel industry: Evidence and policy implications. *Journal of Cleaner Production*. Volume 141, Pages 751-759, 10 January 2017.

WANG, Y.; JIN X.; FANG X. Rapid evaluation of operation performance of multi-chiller system based on history data analysis. *Energy and Buildings*, v. 134, p. 162-170, 2017.

WANG, Y.; LI, L. Time-of-use electricity pricing for industrial customers: A survey of U.S. utilities. *Applied Energy*, 2015.

WATSON, Gregory H. Corporate governance: quality at the top. ASQ's Annual Quality Congress Proceedings, *Milwaukee*, v. 57, p.123-137, 2003.

WEI M.; HONG S. H.; ALAM M. An IoT-based energy-management platform for industrial facilities. *Applied Energy*, v. 164, p. 607-619, 2016.

WEIßFLOCH, U. GELDERMANN, J. Assessment of product-service systems for increasing the energy efficiency of compressed air systems. *European Journal of Industrial Engineering*. Volume 10, Issue 3 . 2019.

WEITZEL T.; GLOCK C. H. Energy management for stationary electric energy storage systems: A systematic literature review. *European Journal of Operational Research*, 264(2), 582-606 v. 264, n. 2, p. 582-606, 2018.

WENA Z.; WANGA Y.; ZHANG C.; ZHANG X. Uncertainty analysis of industrial energy conservation management in China's iron and steel industry. *Journal of Environmental Management*, v. 225, p. 205–214, 2018.

WHEELWRIGH, S.C. Reflecting corporate strategy in manufacturing decisions. *Business Horizons*, Vol. 21 No. 1, pp. 57-66. 1978.

WU N.; LI Z.; QU T. Energy efficiency optimization in scheduling crude oil operations of refinery based on linear programming. *Journal of Cleaner Production*, v. 166, p. 49-57, 2017.

WU, Y.-H.; LIU, C.H.; HUNG, M.-L. ; LIU, T.-Y.; MASUI, T. Sectoral energy efficiency improvements in Taiwan: Evaluations using a hybrid of top-down and bottom-up models. *Energy Policy*. Volume 132. Pages 1241-1255, September 2019.

XING X. et al. Optimal design of distributed energy systems for industrial parks under gas shortage based on augmented ϵ -constraint method. *Journal of cleaner production*, v. 218, p. 782-795, 2019.

YAN, W., SHAO, H., WANG, X., Soft sensing modeling based on support vector machine and Bayesian model selection. *Comput. Chem. Eng.* 28, 1489e1498. 2004.

YANG Z. et al. On energetic evaluation of robotic belt grinding mechanisms based on single spherical abrasive grain model. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 104, n. 9-12, p. 4539-4548, 2019.

YANG, M. and FENG, X. and LIU, G. Heat integration of heat pump assisted distillation into the overall process. **Applied Energy**, 2016.

YOON, HS, KIM, ES; KIM, MS; LEE, JY; LEE, GB; AHN SH. Towards greener machine tools—A review on energy saving strategies and technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 48, 870-891, 2015.

ZHANG L, YU J, SOVACOOOL B K, REN J. Measuring energy security performance within China: Toward an inter-provincial prospective. **Energy**. Volume 125, Pages 825-836, 15 April 2017.

ZHANG, H., ZHAO, F., FANG, K., Sutherland, J. W. Energy-conscious flow shop scheduling under time-of-use electricity tariffs. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, 63(1):37–40. 2014.

ZHANG, H.; LAHR, M. Can the Carbonizing Dragon Be Domesticated? Insight from a Decomposition of Energy Consumption and Intensity in China, 1987-2007. **Economic Systems Research**. Volume 26, 2014 - Issue 2. 2014.

ZHANG, Y. J., GE, L. L., 2015. Method for process planning optimization with energy efficiency consideration. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 22(9): 2197-2207.

ZHANG, YINGJIE; GE, LILING. Method for process planning optimization with energy efficiency consideration. **International Journal Of Advanced Manufacturing Technology**, 2015.

ZHOU, D.Q. Measuring economy-wide energy efficiency performance: a parametric frontier approach. **Appl. Energy** 90 (1), 196e200. 2012.

ZHOU, L. R., LI, J. F., LI, F. Y. Energy consumption model and energy efficiency of machine tools: a comprehensive literature review. **Journal of Cleaner Production**. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.093>

ZUBERI, M. J. S.; TIJDINK A.; PATEL M. K. Techno-economic analysis of energy efficiency improvement in electric motor driven systems in Swiss industry. **Applied Energy**, v. 205, p. 85-104, 2017.

APÊNDICE A – Artigo: “*Energy Efficiency in Industrial Environments: An Updated Review and a New Research Agenda*”

Nesta seção é apresentado o artigo de revisão sistemática de literatura intitulado “*Energy Efficiency in Industrial Environments: An Updated Review and a New Research Agenda*”, como parte do desenvolvimento da pesquisa em questão.

Energy Efficiency in Industrial Environments: An Updated Review and a New Research Agenda

K. Guedes, N. H. M. Cordeiro, G. S. Lima, F. C. Fenerich, A. L. G. Oliveira

Abstract— Nowadays, discussions about the use of energy efficiency in industries have intensified due to the need to optimize the resources used, especially the high cost in the production process. In this context, a literature review and a research agenda on energy efficiency in industrial environments can assist in the search for solutions and challenges to reduce energy consumption in manufacturing, as well as identify future trends for the topic. Therefore, this article proposes to update the energy efficiency research agenda in industrial environments, through a systematic review of the literature, between the years 2015 and 2020, in search of articles published in journals with current practices and the new strategies used in energy management. For the review of the research agenda, one hundred and eighty-five articles were selected, which were read and used in the bibliometric analysis, which was compared to the results obtained and observed in the base article [1] for this update, thus helping in directing the creation of an agenda for studies and practices in energy efficiency in manufacturing environments.

Index Terms— Energy Efficiency, Research Agenda, Systematic Literature Review.

I. INTRODUÇÃO

A INDÚSTRIA consome grandes quantidades de energia para gerar bens e serviços que movem a sociedade moderna. Para tanto, investimentos em geração, distribuição e transmissão devem ser realizados, de forma que a demanda industrial seja atendida com confiabilidade.

Desta forma, para operação das instalações e equipamentos industriais, se faz necessário uma quantidade significativa de recursos energéticos, no entanto, uma grande parte das instalações industriais não são operadas a uma taxa eficiente, ou desconhecem o real consumo energético, gerando oportunidades para o desenvolvimento de um setor manufatureiro mais eficiente e sustentável energeticamente [2].

Este assunto tem sido amplamente pesquisado, desde meados da década de noventa e mais intensamente a partir 2007 [1]. No entanto, em termos de perdas encontradas durante processos de fabricação, pode-se dizer que no passado eram escassos os trabalhos que tentavam delinear uma estratégia apropriada de mitigação de perda de eficiência em indústrias [2].

K. Guedes, State University of Maringá, Paraná, Brazil (e-mail: karolineguedes13@gmail.com).

N. H. M. Cordeiro, State University of Maringá, Paraná, Brazil (e-mail: nellyhmarques@gmail.com).

G. S. Lima, State University of Maringá, Paraná, Brazil (e-mail: gislainelimasouza@gmail.com).

F. C. Fenerich, State University of Maringá, Paraná, Brazil (e-mail: fcfenerich@uem.br).

A. L. G. Oliveira, Federal University of Paraná, Jandaia do Sul, Paraná, Brazil (e-mail: andre.gazoli@ufpr.br).

Corresponding author: karolineguedes13@gmail.com

Atualmente o perfil da eficiência energética tem mudado, devido a crescente preocupação com os impactos ambientais gerados pelo consumo energético, o que influencia diretamente na redução do uso de energia [3].

Embora a eficiência geral de uma planta esteja relacionada à dispositivos de conversão como motores, lâmpadas e sistemas passivos como fornos e sistemas de vapor, também é fortemente influenciado por fatores manufatureiros, como taxas de produção, parâmetros de projeto e configurações de linha [4].

As taxas de produção industrial são fortemente relacionadas à eficiência de um processo de fabricação [5], e segundo a Agência Internacional de Energia (IEA) apesar da continua demanda por energia no setor, a busca pelo uso de eficiência energética nos últimos anos impediu um aumento ainda maior no uso de energia [6].

Outro incentivo para a implementação de práticas de eficiência energética nas organizações são os benefícios relacionados as questões sociais, ambientais, financeiras e de competitividade [7].

Neste contexto, a eficiência energética busca reduzir o uso de energia ao nível mínimo, mas sem reduzir a qualidade da produção e a lucratividade [8]. Uma das principais barreiras à eficiência energética industrial continua sendo a cultura organizacional em relação ao desenvolvimento sustentável de produtos, pois muitas empresas ainda visualizam os requisitos de eficiência como um problema ao invés de procurar pelo que realmente é: uma chance para alcançar benefícios econômicos e ambientais [2].

Diante do contexto apresentado e a fim de alavancar a competitividade em ambientes industriais por meio do desenvolvimento e uso de estratégias produtivas, processos sustentáveis, redução e controle do consumo de energia e além de difundir as pesquisas na área, o objetivo deste artigo é realizar um estudo bibliométrico e atualizar a agenda de pesquisa de Fenerich *et al.* [1] para eficiência energética em ambientes industriais. Por meio do estudo bibliométrico foi possível a identificação dos modelos estratégicos e operacionais existentes na literatura relacionados ao tema, indicadores, bem como modelos de eficiência energética.

O artigo está organizado em quatro seções, de forma que na seção II é apresentada a metodologia da revisão sistemática de literatura, na seção III são demonstrados os resultados dos estudos bibliométricos e a atualização da agenda de pesquisa e por fim, a seção IV trata das considerações finais do estudo.

II. METODOLOGIA

A pesquisa possui natureza básica, de abordagem qualitativa [9], devido à realização de etapas de compreensão dos textos selecionados, assim como a análise bibliométrica. É também

uma pesquisa de objetivos exploratórios [9], realizada por meio de pesquisa bibliográfica sistematizada, uma vez que a revisão de literatura visa buscar os conceitos e características apresentadas pelos autores analisados sobre o desempenho energético em ambientes produtivos, por meio do levantamento de estudos e práticas realizadas sobre o tema.

A análise bibliométrica descreve as características do conteúdo científico das publicações, de forma a contribuir com a produção de conhecimento [10]. Na Fig. 1 destacam-se as etapas do processo de revisão sistemática seguido para a busca da literatura pertinente ao tema e a atualização da agenda.

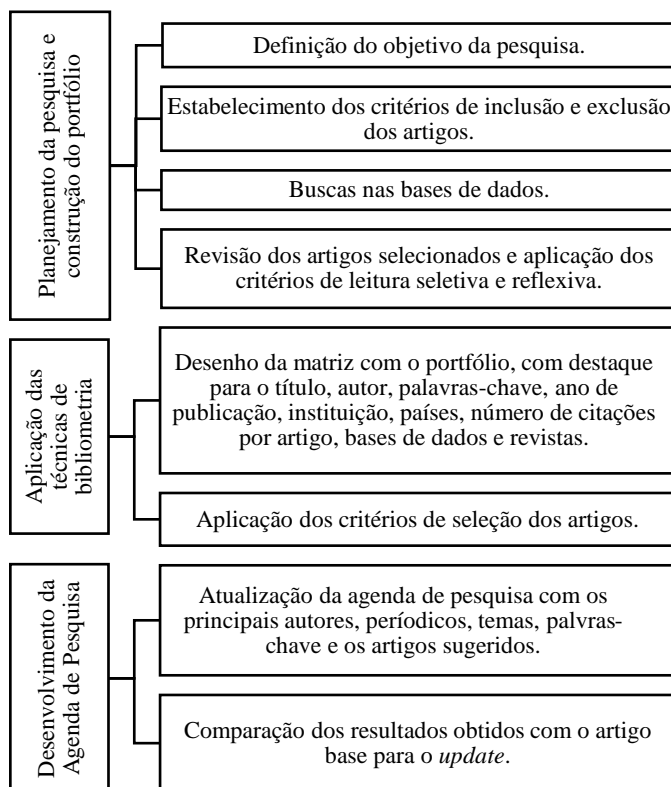


Fig. 1. Processo de revisão sistemática utilizado na busca e análise de material da pesquisa, adaptado de [1].

O processo sistematizado para o desenvolvimento da pesquisa e atualização da revisão sistemática com base no estudo de Fenerich et al. [1] foi dividido em três etapas: Planejamento da pesquisa e seleção de artigos para compor o portfólio da pesquisa; a análise bibliométrica do portfólio e, por fim, o desenho da agenda de pesquisa e a comparação dos resultados obtidos com os observados em Fenerich et al. [1], por meio dos indicadores bibliométricos.

A construção do portfólio da pesquisa iniciou-se com a definição dos parâmetros de busca para o tema de eficiência energética (EE) em ambientes produtivos, com foco nos estudos que apresentam indicadores, modelos e referências para gestão estratégica e operacional de energia em ambientes industriais; publicações no idioma inglês, cujas fontes principais foram as bases de dados: *Science Direct*, *Emerald*, *Springer*, *IEEE Xplorer*, *ISI Web of Knowledge*, *Scopus* e *Cambridge*.

A seleção se deu por artigos científicos completos publicados em periódicos, limitado ao período de 2015 a 2020 (março de 2020), sendo o recorte temporal baseado na data final das buscas do artigo base [1] para este *update*.

Foram utilizadas as seguintes *strings* de busca: “*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*”, sendo as buscas delineadas por título, palavras-chave e resumo.

Com o intuito de manter a capacidade de análise dos textos e qualidade do material, foram seguidos os mesmos passos de [1], para orientação da leitura [9], partindo da leitura do título, palavras-chave do material bibliográfico, seguido de leitura exploratória, por meio da leitura do resumo do material, com a finalidade de identificar se as informações e/ou dados selecionados são pertinentes ao estudo a ser realizado. O próximo passo foi realizar uma leitura seletiva, por meio da identificação da obra (referência bibliográfica e localização da obra), caracterização (busca do tema central, objetivos, conceitos utilizados e referencial teórico) e definição das contribuições para o presente estudo. A leitura seletiva serviu para orientar sobre quais as publicações deveriam passar por uma leitura crítica reflexiva, direcionada aos artigos que descreveram indicadores de EE em ambientes produtivos, que utilizam um modelo de referência, que desenvolveram ou adotaram um procedimento para o desenvolvimento dos indicadores de EE, que relataram recomendações sobre o uso dos indicadores de desempenho em ambientes produtivos, além de apresentar modelos estratégicos e/ou operacionais existentes na literatura relacionados à EE em ambientes industriais.

Durante a análise dos artigos, foram extraídas as seguintes informações: palavras-chaves destacadas, ano de publicação, periódico de publicação *versus* quantidade de material selecionado, número de citações de cada artigo selecionado, levantamento dos autores mais citados, número de artigos por autor, temas, instituição e país de estudo, o que permitiu a realização da bibliometria e da atualização da agenda.

Ressalta-se que os termos destacados em negrito no texto são os recorrentes em relação ao estudo de Fenerich et al. [1], sendo uma forma de mostrar as similaridades encontradas no *update* em relação ao artigo base, o que também evidencia as mudanças nas pesquisas.

No desenvolvimento da pesquisa foi utilizado um *software* de apoio denominado StArt, que é uma ferramenta gratuita desenvolvida no LaPES (Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software) da UFSCAR (Universidade Federal de São Carlos) [11], o qual permite a construção de um protocolo de pesquisa e facilita o processo de revisão dos artigos, pois possibilita a importação da pesquisa feita nas bases de dados, fornecendo as informações de cada publicação como o nome, autores, palavras-chave, periódico, ano e resumo, possibilitando que sejam aplicados alguns filtros e sejam realizadas análises.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A. Análise Bibliométrica

A bibliometria contribui na identificação de padrões históricos, tendências e interesses de pesquisa, resultando em previsões precisas de um campo de pesquisa. A análise bibliométrica é frequentemente utilizada para avaliação da performance em diferentes níveis científicos [12].

As buscas iniciais retornaram em 14.180 artigos, sendo que destes, 7.319 foram descartados por estarem duplicados e outros 6.686, após leitura de títulos e resumo, foram descartados por não se enquadrarem nos critérios de inclusão estabelecidos. Desta forma, foram selecionadas para esta pesquisa 185 publicações das bases estabelecidas sendo que o número de publicações incluídas, são em sua maioria pertencentes às bases *Scopus* e *Web of Science*, considerando que essas foram as primeiras bases em que foram feitas as buscas de material para a pesquisas, visto que possuem uma quantidade maior de arquivos. Ao acrescentar os documentos das demais bases, identificou-se duplicação de arquivos, o que acarretou na entrada de um número menor documentos das outras bases, como pode ser observado na Fig. 2.

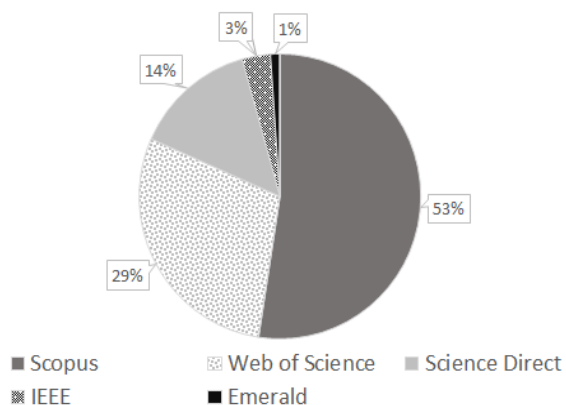


Fig. 2. Classificação de artigos aceitos por base (*Springer e Cambridge com 0%*).

Os critérios de exclusão estão relacionados a publicações que não possuem a versão completa disponível, publicações cinzas ou que não atingem o objetivo da pesquisa.

Na Tabela I pode-se observar os critérios utilizados para inclusão de material e a quantidade encontrada em cada um. Como pode ser verificado, grande parte das publicações selecionadas apresentam correlação entre eficiência energética, estratégia e operações.

As publicações aceitas foram classificadas em três categorias, algumas dessas foram identificadas em mais de um critério de inclusão (I). A maior parte das publicações foram identificadas como da categoria Estratégia (43,24%), seguida da categoria Práticas (35,14%) e da categoria Indicadores (24,32%), demonstrando que existem poucas publicações relacionadas à indicadores, mesmo representando uma parte importante do desenvolvimento da EE, pois estimula a prática de controle e gestão energética na redução do consumo e melhor aproveitamento desse recurso.

TABELA I
QUANTIDADE DE PUBLICAÇÕES EM RELAÇÃO AOS CRITÉRIOS DE INCLUSÃO (I) DO PROTOCOLO DE PESQUISA

Crítérios	Frequência
(I) Estudos que correlacionam eficiência energética, estratégia ou operação.	122
(I) Estudos que apresentam modelos estratégicos ou operacionais de eficiência energética.	40
(I) Estudos que descrevem indicadores de eficiência energética.	33
(I) Estudos que descrevem práticas e/ou procedimentos para o cálculo de desempenho energético nos sistemas produtivos.	21
(I) Estudos que descrevem indicadores de desempenho produtivos que contemplem o uso de energia.	17
(I) Estudos que descrevem procedimentos adotados para o desenvolvimento de indicadores de eficiência energética.	14

Após a avaliação dos critérios, buscou-se demonstrar a quantidade de artigos publicados por ano nas bases de dados analisadas no artigo de Fenerich *et al.* [1] (período até 2014) e na atual pesquisa (2015 a 2020). Conforme a Fig. 3, pode-se identificar uma tendência de crescimento de pesquisas relacionadas a partir do ano de 2007, com destaque para o ano de 2019, com 58 publicações sobre o tema, refletindo que o meio acadêmico está em busca de alternativas para que haja uso racional dos recursos energéticos, a fim de propiciar maior eficiência às indústrias, para que o segmento de manufatura possa se manter competitivo no atual cenário econômico e alcance o desenvolvimento sustentável.

No trabalho realizado por Fenerich *et al.* [1] foram identificadas 186 publicações (1994 a 2014) e no período de 2015 a 2020 foram identificadas 185 publicações, a quantidade de publicações se assemelham, no entanto o recorte temporal é de 5 anos e não 10. Considerando o período de ambos, verifica-se que entre 2015 e 2020, a média é de 37 publicações por ano, que é 25,13% maior que no período de 1994 a 2014, com média de 11 trabalhos por ano, o que demonstra a crescente exploração sobre o assunto pela busca de melhores condições de produção, com melhor aproveitamento dos recursos e desenvolvimento sustentável.

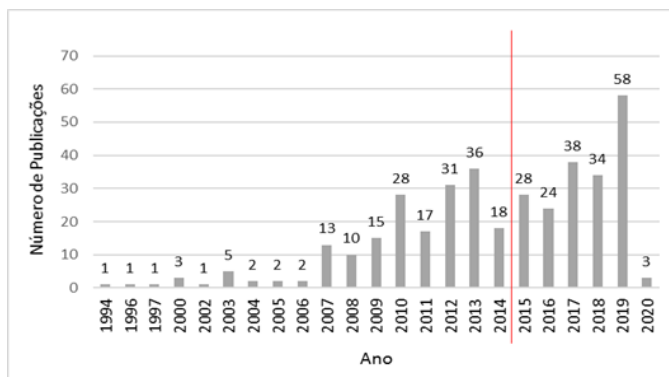


Fig. 3. Número de publicações por ano.

Como forma de quantificar os dados, são descritos na literatura índices para a análise bibliométrica [10], a partir da quantidade de publicações por ano (TP), a quantidade de autores nas publicações por ano (AU), o número de vezes que os artigos são citados (NR), além do número médio de autores por artigo (AU/TP) e o número médio de vezes que os artigos são citados (NR/TP). Os referidos índices dos artigos selecionados podem ser visualizados na Tabela II.

TABELA II
CARACTERÍSTICAS DAS PUBLICAÇÕES EM EE NOS
AMBIENTES INDUSTRIAIS DE 2015 A 2020

Ano	TP	AU	NR	AU/TP	NR/TP
2015	28	90	713	3,2	25,5
2016	24	78	583	3,3	24,3
2017	38	128	605	3,4	15,9
2018	34	125	337	3,7	9,9
2019	58	237	277	4,1	4,8
2020	3	13	2	4,3	0,7
Média	36,4	131,6	503,0	3,5	16,1
Média do artigo [1]	11,1	27,2	155,4	2,3	44,1

Para o cálculo da média não foram consideradas as publicações de 2020, pelo fato deste período não estar fechado durante a conclusão da pesquisa e desta forma não representar a totalidade anual de artigos como nos outros anos avaliados.

Ao observar os indicadores da Tabela II, verifica-se que a relação da quantidade de autores e o número de publicações por ano (AU/TP), indica uma média de 3,5 autores por publicação, um aumento de 52,1% se comparado com a média de 2,3 autores identificada por [1], o que indica um aumento no número de pesquisadores sobre o tema. Já a relação do número de citações e o número de publicações por ano (NR/TP), permite a verificação de que os artigos dos anos de 2015 a 2017 são mais citados, pois é fato que publicações mais recentes tendem a ser menos citadas. Se comparado ao estudo de [1], percebe-se um aumento progressivo no número de publicações e autores com estudos na área por ano, sendo que em [1], o ano de 2013 apresentou o maior índice em relação a TP (37) e AU (73), o que demonstra um crescimento de 56,7% no número de publicações e de 224,6% no incremento de autores se comparado com o ano de 2019 (ano mais representativo na pesquisa), demonstrando um crescimento significativo de pesquisas e pesquisadores em EE.

Outro quesito observado foi em relação aos países que mais publicaram no período pesquisado. A **China** se destaca com a maior representatividade, seguida por **EUA, Reino Unido, Itália, Alemanha, Suécia, África do Sul**, Brasil, **Espanha, Índia**, Portugal, Rússia, Coréia do Sul, **Irlanda** e **Nigéria**, totalizando 82,2% das publicações, como pode ser observado na Fig. 4. O gráfico da Fig. 4 foi desenvolvido por meio da curva de Pareto e apresenta um recorte com os países que representam 82,2% do total de publicações e publicaram 3 ou

mais trabalhos. Os países com duas publicações no período analisado são Austrália, Bélgica, Colômbia, França, Irã, Malásia, México, Suíça, Turquia, além de outros 15 países com apenas 1 publicação cada.

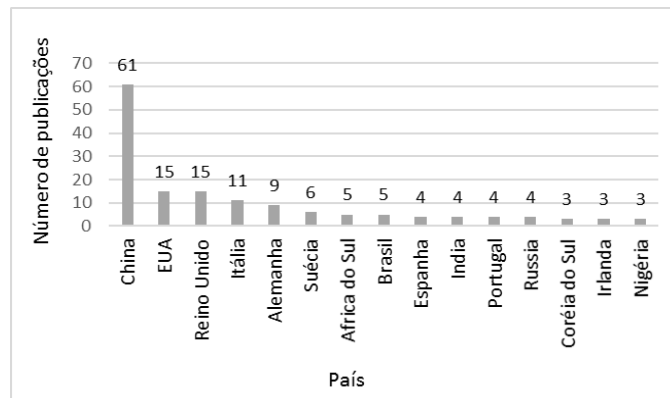


Fig. 4. Número de publicações por país.

Na pesquisa de [1], os EUA eram líderes em número de publicações, sendo que a China aparecia em segundo lugar neste quesito, havendo atualmente a inversão deste cenário.

Avaliando as publicações chinesas, houve um artigo publicado em 2020 (ano em curso), 21 artigos publicados em 2019, em 2018 e 2017 foram 13 artigos por ano, em 2016 a China publicou 8 artigos e em 2015 houve 5 publicações.

Em relação aos artigos mais citados, pode-se destacar que 33 artigos do portfólio (com mais de 25 citações por artigo) são responsáveis por 55,26% das citações. Os 3 artigos mais citados (mais de 70 citações) são: “*Energy management in industry - a systematic review of previous findings and an integrative conceptual framework*”, escrito por *Mike Schulze, Henrik Nehler, Mikael Ottosson* e *Patrik Thollander* no ano de 2016 e publicado pelo periódico *Journal of Cleaner Production* com 129 citações [13]; o artigo intitulado “*A performance evaluation of the energy, environmental, and economic efficiency and productivity in China: An application of global data envelopment analysis*”, escrito por *Zhaohua Wang* e *Chao Feng*, em 2015 publicado pelo periódico *Applied Energy* com 87 citações [14]; e o artigo “*Sources of production inefficiency and productivity growth in China: A global data envelopment analysis*” também escrito por *Zhaohua Wang* e *Chao Feng*, em 2015 no periódico *Energy Economics* com 76 citações [15].

Já os periódicos que apresentaram maior número de publicações relacionadas ao tema em estudo foram: *Journal of Cleaner Production* (IF- JCR:3,844), *Applied Energy* (IF- JCR:5,613), *Energy Policy* (IF- JCR:2,575) e *Energy* (IF- JCR: 4,159). Se comparado com o estudo de [1], o periódico *Energy Efficiency* (IF- JCR:1,060) era o que apresentava o maior número de publicações até 2014, seguido por *Energy Policy*, *Applied Energy* e *International Journal of Energy Sector Management*, sendo possível notar que 2 periódicos permanecem na lista dos que mais publicam pesquisas em EE, onde atualmente o *Journal of Cleaner Production* desponta com a maioria dos artigos publicados. A Tabela III apresenta um recorte dos periódicos que publicaram mais de 6 trabalhos, o número de publicações no período analisado, bem como a

porcentagem acumulada.

TABELA III
PERIÓDICOS COM MAIS PUBLICAÇÕES, NÚMERO DE PUBLICAÇÕES
E PERCENTUAL ACUMULADO

Periódico	Número de Publicações	% Acumulado
Journal of Cleaner Production	62	33,51%
Applied Energy	23	45,95%
Energy Policy	17	55,14%
Energy	16	63,78%
Energy Efficiency	7	67,57%
International Journal of Advanced Manufacturing Technology	6	70,81%
TOTAL PARCIAL	131	70,81%

Destaca-se que as Instituições que mais desenvolveram estudos na área foram: *Beijing Institute of Technology*, com 6 publicações e de *Chongqing University* com 4 trabalhos publicados. *Linköping University*, *Northwestern Polytechnical University*, *Xiamen University* e *Zhejiang University* apresentaram 3 artigos cada. As demais instituições apresentaram apenas uma ou duas publicações de 2015 a 2020. Se comparado com as pesquisas de [1], nota-se que até 2014, a *Linköping University* (Suécia) era a instituição com maior número de publicações (6 trabalhos), seguido pela *Tsinghua University* e *Universidad de Sevilla*, com 3 trabalhos cada, sendo possível verificar que as instituições chinesas estão na vanguarda das pesquisas em EE.

Referente aos autores que mais contribuíram com o tema, destacam-se *Yingfeng Zhang* com 4 artigos publicados, seguido de *Boqiang Lin*, *Chao Feng*, *Congbo Li*, *Haidong Yang*, *Jianjun Ouyang*, *João Henriques*, *Justina Catarino*, *Wei Cai* e *Yi-Ming Wei* com 3 artigos publicados cada. Há ainda uma lista de 42 autores que publicaram 2 artigos cada, enquanto os demais apresentaram apenas uma publicação.

A Tabela IV apresenta os autores com maior número de publicações, a instituição correspondente e o país de origem. Percebe-se uma mudança em relação aos principais autores, sendo que até 2014, destacavam-se *Ernst Worrell* (*Utrecht University*) com 5 artigos, além de *Charles Goldman* (*The Hong Kong Polytechnic University*) com 3 publicações e *Clara Inés Pardo Martínez* (*University of Wuppertal*), também com 3 publicações. Estes autores não apresentaram destaque em relação ao número de publicações após o ano de 2015, fato este que pode estar relacionado com a migração de instituições de referência nas pesquisas em EE.

TABELA IV
PRINCIPAIS AUTORES RELACIONADOS

Autores	Número de Publicações	Instituição	País
Yingfeng Zhang	4	Northwestern Polytechnical University	China
Boqiang Lin	3	Xiamen University	China
Chao Feng	3	Beijing Institute of Technology	China
Congbo Li	3	Chongqing University	China
Haidong Yang	3	Guangdong University of Technology	China
Jianjun Ouyang	3	Shandong Technology and Business University	China
João Henriques	3	Laboratório Nacional de Energia e Geologia	Portugal
Justina Catarino	3	Laboratório Nacional de Energia e Geologia	Portugal
Wei Cai	3	Southwest University	China
Yi-Ming Wei	3	Beijing Institute of Technology	China

Sobre as palavras-chave recorrentes nos artigos analisados, o termo “*energy efficiency*” apresentou a maior ocorrência, seguido de: “*energy management*”, “*energy consumption*”, “*sustainable manufacturing*”, “*industry*”, “*energy conservation*”, “*sustainability*”, “*data envelopment analysis (DEA)*”, “*optimization*”, “*China*”, “*energy policy*”, “*barriers*”, “*cleaner production*”, “*CNC*”, “*demand response*”, “*energy*”, “*energy saving*”, “*industrial energy efficiency*”, “*ISO 50001*”, “*resource efficiency*” e “*small and medium-sized enterprises*”. Se comparado com [1] (destaque em negrito), nota-se que surgem mais artigos com viés voltado às áreas de sustentabilidade, desenvolvimento da manufatura e sua relação com a eficiência energética.

Os temas das publicações foram classificados em grupos para identificar o foco de pesquisa de cada publicação, sendo considerado apenas os artigos com mais de 7 citações, que representa 52,97% do total dos artigos. A classificação dos artigos é apresentada na Tabela V, que descreve os grupos e uma breve descrição dos tópicos relacionados.

Destaca-se que um número considerável das publicações é atribuído às questões de consumo, custo e economia de energia, causas ambientais e a sustentabilidade, representando 35,67% das publicações. Identificou-se que alguns artigos se referem a mais de um grupo a fim de melhor direcionar os artigos. Os trabalhos foram classificados quanto ao tema e depois foram agrupados conforme a similaridade dos temas de pesquisa para que fossem associados os trabalhos com temática semelhante.

TABELA V
CLASSIFICAÇÃO DOS TEMAS

	Descrição	Artigos
Grupo 1	Reduções de custo, redução do consumo de energia, consumo de energia, custo de energia, economia de energia e controle de custos.	[19]; [21]; [26]; [32]; [39]; [41]; [42]; [43]; [44]; [45]; [47]; [58]; [59]; [60]; [62]; [68]; [76]; [82]; [83]; [90]; [91]; [61]; [73]; [89]; [97]; [103]; [110]; [116]
Grupo 2	Desempenho energético, desempenho ambiental, desempenho da operação, desempenho de economia de energia.	[13]; [14]; [30]; [48]; [49]; [63]; [66]; [69]; [77]; [119]
Grupo 3	Eficiência energética nos processos industriais, recuperação, reutilização e conservação de energia na indústria, armazenamento de energia, eficiência energética nos processos, produtividade e energia.	[17]; [23]; [25]; [28]; [34]; [46]; [50]; [51]; [52]; [53]; [54]; [55]; [74]; [78]; [84]; [85]; [92]; [120]
Grupo 4	Redução da emissão de carbono, redução da emissão de gases de efeito estufa, sistemas de fabricação sustentável, sustentabilidade ambiental, energia renovável em fábricas, valor sustentável e produção mais limpa, poluição ambiental.	[16]; [20]; [27]; [29]; [37]; [56]; [64]; [65]; [70]; [75]; [79]; [86]; [93]; [94]; [61]; [73]; [89]; [97]; [81]; [57]
Grupo 5	Gerenciamento da energia na indústria, gerenciamento térmico, gestão da sustentabilidade, gestão de energia elétrica e ISO 50001, gestão do consumo de energia, gestão industrial de conservação de energia na indústria	[18]; [22]; [31]; [40]; [71]; [72]; [80]; [87]; [81]; [109]; [111]; [112]; [115]; [117]; [118]
Grupo 6	Estratégia de fabricação sustentável, estratégia de migração, Estratégias de gestão de energia, integração da sustentabilidade no processo de desenvolvimento de produtos, inovação em eficiência energética.	[24]; [35]; [36]; [38]; [95]; [96]; [114]
Grupo 7	Políticas energéticas governamentais, políticas energéticas organizacionais, políticas de produção.	[33]; [88]; [57]; [119]
Grupo 8	Avaliação da eficiência de utilização de energia, sistema de controle de energia, avaliação da sustentabilidade dos recursos energéticos, eficiência e ineficiência do sistema, monitoramento do uso de energia, indicador de eficiência energética.	[15]; [67]; [113]

Os temas estão agrupados em: Grupo 1 (Economia), Grupo 2 (Performance), Grupo 3 (Processos), Grupo 4 (Ambiental), Grupo 5 (Gestão), Grupo 6 (Estratégia), Grupo 7 (Políticas) e Grupo 8 (Controle).

Com base nas palavras-chave e na análise dos estudos relacionados, foi possível delinear as tendências das pesquisas em EE. A Tabela VI apresenta as palavras-chave recorrentes por ano, o que permite avaliar as tendências em relação às pesquisas em EE.

No ano de 2015 pode-se observar o foco das pesquisas em sustentabilidade [93] e novas formas de produção para tornar o consumo mais eficiente, com assuntos voltados para questões econômicas, gestão de energia [101] e a redução do consumo, surgindo propostas de práticas para a redução do consumo [102] e o desenvolvimento de processos mais enxutos [60].

TABELA VI
PALAVRAS CHAVE MAIS FREQUENTES POR ANO

Ano	Palavras-Chave
2015	Energy efficiency , Sustainable Manufacturing, Energy , Energy management , Innovation, Machining feature, Production inefficiency, SME e Sustainability .
2016	Energy efficiency , Energy management , Barriers , Energy saving , Industry e Pulp and paper industry.
2017	Energy efficiency , CNC machining, Energy conservation , Energy consumption , Industry, Demand side management, eco-efficiency, emissions footprints, Energy management , Energy performance contracting, Game model, Industrial energy efficiency , production, Small and medium-sized enterprises, SOA, Sustainability e Sustainable manufacturing.
2018	Energy efficiency , Energy management , Sustainable manufacturing, Energy conservation , energy policy, Energy-saving strategy, Industry, multi objective optimization, Resource efficiency, Small and medium-sized companies e Sustainability.
2019	Energy efficiency , Energy consumption , Optimization, Energy management , Energy policy, Productivity, Cleaner production, Cyber physical systems (CPSs), Distributed energy system, Energy monitoring, Energy performance, Energy saving , Energy service company, Environmental sustainability, Ethylene production, Exergy analysis, Industry, Industry 4.0, Lean manufacturing, Life cycle assessment, Production Scheduling e Sustainability .
2020	Cigarette companies, Clean energy, CO2 emission reduction potential, Corporate Energy Strategy, Data envelopment analysis, Emerging economy, Energy , Energy and environmental efficiency, Energy Efficiency , Energy system development and management, Energy-saving potential, Grey DEMATEL, Russian Energy Strategy, Sensitivity analysis e Sustainability assessment indicators.

Neste período há preocupação com a imagem da empresa e o atendimento à legislação [55], pois com o crescente aumento do consumo de energia, surge a necessidade de ponderar os impactos causados pela emissão de gases de efeito estufa. Desta forma, percebe-se a relação da EE como a tendência de um futuro mais sustentável, sendo necessário buscar inovações que possam contribuir para suprir a demanda por energia na indústria [33]; [24], levando em consideração a necessidade de reduzir as emissões de carbono.

Já no ano de 2016, surge a preocupação com as barreiras impostas tanto pelo mercado de energia quanto pelas empresas para que a EE seja alcançada [36]. Temas como emissão de gases do efeito estufa e produção sustentável são correlacionados com proposições de uso de tecnologias para auxiliar na tomada de decisões relacionadas a gestão de energia [57], sugerindo abordagens estruturadas para controlar o consumo e analisar os impactos ambientais [103].

Em 2017 nota-se uma busca por fontes de energia que sejam, ao mesmo tempo mais econômicas, renováveis e com baixa emissão de gás carbônico [92]. Nota-se proposições sobre formas de armazenamento da energia gerada e a redução do desperdício, buscando por novas tecnologias capazes de proporcionar um maior armazenamento a um custo viável [17].

O ano de 2018 desponta com preocupações relacionadas às políticas [104] e estratégias em EE em relação aos países e as empresas para fomento e priorização da EE, permanecendo o viés da sustentabilidade, sendo também abordada a importância

da fabricação sustentável para o desenvolvimento sustentável [65].

O foco dos estudos de 2019 tem relação com as tendências da Indústria 4.0 [95] e a Inteligência Artificial como possibilidade de controlar microrredes, a fim de proporcionar maior economia de energia, independência energética e eficiência ao integrar diversas soluções, como sistema eólico e fotovoltaico, controle de cargas e armazenamento [105], além de indicar situações de desperdício com o uso de ferramentas como IoT, buscando além da otimização dos processos, uma produção mais limpa e melhoria da performance energética [106].

Os poucos estudos disponíveis até o momento do ano de 2020 seguem na direção de busca de estratégias corporativas [107] para produção mais limpa e redução de emissões de CO₂.

Com a análise das palavras chave é possível perceber como a EE se desenvolveu nos últimos 5 anos em ambientes industriais, enquanto outros temas apresentam oportunidades a serem melhor explorados nos próximos anos como o desenvolvimento de serviços e produtos sustentáveis e a indústria 4.0.

B. Agenda de Pesquisa

O aprimoramento de processos produtivos, bem como a consciência no uso dos sistemas, são pontos chaves para a sustentabilidade em relação à EE, promovendo uma otimização dos recursos energéticos nas operações. Uma das possibilidades relevantes para que exista um diagnóstico da EE é a elaboração de agendas de pesquisa, a fim de mapear estudos que vislumbram a adoção de estratégias em eficiência energética, bem como a utilização de indicadores que evidenciem uma situação com oportunidades de melhoria e práticas que direcionam as ações para o alcance dos objetivos estratégicos.

A agenda de pesquisa apresentada na Tabela VII está dividida nas categorias Sustentabilidade e Operações, com o desmembramento das subcategorias: estratégia, indicadores e práticas, com o objetivo de identificar os periódicos presentes em cada categoria e subcategoria, os principais autores, os temas, as palavras-chave e as publicações relevantes como sugestão de leitura.

TABELA VII
AGENDA DE PESQUISA DE EE EM AMBIENTES INDUSTRIAIS

Eficiência Energética em Operações: Agenda de Pesquisa	
Estratégia	
Periódicos	Journal of Cleaner Production, Applied Energy , International journal of advanced manufacturing technology, International Journal of Applied Engineering Research, Energy, Energy Policy , European journal of industrial engineering, International journal of precision engineering and manufacturing-green technology.

Temas	Energy management, Energy efficiency , energy consumption, energy efficiency in the industry, Energy performance, systems operation strategy, energy policy, energy conservation in industry, renewable energy, worker behavior, energy consumption and greenhouse gas emissions greenhouse effect, energy consumption in factories, operation performance, energy efficiency and environmental awareness, innovation, energy corporate strategy , Manufacturing strategy, ISO 50001 , energy control system, decision support system, distributed energy systems.
Autores	Mike Schulze, Henrik Nehler, Mikael Ottosson, Patrik Thollander, Yong Wang, Lin Li, Pablo Vallejos-Cifuentes, Camilo Ramirez-Gomez, Ana Escudero-Atehortua, Elkin Rodriguez Velasquez, Boqiang Lin, Qingying Zheng, Zeyuan Yang, Xiaohu Xu, Dahu Zhu, Sijie Yan, Han Ding, Min Wei, Seung Ho Hong, Musharraf Alam, Timm Weitzel, Christoph H. Glock, Xiaolei Wang, Boqiang Lin, Arne van Stiphout, Kristof De Vos, Geert Deconinck, Johannes Fresner, Fabio Morea, Christina Krenn, Juan Aranda Uson, Fabio Tomasi, Lujia Feng, Laine Mears, Cleveland Beaufort, Joerg Schulte, Chao Feng, Miao Wang, Yun Zhang, Guan-Chun Liu.
Palavras-chave	Energy efficiency , Energy conservation, Energy management, Industry, Optimization, CNC machining, Demand response, Distributed energy system, Energy , Energy audit, Energy management system , Energy performance contracting, Energy Saving , Game model, Non-energy benefits, Production Scheduling, Sustainable machining.
Artigos sugeridos	[43]; [21]; [99]; [13]; [21]; [22]; [31]; [100]; [30]; [42]; [32]; [28]; [37].

Indicadores

Periódicos	Energy, Journal of Cleaner Production, Applied Energy, Energy Policy.
Temas	Energy saving, energy management, energy consumption, energy efficiency, operation performance, energy strategy, energy demand, energy performance, energy-environmental performance, energy savings, emission reduction, system efficiency, energy strategy system operation, energy efficiency indicator , innovation in energy efficiency, energy efficiency assessment system.
Autores	Yücel Ozkara, Mehmet Atak, Juan Wang, Tao Zhao, Enrico Cagno, Andres Ramirez-Portilla, Andrea Trianni, Hironori Hibino, Takamasa Horikawa, Makoto Yamaguchi.

Palavras-chave	Energy efficiency , Economic analysis, Energy consumption , Ethylene production, Evaluation, Industry, ISO 50001, Productivity.
Artigos sugeridos	[78]; [41]; [26]; [27]; [35]; [41].

Práticas

Periódicos	Journal of Cleaner Production , Applied Energy , Energy Policy, IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, South African journal of industrial engineering.
Temas	Energy management, energy consumption, energy efficiency, energy demand, energy efficiency in industry, Energy costs, energy savings, emission reduction, Energy storage, energy conservation, energy demand and carbon emissions, renewable energy, thermal management, systems management, innovation in energy efficiency, heat reuse of industrial waste, energy services, manufacturing systems.
Autores	Alessia Arteconi, Eleonora Ciarrocchi, Quanwen Pan, Francesco Carducci, Gabriele Comodi, Fabio Polonara, Ruzhu Wang, Jian-Ya Ding, Shiji Song, Rui Zhang, Raymond Chiong, Cheng Wu, Lingbo Kong, Ali Hasanbeigi, Lynn Price, María Teresa Costa-Campi, José García-Quevedo, Agustí Segarra, Minbo Yang, Xiao Feng, Guilian Liu.
Palavras-chave	Energy efficiency , Energy management , Energy consumption , Energy savings, Industry, Manufacturing, Optimization, scheduling.
Artigos sugeridos	[76]; [68]; [91]; [17]; [19]; [23]; [45].

Eficiência Energética e Sustentabilidade: Agenda de Pesquisa

Estratégia

Periódicos	Journal of Cleaner Production, Energy.
Temas	Energy consumption, energy management, sustainable development in industry, energy saving in manufacturing, energy efficiency, energy efficiency in industry, energy management in manufacturing, industrial carbon emissions, sustainability management, energy policies, environmental pollution in industry, reduction carbon emissions, reduce carbon emissions, energy efficiency assessment system, manufacturing sustainability, sustainability in product development process.
Autores	Wenwen Lin, Shengqiang Liu, Zhanpeng Xie, D.Y. Yu, Chaoyong Zhang, Xun Liu, Sanqiang Zhang, Yuhui Tian, Nevenka Hrovatin, Nives Dolsak, Jelena Zoric, João Henriques, Justina Catarino.
Palavras-chave	Energy efficiency , Sustainability, energy management, Sustainable manufacturing, Barriers, Energy consumption, Energy

	modeling, Green supply chain, Industrial energy efficiency, Small and medium-sized enterprises.
Artigos sugeridos	[98]; [36]; [108]; [41]; [34]; [50].

Indicadores

Periódicos	Journal of Cleaner Production, Energy Policy, Applied Energy, Energy Conversion and Management, International journal of computer integrated manufacturing.
Temas	Energy consumption, energy development, energy policy, assess the energy sustainability of resources and the environmental sustainability of the pollutant, environmental performance, Energy efficiency performance, energy performance, sustainable development, resource efficiency of manufacturing systems, energy efficiency, energy efficiency in the manufacturing system, greenhouse gas emissions, industrial carbon emissions, energy efficiency strategy, contaminant emissions, energy productivity, sustainable manufacturing systems, sustainability in the management of the energy system, Sustainable value and cleaner production.
Autores	Zhaohua Wang, Chao Feng, Ke Wang, Yi-Ming Wei, Lihong Peng, Xiaoling Zeng, Yejun Wang, Gui-Bing Hong, João Henriques, Justina Catarino, Chi Ung Song, Wankeun Oh.
Palavras-chave	Energy efficiency, Energy conservation, eco-efficiency, Cleaner production, emissions footprints, Energy policy, Environmental sustainability, production, Resource efficiency, SOA, Sustainable manufacturing.
Artigos sugeridos	[14]; [20]; [29]; [18]; [33]; [65].

Práticas

Periódicos	Journal of Cleaner Production, Applied Energy, Energy Efficiency , Energy Policy, Energy, Energy research & social science.
Temas	Energy reduction, energy consumption, Industrial emissions, sustainable management, energy policy, reduction of greenhouse gas emissions, energy conservation in the industry, energy saving performance, Energy performance, energy saving, material efficiency as an instrument energy efficiency in processes, manufacturing strategies, energy management, production inefficiency, sustainable operations in industry, optimization for minimum energy and sustainable manufacturing, energy recovery, cost reductions and carbon from industrial management, emission reduction, sustainability management, transition to sustainable energy.
Autores	Zhaohua Wang, Chao Feng, Giuseppe Ingarao, Yingfeng Zhang, Shuaiyin Ma, Haidong Yang,

	Jingxiang Lv, Yang Liu, Yansong Guo, Joost R. Dufflou, Jun Qian, Hao Tang, Bert Lauwers.
Palavras-chave	Energy efficiency , Sustainable manufacturing, Chile, Cleaner production, Energy-intensive manufacturing industries, Industry, Lean manufacturing.
Artigos sugeridos	[39]; [15]; [93]; [38]; [44]; [46].

Com o desenvolvimento da agenda foi constatado que a categoria de Operações apresentou a maior parte dos artigos totalizando 61,1% do total. Destes, 45,1% são artigos relacionados a estratégias utilizadas para o desenvolvimento da EE nas indústrias, 23% apresentaram práticas para a EE e 31,9% são relacionados ao uso de indicadores para o gerenciamento de energia em ambientes industriais.

Por meio da agenda de pesquisa, foi possível ampliar o olhar no direcionamento das pesquisas em EE em ambientes industriais, a qual apresenta uma visão sobre a evolução das pesquisas acerca do tema, possibilita a constatação de quais são os assuntos, autores e periódicos que estão em ascensão em comparação a pesquisa anterior [1].

Verificou-se a predominância de estratégias de energia relacionadas ao consumo, gestão de energia, emissão de poluentes pela indústria e energia renovável, e também apresentando trabalhos que abordam a questão das políticas energéticas que determinam a busca por processos produtivos mais eficientes, produzindo mais com a mesma quantidade de recursos, o que permite também a busca pelo desenvolvimento sustentável.

Em todo o quadro, o modo como se encaminham as pesquisas leva a percepção do desenvolvimento sustentável como uma área de pesquisa para uma futura agenda de pesquisa. O consumo, custo e economia de energia, juntamente com a redução de emissão e sustentabilidade foram os temas mais relevantes na pesquisa de EE.

Além disso, a ocorrência de artigos com a ISO 50001 aponta que as empresas estão incentivando políticas compatíveis com a norma, auxiliando também a utilização de tecnologias para o gerenciamento de energia.

A agenda de pesquisa contribui para que futuros pesquisadores encontrem modelos, práticas, estratégias e indicadores utilizados em aplicações recentes de EE em ambientes industriais.

Portanto, estudos futuros tendem a incorporar características do desenvolvimento sustentável às práticas e estratégias de EE na manufatura a fim de diminuir as dificuldades comumente encontradas na implementação da EE nas empresas.

IV. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A EE em ambientes industriais busca otimizar o uso de energia, mantendo a produtividade e reduzindo o consumo energético ou aumentando a produtividade sem que haja elevação do consumo de energia, tendo potencial de aumentar a competitividade no setor e também reduzir os fatores ambientais negativos do processo produtivo.

Avaliando os resultados obtidos na análise bibliométrica,

bem como a agenda de pesquisa sugerida para estudo em comparação com o estudo anterior [1], pode-se verificar que as publicações em EE na manufatura seguem uma tendência de crescimento desde 2007, atingindo maior intensidade no ano de 2019. Além disso, foi possível identificar alguns pontos interessantes, como no caso da China que é o país que se destacou em relação a quantidade de trabalhos publicados, no qual até 2014 os EUA lideravam os estudos na área. Quanto as instituições que apresentam maior volume em publicações, atualmente a chinesa *Beijing Institute of Technology* lidera com 6 publicações, sendo que no período anterior a 2015, a *Linkoping University* da Suécia era a mais atuante na área. O periódico que apresentou mais publicações sobre o tema foi o *Journal of Cleaner Production*, sendo que na pesquisa de [1], o *Energy Efficiency* aparecia com mais artigos sobre EE de acordo com os critérios elegidos.

Este trabalho teve como objetivo realizar uma análise bibliométrica e atualizar a agenda de pesquisa em EE em ambientes de manufatura, que foram atendidos após a construção de um portfólio, leitura e análise de 185 artigos. Os trabalhos elencados fornecem uma série de aspectos sobre a EE e o caminho das pesquisas na área. Este artigo também fornece uma gama de assuntos a serem estudados, que podem ser definidos por vários critérios e que também pode ser identificado pela prioridade do tema ou pesquisa.

O trabalho apresenta algumas limitações, como por exemplo, os parâmetros de pesquisa, que podem em algum momento restringir a listagem dos estudos, a limitação quanto às bases de dados em relação as publicações, os filtros e a disposição das publicações.

A principal contribuição desta pesquisa está em apresentar uma atualização da agenda de pesquisa em EE em ambientes industriais, além da discussão de várias questões importantes relacionadas ao tema, as quais podem servir como base para trabalhos futuros que visam promover maior eficiência no uso do recurso energia. Além disso, a pesquisa fornece informações atualizadas sobre o tema aos gestores de indústrias e ao meio acadêmico.

Assim como sugestão para pesquisas futuras, cabe a continuação do estudo, ampliando-se as bases de busca, a fim de obter um rastreamento ainda mais rico acerca do tema, favorecendo a percepção sobre a evolução do tema e tendências de EE na indústria. Cada tópico deve ser analisado com maior profundidade, identificando os objetivos e técnicas aplicada nas pesquisas, bem como uma maior ênfase na área de sustentabilidade. Como a energia tem efeito fundamental no desenvolvimento sustentável das indústrias de manufatura, é substancial a constante melhoria na EE.

O que se propõe na agenda não é somente uma listagem de temas, mas sim uma perspectiva geral sobre o tema de pesquisa, para que se tenha atenção sobre o encaminhamento e rumo da pesquisa em EE, visto que é preciso atentar para os direcionamentos da pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

REFERENCES

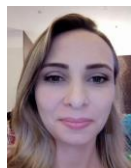
- [1] F. C. Fenerich; S. E. G. da Costa; E. P. de Lima. "Energy Efficiency in Industrial Environments: Overview and Research Agenda", *IEEE*, v. 15, pp 415-422, 2017.
- [2] K. O'Rielly; J. Jeswiet. "Strategies to improve industrial energy efficiency". *Procedia Cirp*, vol. 15, pp. 325-330, 2014.
- [3] K. Tanaka. "Assessment of energy efficiency performance measures in industry and their application for Policy". *Energy policy*, v. 36, n. 8, pp. 2887-2902, 2008.
- [4] J.M. Cullen; J.M Allwood. "Theoretical efficiency limits for energy conversion devices". *Energy*, vol. 35, pp. 2059-2069, 2010.
- [5] T. Gutowski et al. "A thermodynamics characterization of manufacturing processes". *IEEE international symposium on electronics and the environment*, pp. 137-142, 2007.
- [6] IEA (2019), *World Energy Investment 2019*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2019>.
- [7] C. Cooremans; A. Schönerberger. "Energy management: A key driver of energy-efficiency investment?" *Journal of Cleaner Production*, v. 230, p. 264-275, 2019.
- [8] Y. A. Çengel. "Energy efficiency as an inexhaustible energy resource with perspectives from the U.S. and Turkey". *International Journal of Energy Research*. 35:153–161, 2011.
- [9] T. C. S. Lima; R. C. T. Mioto. "Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica", *Revista Katálysis*, v. 10, n. SPE, pp. 37-45, 2007.
- [10] H. DU, L. Wei; L. Brown; A. Marilyn; Y. Wang; Z. Shi. "A bibliometric analysis of recent energy efficient literatures: an expanding and sifting focus". *Energy Efficiency*, v. 6, pp 177-190, 2013.
- [11] E. Munzlinger; F. B. Narcizo; J. E. R. Queiroz. "Sistematização de revisões bibliográficas em pesquisas da área de IHC". In *IHC Companion*, pp. 51-54, 2012.
- [12] K. Rodriguez; J. A. Moreiro. "The growth and development of research in the field of ecology", *Scientometrics*, v. 1, n. 35. Pp 59-70, 1996.
- [13] M. Schulze; H. Nehler; M. Ottosson; P. Thollander. "Energy management in industry—a systematic review of previous findings and an integrative conceptual framework". *Journal of Cleaner Production*, vol. 112, pp. 3692-3708, 2016.
- [14] Z. Wang; C. Feng. "A performance evaluation of the energy, environmental, and economic efficiency and productivity in China: An application of global data envelopment analysis". *Applied Energy*, vol. 147, pp. 617–626, 2015.
- [15] Z. Wang; C. Feng. "Sources of production inefficiency and productivity growth in China: A global data envelopment analysis". *Energy Economics*, vol. 49, pp. 380–389, 2015.
- [16] W. Lin et al "A Multi-objective teaching–learning-based optimization algorithm to scheduling in turning processes for minimizing make span and carbon footprint", *Journal of Cleaner Production*, v. 101, p. 337-347, 2015.
- [17] A. Arteconi et al "Thermal energy storage coupled with PV panels for demand side management of industrial building cooling loads". *Applied Energy*, v. 185, p. 1984-1993, 2017.
- [18] K. Wang; Y. M. Wei. "Sources of energy productivity change in China during 1997–2012: A decomposition analysis based on the Luenberger productivity indicator. *Energy Economics*, v. 54, p. 50-59, 2016.
- [19] J. Y. Ding et al "Parallel machine scheduling under time-of-use electricity prices: New models and optimization approaches". *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, v. 13, n. 2, p. 1138-1154, 2015.
- [20] L. Peng et al. "Analysis of energy efficiency and carbon dioxide reduction in the Chinese pulp and paper industry". *Energy Policy*, v. 80, p. 65-75, 2015.
- [21] Y. Wang; L. Li. "Time-of-use electricity pricing for industrial customers: A survey of U.S. utilities". *Applied Energy*, v. 149, p. 89-103, 2015.
- [22] P. Vallejos-Cifuentes et al. "Energy-Aware Production Scheduling in Flow Shop and Job Shop Environments Using a Multi-Objective Genetic Algorithm". *Engineering Management Journal*, v. 31, n. 2, p. 82-97, 2019.
- [23] L. Kong; A. Hasanbeigi; L. Price. "Assessment of emerging energy-efficiency technologies for the pulp and paper industry: a technical review". *Journal of Cleaner Production*, v. 122, p. 5-28, 2016.
- [24] M. T. Costa-Campi; J. García-Quevedo; A. Segarra. "Energy efficiency determinants: An empirical analysis of Spanish innovative firms". *Energy Policy*, v. 83, p. 229-239, 2015.
- [25] B. Lin; Q. Zheng. "Energy efficiency evolution of China's paper industry". *Journal of Cleaner Production*, v. 140, p. 1105-1117, 2017.
- [26] Y. Ozkara; M. Atak. "Regional total-factor energy efficiency and electricity saving potential of manufacturing industry in Turkey". *Energy*, v. 93, p. 495-510, 2015.
- [27] J. Wang; T. Zhao. "Regional energy-environmental performance and investment strategy for China's non-ferrous metals industry: a non-radial DEA based analysis". *Journal of Cleaner Production*, v. 163, p. 187-201, 2017.
- [28] Z. Yang et al. "On energetic evaluation of robotic belt grinding mechanisms based on single spherical abrasive grain model". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 104, n. 9-12, p. 4539-4548, 2019.
- [29] J. Henriques; J. Catarino. "Sustainable value and cleaner production - Research and application in 19 Portuguese SME". *Journal of Cleaner Production*, v. 96, p. 379-386, 2015.
- [30] T. Weitzel; C. H. Glock. "Energy management for stationary electric energy storage systems: A systematic literature review". *European Journal of Operational Research*, 264(2), 582-606 v. 264, n. 2, p. 582-606, 2018.
- [31] M. Wei; S. H. Hong; M. Alam. "An IoT-based energy-management platform for industrial facilities". *Applied Energy*, v. 164, p. 607-619, 2016.
- [32] X. Wang; B. Lin. "Factor and fuel substitution in China's iron & steel industry: evidence and policy implications". *Journal of cleaner production*, v. 141, p. 751-759, 2017.
- [33] C. Song; w. Oh. "Determinants of innovation in energy intensive industry and implications for energy policy". *Energy Policy*, v. 81, p. 122–130, 2015.
- [34] N. Hrovatin; N. D. sak; J. Zori. "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.
- [35] E. Cagno; A. Ramirez-Portilla; A. Trianni. "Linking energy efficiency and innovation practices: Empirical evidence from the foundry sector". *Energy Policy*, v. 83, p. 240-256, 2015.
- [36] J. Henriques; J. Catarino. "Motivating towards energy efficiency in small and medium enterprises". *Journal of Cleaner Production*, v. 139, p. 42-50, 2016.
- [37] A. van Stiphout; K. De Vos; G. Deconinck. "The impact of operating reserves on investment planning of renewable power systems". *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 32, n. 1, p. 378-388, 2016.
- [38] G. Ingarao. "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.
- [39] Y. Zhang et al. "A big data driven analytical framework for energy-intensive manufacturing industries". *Journal of Cleaner Production*, v. 197, p. 57-72, 2018.
- [40] J. Fresner et al. "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.
- [41] H. Hibino; T. Horikawa; M. Yamaguchi. "A study on lot-size dependence of the energy consumption per unit of production throughput concerning variable lot-size". *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and manufacturing*, v.13, n. 3, p. 62, 2019.
- [42] L. Feng; L. Mears; C. Beaufort; J. Schulte. "Energy, economy, and environment analysis and optimization on manufacturing plant energy supply system". *Energy Conversion and Management*, v. 117, p. 454-465, 2016.
- [43] C. Feng et al. "Decomposition of energy efficiency and energy-saving potential in China: A three-hierarchy meta-frontier approach". *Journal of Cleaner Production*, v. 176, p. 1054-1064, 2018.
- [44] Y. Guo et al. "An operation-mode based simulation approach to enhance the energy conservation of machine tools". *Journal of Cleaner Production*, v. 101, p. 348-359, 2015.
- [45] M. Yang; X Feng; G. Liu. "Heat integration of heat pump assisted distillation into the overall process". *Applied energy*, v. 162, p. 1-10, 2016.
- [46] K. Li; N. Zhang; Y. Liu. "The energy rebound effects across China's industrial sectors: An output distance function approach". *Applied Energy*, v. 184, p. 1165-1175, 2016.
- [47] T. Peng; X. Xu. "An interoperable energy consumption analysis system for CNC machining". *Journal of Cleaner Production*, v. 140, p. 1828-1841, 2017.

- [48] K. Salonitis, K. “Energy efficiency assessment of grinding strategy”. *International Journal of Energy Sector Management*, v. 9, n. 1, p. 20-37, 2015.
- [49] N. Wu; Z. Li; T. Qu. “Energy efficiency optimization in scheduling crude oil operations of refinery based on linear programming”. *Journal of Cleaner Production*, v. 166, p. 49-57, 2017.
- [50] A. Svensson; S. Paramonova. “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.
- [51] Y. Zhang; L. Ge. “Method for process planning optimization with energy efficiency consideration”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 77, n. 9-12, p. 2197-2207, 2015.
- [52] A. S. Wallerand; M. Kermani; I. Kantor; F. Maréchal. “Optimal heat pump integration in industrial processes”. *Applied Energy*, v. 219, p. 68-92, 2018.
- [53] B. Lina; Z. Du. “Promoting energy conservation in China's metallurgy industry”. *Energy Policy*, v. 104, p. 285–294, 2017.
- [54] S. Dasgupta; J. Roy. “Understanding technological progress and input price as drivers of energy demand in manufacturing industries in India”. *Energy Policy*, v. 83, p. 1-13, 2015.
- [55] E. O'Driscoll; K. Kelly; G. E. O'Donnell. “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.
- [56] O. Y. Edelenbosch et al. “Comparing projections of industrial energy demand and greenhouse gas emissions in long-term energy models”. *Energy*, v. 122, p. 701-710, 2015.
- [57] H. Liang et al. “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.
- [58] S. Safarzadeh; M. Rasti-Barzoki. “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.
- [59] S. Jia et al. “Energy modeling method of machine-operator system for sustainable machining”. *Energy Conversion and Management*, v. 172, p. 265–276, 2018.
- [60] P. Ball. “Low energy production impact on lean flow. *Journal of manufacturing technology management*, v. 26, n. 3, p. 412-428, 2015.
- [61] D. L. Summerbell; D. Khripko; C. Barlow; J. Hesselbach. “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.
- [62] L. Li et al. “Influence factors and operational strategies for energy efficiency improvement of CNC machining”. *Journal of Cleaner Production*, v. 161, p. 220-238, 2017.
- [63] N. Salahi; M. A. Jafari. “Energy-Performance as a driver for optimal production planning”. *Applied energy*, v. 174, p. 88-100, 2016.
- [64] B. S. Silvestre; F. A. P. 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.
- [65] C. Liu et al. “Energy-based evaluation and improvement for sustainable manufacturing systems considering resource efficiency and environment performance”. *Energy Conversion and Management*, v. 177, p. 176-189, 2018.
- [66] B. Jovanović; J. Filipović; V. Bakić. “Energy management system implementation in Serbian manufacturing–Plan-Do-Check-Act cycle approach”. *Journal of Cleaner Production*, v. 162, p. 1144-1156, 2017.
- [67] A. Hoang; P. Do; B. Lung. “Energy efficiency performance-based prognostics for aided maintenance decision-making: Application to a manufacturing platform”. *Journal of Cleaner Production*, v. 142, p. 2838-2857, 2017.
- [68] S. Lee; B. D. Chung; H. W. Jeon; J. Chang. “A dynamic control approach for energy-efficient production scheduling on a single machine under time-varying electricity pricing”. *Journal of Cleaner Production*, v. 165, p. 552-563, 2017.
- [69] E. Andersson; O. Arfwidsson; P. Thollander. “Benchmarking energy performance of industrial small and medium-sized enterprises using an energy efficiency index: Results based on an energy audit policy program”. *Journal of Cleaner Production*, v. 182, p. 883-895, 2018.
- [70] P. Ghadimi; S. Kara; B. Kornfeld, B. “Renewable energy integration into factories: Real-time control of on-site energy systems”. *CIRP Annals*, v. 64, n. 1, p. 443-446, 2015.
- [71] J. Wilson; A. Arokiam; H. Belaidi; J. Ladbrook. “A simple energy usage toolkit from manufacturing simulation data”. *Journal of Cleaner Production*, v. 122, p. 266-276, 2016.
- [72] O. Alarfaj; K. Bhattacharya. “Material Flow Based Power Demand Modeling of an Oil Refinery Process for Optimal Energy Management”. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 34, n. 3, p. 2312-2321, 2018.
- [73] J. Liu; S. Zhang; F. Wagner. “Exploring the driving forces of energy consumption and environmental pollution in China's cement industry at the provincial level”. *Journal of Cleaner Production*, v. 184, p. 274-285, 2018.
- [74] Z. Han; S. Guo. “Investigation of operation strategy of combined cooling, heating and power (CCHP) system based on advanced adiabatic compressed air energy storage”. *Energy*, v. 160, p. 290-308, 2018.
- [75] X. Xu et al. “Factors influencing industrial carbon emissions and strategies for carbon mitigation in the Yangtze River Delta of China”. *Journal of cleaner production*, v. 142, p. 3607-3616, 2017.
- [76] J. Catarino; J. Henriques; F. Egreja. “Portuguese SME toward energy efficiency improvement”. *Energy Efficiency*, v. 8, n. 5, p. 995-1013, 2015.
- [77] Y. Wang; X. Jin; X. Fang. “Rapid evaluation of operation performance of multi-chiller system based on history data analysis”. *Energy and Buildings*, v. 134, p. 162-170, 2017.
- [78] W. Wang; H. Yang; Y. Zhang; J. Xu. “IoT-enabled real-time energy efficiency optimisation method for energy-intensive manufacturing enterprises”. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, v. 31, n. 4-5, p. 362-379, 2018.
- [79] E. L. Vine; C. M. Jones. “Competition, carbon, and conservation: Assessing the energy savings potential of energy efficiency competitions”. *Energy Research & Social Science*, v. 19, p. 158-176, 2016.
- [80] A. Abdulaal; R. Moghaddass; S. Asfour. “Two-stage discrete-continuous multi-objective load optimization: An industrial consumer utility approach to demand response”. *Applied energy*, v. 206, p. 206-221, 2017.
- [81] Y. Fernando; P. S. Bee; C. J. C. Jabbour; A. M. T. Thomé. “Understanding the effects of energy management practices on renewable energy supply chains: Implications for energy policy in emerging economies”. *Energy Policy*, v. 118, p. 418-428, 2018.
- [82] J. Tuo; F. Liu; P. Liu; H. Zhang; W. Cai. “Energy efficiency evaluation for machining systems through virtual part”. *Energy*, v. 159, p. 172-183, 2018.
- [83] Z. Liu; S. Guo; L. Wang. “Integrated green scheduling optimization of flexible job shop and crane transportation considering comprehensive energy consumption”. *Journal of cleaner production*, v. 211, p. 765-786, 2019.
- [84] D. Kindström; M. Ottosson. “Local and regional energy companies offering energy services: Key activities and implications for the business model”. *Applied Energy*, v. 171, p. 491-500, 2016.
- [85] M. J. S. Zuberi; A. Tjeldink; M. K. Patel. “Techno-economic analysis of energy efficiency improvement in electric motor driven systems in Swiss industry”. *Applied Energy*, v. 205, p. 85-104, 2017.
- [86] A. K. Bergquist; K. Söderholm. “Sustainable energy transition: the case of the Swedish pulp and paper industry 1973–1990”. *Energy Efficiency*, v. 9, n. 5, p. 1179-1192, 2016.
- [87] I. F. Edem; V. A. Balogun; P. T. Mativenga. “An investigation on the impact of toolpath strategies and machine tool axes configurations on electrical energy demand in mechanical machining”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 92, n. 5-8, p. 2503-2509, 2017.
- [88] J. Malinauskaitė et al. “Energy efficiency in industry: EU and national policies in Italy and the UK”. *Energy*, v. 172, p. 255-269, 2019.
- [89] P. C. Priarone. “Quality-conscious optimization of energy consumption in a grinding process applying sustainability indicators”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 86, n. 5-8, p. 2107-2117, 2016.
- [90] P. Liu et al. “A novel method for energy efficiency evaluation to support efficient machine tool selection”. *Journal of cleaner production*, v. 191, p. 57-66, 2018.
- [91] S. Wang et al. “Big Data enabled Intelligent Immune System for energy efficient manufacturing management”, *Journal of Cleaner Production*, v. 195, p. 507-520, 2018.
- [92] M. Pusnik; F. Al-Mansour; B. Susic; M. Cesen. “Trends and prospects of energy efficiency development in Slovenian industry”. *Energy*, v. 136, p. 52-62, 2017.

- [93] S. Wang; X. Lu; X. X. Li; W. D. Li. "A systematic approach of process planning and scheduling optimization for sustainable machining". *Journal of Cleaner Production*, v. 87, p. 914-929, 2015.
- [94] Q. Zhang; W. Tang; J. Zhang. "Who should determine energy efficiency level in a green cost-sharing supply chain with learning effect?" *Computers & Industrial Engineering*, v. 115, p. 226-239, 2018.
- [95] Y. Lu; T. Peng; X. Xu. "Energy-efficient cyber-physical production network: Architecture and technologies". *Computers & Industrial Engineering*, v. 129, p. 56-66, 2019.
- [96] N. O. Kapustin; D. A. Grushevenko. "Exploring the implications of Russian Energy Strategy project for oil refining sector". *Energy Policy*, v. 117, p. 198-207, 2018.
- [97] B. Gong, B. "Different behaviors in natural gas production between national and private oil companies: Economics-driven or environment-driven?" *Energy Policy*, v. 114, p. 145-152, 2018.
- [98] S. Ma; Y. Zhang; J. Lv; H. Yang; J. Wu. "Energy-cyber-physical system enabled management for energy-intensive manufacturing industries". *Journal of Cleaner Production*, v. 226, p.892-903, 2019.
- [99] Z. Wena; Y. Wanga; C. Zhang; X. Zhang. "Uncertainty analysis of industrial energy conservation management in China's iron and steel industry". *Journal of Environmental Management*, v. 225, p. 205-214, 2018.
- [100]D. Uz. "Energy efficiency investments in small and medium sized manufacturing firms: The case of California energy crisis". *Energy Economics*, v. 70, p. 421-428, 2018.
- [101]S. M. Abolarin et al. "An economic evaluation of energy management opportunities in a medium scale manufacturing industry in Lagos". *In International Journal of Engineering Research in Africa*, v. 14, p. 97-106, 2015.
- [102]J. Han; S. J. Yun. "An analysis of the electricity consumption reduction potential of electric motors in the South Korean manufacturing sector". *Energy Efficiency*, v. 8, n. 6, p. 1035-1047, 2015.
- [103]B. A. Schlueter; M. B. Rosano. "A holistic approach to energy efficiency assessment in plastic processing." *Journal of Cleaner Production*, v. 118, p. 19-28, 2016.
- [104]N. Finnerty; R. Sterling; S. Contreras; D. Coakley; M. M. Keane. "Defining corporate energy policy and strategy to achieve carbon emissions reduction targets via energy management in non-energy intensive multi-site manufacturing organisations". *Energy*, v. 151, p. 913-929, 2018.
- [105]T. H. Kwan; Y. Shen; Q. Yao. "An energy management strategy for supplying combined heat and power by the fuel cell thermoelectric hybrid system". *Applied Energy*, v. 251, p. 113318, 2019.
- [106]J. Brinkerink; A. Chegut; W. Letterie. "Energy performance and capital expenditures in manufacturing industries". *Energy Efficiency*, v. 12, n. 8, p. 2011-2038, 2019.
- [107]G. F. G. Teixeira; O.C. Junior. "How to make strategic planning for corporate sustainability?". *Journal of Cleaner Production*, v. 230, p. 1421-1431, 2019.
- [108]Y. Guo; J. R. Dufflou; Y. Deng; B. Lauwers. "A life cycle energy analysis integrated process planning approach to foster the sustainability of discrete part manufacturing". *Energy*, v. 153, p. 604-617, 2018.
- [109]S. Baysan; O. Kabadurmus; E. Cevikcan; S. I. Satoglu; M. B. Durmusoglu. "A simulation-based methodology for the analysis of the effect of lean tools on energy efficiency: An application in power distribution industry". *Journal of cleaner production*, v. 211, p. 895-908, 2019.
- [110]N. Diaz-Elsayed; D. Dornfeld; A. Horvath. "A comparative analysis of the environmental impacts of machine tool manufacturing facilities". *Journal of Cleaner Production*, v. 95, p. 223-231, 2015.
- [111]N. Finnerty; R. Sterling; D. Coakley; S. Contreras; R. Coffey; M. Keane. "Development of a Global Energy Management System for non-energy intensive multi-site industrial organisations: A methodology". *Energy*, v. 136, p. 16-31, 2017.
- [112]H. Hopf; E. Müller. "Providing energy data and information for sustainable manufacturing systems by Energy Cards". *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, v. 36, p. 76-83, 2015.
- [113]H. Liao; Y. F. Du; Z. Huang; Y. M. Wei, Y. M. "Measuring energy economic efficiency: A mathematical programming approach". *Applied Energy*, v. 179, p. 479-487, 2016.
- [114]L. A. Ocampo et al. "An integrated sustainable manufacturing strategy framework using fuzzy analytic network process". *Advances in Production Engineering & Management*, v. 10, n. 3, p. 125, 2015.
- [115]M. Coatalem; V. Mazaauric; C. Le Pape-Gardeux; N. Maïzi, N. "Optimizing industries' power generation assets on the electricity markets". *Applied Energy*, v. 185, p. 1744-1756, 2017.
- [116]J. Ouyang; H. Shen, H. "The choice of energy saving modes for an energy-intensive manufacturer considering non-energy benefits". *Journal of cleaner production*, v. 141, p. 83-98, 2017.
- [117]Peng, K. et al. "Interdependence between energy and metals in China: evidence from a nexus perspective". *Journal of cleaner production*, v. 214, p. 345-355, 2019.
- [118]M. Richert. "An energy management framework tailor-made for SMEs: Case study of a German car company". *Journal of Cleaner Production*, v. 164, p. 221-229, 2017.
- [119]I. Siksneilyte; E. K. Zavadskas; R. Bausys; D. Streimikiene, D. "Implementation of EU energy policy priorities in the Baltic Sea Region countries: Sustainability assessment based on neutrosophic MULTIMOORA method". *Energy policy*, v. 125, p. 90-102, 2019.
- [120]X. Xing et al. "Optimal design of distributed energy systems for industrial parks under gas shortage based on augmented ϵ -constraint method. *Journal of cleaner production*, v. 218, p. 782-795, 2019.
- [121]S. Gong; C. Shao; L. Zhu. "Multi-level and multi-granularity energy efficiency diagnosis scheme for ethylene production process". *Energy*, v. 170, p. 1151-1169, 2019.



Karoline Guedes, é graduada em Engenharia de Produção (2018) pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Mestranda (2020) em Engenharia de Produção pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Tem experiência na área de Engenharia de Produção, atuando principalmente nos seguintes temas: construção civil, planejamento e controle de produção e gerenciamento de estoques.



Nelly Heine Marques Cordeiro, possui graduação em Engenharia de Produção Agroindustrial (2004) pela Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR), especialista em Gestão Estratégica de Empresas (2008) pela Faculdade Maringá e Mestranda (2020) em Engenharia de Produção pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Atualmente é professora do Centro Universitário Integrado. Tem experiências na área de Gestão de Operações e docência no ensino superior nas áreas de Engenharia de Produção e Administração.



Gislayne de Lima de Souza, mestranda em Engenharia de Produção pelo programa PGP na área de Gerência da Produção na linha de pesquisa de Apoio à Tomada de Decisão pela UEM. Graduação em Engenharia de Produção pelo Centro Universitário Integrado de Campo Mourão (2018). Tem experiência na área de gestão da produção, controle de estoque e gestão da qualidade.



Francielle Cristina Fenerich, é graduada em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Maringá (2005), mestre em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (2009) e doutora em Engenharia de Produção pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (2017). Tem experiência em supervisão de processos e atualmente é professora do corpo efetivo do curso de Engenharia de Produção da Universidade Estadual de Maringá e do Mestrado em Engenharia de Produção – UEM.



André Luiz Gazoli de Oliveira, possui graduação em Engenharia de Produção (2008), mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas (2012) e doutorado em Engenharia de Produção pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (2019). Atualmente é professor assistente da Universidade Federal do Paraná. Tem experiência na área de Engenharia de Produção, atuando principalmente nos seguintes temas: customização em massa e produção enxuta.

APÊNDICE B – Protocolo da pesquisa empírica

Nesta seção é apresentado o protocolo de pesquisa para a pesquisa empírica para refinamento do modelo por meio da análise de especialistas (primeiramente de forma individual e num segundo momento por meio de grupo focal).

O protocolo conta de uma carta de apresentação enviada por e-mail e aos que aceitaram participar da pesquisa, foi encaminhado o documento que consta de um “Termo de Consentimento do Grupo Focal”, um questionário para caracterização dos participantes e o documento para análise e apontamentos pelos participantes.

Carta de Apresentação de Grupo Focal

Prezado,

Meu nome é Nelly Heine Marques Cordeiro e sou mestranda em Engenharia de Produção no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PGP) da Universidade Estadual de Maringá (UEM) sob a orientação da Prof^a. Dr^a. Francielle Cristina Fenerich (UEM) e co-orientação do Prof. Dr. André Luiz Gazoli de Oliveira (UFPR).

Venho por meio desta, solicitar sua participação para a condução de uma pesquisa de campo como parte da dissertação. A pesquisa será realizada por meio de uma reunião no dia 13 de março de 2021 (sábado) às 09h00, ocorrendo por meio de conferência *online* utilizando a plataforma Google Meet.

O objetivo da reunião é conduzir uma sessão de conversação e troca de ideias a respeito da arquitetura e texto das diretrizes para modelos estratégicos de eficiência energética em ambientes de manufatura que estão sendo propostas na dissertação (o texto com as diretrizes e o modelo para avaliação prévia encontram-se em anexo).

A ideia é que o convidado faça os apontamentos prévios no documento enviado para facilitar o debate e agilizar a condução da reunião de refinamento das diretrizes e do modelo apresentado.

As informações prestadas serão tratadas de forma a preservar a privacidade dos participantes. Nenhuma informação será publicada de forma individualizada.

Aguardamos o seu retorno e agradecemos antecipadamente pela colaboração.

Atenciosamente,

Nelly Heine Marques Cordeiro

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PGP)
Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Termo de Consentimento do Grupo Focal

Título do Projeto: Diretrizes para Modelos Estratégicos de Eficiência Energética em Ambientes de Manufatura

Pesquisadora Responsável: Nelly Heine Marques Cordeiro

Nome do participante: _____

Data de nascimento: _____

C.P.F.: _____._____._____-_____

Você está sendo convidado(a) para participar, como voluntário, do projeto de pesquisa Diretrizes para Modelos Estratégicos de Eficiência Energética em Ambientes de Manufatura, de responsabilidade da pesquisadora Nelly Heine Marques Cordeiro.

Leia cuidadosamente o que segue e qualquer dúvida não hesite em perguntar. Após ser esclarecido(a) sobre as informações a seguir e aceitar fazer parte do estudo, assine ao final deste documento.

Declaro ter sido esclarecido sobre os seguintes pontos:

1. O trabalho tem por objetivo obter a visão dos profissionais da indústria e pesquisadores a respeito das diretrizes para modelos estratégicos de eficiência energética em ambientes de manufatura propostas neste estudo.
2. A minha participação nesta pesquisa consistirá em participar da reunião para discutir sobre as diretrizes. A reunião será realizada de forma remota por meio da plataforma Google Meet, com duração prevista entre 2 e 3 horas a partir das 09h00 do dia 13 de março de 2021. O pesquisador responsável estará presente para conduzir e moderar a reunião.
A reunião será gravada, visto que o pesquisador precisará transcreve-la após o seu término.
3. Ao participar desse trabalho estarei contribuindo diretamente para a área acadêmica por meio do meu conhecimento e experiência e indiretamente para a indústria, uma vez que o objetivo da pesquisa é proporcionar novos conhecimentos para a mesma.
4. Não terei nenhuma despesa financeira ao participar da pesquisa.
5. Fui informado e estou ciente de que não há nenhum valor econômico, a receber ou a

pagar por minha participação.

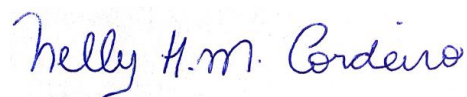
6. Meu nome será mantido em sigilo, assegurando assim a minha privacidade e se eu desejar, terei livre acesso a todas as informações e esclarecimentos adicionais sobre o estudo e suas consequências.

7. Fui informado que os dados coletados serão utilizados, única e exclusivamente, para fins desta pesquisa e que os resultados poderão ser publicados.

8. Qualquer dúvida, pedimos a gentileza de entrar em contato com Nelly Heine Marques Cordeiro, responsável pela pesquisa, telefone: (44) 99986-5795, e-mail: nellyhmarques@gmail.com, com os pesquisadores Francielle Cristina Feberich, email: fcfenerich@uem.br e André Luiz Gazoli de Oliveira, email: andre.gazoli@gmail.com.

Eu, _____, CPF nº _____ declaro ter sido informado e concordo em participar, como voluntário, da pesquisa acima descrita.

Maringá, _____ de março de 2021.



Assinatura do participante

Assinatura do pesquisador responsável

Solicito que após a análise do documento, encaminhe a versão com as suas considerações até o dia 13/03/2021 para o e-mail: nellyhmarques@gmail.com para compilação dos dados.

Caracterização do Participante do Grupo Focal

1) Área de atuação:

- Indústria
- Academia/pesquisa
- Consultoria
- Outro _____

2) Tempo de experiência na área de eficiência energética:

- Menos do que 1 ano
- Entre 1 e 5 anos
- Entre 5 e 10 anos
- Mais do que 10 anos

3) Grau de formação

- Curso Técnico
- Graduando
- Graduado
- Especialista
- Mestrando
- Mestre
- Doutorando
- Doutor

Documento para análise e apontamentos pelos participantes do grupo focal.

TÍTULO DA PROPOSTA: Diretrizes para Modelos Estratégicos de Eficiência Energética em Ambientes de Manufatura

1. APRESENTAÇÃO

O intuito do estudo é propor diretrizes para modelos estratégicos de eficiência energética que resultam em uma arquitetura que categoriza e relaciona elementos-chaves e áreas de decisão das diretrizes, com a intenção de direcionar a tomada de decisão em eficiência energética em ambientes industriais.

As etapas para o desenvolvimento desta pesquisa incluem uma revisão sistemática de literatura sobre o tema, análise de conteúdo para a identificação de elementos-chave e áreas de decisão que dão origem ao texto das diretrizes e criação de arquitetura dos elementos associados às diretrizes.

A contribuição da pesquisa está na construção de um conjunto de diretrizes estratégicas relacionadas a eficiência energética em manufatura que poderão fornecer orientações aos formuladores de políticas em manufatura e orientações para pesquisas futuras.

Neste documento são apresentados dois pontos primordiais da pesquisa: a arquitetura e o texto proposto para as diretrizes, sendo a intenção desta etapa refinar tanto a arquitetura quanto as diretrizes propostas.

2. DIRETRIZES PARA MODELOS ESTRATÉGICOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM AMBIENTES DE MANUFATURA

Conforme descrito por Dechamps (2013), estabelecer diretrizes envolve um esforço de sistematização, coleta, organização e análise de informações sobre um objeto de estudo de forma racional, de modo que padrões possam ser identificados. No contexto desta pesquisa, as diretrizes foram apresentadas como princípios de eficiência energética recomendados, o que é desejável para a implementação de estratégias relacionadas à energia, sendo um esforço para sistematizar o conhecimento sobre estratégias para eficiência energética em manufatura, onde o relato das diretrizes pretende atender tanto as necessidades de pesquisadores quanto da indústria, auxiliando nas etapas de planejamento e execução de estratégias em EE.

É importante ressaltar que o estudo não se baseia em um segmento específico da indústria, sendo as diretrizes apresentadas em uma perspectiva geral, portanto entende-se que a proposta é passível de adaptações quanto a aplicação de acordo com o tipo de indústrias, cabendo uma análise sobre a disponibilidade de recursos da organização e a viabilidade das ações em cada contexto, de modo que as práticas para EE sejam efetivas e sustentáveis a longo prazo.

O foco das diretrizes é propor linhas gerais para modelos estratégicos em eficiência energética voltados ao setor industrial, buscando direcionar para a importância da energia na manutenção dos processos, abordando além de aspectos econômicos, questões organizacionais, tecnológicas e pontos relacionados ao uso racional do recurso em uma percepção sustentável, proporcionando gerenciar este recurso a fim de reduzir o aumento no consumo de energia.

As diretrizes foram concebidas levando em consideração duas categorias: Estratégia e Operações. Na categoria Estratégia, foram relacionadas diretrizes que apresentam uma abordagem estratégica em torno da eficiência energética, tratando de aspectos relacionados a análise situacional ou ambiental da empresa e o uso apropriado dos recursos para alcançar os objetivos ou metas, a fim de produzir as principais políticas e planos para a obtenção de resultados relacionado ao recurso energia.

Já a categoria Operações está relacionada à eficiência energética em ambientes de manufatura, relacionando diretrizes voltadas às competências da função operações e conciliando os requisitos energéticos com os processos, instalações, tecnologia e demais recursos operacionais da indústria.

As áreas de decisão elencadas para as diretrizes foram baseadas nas prioridades competitivas e áreas de decisão estruturais e infraestruturais de Wheelwright e Hayes (1985), além de outras áreas de decisão identificadas e selecionadas dos modelos estratégicos em EE identificados na literatura. Desta forma, as áreas de decisão compreendidas na arquitetura proposta para as diretrizes são: organização, tecnologia, custos, processo, desempenho, capacidade e suprimentos.

Após a análise dos modelos, foi possível também extrair os principais elementos atribuídos a cada modelo por meio de mapeamento de suas características, sendo escolhidos como elementos-chave aqueles que apresentavam relação com o foco estratégico das diretrizes.

O elementos-chave elencados referem-se a: Políticas, regulamentações e decisões estratégicas; Barreiras econômicas, organizacionais e comportamentais; Alinhamento

estratégico com áreas funcionais; Fatores determinantes de sucesso; Auditorias; Práticas em EE; Especificações do processo; Tecnologia do processo; Tecnologia da informação e comunicação; Ferramentas e métodos de suporte em EE; Gestão de energia; Oferta de energia; Sistema de medição de consumo energético; Instalações Sustentabilidade; Monitoramento, avaliação e controle.

Cada diretriz foi alinhada às categorias, áreas de decisão e elementos-chave correspondentes, estando estes fatores correlacionados ao direcionamento proposto para cada uma delas. Como forma de organização e identificação, as diretrizes foram ordenadas numericamente de 1 a 15.

As diretrizes encontram-se divididas entre os aspectos apresentados conforme disposto no Quadro 1:

Quadro 1 – Direcionamento em relação aos aspectos macro das diretrizes estratégicas em EE.

Diretrizes 1 e 2	Decisões estratégicas para a gestão de energia
Diretrizes 3 e 4	Estabelecimento de equipe responsável pela gestão de energia
Diretriz 5	Determinação do estado atual relacionado a energia
Diretriz 6	Desenvolvimento da estratégia e definição de metas
Diretrizes 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13	Operacionalização de estratégias e práticas em EE
Diretrizes 14 e 15	Controle e monitoramento

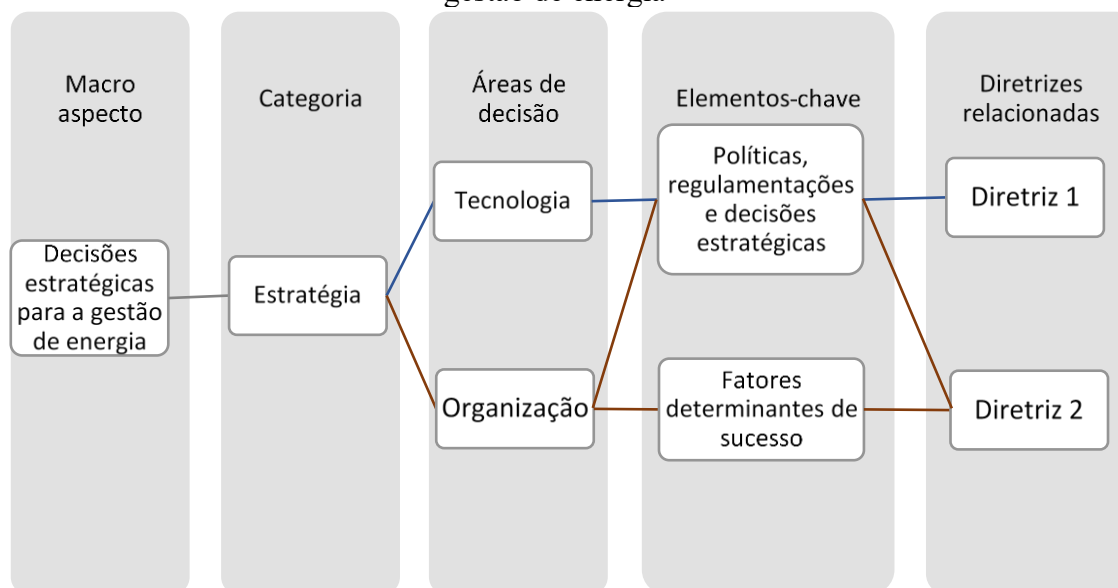
Fonte: A autoria própria (2021).

A seguir você poderá avaliar de forma individual as diretrizes propostas conforme os requisitos pontuados ao final do texto de cada uma delas.

2.1 Diretrizes Relacionadas à Decisões Estratégicas para a Gestão de Energia

Nessa seção são apresentadas as diretrizes #1 e #2 que compõem o bloco voltado as decisões estratégicas para a gestão de energia. A correlação entre estas diretrizes e os elementos correspondentes foram desdobrados na Figura 1, demonstrando as características e alinhamentos das diretrizes que fazem parte do primeiro grupo.

Figura 1: Alinhamento de diretrizes em relação ao aspecto “Decisões estratégicas para a gestão de energia”



Fonte: Autoria própria (2021).

Diretriz 1: Modernizar a indústria por meio de incentivos fiscais para a substituição de equipamentos ineficientes.

Categoria: Estratégia.

Área de decisão: Tecnologia.

Elemento-chave: Políticas, regulamentações e decisões estratégicas.

Resultados esperados: Incremento da eficiência energética por meio de incentivos fiscais que favoreçam a modernização da indústria.

Ferramentas recomendadas: Políticas governamentais de incentivo tributário às empresas que comprovarem melhoria nos índices de EE e maior acesso a linhas de financiamento disponíveis para programas de eficiência energética, executados pelos próprios consumidores ou por ESCO's (*Energy Services Company*), além de financiamento de projetos de P&D voltados para novos equipamentos ou processos que possibilitem ganhos de eficiência energética.

Fonte: Decreto nº 1.040, de 11 de janeiro de 1994; Lei n.º 9.991, de 24 de julho de 2000; Berni (2015), PROCEL (2019); Altoé et al (2017).

Deixe seu parecer em relação a esta diretriz:

Você concorda com a diretriz?	
SIM ()	NÃO ()
A diretriz está completa ou deve ser abordada como parte de outra diretriz? R:	A diretriz deve ser eliminada ou ter seu foco alterado? Por quê? R:
No caso de unir diretrizes, como deveria ser a redação? R:	No caso de alteração do foco, como deveria ser a redação? R:
No caso da diretriz estar completa, a redação está apropriada ou precisa de refinamento? Por quê? Qual a sua sugestão? R:	
Parecer sobre a diretriz: <input type="checkbox"/> Sem mudança <input type="checkbox"/> Refinamento semântico ou sintático <input type="checkbox"/> Mudança no foco da diretriz <input type="checkbox"/> Eliminação da diretriz	

Diretriz 2: Desenvolver e implementar um plano estratégico de longo prazo que inclua políticas relevantes para o uso de energia.

Categoria: Estratégia.

Área de decisão: Organização.

Elemento-chave: Políticas, regulamentações e decisões estratégicas; Fatores determinantes de sucesso.

Resultados esperados: Formalização e implementação de estratégias e políticas relacionadas à gestão de energia.

Ferramentas recomendadas: Sistema de gestão de energia para padronização de procedimentos e políticas, além do uso de algoritmos, modelagem, técnicas estatísticas, KPI's, simulação e benchmarking para auxiliar a tomada de decisões estratégicas voltadas à eficiência energética e gestão da demanda de energia.

Fonte: Sola e Mota (2019), ABNT (2018), Schulze et al (2016), May (2016), Rudberg et al. (2013), Ates e Durakbasa (2012), Abdelaziz et al. (2011), Thollander e Ottosson (2010), Vasudevan e Higgins (2004).

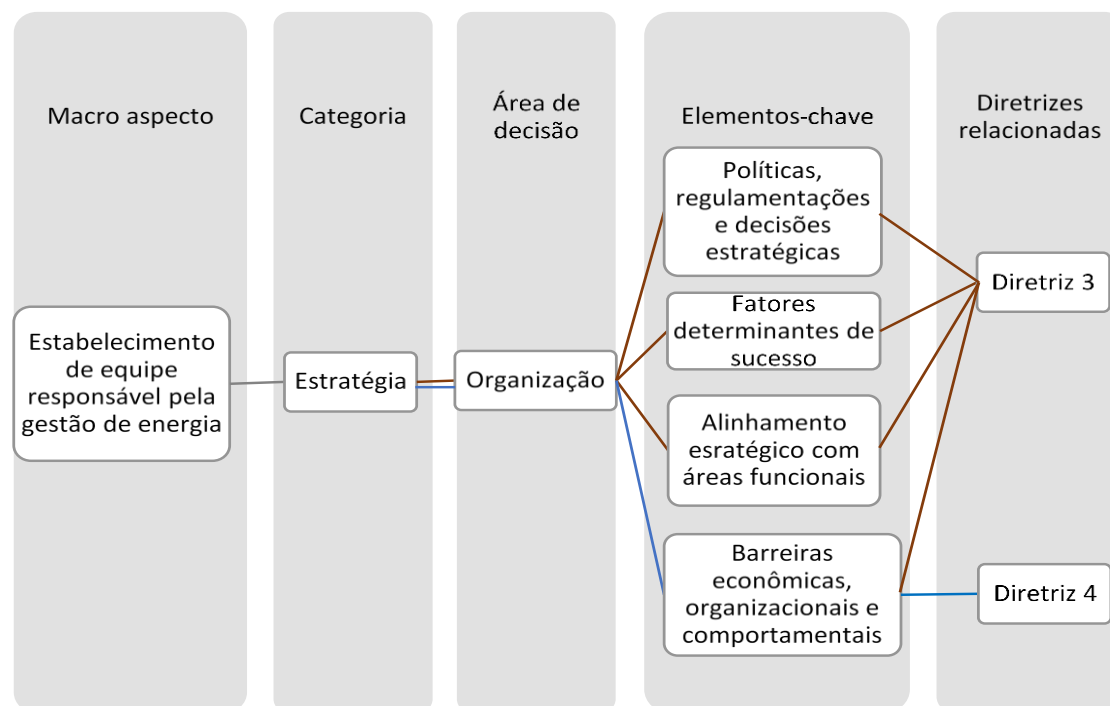
Deixe seu parecer em relação a esta diretriz:

Você concorda com a diretriz?	
SIM ()	NÃO ()
A diretriz está completa ou deve ser abordada como parte de outra diretriz? R:	A diretriz deve ser eliminada ou ter seu foco alterado? Por quê? R:
No caso de unir diretrizes, como deveria ser a redação? R:	No caso de alteração do foco, como deveria ser a redação? R:
No caso da diretriz estar completa, a redação está apropriada ou precisa de refinamento? Por quê? Qual a sua sugestão? R:	
Parecer sobre a diretriz: <input type="checkbox"/> Sem mudança <input type="checkbox"/> Refinamento semântico ou sintático <input type="checkbox"/> Mudança no foco da diretriz <input type="checkbox"/> Eliminação da diretriz	

2.2 Diretrizes Relacionadas à Estabelecimento de Equipe Responsável pela Gestão de Energia

Nessa seção são apresentadas as diretrizes #3 e #4 que compõem o bloco 2 voltado ao estabelecimento de equipe responsável pela gestão de energia. A correlação entre estas diretrizes e os elementos correspondentes apresentam-se desdobrados na Figura 2.

Figura 2: Alinhamento de diretrizes em relação ao aspecto “Estabelecimento de equipe responsável pela gestão de energia”



Fonte: Autoria Própria (2021).

#Diretriz 3: Compor equipe responsável pela gestão de energia.

Categoria: Estratégia.

Área de decisão: Organização.

Elemento-chave: Políticas, regulamentações e decisões estratégicas; Fatores determinantes de sucesso; Barreiras econômicas, organizacionais e comportamentais; Alinhamento estratégico com áreas funcionais.

Resultados esperados: Desenvolver equipes engajadas em políticas energéticas nas organizações.

Ferramentas recomendadas: Desenvolvimento de equipes gerenciais e técnicas por meio de treinamentos focados às necessidades de cada função na área de gestão de energia e engajamento da equipe por meio de incentivos financeiros e profissionais.

Fonte: Schulze et al (2016), Blass et al. (2014), Rudberg et al. (2013), Ates e Durakbasa (2012), Abdelaziz et al. (2011), Stawicki et al. (2010), Wang et al. (2017), Chai e Yeo (2012), Hasanbeigi et al (2010), Schaefer e Guenther (2016), Chiaroni et al. (2016), González et al. (2012); Martin et al. (2012).

Deixe seu parecer em relação a esta diretriz:

Você concorda com a diretriz?	
SIM ()	NÃO ()
A diretriz está completa ou deve ser abordada como parte de outra diretriz? R:	A diretriz deve ser eliminada ou ter seu foco alterado? Por quê? R:
No caso de unir diretrizes, como deveria ser a redação? R:	No caso de alteração do foco, como deveria ser a redação? R:
No caso da diretriz estar completa, a redação está apropriada ou precisa de refinamento? Por quê? Qual a sua sugestão? R:	
Parecer sobre a diretriz: <input type="checkbox"/> Sem mudança <input type="checkbox"/> Refinamento semântico ou sintático <input type="checkbox"/> Mudança no foco da diretriz <input type="checkbox"/> Eliminação da diretriz	

Diretriz 4: Desenvolver uma cultura organizacional de comprometimento em medidas de conservação de energia na indústria.

Categoria: Estratégia.

Área de decisão: Organização.

Elemento-chave: Barreiras econômicas, organizacionais e comportamentais.

Resultados esperados: Alcance de melhores resultados na conservação e eficiência de recursos energéticos, por meio de engajamento da equipe e comunicação eficaz da estratégia adotada e dos procedimentos para a obtenção da EE.

Ferramentas recomendadas: Canais de comunicação assertivos que fomentem o diálogo entre a equipe, incentivo ao trabalho contínuo de redução de energia, medição das relações de engajamento ativo, passivo, inexistente e condicional dos colaboradores para eficiência energética pelo modelo de Isaksson, Hiller, Lane (2019).

Fonte: Isaksson, Hiller, Lane (2019), Dumitru et al (2016), Brunke, Johansson, Thollander (2014); Cooremans (2011); Prindle e Finlinson (2011); Hillary (2004); Strachan et al. (2003).

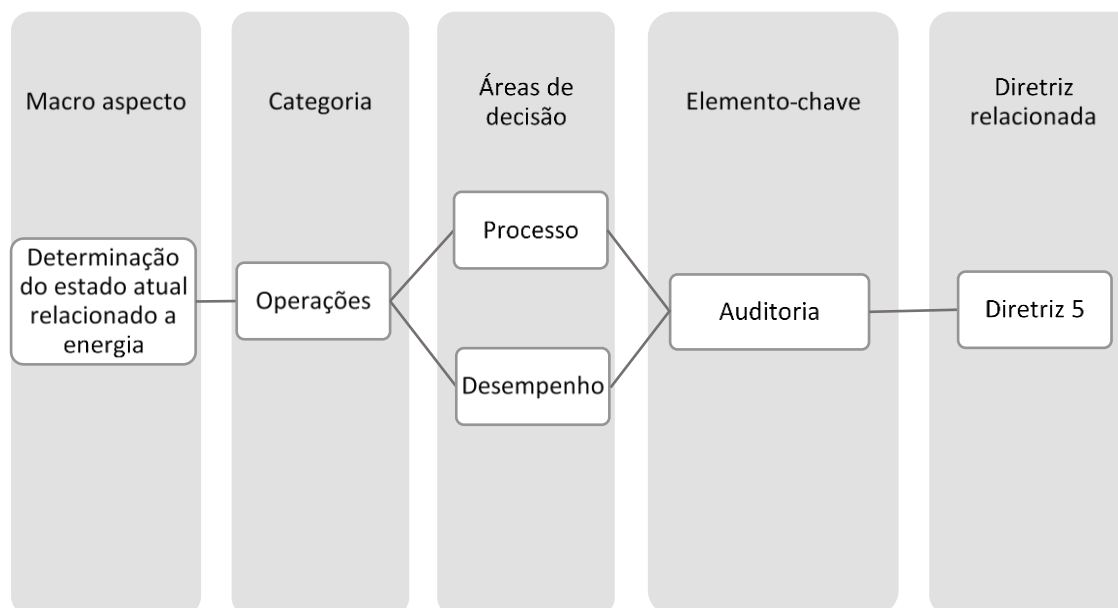
Deixe seu parecer em relação a esta diretriz:

Você concorda com a diretriz?	
SIM ()	NÃO ()
A diretriz está completa ou deve ser abordada como parte de outra diretriz? R:	A diretriz deve ser eliminada ou ter seu foco alterado? Por quê? R:
No caso de unir diretrizes, como deveria ser a redação? R:	No caso de alteração do foco, como deveria ser a redação? R:
No caso da diretriz estar completa, a redação está apropriada ou precisa de refinamento? Por quê? Qual a sua sugestão? R:	
Parecer sobre a diretriz: <input type="checkbox"/> Sem mudança <input type="checkbox"/> Refinamento semântico ou sintático <input type="checkbox"/> Mudança no foco da diretriz <input type="checkbox"/> Eliminação da diretriz	

2.3 Diretriz Voltada a Determinação do Estado Atual Relacionado a Energia

Nessa seção é apresentada a diretriz #5 que compõem o bloco 3 voltado à determinação do estado atual relacionado a energia. A correlação entre a diretriz e os elementos correspondentes apresentam-se desdobrados na Figura 3.

Figura 3: Alinhamento de diretrizes em relação ao aspecto “Determinação do estado atual relacionado a energia”



Fonte: Autorial Própria (2021).

Diretriz 5: Realizar auditorias energéticas para identificar processos chaves em consumo e o potencial de economia de energia.

Categoria: Operações.

Área de decisão: Processo; Desempenho.

Elemento-chave: Auditoria.

Resultados esperados: contabilizar e apurar o consumo de energia, a eficiência energética dos equipamentos e as perdas, tendo como finalidade reduzi-las sem afetar a produção, por meio da apresentação de medidas de utilização racional de energia.

Ferramentas recomendadas: Check list, Mark IV Plus (pacote de programas computacionais disponibilizado pela Eletrobrás como ferramenta para a execução de auditorias e análises de desempenho de sistemas energéticos), instrumentos de medida: termômetros digital com vários tipos de ponta sensora, analisadores de gases de chaminé (por absorção química ou eletrônicos), medidores de velocidade de ar/líquidos (anemômetros ou tubos de Pitot), psicrômetros, tacômetros, luxímetros e amperímetros de alicate.

Fonte: Schulze, Ottosson e Thollander (2015), Abdelaziz et al. (2011), Fresner et al (2017), Nogueira (1990), Fenerich, Costa e Lima (2013), Malinauskaite et al (2019).

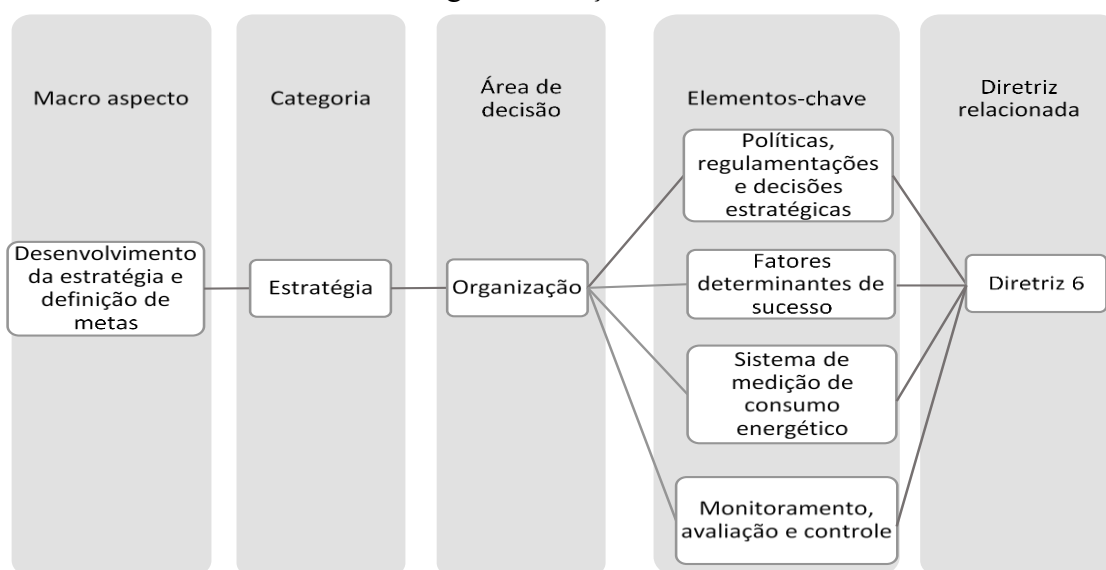
Deixe seu parecer em relação a esta diretriz:

Você concorda com a diretriz?	
SIM ()	NÃO ()
A diretriz está completa ou deve ser abordada como parte de outra diretriz? R:	A diretriz deve ser eliminada ou ter seu foco alterado? Por quê? R:
No caso de unir diretrizes, como deveria ser a redação? R:	No caso de alteração do foco, como deveria ser a redação? R:
No caso da diretriz estar completa, a redação está apropriada ou precisa de refinamento? Por quê? Qual a sua sugestão? R:	
Parecer sobre a diretriz: <input type="checkbox"/> Sem mudança <input type="checkbox"/> Refinamento semântico ou sintático <input type="checkbox"/> Mudança no foco da diretriz <input type="checkbox"/> Eliminação da diretriz	

2.4 Diretriz Voltada ao Desenvolvimento da Estratégia e Definição de Metas

Nessa seção é apresentada a diretriz #6 que compõem o bloco 4 voltado ao desenvolvimento da estratégia e definição de metas de energia. A correlação entre a diretriz e os elementos correspondentes apresentam-se desdobrados na Figura 4.

Figura 4: Alinhamento de diretrizes em relação ao aspecto “Desenvolvimento da estratégia e definição de metas”



Fonte: Autoria Própria (2021).

Diretriz 6: Estabelecer metas de conservação de energia em instalações industriais.

Categoria: Estratégia

Área de decisão: Organização

Elemento-chave: Políticas, regulamentações e decisões estratégicas; Monitoramento, avaliação e controle; Sistema de medição de consumo de energia. Fatores determinantes de sucesso.

Resultados esperados: Estabelecimento de metas relacionadas ao percentual do uso de energia em diversas dimensões, que permitam diminuir as perdas e economizar energia.

Ferramentas recomendadas: Análise Envoltória de Dados (DEA) (Zhou et al, 2019), modelo de Análise do Índice de Decomposição (IDA) de Ang et al. (2010), Análise de Fronteira Estocástica (SFA) (Wang et al., 2016; Zhou et al., 2012), estabelecimento de metas de abrangência tanto organizacionais quanto individuais de conservação de energia.

Fonte: Zhou et al (2019); Richert (2017); Wang et al. (2016); Zhou et al. (2012) Ang et al. (2010); Drack et al. (2006), Salonitis (2015), Mahapatra, et al. (2017), Rietbergen e Blok (2010), Martins (2016).

Deixe seu parecer em relação a esta diretriz:

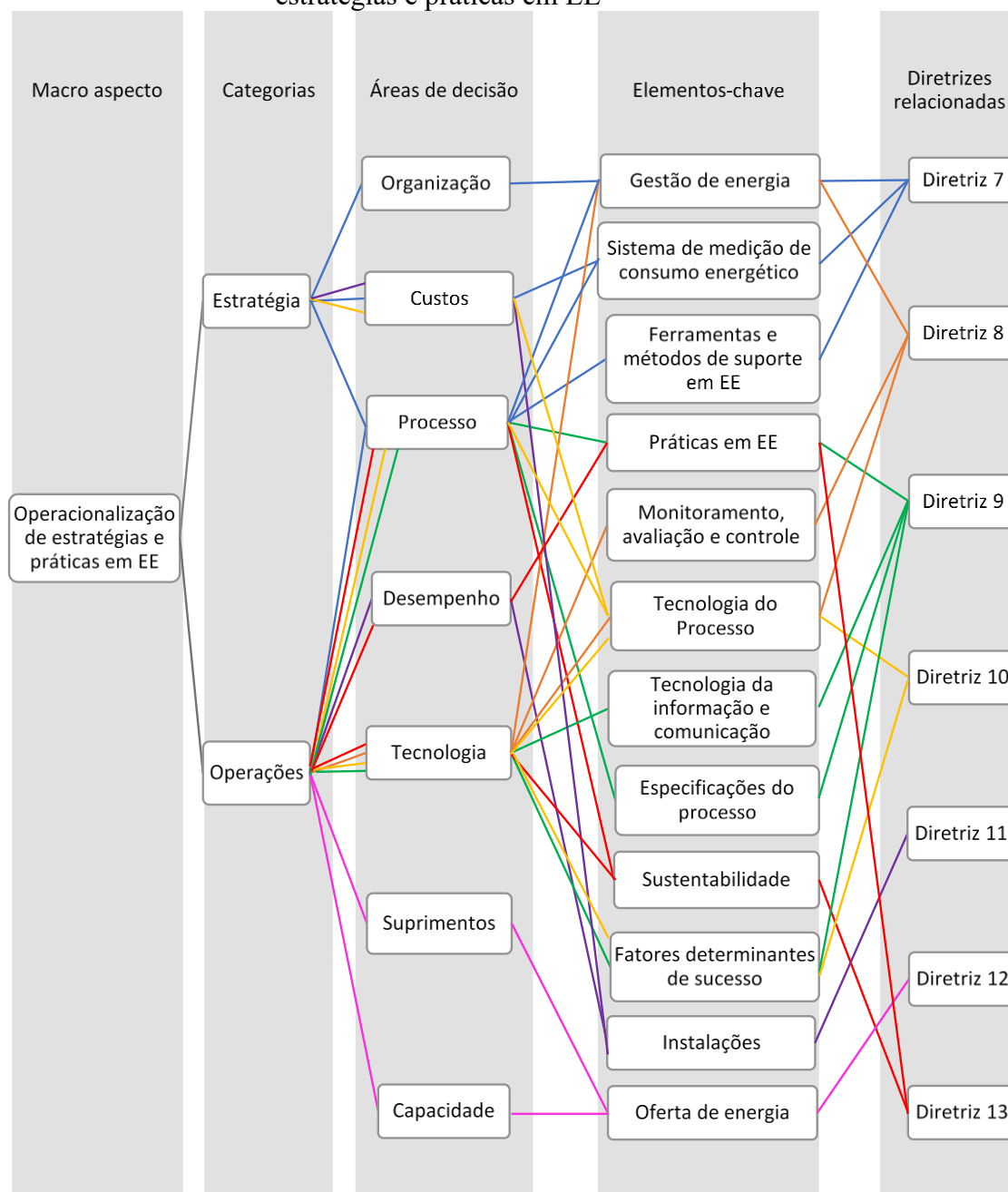
Você concorda com a diretriz?	
SIM ()	NÃO ()
A diretriz está completa ou deve ser abordada como parte de outra diretriz? R:	A diretriz deve ser eliminada ou ter seu foco alterado? Por quê? R:
No caso de unir diretrizes, como deveria ser a redação? R:	No caso de alteração do foco, como deveria ser a redação? R:
No caso da diretriz estar completa, a redação está apropriada ou precisa de refinamento? Por quê? Qual a sua sugestão? R:	
Parecer sobre a diretriz: <input type="checkbox"/> Sem mudança <input type="checkbox"/> Refinamento semântico ou sintático <input type="checkbox"/> Mudança no foco da diretriz <input type="checkbox"/> Eliminação da diretriz	

2.5 Diretrizes Relacionadas à Operacionalização de Estratégias e Práticas em EE

Nessa seção são apresentadas as diretrizes #7 a #13 que compõem o bloco 5 voltado a operacionalização de estratégias e práticas em EE. A correlação entre estas

diretrizes e os elementos correspondentes apresentam-se desdobrados na Figura 5.

Figura 5: Alinhamento de diretrizes em relação ao aspecto “Operacionalização de estratégias e práticas em EE”



Fonte: Autoria Própria (2021).

Diretriz 7: Adotar normas ISO 50001:2018 de gestão otimizada de energia.

Categorias: Estratégia; Operações.

Áreas de decisão: Organização; Processo; Custos.

Elemento-chave: Gestão de energia; Ferramentas e métodos de suporte a EE; Sistema de Medição de Consumo Energético.

Resultados esperados: Garantia de eficiência energética, redução dos custos operacionais e diferencial competitivo por operar conforme padrões internacionais de

eficiência energética e sustentabilidade.

Ferramentas recomendadas: Ciclo PDCA, plataformas de gestão de energia (como por exemplo a Powerhub), software ISO 50001 Analyzer proposto por Gopalakrishnan et al. (2014), abordagem metodológica baseada na norma ISO 50001 adaptada para pequenas e médias empresas de Richert (2017), KPI's de eficiência energética e benchmarking.

Fonte: ABNT (2018): ISO 5001:2018; Schulze et al (2016); Jovanović, Filipović, Bakić (2017), Pelsler, Vosloo, Mathews (2018), Gopalakrishnan et al. (2014), Richert (2017). Menghi et al (2019).

Deixe seu parecer em relação a esta diretriz:

Você concorda com a diretriz?	
SIM ()	NÃO ()
A diretriz está completa ou deve ser abordada como parte de outra diretriz? R:	A diretriz deve ser eliminada ou ter seu foco alterado? Por quê? R:
No caso de unir diretrizes, como deveria ser a redação? R:	No caso de alteração do foco, como deveria ser a redação? R:
No caso da diretriz estar completa, a redação está apropriada ou precisa de refinamento? Por quê? Qual a sua sugestão? R:	
Parecer sobre a diretriz: <input type="checkbox"/> Sem mudança <input type="checkbox"/> Refinamento semântico ou sintático <input type="checkbox"/> Mudança no foco da diretriz <input type="checkbox"/> Eliminação da diretriz	

Diretriz 8: Conjugar o sistema de gestão de energia a sistemas de controle e automação.

Categoria: Operações.

Área de decisão: Tecnologia.

Elemento-chave: Gestão de Energia; Tecnologia do Processo; Monitoramento, Avaliação e Controle.

Resultados esperados: Além da redução dos custos operacionais, um sistema de gerenciamento integrado de energia pelo lado da demanda possibilita que a indústria tenha uma atitude responsável e econômica no processo produtivo.

Ferramentas recomendadas: Normas da série ISO 50001, sistema de apoio à decisão com base no monitoramento do consumo de energia online de máquinas (Hu et al., 2012). Ren e Zhang (2010) propõem uma abordagem de economia de energia relacionada à TI

com base em dados em nuvem, desenvolvendo uma série de serviços que permitem a medição dinâmica, planejamento e gestão dos processos de fabricação. May et al (2016) sugere o suporte por meio de TIC nas seguintes dimensões: Sistemas de TI para Produção (por exemplo SCADA, MES, ERP, etc.), suporte para processos de manufatura (ex: CAD, CAM, etc.), *Future Enterprise Systems* e IoT, além de sistemas de controle inteligente.

Fonte: Sola e Mota (2019), Balanço Energético Nacional (2019), PROCEL (2019), Soares (2015), Maulinauskaute et al (2019), Hu et al., (2012). Ren e Zhang (2010), May et al (2016).

Deixe seu parecer em relação a esta diretriz:

Você concorda com a diretriz?	
SIM ()	NÃO ()
A diretriz está completa ou deve ser abordada como parte de outra diretriz? R:	A diretriz deve ser eliminada ou ter seu foco alterado? Por quê? R:
No caso de unir diretrizes, como deveria ser a redação? R:	No caso de alteração do foco, como deveria ser a redação? R:
No caso da diretriz estar completa, a redação está apropriada ou precisa de refinamento? Por quê? Qual a sua sugestão? R:	
Parecer sobre a diretriz: <input type="checkbox"/> Sem mudança <input type="checkbox"/> Refinamento semântico ou sintático <input type="checkbox"/> Mudança no foco da diretriz <input type="checkbox"/> Eliminação da diretriz	

Diretriz 9: Aplicar práticas que proporcionem melhoria da eficiência energética nas indústrias.

Categoria: Operações.

Área de decisão: Tecnologia; Processo.

Elemento-chave: Práticas em EE; Especificações do processo; Fatores determinantes de sucesso.

Resultados esperados: Adoção de práticas que proporcionem maior conservação de energia e melhor utilização dos recursos disponíveis.

Ferramentas recomendadas: Benchmarking, KPI's relacionados a consumo de energia, custo de energia e eficiência energética; IoT aliada a processamento de eventos complexos (Wang et al., 2017); agendamento de processos de acordo com os períodos de

menor custo da energia; realização de diagnósticos energéticos e divulgação pelos órgãos competentes de informações sobre as melhores práticas para indústrias; oferecer cursos e treinamentos aos colaboradores que possibilitem economia de energia, podendo estar relacionados a fatores como iluminação, motores, bombas, ventiladores, aquecimento direto, vapor de processo e ar comprimido.

Fonte: Wang et al. (2017); Bonfá, et al (2018); Lee, et al (2017); Ding, et al (2015), Sola e Mota (2019), Thompson (2014).

Deixe seu parecer em relação a esta diretriz:

Você concorda com a diretriz?	
SIM ()	NÃO ()
A diretriz está completa ou deve ser abordada como parte de outra diretriz? R:	A diretriz deve ser eliminada ou ter seu foco alterado? Por quê? R:
No caso de unir diretrizes, como deveria ser a redação? R:	No caso de alteração do foco, como deveria ser a redação? R:
No caso da diretriz estar completa, a redação está apropriada ou precisa de refinamento? Por quê? Qual a sua sugestão? R:	
Parecer sobre a diretriz: <input type="checkbox"/> Sem mudança <input type="checkbox"/> Refinamento semântico ou sintático <input type="checkbox"/> Mudança no foco da diretriz <input type="checkbox"/> Eliminação da diretriz	

#Diretriz 10: Otimizar o rendimento dos processos e diminuir custos com energia.

Categoria: Estratégia e Operações.

Área de decisão: Custos; Tecnologia; Processo.

Elemento-chave: Tecnologia do processo; Fatores determinantes de sucesso.

Resultados esperados: Processos mais eficientes energeticamente que favoreçam a redução de custos com energia e aumento no rendimento produtivo por meio de processos automatizados e equipamentos mais eficientes.

Ferramentas recomendadas: Busca por aperfeiçoamento e a introdução de novas tecnologias são opções que proporcionam ganhos competitivos na estratégia de negócios e na eficiência energética. Ferramentas como avaliação do ciclo de vida (estudos acadêmicos utilizam este método para avaliar os impactos ambientais no processo de eficiência), *benchmarking*, avaliação de energia, modelagem e análise, simulação de

eventos discretos, podem ter resultados satisfatórios.

Fonte: May et al (2016); Trianni, Cagno, Accordini (2019); Masoudinejad et al (2015); Zuberi, Tijdink, Patel (2017); Bühler et al (2019), Bonfai et al (2019); Feng et al (2016), Zhang e Ge (2015).

Deixe seu parecer em relação a esta diretriz:

Você concorda com a diretriz?	
SIM ()	NÃO ()
A diretriz está completa ou deve ser abordada como parte de outra diretriz? R:	A diretriz deve ser eliminada ou ter seu foco alterado? Por quê? R:
No caso de unir diretrizes, como deveria ser a redação? R:	No caso de alteração do foco, como deveria ser a redação? R:
No caso da diretriz estar completa, a redação está apropriada ou precisa de refinamento? Por quê? Qual a sua sugestão? R:	
Parecer sobre a diretriz: <input type="checkbox"/> Sem mudança <input type="checkbox"/> Refinamento semântico ou sintático <input type="checkbox"/> Mudança no foco da diretriz <input type="checkbox"/> Eliminação da diretriz	

Diretriz 11: Melhorar o desempenho energético das instalações industriais.

Categoria: Estratégia; Operações.

Área de decisão: Desempenho; Custos.

Elemento-chave: Instalações.

Resultados esperados: Obter instalações industriais mais eficientes energeticamente.

Ferramentas recomendadas: Sistema de armazenamento de energia térmica, recuperação do excedente de eletricidade fotovoltaica, softwares de modelagem e simulação de energia, edifícios de alto desempenho.

Fonte: Arteconi, et al (2016); Khudhair; Farid (2004), Dincer; Rosen (2001); Li, et al. (2015); Tennakoon, Waidyasekara, Ekanayake (2019); Adewunmi, et al (2019); Kang et al. (2017); Qian et al. (2011).

Deixe seu parecer em relação a esta diretriz:

Você concorda com a diretriz?	
SIM ()	NÃO ()
A diretriz está completa ou deve ser abordada como parte de outra diretriz? R:	A diretriz deve ser eliminada ou ter seu foco alterado? Por quê? R:
No caso de unir diretrizes, como deveria ser a redação? R:	No caso de alteração do foco, como deveria ser a redação? R:
No caso da diretriz estar completa, a redação está apropriada ou precisa de refinamento? Por quê? Qual a sua sugestão? R:	
Parecer sobre a diretriz: <input type="checkbox"/> Sem mudança <input type="checkbox"/> Refinamento semântico ou sintático <input type="checkbox"/> Mudança no foco da diretriz <input type="checkbox"/> Eliminação da diretriz	

#Diretriz 12: Aumentar a produção de energia a partir do uso mais eficiente do combustível utilizado por meio da cogeração.

Categoria: Operações.

Área de decisão: Suprimentos; Capacidade.

Elementos-chave: Oferta de energia.

Resultados esperados: Economia de recursos energéticos em comparação a uma configuração convencional, além da autossuficiência energética e economia na operação.

Ferramentas recomendadas: Tecnologias - turbinas a gás, turbinas a vapor, motores de combustão interna, ciclo combinado (aproveitamento da rejeição térmica de um ciclo primário de geração eletromecânica numa segunda máquina térmica), micro sistemas de cogeração (aplicações em pequeno porte), microturbinas (podem operar com combustíveis gasosos - gás natural, biogás ou propano, ou com alguns combustíveis líquidos leves, porém com níveis de emissões mais elevados), células a combustível (dispositivo eletroquímico capaz de converter diretamente a energia do combustível em eletricidade).

Fonte: Feng et al (2016), Ghadimi et al (2015), Tan e Yavuz (2015), Xing et al (2019), Stiphout, De Vos, Deconinck (2016), Wang, Lin (2017), Dasgupta, Roy (2015), Yin, et al (2019), PROCEL (2019).

Deixe seu parecer em relação a esta diretriz:

Você concorda com a diretriz?	
SIM ()	NÃO ()
A diretriz está completa ou deve ser abordada como parte de outra diretriz? R:	A diretriz deve ser eliminada ou ter seu foco alterado? Por quê? R:
No caso de unir diretrizes, como deveria ser a redação? R:	No caso de alteração do foco, como deveria ser a redação? R:
No caso da diretriz estar completa, a redação está apropriada ou precisa de refinamento? Por quê? Qual a sua sugestão? R:	
Parecer sobre a diretriz: <input type="checkbox"/> Sem mudança <input type="checkbox"/> Refinamento semântico ou sintático <input type="checkbox"/> Mudança no foco da diretriz <input type="checkbox"/> Eliminação da diretriz	

Diretriz 13: Escolher estratégias eficientes de mitigação de emissões industriais para o desenvolvimento sustentável.

Categoria: Estratégia; Operações.

Área de decisão: Tecnologia; Processo; Desempenho.

Elemento-chave: Sustentabilidade; Práticas em eficiência energética.

Resultados esperados: Projetar estratégias e políticas que equilibrem o desenvolvimento industrial, a redução de emissões e o consumo de energia.

Ferramentas recomendadas: Implementação de medidas de redução de emissões e economia de energia, políticas direcionadas a inovações tecnológicas nos processos, por meio de atualizações e transferência de tecnologia, subsídios financeiros governamentais e medidas de eco-compensação. Além disso, Li et al. (2016) e Zhang e Lahr (2014) sugerem modelos de entrada-saída, de análise de decomposição e de análise econômica para avaliação de cenários.

Fonte: Li et al., (2016); Zhang e Lahr (2014); Dong et al. (2013); Li et al., (2010); Liang, Dong, Luo (2016); Brinkerink, Chegut, Letterie (2019); Menghi et al (2019).

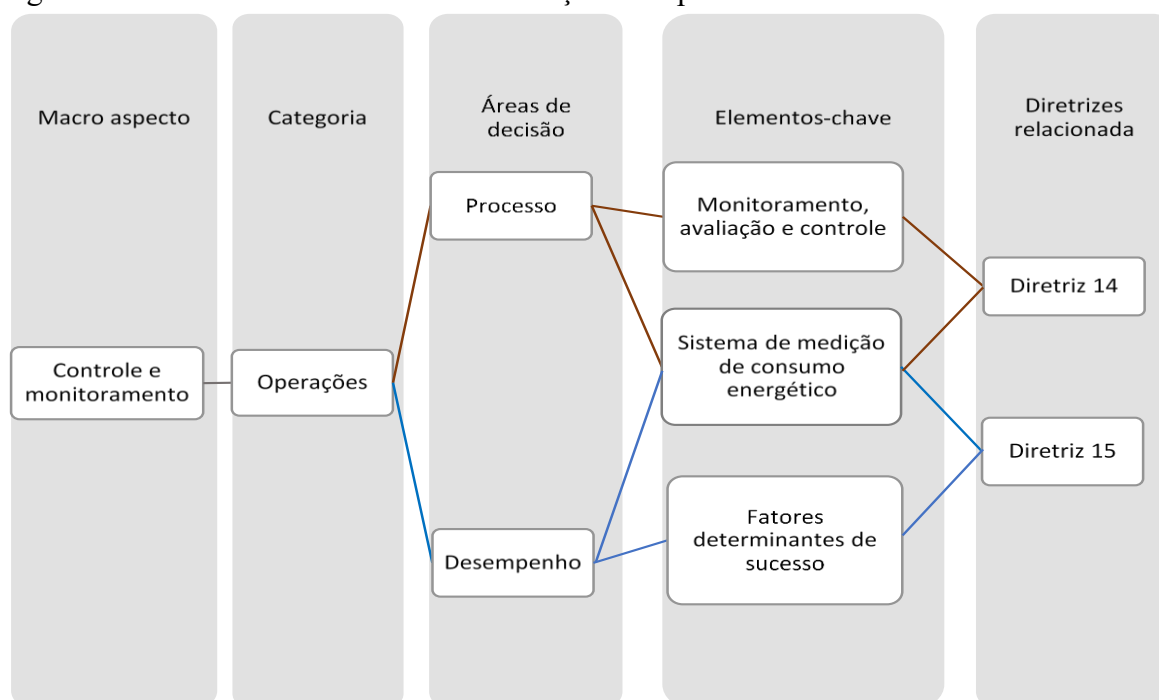
Deixe seu parecer em relação a esta diretriz:

Você concorda com a diretriz?	
SIM ()	NÃO ()
A diretriz está completa ou deve ser abordada como parte de outra diretriz? R:	A diretriz deve ser eliminada ou ter seu foco alterado? Por quê? R:
No caso de unir diretrizes, como deveria ser a redação? R:	No caso de alteração do foco, como deveria ser a redação? R:
No caso da diretriz estar completa, a redação está apropriada ou precisa de refinamento? Por quê? Qual a sua sugestão? R:	
Parecer sobre a diretriz: <input type="checkbox"/> Sem mudança <input type="checkbox"/> Refinamento semântico ou sintático <input type="checkbox"/> Mudança no foco da diretriz <input type="checkbox"/> Eliminação da diretriz	

2.6 Diretrizes Relacionadas ao Controle e Monitoramento

Nessa seção são apresentadas as diretrizes #14 e #15 que compõem o bloco 6 voltado ao controle e monitoramento. A correlação entre estas diretrizes e os elementos correspondentes apresentam-se desdobrados na Figura 6.

Figura 6: Alinhamento de diretrizes em relação ao aspecto “Controle e Monitoramento”



Fonte: Autoria Própria (2021).

Diretriz 14: Monitorar fluxos de energia por medições em tempo real

Categoria: Operações.

Área de decisão: Processos.

Elemento-chave: Monitoramento, avaliação e controle; Sistema de medição de consumo de energia.

Resultados esperados: Possibilidade de avaliar os custos relacionados, o seu impacto ambiental e opções de mitigação de riscos relacionados ao consumo de energia.

Ferramentas recomendadas: Cartas de controle por variáveis, hardware de medição que requeiram poucos recursos financeiros e não gerem paradas operacionais, medidores de potência e energia portáteis que possam ser instalados diretamente no local a ser monitorado, dispositivos de dados em tempo real que se comuniquem através de conectividade via internet.

Fonte: Bonfá et al (2017), Salonitis (2015), Richert (2017), Cagno (2014), Schlechtendahl, Eberspaecher, Verl (2016), Ghadimi et al (2015), Arteconi et al (2016).

Deixe seu parecer em relação a esta diretriz:

Você concorda com a diretriz?	
SIM ()	NÃO ()
A diretriz está completa ou deve ser abordada como parte de outra diretriz? R:	A diretriz deve ser eliminada ou ter seu foco alterado? Por quê? R:
No caso de unir diretrizes, como deveria ser a redação? R:	No caso de alteração do foco, como deveria ser a redação? R:
No caso da diretriz estar completa, a redação está apropriada ou precisa de refinamento? Por quê? Qual a sua sugestão? R:	
Parecer sobre a diretriz: <input type="checkbox"/> Sem mudança <input type="checkbox"/> Refinamento semântico ou sintático <input type="checkbox"/> Mudança no foco da diretriz <input type="checkbox"/> Eliminação da diretriz	

Diretriz 15: Avaliar o desempenho por meio de indicadores de eficiência energética adequados à operação.

Categoria: Operações.

Área de decisão: Desempenho.

Elemento-chave: Sistema de medição de consumo de energia; Fatores determinantes de

sucesso.

Resultados esperados: Melhoria no desempenho das operações por meio da análise de indicadores que forneçam informações relevantes sobre o consumo de energia e apoiem o desenvolvimento de políticas e a definição de prioridades, permitindo o monitoramento dos processos.

Ferramentas recomendadas: BSC (*Balanced Scorecard*), SMART (*Strategic Measurement and Reporting Technique*), PMQ (*Performance Measurement Questionnaire*), KPI's adequados à resposta que se espera e às características do processo.

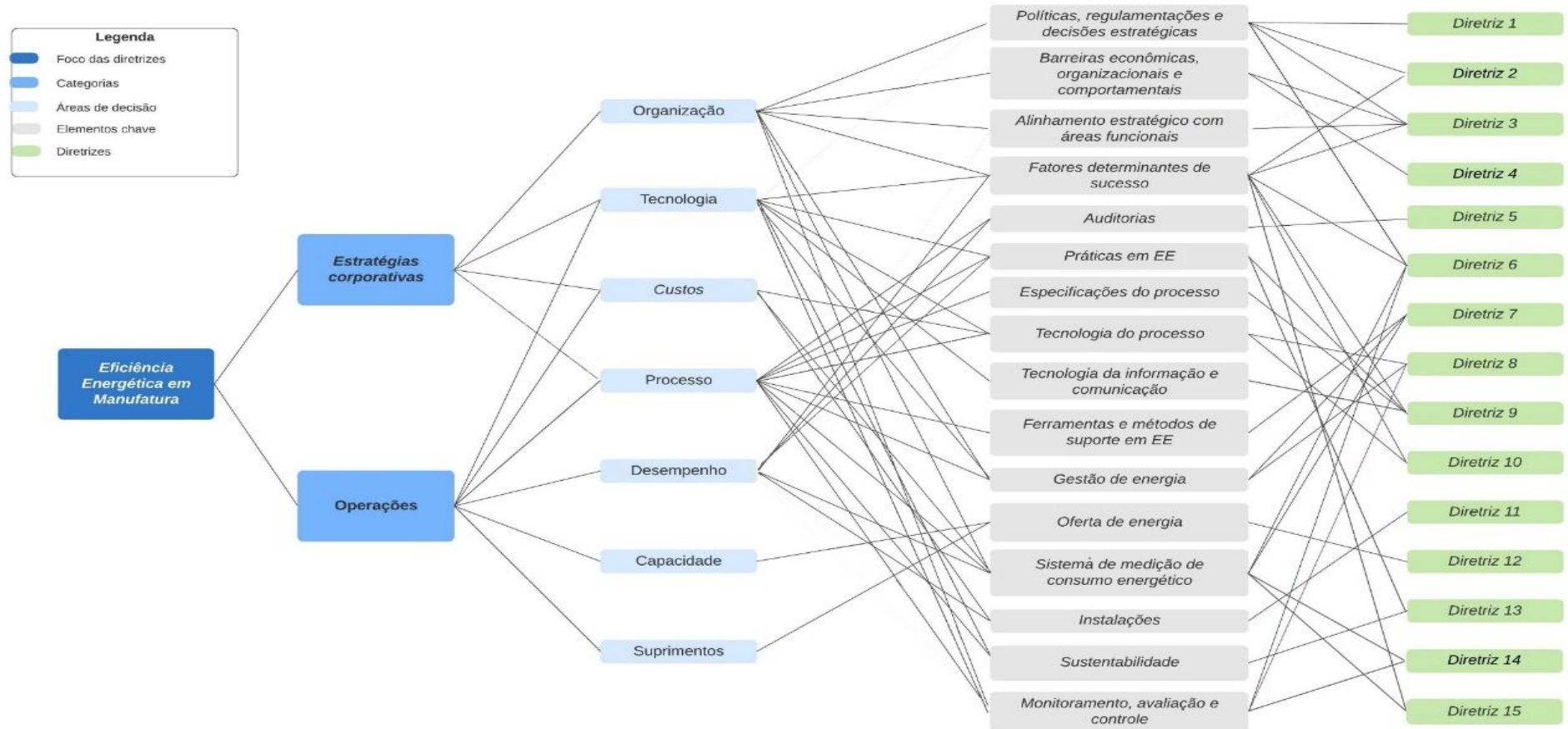
Fonte: Liu, et al., (2018), Jovanović, Filipović, Bakić (2017), May et al. (2016), Velasco-Fernández et al. (2020), Bunse et al. (2016), Mkwanzani et al. (2019), Bourne et al. (2005), Andersson, Arfwidsson e Thollander (2018).

Deixe seu parecer em relação a esta diretriz:

Você concorda com a diretriz?	
SIM ()	NÃO ()
A diretriz está completa ou deve ser abordada como parte de outra diretriz? R:	A diretriz deve ser eliminada ou ter seu foco alterado? Por quê? R:
No caso de unir diretrizes, como deveria ser a redação? R:	No caso de alteração do foco, como deveria ser a redação? R:
No caso da diretriz estar completa, a redação está apropriada ou precisa de refinamento? Por quê? Qual a sua sugestão? R:	
Parecer sobre a diretriz: <input type="checkbox"/> Sem mudança <input type="checkbox"/> Refinamento semântico ou sintático <input type="checkbox"/> Mudança no foco da diretriz <input type="checkbox"/> Eliminação da diretriz	

2.7 Arquitetura das Diretrizes

A estrutura apresentada na Figura 7 ilustra a arquitetura sugerida para diretrizes em eficiência energética, buscando apresentar de forma geral a relação entre os fatores elencados e o conjunto de diretrizes propostas.



Dê o seu parecer:

1) Na sua percepção, falta algum elemento ao modelo?

R:

2) As conexões apresentadas no modelo são coerentes? Caso verifique discrepância em alguma relação, relate onde está o conflito e qual a sua sugestão para adequação.

R:

3) Quais as recomendações para o modelo ser concluído?

R: