

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ
ESCOLA POLITÉCNICA
DOUTORADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS**

FRANCIELLE CRISTINA FENERICH

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO PARA MENSURAÇÃO DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA EM AMBIENTES PRODUTIVOS**

CURITIBA

2017

FRANCIELLE CRISTINA FENERICH

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO PARA MENSURAÇÃO DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA EM AMBIENTES PRODUTIVOS**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de produção e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Engenharia de Produção e Sistemas.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio E. Gouvea da Costa

Co-orientador: Edson Pinheiro de Lima

CURITIBA

2017

Dados da Catalogação na Publicação
Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/PUCPR
Biblioteca Central

F332d
2017 Fenerich, Francielle Cristina
Desenvolvimento de um modelo para mensuração de eficiência energética em ambientes produtivos / Francielle Cristina Fenerich ; orientador, Sergio E. Gouvea da Costa ; co-orientador, Edson Pinheiro de Lima. – 2017.
212 f. : il. ; 30 cm

Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2017

Bibliografia: f. 131-136

1. Indústrias – Consumo de energia. 2. Processo decisório. 3. Desempenho. 4. Engenharia de Produção. I. Costa, Sérgio Eduardo Gouvea da. II. Lima, Edson Pinheiro. III. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas. VI. Título.

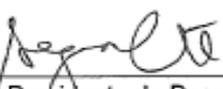
CDD 20. ed. – 670

TERMO DE APROVAÇÃO

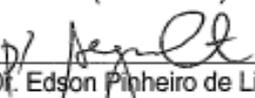
Francielle Cristina Fenerich

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO PARA MENSURAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM AMBIENTES PRODUTIVOS.

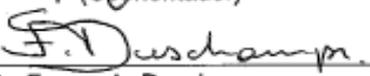
Tese aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor no Curso de Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, da Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, pela seguinte banca examinadora:



Presidente da Banca
Prof. Dr. Sérgio Eduardo Gouvêa da Costa
(Orientador)



Prof. Dr. Edson Pinheiro de Lima
(Coorientador)



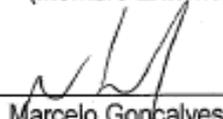
Prof. Dr. Fernando Deschamps
(Membro Interno)



Prof. Dr. Wesley Vieira da Silva
(Membro Externo)



Prof. Dr. Marcelo Gechele Cleto
(Membro Externo)



Prof. Dr. Marcelo Gonçalves Trentin
(Membro Externo)

Curitiba, 28 de março de 2017.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar é preciso dizer que sem a participação de inúmeras pessoas, seja na execução do trabalho ou no suporte para que o mesmo pudesse ser realizado, esta tese jamais teria sido desenvolvida por completo.

Meus sinceros agradecimentos ao Dr. Sérgio E. Gouvea da Costa, que foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho, que acreditou na minha capacidade no momento em que até eu duvidei, que foi a mão estendida nas horas mais difíceis, que foi ouvidos, ombros e conhecimento. Minha eterna gratidão à este professor que me ensinou sobre generosidade e empatia, além do conhecimento.

Agradeço também ao Dr. Edson P. de Lima, por todo conhecimento compartilhado e pelos ensinamentos.

Ao amigos do PPGEPS por todas as discussões, construções de conhecimentos e amizades.

Aos amigos da UEM pelo apoio e incentivo.

À minha mãe e meu esposo pelo suporte em casa durante a minha ausência.

Ao meu pai (*in memoriam*) e à Sônia pelo apoio e suporte em Curitiba.

“Não é sobre ter
Todas as pessoas do mundo pra si
É sobre saber que em algum lugar
Alguém zela por ti
É sobre cantar e poder escutar
Mais do que a própria voz
É sobre dançar na chuva de vida
Que cai sobre nós

[...]Não é sobre chegar no topo do mundo
E saber que venceu
É sobre escalar e sentir
Que o caminho te fortaleceu
É sobre ser abrigo
E também ter morada em outros corações
E assim ter amigos contigo
Em todas as situações

[...]Segura teu filho no colo
Sorria e abraça Seus pais
Enquanto estão aqui
Que a vida é trem-bala, parceiro
E a gente é só passageiro prestes a
partir”

(Ana Vilela, 2016)

RESUMO

A energia, em suas diversas facetas é um fator vital para o funcionamento das indústrias, assim como o seu consumo e desperdício tem chamado a atenção de gestores. A integração da variável energia em sistemas de medição de desempenho produtivo pode ser encontrada na literatura e na prática, no entanto, o impacto que esta variável sofre diante de algumas decisões em áreas específicas, ainda não é conhecido em sua totalidade. O objetivo principal da pesquisa foi desenvolver um sistema de indicadores para a mensuração da eficiência energética em ambientes industriais, destacando a relação existente entre as áreas de decisão e as medidas do consumo de energia em cinco perspectivas: social, ambiental, econômica, inovação e aprendizado e a perspectiva interna do negócio. Para tanto utilizou-se técnicas de análise cognitiva para o estudo da literatura e extração das relações; uma pesquisa survey confirmatória para avaliar estas relações e técnicas estatísticas a fim de mensurar a intensidade das relações existentes. Por fim, propôs-se um modelo matemático que é alimentado por 17 indicadores, cujo resultado é um diagnóstico em torno da eficiência energética. O modelo proposto foi submetido a uma Prova de Conceito (Proof Concept - PoC) para validar a sua aplicabilidade e constatar a sua utilidade.

Palavras-chave: Eficiência Energética. Ambientes Industriais. Áreas de Decisão. Gerenciamento.

ABSTRACT

The energy in its various facets is vital to the functioning of industries factor, as well as their consumption and waste has drawn the attention of managers. The integration of variable energy into productive performance measurement systems can be found in the literature and in practice, however, the impact that this variable suffers facing some decisions in specific areas, it is not yet known in totality. The main objective of the research was to develop a system of indicators for energy efficiency in industrial environments, detaching the relationship between decision areas and measures of energy consumption in five perspectives: social, environmental, economic, innovation and learning and business internal. For that, were used: cognitive analysis techniques for the study of literature and to extract the relationships; a confirmatory survey to evaluate these relationships and statistical techniques in order to measure the intensity of existing relationships. Finally, was proposed a mathematical model that is fed by 17 indicators, whose result is a diagnostic of energy efficiency. The proposed model was submitted to a Proof Concept (PoC) to validate its applicability and to verify its usefulness.

Key-words: Energy Efficiency. Industrial Environmental. Decision Areas. Management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Mapa da tese.	10
Fonte: a autora, 2017.	10
Quadro 1. <i>Strings</i> para a busca de referência bibliográfica.....	13
Fonte: a autora, 2017.	13
Figura 2. Descrição do processo de revisão sistemática da literatura, adaptado de Sampaio e Mancini (2007).....	17
Fonte: a autora, 2017.	17
Figura 3. Processo para teste de uma pesquisa <i>survey</i>	19
Fonte: Forza, 2002.	19
Figura 4. Framework do processo da pesquisa <i>survey</i> confirmatória .....20	20
Fonte: Melnyk et al, 2012.	20
Figura 5. Metodologia utilizada no desenvolvimento da tese.	24
Fonte: a autora, 2017.	24
Figura 6. Número de publicações por ano.	26
Quadro 2. Características das publicações entre o período de 1994 à 2014. ....26	26
Fonte: adaptado de Du <i>et al</i> , 2013.	27
Legenda: TP é o número de publicações por ano; AU é a quantidade de autores por ano; NR é o número de citações por ano; AU/TP e NR/TP é a média do número de autores e citações por artigos.	27
Figura 7. Países mais produtivos.	28
Figura 8. Número anual de produção dos países que representam 60% das publicações da pesquisa.	29
Fonte: a autora, 2017.	29
Quadro 3. Artigos mais citados no contexto da presente pesquisa.	29
Fonte: a autora.	30
Quadro 4. Ranking dos principais periódicos para o contexto.....	30
Fonte: a autora, 2017.	31
Figura 9. Quantidade de publicações por ano dos principais periódicos.....	32
Figura 10. Ranking dos periódicos que mais apresentaram publicações pertinentes à pesquisa.....	32
Fonte: a autora, 2017.	32
Quadro 5. Organizações com os maiores índices de publicações.	33

Fonte: a autora, 2017.	33
Figura 11. Número de publicações por ano das Instituições que apresentaram maior quantidade de trabalhos.	34
Fonte: a autora, 2017.	34
Quadro 6. Principais autores que contribuem com a pesquisa	35
Fonte: a autora, 2017	36
Figura 12. Quantidade de publicação por ano autor, ano a ano.....	37
Fonte: a autora, 2017.	37
Figura 13. Número de repetições das palavras chave presentes nas strigs da pesquisa.....	38
Fonte: a autora	38
Figura 14. Palavras que mais apareceram nos títulos dos trabalhos selecionados. .	39
Fonte: a autora, 2017.	39
Figura 15. Gráfico das categorias e subcategorias dos trabalhos selecionados para estudo.	40
Fonte: a autora, 2017.	40
Quadro 7. Prática comuns para o gerenciamento de energia.	44
Fonte: Dusi e Schultz, 2012.	44
Quadro 8. Questões dos SGE de acordo com as Normas 16001 e 50001.....	46
Fonte: Moskalenko <i>et al.</i> , 2012.	46
Figura 16. Sistema de melhoria contínua e medição de desempenho para sistema de energia.	48
Fonte: Dorr et al, 2013.	48
Figura 17. Modelos de gestão propostos por Dorr <i>et al</i> , 2013.....	49
Fonte: Dorr <i>et al</i> , 2013.	49
Figura 18. Projeto de eficiência energética com as extensões necessárias no sistema técnico de controle.	50
Fonte: Dorr <i>et al</i> , 2013.	50
Figura 19. Modelo de sistema de gestão da energia para a ISO 50001:2011.	51
Fonte: Adaptado de NBR ISO 50001:2011.	51
Figura 20. Processo de construção dos indicadores de eficiência energética.	54
Fonte: Lombard et al, 2013.	54
Figura 21. Dimensões da eficiência energética.....	55

Fonte: Abdelaziz, 2011.....	55
Figura 22. Contribuição da eficiência energética nos três principais aspectos da manufatura sustentável	55
Fonte: Bunse <i>et al</i> , 2011.	55
Figura 23.Framework adaptado da NBR 50001:2011.	57
Fonte: Fenerich <i>et al</i> , 2013.....	57
Quadro 9.Síntese das áreas de decisão e os modelos de gerenciamento de energia.	58
Fonte: a autora, 2017.	58
Figura 24.Sistema de gerenciamento de energia	61
Fonte: Neves e Leal, 2010.	61
Quadro 10.Indicadores de desempenho energético para a cadeia de suprimentos..	61
Fonte: Neves e Leal, 2010.	62
Quadro 11.Indicadores para controle de energia sugeridos por Patlitzianas <i>et al</i> (2008).....	63
Fonte: Patlitzianas <i>et al</i> , 2008.	64
Quadro 12.Síntese das áreas de decisão e os trabalhos selecionados para o estudo.	65
Fonte: a autora, 2017.	65
Quadro 13.Processo de construção da teoria a partir da pesquisa com estudos de caso.....	67
Fonte: Eisenhardt, 1989.	68
Figura 25.Modelo proposto para monitoramento da eficiência energética.	70
Fonte: a autora, 2017.	70
Figura 26.Perfil dos participantes da pesquisa survey.	71
Fonte: a autora, 2017.	71
Figura 27.Porte das empresas em que os respondentes da pesquisa atuam.....	72
Fonte: a autora, 2017.	72
Figura 28.Principais áreas de decisão das empresas em que os participantes da pesquisa atuam.	72
Fonte: a autora, 2017.	72
Figura 29.Áreas de decisão que influenciam no desempenho energético.	73
Fonte: a autora, 2017.	73

Figura 30.Áreas de decisão que são influenciadas pelo desempenho energético. ...	73
Fonte: a autora, 2017.	73
Figura 31.Comparativo entre as áreas de destaque na teoria e na prática. Áreas que acreditam influenciar a eficiência energética e áreas influenciadas pela eficiência energética.....	74
Fonte: a autora, 2017.	74
Figura 32.Sistemas de medição de desempenho mais utilizados pelos participante	75
Fonte: a autora, 2017.	75
Quadro 14.Indicadores selecionados por área de decisão.	80
Fonte: a autora, 2017.	80
Figura 33.Comparativo entre a presença de indicadores na literatura e as áreas que receberam mais indicadores pelos respondentes.	81
Fonte: a autora, 2017.	81
Figura 34. Teste de igualdade de variâncias para as áreas da perspectiva ambiental.	83
Fonte: a autora, 2017.	83
Figura 35.Teste de igualdade de variâncias para as áreas da perspectiva social. ...	85
Fonte: a autor, 2017.	85
Figura 36. Teste de igualdade de variâncias para as áreas da perspectiva econômica.	87
Fonte: a autora, 2017.	87
Figura 37. Teste de igualdade de variâncias para as áreas da perspectiva interna do negócio.....	88
Fonte: a autora, 2017.	88
Figura 38.Teste de igualdade de variâncias para as áreas da perspectiva de inovação e aprendizado.	90
Fonte: a autora, 2017.	90
Figura 39. Teste de igualdade de variâncias para as cinco perspectivas em estudo	92
Fonte: a autora, 2017.	92
Figura 40.Modelo conceitual proposto para monitoramento da eficiência energética global de uma empresa.	98
Fonte: a autora, 2017.	98
Figura 41. Grafo da relações matemáticas propostas.	100

Fonte: a autora, 2017.	100
Figura 42. Ranking dos índices de eficiência energética por área de decisão.	104
Fonte: a autora, 2017.	104
Figura 43. Ranking dos índices de eficiência energética por perspectiva.	104
Fonte: a autora, 2017.	104
Quadro 15. Plano de ações em eficiência energética.	106
Fonte: a autora, 2017.	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores representativos de cada área de decisão em relação a presença na teoria e na prática.....	74
Tabela 2. Média dos scores atribuídos a cada área em relação às cinco perspectivas de estudo.....	77
Tabela 3. Percentuais comparativos entre a presença de indicadores na literatura e as áreas que receberam mais indicadores pelos respondentes.....	81
Tabela 4. Avaliação da relação entre eficiência energéticas e cinco perspectivas definidas para estudo.	81
Tabela 5. Cálculo dos valores de P, a intensidade das relações na perspectiva ambiental.....	83
Tabela 6. Cálculo dos valores de Y, a intensidade das relações na perspectiva social.	85
Tabela 7, Cálculo dos valores de Y, a intensidade das relações na perspectiva econômica.	87
Tabela 8. Cálculo dos valores de Y, a intensidade das relações na perspectiva interna do negócio.....	89
Tabela 9. Cálculo dos valores de Y, a intensidade das relações na perspectiva de inovação e aprendizagem.	90
Tabela 10. Cálculo dos valores de Y, a intensidade das relações na perspectiva. ...	91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EE	eficiência energética
EE _{PA}	eficiência energética na perspectiva ambiental
EE _{PE}	eficiência energética na perspectiva econômica
EE _{PIN}	eficiência energética na perspectiva interna do negócio
EE _{PIA}	eficiência energética na perspectiva de inovação e aprendizado
EE _{PS}	eficiência energética na perspectiva social
IDE	indicador de desempenho energético
IEE	indicador de eficiência energética
AU	autores por ano
TP	publicações por ano
NR	citações por ano
OP	operações
SU	sustentabilidade
SGE	Sistema de gestão de energia
PDCA	<i>plan, do, check, act</i>
BSC	<i>balanced scorecard</i>
H	entalpia
S	entropia
G	energia livre de Gibbs
T	temperatura
E	energia
PoC	prova de conceito
ISO	<i>international organization for standardization</i>
OG	organização e gerenciamento
LOG	logística
QLD	qualidade
INST	instalações e tecnologia
RH	recursos humanos
PCP	programação e controle de produção
CAP	capacidade
EP	engenharia de produto
FDP	fator de desempenho de planta
EC	energia consumida

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	2
1.1	ORIGINALIDADE DO ESTUDO	3
1.2	RELEVÂNCIA DA PESQUISA.....	4
1.3	PERGUNTAS DE PESQUISA	6
1.4	OBJETIVOS	7
1.4.1	Objetivo Geral	7
1.4.2	Objetivos Específicos	7
1.5	COMPLEXIDADE E ESTRUTURA DA TESE.....	7
1.6	MAPA DA TESE	9
2	METODOLOGIA	11
2.1	REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1.1	Definição da pesquisa bibliográfica	12
2.1.2	Bibliometria	16
2.1.3	Survey confirmatório	18
2.1.4	Prova de Conceito (<i>Proof Concept – PoC</i>)	21
2.1.5	Etapas seguidas no desenvolvimento da pesquisa	21
3	REVISÃO DE LITERATURA	25
3.1	BIBLIOMETRIA.....	25
3.2	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E O ESTUDO COGNITIVO DA RELAÇÃO COM AS ÁREAS DE DECISÃO	40
3.2.1	Estratégias e procedimentos para sistemas de gerenciamento de energia e áreas de decisão	42
3.2.1.1	Síntese da análise cognitiva das estratégias e procedimentos para os sistemas de gerenciamento de energia e áreas de decisão	58
3.2.2	Indicadores de desempenho energético e áreas de decisão	59
3.2.2.1	Síntese da análise cognitiva dos indicadores de desempenho energético e áreas de decisão	64
4	MODELO CONCEITUAL	67
4.1	<i>SURVEY</i> CONFIRMATÓRIO	69
4.2	PARAMETRIZAÇÕES DO MODELO CONCEITUAL	82
4.2.1	Perspectiva ambiental	82
4.2.2	Perspectiva social	84

4.2.3. Perspectiva econômica.....	86
4.2.4. Perspectiva interna do negócio	88
4.2.5. Perspectiva de inovação e aprendizagem.....	90
4.2.6. Índice global de eficiência energética	91
4.2.7 Modelo geral para cálculo da eficiência energética global.....	92
5 PROVA DE CONCEITO E DISCUSSÃO DA PROPOSTA	101
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	110
6.1 CONTRIBUIÇÃO À TEORIA E A PRÁTICA	110
6.2 QUANTO AOS OBJETIVOS.....	111
6.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	112
6.4 TRABALHOS FUTUROS.....	113

1 INTRODUÇÃO

Segundo Skinner (1996) estratégia é um conjunto de planos e políticas pelas quais uma empresa pretende ganhar vantagens sobre seus concorrentes. Algumas empresas falham em reconhecer a relação entre as decisões de produção e a estratégia corporativa, isso muitas vezes pode comprometer a produtividade da empresa e acarretar problemas de difícil reversão que geram alto custo. Skinner (1996) aponta ainda a importância da estratégia de produção na relação entre as operações de produção e a estratégia competitiva, chamando a atenção para os trade-offs de produção e busca por fim, sugerir uma nova maneira de olhar a manufatura. Para Mintzberg (1987) a estratégia não é apenas uma noção de como lidar com o inimigo, ou os concorrentes e até mesmo o mercado, como muitas vezes é colocada. A estratégia trabalha também com questões fundamentais sobre a organização, como instrumentos, percepção e ação.

Naturalmente as variáveis de custo, tempo, qualidade, restrições tecnológicas, e satisfação do cliente impõem limites sobre as ações de gerenciamento dos sistemas produtivos, implicando num conhecimento explícito de diversos trade-offs (Skinner, 1996). No entanto, muitas vezes a variável energia foge ao gerenciamento da produção, provocando uma lacuna nos sistemas, assim como um falso controle das variáveis produtivas.

É sabido que a energia, em suas diversas facetas, é vital para a sobrevivência humana, bem como a transformação de matérias-primas em manufatura ou serviços. Segundo Schonsleben et al (2010), a indústria de manufatura é um dos principais consumidores de energia, requerendo em torno de 31% da energia primária, de tal forma que os negócios nessa área são fortemente afetados pelos valores de matéria-prima, energia e também pela mudança de demanda; e esse é um dos motivos a tentar otimizar a utilização da energia, aproveitando-a ao máximo possível. O aproveitamento máximo da energia, assim como o cenário contemporâneo (que envolve constantes mudanças de mercado) indicam a necessidade de um sistema capaz de gerenciar o consumo de energia em ambientes produtivos, a fim de que as empresas não somente possam manter-se estáveis no mercado, como também possam elevar sua competitividade.

Os indicadores ligados à energia buscam relacionar o uso da energia e a atividade humana, podendo apresentar impactos econômicos, sociais e de mercado. Grande parte dos indicadores de energia correlaciona a energia (ou principalmente a emissão de carbono) em cada atividade, como uma medida unitária (Patlitzianas et al, 2008).

De acordo com Neves e Leal (2010), a energia é um paradigma emergente, onde a cadeia energética centralizada baseada numa larga escala de produção de combustíveis e eletricidade é substituída por uma abordagem de gerenciamento energético descentralizado; o que por sua vez constitui em mudanças nas políticas energéticas e ações diferenciadas de governo.

Um sistema de medição da eficiência energética em um ambiente produtivo pode direcionar os esforços de uma tomada de decisão ao ponto exato do problema, podendo contribuir com a estratégia do negócio, beneficiando os custos produtivos, bem como a organização do trabalho.

1.1 ORIGINALIDADE DO ESTUDO

O uso dos indicadores de desempenho tem se tornado uma ferramenta valiosa para análise da eficiência e eficácia das operações industriais. No entanto, em sua maioria, os indicadores não incluem a variável energia em suas medidas. Os indicadores podem ser usados, por exemplo, para medir a influência que as mudanças operacionais podem causar na demanda energética ou em todas as atividades que utilizam este recurso. Estes indicadores podem indicar como a energia está relacionada com os parâmetros econômicos e tecnológicos (Patlitzianas et al, 2008).

A busca em torno de eficiência energética tem crescido recentemente devido ao aumento de preocupação com impactos ambientais causados pelo uso da energia. Alguns estudos em segurança energética demonstram uma contribuição indireta para redução do uso de energia, conseqüentemente com a eficiência energética (Tanaka, 2008).

A utilização de indicadores de consumo de energia elétrica em uma planta industrial contribui para a redução do consumo e custo com energia, porém, nem sempre esse tipo de indicador está alinhado com a produção. A utilização de

inovações tecnológicas pode também proporcionar a redução do consumo de energia, bem como o aproveitamento máximo das variáveis do sistema.

Segundo Ferreira et al (2013), os indicadores de eficiência energética podem ser separados de acordo com o nível de agregação de dados, destacando-se em Processos Tecnológicos, Planta Industrial, Subsetor da Indústria, Setor da Indústria, Setor Industrial e Economia Nacional. A presente pesquisa trata do desenvolvimento de um sistema de monitoramento da variável energia em ambientes industriais que relacione as áreas de decisão da empresa, no intuito de alinhar a estratégia competitiva e os indicadores de desempenho energético no nível Planta Industrial, pois a necessidade de uma gestão integrada, produção e eficiência energética, é uma atualidade nas operações industriais, dado o custo que esta variável apresenta frente às demais matérias primas, às exigências das normas regulamentadoras (como a ISO50001:2011) e as questões ambientais que recebem destaques continuamente.

1.2 RELEVÂNCIA DA PESQUISA

As empresas vêm promovendo diversas mudanças em seus processos e sistemas de negócio, a fim de desenvolver uma cadeia de operações mais integrada e responsiva. Algumas iniciativas de reengenharia estão sendo conduzidas em domínio estratégico, orientas à desenvolver um ajuste estratégico de operações, representadas pelas áreas de decisões e dimensão de desempenho e o planejamento do sistema de produção (Lima et al, 2009).

Para Barney (1991) os recursos de uma empresa são todos os ativos, capacidades, processos organizacionais, atributos, informações, conhecimento, entre outros, que são controlados pela firma e que permitem à empresa, conceber e implementar estratégias que melhorem sua eficiência e eficácia.

Segundo Pokrovski (2003), para algumas indústrias a variável energia pode ser considerada apenas como uma variável intermediária que contribui com o valor da produção por meio do custo e do preço do produto, mas para a grande parte delas é considerada um fator de criação de valor, que deve ser introduzido na lista de fatores convencionais, assim como capital e mão de obra. Uma vez que se considera a energia como um fator necessário de produção em empresas

de manufatura, o gerenciamento deste recurso pode ser conduzido por uma série de atividades, como por exemplo, a estimativa da quantidade requerida de energia, mensuração do consumo de energia e análise da eficiência energética (Leel et al, 2012).

Informações do tipo previsão, uso de energia, análise de custo, medidas e verificação, para Gorp (2004) podem permitir à empresa uma maior compreensão ao atual desempenho energético, planejamento, medidas de custo efetivo de energia, quais são os valores de medidas implementadas e verificação do que foi realizado. Um Sistema de Gerenciamento de Energia (SGE) pode fornecer suporte ao processo de gerenciamento de energia capturando dados sobre o desempenho energético para formar uma base de dados, provê as informações necessárias para a formulação de metas de performance energética e gera indicadores chaves para o desempenho energético.

Em se tratando de ambientes produtivos é possível avaliar a relação “consumo de energia” e “volume de produção”, que de acordo com Gorp (2004), sendo a energia um determinante do processo físico (como processos químicos ou baseados em calor), essa relação pode ser considerada positiva, ou seja, quanto mais se produz, maior é o consumo de energia.

Segundo a ISO 50001:2011, os indicadores de desempenho energético (IDE) podem incluir o consumo de energia por tempo, consumo de energia por unidade produzida ou ainda um modelo com múltiplas variáveis relacionadas à energia. De maneira geral, a ISO pode contribuir com um uso mais eficiente das fontes energéticas disponíveis, com o aumento de competitividade das empresas e também com a redução de gases causadores de impactos ambientais.

Para Patterson (1996) a eficiência energética pode ser calculada pela relação de outputs e a energia de entrada do processo. Segundo o autor, os indicadores de eficiência energética podem ainda serem divididos em quatro grupos: termodinâmico, físico-termodinâmico, econômico-termodinâmico e econômico. Diante desta exposição, pode-se iniciar uma avaliação da necessidade de coesão destes indicadores com a gestão de operações.

No estudo realizado por Ferreira et al (2013), foram identificados na literatura 97 indicadores de eficiência energética, dentro das perspectivas destacadas pelo Balanced Scorecard (financeira, dos clientes, processos

internos, da aprendizagem e crescimento e perspectiva ambiental), no entanto, após uma prévia triagem com os IEE e pesquisa com empresas do estado do PR, foram selecionados apenas 7 IEE (consumo de energia/área abril, consumo de energia/receita, consumo de energia/número de funcionários, consumo de energia/potência do transformador de entrada, multa excedente reativo, consumo de energia/unidade padrão de produção, kg de CO₂ equivalente/unidade padrão de produção) para compor uma metodologia de indicadores de eficiência energética em nível estratégico. Em alguns casos, os indicadores utilizados em nível estratégico podem coincidir com os indicadores utilizados em nível operacional, porém, ainda se faz necessário o relacionamento entre as áreas de decisão de uma empresa e os IEE, para que haja coesão da gestão de desempenho energético e a gestão de operação como um todo.

A sustentação de uma posição competitiva pode ser baseada na maior habilidade de operações, pois é difícil de imitar e muitas vezes os concorrentes nem mesmo percebem esse efetivo potencial. Para se atingir tal posição competitiva é preciso reforçar o meio de apelar ao consumidor com o desenvolvimento de um sistema integrado de suporte de valores, habilidades, tecnologias, fornecedores, relacionamentos, mão de obra e motivação (Hayes e Upton, 1998). Neste sentido a presente pesquisa se coloca como um mecanismo de gerenciamento de operações integrado à utilização de energia, trabalhando a eficiência energética industrial.

1.3 PERGUNTAS DE PESQUISA

A presente pesquisa surgiu a partir de questionamento delineados pela observação da ISO50001:2001 e das práticas em eficiência energética nas indústrias de manufatura, de tal forma que buscou identificar a presença de decisões estratégicas para melhoria ou correção da eficiência. Sendo assim, levantou-se os seguintes questionamentos:

- i) Existem modelos para gerenciamento da eficiência energética que relacionem diretamente as decisões estratégicas das diversas áreas de uma empresa?

- ii) É possível relacionar numericamente as decisões estratégicas e o resultado da eficiência energética?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo geral da pesquisa foi desenvolver um modelo para mensuração da eficiência energética em ambientes produtivos, relacionando as áreas de decisão de forma estratégica.

1.4.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) identificar a relação entre as áreas de decisão e as estratégias, procedimentos e indicadores de eficiência energética propostos na literatura;
- b) desenvolver de um modelo conceitual contendo as relações previamente identificadas na literatura, com as intensidades delineadas por meio de uma pesquisa survey e testes estatísticos;
- c) realizar de uma Prova de Conceito com o modelo conceitual desenvolvido para o monitoramento da energia em ambientes produtivos utilizando dados de uma empresa real a fim de validar a aplicabilidade do modelo.

1.5 COMPLEXIDADE E ESTRUTURA DA TESE

A insegurança no suprimento de energia, bem como a elevação de preço, mudança de clima e mudanças comportamentais, tem despertado o campo de pesquisa de eficiência energética, pois a inserção de tecnologias de energia renovável nem sempre são capazes de garantir a solução destes problemas em curto prazo. De acordo com Bunse *et al* (2011), existem três fatores que

direcionam os estudos em melhoria de performance energética nas indústrias: o aumento do preço de energia, novas regulamentações ambientais associados à emissão de CO₂ e a mudança do consumidor.

Na manufatura sustentável pode-se destacar três aspectos fundamentais relacionados à eficiência energética: o aspecto econômico, onde se trabalho o custo de energia, os recursos energéticos, custo com o tratamento para emissão de poluentes, riscos e recursos produtivos; o aspecto ambiental que está relacionado com a emissão de poluentes e o aspecto social que tem relação com o consumidor e sua influência sobre o uso de energia, a força de trabalho industrial, as políticas de segurança energética e com a sociedade (Bunse *et al*, 2011).

No desenvolvimento de indicadores de eficiência energética em ambientes produtivos, buscou-se considerar estes três aspectos levantados por Bunse *et al* (2011), bem como as áreas de decisão da uma empresa, a fim de identificar os possíveis impactos sofrido em cada área pelo consumo de energia.

De acordo com Platts *et al* (1994) as áreas de decisão são divididas em estrutura, infraestrutura e o que a empresa precisa para funcionar. Segundo Wheelwright e Hayes (1985), dentro do grupo estrutural estão as seguintes áreas: Capacidade, Instalações, Tecnologia e Integração Vertical. Já no grupo de infraestruturas, pode-se destacar as seguintes áreas: força de trabalho, organização, Qualidade e Planejamento e Controle de Produção.

O consumo de energia (direta ou indiretamente) está presente nas oito áreas de decisão, destacadas por Wheelwright e Hayes (1985); desta forma, o desenvolvimento de um sistema de medição de consumo de energia em ambiente produtivo, relacionado às áreas de decisões estratégicas, pode destacar o impacto que estas decisões provocam no índice global de eficiência energética, como por perspectiva de estudo.

A pesquisa foi estruturada em três etapas, sendo a primeira delas a busca de conceitos, estratégias, procedimentos e indicadores de eficiência energética presentes na literatura para posterior análise dos textos mais relevantes, de acordo com o estudo bibliométrico.

A análise dos textos deu-se sob a ótica cognitiva, juntamente ao conceito e definição das áreas de decisão, a fim de se realizar a extração das áreas implícitas e explícitas em cada material. Uma vez identificadas as relações,

submeteu-se uma pesquisa survey aos especialistas em eficiência energética para que os mesmos pudessem confirmar estas relações, bem como identificar suas intensidades. Aos dados obtidos na pesquisa, foram aplicados testes estatísticos que validassem a correlação entre as variáveis, atribuindo-se valores numéricos à estas relações e identificando a significância de cada relação. De posse destas informações, pode-se propor um modelo conceitual contendo 8 áreas de decisão, 5 perspectivas de estudo e 17 indicadores de desempenho, extraídos e adaptados da literatura. Por fim, para validação da aplicabilidade do modelo, realizou-se uma prova de conceito com os dados de uma empresa situada na cidade de Maringá, do segmento alimentício e que já desenvolve projetos em eficiência energética, no entanto, trabalha apenas com o índice global de eficiência energética.

1.6 MAPA DA TESE

A tese foi estruturada em capítulos, de acordo com o Regulamento do Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas – PPGEPS/PUC-PR, no total 5, sendo o primeiro capítulo composto pela introdução onde buscou-se contextualizar o leitor acerca do tema em estudo, destacando-se a relevância do estudo, sua originalidade, as perguntas que motivaram a pesquisa, os objetivos do trabalho, bem como sua complexidade e estrutura.

O segundo capítulo aborda a metodologia utilizada na pesquisa, dividida em revisão sistemática, estudo bibliométrico, aplicação do survey confirmatório e testes estatísticos aplicados aos resultados do *survey* confirmatório para a finalização do modelo proposto para medição de eficiência energética em ambientes industriais.

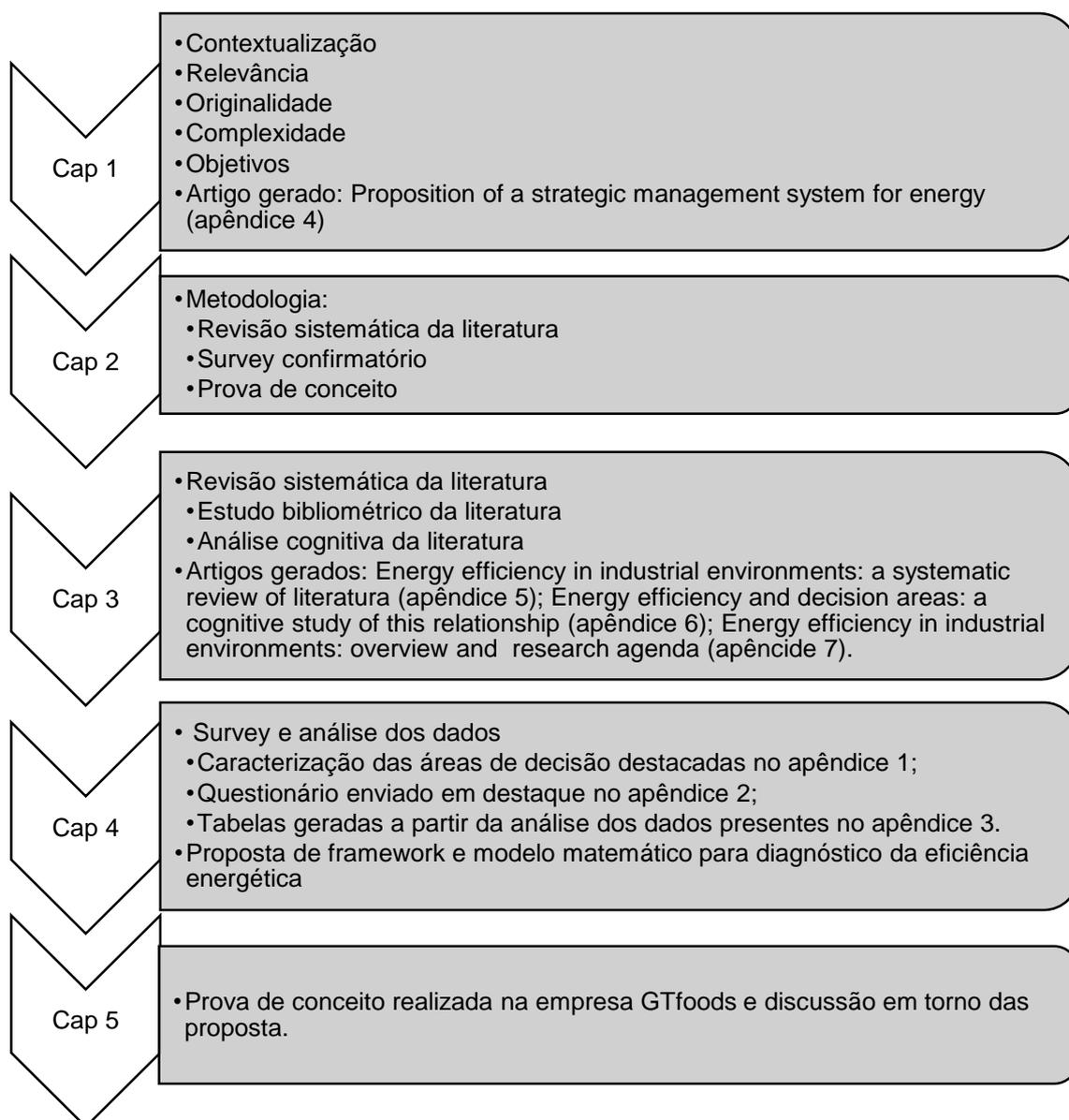
Já o terceiro capítulo contempla a revisão de literatura sistemática e o estudo bibliométrico do tema em pesquisa, bem como a análise cognitiva do material de estudo, a fim de se extrair a relação entre as áreas de decisão da engenharia de produção e a literatura de eficiência energética.

Por meio da identificação destas relações, propôs-se o modelo conceitual inicial para medição da eficiência energética em ambientes industriais,

desenvolvido no quarto capítulo que também aborda a pesquisa *survey* confirmatória realizada com o propósito de buscar opiniões de especialistas em gestão de energia e agrega-las ao modelo proposto, por meio do índice de ponderação de cada variável.

Por fim, o quinto e último capítulo traz a Prova de Conceito realizada com o modelo proposto, com o intuito de validar a aplicabilidade do mesmo. O mapa da tese pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1. Mapa da tese.



Fonte: a autora, 2017.

2 METODOLOGIA

Esta seção tem o intuito de estruturar a pesquisa, conferindo à esta a sustentação metodológica adequada para execução do trabalho e cumprimento dos objetivos propostos. De acordo com Lima e Mito (2007), a metodologia apresenta o método escolhido como lente para o encaminhamento da pesquisa. O presente trabalho pode ser caracterizado quanto à sua natureza, como uma pesquisa básica, que visa gerar novos conhecimentos a partir da utilização do modelo proposto para mensuração da eficiência energética. Quanto a sua abordagem, pode ser definida como qualitativa e quantitativa, uma vez que buscou-se por meio da literatura e análise cognitiva extrair as relações entre as áreas de decisão e as perspectivas delineadas no estudo, bem como pôde-se atribuir pesos à estas relações, a partir dos dados obtidos pelo survey. Já, com relação aos objetivos, podem ser caracterizados como exploratórios, de tal forma que se construiu hipóteses de relacionamento a partir da literatura e as mesmas foram avaliadas no survey. E por fim, o survey desenvolvido teve participação de uma amostra não probabilística, onde os participantes foram escolhidos intencionalmente por sua atuação, no caso, gestores, supervisores e professores de eficiência energética.

2.1 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura visa buscar os conceitos e características apresentadas por outros autores sobre a gestão de desempenho energético em ambientes produtivos, a partir do levantamento de estudos e práticas realizadas sobre o tema. A compilação dos textos dos principais autores deste tema em estudo, bem como a identificação das contribuições relevantes na área irá subsidiar a construção do modelo teórico da presente pesquisa. A pesquisa bibliográfica implica em um conjunto ordenado de procedimentos de busca por soluções, atento ao objeto de estudo, e que, por isso, não pode ser aleatório (Lima e Mito, 2007).

Neste capítulo também destaca-se os pontos em que os pesquisadores anteriores não foram capazes de apresentar contribuições e que se colocam

como oportunidades a serem exploradas para aprofundamento do conhecimento acerca do tema em estudo.

A presente pesquisa se caracteriza como um estudo quali-quantitativo, pois se trata do desenvolvimento de modelo conceitual a partir da revisão de literatura, uma pesquisa *survey* confirmatória e testes estatísticos, para posterior validação numérica por meio da Prova de Conceito realizada com os dados de uma empresa real, situada na cidade de Maringá.

2.1.1 Definição da pesquisa bibliográfica

De acordo com Sampaio e Mancini (2007), a revisão sistemática da literatura é uma forma de pesquisa caracterizada pela busca da literatura sobre um determinado tema, de maneira estruturada e são, particularmente úteis para integrar as informações de um conjunto de estudos realizados separadamente sobre determinado métodos ou modelo, assim como identificar temas que necessitam de evidências.

Para a revisão teórica, de acordo com Lacerda *et al* (2012), optou-se pela divisão de três etapas:

- investigação Preliminar para maior conhecimento acerca do tema e definição das razões para realização da pesquisa;
- seleção de artigos para compor o portfólio da pesquisa;
- análise bibliométrica do portfólio de artigos selecionados para o referencial teórico.

Fazendo-se uma adaptação ao sugerido por Lima e Mito (2007), para busca e seleção de material bibliográfico foram definidos alguns aspectos da pesquisa:

- a) Parâmetro temático: o levantamento da literatura existente sobre gestão de desempenho energético em ambientes produtivos, onde se pode destacar as seguintes questões de pesquisa:
- b) QP1. Quais são os indicadores de desempenho energético utilizados em ambientes produtivos?
- c) QP2. Como os indicadores de desempenho energético se relacionam com as áreas de decisão de uma empresa?

- d) QP3. Existe um modelo de referência adotado para a gestão de desempenho energético em ambientes produtivos?
- e) Parâmetro linguístico: foram selecionadas obras nos idiomas português, inglês e espanhol.
- f) Principais fontes: as bases de dados selecionadas com pesquisa realizada no portal Capes, na área de Engenharia de Produção, foram: Science Direct, Emerald, Springer, IEEE Xplorer, ISI Web of Science, Scopus, Cambrigde e Scielo.
- g) Tipos de documentos para seleção: livros ou capítulos de livros, artigos científicos publicados em periódicos nacionais e estrangeiros e artigos científicos completos publicados em congressos nacionais e estrangeiros, teses e dissertações.
- h) Parâmetro cronológico: o período de pesquisa foi escolhido foi 2004 – 2014, uma vez que em pesquisa preliminar pode-se constatar que o crescimento de publicações na área aconteceu a partir do ano de 2009 (Fenerich *et al*, 2013);
- i) Palavras-chave: energia/energy, produtividade/productivity, gerenciamento/ managment, estratégia/strategy.
- j) Termos de busca: as buscas foram realizadas utilizando-se trios de palavras-chave, que estão destacadas no Quadro 1.

Quadro 1. Termos de busca de referência bibliográfica.

Conjuntos de palavras usadas na busca de material
estratégia AND energia AND eficiência <i>strategy AND energy AND efficiency</i>
estratégia AND energia AND operações <i>strategy AND energy AND operations</i>
estratégia AND energia AND gerenciamento <i>strategy AND energy AND managment</i>
produtividade AND gerenciamento AND energia <i>productivity AND management AND energy</i>
produtividade AND indicadores AND energia <i>productivity AND indicators AND energy</i>

Fonte: a autora, 2017.

A definição da estratégia de busca de informações em bases de dados, seja via palavras-chave, autores, assunto, entre outros, de acordo com Vilela (2012 apud Tasca *et al*, 2010), é fundamental para o fracasso ou o sucesso da pesquisa. É neste caminho que se opta pela utilização das bases de dados e também para o estudo bibliométrico do material selecionado para a base da pesquisa bibliográfica.

A leitura dos artigos selecionados em uma revisão de literatura também deve ser direcionada, de forma que se possa ter maior aproveitamento do conteúdo de leitura e amplitude da capacidade de análise crítica quanto ao conteúdo e qualidade do material em estudo. Desta forma, optou-se por seguir os passos propostos por Lima e Miotto (2007 apud Salvador, 1986), que orienta a seguinte leitura:

- k) Leitura de reconhecimento de material bibliográfico: realizada pela leitura do título do material, caracteriza-se por ser uma leitura rápida que tem o objetivo de localizar se o material apresenta informações e ou/dados referentes ao tema;
- l) Leitura exploratória: também consiste em uma leitura rápida que consiste em identificar se as informações e/ou dados selecionados são pertinentes ao estudo a ser realizado, e pode ser feita por meio da leitura do resumo do material. Neste momento foram utilizados sete critérios para inclusão de material:

CI1. Estudos que descrevem indicadores de desempenho energético.

CI2. Estudos que descrevem indicadores de desempenho produtivo.

CI3. Estudos que descrevem sistemas de desempenho energético.

CI4. Estudos que destacam práticas de gerenciamento energético.

CI5. Estudos que destacam procedimentos adotados na criação de sistemas de desempenho produtivo.

CI6. Estudos que destacam procedimentos adotados para o desenvolvimento de indicadores de desempenho energético.

CI7. Estudos que correlacionam desempenho energético e áreas de decisão.

Para exclusão de material utilizou-se os seguintes critérios:

CE1. Publicações realizadas antes do ano de 2004.

CE2. Publicações que não possuem a versão completa disponível.

CE3. Publicações não científicas.

CE4. Publicações que não atingem o objetivo da pesquisa.

CE5. Publicações repetidas.

- m) Leitura seletiva: procura determinar o material que de fato interessa ao estudo, relacionando-o diretamente aos objetivos da pesquisa. Refere-se à uma leitura mais estruturada e focada, do material na íntegra. Esta leitura foi direcionada pelo seguinte caminho:
- n) identificação da obra: referência bibliográfica e localização da obra;
- o) caracterização da obra: busca do tema central, dos objetivos da obra, dos conceitos utilizados e do referencial teórico;
- p) contribuições da obra para o estudo proposto;
- q) Leitura reflexiva ou crítica: busca avaliar a qualidade do material selecionado é orientado pelos seguintes critérios:
- r) CR1. O trabalho descreve indicadores de desempenho energético em ambientes produtivos.
- s) CR2. O trabalho utiliza um modelo de referência.
- t) CR3. O trabalho desenvolve ou adota um procedimento para o desenvolvimento dos indicadores de desempenho energético.
- u) CR4. O trabalho relata recomendações sobre o uso dos indicadores de desempenho em ambientes produtivos.
- v) CR5. O trabalho relaciona indicadores de desempenho produtivo com as áreas de decisão da empresa.
- w) Leitura interpretativa: tem o objetivo de relacionar as ideias expressas na obra com o problema para o qual se busca resposta. Refere-se à interpretação das ideias do autor, acompanhada de uma interrelação destas com o propósito da pesquisa. É a fase de reflexão e proposição de soluções baseadas no material coletado para estudo. Considerando a metodologia de Análise de Conteúdo, buscou-se categorizar o material selecionado em: artigos relacionados à sustentabilidade, relacionados à eficiência energética e àqueles relacionados à gestão de operações, que são as três grandes áreas de publicações do tema em estudo, de acordo com Fenerich *et al* (2013).

2.1.2 Bibliometria

A bibliometria consiste na aplicação de técnicas estatísticas no material selecionado para compor a base de revisão de literatura. Segundo Lacerda (2012), o conceito da análise bibliométrica consiste na evidenciação quantitativa dos parâmetros de um conjunto de artigos selecionados.

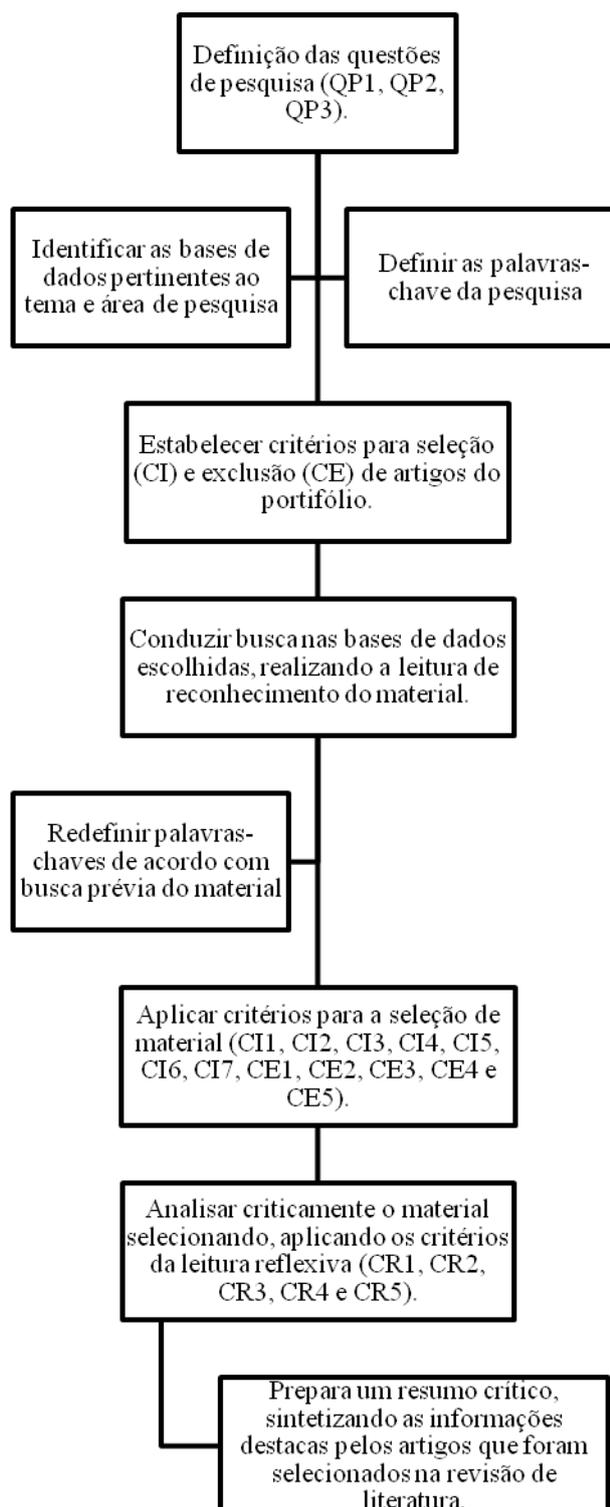
Por meio da evolução dos sistemas de informação, tornou-se fácil e de rápido acesso o uso das bases de dados, que são sistemas de indexação de periódicos, livros e teses, anais de eventos, entre outros documentos. Além da facilidade na busca de referencial teórico, a busca através das bases permite o estabelecimento de indicadores para a visualização do impacto de determinado periódico, por exemplo (Lacerda *et al*, 2012 apud Podsakoff *et al*, 2005).

Para esta análise, de cada material utilizado foram extraídas as seguintes informações:

- Palavras-chaves destacadas;
- Ano de publicação;
- Periódico de publicação versus quantidade de material selecionado;
- Número de citações de cada material;
- Levantamento dos autores mais citados;
- Número de artigos por autor.

Este estudo tem o intuito de proporcionar a visualização dos principais periódicos que apresentam estudos nesta área de pesquisa e o período de busca evidenciará o início do desenvolvimento em estudos de eficiência energética. O levantamento dos autores e trabalhos mais citados conferirá credibilidade ao material e reconhecimento científico aos artigos selecionado como base para o estudo exploratório da pesquisa, além de facilitar novas buscas, reduzindo e direcionando os esforços na tentativa de identificar materiais relevantes para a presente pesquisa. A descrição geral do processo de revisão sistemática é apresentada na Figura 2.

Figura 2. Descrição do processo de revisão sistemática da literatura, adaptado de Sampaio e Mancini (2007).



Fonte: a autora, 2017.

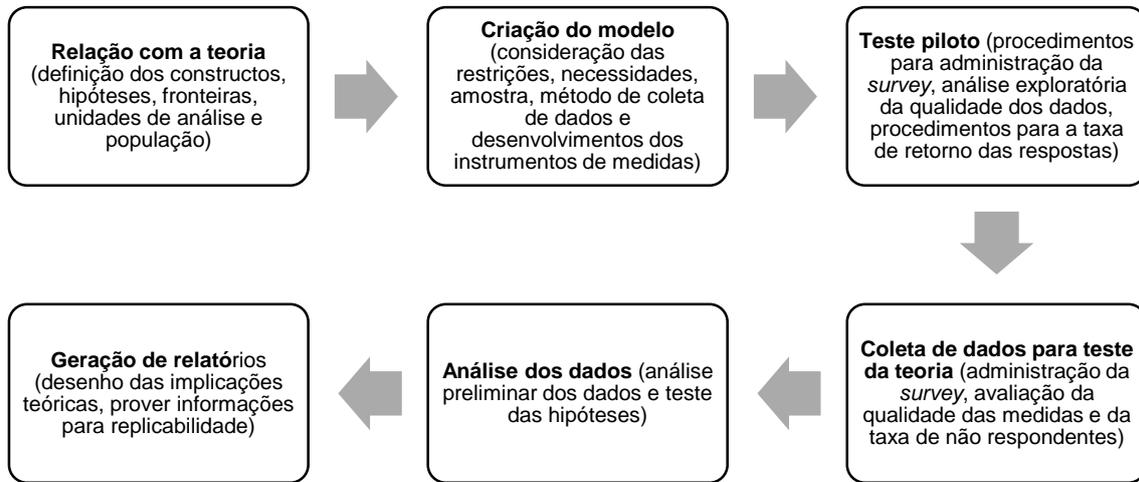
2.1.3 *Survey* confirmatório

Uma pesquisa *survey*, de maneira geral, trata-se da coleta de informações individuais sobre um determinado tema à qual pertença a amostra da população da pesquisa; e pode ser feita por meio de questionários, entrevistas, entre outras formas. Para Forza (2002), a pesquisa *survey* pode ser dividida em três vertentes: em pesquisa *survey* exploratória, pesquisa *survey* confirmatória e a pesquisa *survey* descritiva.

A pesquisa *survey* confirmatória pode ser utilizada quando a construção de um conhecimento é articulada a partir da literatura, usando conceitos já definidos para modelos e proposições. Neste caso, busca-se com a utilização da *survey*, testar a adequação dos conceitos de um determinado fenômeno e as relações entre eles e as hipóteses criadas (Forza, 2002).

O processo de desenvolvimento e aplicação de uma pesquisa *survey* pode ser observado na Figura 3, descrito por Forza (2002), o qual inicia com o estudo da teoria para extração dos conceitos e criação das hipóteses a serem testadas no modelo a ser criado, no qual deve-se considerar as restrições do tema de estudo, as necessidades de acordo com a teoria, escolha da amostra e o método de coleta dos dados. Após a criação do modelo segue-se para o teste piloto, com a criação dos procedimentos para aplicação da pesquisa, uma análise exploratória dos dados que permita o aprimoramento do processo criado, bem como o do modelo. Após o teste piloto deve-se aplicar a pesquisa *survey*, coletando os dados com a amostra escolhida para posterior análise estatística dos dados que permitirá a geração dos relatórios e criação de possíveis procedimentos ou novos modelos com as informações coletadas.

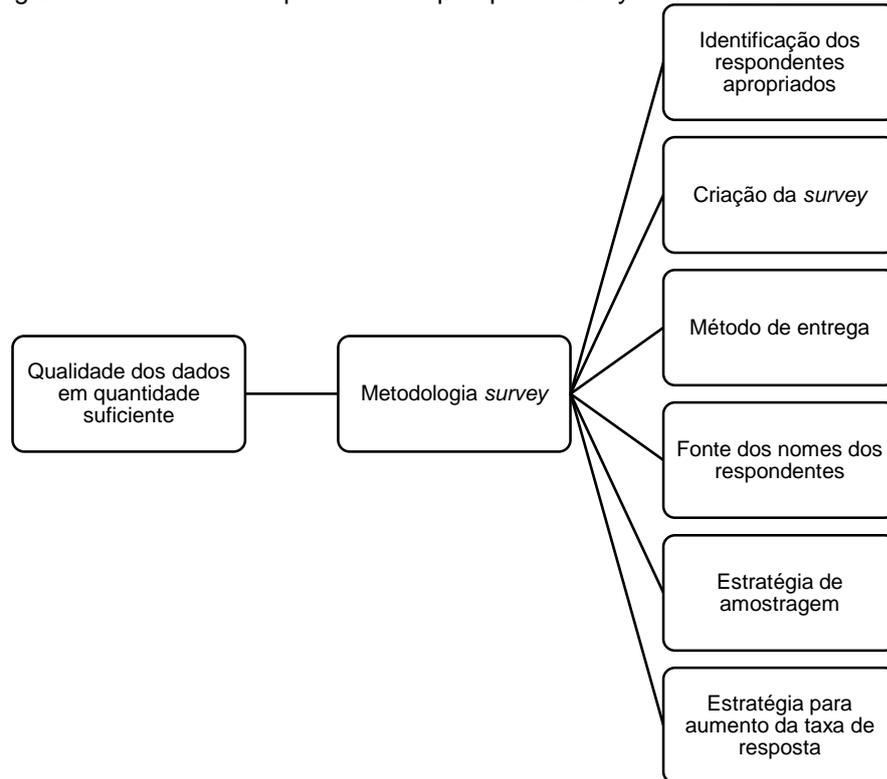
Figura 3. Processo para teste de uma pesquisa *survey*.



Fonte: Forza, 2002.

De acordo com Melnyk *et al* (2012), alguns estudos demonstram que a taxa de resposta significativa para uma *survey* fica em torno de 30%, no entanto, nas últimas duas décadas esta taxa tem caído para 25%. Já para Malhotra e Grover (1998), para uma avaliação positiva, requer-se uma taxa de resposta acima de 20%. Para isto pode-se elencar algumas práticas que visam incentivar o aumento desta taxa de resposta, como por exemplo, enviar uma notificação prévia aos respondentes, envio de múltiplos e-mails com a *survey*, a escolha do método de entrega da pesquisa, o formato das questões, entre outros, Melnyk *et al* (2012). Vide Figura 4.

Figura 4. Framework do processo da pesquisa survey confirmatória



Fonte: Melnyk et al, 2012.

De acordo com Malhotra e Grover (1998), a pesquisa *survey* é uma metodologia proeminente e que tem sido usada para estudar problemas na estrutura organizacional na área de gerenciamento de produção nas últimas décadas. A pesquisa *survey*, para Malhotra e Grover (1998) apresenta três características distintas: em primeiro lugar, envolve a coleta de informações por meio do questionamento de pessoas e de forma estrutural, em segundo lugar, é usualmente uma pesquisa de método quantitativo, que requer padronização das informações, afim de que sejam descritas algumas variáveis e as relações entre elas. Em terceiro, estas informações vêm de uma amostra da população, que seja capaz de generalizar as respostas encontradas.

Na presente pesquisa, para se obter maior representatividade no tema em estudo e confiabilidade dos dados, optou-se por dividir a amostra em três segmentos: autores de trabalhos relacionados ao tema, os quais foram escolhidos a partir da revisão de literatura, sendo os autores de maior produção na área; o segundo seguimento foi representando por profissionais que trabalham diretamente com gestão de energia em indústrias e, por fim, no

terceiro segmento buscou-se alocar aqueles profissionais que oferecem serviço na área de eficiência energética como consultores.

Seguindo as etapas do framework apresentado por Melnyk *et al* (2012), optou-se por inserir a pesquisa *survey* na plataforma 2017 Qualtrics LLC, pela isenção de cobrança financeira e fácil controle de dados. Além disto, um e-mail preliminar foi enviado aos respondentes dez dias antes do início da pesquisa *survey*. Neste e-mail abordou-se a pesquisa com seus objetivos e a escolha dos respondentes. Posteriormente, junto ao envio da pesquisa, os respondentes receberam um documento com a explicação dos conceitos abordados na pesquisa, para que não houvesse dúvidas durante a execução do questionário.

2.1.4 Prova de Conceito (*Proof Concept – PoC*)

Heuristicamente, a Prova de Conceito é um dispositivo retórico usado para demonstrar que a declaração matemática proposta é verdadeira ou válida. É a prova de conceito que torna o assunto coerente e dá a ele atemporalidade (Hansen e Gray, 2010).

Na presente pesquisa utilizou a empresa GTFoods, que está no mercado de abate de aves há 25 anos e já preocupa-se em desenvolver projetos em eficiência energética, dados os custos atuais com energia e a preocupação ambiental presente neste contexto.

A empresa foi utilizada como modelo para a verificação da aplicabilidade do modelo proposto, a fim de se realizar comparativos aos resultados atuais da empresa e os ganhos com a utilização do modelo, pois atualmente a empresa utiliza um índice global de eficiência energética, que não é estratificado, apenas considerando o consumo de KWh e toneladas de produção.

2.1.5 Etapas seguidas no desenvolvimento da pesquisa

A pesquisa foi realizada em três grandes etapas. Na primeira etapa da pesquisa buscou-se realizar um *link* com a teoria para posterior desenvolvimento do Modelo Conceitual da pesquisa. Para tanto, iniciou-se com a revisão sistemática de literatura, a fim de apresentar o estado da arte dos temas investigados: eficiência energética em ambientes produtivos e indicadores de medição de desempenho energético em ambientes produtivos. Em busca de

literatura realizada a priori, pôde-se identificar algumas variáveis que estão no modelo, bem como as áreas de decisão do mesmo. Porém, para o desenvolvimento de um modelo conceitual consistente, fez-se necessário uma busca intensa da literatura, com a qual realizou-se um estudo bibliométrico e cognitivo para extração da relação das áreas estratégicas de operações e alguns modelos e indicadores de desempenho de energia advindos da literatura.

A partir do estudo cognitivo, na segunda etapa deste estudo foi criada uma pesquisa survey para confirmar as hipóteses relacionais descritas no modelo conceitual, ou seja, H_0 – há relacionamento entre as áreas de decisão e a eficiência energética e H_1 – não há relacionamento entre as áreas de decisão e a eficiência energética. A pesquisa survey foi encaminhada à uma amostra de especialistas selecionada a partir do estudo da literatura e com o conhecimento do autor. Pesquisas realizadas por Tan *et al.* (2007), Li *et al.* (2006) e Filippini (1997) demonstram que o uso de técnicas estatísticas de análise multivariada compreende uma abordagem apropriada para mensurar, validar e avaliar as relações entre as variáveis de pesquisa. Sendo assim, de posse das informações recebidas pela pesquisa *survey*, foram aplicadas algumas técnicas estatísticas antes de agregar as informações ao modelo conceitual.

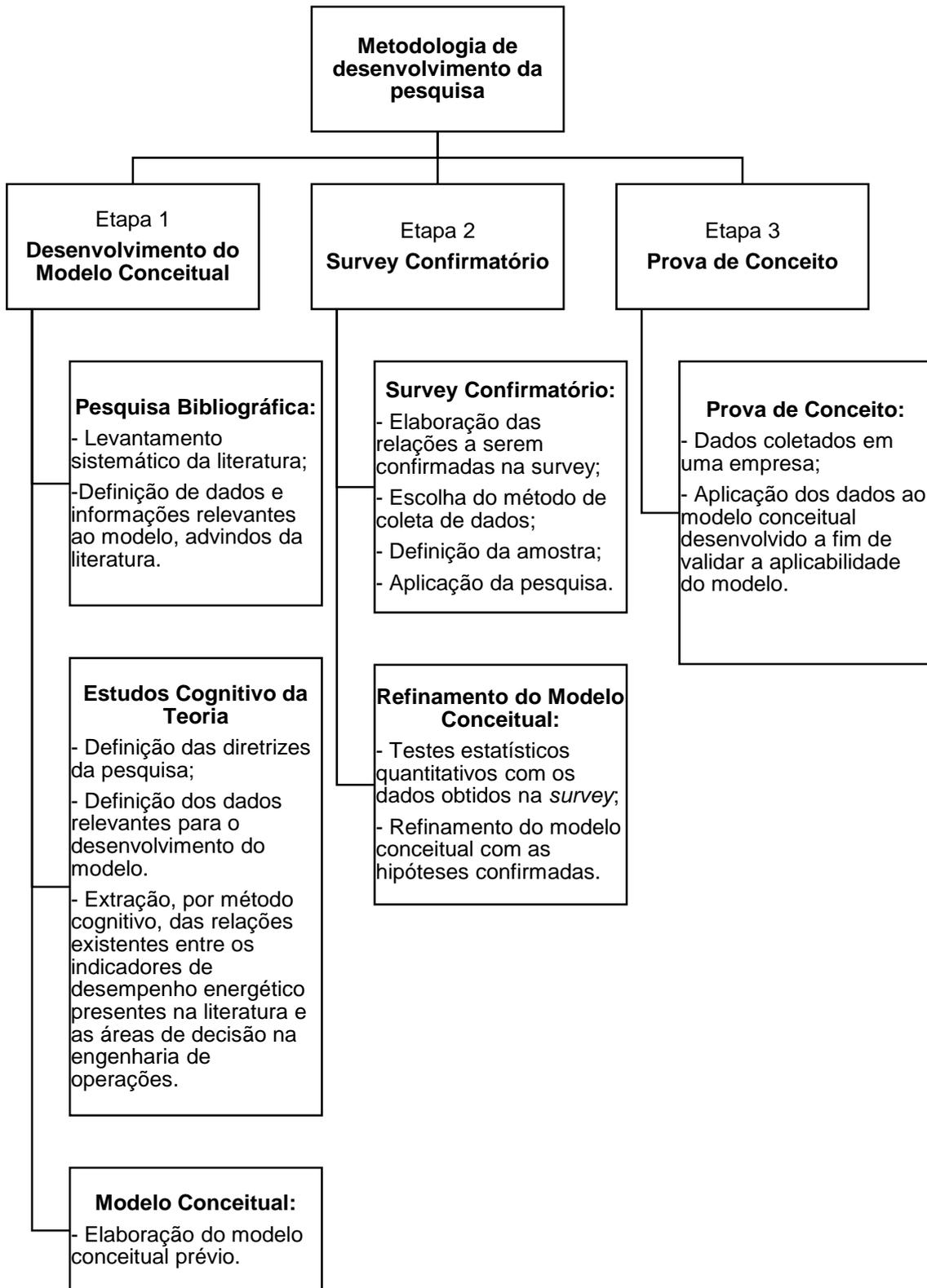
Uma vez finalizado o modelo conceitual, pôde-se partir para a terceira etapa da pesquisa, que consistiu na prova de conceito, realizado com os dados da empresa GTFoods para validar a aplicabilidade do modelo desenvolvido. Trata-se de uma empresa do setor alimentício, presente no mercado desde de 1992 no abate de aves. Os dados advindos da empresa alimentaram os 17 indicadores do modelo proposto para o cálculo do índice global de eficiência energética e por perspectivas.

Sendo assim, na presente pesquisa desenvolveu-se um modelo contendo 17 indicadores de desempenho, divididos em 5 dimensões como proposto por Fenerich *et al.* (2013), de tal forma que cada indicador esteja relacionado com uma ou mais das 8 áreas de decisão destacadas no estudo. A hipótese do relacionamento de indicadores e áreas de decisão da empresa acontece no sentido de direcionar a tomada de decisão, trabalhando a velocidade de solução de problemas e reagindo de forma eficaz às mudanças, que é um dos fatores essenciais na administração de um sistema produtivo, de acordo com Corrêa e

Côrrea (2009). As hipóteses confirmadas na survey foram agregadas ao modelo conceitual.

Todas as etapas destacadas podem ser observadas na Figura 5.

Figura 5. Metodologia utilizada no desenvolvimento da tese.



Fonte: a autora, 2017.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção serão abordadas as questões já discutidas no âmbito metodológico a fim de que se obtenha embasamento teórico para a construção do modelo conceitual que será apresentado no capítulo 4.

Inicialmente realizou-se um estudo bibliométrico em torno da literatura destacada para o estudo e posteriormente a análise do material.

De acordo com a seção 2.1.1, a leitura reflexiva deve avaliar os textos de estudo buscando identificar indicadores de desempenho energético em ambientes produtivos, os modelos de referência, os procedimentos para o desenvolvimento dos indicadores de desempenho energético, as recomendações sobre o uso dos indicadores de desempenho em ambientes produtivos e a relação dos indicadores de desempenho produtivo com as áreas de decisão da empresa. E é exatamente neste contexto que o presente capítulo será estruturado.

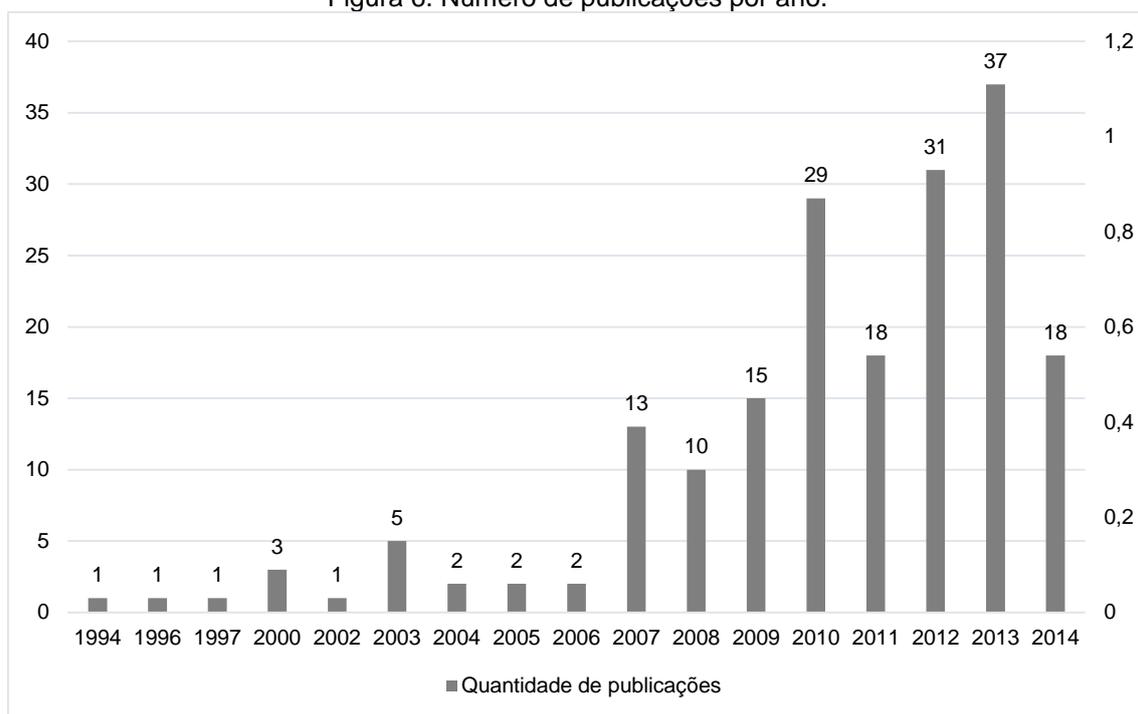
3.1 BIBLIOMETRIA

De acordo com o descrito no Capítulo 2, a busca bibliográfica ocorreu em oito bases de dados: Science Direct, Emerald, Springer, IEEE Xplorer, ISI Web of Science, Scopus, Cambrigde e Scielo; nas quais foram inseridos os seguintes grupos os termos de busca destacados no Quadro 1.

De acordo com Du *et al* (2003) apud Kinney (2007) a análise bibliométrica tem o objetivo de descrever quantitativamente as características do conteúdo científico e tecnológico por meio das publicações. A presente pesquisa bibliográfica foi limitada entre os anos de 2004 à 2014, no entanto, em busca prévia da literatura pode-se encontrar material pertinente fora deste período, totalizando 189 publicações, obtendo-se somente artigos, que podem ser destacadas como relevantes para o estudo, de acordo com os critérios de busca já destacados.

Na Figura 6 pode-se observar a quantidade de artigos encontrados por ano. Visivelmente é possível perceber um crescimento da literatura em torno do estudo da eficiência energética em ambientes produtivos ocorreu de forma mais intensa a partir do ano de 2007.

Figura 6. Número de publicações por ano.



Fonte: a autora, 2017.

Adotando a mesma análise utilizada por Du *et al* (2013), foi possível criar alguns índices utilizando a (TP) quantidade de publicações por ano, a (AU) quantidade de autores que aparecem nestas publicações e o (NR) número de vezes que estes artigos são citados (de acordo com a busca Google Acadêmico). Estes índices são: o número médio de autores por artigo (AU/TP) e o número médio de vezes que estes artigos são citados (NR/TP). Estes índices podem ser visualizados no Quadro 2.

Quadro 2. Características das publicações entre o período de 1994 à 2014.

Ano	TP	AU	NR	AU/TP	NR/TP
1994	1	2	257	2,0	257,0
1996	1	1	172	1,0	172,0
1997	1	3	38	3,0	38,0
2000	3	9	451	3,0	150,3
2002	1	2	8	2,0	8,0
2003	5	13	96	2,6	19,2
2004	2	1	2	0,5	1,0
2005	2	4	6	2,0	3,0
2006	2	4	29	2,0	14,5

2007	13	35	300	2,7	23,1
2008	10	32	124	3,2	12,4
2009	15	52	143	3,5	9,5
2010	29	57	420	2,0	14,5
2011	18	64	312	3,6	17,3
2012	31	59	222	1,9	7,2
2013	37	73	51	2,0	1,4
2014	18	51	11	2,8	0,6

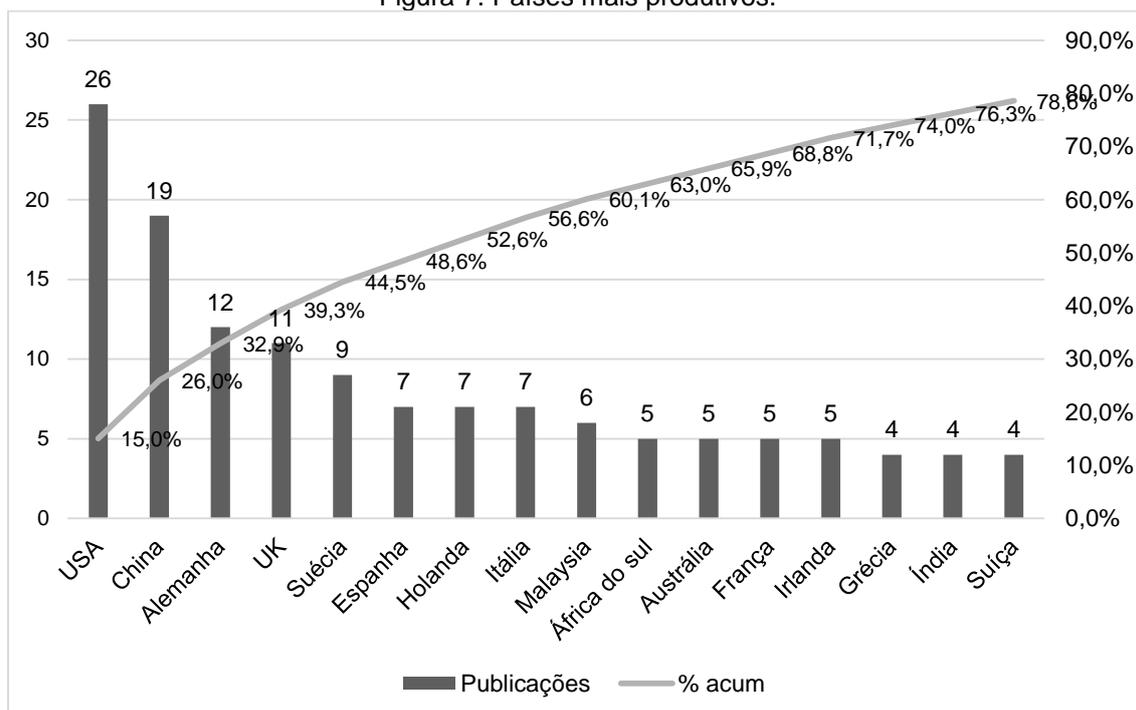
Fonte: adaptado de Du *et al*, 2013.

Legenda: TP é o número de publicações por ano; AU é a quantidade de autores por ano; NR é o número de citações por ano; AU/TP e NR/TP é a média do número de autores e citações por artigos.

Ao analisar o Quadro 2 pode-se observar que o índice AU/TP permanece muito próximo todos os anos, com exceção de 2004 e tem um comportamento de 2,3 autores em média, por publicação. Já o índice NR/TP permite a verificação de que os artigos dos anos de 1994 à 2000 são mais citados, enquanto os artigos de 2013 e 2014 são menos citados, processo este extremamente natural, tendo em vista o lead time que se tem para uma publicação. Exceto os artigos dos anos de 2004 e 2005, o restante também apresenta um comportamento médio de 15,8 citações por artigo.

Na Figura 7 são destacados os países de maior produtividade no que se refere à eficiência energética e manufatura entre os anos de 1994 a 2014.

Figura 7. Países mais produtivos.

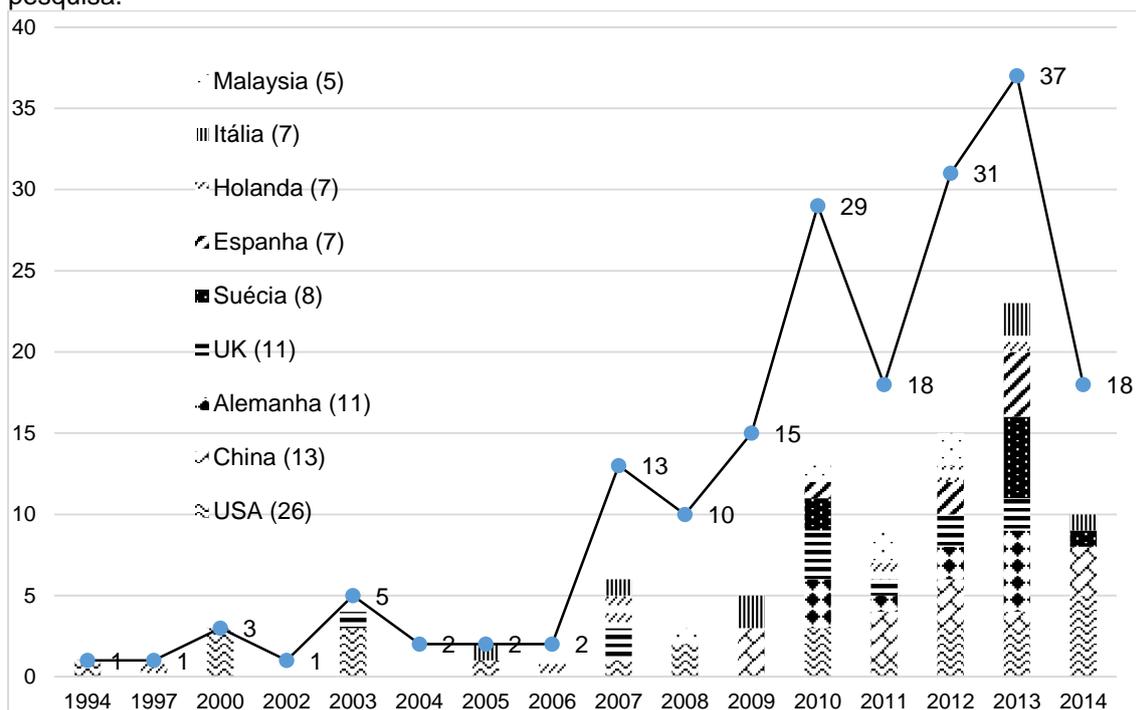


Fonte: a autora, 2017.

Analisando o gráfico da Figura 7, podem ser destacados os países de maior produtividade como: USA, China, Alemanha, União Europeia, Suécia, Espanha, Holanda e Itália, totalizando 52,6% dos artigos utilizados na presente pesquisa. É importante ressaltar que este gráfico apresenta apenas os países que contribuem com 78,6% das publicações direcionadas na pesquisa, sendo que o restante dos países apresentou apenas três, duas e uma publicação. O Brasil contribuiu com duas publicações apenas, neste período de estudo.

Na Figura 7 faz-se a relação entre os países e o número de publicações de cada um por ano, de tal forma que se pode visualizar que os países de maior contribuição no ano de 2014 foram os Estados Unidos com 5 artigos, no ano de 2013 pode-se destacar a Alemanha e a Suécia com 5 artigos cada, em 2012 os países USA, China, África do Sul, Austrália e Irlanda apresentaram 3 publicações cada, assim como a China em 2011. Em 2010 pode-se destacar a produção de 3 artigos cada um dos países, USA, Alemanha e a União Europeia, bem como a China em 2009. Nos demais anos os países apresentaram entre um e dois artigos por ano.

Figura 8. Número anual de produção dos países que representam 60% das publicações da pesquisa.



Fonte: a autora, 2017.

No Quadro 3 são destacados os artigos que apresentam maior quantidade de citações, podendo ser destacados os três artigos que apresentam mais de cem citações: *Energy efficiency and consumption - the rebound effect - a survey*, escrito por Lorna A. Greening, David L. Greene e Carmen Difulgio no ano 2000; *The energy-efficiency gap*, escrito por Adam B Jaffe e Robert N Stavins em 1994 e o artigo intitulado *What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues*, escrito por Murray G Patterson em 1996, ambos publicados pelo periódico *Energy Policy*, que também pode ser destacado como um dos mais relevantes para a pesquisa, de acordo com o Quadro 3.

Quadro 3. Artigos mais citados no contexto da presente pesquisa.

Título	Periódico	Citações
<i>Energy efficiency and consumption - the rebound effect - a survey</i> (Lorna A. Greening, David L. Greene, Carmen Difulgio)	Energy Policy	357
<i>The energy-efficiency gap</i> (Adam B Jaffe, Robert N Stavins)	Energy Policy	257
<i>What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues</i> (Murray G Patterson)	Energy Policy	172

<i>Estimating the linkage between energy efficiency and productivity</i> (Gale A. Boyd, Joseph X. Pang)	Energy Policy	90
<i>Towards energy and resource efficient manufacturing: A processes and systems approach</i> (Joost R. Duflou et al)	CIRP Annals - Manufacturing Technology	81
<i>A review on energy saving strategies in industrial sector</i> (E.A. Abdelaziz , R. Saidur , S. Mekhilef)	Renewable and Sustainable Energy Reviews	78
<i>Energy use and efficiency in two Canadian organic and conventional crop production systems</i> (J.W. Hoepfner, M.H. Entza, B.G. McConkey, R.P. Zentner and C.N. Nagy)	Renewable Agriculture and Food Systems	78
<i>Productivity benefits of industrial energy efficiency measures</i> (Ernst Worrell, John A. Laitner, Michael Ruth, Hodayah Finman)	Energy	66
<i>Energy models for demand forecasting—A review</i> (L. Suganthi, Anand A. Samuel)	Renewable and Sustainable Energy Reviews	62

Fonte: a autora.

No Quadro 4 são destacados os periódicos que apresentaram maior quantidade de publicações pertinentes ao tema em estudo, sendo os *Energy Efficiency*, *Energy Policy*, *Applied Energy* e *International Journal of Energy Sector Management*, os principais. O Quadro 4 apresenta apenas os 21 periódicos que totalizam 70,8% das publicações, sendo de maior relevância e pode-se também ser verificado o fator de impacto (FI) de cada um dos periódicos destacados, onde se pode destacar o periódico *Renewable and Sustainable Energy Reviews* com o maior FI, sendo o valor de 5,51.

Quadro 4. Ranking dos principais periódicos para o contexto.

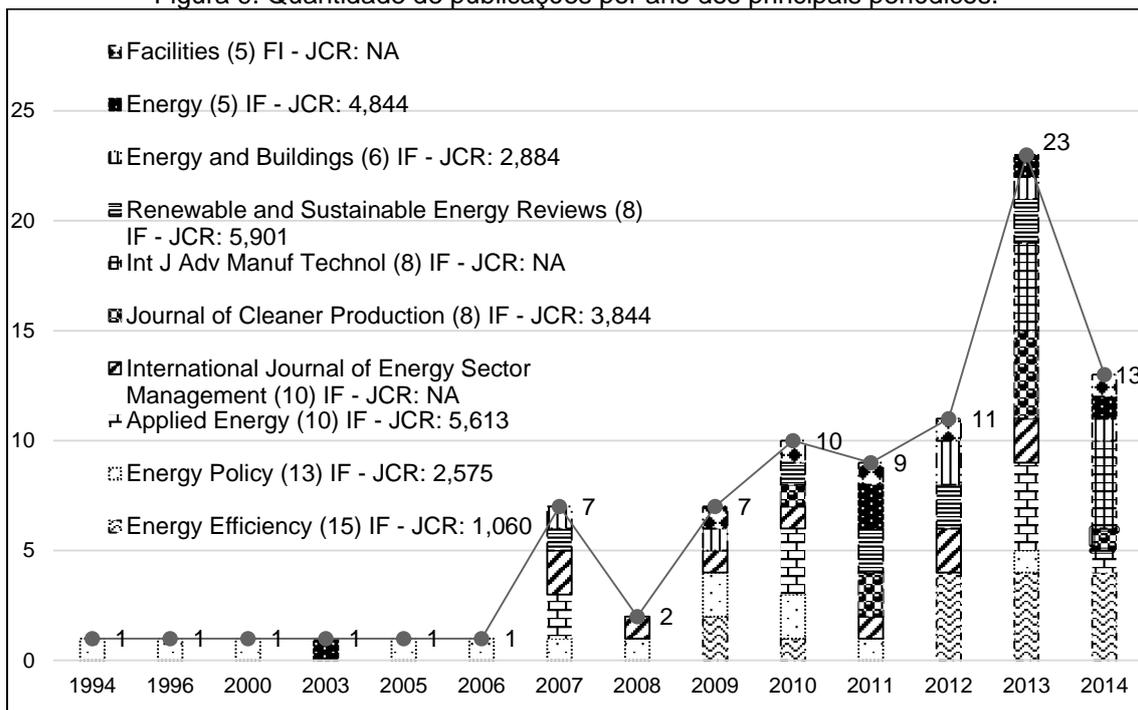
Periódicos	Nº de artigos	% acumulado	FI	Ranking
<i>Energy Efficiency</i>	15	9,3%	2,466	1
<i>Energy Policy</i>	13	17,4%	2,629	2
<i>Applied Energy</i>	10	23,6%	3,915	3
<i>International Journal of Energy Sector Management</i>	10	29,8%	NA	4
<i>Journal of Cleaner Production</i>	8	34,8%	2,43	5
<i>Int J Adv Manuf Technol</i>	8	39,8%	1,779	6
<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>	8	44,7%	5,51	7
<i>Energy and Buildings</i>	6	48,4%	2,046	8

<i>Energy</i>	5	51,6%	3,597	9
<i>Facilities</i>	5	54,7%	NA	10
<i>Energy for Sustainable Development</i>	4	57,1%	2,36	11
<i>CIRP Annals - Manufacturing Technology</i>	3	59,0%	2,828	12
<i>Management of Environmental Quality: An International Journal</i>	3	60,9%	NA	13
<i>Applied Thermal Engineering</i>	2	62,1%	2,88	14
<i>Environmental Practice</i>	2	63,4%	NA	15
<i>IEEE Computer Society</i>	2	64,6%	NA	16
<i>International Journal of Physical Distribution & Logistics Management</i>	2	65,8%	NA	17
<i>Journal of Facilities Management</i>	2	67,1%	NA	18
<i>Procedia CIRP</i>	2	68,3%	NA	19
<i>Smart and Sustainable Built Environment</i>	2	69,6%	NA	20
<i>Supply Chain Management: An International Journal</i>	2	70,8%	NA	21

Fonte: a autora, 2017.

Em uma análise ano a ano dos periódicos que representam 51,6% das publicações, pode-se destacar que a maior parte dos trabalhos do *Energy Efficiency* foram publicados nos anos de 2012, 2013 e 2013 com quatro trabalhos por ano. Já o periódico *Energy Policy* foi que apresentou maior frequência de trabalho, apresentando publicações em quase todos os anos da pesquisa exceto 2012 e 2014. O periódico *Energy Applied* obteve menor frequência de publicações, no entanto com maior intensidade, apresentando dois trabalhos no ano de 2007, três no ano de 2010, 4 em 2013 e um em 2014. O *Journal of Cleaner Production* também teve maior intensidade de publicação no ano de 2013 com quatro trabalhos, assim como o periódico *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* que apresentou quatro artigos em 2013 e quatro em 2014. Os demais periódicos destacados na Figura 9 apresentaram entre uma e duas publicações por ano.

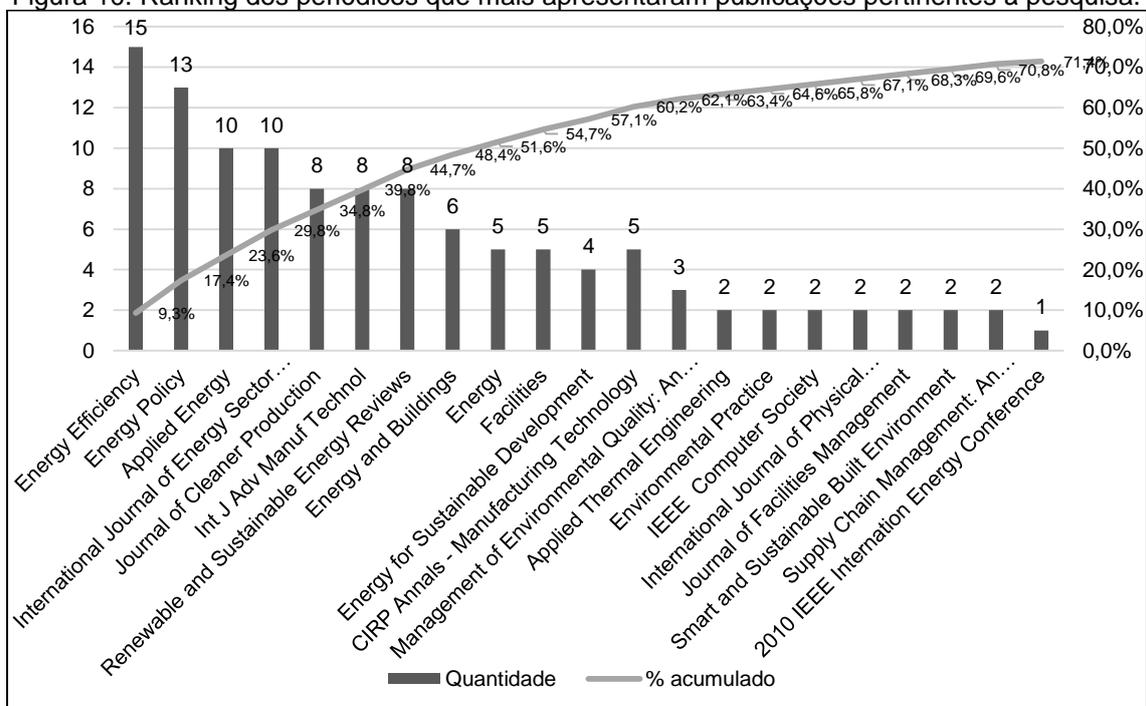
Figura 9. Quantidade de publicações por ano dos principais periódicos.



Fonte: a autora, 2017.

Na Figura 10 são destacados os principais periódicos da pesquisa, com uma representatividade de 70,8%.

Figura 10. Ranking dos periódicos que mais apresentaram publicações pertinentes à pesquisa.



Fonte: a autora, 2017.

Já no Quadro 5 são apresentadas as Instituições que mais contribuíram com a pesquisa, sendo a Instituição Suéca *Linköping University* a de maior impacto, apresentando seis publicações, o dobro das demais que estão no ranking das 21 instituições que mais produziram no tema.

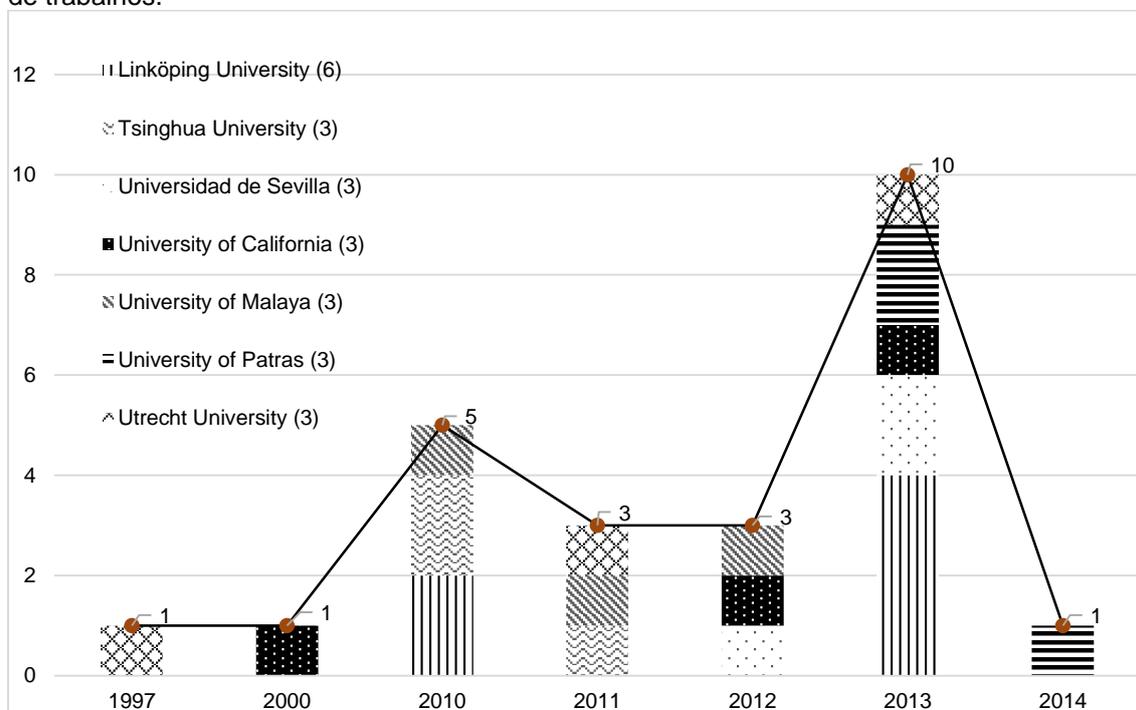
Quadro 5. Organizações com os maiores índices de publicações.

Organizações de Pesquisa	Nº de publicações	% acumulado	Ranking
<i>Linköping University</i>	6	3,55%	1
<i>Tsinghua University</i>	3	5,33%	2
<i>Universidad de Sevilla</i>	3	7,10%	3
<i>University of California</i>	3	8,88%	4
<i>University of Malaya</i>	3	10,65%	5
<i>University of Patras</i>	3	12,43%	6
<i>Utrecht University</i>	3	14,20%	7
<i>BWI Center for Industrial Management</i>	2	15,38%	8
<i>Chalmers University of Technology</i>	2	16,57%	9
<i>Colorado State University</i>	2	17,75%	10
<i>International Energy Agency</i>	2	18,93%	11
<i>Islamic Azad University</i>	2	20,12%	12
<i>National Technical University of Athens</i>	2	21,30%	13
<i>North China Electric Power University</i>	2	22,49%	14
<i>Seoul National University</i>	2	23,67%	15
<i>The Hong Kong Polytechnic University</i>	2	24,85%	16
<i>Trinity College Dublin</i>	2	26,04%	17
<i>TU Dortmund University</i>	2	27,22%	18
<i>University College Cork</i>	2	28,40%	19
<i>University of Pretoria</i>	2	29,59%	20
<i>University of Rome</i>	2	30,77%	21
<i>University of Wuppertal</i>	2	31,95%	22
<i>University of Wuppertal Faculty of Management and Economics</i>	2	33,14%	23

Fonte: a autora, 2017.

Repetindo a mesma análise realizada com os periódicos, pode-se destacar as seis principais Instituições, que representam 14,20% dos trabalhos publicados, mas que apresentam 3 publicações, exceto a instituição *Linköping University* que publicou seis trabalhos, dos quais dois foram em 2010 e quatro foram publicados em 2013, como pode ser observado na Figura 11. A Instituição *Tsinghua University* publicou dois trabalhos em 2010 e um em 2011, assim como a *Universidad de Sevilla* que publicou dois trabalhos em 2013 e um em 2012. As demais instituições destacadas na Figura 11 apresentaram apenas uma publicação por ano.

Figura 11. Número de publicações por ano das Instituições que apresentaram maior quantidade de trabalhos.



Fonte: a autora, 2017.

No Quadro 6 podem ser observados os autores que mais contribuíram com a presente pesquisa, apresentando entre dois e cinco trabalhos, dentre os quais se pode destacar os dois primeiros, Edwin H.W. Chan que publicou cinco artigos relevantes para a pesquisa e Clara Inés Pardo Martínez que publicou quatro. Os autores Charles Goldman, Ernst Worrell, Luis Pérez-Lombard, Queena K. Qian e Patrik Thollander publicaram três artigos cada. Os demais apresentados no Quadro 6, publicaram 2 artigos, cada.

Quadro 6. Principais autores que contribuem com a pesquisa

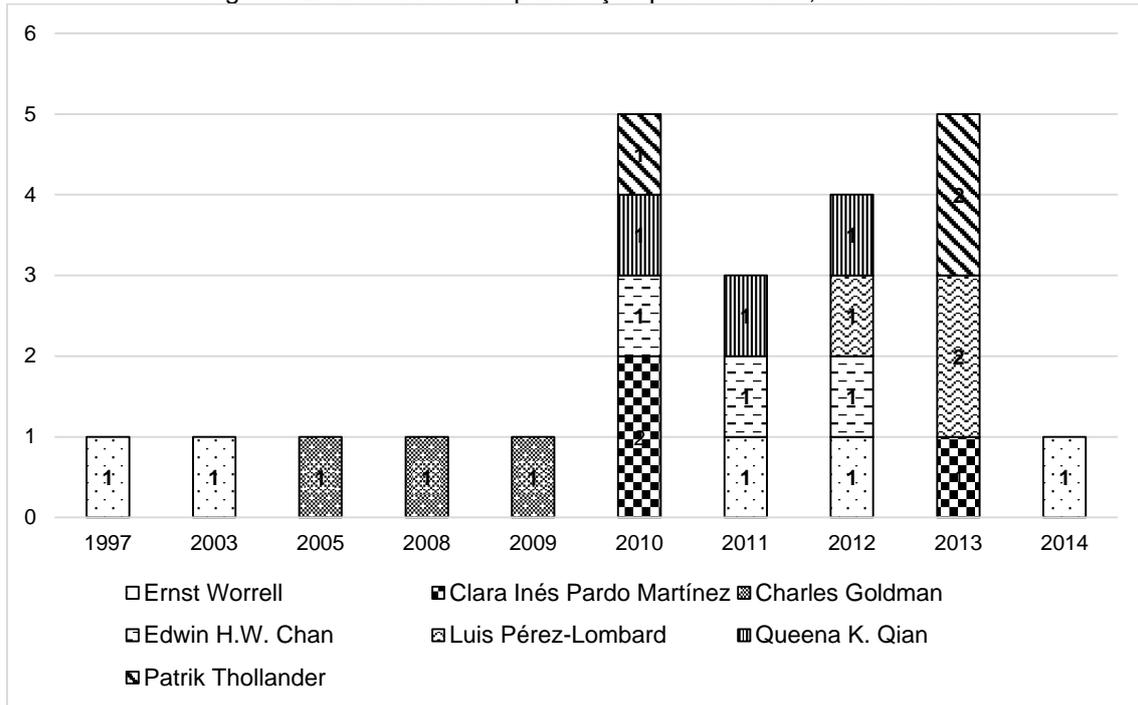
Ranking	Autor	Qtd	% Acumulado
1º	Edwin H.W. Chan	5	0,91%
2º	Clara Inés Pardo Martínez	4	1,64%
3º	Charles Goldman	3	2,19%
4º	Ernst Worrell	3	2,74%
5º	Luis Pérez-Lombard	3	3,28%
6º	Queenena K. Qian	3	3,83%
7º	Patrik Thollander	3	4,38%
8º	Yong Wu	2	4,74%
9º	Andrea Trianni	2	5,11%
10º	Arni Halldorsson	2	5,47%
11º	Baizhan Li	2	5,84%
12º	Brian P. Ó Gallachóir	2	6,20%
13º	Caiman J. Cahill	2	6,57%
14º	David Velázquez	2	6,93%
15º	E. Worrell	2	7,30%
16º	Enrico Cagno	2	7,66%
17º	Eoin O'Driscoll	2	8,03%
18º	Felipe Nunes	2	8,39%
19º	Frank O. Ernst	2	8,76%
20º	Gale Boyd	2	9,12%
21º	Galen Barbose	2	9,49%
22º	Garret E. O'Donnell	2	9,85%
23º	George Chryssolouris	2	10,22%
24º	Helene Lidestam	2	10,58%
25º	Igor Bashmakov	2	10,95%
26º	James O'Donnell	2	11,31%
27º	Joarder Mohammad AMunim	2	11,68%
28º	Jochen Deus	2	12,04%
29º	John C. Van Gorp	2	12,41%
30º	John Psarras	2	12,77%
31º	José Ortiz	2	13,14%
32º	Kanako Tanaka	2	13,50%
33º	Katharina Bunse	2	13,87%
34º	Lei Yang	2	14,23%
35º	Marcus M. Keane	2	14,60%

36º	Marilyn A. Brown	2	14,96%
37º	Martin Rudberg	2	15,33%
38º	Martin Waldemarsson	2	15,69%
39º	Matthias Vodicka	2	16,06%
40º	Mikael Ottosson	2	16,42%
41º	Naehyuck Chang	2	16,79%
42º	Paul Schönsleben	2	17,15%
43º	Peng Peng Xu	2	17,52%
44º	Pingyu Jiang	2	17,88%
45º	R. Saidur	2	18,25%
46º	S. Mekhilef	2	18,61%

Fonte: a autora, 2017

Entre os sete principais autores, pode-se fazer uma análise ano a ano, identificando frequência e intensidade de publicação, como proposto na Figura 12. O pesquisador com o maior número de trabalhos publicados, Ernst Worrel, é também que apresenta maior frequência, tendo os trabalhos publicados em 1997, 2003, 2011, 2012 e 2014. Já a pesquisadora Clara Inés P. Martínez apresentou maior intensidade de publicação em 2010, com três trabalhos, e um trabalho em 2013. Os pesquisadores Luis Pérez Lombard e Patrik Thollander também apresentaram intensidade de publicação em 2013 com dois trabalhos cada e em 2012 e 2010, com um trabalho cada, respectivamente. Os demais pesquisadores apresentaram uma publicação por ano.

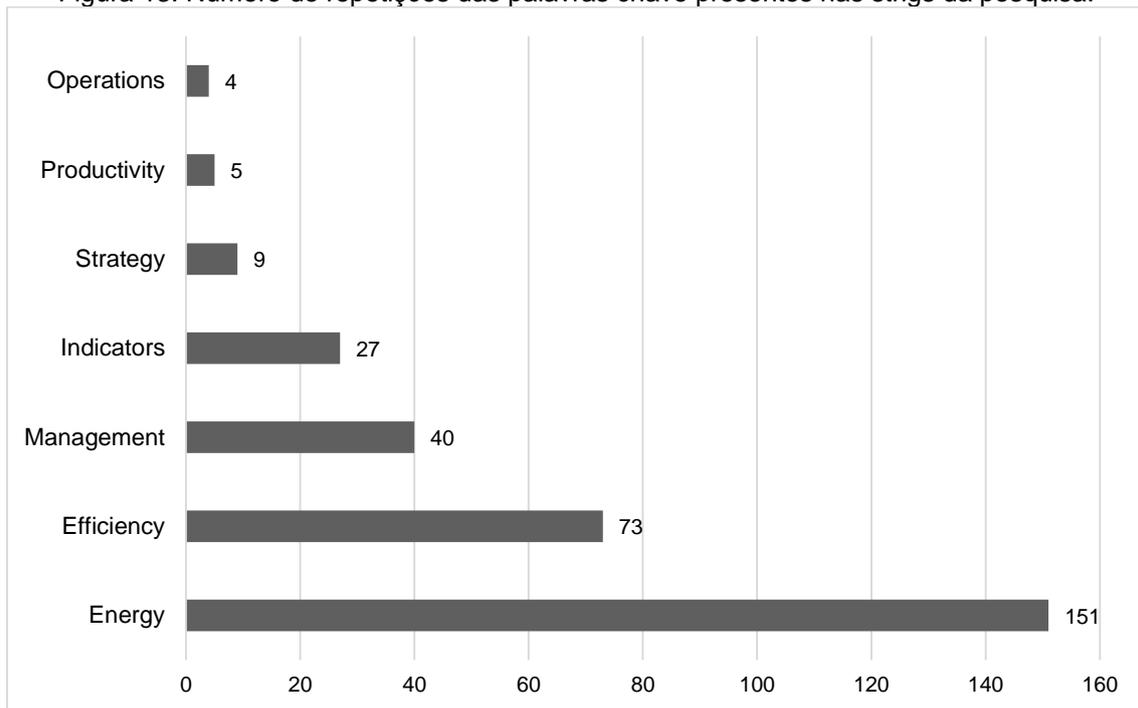
Figura 12. Quantidade de publicação por ano autor, ano a ano.



Fonte: a autora, 2017.

Pode-se ainda fazer uma análise quanto aos pares de palavras utilizados para realizar a busca da literatura (Figura 13) e as que mais aparecem nos títulos dos artigos (Figura 14). Observando a Figura 13, pode-se perceber que as palavras *energy*, *efficiency*, *management* e *indicators* são as que apresentam maior frequência nas palavras-chave destacadas pelos trabalhos do portfólio da pesquisa. Por meio desta observação, pode-se esperar uma quantidade mínima de trabalhos que apresentem estratégias para mensuração e sistemas de gerenciamento de energia em ambientes produtivos, ao contrário dos indicadores, que estão presentes em grande parte dos artigos.

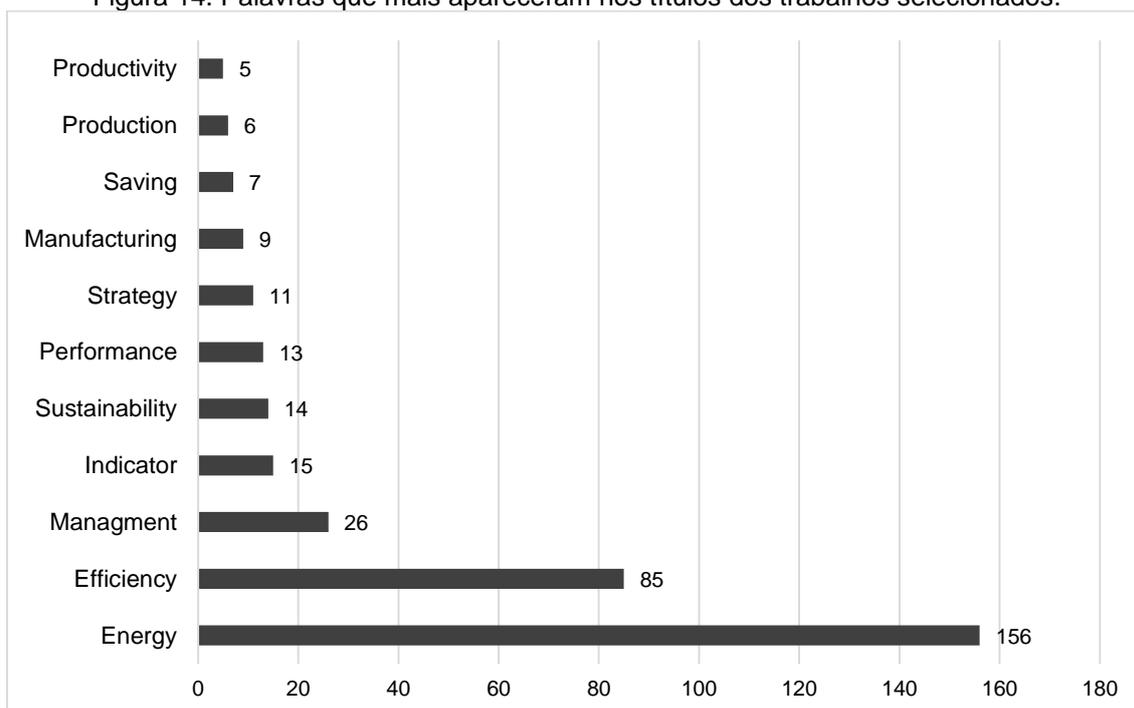
Figura 13. Número de repetições das palavras chave presentes nas strigs da pesquisa.



Fonte: a autora

Observando a Figura 14, pode-se perceber novamente que as palavras com maior frequência são: *energy*, *efficiency* e *management*, o que comprava que os artigos selecionados no portfólio estão coerentes com o tema da pesquisa. Além disto, observando que as demais palavras que mais estão presentes no títulos: *indicator*, *sustainability*, *performance*, *strategy*, *manufacturing*, *saving*, *production* e *productivity*, sugerem que os artigos possam ser categorizados em duas temáticas: Operações, Sustentabilidade, nas quais se pode destacar as estratégias de atuação e os indicadores de desempenho utilizados.

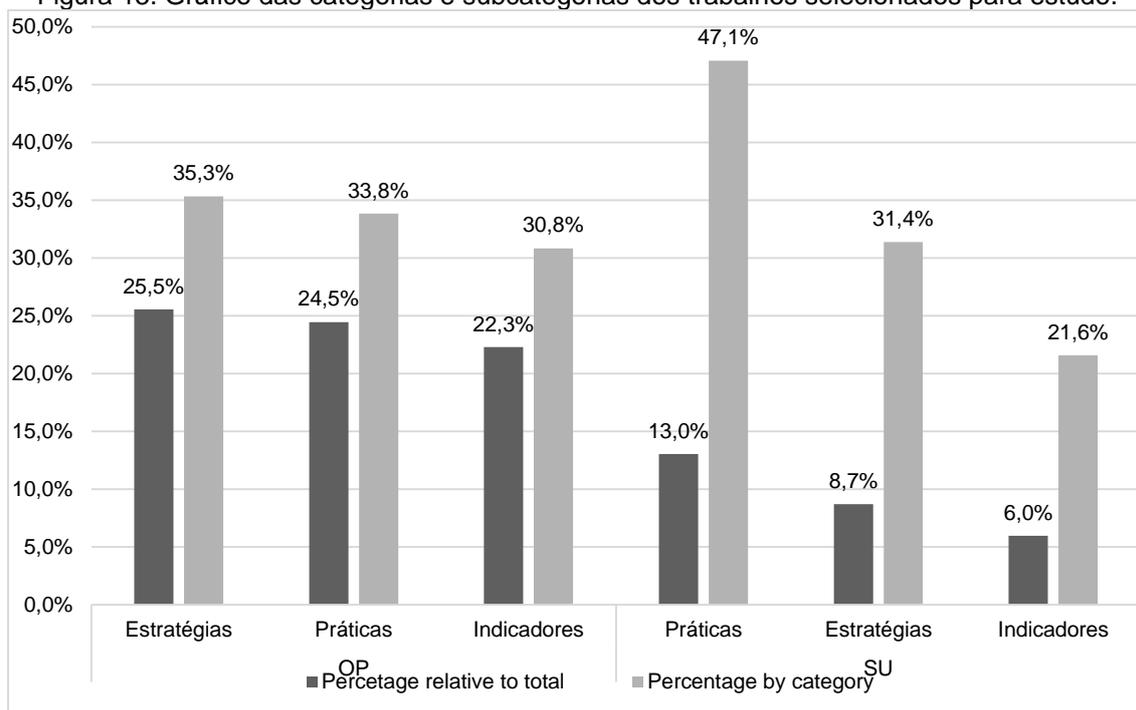
Figura 14. Palavras que mais apareceram nos títulos dos trabalhos selecionados.



Fonte: a autora, 2017.

Os artigos do portfólio foram divididos em duas categorias: Sustentabilidade (SU), representada por trabalhos relacionados à energias renováveis, eficiência energética em função da redução de emissão de gases e o estudo de outros tipos de energia; e Operações (OP), categoria representada pelos trabalhos de eficiência energética em ambientes de manufatura e serviços. A escolha das categorias extraindo-se os temas de cada artigo, por meio da leitura dos resumos. Como subcategorias, ainda foi possível categorizar os estudos em: Estratégia, onde foram alocados os trabalhos que apresentam uma abordagem estratégia em torno da eficiência energética; Indicadores, subcategoria representada pelos trabalhos que apresentam indicadores de desempenho energético e sistemas de gerenciamento de energia em ambientes de manufatura e; Práticas, onde foram alocados os trabalhos que apresentam práticas e recomendações para eficiência energéticas. Observando a Figura 15, pode-se entender que a maioria dos artigos fazem parte da categoria Operações, em torno de 72%, dos quais 35,3% estão relacionados à exposição de estratégias para o gerenciamento de energia em manufatura, 33,8% com as práticas e recomendações para eficiência energética e 30,8% apresentam indicadores de desempenho do uso da energia em ambientes de manufatura.

Figura 15. Gráfico das categorias e subcategorias dos trabalhos selecionados para estudo.



Fonte: a autora, 2017.

3.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E O ESTUDO COGNITIVO DA RELAÇÃO COM AS ÁREAS DE DECISÃO

A energia é uma necessidade básica do ser humano, que ao longo dos anos tem elevado sua demanda face aos avanços tecnológicos e mudanças no estilo de vida que estes podem proporcionar. O uso de métodos e tecnologias de economia de energia podem gerar sistemas energéticos eficientes, capazes de proporcionar inúmeras vantagens para o setor industrial, por exemplo, que é um setor de consumo potencial de energia e onde a melhoria na eficiência energética pode conduzir à efeitos estratégicos e competitivos positivos (Kulkarni e Katti, 2010).

De acordo com Pokrovski (2003), a energia é uma força motriz da produção, sendo está uma variável fortemente relacionada com a geração de outputs de um processo, assim como a mão de obra também está. De acordo com o pesquisador, o sistema de produção segue o princípio de potência máxima, ou seja, busca consumir todos os recursos disponíveis. Em sua

pesquisa, Pokrovski (2003) destacou três fatores de produção: capital (K), trabalho (T) e energia produtiva (E) que contribui para a agregação de valor dos produtos, analisando como os mesmos se relacionam.

A estratégia do negócio comumente se alinha com as áreas de decisão do mesmo, e de acordo com Choudhari (2012), as competências de um sistema de produção dependem de algumas decisões individuais, caracterizadas pelas áreas de decisão do sistema. De acordo com Skinner (1996), as áreas de decisão são definidas em: Planta e Equipamentos, Produção, Planejamento e Controle, Pessoal, Projeto de Produto/Engenharia e Organização e Gerenciamento. Já para Hayes e Wheelwright (1985) as áreas de decisão podem ser alocadas em dois grandes grupos, o Estrutural, do qual faz parte as áreas de Capacidade, Instalações, Tecnologia e Integração Vertical; e o grupo Infraestrutural, onde se tem as seguintes áreas de decisão: Força de trabalho, Organização, Qualidade e Planejamento, Controle de Produção.

Neste cenário de carência de integração entre as diversas áreas decisivas de um sistema produtivo e a eficiência energética, este capítulo tem como objetivo, analisar de forma cognitiva a literatura apresentada em eficiência energética nos ambientes produtivos e sua relação com as áreas de decisão, promovendo assim uma visão colaborativa das diversas decisões estratégias e suas influências quanto ao uso da energia num sistema produtivo. Para tanto, optou-se por analisar a revisão sistemática da literatura de forma cognitiva sob a ótica dos procedimentos e estratégias adotadas para gerenciamento do consumo de energia, bem como os indicadores de desempenho energético.

As análises dos textos do portfólio foram realizadas com o intuito de responder as três questões de pesquisas definidas na metodologia e relacionar os procedimentos, práticas e indicadores de desempenho energético com as áreas de decisão definidas na literatura, por meio de uma análise cognitiva. Para Varela e Maturana (1992), “essa situação, em que reconhecemos implícita ou explicitamente a organização de um objeto, quando o indicamos ou distinguimos, é universal por ser algo que fazemos constantemente: um ato cognitivo básico”. Desta forma, a análise cognitiva foi realizada por meio do conhecimento e experiência dos autores, considerando as áreas de decisão implícitas nos textos, a partir dos indicadores expostos, das práticas e procedimentos para o gerenciamento de energia e as características das áreas de decisão delineadas

por Skinner (1969) e por Hayes e Wheelwright (1985; 1988), sintetizadas no Apêndice 1.

3.2.1 Estratégias e procedimentos para sistemas de gerenciamento de energia e áreas de decisão

De acordo com Wheelwright e Hayes (1985), tem-se as seguintes áreas de decisão: capacidade, instalações, tecnologia e integração vertical, força de trabalho, organização, qualidade, planejamento e controle de produção. Já para Skinner (1996), as áreas de decisão podem ser classificadas em: instalações e equipamentos, planejamento e controle da produção, recursos humanos, engenharia de produto, organização e gerenciamento. Para Corrêa e Corrêa (2009) as áreas de decisão podem ser divididas em: projeto de produto e serviço, processos e tecnologia, instalações, capacidade/demanda, força de trabalho e projeto de trabalho, qualidade, organização, filas e fluxos, sistemas de planejamento, programação e controle da produção; sistemas de informação; redes de suprimento; gestão do relacionamento com o cliente; medidas de desempenho e sistemas de melhoria. Desta forma, optou-se por trabalhar com áreas que se coincidem em ambos autores, ou seja, equipamentos e instalações (que compreende também a área de tecnologia) - (INST), capacidade (CAP), recursos humanos (RH), qualidade (QLD), planejamento e controle de produção (PCP), organização e gerenciamento (OG), logística (LOG) e engenharia de produto (EP).

Algumas das áreas de decisão já descritas podem ser relacionadas com as estratégias gerenciais delineadas por Kulkarni e Katti (2010) para promover melhorias em eficiência energética, das quais se pode citar a auditoria energética; custos energéticos; perfil de carga; uso de material; operação e manutenção; iluminação; recursos alternativos de energia; recursos humanos; modernização e gestão de energia.

Para a avaliação da utilização da energia no processo de auditoria, o qual se pode relacionar com a área de organização, primeiro trabalha-se com a fase de estudos preliminares para somente então avaliar o projeto detalhado de execução e instalações. A estratégia de avaliação dos custos está baseada nas contas de energia que geralmente apresentam o consumo de energia elétrica

mensal. Já a terceira estratégia consiste na análise do comportamento de carga, relacionada com a área de equipamentos e instalações e capacidade; a quarta estratégia busca maximizar o uso dos materiais e incentivar a reciclagem de resíduos; a quinta estratégia busca a otimização do uso dos componentes e a sexta relaciona a iluminação do local. O estudos das fontes alternativas de energia são apresentadas na sétima estratégia; o treinamento e conscientização, também alinhado com a área de organização, em tornos da utilização de energia está relacionada com a melhoria que pode ser obtida na oitava estratégia e por fim, a duas últimas estratégias que tratam das modernização de equipamentos (área de equipamentos e instalações e capacidade) e da criação de procedimentos e métodos para o gerenciamento energético (área de decisão de Organização) (Kulkarni e Katti, 2010).

Não existe uma regra de sucesso que se aplique completamente a todo tipo de indústria, mas de acordo com Dusi e Schultz (2012), existem elementos chaves para o sucesso de qualquer programa energético, sendo eles:

- Compromisso da gestão
- Organização
- Acompanhamento de energia
- Benchmarking
- Auditoria
- Metas e plano de ação
- Relatórios de produção e registros de manutenção
- Comunicação
- Exemplo de auditoria abrangente

Para Dusi e Schultz (2012), um programa de gestão energética precisa primeiramente da participação de todos os representantes da empresa, desde a diretoria, como as áreas financeira, produtiva, de manutenção, qualidade, engenharia, entre outros. É de suma importância que se envolva todos os funcionários, de todas as etapas do processo. Os funcionários não são apenas responsáveis por buscar atingir as metas do programa, mas atuam também como facilitadores do programa, promovendo a comunicação das metas com seus respectivos departamentos. O acompanhamento da energia permitirá conhecer onde a mesma é consumida, permitirá também o acompanhamento

dos custos e o cálculo da quantidade de energia por cada fase da produção (KWh\ton). A auditoria é um processo chave do programa de gestão energética, pois permite acesso aos planos de ação, metas atingidas e andamento do programa. Sugere-se que o sistema de auditoria avalie as seguintes questões: dados históricos de consumo de energia por máquina; estudo dos relatórios de manutenção buscando determinar as melhores e piores instalações; cálculo de economias e taxa de retorno e; estudo do sistema atual de distribuição elétrica. Quanto às metas sugerem-se que sejam específicas, mensuráveis, atingíveis, relevantes e feitas em tempo (Dusi e Schultz, 2012). No Quadro 7 são destacadas as práticas para o gerenciamento de energia, propostas por Dusí e Schultz (2012).

Quadro 7. Prática comuns para o gerenciamento de energia.

Práticas Comuns	Abordagem de Sistemas Corporativos
Descentralização, plantas de utilização de energia	Centralizada com o diretor coordenando o programa de energia desenvolvido para melhoria contínua
Projeto focado	Programa focado
Poucas políticas	Políticas corporativas
Redes informais	Redes formais
Baixa contabilidade	Sistemas métricos e contábeis
Práticas variam por planta	Institucionalização de práticas
Pouco benchmarking	Estabelecimento de metas e benchmarking
Poucos relatórios	Relatórios formais

Fonte: Dusí e Schultz, 2012.

Numa análise cognitiva generalizada, pode-se dizer que as estratégias de atuação em eficiência energética propostas por Dusí e Schultz (2012) estão relacionadas com a área de Organizacional, no entanto, para a geração de resultados positivos, os autores ressaltam a necessidade da participação e integração das diversas áreas de decisão.

A norma ISO 50001:2011 define um sistema de gestão de energia como a combinação de elementos em uma organização, com os objetivos estratégicos na política energética e tem os seguintes objetivos:

- Representar os fluxos de energia de forma transparente;

- Melhorar constantemente a eficiência energética por meio do monitoramento contínuo do fluxo de energia;
- Identificar potenciais economias de energia pela precisão de dados;
- Cortar custos de energia e emissão de CO₂;
- Criar uma vantagem competitiva através da orientação otimizada do processo para consumo de energia;
- Sensibilização dos funcionários para com o sistema de gestão energética e seus objetivos;
- Verificação dos cumprimentos legais;
- Proporcionar uma base para a redução de impostos.

Sendo assim, nas ações propostas pela ISO 50001:2011 estão intrínsecas as seguintes áreas de decisão: organização e gerenciamento, equipamentos e instalações, capacidade e planejamento e controle de processos.

Já para Moskalenko *et al* (2012), a estratégia de um SGE consiste em alguns elementos básicos: a) monitoramento, onde os dados de consumo de energia são coletados e analisados a fim de se identificar potenciais de economia de energia; b) automação, o controle automático dos processos pode proporcionar melhoramento contínuo e detectar mudanças na demanda e suprimento de energia e; c) controle online, que consiste na análise e monitoramento contínuo da energia, d) manutenção e controle a fim de evitar paradas não programadas e; e) medidores de energia. O conceito de gestão energética é a coleta contínua de dados, avaliação das medidas e visualização dos resultados. Para tanto os SGE necessitam equipamentos, ferramentas de comunicação, sistemas de controle e clientes (Moskalenko *et al*, 2012). De acordo com Moskalenko *et al* (2012), um SGE dinâmico realiza as seguintes funções:

- Previsão da produção de energia a partir das energias renováveis (com base na previsão do tempo);
- Previsão de consumo de energia para o dia seguinte em períodos pequenos de tempo;
- Previsão de armazenamento de energia disponível;

- Formulação de uma programação para todos os elementos do sistema com base no custo;
- Controle dos componentes do sistema de energia em tempo real para equilibrar o consumo e evitar picos.

No Quadro 8 podem ser observadas as atividades de acordo com as Normas 16001, 50001 e a proposta de atividades de um SGE dinâmico, de acordo com Moskalenko *et al* (2012).

Quadro 8. Questões dos SGE de acordo com as Normas 16001 e 50001.

Ciclo de acordo com a Norma	Campos de atividade de acordo com a Norma	Extensão de atividades
Determinação da política energética	Recursos para economia de energia por orientação de demanda	Uso de dispositivos controláveis, recursos energéticos renováveis e armazenáveis
Investigação e avaliação dos aspectos de energia	Substituição de recursos ineficientes	Integração dos recursos no sistema de informação, caracterização do algoritmo
Determinação dos objetivos, responsabilidades e recursos energéticos	Redução do consumo de energia e definição da gestão energética	Otimização do consumo de energia por cargas tarifárias (cargas de pico, tempo de carregamento)
Sistema de monitoramento	Monitoramento e avaliação do progresso das políticas	Estrutura da tecnologia de informação com a gestão dos algoritmos
Estimação do potencial de economia	Aplicação das políticas de economia de energia	Uso de algoritmos controladores para otimização dinâmica
Elevação da eficiência energética	Busca do ótimo	Previsão dinâmica da geração e consumo de energia

Fonte: Moskalenko *et al.*, 2012.

Áreas de decisão destacadas nas ações propostas por Moskalenko *et al* (2012) são capacidade e programação e controle de produção, uma vez que é frisado a necessidade de monitoramento e medição do consumo de energia, bem como o planejamento de sua demanda.

Em estudo os autores Rudberg *et al* (2013) buscaram alinhar e validar a teoria com um estudo de caso avaliando as seguintes questões: *i.* Quais questões são importantes a serem consideradas para o estabelecimento de uma perspectiva estratégica em um sistema energético de uma empresa? *ii.* Quais questões são importantes a serem consideradas para se obter atenção

estratégica para o sistema de energia da empresa? *iii*. Quais questões são importantes a serem consideradas para se obter atenção estratégica na investigação de possibilidades de encontrar alternativas de eficiência para o sistema de energia da empresa?

Em resposta da primeira questão, foram destacados três pontos, o primeiro é a necessidade de uma continuidade política em relação às questões energéticas, a fim de que os investimentos possam ser reduzidos; em segundo lugar, pôde-se perceber que ainda a questão energética não seja o core business, ela pode ser o core do negócio, uma vez que o custo de energia representa grande parte do valor adicionado; e por fim estabelecer uma organização contendo um gestão de energia que seja responsável pela gestão energética da empresa, podendo incorporar a possibilidade de integrar o planejamento de energia às iniciativas de economia de energia em nível corporativo (Rudberg *et al*, 2013). Tal resposta pode ser direcionada pelas decisões estratégicas da área de organização e gerenciamento, uma vez que se trata da definição das políticas de EE.

Respondendo a segunda questão, foram levantados quatro pontos importantes para a obtenção de atenção estratégica para o sistema de energia da empresa. O primeiro deles foi a necessidade de centralização do planejamento energético e da responsabilidade das iniciativas de eficiência energética; identificação do potencial de economia de energia e focalização em investimentos com melhores soluções energéticas, considerando os impactos ambientais na tomada de decisão; focar na eficiência e eficácia do sistema de energia (utilizando métodos de gerenciamento de carga, análise e eliminação de desperdício de energia, entre outros) e, trabalhar com o inovações de processo no que diz respeito à qualidade de energia e seus custos alternativos (Rudberg *et al*, 2013). De forma cognitiva, pode-se relacionar à resposta abordada para a segunda questão com decisões estratégicas de capacidade, desenvolvimento de produto e equipamentos e instalações.

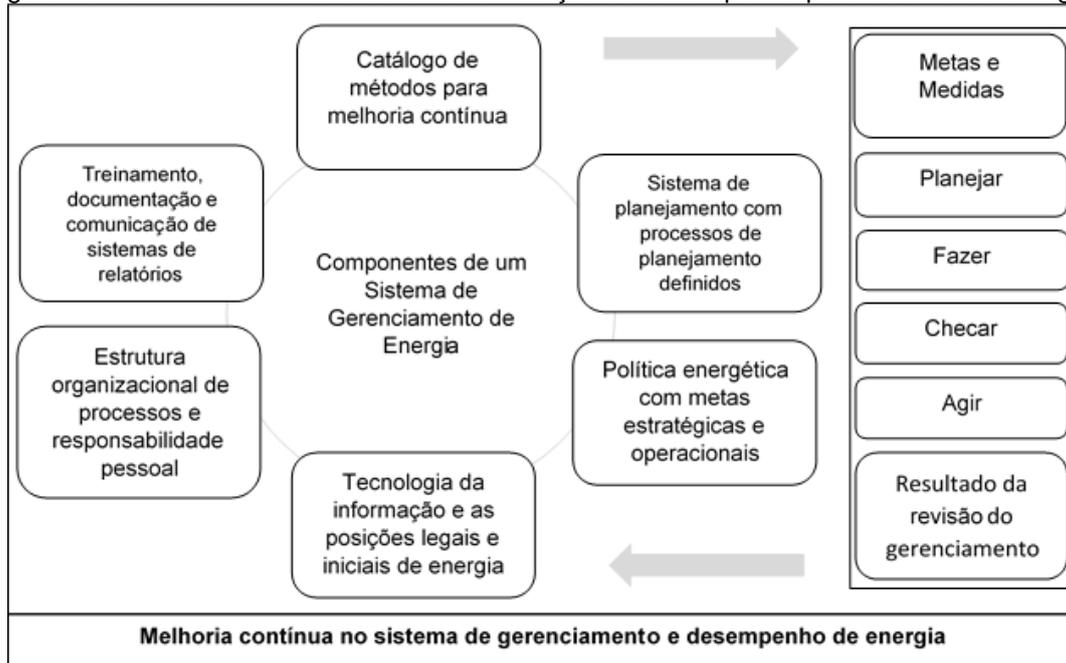
Por fim, na última questão abordada pelos autores, que diz respeito a investigação de alternativas para eficiência do sistema de energia, também foram destacados três pontos estratégicos importantes: a localização das empresas pode influenciar na lucratividade; as possibilidades de uso ou reuso podem agregar o processo de produção de modo a transformar a energia

excedente em economia alternativa, ou em eletricidade ou aquecimento urbano, entre outros; e por fim, o apoio governamental que pode promover a competitividade da energia sustentável (Rudberg *et al*, 2013), conferindo, desta forma, maior ênfase às áreas de instalações, tecnologia e planejamento e programação da produção.

Alguns estudos mostram que as empresas apresentam dificuldades em seguir alguns passos, como por exemplo: a avaliação da situação inicial devido à falta de dados, não focar no principal consumidor de energia e derivar medidas de melhorias para o mesmo e, implementar processos de melhoria contínua através de uma falta de interação de funcionários. De maneira geral, para Dorr *et al* (2013) os sistemas de gerenciamento de energia deveriam conter: uma política de energia com metas operacionais e estratégicas; uma posição energética inicial legal; estrutura organizacional, processos e responsabilidades; sistemas de treinamento, documentação, comunicação e relatórios; procedimento para os processos de melhoria contínua e um sistema de planejamento com os processos de planejamento definidos.

Baseado na ISO 50001:2011, Dorr *et al* (2013), propõem os componentes de um sistema de gestão de energia e a utilização de um framework que define os ajustes do sistema, a organização, a estrutura e os processos, como pode ser observado na Figura 16.

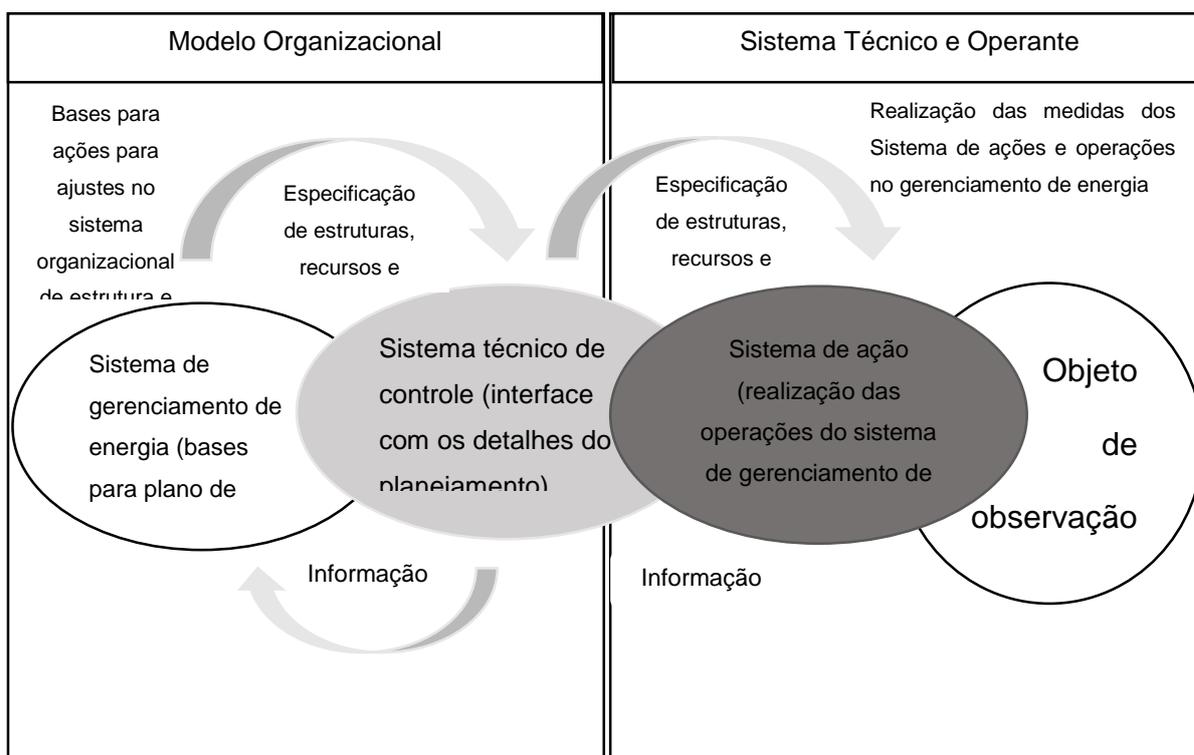
Figura 16. Sistema de melhoria contínua e medição de desempenho para sistema de energia.



Fonte: Dorr et al, 2013.

É considerado o local onde o sistema de energia deve ser alocado e atuar no planejamento global. O sistema técnico operacional é o sistema para ações, medidas e realizações, incluindo a observação de objetos, como os produtos, processos e serviços. Entre o framework e o sistema operacional, atua um sistema de controle, onde o planejamento detalhado é carregado para os diversos níveis e os seus requisitos são quebrados em metas operacionais. Vide Figura 17.

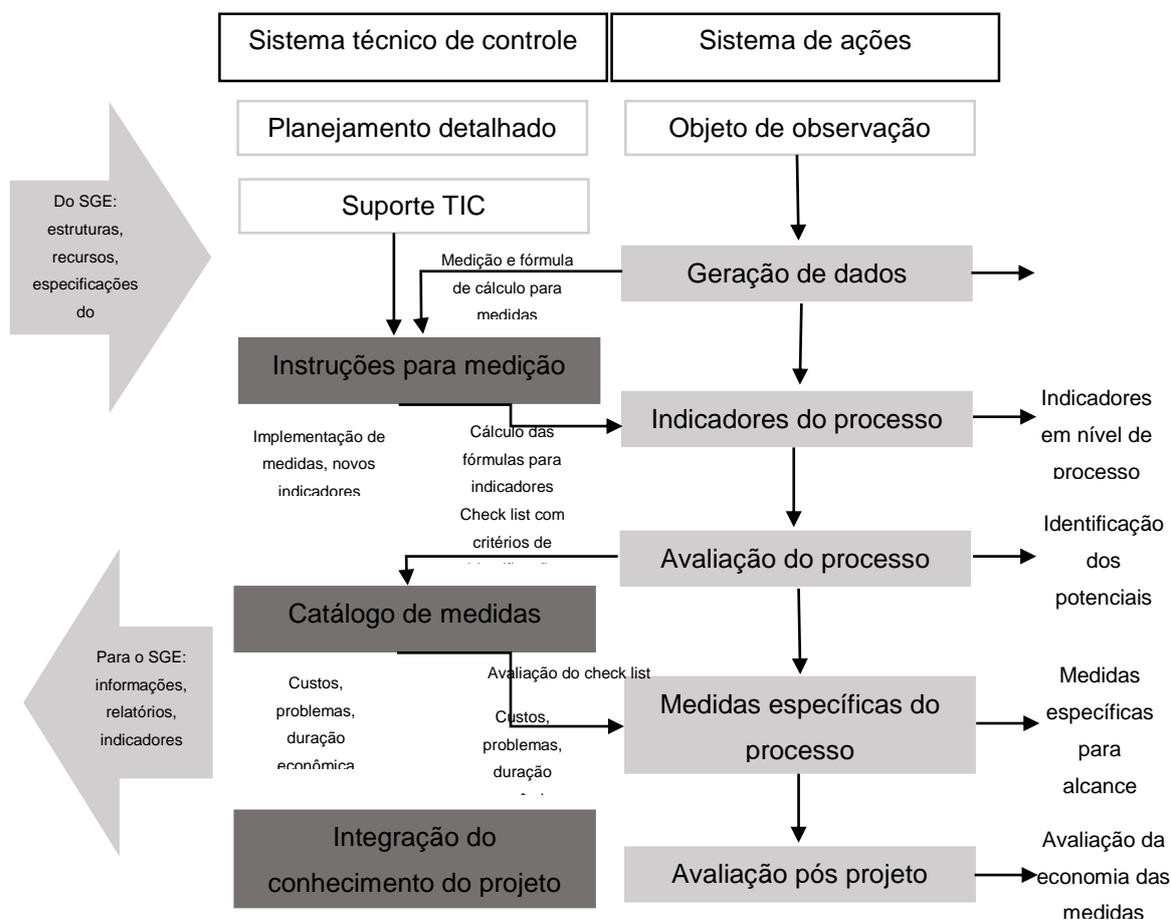
Figura 17. Modelos de gestão propostos por Dorr *et al*, 2013.



Fonte: Dorr *et al*, 2013.

Os autores buscam relacionar o projeto de eficiência energética com as extensões necessárias no sistema técnico de controle, com o objetivo de criar uma base técnica para uma melhoria contínua da eficiência energética em nível de processo (Dorr *et al*, 2013). Esta relação pode ser observada na Figura 18.

Figura 18. Projeto de eficiência energética com as extensões necessárias no sistema técnico de controle.



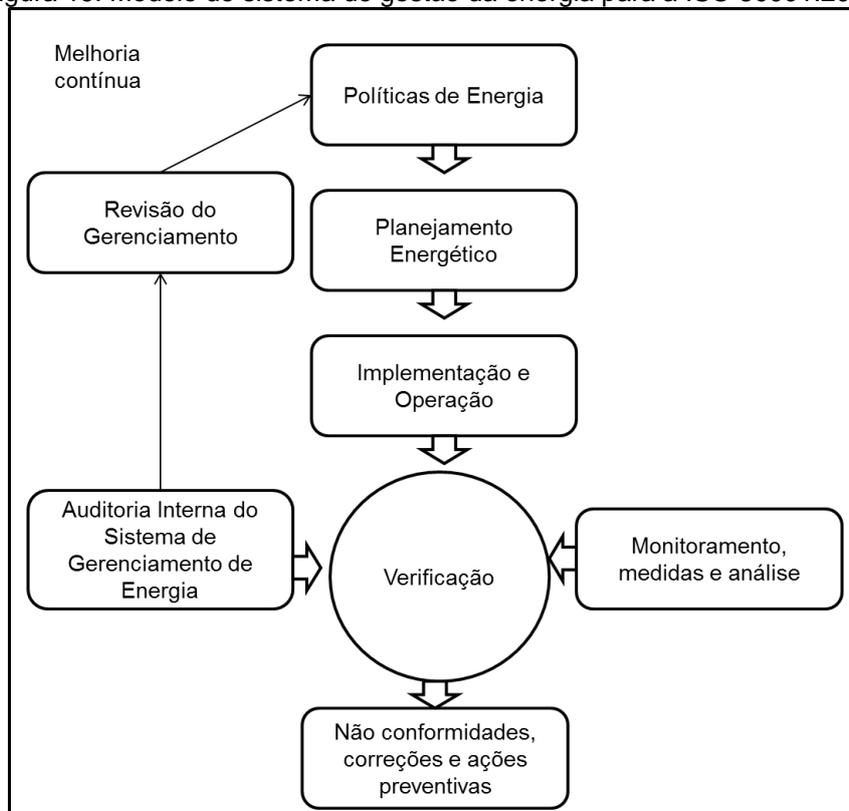
Fonte: Dorr *et al*, 2013.

Como fator de sucesso pode-se sugerir a utilização de um catálogo de medidas baseadas no processo que permitem a redução do consumo de energia, atuando como direcionadores na tomada de decisão em nível de processo. Trata-se da criação de um documento, em nível de processo, com possíveis medidas gerais e detalhadas, como custos, economias, amortização, potencial de poupança, riscos de processo e qualidade, entre outros; que irá funcionar como um banco de dados integrado à tecnologia da informação do sistema de controle técnico (Dorr *et al*, 2013).

Analisando o sistema de eficiência energética, o framework e o projeto de EE proposto por Dorr *et al* (2013), que também tem como referência a ISO 50001:2011, espelhando um modelo PDCA (Figura 19), é visível que para este sistema provocar resultados eficientes, as decisões acontecem de forma

estratégica nas áreas de organização e gerenciamento, de equipamentos e instalações.

Figura 19. Modelo de sistema de gestão da energia para a ISO 50001:2011.



Fonte: Adaptado de NBR ISO 50001:2011.

Segundo a ISO 50001:2011, os indicadores de desempenho energético podem incluir o consumo de energia por tempo, consumo de energia por unidade produzida ou ainda um modelo com múltiplas variáveis relacionadas à energia. A Figura 19 é a representação do modelo de sistema de gestão de energia de acordo com a ISO 50001:2011. De maneira geral, a ISO pode contribuir com um uso mais eficiente das fontes energéticas disponíveis, com o aumento de competitividade das empresas e também com a redução de gases causadores de impactos ambientais.

Analisando a Figura 19, pode-se perceber que essa ISO trabalha não somente com o desempenho energético, mas sim a política energética, trabalhando de uma maneira mais abrangente. Segundo a ISO 50001:2011, “esta norma pode ser aplicada a qualquer organização que deseje assegurar que está conforme à sua política energética declarada e demonstrar tal conformidade e terceiros”.

A conformidade com os padrões estabelecidos pela norma demonstra que a indústria tem um sistema de gerenciamento de energia sustentável, possui um estudo de base em torno do consumo de energia e tem compromisso com a melhoria contínua no desempenho energético. A ISO 50001 é descrita para ter compatibilidade com a ISO 9001, voltada para a gestão da qualidade e para a ISO 14000, específica para gestão ambiental (Park *et al*, 2009).

A ISO 50001 inclui eficiência e desempenho energético, fornecimento de energia, aquisição de sistemas, práticas e máquinas, o uso da energia e sua medição, implementação de um sistema de medidas, documentação, relatórios e melhoria contínua na área de energia. Esta norma espera fornecer às empresas estratégias e técnicas de gestão que conduzam a um aumento da eficiência energética, redução dos custos e desempenho ambiental (Park *et al*, 2009).

Considerando a evolução histórica das normas voltadas para o consumo de energia e tendo como foco a ISO 50001 de 2011, O' Driscoll *et al* (2013) observam que um sistema de gestão de energia aborda eficiência energética, conservação e gestão de desempenho, destacando como principais componentes: plano estratégico; equipe de gestão; identificação dos projetos de energia; manual de energia e indicadores de desempenho energético. Nas propostas de O' Driscoll *et al* (2013), pode observar claramente a prioridade estabelecida na área de organização e gerenciamento, o que é também é esperado ao tratar-se de uma análise de trabalhos de estratégias e procedimentos para gestão da energia em ambientes industriais.

Duflou *et al* (2012) propõem um modelo estratégico para elevar a eficiência energética em indústrias de manufatura que é dividido em três estágios iniciais que conduzem à mais dois. O primeiro estágio é voltado para a cadeia de suprimentos, onde se tem a identificação e máquinas, elos da cadeia, fluxo material, takt time e os programas de produção disponível. A segunda etapa se refere à uma análise energética da produção, destacando os inputs e outputs e o consumo médio de energia. Na terceira etapa, tem-se a análise técnica da energia, com a identificação dos equipamentos relevantes, análise dos inputs e outputs e também o consumo médio de energia. Estas três etapas conduzem à uma quarta etapa, o perfil de carga e custo de energia, onde se trabalha com o consumo, uma análise do detalhamento da composição do custo e as

especificações de contrato. Por fim, na última etapa tem-se uma simulação integrada e avaliação do sistema de produção por meio da modelagem do processo, integração dos dados de medidas e especificações do contrato e considerações técnicas. Trata-se de um modelo estratégico, focado nas áreas organizacional e gerenciamento, capacidade, logística e planejamento e programação da produção.

De acordo com Abdelaziz *et al* (2011), para se atingir eficiência energética no setor industrial, é necessário abordar três questões estratégicas: economia de energia obtida por meio de gerenciamento, por tecnologias e por políticas energéticas; intrinsicamente já se abordando as áreas de organização e gerenciamento, bem como a de equipamentos e instalações. Desta forma, um típico programa de gerenciamento deve ter definição das políticas energéticas, auditorias, planos educacionais, relatórios e planos estratégicos. No processo de auditoria, primeiro se estabelece uma equipe, em seguida os objetivos e metas, na sequência reúnem-se os dados históricos, realiza-se a auditoria, os resultados devem estar em um relatório, a partir dos quais se deve dar prioridade de implementação, estabelecer medidas e verificar o desempenho para se manter as medidas. Este processo pode garantir controle do consumo energético industrial (Abdelaziz *et al*, 2011).

No que tange o desenvolvimento sustentável, a busca de eficiência energética tem sido uma questão fundamental e tem direcionado grandes esforços nas últimas décadas para as medições de consumo de energia, entendimento e impactos sobre o consumo de energia e em torno do projeto de políticas eficazes de eficiência energética. Lombard *et al* (2013) sugerem que a energia é utilizada em suma, em torno de três razões bases: atividade, estrutura e intensidade, de tal forma que a “atividade” compreende um fenômeno que gera uma demanda de energia, o termo “estrutura” é usado para explicar a relação entre diferentes atividades e o termo “intensidade” se refere a medida da quantidade de energia que se deve entregar à uma unidade para prestação de serviço ou produção de bens de consumo. Ainda propõem Lombard *et al* (2013) uma sequência de ações (Figura 20) que visam auxiliar e reduzir os problemas encontrados durante o desenvolvimento dos indicadores de desempenho energético, tais como as definições de qualidade é preciso identificar quais são os requisitos de qualidade para cada empresa, de forma específica, por exemplo,

velocidade de atendimento, segurança, conforto, entre outros. Quanto ao nível de agregação, segue-se trabalhar com a pirâmide de eficiência. Na terceira etapa deve-se selecionar a magnitude da medida de energia e por fim, a seleção da grandeza de medida (Lombard *et al*, 2013). As áreas relacionadas a este modelo são: organização e gerenciamento, qualidade e capacidade.

Figura 20. Processo de construção dos indicadores de eficiência energética.

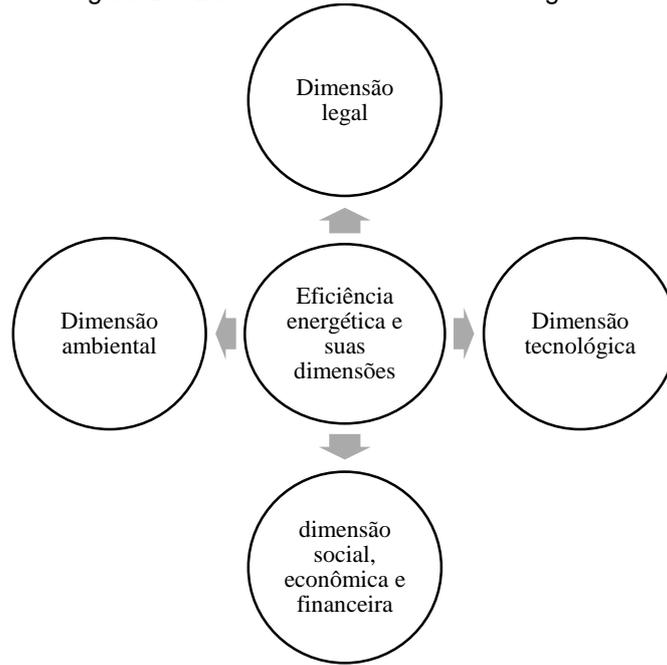


Fonte: Lombard *et al*, 2013.

A eficiência energética, para Palm e Thollander (2010) possui algumas barreiras especialmente em três perspectivas: econômica, organizacional e comportamental. Na dimensão econômica estão relacionadas as informações imperfeitas, assimétricas, custos e riscos ocultos. Já para a perspectiva organizacional, pode-se destacar a falta de gestores para a energia, a negligência conduzida para cultura organizacional e as questões ambientais. Por fim, na dimensão comportamental, pode-se destacar a inabilidade com as informações do processo, o formato das informações, a confiança e a inércia.

Assim como Palm e Thollander (2010), Abdelaziz *et al* (2011) também atribuem algumas dimensões para eficiência energética (como pode ser visto na Figura 21), tais como: dimensão legal, ambiental, tecnológica e a social-econômico-financeira. Esta divisão em dimensões implica que os programas de eficiência energética, treinamentos, bem como o gerenciamento, sejam desenvolvidos sobre estas perspectivas, para conscientização e controle do consumo de energia e entendimentos dos seus impactos (Abdelaziz *et al*, 2011).

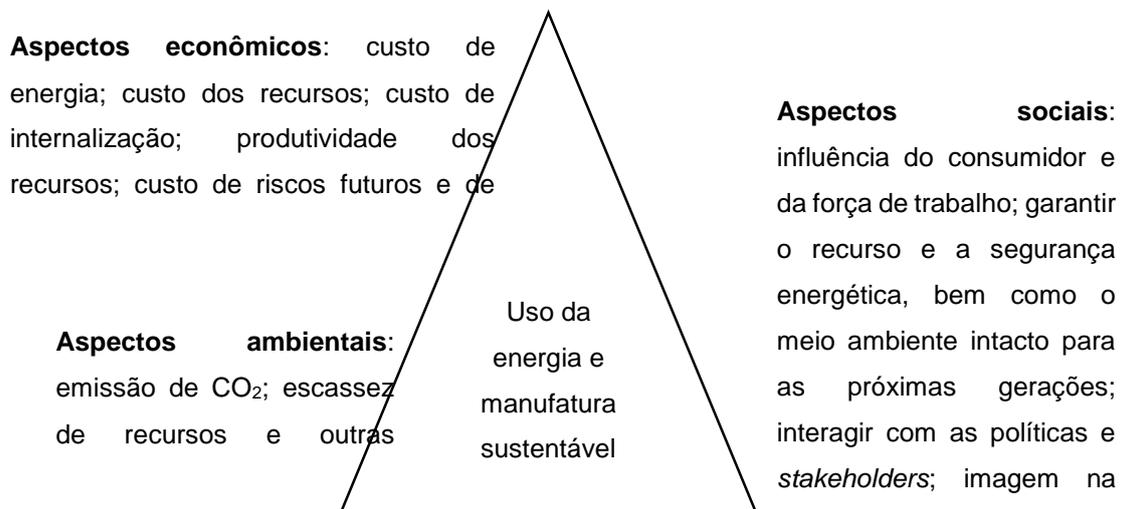
Figura 21. Dimensões da eficiência energética.



Fonte: Abdelaziz, 2011.

Para Bunse *et al* (2011), o uso da energia também pode ser dividido em dimensões para melhor compreensão, a dimensão social, a econômica e a ambiental

Figura 22. Contribuição da eficiência energética nos três principais aspectos da manufatura sustentável .



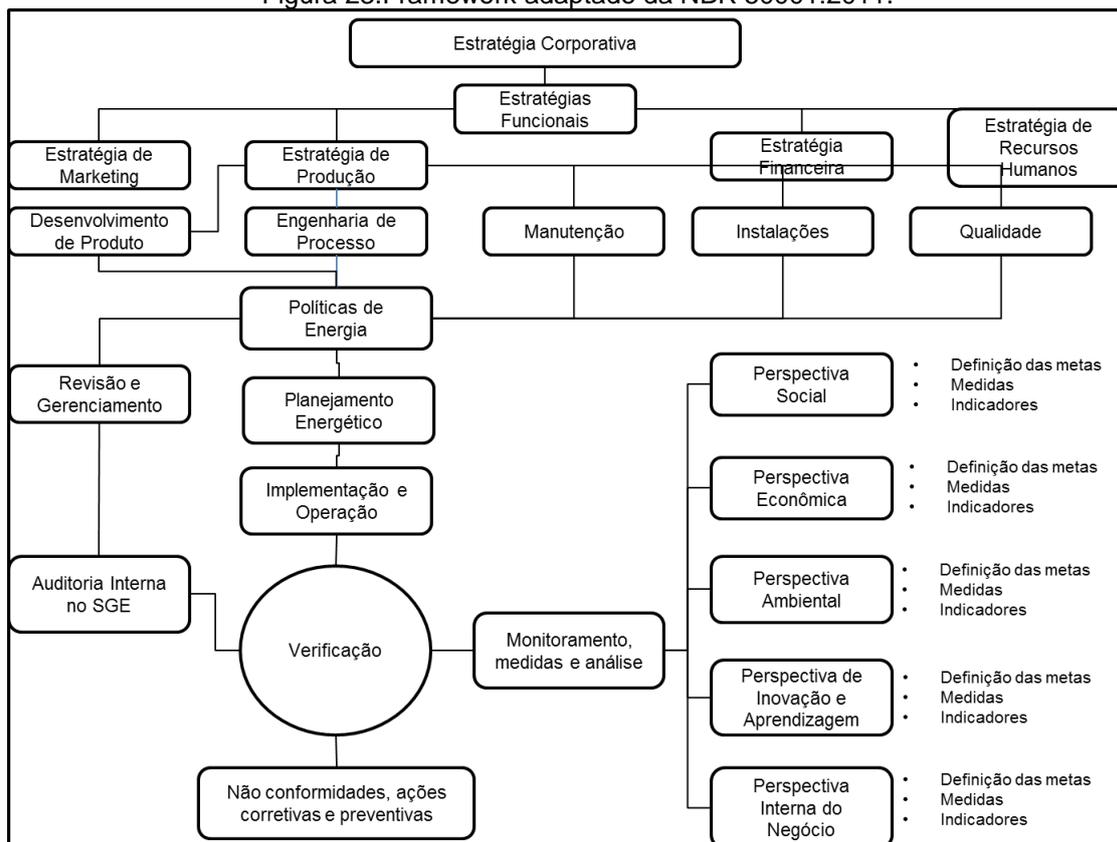
Fonte: Bunse *et al*, 2011.

Baseando-se nesta divisão, que está apresentada na Figura 22, é possível estabelecer dimensões no desenvolvimento de sistema de gerenciamento de energia em ambientes industriais.

Jaffe e Stavins (1994) propõem uma síntese gráfica para análise das lacunas na eficiência energética, alinhando a eficiência energética de forma qualitativa (eixo vertical) com a nível do negócio (eixo horizontal). Identifica-se que entre a eliminação das falhas de mercado por meio de tecnologias de energia eficientes e a obtenção de benefícios a partir destas eliminações, existe um extenso campo de estudo que passa por tecnologias de potencial econômico, eliminação de falhas no mercado de energia, as barreiras no mercado de energia e seus efeitos e as condições ambientais para eficiência energética.

O *framework* apresentado por Fenerich *et al* (2013) estabelece a conexão entre a estratégia das áreas funcionais de uma empresa (marketing, produção, finanças e recursos humanos), bem como as áreas de decisão inseridas na estratégia de produção. Essas áreas de decisão (desenvolvimento de produto, engenharia de processos, manutenção, instalações e qualidade) estão diretamente ligadas à política de energia da empresa, de onde se deriva um planejamento estratégico para a energia e suas operações. É baseado no modelo de sistema de gestão energética proposto pela ISO 50001:2011, juntamente as dimensões de desempenho que se pode observar no modelo BSC, destacadas por Kaplan e Norton (1996) e pode ser observado na Figura 23.

Figura 23. Framework adaptado da NBR 50001:2011.



Fonte: Fenerich *et al*, 2013.

De acordo com Fenerich *et al* (2013), para monitorar esse sistema, propõe-se cinco dimensões. (1) Perspectiva social, que está alinhada à estratégia de produção e também à estratégia de recursos humanos; (2) Perspectiva econômica, é a dimensão que está alinhada com as seguintes áreas de decisão: desenvolvimento de produto, engenharia de processos, manutenção e instalações; (3) Perspectiva ambiental, representa uma maneira de analisar o impacto ambiental causado pelo processo e está alinhada à área da qualidade e à engenharia de processos; (4) Perspectiva de Inovação/Aprendizagem, está associada basicamente à todas as áreas de decisão destacadas; (5) Perspectiva interna de negócios, também está alinhada com todas as áreas de decisão destacadas e deve medir a aproximação dos resultados obtidos por meio das atividades delineadas na estratégia de produção, das metas traçadas.

3.2.1.1 Síntese da análise cognitiva das estratégias e procedimentos para os sistemas de gerenciamento de energia e áreas de decisão

Por meio da análise cognitiva, já realizada do tópico 3, pode-se expor de forma simples, na e clara (Quadro 9), quais áreas de decisão estão intrinsicamente relacionadas aos modelos de gerenciamento de energia propostos por cada um dos autores estudados.

Quadro 9. Síntese das áreas de decisão e os modelos de gerenciamento de energia.

Autores	OG	INST	CAP	RH	QLD	LOG	EP	PCP
Kulkarni e Katti (2010)	X	X	X					
Dusi e Schultz (2012)	X							
ISO 50001:2011	X	X	X					X
Moskalenko et al (2012)		X						X
Rudberg <i>et al</i> (2013)	X	X	X				X	X
Dorr <i>et al</i> (2013)	X	X						
O' Driscoll <i>et al</i> (2013)	X							
Abdelaziz <i>et al</i> (2011),	X		X					
Bunse <i>et al</i> (2011)	X	X		X				
Jaffe e Stavins (1994)	X		X					
Palm e Thollander (2010)	X	X		X				X
Duflou <i>et al</i> (2012)	X		X			X		X
Fenerich <i>et al</i> (2013)	X	X	X	X	X		X	X
Lombard <i>et al</i> (2013)	X		X		X			

Fonte: a autora, 2017.

Pode-se observar no Quadro 9, que de forma implícita ou direta, todas as áreas de decisão contempladas pela pesquisa, aparecem nos trabalhos destacados para estudo. No entanto, a área de Logística é a que menos pode-se notar relevância nas estratégias e procedimentos estudados. Também é importante destacar que alguns autores destacados no Quadro 9, não são os de maior produção, de acordo com o estudo bibliométrico, mas foram os que apresentaram trabalhos mais alinhados com o modelo em desenvolvimento na presente pesquisa.

Fazendo uma reflexão sobre os modelos propostos, entende-se a necessidade do alinhamento principalmente com a área de organização e

gerenciamento, uma vez que esta unidade de estudo trata-se das estratégias e procedimentos para gerenciamento de energia, dentro da categoria de operações, de acordo com a metodologia utilizada para desenvolvimento da pesquisa. Assim como as áreas de tecnologia e instalações, que de forma geral envolvem decisões de longo prazo e alto custo, ou seja, decisões estratégicas.

Alguns modelos ainda destacam a necessidade do desenvolvimento de produtos mais eficientes quanto ao consumo de energia, também remetendo à uma decisão estratégica e de horizonte de longo prazo.

Já a menção da área de PCP, na maioria dos casos está relacionado ao planejamento e controle do consumo de energia da área produtiva, buscando reaproveitamento de recursos, minimização de retrabalho e desperdício de energia. Alinhado às estas mesmas análises, tem-se a área logística que visa a integração da cadeia produtiva, mapeando todos os fluxos materiais e de energia.

3.2.2 Indicadores de desempenho energético e áreas de decisão

Os indicadores são usados largamente em diferentes campos como instrumentos que fornecem informações de medidas em fenômeno de mudança ou processo. Os indicadores de energia têm se tornado peça chave para o desenvolvimento de políticas energéticas, uma vez que o seu uso permite uma análise de tendência com dados históricos, análise comparativa e a realização de monitoramento das políticas passadas e presentes. De maneira geral, oferecem informações para avaliar o consumo e as alterações de energia (Lombard *et al*, 2013)

Para Patterson (1996), os indicadores que podem monitorar as mudanças em eficiência energética podem ser divididos em quatro categorias: os termodinâmicos, físico-termodinâmico, econômico-termodinâmico e os econômicos, envolvendo as variáveis de entalpia, entropia, energia livre de Gibbs, temperatura, energia, outputs em termos monetários e unitários.

- a) Termodinâmicos: estes indicadores mensuram o uso real da energia através das variáveis de entalpia (H), entropia (S), energia livre de Gibbs (G) e temperatura (T).

$$E_{\Delta H} = \frac{\Delta H_{out}}{\Delta H_{in}} \quad \Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (1)$$

- b) Físico – Termodinâmico: são indicadores híbridos onde o *input*, a energia, tem unidades termodinâmicas e o *output* tem unidades físicas, como toneladas, por exemplo.

$$EE \text{ (econômico – termodinâmico)} = \frac{\text{Output (ton)}}{\text{Input de Energia}(\Delta H)} \quad (2)$$

- c) Econômico – Termodinâmico: também são indicadores híbridos, onde o *output* é mensurado em termos monetários e o *input*, a energia, é mensurada em termos termodinâmicos convencionais.

$$EE \text{ (econômico)} = \frac{\text{Output (\$)}}{\text{Input de Energia}(\Delta H)} \quad (3)$$

- d) Econômico: este indicador mensura a EE puramente em valores de mercado, tanto o *output* com o *input* são medidos em termos monetários.

No entanto, estes mesmos indicadores apresentam ainda algumas limitações, como por exemplo, mensura a eficiência energética do processo de forma geral. De certa forma, os indicadores propostos por Patterson (1996) se relacionam com as áreas de equipamentos e instalações e capacidade ao utilizarem medidas de temperatura, energia de Gibbs, entropia e output em termos financeiros; uma vez que a mudança da estrutura e tipo de tecnologia pode implicar nas alterações destas variáveis.

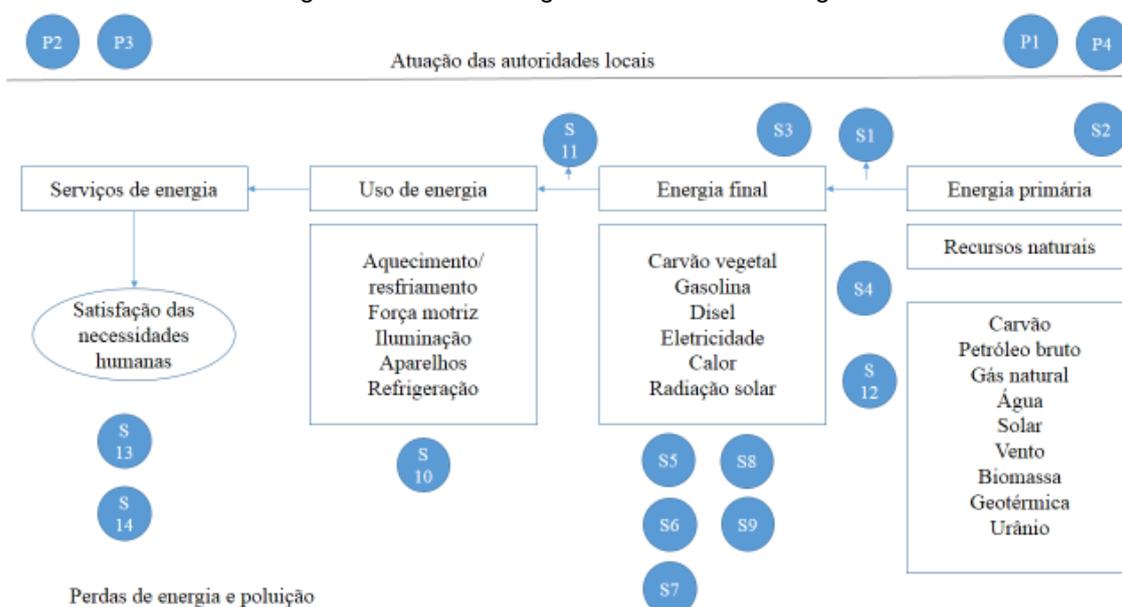
Kulkarni e Katti (2010) propõem o uso de dois indicadores gerais, o Fator de Desempenho de Planta (FDP) e a Energia Consumida (EC) que podem ser medidos pelas seguintes equações:

$$FDP = \frac{E_{ref} - E_{imp}}{E_{ref}} \times 100 \quad (4)$$

Na qual E_{ref} é o consumo de energia no período de referência e E_{imp} o consumo durante a implementação das estratégias. Desta forma, espera-se que o valor deste indicador se aproxime de 100. Já o indicador EC, pode ser calculado pela relação entre a o consumo de energia por carga e a demanda máxima. Neste caso espera-se que o valor se aproxime à 1, indicando a igualdade entre estas variáveis (Kulkarni e Katti, 2010). Trata-se do uso de indicadores de eficiência energética em termos gerais, pouco estratificado por processos ou áreas; onde também, de forma cognitiva acredita-se estar relacionado com as áreas de equipamentos e instalações e capacidade.

De acordo com Neves e Leal (2010) um sistema de energia que reduz os efeitos causado ao meio ambiente, que aumenta as oportunidades para o desenvolvimento econômico e social, tendo uma perspectiva de longo prazo é a base de um conceito de energia sustentável. Neste contexto, três dimensões podem ser desenvolvidas: ambiental, econômica e social; e propõe-se a distribuição de diversos indicadores na cadeia produtiva, como por exemplo o uso da energia final por setor, a taxa local de produção de energia renovável para consumo local de energia e eletricidade, a emissão de poluentes por atividades de transporte, entre outros. Na Figura 24 podem ser observados os indicadores distribuídos pela cadeia energética.

Figura 24. Sistema de gerenciamento de energia .



Fonte: Neves e Leal, 2010.

Os indicadores propostos para a cadeia de suprimentos destacada na Figura 24, são descritos no Quadro 10.

Quadro 10. Indicadores de desempenho energético para a cadeia de suprimentos.

Indicadores e unidades	
Emissões de GEE provenientes do uso de energia, per capita e por unidade do PIB, e por sector de toneladas de equivalente CO ₂ . Per capita e por Euro	S1
Uso de energia primária per capita	S2
Uso da energia final por setor, por toneladas	S3

Taxa local de produção de energia renovável para consumo local de energia e eletricidade	S4
Intensidade da energia industrial por toneladas, por Euro	S5
Intensidade da energia agrícola por toneladas, por Euro	S6
Intensidade da energia de serviços por toneladas, por Euro	S7
Intensidade de energia doméstica por toneladas, por Euro	S8
Intensidade de energia em transporte por toneladas por km	S9
Intensidade de energia em transporte público por km, per capita	S10
Emissão de poluentes por atividades de transporte, toneladas	S11
Percentual de energias renováveis em energia e eletricidade	S12
Percentual da renda familiar gasto em combustível e eletricidade	S13
Proporção de empregos de energia verde à população	S14
Indicadores Políticos	
Esquemas de participação local para eficiência energética e energias renováveis	P1
Percentual das campanhas de sensibilização sobre as questões energéticas	P2
Percentual de participação do público na elaboração de políticas relativas à energia	P3
Conselhos das autoridades locais e assistência aos cidadãos sobre questões energéticas	P4

Fonte: Neves e Leal, 2010.

A observação que se pode fazer aos indicadores propostos por Neves e Leal (2010) é de que os mesmos abordam quase todas as áreas de decisão destacadas no presente estudo, uma vez que se apresentam indicadores para toda a cadeia. Tem-se os indicadores políticos relacionados com a área de Gestão e Organização e os demais indicadores, presentes pela cadeia produtiva, distribuídos entre as áreas de logística, equipamentos e instalações, capacidade, recursos humanos e planejamento e programação da produção.

Considerando que um processo apresenta no mínimo sete fatores que podem variar o consumo de energia por unidade de produto, sendo estes: equipamentos, métodos de operação, categoria da energia, matéria-prima, sistema de gerenciamento, atividade de economia de energia e utilização da capacidade de produção, Wu *et al* (2007) desenvolveram um sistema de indicadores de eficiência energética em nível de processo, considerando uma função matemática com sete variáveis independentes. O modelo desenvolvido é capaz de distinguir a diferença de energia entre energia relacionadas às

atividades e utilização de equipamentos de processos, permitindo análises qualitativas e quantitativas e os respectivos valores de economia de energia ou excesso de uso devido a variação de energia no processo. Por meio da análise das variáveis propostas por Wu *et al* (2007), pode-se extrair a relação com as áreas de Gestão e Organização, equipamentos e instalações, capacidade, qualidade, recursos humanos e planejamento de controle de processos.

De acordo com Duflou *et al* (2012), a energia é um *input* de um processo que produz produtos, reciclo de água, emissão de gases, sólidos, líquidos e calor. Indicativos estes que podem ser utilizados para definição de indicadores de eficiência energética do processo, como já destacados na seção 3, nas propostas de estratégias e procedimentos para gerenciamento da eficiência energética.

Os objetivos de políticas de energia para Patlitzianas *et al* (2008) podem ser divididos em três grupos: segurança da cadeia, que está voltada para a descoberta de novas fontes de energia e de novas tecnologias; o mercado competitivo de energia, que acontece por falta da desregulamentação de energia, que permite que várias empresas produzam e distribuam energia, gerando concorrência, logo, gera a necessidade de regulamentação para o mercado de energia; proteção ambiental, é o objetivo voltado às mudanças de energia no mercado e mudanças climáticas também. Para cada um destes três grandes objetivos, Patlitzianas *et al* (2008) recomendam alguns indicadores, como por exemplo a dependência da importação do gás natural, a eficiência da produção de energia, o percentual de fontes primárias renováveis na produção de energia, entre outros. Os indicadores propostos por Patlitzianas *et al* (2008) podem ser visualizados no Quadro 11.

Quadro 11. Indicadores para controle de energia sugeridos por Patlitzianas *et al* (2008).

Indicadores para segurança na cadeia de suprimentos
Dependência de importações
Dependência de importações de combustível sólido
Dependência da importação de óleo
Dependência da importação de gás natural
Diferenciação de combustível primário
Diferenciação de combustível na produção de energia

Diferenciação de combustível de energia
Estratégias para fornecimento de petróleo
Indicadores para competitividade do mercado
Intensidade de energia
Eficiência da produção de energia
Conversão de eficiência energética
Transformações do setor de energia
Nível de competitividade
Consumo de energia per capita
Consumo de energia elétrica per capita
Indicadores de proteção ambiental
Percentual de fontes primárias renováveis na produção de energia
Percentual de fontes primárias renováveis na produção de energia elétrica
Indicadores da intensidade de emissão de CO ₂
Emissão de CO ₂ por PIB
Emissão de CO ₂ per capita
CO ₂ emitido por consumo interno bruto de energia
CO ₂ emitido por produção de eletricidade e vapor
Aplicação do Protocolo de Kioto

Fonte: Patlitzianas *et al*, 2008.

Dos indicadores propostos por Patlitzianas *et al* (2008), pode-se extrair relação com as áreas de gestão e organização, equipamentos e instalações, capacidade, logística e planejamento e controle da produção.

3.2.2.1 Síntese da análise cognitiva dos indicadores de desempenho energético e áreas de decisão

Incorporando as relações extraídas de forma cognitiva, dos conjuntos de indicadores propostos pelos autores citados, pôde-se construir o Quadro 12, no qual a informação mais clara a ser observada é a falta de indicadores para a área de Engenharia de Produto. Todas as demais áreas, de forma indireta, aparecem em alguns dos indicadores propostos, sendo que as principais são as áreas Instalações e Organização e Gerenciamento. No entanto, nem todos os

indicadores encontrados na literatura foram utilizados na presente pesquisa, por isto, algumas células estão indicando apenas que há indicadores e não a numeração dos mesmos. A numeração de indicadores destacada no Quadro 12 representa os indicadores que forma subtidos a pesquisa survey para que os especialistas pudessem relacioná-los com as áreas de decisão pertinentes e também avaliar quanto a sua usabilidade. Os indicadores estão descritos na seção 4.1.

Quadro 12. Síntese das áreas de decisão e os trabalhos selecionados para o estudo com indicadores de desempenho energético.

Autores/ Áreas	OG	INST	CAP	RH	QLD	LOG	EP	PCP
Patterson (1996)		I2	I2					
Kulkarni e Katti (2010)	I10	X	X					
Neves e Leal (2010)	I17	I2	I2	I12	I7	X		X
Wu <i>et al</i> (2007)	X	X	X	X	X			X
Duflou <i>et al</i> (2012)	X		X			X		X
Patlitzianas <i>et al</i> (2008)	I18	I18			I7	X		X
Boyd e Pang, 2000		I2	I1, I2	I1				
Bunse <i>et al</i> , 2011			I1	I1, I15	I7			
Worrell <i>et al</i> , 2003					I4, I5, I6			
Palm e Thollander, 2010		I8						
Abdelaziz <i>et al</i> , 2011	I10, I11, I19							
Jaffe e Stavins, 1994		I14, I16						
Dorr <i>et al</i> , 2013	I20							
Lombard <i>et al</i> , 2013	I20							
Moskalenko <i>et al</i> , 2012	I20							

Fonte: a autora, 2017.

Entende-se que os indicadores de desempenho energético que se relacionam com as áreas de Instalações e Tecnologia estão fortemente relacionados com a variável energia, uma vez que nestas áreas são abordadas a estrutura da empresa, tamanho da planta, tipo de tecnologia utilizada, capacidade produtiva, grau de automação e tipo do processo, sendo estas, características que podem elevar ou reduzir o consumo de energia de acordo com a decisão tomada. Já para as demais áreas, entende-se que haja uma subjetividade no consumo de energia, no entanto, a ideia do presente estudo é

mesmo que de forma implícita, extrair a relação existente entre todas as áreas de decisão e os indicadores de desempenho energético.

4 MODELO CONCEITUAL

O estudo do impacto da variável energia no ambiente industrial, desperta a curiosidade sobre a relação existente entre a mesma e as áreas de decisão da estratégia de operações. Pois, no momento em que define-se uma ação estratégica, pode-se indiretamente provocar reações nesta cadeia, por meio da variação da energia e seus impactos. Desta forma, buscou-se identificar estas relações, ainda que de forma cognitiva, para que se pudesse delinear estratégias assertivas quanto ao uso e manutenção da energia num ambiente industrial.

O processo sistemático para desenvolvimento do Modelo Conceitual foi adaptado pelo proposto por Eisenhardt (1989), que descreve uma abordagem simples e que pode direcionar a condução da pesquisa e pode ser visualizado no Quadro 13.

Quadro 13. Processo de construção da teoria a partir da pesquisa com estudos de caso.

Passos	Atividade
Início	Definição da questão de pesquisa: de que forma a eficiência energética é influenciada por decisões estratégicas? Possíveis construções;
Seleção dos casos	Busca de literatura de estratégias, procedimentos e indicadores de EE para análise cognitiva.
Elaboração de instrumentos de pesquisa e protocolo	Identificação das áreas de decisão na literatura de estudo e elaboração de questionário para confirmação das hipóteses identificadas.
Campo de entrada	Coleta de dados da pesquisa <i>survey</i> por meio da plataforma Qualtrics.
Análise dos dados	Análise qualitativa e quantitativa dos dados da pesquisa <i>survey</i> , por meio da

	estatística descritiva e quantitativa para definição dos parâmetros do modelo a ser proposto.
Desenho das hipóteses	Tabulação das evidências de cada constructo; Identificar evidências que estejam por trás dos relacionamentos;
Envolver literatura	Comparação com conflitos da literatura; Comparação com literatura similar;
Encerramento	Saturação teórica quando possível.

Fonte: Eisenhardt, 1989.

Claramente pode-se observar que alguns dos modelos apresentados para gestão energética em ambientes de manufatura, se relacionam indiretamente com as áreas de decisão e em outros não se apresenta esta relação bem definida. No entanto, alguns podem contribuir significativamente com o desenvolvimento das estratégias de atuação do sistema de gerenciamento de energia, com a indicação das melhores práticas e definição dos indicadores de desempenho.

A utilização de indicadores de consumo de energia em uma planta industrial contribui para a redução do consumo e custo com energia, porém, nem sempre esse tipo de indicador anda alinhado com a produção. Analisando a revisão teórica levantada nesta pesquisa, identificou-se a lacuna existente na literatura quando se trata de gerenciamento energético em ambiente industrial e sua relação com as áreas de decisão.

Propôs-se na presente pesquisa, uma reestruturação do modelo apresentado na Figura 23 (que é apresentado na Figura 25), que tem como principal contribuição a contemplação da proposta de gerenciamento de energia contida na NBR 50001:2011, alterando as áreas funcionais para as áreas de decisão já destacadas por Skinner (1969) e por Hayes e Wheelwright (1985; 1988). Por meio da análise cognitiva observou-se que praticamente todas as

áreas de decisão estão implícitas ou explícitas na literatura de eficiência energética.

Esta proposta de modelo para gerenciamento da energia em ambientes de manufatura pode permitir a visualização e quantificação do impacto que a eficiência energética pode causar em cada área de decisão e apresenta-se como uma oportunidade de pesquisa na Engenharia de Produção, permitindo a definição do relacionamento entre as áreas de decisão e as cinco perspectivas propostas (social, econômica, ambiental, inovação/aprendizagem e negócios internos), que são definidas pelo modelo de gestão de desempenho BSC (Kaplan e Norton, 1996) e os três aspectos (*triple bottom line*) da manufatura sustentável (Bunse *et al*, 2011).

4.1 SURVEY CONFIRMATÓRIO

Para verificar se a hipótese de que existe relacionamento entre as áreas de decisão e as perspectivas criadas no estudo, é suportada, bem como definir a intensidade das relações existentes, criou-se um questionário, que pode ser visualizado no Apêndice 2, o qual foi enviado à um grupo de especialistas selecionados. Este grupo foi composto por profissionais da academia, prestadores de serviço e gestores em eficiência energética.

Primeiramente buscou-se qualificar os respondentes por meio de questionamentos como: tempo de trabalho com eficiência energética, tipo de experiência, tamanho da empresa em que trabalha, se possui conhecimento em áreas de decisão e quais as áreas de decisão da empresa em que atua.

Na sequência, foi questionada a influência da eficiência energética nas áreas de decisão e vice versa, bem como o conhecimento de sistemas de medição de desempenho e a ISO50001:2011.

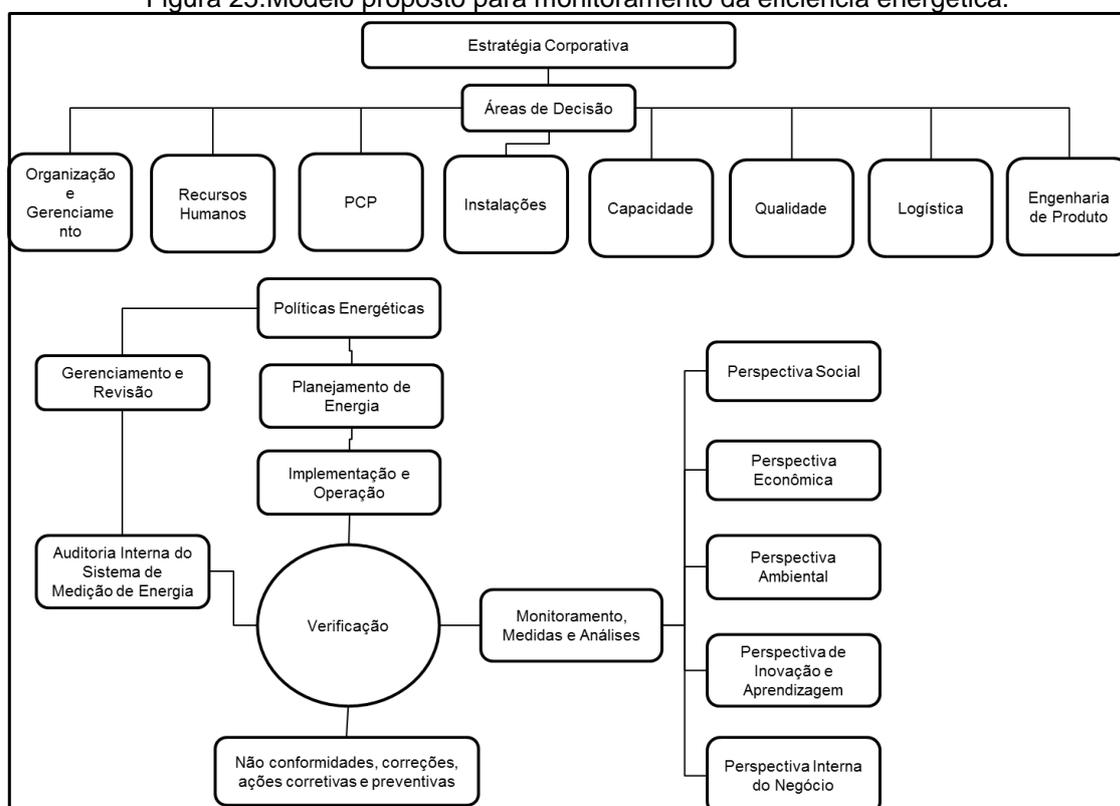
A intensidade das relações, ou até mesmo a não relação (hipótese H_0), entre cada área de decisão e as cinco perspectivas delineadas na pesquisa (social, ambiental, interna do negócio, econômica e de inovação e aprendizagem) foi mensurada através da escala Likert de 5 pontos.

Além das relações, foram propostos 21 indicadores de desempenho advindos direta e indiretamente da literatura, aos quais solicitou-se alinhar com

uma ou mais áreas de decisão. Uma vez que o indicador estiver alinhado com uma área de decisão e esta exerça algum tipo de influência nas perspectivas propostas pelo estudo, entende-se que o indicador poderá ser trabalhado (e monitorado) diretamente na perspectiva de estudo.

Na Figura 25 tem-se em destaque o esboço do modelo conceitual para monitoramento de energia em ambientes industriais. E as relações existentes entre as áreas de decisão e as 5 perspectivas propostas para monitoramento da energia, e suas intensidades foram confirmadas com o *survey*, bem como os indicadores para cada perspectiva.

Figura 25. Modelo proposto para monitoramento da eficiência energética.

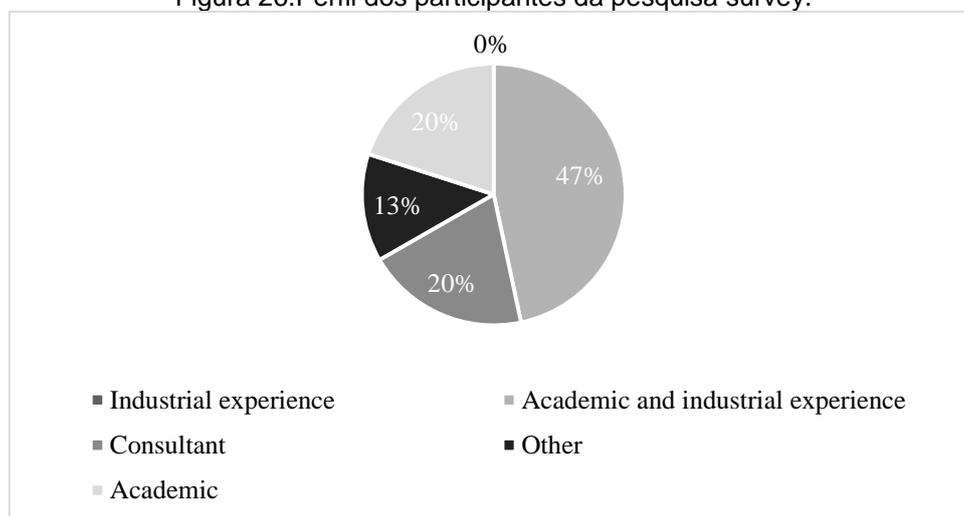


Fonte: a autora, 2017.

Quanto aos respondentes da pesquisa, o cuidado para que houvesse participação de pesquisadores, prestadores de serviço em eficiência energética e gestores da área de energia foi intencional para que se tivesse uma ampla visão em eficiência energética. Foram escolhidas 72 pessoas para envio da pesquisa, das quais apenas 60 receberam o questionário (link enviado por e-mail), dados os e-mails retornados. Do público selecionado, e que efetivamente recebeu o questionário para participação da pesquisa, apenas 25% o respondeu.

Destes respondentes, 47% possuem experiência industrial e acadêmica, 20% atuam como consultores na área de eficiência energética, 20% atuam na área acadêmica e os outros 13% atuam em outros segmentos de energia, conforme Figura 26.

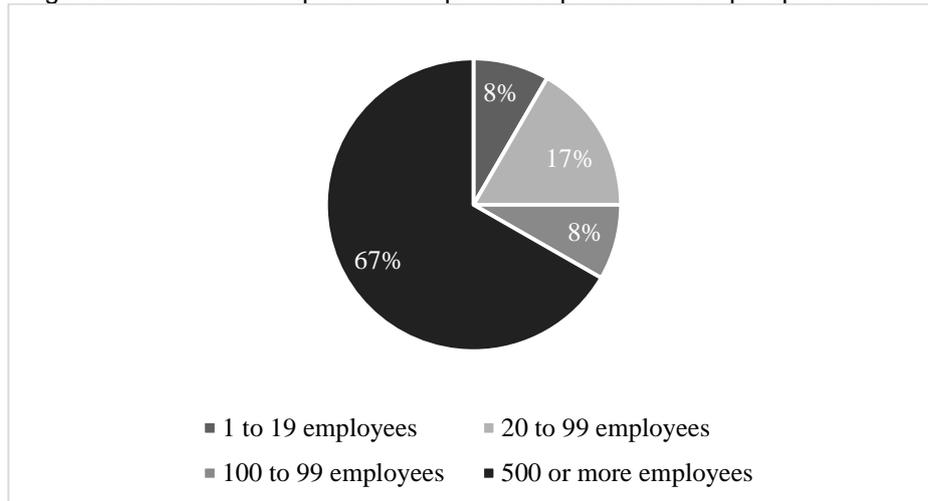
Figura 26. Perfil dos participantes da pesquisa survey.



Fonte: a autora, 2017.

Dos participantes da pesquisa, 85% responderam ter conhecimento sobre as áreas de decisão, enquanto 15% não as conhecia. Vale ressaltar que junto ao e-mail para convite de participação da pesquisa, enviou-se também um material com os conceitos de definições das áreas de decisão, bem como de alguns modelos de sistema de medição de desempenho (ver Apêndice 1). Destes 25% de respondentes, mais da metade já trabalha na área de eficiência energética há mais de 10 anos, sendo que alguns atuam já por 20 e 30 anos e em sua maioria atuam em empresas de grande porte, segundo a classificação do Sebrae (2014), conforme Figura 27.

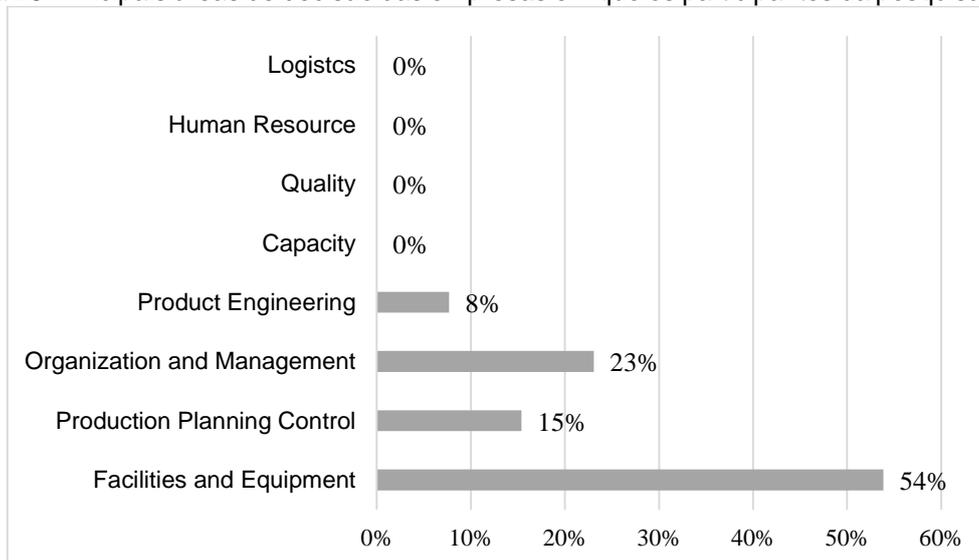
Figura 27. Porte das empresas em que os respondentes da pesquisa atuam.



Fonte: a autora, 2017.

Os respondentes quando indagados quais seriam as áreas de decisão das empresas em que atuam, 100% dos participantes dividiram-se em apenas quatro áreas, sendo elas: equipamentos e instalações, planejamento e programação da produção e organização e gerenciamento (ver Figura 28).

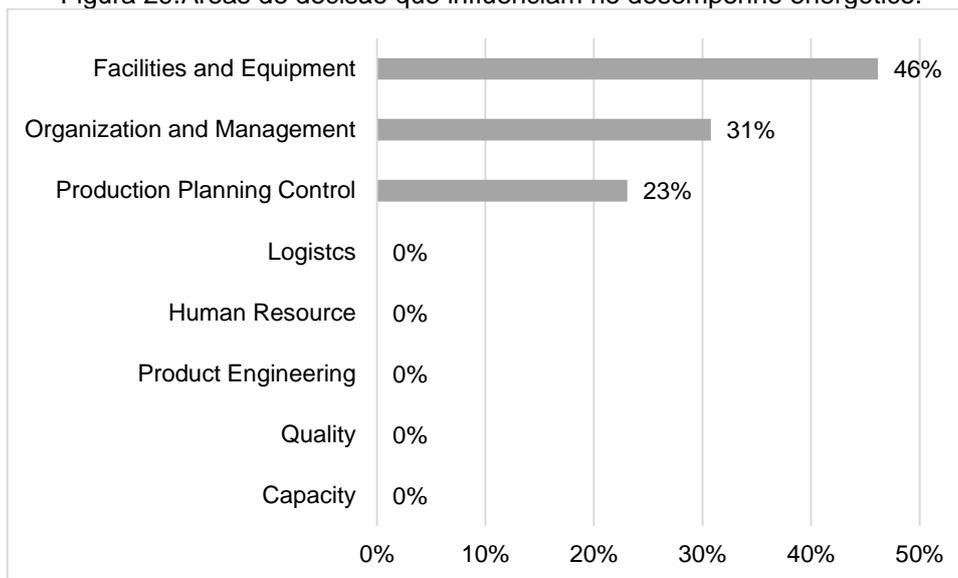
Figura 28. Principais áreas de decisão das empresas em que os participantes da pesquisa atuam.



Fonte: a autora, 2017.

Os participantes, quando questionados sobre quais áreas influenciam o desempenho energético, destacaram apenas três: equipamentos e instalações (com maior peso), organização e gerenciamento e a área de PCP. Somente as áreas de equipamentos e instalações e organização e gerenciamento equivalem a 77% das respostas, como pode ser observado na Figura 29.

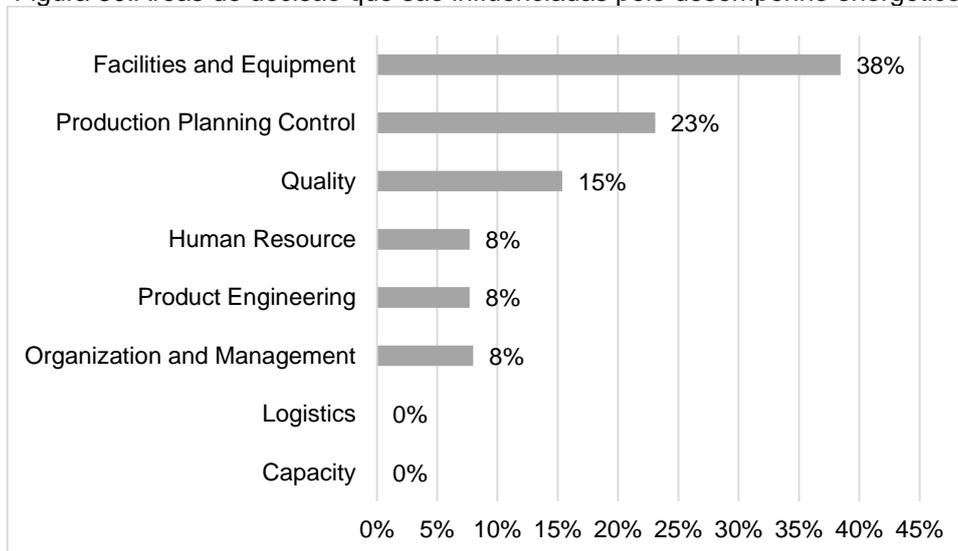
Figura 29. Áreas de decisão que influenciam no desempenho energético.



Fonte: a autora, 2017.

Já quando questionados sobre quais áreas são influenciadas pelo desempenho energético, além destas áreas já citadas na figura 29, foram relacionadas também as áreas de qualidade, engenharia de produto e recursos humanos, totalizando 100% das respostas em apenas seis das oito áreas em estudo. Os percentuais podem ser visualizados na Figura 30.

Figura 30. Áreas de decisão que são influenciadas pelo desempenho energético.

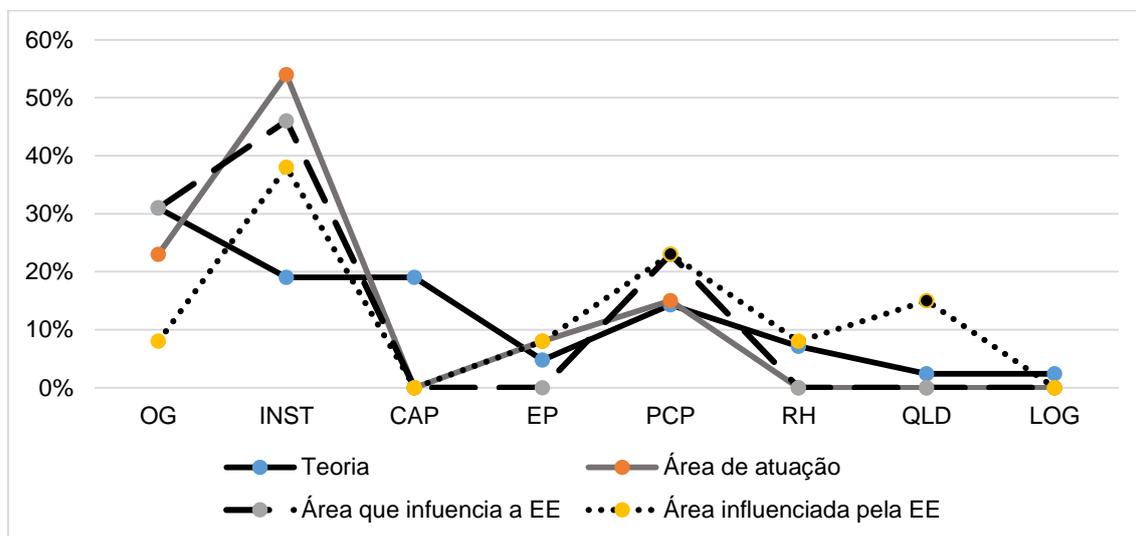


Fonte: a autora, 2017.

Foi possível traçar um comparativo entre as áreas destacadas na literatura, de forma cognitiva, que apresentam estratégias de gestão em energia e as áreas de decisão das empresas que os respondentes atuam, as áreas que

sofrem influência da eficiência energética e as que a influenciam. Este comparativo pode ser observado na Figura 31.

Figura 31. Comparativo entre as áreas de destaque na teoria e na prática. Áreas que acreditam influenciar a eficiência energética e áreas influenciadas pela eficiência energética



Fonte: a autora, 2017.

Os percentuais de cada área mostrada na Figura 31, podem ser visualizados na Tabela 1, onde se pode perceber que as áreas de organização e gerenciamento, equipamentos e instalações e planejamento e controle de produção tem comportamento semelhantes.

Tabela 1. Valores representativos de cada área de decisão em relação a sua presença na teoria (por meio da extração cognitiva) e na prática (pelas respostas da *survey*).

Áreas de Decisão	OG	INST	CAP	EP	PCP	RH	QLD	LOG
Extração cognitiva	31%	19%	19%	5%	14%	7%	2%	2%
Área de atuação	23%	54%	0%	8%	15%	0%	0%	0%
Área que influencia a EE	31%	46%	0%	0%	23%	0%	0%	0%
Área influenciada pela EE	8%	38%	0%	8%	23%	8%	15%	0%
Médias	23,2 %	39,3 %	4,8%	5,2%	18,8 %	3,8%	4,3%	0,6%

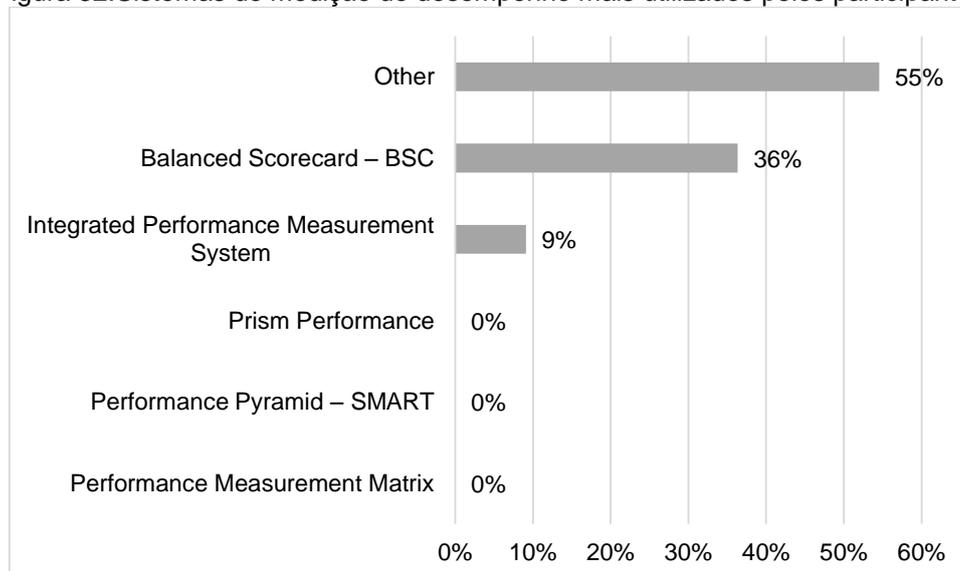
Fonte: a autora, 2017.

As áreas de PCP, EP, RH e LOG são as que apresentam menor desvio padrão entre as quatro linhas de estudo, no entanto, a área de logística recebe destaque apenas na literatura. Já as áreas de PCP e EP tem os percentuais de cada linha muito próximo, conferindo validade no estudo cognitivo das áreas, exceto na EP para a respostas da área que influencia a EE, que neste caso há

uma negativa. Já a área de INST é a de maior média entre as quatro linhas em estudo, contudo, a de maior desvio padrão também. Porém, esta área recebeu destaque em todas as linhas, diferentemente da área de organização e gerenciamento que os respondentes acreditam ser uma área que não sofre influência da eficiência de energia.

Em relação os sistemas e medição de desempenho utilizados pelos respondentes, foram destacados apenas o Balanced Scorecard – BSC e Sistemas integrados para medição de desempenho, como pode ser visto na Figura 32. A maior parte dos participantes faz uso de outros sistemas de medição de desempenho, como: WebEnergy, PIMVP- Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance, Energy Analyser Equipment e indicadores globais de eficiência energética.

Figura 32. Sistemas de medição de desempenho mais utilizados pelos participantes.



Fonte: a autora, 2017.

Sobre as relações entre perspectivas e áreas de decisão, os participantes foram questionados por perspectivas separadamente para que atribuíssem uma nota de 1 à 5 (escala Likert) para a relação com cada área, onde 1 representa uma relação muito fraca, 2 é dada uma relação fraca, 3 representa uma relação moderada, 4 representa uma relação forte e a nota 5 uma relação muito forte. Para as cinco perspectivas delineados no estudo são apresentadas as médias das avaliações, bem com seus respectivos desvios padrão, na Tabela 2.

Ao observar a Tabela 2, pode-se entender que as principais áreas de influência na perspectiva ambiental são as de equipamentos e instalação e

planejamento e controle de produção. Já para a perspectiva social, tem-se como destaque as áreas de qualidade e recursos humanos. As áreas de equipamentos e instalações e organização e gerenciamento são as que receberam maiores pontuações na perspectiva econômica. Para a perspectiva interna de negócios, as áreas de PCP e Organização e gerenciamento obtiveram as maiores médias. E por fim, em inovação a aprendizagem tem-se o destaque para qualidade e recursos humanos, assim como na perspectiva social.

Tabela 2. Média dos scores atribuídos a cada área em relação às cinco perspectivas de estudo.

Perspectivas	Ambiental		Social		Econômica		Interna de negócios		Inovação e Aprendizagem	
	Média	Desv. P	Média	Desv. P	Média	Desv. P	Média	Desv. P	Média	Desv. P
Área de Decisão										
Capacidade	3,667	1,073	3,5	1,087	3,75	1,357	3,5	1,087	3,25	0,866
Qualidade	3,25	0,965	3,833	0,835	3,583	1,379	3,333	1,155	3,833	0,937
Equipamentos e Instalações	4,667	0,492	3,25	1,055	3,917	0,996	3,833	0,835	3,583	0,793
Planejamento e controle de produção	4	0,953	3,25	0,754	3,583	0,9	4	0,739	3,333	0,651
Engenharia de produto	3,833	0,718	3	0,739	3,75	0,754	3,417	0,793	3,75	0,754
Recursos humanos	3,667	1,231	3,833	1,115	3,333	0,888	3,667	1,155	3,833	0,718
Organização e Gerenciamento	3,917	0,973	3,583	0,793	4	0,953	4	0,739	3,833	0,718
Logística	3,5	0,798	3,25	0,866	3,75	0,866	3,583	0,669	3,083	1,165
Alfa de Cronbach	0,7538		0,7948		0,9678		0,8712		0,6257	

Fonte: a autora, 2017.

Os cálculos estatísticos foram realizados no software MiniTab e de acordo com a Tabela 2, as áreas que apresentam maior intensidade de relacionamento com a perspectiva ambiental são: equipamentos e instalações e planejamento e controle de produção. O Alfa de Cronbach, que é uma medida de confiabilidade, obtido para estas variáveis foi de 0,75. De acordo com Hair *et al* (2009), os valores do Alfa de Cronbach variam de 0 a 1, sendo os valores aceitáveis acima de 0,6. Na Tabela 2 pode-se observar que em todas as perspectivas avaliadas os valores obtidos no Alfa de Cronbach foram superiores a 0,6 demonstrando confiabilidade à escala utilizada nas questões.

Na perspectiva social, as médias dos valores atribuídos ao relacionamento com as áreas de decisão foram entre 3 e 3,8. Já para a perspectiva econômica, os valores variaram entre 3,33 e 4, apresentando porém, um desvio padrão maior entre os valores, do que na perspectiva anterior. De forma semelhante, na avaliação da perspectiva interna de negócios, os valores também variaram entre 3,33 e 4; no entanto, com desvios menores. Por fim, na perspectiva de inovação e aprendizagem os valores apresentados foram de 3,083 a 3,833, com apenas um desvio maior que 1, sendo na área de logística, a que também obteve o menor score.

O questionário utilizado na pesquisa pode ser visualizado no Apêndice 2, bem todas as tabelas obtidas no software MiniTab estão no Apêndice 3.

Os indicadores propostos e submetidos ao survey confirmatório para que os especialistas os relacionassem à algumas das oito áreas de decisão do estudo, ou nenhuma delas, foram:

- I1. Número de colaboradores por processo: número de pessoas de um setor produtivo / número de processos realizados no setor, (Boyd e Pang, 2000; Bunse *et al*, 2011).
- I2. Relação entre *outputs* e consumo de energia: produção (ton) / KWh consumido (Boyd e Pang, 2000; Neves e Leal, 2010; Patterson, 1996).
- I3. Relação entre taxa de refugo e emissão de CO₂: Kg de refugo por setor / [kg de CO₂ emitido / número de setores da empresa] (Worrell *et al*, 2003).
- I4. Relação entre refugo e consume de energia: Kg de refugo por setor / KWh consumido por setor (Worrell *et al*, 2003).
- I5. Taxa de retrabalho por consume de energia: Kg (ou unidade) de retrabalho por setor / KWh consumido por setor (Worrell *et al*, 2003).

- I6. Relação entre retrabalho e emissão de CO₂: Kg (ou unidades) de retrabalho por setor / (kg d CO₂ emitido / número de setores) (Worrell *et al*, 2003).
- I7. Emissão de CO₂ por KWh consumido (Bunse *et al*, 2011; Neves e Leal, 2010; Patlizianas *et al*, 2008).
- I8. Custo de energia por produção: KWh custo / ton produzida (Palm e Thollander, 2010).
- I9. Relação entre consumo de energia e tempo de produção: Kwh consumido / *lead time* de produção (Palm e Thollander, 2010).
- I10. Capacitação em eficiência energética: número de cursos em eficiência energética por ano (Abdelaziz *et al*, 2011; Kulkarni e Katti, 2010).
- I11. Capacitação em eficiência produtiva: número de cursos em eficiência produtiva por ano (Abdelaziz *et al*, 2011).
- I12. Média de novos empregos criados: número de contratações – número de demissões, por ano (Neves e Leal, 2010).
- I13. Plano anual de inovação com produtos de consumo energético reduzido;
- I14. Substituição de equipamentos: número de novos equipamentos instalados por ano (Jaffe e Stavins, 1994).
- I15. Porcentagem da redução de empregos: [número de empregos no momento t / número de empregos no momento $t+1$] .100 (Bunse *et al*, 2011).
- I16. Porcentagem de substituição de equipamentos por ano: [número de equipamentos substituídos por ano / número total de equipamentos]. 100 (Jaffe e Stavins, 1994).
- I17. Uso de energias renováveis: KWh consumido (de energias renováveis) / KWh consumido [de energias não renováveis + energias renováveis].100 (Neves e Leal, 2010).
- I18. Geração de energia para próprio consume: KWh gerado / KWh comprado (Patlizianas *et al*, 2008).
- I19. Número de treinamentos em eficiência energética por ano (Abdelaziz *et al*, 2011).
- I20. Cumprimento das políticas e metas estabelecidas pelo plano interno de gestão energética (Dorr *et al*, 2013; Lombard *et al*, 2013; Moskalenko *et al*, 2012).
- I21. Desenvolvimento de um manual de Gestão de Energia (ISO 50001:2011).

A partir do alinhamento de cada indicador de desempenho à uma área de decisão, por meio do questionamento da intensidade de relacionamento das áreas versus perspectivas aos especialistas, pôde-se estabelecer em qual perspectiva cada um dos indicadores seria mais pertinente, como pode ser visto no Quadro 14.

Quadro 14. Indicadores selecionados por área de decisão.

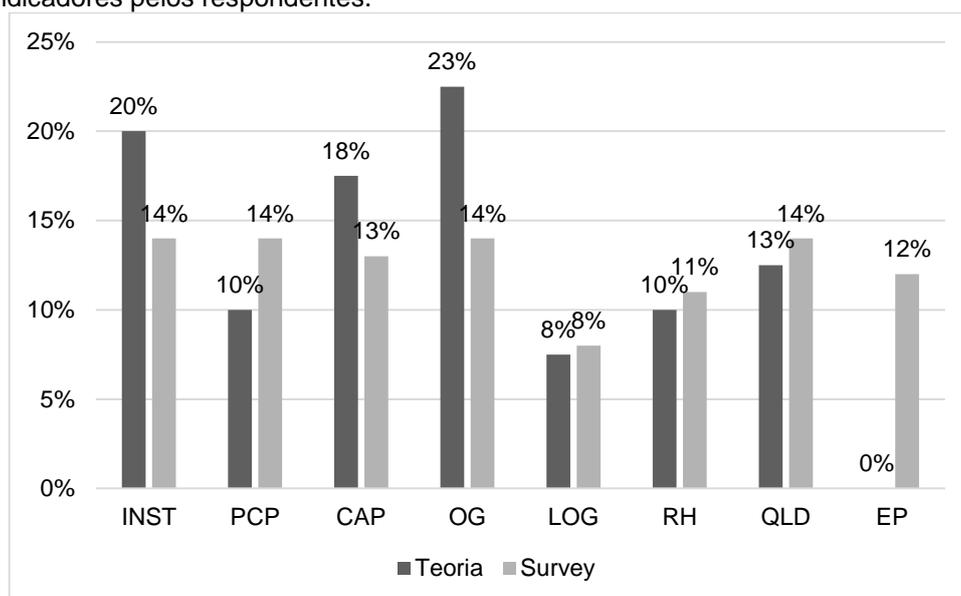
Área de Decisão	Indicadores Selecionados
Capacidade	I4; I6; I16; I17; I18; I21
Qualidade	I2; I3; I11; I12; I18; I19; I20
Planejamento e Controle de Produção	I1; I2; I11; I14; I16; I20; I21
Recursos Humanos	I11; I18; I19; I21
Engenharia de Produto	I3; I6; I13; I14; I15; I17
Equipamentos e Instalações	I2; I4; I8; I14; I18; I19; I20
Organização e Gerenciamento	I1; I5; I7; I12; I20; I21
Logística	I3; I5; I19

Fonte: a autora, 2017.

Dos 21 indicadores listados, apenas dois não foram relacionados com nenhuma das áreas selecionadas para estudo, sendo eles: I9 e I10. O indicador 9 trata do consumo de energia pelo lead time de produção, ou seja, medida de custo de energia por ciclo produtivo, que está implícito no indicador 8, que trata do custo de energia por toneladas produzidas. Já indicador 10 quantifica a capacitação em eficiência energética, o que é essencial para cumprir-se as políticas e metas em eficiência energética, presentes no indicador 20, que foi selecionado.

Na Figura 33 buscou-se comparar as informações obtidas na literatura (presentes no Quadro 12), que foram as áreas extraídas de forma cognitiva dos indicadores encontrados na literatura e as áreas em que os respondentes relacionaram os indicadores.

Figura 33.Comparativo entre a presença de indicadores na literatura e as áreas que receberam mais indicadores pelos respondentes.



Fonte: a autora, 2017.

Na Figura 33 e na Tabela 3 pode-se observar que as áreas de menor desvio padrão, ou seja, em que as respostas advindas do *survey* validam a extração cognitiva, são: LOG, RH e QLD. Enquanto as áreas de maior desvio são as de EP e OG.

Tabela 3.Percentuais comparativos entre a presença de indicadores na literatura e as áreas que receberam mais indicadores pelos respondentes.

Áreas de Decisão	INST	PCP	CAP	OG	LOG	RH	QLD	EP
Teoria por cognição	20%	10%	18%	23%	8%	10%	13%	0%
Survey	14%	14%	13%	14%	8%	11%	14%	12%
Média	17%	12%	15%	18%	8%	11%	13%	6%
Desvio P.	4,2%	2,8%	3,2%	6,0%	0,4%	0,7%	1,1%	8,5%

Fonte: a autora, 2017.

Por fim, quando questionou-se diretamente a intensidade da relação entre a eficiência energética (EE) e as cinco perspectivas do estudo, obteve-se o resultado apresentado na Tabela 4.

Tabela 4.Avaliação da relação entre eficiência energéticas e cinco perspectivas definidas para estudo.

Perspectivas	Média	Desv. P
Social	3,333	0,985
Ambiental	4	0,853

Econômica	4	0,853
Interna de Negócios	3,583	0,669
Inovação e Aprendizagem	3,750	0,622
Alfa de Cronbach		0,9174

Fonte: a autora, 2017.

De acordo com a Tabela 4, a escala utilizada apresenta alta confiabilidade por apresentar o valor de 0,9174 para o Alfa de Cronbach. As perspectivas que, de acordo com a amostra escolhida para avaliação do estudo (composta por pesquisadores, gestores e prestadores de serviço na área de eficiência energética), apresentam maior impacto no desempenho dos indicadores de eficiência energética são: Perspectivas Ambiental e Econômica. Para todas as perspectivas os valores de desvio padrão foram inferiores a uma unidade.

4.2 PARAMETRIZAÇÕES DO MODELO CONCEITUAL

Nesta etapa buscou-se definir os parâmetros do modelo com seus respectivos pesos, ou seja, baseando-se nas informações de médias, desvios, Alfa de Cronbach, análise de correlação e no método de previsão por média móvel acrescida de um percentual do desvio compondo um fator de erro, pôde-se definir um indicador de desempenho energético por perspectiva e um indicador de eficiência energética global. Para tanto, os cálculos foram divididos nas cinco perspectivas.

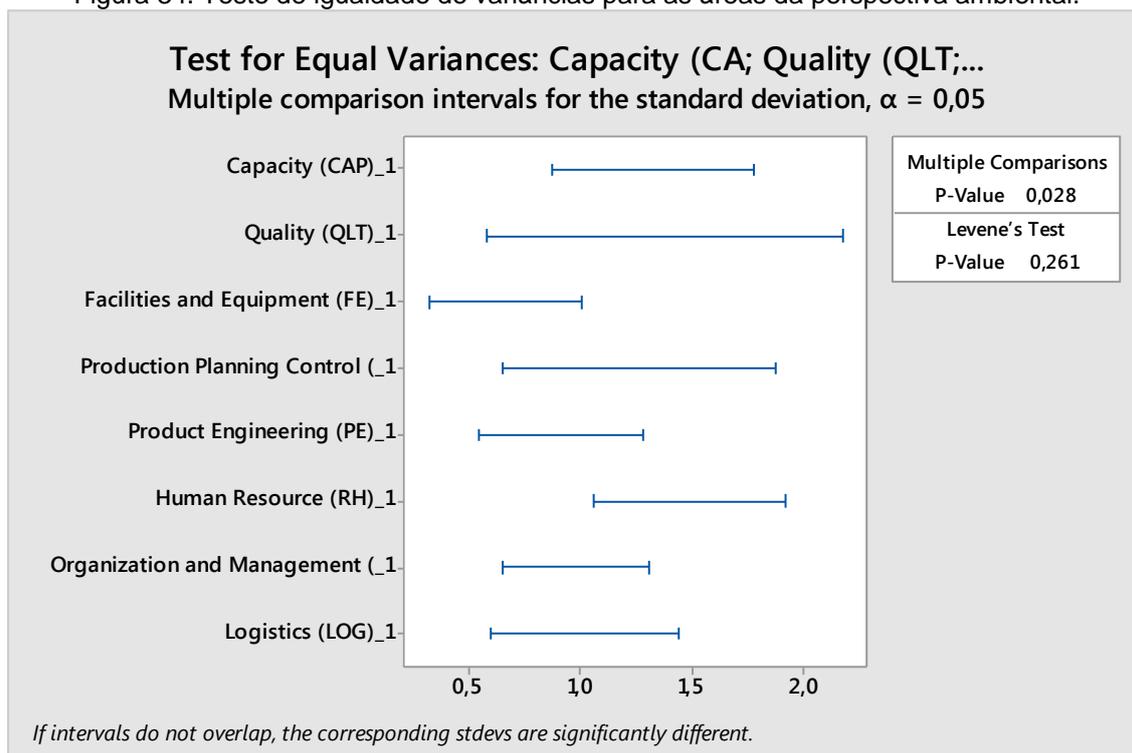
4.2.1 Perspectiva ambiental

De acordo com a matriz de correlação apresentada no Apêndice 3, há relação entre todas as variáveis, ou seja, a hipótese H_1 – não há relação entre as variáveis - é rejeitada, sendo aceita a hipótese de que as variáveis se correlacionam (H_0), pois nenhuma das correlações apresentadas na matriz, é nula. Para cada área os respondentes atribuíram um valor de 1 a 5, sendo 1 para uma relação muito fraca e 5 para uma relação forte. Desta forma, obteve-se a intensidade de relação de cada área com a perspectiva ambiental, juntamente com os valores de desvio padrão. De acordo com o teste de igualdade de variância, que também está exposto no Apêndice 3, tem-se que a variância entre as médias é significativa a um nível de significância de 5%, de tal forma que

pelos testes Levene (que é indicador para análise de covariâncias entre múltiplas variáveis) e *P-Value*, as variâncias são significativas, pois apresentam valor superior ao nível de significância. Sendo assim, optou-se por trabalhar com todos os valores de média obtidos. O Alfa de Cronbach, parâmetro que confere confiabilidade ao questionário, foi de 0,75.

Na Figura 34 pode-se observar as variâncias entre as áreas de decisão da perspectiva ambiental, bem como os valores de P-Value.

Figura 34. Teste de igualdade de variâncias para as áreas da perspectiva ambiental.



Fonte: a autora, 2017.

Utilizando-se os valores da média (μ) como a intensidade de cada área, foi possível obter os valores de intensidade já normalizados e utilizá-los como a variável (Y) que define a intensidade da relação de cada área, tal forma que o somatório de todas as áreas é igual a 1.

$$Y = \frac{\mu}{\sum \mu} \quad (5)$$

Os valores da obtidos para a variável P podem ser visualizados na Tabela 5.

Tabela 5. Cálculo dos valores de P, a intensidade das relações na perspectiva ambiental.

Perspectiva Ambiental			
Área de Decisão	Média (μ)	Desv. P (σ)	Y
Capacidade	3,667	1,073	0,120

Qualidade	3,25	0,965	0,107
Equipamentos e Instalações	4,667	0,492	0,153
Planejamento e controle de produção	4	0,953	0,131
Engenharia de produto	3,833	0,718	0,126
Recursos humanos	3,667	1,231	0,120
Organização e Gerenciamento	3,917	0,973	0,128
Logística	3,5	0,798	0,115
		Total	1

Fonte: a autora, 2017.

Fazendo-se uso dos valores da variável Y, pode-se definir o indicador de desempenho energético geral para a perspectiva ambiental como:

$$EE_{PA} = 0,120CAP + 0,107QLD + 0,153INST + 0,131PCP + 0,126EP + 0,120RH + 0,1290M + 0,115LO \quad (6)$$

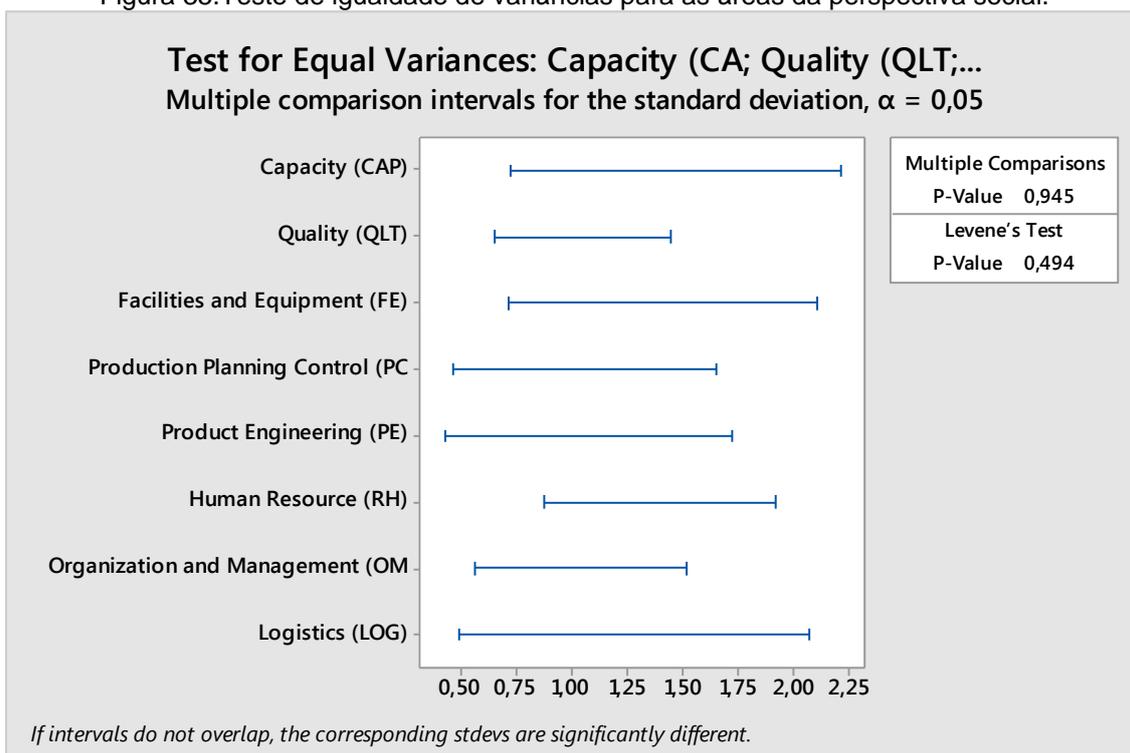
Onde o valor atribuído a cada variável é constituído pelo somatório dos indicadores definidos às mesmas. Sendo assim, os valores atribuídos a cada área serão comuns a todas as perspectivas, sofrendo alterações apenas nos índices de cada uma delas, de acordo com os valores de Y por perspectiva.

4.2.2. Perspectiva social

De maneira análoga a perspectiva ambiental, na matriz de correlação da perspectiva social, apresentada no Apêndice 3, pode-se entender que há relação entre todas as variáveis, ou seja, a hipótese H_1 – não há relação entre as variáveis - é rejeitada, sendo aceita a hipótese de que as variáveis se correlacionam (H_0), pois nenhum valor é apresentado na matriz é nulo. De acordo com o teste de igualdade de variância, que também está apresentado no Apêndice 3, tem-se que a variância entre as médias é significativa e o Alfa de Cronbach obtido foi 0,79.

Na Figura 35 podem ser observados os valores de *P-Value* para múltiplas comparações e para o Teste Levene. Considerando um nível de significância de 5%, ou de 95% de confiabilidade, tem-se que os valores de *P-Value* são superiores ao de significância, sendo, há variação significativa entre as médias de cada área.

Figura 35. Teste de igualdade de variâncias para as áreas da perspectiva social.



Fonte: a autora, 2017.

Fazendo uso da equação 5 e os valores obtidos sobre a intensidade das relações, tem-se os valores para a variável Y já normalizados na Tabela 6.

Tabela 6. Cálculo dos valores de Y, a intensidade das relações na perspectiva social.

Perspectiva Social			
Área de Decisão	Média (μ)	Desv. P (σ)	Y
Capacidade	3,5	1,087	0,127
Qualidade	3,833	0,835	0,139
Equipamentos e Instalações	3,25	1,055	0,118
Planejamento e controle de produção	3,25	0,754	0,118
Engenharia de produto	3	0,739	0,109
Recursos humanos	3,833	1,115	0,139
Organização e Gerenciamento	3,583	0,793	0,130
Logística	3,25	0,866	0,118
		Total	1

Fazendo-se uso dos valores da variável Y, pode-se definir o indicador de desempenho energético geral para a perspectiva social como:

$$EE_{PS} = 0,127CAP + 0,139QLD + 0,118INST + 0,118PCP + 0,109EP + 0,139RH + 0,1300M + 0,118LOG \quad (7)$$

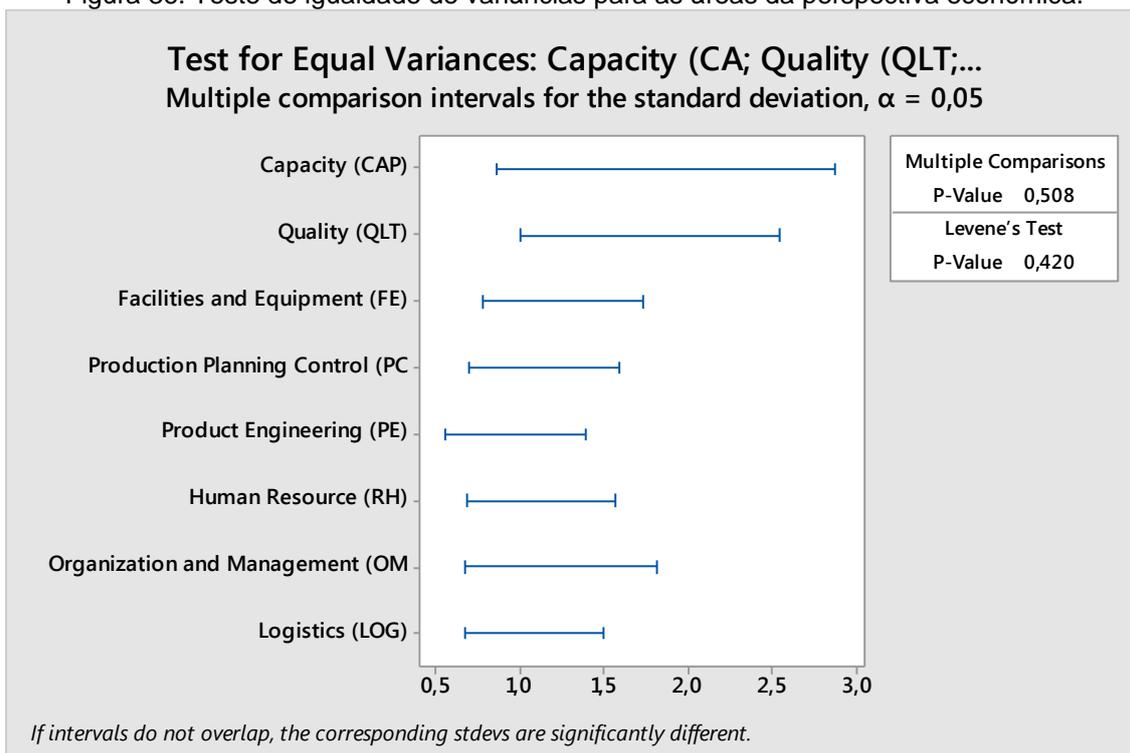
Ressalta-se que os valores de cada variável são constituídos pelo somatório dos indicadores das oito áreas de decisão, exatamente como foi descrito na perspectiva ambiental.

4.2.3. Perspectiva econômica

De maneira análoga as outras duas perspectivas anteriores, na matriz de correlação da perspectiva ambiental, apresentada no Apêndice 3, pode-se entender que há relação entre todas as variáveis, ou seja, a hipótese H_1 – não há relação entre as variáveis - é rejeitada, sendo aceita a hipótese de que as variáveis se correlacionam (H_0), pois não existem correlações nulas. De acordo com o Teste de Igualdade de Variâncias, que também está exposto no Apêndice 3, tem-se que a variância entre as médias é significativa e o Alfa de Cronbach obtido foi 0,96.

De acordo com a Figura 36, para um nível de significância de 5%, as médias das áreas de decisão da perspectiva econômica são significativamente diferentes, de acordo com os métodos de múltiplas comparações e o Teste de Levene, que apresentam *P-Valor* superiores ao nível de significância.

Figura 36. Teste de igualdade de variâncias para as áreas da perspectiva econômica.



Fonte: a autora, 2017.

Fazendo uso da equação 5 e os valores obtidos sobre a intensidade das relações, tem-se os valores para a variável Y normalizados na Tabela 7.

Tabela 7, Cálculo dos valores de Y, a intensidade das relações na perspectiva econômica.

Perspectiva Econômica			
Área de Decisão	Média (μ)	Desv. P (σ)	Y
Capacidade	3,75	1,357	0,126
Qualidade	3,583	1,379	0,121
Equipamentos e Instalações	3,917	0,996	0,132
Planejamento e controle de produção	3,583	0,9	0,121
Engenharia de produto	3,75	0,754	0,126
Recursos humanos	3,333	0,888	0,112
Organização e Gerenciamento	4	0,953	0,135
Logística	3,75	0,866	0,126
		Total	1

Fonte: a autora, 2017.

Fazendo-se uso dos valores da variável Y, pode-se definir o indicador de desempenho energético geral para a perspectiva social como:

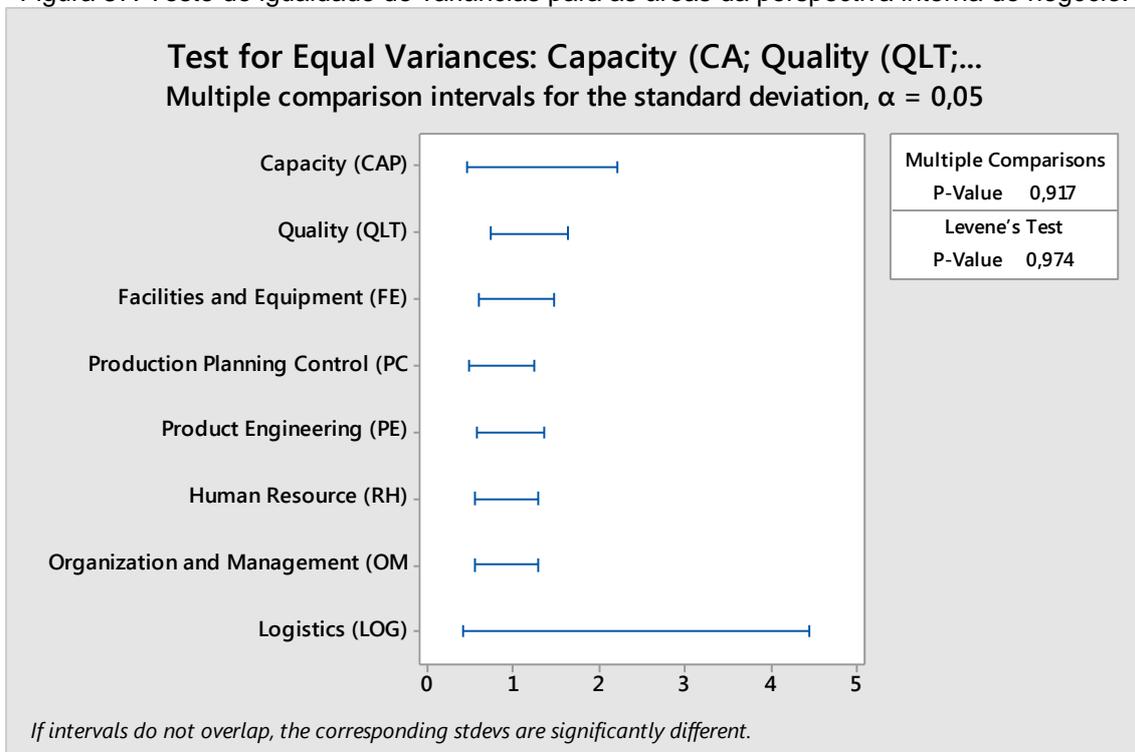
$$EE_{PE} = 0,126CAP + 0,121QLD + 0,132INST + 0,121PCP + 0,126EP + 0,112RH + 0,1350M + 0,126LOG \quad (8)$$

4.2.4. Perspectiva interna do negócio

De maneira análoga as outras três perspectivas anteriores, na matriz de correlação da perspectiva interna do negócio, apresentada no Apêndice 3, pode-se entender que há relação entre todas as variáveis, ou seja, a hipótese H_1 – não há relação entre as variáveis – é rejeitada, sendo aceita a hipótese de que as variáveis se correlacionam (H_0), pois não existem correlações nulas. De acordo o Teste de Igualdade de Variância, que também pode ser observado no Apêndice 3, tem-se que a variância entre as médias é significativa a um nível de 5% e o Alfa de Cronbach obtido foi 0,87.

Os valores de *P-Value* para os testes realizados podem ser observados na Figura 37.

Figura 37. Teste de igualdade de variâncias para as áreas da perspectiva interna do negócio.



Fonte: a autora, 2017.

Ainda com a equação 5, tem-se os valores obtidos sobre a intensidade das relações, gerando-se os valores para a variável Y já normalizados na Tabela 8

Tabela 8. Cálculo dos valores de Y, a intensidade das relações na perspectiva interna do negócio.

Perspectiva Interna do Negócios			
Área de Decisão	Média (μ)	Desv. P (σ)	Y
Capacidade	3,5	1,087	0,119
Qualidade	3,333	1,155	0,114
Equipamentos e Instalações	3,833	0,835	0,131
Planejamento e controle de produção	4	0,739	0,136
Engenharia de produto	3,417	0,793	0,116
Recursos humanos	3,667	1,155	0,125
Organização e Gerenciamento	4	0,739	0,136
Logística	3,583	0,669	0,122
		Total	1

Fonte: a autora, 2017.

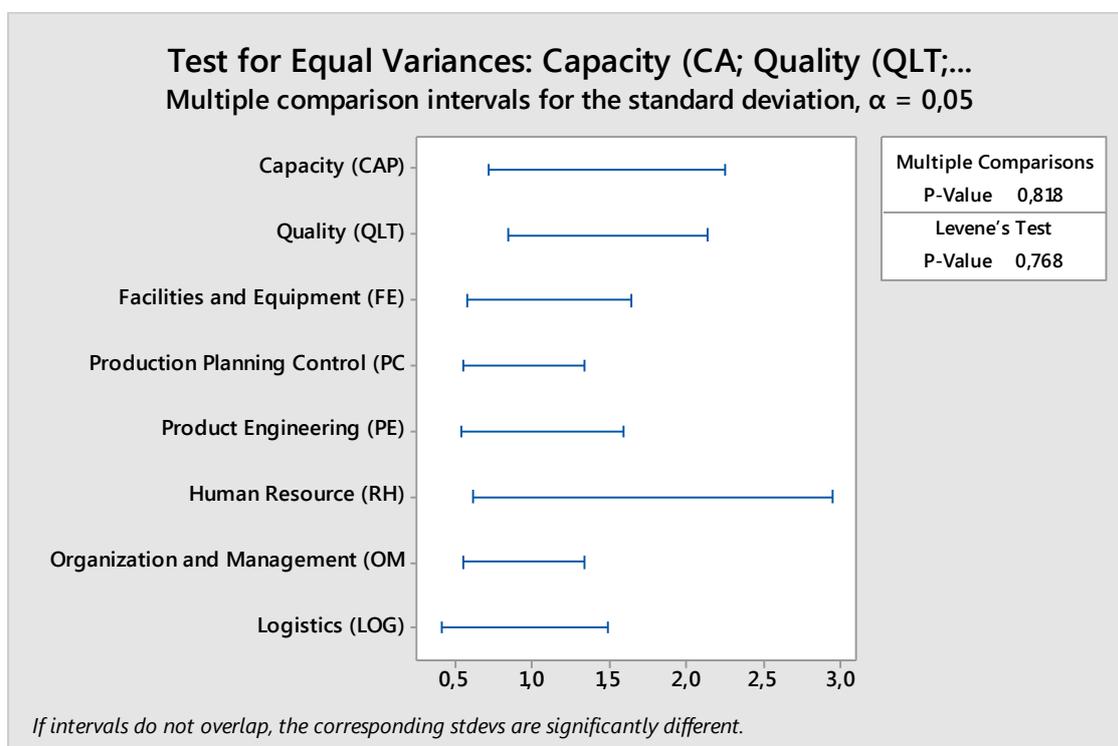
Fazendo-se uso dos valores da variável Y, pode-se definir o indicador de desempenho energético geral para a perspectiva social como:

$$EE_{PIN} = 0,119CAP + 0,114QLD + 0,131INST + 0,136PCP + 0,116EP + 0,125RH + 0,136M + 0,122LOG \quad (9)$$

4.2.5. Perspectiva de inovação e aprendizagem

De maneira análoga as outras quatro perspectivas anteriores, na matriz de correlação da perspectiva ambiental, apresentada no Apêndice 3, pode-se entender que há relação entre todas as variáveis, ou seja, a hipótese H_1 – não há relação entre as variáveis - é rejeitada, sendo aceita a hipótese de que as variáveis se correlacionam (H_0), não sendo qualquer relação nula. De acordo com o Teste de Igualdade de Variâncias, que também é apresentado no

Figura 38. Teste de igualdade de variâncias para as áreas da perspectiva de inovação e aprendizado.



Fonte: a autora, 2017.

Apêndice 3, tem-se que as variâncias entre as médias são significativas a um nível de confiança de 5%, de acordo com o método de Levene e múltiplos teste (que pode ser observado na Figura 38), bem como o Alfa de Cronbach obtido foi de 0,62.

Fazendo uso da equação 5 e os valores obtidos sobre a intensidade das relações, tem-se os valores para a variável Y normalizados na Tabela 9.

Tabela 9. Cálculo dos valores de Y, a intensidade das relações na perspectiva de inovação e aprendizagem.

Perspectiva de Inovação e Aprendizagem

Área de Decisão	Média (μ)	Desv. P (σ)	Y
Capacidade	3,25	0,866	0,114
Qualidade	3,833	0,937	0,135
Equipamentos e Instalações	3,583	0,793	0,126
Planejamento e controle de produção	3,333	0,651	0,117
Engenharia de produto	3,75	0,754	0,132
Recursos humanos	3,833	0,718	0,135
Organização e Gerenciamento	3,833	0,718	0,135
Logística	3,083	1,165	0,108
Total			1

Fonte: a autora, 2017.

Fazendo-se uso dos valores da variável Y, pode-se definir o indicador de desempenho energético geral para a perspectiva social como:

$$EE_{PIA} = 0,114CAP + 0,135QLD + 0,126INST + 0,117PCP + 0,133EP + 0,135RH + 0,135M + 0,108LOG \quad (10)$$

4.2.6. Índice global de eficiência energética

Assim como nas sessões anteriores, foi possível calcular os valores da variável P para cada perspectiva proposta no estudo e definir um índice global de eficiência energética. Os valores da variável Y estão demonstrados na Tabela 10.

Tabela 10. Cálculo dos valores de Y, a intensidade das relações na perspectiva.

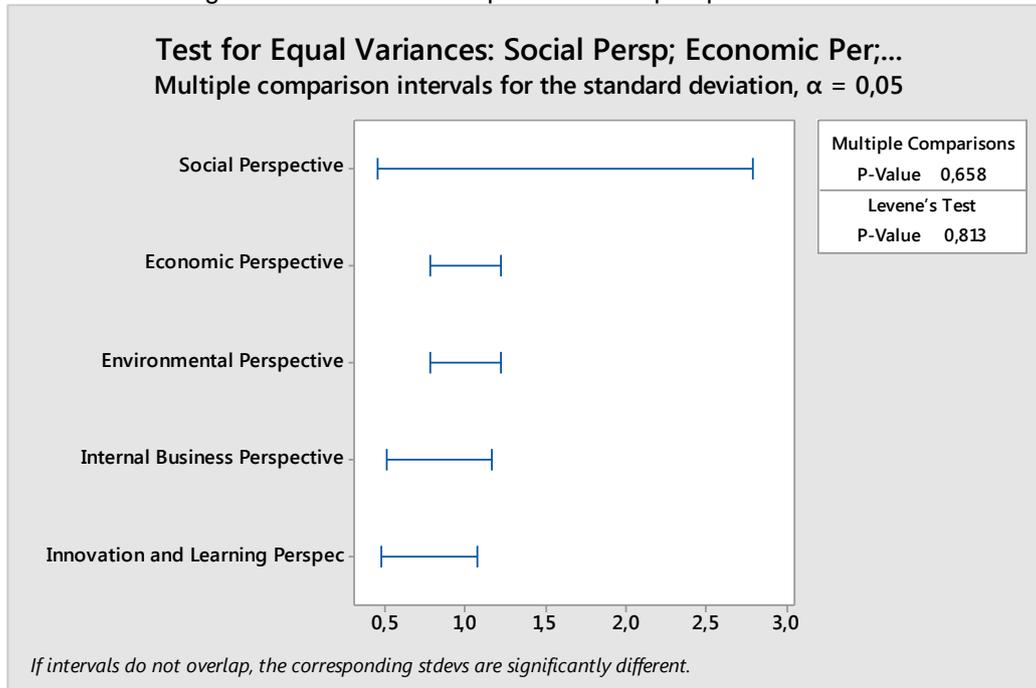
Perspectivas	Média (μ)	Desv. P (σ)	Y
Social	3,333	0,985	0,179
Ambiental	4	0,853	0,214
Econômica	4	0,853	0,214
Interna de Negócios	3,583	0,669	0,192
Inovação e Aprendizagem	3,75	0,622	0,201
Total			1

Fonte: a autora, 2017.

Para tanto considerou-se que há correlação entre todas as perspectivas, de acordo com a matriz de correlação apresentada no Apêndice 3, sendo aceita a hipótese H_0 e rejeitada a hipótese H_1 , além do Teste de Igualdade de Variâncias

que também confirmou que para um nível de 5% de significância, os valores para cada perspectiva são significativos, conforme os valores de *P-Value*, que podem ser visualizados na Figura 39.

Figura 39. Teste de igualdade de variâncias para as cinco perspectivas em estudo.



Fonte: a autora, 2017.

Sendo assim, o índice global de eficiência energética pode ser calculado da seguinte forma:

$$EE = 0,179EE_{PS} + 0,214EE_{PA} + 0,214EE_{PE} + 0,192EE_{PIN} + 0,201EE_{PIA} \quad (11)$$

4.2.7 Modelo geral para cálculo da eficiência energética global

O modelo geral para o cálculo da eficiência energética global da indústria trata-se da junção de todas as propostas geradas, onde tem-se como função de realizar um diagnóstico da EE da empresa, uma vez que se tem os valores de EE por perspectiva e em cada uma delas pode-se relacionar as oito áreas de estudo. Sendo assim, o modelo matemático apresenta-se da seguinte forma:

Eficiência energética global:

$$EE = 0,179EE_{PS} + 0,214EE_{PA} + 0,214EE_{PE} + 0,192EE_{PIN} + 0,201EE_{PIA}$$

Onde:

$$EE_{PA} = 0,120CAP + 0,107QLD + 0,153INST + 0,131PCP + 0,126EP + 0,120RH + 0,1290M + 0,115LOG$$

$$EE_{PS} = 0,127CAP + 0,139QLD + 0,118INST + 0,118PCP + 0,109EP + 0,139RH \\ + 0,1300M + 0,118LOG$$

$$EE_{PE} = 0,126CAP + 0,121QLD + 0,132INST + 0,121PCP + 0,126EP + 0,112RH \\ + 0,1350M + 0,126LOG$$

$$EE_{PIN} = 0,119CAP + 0,114QLD + 0,131INST + 0,136PCP + 0,116EP + 0,125RH \\ + 0,1360M + 0,122LOG$$

$$EE_{PIA} = 0,114CAP + 0,135QLD + 0,126INST + 0,117PCP + 0,133EP + 0,135RH \\ + 0,1350M + 0,108LOG$$

De tal forma que os parâmetros do modelo são definidos por:

$$CAP = I4 + I6 + I14 + I17 + I18 + I21$$

$$QDL = I2 + I3 + I12 + I18 + I19 + I20$$

$$PCP = I1 + I2 + I14 + I20 + I21$$

$$RH = +I18 + I19 + I21$$

$$EP = I3 + I6 + I13 + I14 + I15 + I17$$

$$INST = I2 + I4 + I8 + I14 + I18 + I19 + I20$$

$$OM = I1 + I5 + I7 + I12 + I20 + I21$$

$$LOG = I3 + I5 + I19$$

Assim, tem-se que a alimentação do modelo se dá pela inserção dos valores de cada indicador. Algumas considerações foram necessárias para a elaboração do modelo, sendo elas: como os indicadores I9 e I10 não foram selecionados na pesquisa com especialistas, optou-se por excluir o indicador I11, dada a semelhança ao I19, que foi renomeado como I9, assim como os indicadores I12 renomeado como I10, indicador I13 renomeado como I11, indicador I14 renomeado como I12, indicador I15 renomeado como I13, junção do indicador I16 ao I12, agora somente como I12, indicador I17 renomeado como I14, indicador I18 renomeado como I15, indicador I20 renomeado como I16 e o indicador I21 renomeado como I17.

Dessa forma, os parâmetros do modelo são assumidos como:

$$CAP = (I4 + I6 + I12 + I14 + I15 + I17) \div 6$$

$$QDL = (I2 + I3 + I10 + I15 + I9 + I16) \div 6$$

$$PCP = (I1 + I2 + I12 + I16 + I17) \div 5$$

$$RH = (I15 + I9 + I17) \div 3$$

$$EP = (I3 + I6 + I11 + I12 + I13 + I14) \div 6$$

$$INST = (I1 + I2 + I8 + I12 + I15 + I9 + I16) \div 7$$

$$OM = (I1 + I5 + I7 + I10 + I16 + I17) \div 6$$

$$LOG = (I3 + I5 + I9) \div 3$$

Para o modelo proposto ser utilizado, os indicadores que o alimentam precisam ser admissionais, para que a variável EE (eficiência energética global) transforme-se num índice, que ao ser multiplicado por 100, passa a ser o percentual em eficiência energética alcançado pela empresa. Para tanto, os indicadores foram definidos como:

$$I1. \quad \text{Número de colaboradores num processo} = \frac{N_{\text{processos}} \times N_{\text{turnos}}}{N_{\text{total de pessoas}}}$$

Este indicador tem como objetivo destacar a tecnologia utilizada, pois, quanto mais automatizado o processo, menor será o número de colaboradores no mesmo, no entanto, preza-se a questão social, de tal forma que o indicador passa a atingir o seu valor máximo quando houver no mínimo uma pessoa por processo.

$$I2. \quad \text{Relação produção e energia} = \frac{\text{Kg de produção}}{\text{Kwh consumido}} \times \frac{\text{kg CO2 emitido}}{\text{Kg de produção}} \times \frac{1\text{Kwh}}{81,7\text{kg CO2}}$$

$$I3. \quad \text{Relação de refugo e emissão de CO2} = 1 - \frac{\text{Kg de refugo}}{\text{Kwh consumido}} \times \frac{\text{kg CO2 emitido}}{\text{Kg de produção}} \times \frac{1\text{Kwh}}{81,7\text{kg CO2}}$$

O indicador de refugo visa representar o impacto ao meio ambiente por meio da emissão de CO₂ por material que entrou no processo, mas não saiu, ou seja, foi descartado. Neste caso, se a quantidade de refugo for igual a zero, então I3=1.

$$I4. \quad \text{Relação refugo e consumo de energia} = 1 - \left(\frac{\text{Kwh consumido}}{\text{Kg de produção}} \times \frac{\text{kg refugo}}{\text{Kwh total de consumo}} \right)$$

A relação entre refugo e energia representa o quanto se perdeu de energia para que a matéria-prima fosse processada e descartada. Neste caso, se a quantidade de refugo for igual a zero, então I4=1. Quanto menor for a

quantidade de refugo gerada pelo processo, mais próximo à um estará o indicador, o que demonstra pouco desperdício de energia.

$$I5. \text{ Relação retrabalho e consumo de energia} = 1 - \left(\frac{\text{Kwh consumido}}{\text{Kg de produção}} \times \frac{\text{Kg de retrabalho}}{\text{Kwh total de consumo}} \right)$$

A relação entre refugo e energia representa o quanto a mais se consumiu de energia para que a mesma matéria-prima saísse do processo. Neste caso, se a quantidade de retrabalho for igual a zero, então I5=1. Similar ao I4, quanto menor for a quantidade de retrabalho no processo, mais próximo à um estará o indicador, o que demonstra pouco desperdício de energia.

$$I6. \text{ Relação de retrabalho e emissão de CO2} = 1 - \frac{\text{Kg de retrabalho}}{\text{Kwh consumido}} \times \frac{\text{kg CO2 emitido}}{\text{Kg de produção}} \times \frac{1\text{Kwh}}{81,7\text{kg CO2}}$$

O indicador de retrabalho visa representar o impacto ao meio ambiente por meio da emissão de CO₂ através do reprocessamento de material. Neste caso, se a quantidade de retrabalho for igual a zero, então I6=1.

$$I7. \text{ Relação emissão de CO2 e consumo de energia} = \left(1 - \frac{\text{Kg de Co2 emitido}}{\text{Kwh consumido}} \right) \times \frac{1\text{ Kwh}}{81,7\text{ kg de CO2}}$$

Este indicador visa representar o impacto ao meio ambiente por meio da emissão de CO₂.

$$I8. \text{ Custo de energia e produção} = 1 - \frac{\text{Custo de energia}}{\text{Custo total dos insumos}}$$

Entende-se que o custo de energia tem grande impacto nos custos totais de insumos, sendo assim, quanto maior o custo, menor será o valor do indicador, uma vez que visa-se a máxima eficiência na utilização da variável energia.

$$I9. \text{ Treinamento em EE} = \frac{\text{Número de treinamentos em EE}}{\text{Número total de treinamentos}}$$

O indicador de treinamentos em eficiência energética está relacionado ao desenvolvimento de ações para gestão de energia, buscando capacitar os

colaboradores e disseminar o conhecimento em torno da eficiência energética, criando conscientização e colaboração dos funcionários.

$$I10. \text{ Novos empregos} = \frac{\text{Contratações} - \text{demissões}}{\text{número total de colaboradores}}$$

Já a geração de empregos impacta a questão social no momento em que se eleva este número, considerando é claro, que este indicador esteja positivamente e diretamente relacionado à produtividade da empresa. Se o numerador for negativo significa que houve mais demissão do que contratação, sendo o indicador negativo.

I11. Plano anual de inovação com produtos de consumo energético reduzido, 1 = sim; 0 = não

O indicador do plano de inovação de produtos busca representar o esforço da empresa em criar novos produtos com menor consumo energético, obtendo assim maior eficiência no seu uso.

$$I12. \text{ Substituição de equipamentos} = \frac{\text{Número de equipamentos substituídos}}{\text{Número total de equipamentos}}$$

A substituição de equipamentos visa a obtenção de novas tecnologias, que geralmente estão relacionados à redução do custo de energia, pode porém, impactar em demissões quando não há um plano de inovação.

$$I13. \text{ Redução de empregos} = \left| 1 - \frac{\text{Número de funcionários}_{t+1}}{\text{Número de funcionários}_t} \right|$$

A redução de empregos pode impactar a perspectiva social e muitas vezes se dá por meio das substituições de equipamentos. Neste caso, como o indicador relaciona períodos diferentes para obtenção dos dados, espera-se que mesmo com a substituição de equipamentos, seja possível manter a mesma quantidade de funcionários, podendo realoca-los em outros processos ou até mesmo criar novos processo, o que implica diretamente no plano de inovação. Sendo assim, o indicador atingirá o seu valor máximo quando não houver alteração no número de funcionários.

$$I14. \text{ Uso de energias renováveis} = \frac{\text{Kwh consumido de energia renovável}}{\text{Kwh consumido energia renovável} + \text{não renovável}}$$

O uso de energias renováveis retoma os ideais de sustentabilidade do processo, uma vez que quanto menor for o consumo de energia não renovável, maior será o valor do indicador.

$$I15. \text{ Geração de energia} = \frac{\text{Kwh gerado}}{\text{Kwh consumido} + \text{Kwh gerado}}$$

A geração de energia é o indicador que representa também a sustentabilidade do processo, de tal forma que ele atingirá o seu valor máximo quando não houver consumo e está assim estabelecido para casos em que haja mais geração do que consumo.

$$I16. \text{ Cumprimento das políticas e metas estabelecidas no plano interno de gestão energética} = \frac{\text{Percentual de metas cumpridas}}{100}$$

O percentual do cumprimento das metas e políticas estabelecidas para o gerenciamento de energia pode representar o engajamento da empresa junto às questões energéticas, o que diretamente relaciona a eficiência energética que a empresa busca atingir.

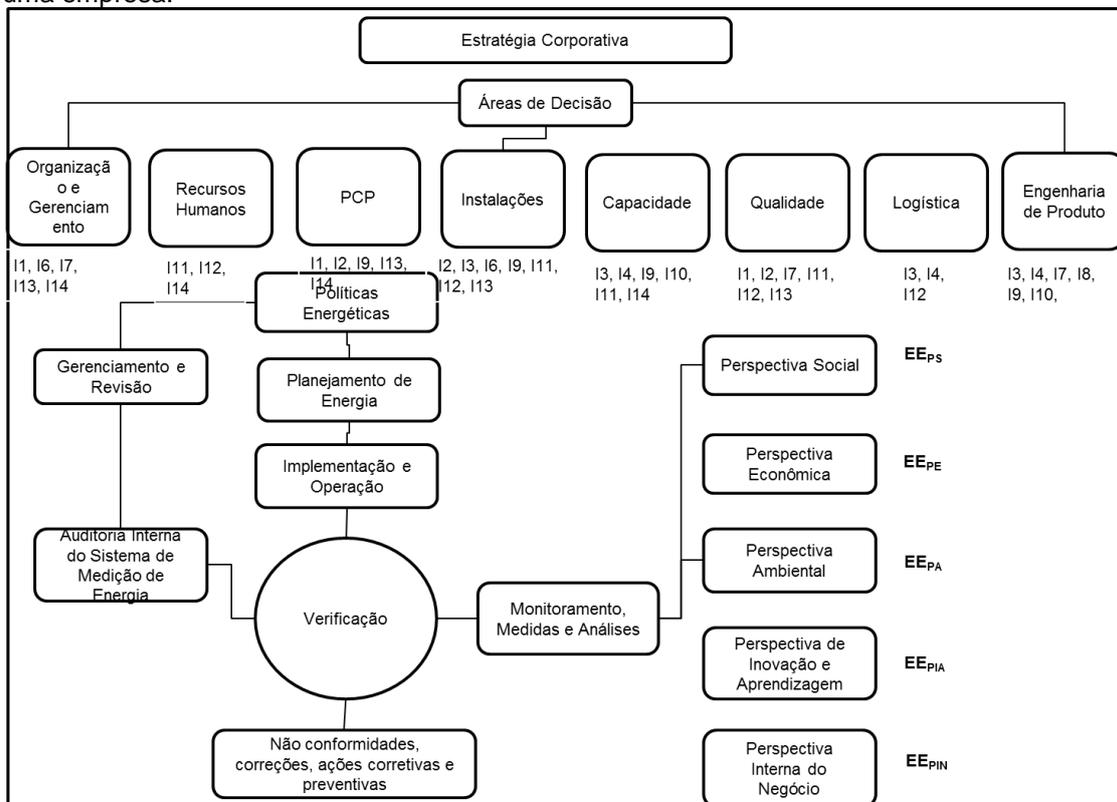
I17. Desenvolvimento de um manual de gestão de energia, 1= Sim; 0,5= em desenvolvimento e 0 = Não.

O desenvolvimento de um manual de gestão de energia é ação primordial para o direcionamento da tomada de decisão que pode culminar no máximo aproveitamento dos recursos energéticos.

Aos indicadores que contenham a emissão de CO₂, considerou-se o fator médio de emissão de CO₂ do Sistema Interligado do Brasil, de 2016, de 1Mwh para 0,0817tCO₂, desenvolvido pelos Ministério de Ciência e Tecnologia em cooperação com o Ministério de Minas e Energia (MCT, 2016). Os fatores estão disponíveis no Anexo 1. Aos indicadores com repostas dicotômicas, I11, I16 e I17, atribui-se o valor 1 (valor máximo de cada indicador) para a resposta positiva e valor zero à resposta negativa.

O modelo conceitual proposto é apresentado na Figura 40, com os respectivos indicadores em cada área, bem como os índices de cada perspectiva, para cálculo de índice de eficiência energética global (EE).

Figura 40. Modelo conceitual proposto para monitoramento da eficiência energética global de uma empresa.



Fonte: a autora, 2017.

O modelo da Figura 40 é proposto para diagnóstico da eficiência energética de empresas de manufatura, onde pode-se observar o valor de cada perspectiva (considerando que no máximo chegará a 1, o que equivale a 100% de eficiência) e o índice global de eficiência energética. A partir destes valores pode direcionar as ações a serem tomadas para melhorias da eficiência e até mesmo para correção dos processos, criação de procedimentos, manuais, entre outras tomadas de decisão.

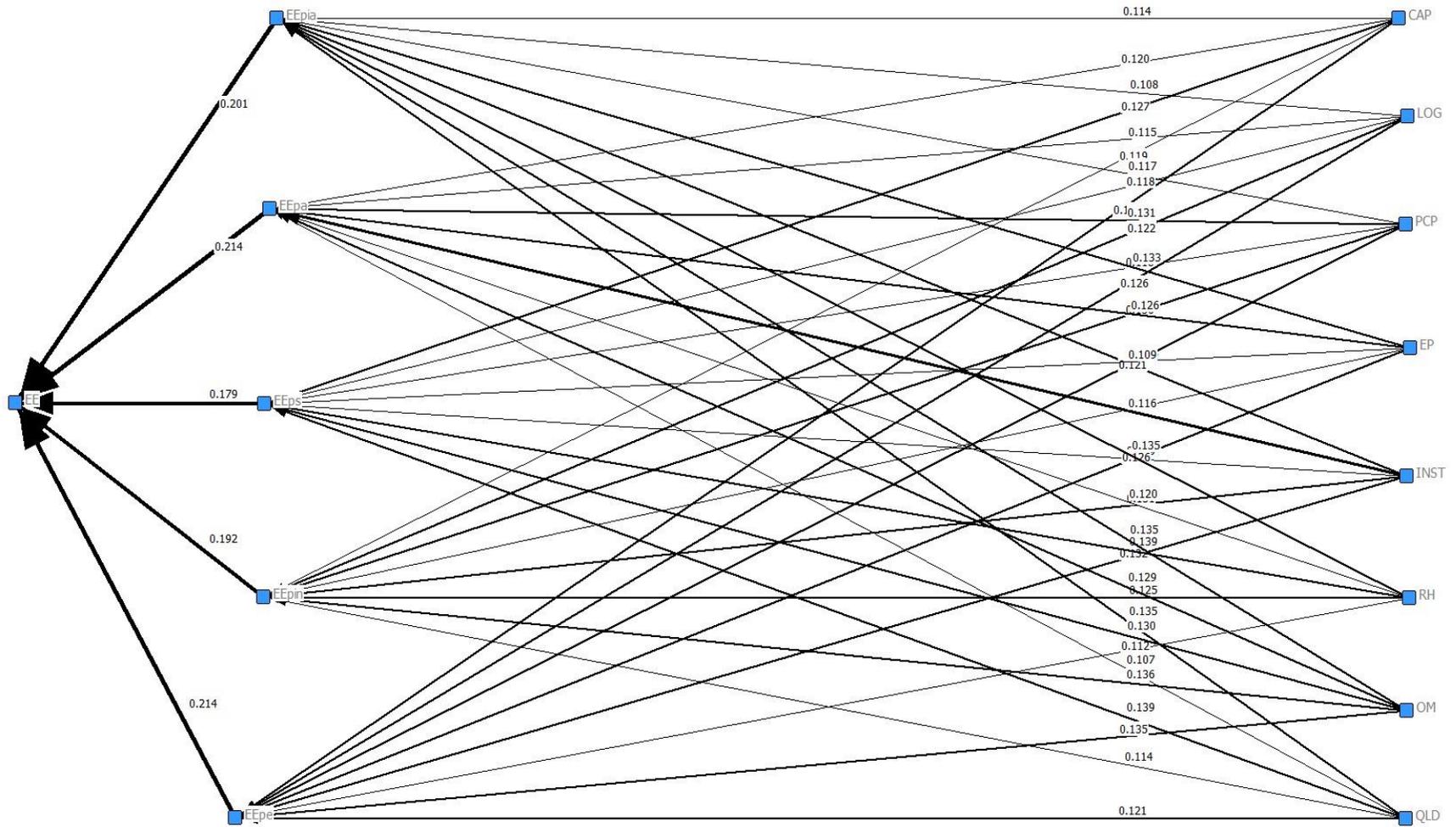
Já a Figura 41, é o grafo que representa as relações matemáticas propostas no modelo de diagnóstico da eficiência energética, exposto na Figura 40. De acordo com Cormen *et al* (2002), um grafo pode ser definido como um conjunto de vértices e arestas que ligam pares de vértices distintos. O grafo que representa o modelo proposto trata-se de um grafo orientado, pois há um sentido nas arestas apresentadas, é valorado, pois existem seis funções relacionado os vértices à um conjunto número que define a intensidade destas relações, é também um grafo não completo e apresenta-se na estrutura de árvore.

Na Figura 41 pode-se observar a intensidade de relações pela espessura das linhas de conexão e pelos valores das mesmas. Desta forma, é possível perceber que as perspectivas de maior influência na eficiência energética global são: perspectiva ambiental (EE_{PA}) e a perspectiva econômica (EE_{PE}). Quanto as áreas de decisão, dentro da perspectiva (EE_{PA}) tem-se que as de maior influência são as áreas de Instalações, seguido pela de PCP. E Para a perspectiva (EE_{PE}), as principais áreas são Instalações e Organização e Gerenciamento.

Por trata-se de um modelo matemático linear, pode-se entender que estas áreas citadas também são as que representam maior impacto no índice de eficiência energética global.

A fim de validar a aplicabilidade do modelo proposto da na Figura 40, juntamente com o modelo matemático com o compõe, estruturou-se uma Prova de Conceito, que é descrita no item 4.

Figura 41. Grafo da relações matemáticas propostas.



Fonte: a autora, 2017.

5 PROVA DE CONCEITO E DISCUSSÃO DA PROPOSTA

A Prova de Conceito, que é um teste utilizado para modelos matemáticos a fim de reconhecer como verdadeiro o modelo, ou seja, que o mesmo é útil e aplicável, foi realizada com os dados da empresa GTFoods, localizada na cidade de Maringá há 25 anos e tem como principal atividade o abate de aves. A empresa possui diversas unidades e o seu grupo está entre os dez maiores exportadores de carne de frango do Brasil. A sua cadeia produtiva é composta por quatro fábricas de ração e duas de farinha e óleo, cinco unidades de recria, 11 matrizes de produção, um encubatório e quatro abatedouros. Ressalta-se também que a empresa possui frota própria (GTFoods).

Para a realização da prova de conceito do presente estudo, optou-se por trabalhar com os dados mensais de apenas um dos abatedouros, o maior, situado em Maringá/PR. A escolha do horizonte de tempo pode-se propiciar um comparativo do índice de EE utilizado pela empresa e o índice de EE proposto na pesquisa. Sendo assim, foram utilizados os dados do mês de dezembro de 2016, fornecidos pela empresa.

No frigorífico existem sete grandes processos que são compostos por diversas estações de trabalho, sendo eles;

1. Pendura e depenagem, onde tem-se as seguintes estações de trabalho: elevador de gaiolas, guincho de descarga de aves, tanque de imersão, lavador de gaiolas, insensibilizador de aves, sangrador automático, tanque de sangria, tanque de escaldagem, depenadeiras nº 1, nº 2 e nº 3, depilador de sambiquira, transferidor automático / corta patas e cortador de cabeça.
2. Evisceração: lavadora inspeção inicial, extratora de cloaca, abridora de abdômen, evisceradora, extratora de papo e traqueia, lavadora inspeção final, bomba de miúdos e moela, máquina de moela e mesa, chiller de escalda de pés, depilador de pés e desenganchador de carcaças.
3. Sadema e usina de energia: compressores de ar nº 1 e nº 2, compressores de Amônia nº 1, nº 2, nº 3, nº 4, nº 5, nº 6, nº 7, nº 8 e nº 9 e geradores de energia nº 1, nº 2, nº 3.
4. Resfriamento: pré chiller, chiler 01, chiller 02, máquina de gelo e esteira de pendura.

5. Sala de corte: transporte aéreo, cortador de pescoço, corte half (facão), máquina de coxa nº 1 e nº2, fileteadeira nº 1, nº 2, nº 3, nº 4, nº 5, nº 6, máquina de pele nº 1 e nº 2, linha de cone nº 1, linha de cone nº 2, bomba CMS, máquina de CMS, chute pneumático CMS.
6. Expedição e câmara fria: máquina de papelão, seladora Semil 1, seladora Semil 2, seladora Saída IQF, stretchadeiras nº 1, nº 2, nº 3, túnel Recrusul, túnel Madeff, túnel estático, girofrezzer (IQF) e estocagem SSI Schaefer.
7. Limpeza geral da indústria.

Alinhando já os dados obtidos da empresa, de acordo com cada indicador proposto, tem-se:

- I1. Número de colaboradores num processo = 0,006
- I2. Relação produção e energia = $1,11566 \cdot 10^{-5}$
- I3. Relação de refugo e emissão de CO2 = 0,999
- I4. Relação refugo e consumo de energia = 0,996
- I5. Relação retrabalho e consumo de energia = 0,988
- I6. Relação de retrabalho e emissão de CO2 = 0,999
- I7. Relação emissão de CO2 e consumo de energia = 0,012
- I8. Custo de energia e produção = 0,8
- I9. Treinamento em EE = $\frac{\text{Número de treinamentos em EE}}{\text{Número total de treinamentos}} = 0$
- I10. *Novos empregos* = 0,002
- I11. Plano anual de inovação com produtos de consumo energético reduzido = 0
- I12. Substituição de equipamentos = 0
- I13. Redução de empregos = 0,990
- I14. Uso de energias renováveis = 0,084

115. Geração de energia = = 0,084

116. Cumprimento das políticas e metas estabelecidas no plano interno de gestão energética = 0,5

117. Desenvolvimento de um manual de gestão de energia = 0

Fazendo-se uso dos dados para alimentar o modelo proposto, tem-se que os índices de para cada área são:

$$CAP = 0,360$$

$$QDL = 0,264$$

$$PCP = 0,101$$

$$RH = 0,028$$

$$EP = 0,512$$

$$INST = 0,198$$

$$OM = 0,251$$

$$LOG = 0,663$$

Sendo assim, cada perspectiva de estudo apresenta o seguinte índice de eficiência energética:

$$EE_{PA} = 0,120CAP + 0,107QLD + 0,153INST + 0,131PCP + 0,126EP + 0,120RH + 0,129OM + 0,115LOG = 0,292$$

$$EE_{PS} = 0,127CAP + 0,139QLD + 0,118INST + 0,118PCP + 0,109EP + 0,139RH + 0,130OM + 0,118LOG = 0,288$$

$$EE_{PE} = 0,126CAP + 0,121QLD + 0,132INST + 0,121PCP + 0,126EP + 0,112RH + 0,135OM + 0,126LOG = 0,301$$

$$EE_{PIN} = 0,119CAP + 0,114QLD + 0,131INST + 0,136PCP + 0,116EP + 0,125RH + 0,136OM + 0,122LOG = 0,289$$

$$EE_{PIA} = 0,114CAP + 0,135QLD + 0,126INST + 0,117PCP + 0,133EP + 0,135RH + 0,135OM + 0,108LOG = 0,291$$

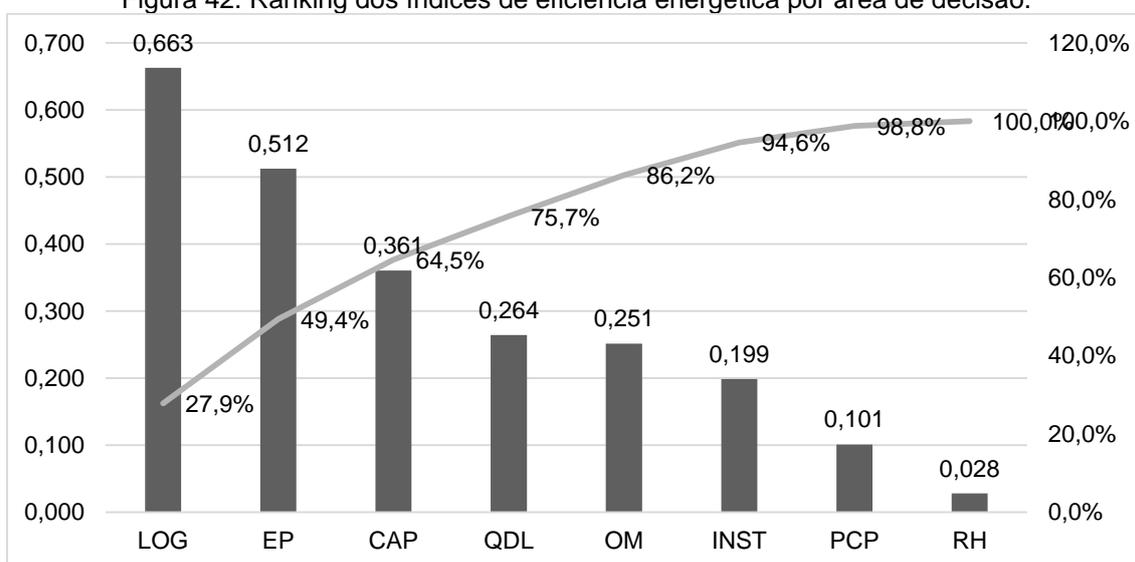
De tal forma, que o índice global de EE passa a ser:

$$EE = 0,179EE_{PS} + 0,214EE_{PA} + 0,214EE_{PE} + 0,192EE_{PIN} + 0,201EE_{PIA} = 0,293$$

Analisando os valores obtidos no diagnóstico realizado na empresa GTfoods, pode-se dizer que a eficiência energética global da empresa é de 29,3%, sendo as eficiências por perspectivas: Ambiental – 29,2%, Econômica – 30,1%, Social – 28,8%, Interna do Negócio – 28,9% e a perspectiva de Inovação e Aprendizado – 29,1%.

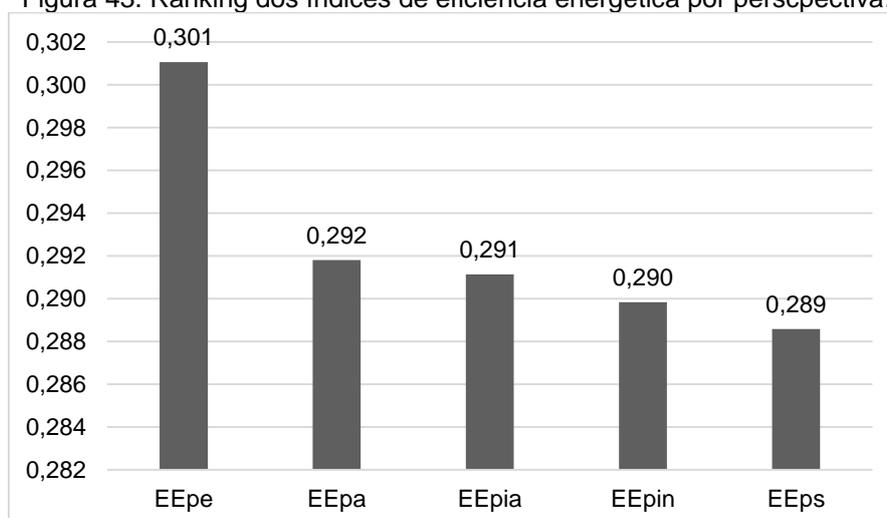
Ranqueando os índices das áreas de decisão e das perspectivas, como apresentado nas figuras 42 e 43, respectivamente, pode-se observar que as áreas de maior índice são as de logística, engenharia de produto e qualidade. Já em relação às perspectivas, a de maior índice foi a econômica.

Figura 42. Ranking dos índices de eficiência energética por área de decisão.



Fonte: a autora, 2017.

Figura 43. Ranking dos índices de eficiência energética por perspectiva.



Fonte: a autora, 2017.

Considerando que as perspectivas ambiental e econômica são as de maior impacto no índice global de eficiência energética e que as áreas de maior influência são as de Instalações e Organização e Gerenciamento, de acordo com o modelo desenvolvido, pode-se olhar cuidadosamente à estas para elaborar ações estratégicas. Voltando à Figura 42, é possível identificar que tanto a área de instalações, como a de organização e gerenciamento não foram as de maior índice. E isto se deve, principalmente ao fato de alguns indicadores, que compõem estas áreas, terem seus valores zerados.

A área de instalações obteve um índice de 0,198 e teve dois indicadores (de sete) com valores zerados, sendo eles o I9 que se refere aos treinamentos em eficiência energética, que neste caso a empresa não realizou e o I12 que é referente à substituição de equipamentos por novos com menor consumo de energia, que a empresa também não substituiu nenhum equipamento. Já a área de organização e gerenciamento, que obteve índice maior que a de instalações, teve o seu índice penalizado pelo indicador I17, que se refere ao desenvolvimento de um manual de gestão de energia, item primordial pela ISO50001:2011, também obteve valor zero pelo fato da empresa não ter desenvolvido e nem estar em desenvolvimento. O indicador I10, referente à criação de novos empregos, que muitas vezes está relacionado ao plano de inovação de produtos (que junto pode trazer novos processos e substituição ou novos equipamentos), obteve um valor muito baixo.

Este mesmo tipo de análise pode ser realizada com todas as perspectivas e todas as áreas, uma vez que o modelo proposto fornece um diagnóstico para base das análises. Sendo assim, um plano de ação pode ser construído com base neste diagnóstico, como por exemplo o exposto no Quadro 15.

Quadro 15. Plano de ações em eficiência energética.

O quê (<i>What</i>)	Quando (<i>When</i>)	Onde (<i>Where</i>)	Por quê (<i>Why</i>)	Quem (<i>Who</i>)	Como (<i>How</i>)
Treinamentos em eficiência energética.	Mensalmente.	Dentro da própria empresa, com profissionais capacitados e também cursos externos em instituições especializadas.	Para aprimorar o conhecimento em técnicas e procedimentos que visam melhor aproveitamento da energia, bem como capacitar gestores, supervisores e operadores, fomentando estudos no tema.	Equipe multidisciplinar.	Desenvolvendo um cronograma com os tópicos mais importantes na eficiência energética, selecionando profissional para ministrar o curso, local e interessados.
Criação de um plano de inovação de produtos com menor consumo	Anualmente.	Própria empresa.	Para produzir com menor consumo de energia.	Equipe multidisciplinar.	Estudando a necessidade do consumidor, as linhas disponíveis para produção e estudos técnicos para adequação do produto.
Substituição de equipamentos por outros de menor consumo de energia.	Em conjunto com o plano de inovação e de gestão de energia, podendo ter horizonte anual.	Setor industrial e administrativo.	Reduzir o consumo de energia.	Equipe de engenharia.	Identificar quais são os equipamentos de maior consumo de energia e fazer planejamento para troca dos mesmos.
Desenvolvimento de um manual de gestão de energia.	Horizonte anual.	Engenharia.	Para disseminar o conhecimento quanto às práticas de eficiência energética, delinear ações estratégicas de longo, médio e curto prazo e	Equipe multidisciplinar.	Traduzir as políticas energéticas para a estratégia corporativa, assim como desdobra-la em ações macro, ações em nível tático e operacional.

promover a
capacitação dos
colaboradores.

Fonte: a autora, 2017.

Com o cumprimento das ações expostas no Quadro 15 é possível atingir um índice de eficiência energética global entre 40 e 60%, porém, a grande vantagem está na mudança da cultura organizacional promovida por meio do desenvolvimento do manual de gestão de energia, do plano de inovação com produtos de baixo consumo energético, com os treinamentos, estabelecimento de metas e ações de melhoria.

Os indicadores usados atualmente pela empresa GTfoods são: Indicador de consumo de energia por tonelada produzida = 337KWh/ton, Indicador financeiro do custo de energia por tonelada produzida = R\$111,00/ton e o indicador do custo do KWh = R\$0,33/KWh.

As metas estabelecidas pela empresa, para estes indicadores é dada pelo melhor índice do ano anterior acrescido de um percentual em relação à diferença da média do ano. Desta forma, o indicador utilizado pela empresa trata apenas do consumo de energia, custo de energia e a saída de produção, que são parâmetros utilizados apenas na perspectiva econômica do modelo de diagnóstico proposto. Baseando-se apenas nestas metas numéricas de consumo e custo de energia há uma dificuldade em localizar oportunidades de melhoria, o que já é facilitado pelo modelo proposto, uma vez que muitas oportunidades advêm dos próprios indicadores.

A condução desta prova de conceito possibilitou a experimentação do modelo de diagnóstico de eficiência energética, bem como a validação de suas equações num cenário real. A principal dificuldade encontrada pela pesquisadora foi a captação dos dados para o cálculo dos indicadores, uma vez que as informações estavam dispersas entre os setores de engenharia, controladoria, recursos humanos, gestão da qualidade e gestão de processos. Desta forma, a percepção da pesquisadora foi a falta de diálogo entre os setores e o quanto isto pode ser prejudicial às decisões estratégicas da empresa, no delineamento das ações, como a estrutura organizacional influencia diretamente estas decisões, impondo algumas restrições, entre outros fatores. No entanto, foi de grande aprendizado para a pesquisadora e para empresa, que também pôde perceber a dificuldade de captação dos dados e a necessidade de uma equipe multidisciplinar e agrupamentos das informações, propiciando aprendizado mútuo e o desenvolvimento da maturidade da empresa.

Esta prova de conceito não teve o objetivo de validar o método, mas sim as equações matemáticas descritas no modelo e elucidar o seu funcionamento, de forma ele gera um diagnóstico da empresa, quais os tipos de análises podem ser feitas e como propor ações de melhoria.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para melhor compreensão das contribuições da pesquisa, bem como a sua complexidade e inovação, optou-se por dividir as considerações finais em subseções, agregando às mesmas as discussões pertinentes ao estudo. Sendo assim, foram abordadas as contribuições em relação à teoria e à prática, quantos aos objetivos, em relação as limitações da pesquisa e quanto aos trabalhos futuros.

6.1 CONTRIBUIÇÃO À TEORIA E A PRÁTICA

Ao realizar-se uma vasta e sistemática busca da literatura pode-se observar a lacuna existente entre a gestão de energia e a engenharia de produção, de tal forma que se estabeleceu como princípio da pesquisa a identificação desta relação por meio das áreas de decisão na manufatura, que são questões chaves no gerenciamento estratégico de qualquer negócio, independente do segmento e área de atuação e a variável energia.

Sendo assim, entende-se que ao gerar um modelo matemático que compreende estas relações e suas intensidades, contribui-se de forma significativa à literatura existe, tanto na área de engenharia de produção como na área da engenharia elétrica. Estas relações, além de direcionar a tomada de decisão despendendo menos esforços, também poderá servir de embasamento para o desenvolvimento de outros modelos de gestão de energia, criação de procedimentos e ações que culminem ao aumento da eficiência energética.

O modelo proposto por esta tese, diferentemente do que se propõem Door *et al* (2013), quando desenvolve um processo para gerenciamento de energia envolvendo treinamentos, documentações, planejamento dos processos, uso da tecnologia da informação para estabelecer o posicionamento legal da energia, é um modelo de diagnóstico, usado elucidar o usuário quanto ao seu desempenho em diversas áreas que influenciam diretamente a eficiência energética e que a mesma também influencia. Os modelos poderiam, por exemplo, serem complementares. Além disto, ao se estabelecer perspectivas dentro da eficiência

energética, coloca-se também uma intensidade entre estas e a relação com a eficiência energética e desenvolve-se indicadores para monitoramento da EE nestas perspectivas, diferentemente de Abdelazis (2011) e Bunse *et al* (2011) que apenas dividem a eficiência energética em dimensões.

Já em relação à prática, na execução da prova de conceito pode-se perceber que o modelo desenvolvido teve como principal dificuldade a captação e geração de informação que alimentam os indicadores, que são os parâmetros do modelo desenvolvido, pois alguns deles podem não ser mensurados (como é o caso da emissão de CO₂) ou estão dispersos em diferentes áreas da empresa, gerando dificuldade no seu agrupamento. O modelo para diagnóstico de eficiência energética proposto contempla informações de diversas áreas e na maioria das vezes, estas informações são detidas por cada área não havendo uma integração entre os indicadores. O modelo apresentado pela presente pesquisa propõe justamente esta integração e interação de áreas, promovendo o diálogo e desenvolvimento de ações que possam gerar melhoramento mútuo, uma vez que se entende a influência entre uma área e outra.

A realização da prova de conceito proporcionou também um maior conhecimento e comportamento real do modelo proposto, por parte da pesquisadora e da indústria, assim como a pesquisa em si proporcionou uma interação em diferentes momentos, no *survey* e na PoC, provocando amadurecimento das ideias propostas e aprimoramento no modelo.

6.2 QUANTO AOS OBJETIVOS

Após estudo prévio da literatura, definiu-se o objetivo geral da pesquisa, bem como os objetivos específicos, que foram:

- Identificação da relação entre as áreas de decisão e as estratégias, procedimentos e indicadores de eficiência energética propostos na literatura.
- Desenvolvimento de um modelo conceitual contendo as relações previamente identificadas na literatura, cuja as intensidades foram delineadas por meio de uma pesquisa *survey* e testes estatísticos.

- Realização de uma Prova de Conceito com o modelo conceitual desenvolvido para o monitoramento da energia em ambientes produtivos utilizando dados de uma empresa real a fim de validar a aplicabilidade do modelo.

Para a identificação das relações entre as áreas de decisão e a eficiência energética, buscou-se na literatura os procedimentos, estratégias e indicadores de eficiência energética. De posse do conceito das áreas de decisão, foram criadas hipóteses de relacionamento entre as áreas e a eficiência energética, de forma cognitiva. Por meio da pesquisa *survey*, realizada com gestores, supervisores e pesquisadores na área de eficiência energética, as hipóteses de relacionamentos foram confirmadas e valoradas. A partir destas informações, pode-se construir um modelo de relacionamentos entre as áreas de decisão, perspectivas de estudo e eficiência energética, capaz de diagnosticar e gerar índices de eficiência energética por perspectiva e um índice global. Após a submissão do modelo proposto à prova de conceito, com o intuito de validar as equações matemáticas descritas pelo mesmo, pode-se afirmar que todos os objetivos específicos foram atingidos e por meio deles também atendeu-se ao objetivo geral da pesquisa, que foi desenvolver um modelo para mensuração do desempenho de energia para ambientes produtivos, relacionando as áreas de decisão de forma estratégica e numérica, sendo que as relações estabelecidas são dadas por meio de um modelo matemático que contempla a intensidade destas relações e gera um diagnóstico com os índices de eficiência energéticas nas perspectivas: econômica, social, ambiental, interna do negócio e de aprendizagem.

6.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

O número de respondentes da presente pesquisa, é um grande fator limitante, o que levou a considerações de estatística básica. Neste caso, pode-se vivenciar a dificuldade na captação de respostas de uma pesquisa *survey* e o elevado tempo que é consumido para chegar à uma taxa de resposta aceitável. Se houvesse, por exemplo, cinquenta respostas ou mais, poderia se aplicar uma análise fatorial aos dados, gerando fatores de correspondências às relações

entre as áreas de decisão, as perspectivas e aos indicadores. Esta análise poderia gerar um modelo mais robusto, no entanto, como houve a preocupação de captar a opinião de especialistas em diferentes segmentos da energia, é possível que ainda assim o modelo proposto seja representativo, uma vez que também teve suas equações validadas por meio da Prova de Conceito. Ainda assim, foram realizados testes estatísticos de análise multivariada para atribuir informações ao modelo desenvolvido de forma coerente e consistente.

Já em relação aos indicadores propostos, o fator de emissão de CO₂ utilizado nos cálculos é um dado fornecido pelo Ministério de Ciência e Tecnologia, sendo um dado exclusivamente brasileiro de tal forma que ao utilizar-se o modelo proposto por indústrias em diferentes países é necessário que se faça uma adaptação quanto ao fator de emissão de CO₂ do próprio país.

O fato de realizar-se uma prova de conceito com o intuito de validar a aplicação das equações matemáticas propostas no modelo, ao invés de realizar-se múltiplos estudos de caso, inviabiliza a generalização dos dados. No entanto, ao entender-se que um estudo de caso tem como característica fundamental a análise profunda de uma determinada unidade que se tem como objetivo (Godoy,1995) e que este tipo de estudo, de acordo com Voos *et al* (2002) tem diversos desafios, pois consome tempo e requer entrevistas especializadas e cuidado ao generalizar as conclusões a partir de um conjunto limitado de casos para que se possa garantir a rigorosidade da pesquisa, e que a presente pesquisa propõe um modelo de diagnóstico e não um modelo processual, optou-se por realizar-se apenas prova de conceito que buscasse validar a aplicabilidade das equações descritas no modelo.

6.4 TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se que a partir do modelo proposto seja desenvolvido um modelo processual, não somente para padronizar a aplicação do mesmo, mas para que sejam criadas ações de acordo com o diagnóstico fornecido pelo modelo. Desta forma, o modelo de diagnóstico de eficiência energética proposto pode se transformar num produto tecnológico, facilitando e direcionando a tomada de decisão, exatamente de acordo com a deficiência apresentada por cada

empresa, por meio dos indicadores e por consequência nos índices de cada perspectiva e no índice global. Podem-se também desenvolver novos indicadores que possam estratificar cada vez mais as áreas de decisão e facilitar o desenvolvimento de ações de melhoria, envolver o transporte no indicador logístico, como também inserir especificações técnicas (como potência eficiência de máquina, por exemplo) na área de instalações.

Sugere-se ainda a realização de múltiplos casos, em diferentes segmentos, com o modelo de diagnóstico apresentado e um futuro modelo processual para aplicação e aprimoramento do modelo de diagnóstico, por meio do desenvolvimento gradativo da maturidade

A avaliação da autora em relação à pesquisa de doutorado apresenta-se de forma positiva, uma vez que o tema abordado é destaque no cenário mundial e pode-se trazê-lo a luz das decisões estratégicas de empresas de manufatura. O desenvolvimento da pesquisa proporcionou também a interação academia – empresa, onde vivenciou-se a dificuldade real que existe entre a academia e o setor industrial, por vezes provocando dificuldade em dar continuidade na pesquisa, provocada por fatores limitantes de tempo e estrutura organizacional, por exemplo. Mas também pode proporcionar aprimoramento no conhecimento e maturidade em pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABDELAZIZ, E. A., SAIDUR, R. & MEKHILEF, S., 2011. A review on energy saving strategies in industrial sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 15, pp. 150-168.
- ANON, Junho de 2011. **ISO 50001:2011, EMSs – Requirements with guidance for use**, s.l.: <http://www.iso.org>.
- BARNEY, J. Firm resources and sustained competitive advantage. **Journal of Management**. v.17, nº1, 1991.
- BITITCI, U. S., CARRIE, A. S. & McDEVITT, L., 1997. Integrated performance measurement systems: a development guide. **International Journal of Operations & Production Management**, n. 5 V. 17, pp. 522-534.
- BOYD, G. A. & PANG, J. X., 2000. Estimating the linkage between energy efficiency and productivity. **Energy Policy**, 28, p. 289-296.
- BUNSE, K. VODICKA, M. SCHONSLEBEN, P. BRULHART, M. ERNST, F. Integrating energy efficiency performance in production management – gap analysis between industrial needs and scientific literature. **Journal of Cleaner Production**. v.19, 2011, pp 667-679.
- CORRÊA, H. L. & CORRÊA, C. A., 2009. **Administração de produção e de operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. 1ª ed. ed. São Paulo: Atlas.
- CORMEN, T.H. LEISERSON, C.E. RIVEST, R.L. STEIN, C. **Algoritmos: teoria e prática**; tradução da segunda edição de Vandenberg D. de Souza. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002.
- CROSS, K. F. & LYNCH, R. L., 1990. Managing the corporate warriors. **Quality Progress**, n.4 v.23, pp. 54-59.
- DORR, M., WAHREN, S. & BAUERNHANSL, T., 2013. **Methodology for energy efficiency on process level**. s.l., Procedia CIRP - Elsevier, p. 652 – 657.
- DUFLOU, J. R. et al., 2012. Towards energy and resource efficient manufacturing: a processes and system approach. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, 61, pp. 587-609.

DU, H. et al., 2013. A bibliometric analysis of recent energy efficient literatures: an expanding and sifting focus. **Energy Efficiency**, 6, pp. 177 - 190.

DUSI, B. & SCHULTZ, R., 2012. Energy management and efficiency - a system approach. **IEEE**.

EISENHARDT, K. M., 1989. Building Theories From Case Study Research. **The Academy of Management Review**, n.4 v.14, pp. 532-550.

FENERICH, F.C. COSTA, S.E.G. LIMA, E.P. Proposition of strategic management system for energy. **ICPR – Annals – Challenges for Sustainable Operations**, 2013.

FERREIRA. L. R.; FILIPINI, F.A.; KLINGUELFUS, G. Metodologia de indicadores de eficiência energética para o setor industrial. **XXII SNPTEE – Seminário Nacional de Transmissão de Energia Elétrica**, 2013.

FLYNN, B. B. et al., 1990. Empirical Research Methods in Operations Management. **Journal of Operations Management**, n.2 v.9.

FILIPPINI, R. Operations management research: some reflections on evolution, models and empirical studies in OM. **International Journal of Operations & Production Management**, v.17 n.7, 1997.

FORZA, C. Survey research in operations management: a process-based perspective. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 22, n, 2, p. 152-194, 2002.

GORP, J. C.V. Enterprising energy management. **IEEE power & energy magazine**. January/February, 2004.

GODOY, A. S. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. **Revista de Administração de Empresas**, v.35, n.3, p20-29, 1995.

GT Foods. Disponível em: <www.gtfoods.com.br>.

HAIR JR., J.F.; WILLIAM, B.; BABIN, B.; ANDERSON, R.E. **Análise multivariada de dados**. 6.ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HANSEN, V.L. GRAY, J. **History of mathematics - Encyclopedia of life support systems**. Eolss publishers Co. ltd, Unesco. United Kingdon, 2010.

HAYES, R.H. UPTON, D.M. Operations – Based Strategy. **California Management Review**. v.40, n°4, 1998.

HAYES, R.H., WHEELWRIGHT, S.C. e CLARK, K.B., Dynamic Manufacturing, The Free Press, New York, NY, 1988.

Internacional Organization for Standardization. **Energy Management Systems – Requirements with guidance for use: ISO 50001:2011.**

JAFFE, A. B. & STAVINS, R. N., 1994. The energy efficiency gap - what does it mean? **Energy Policy**, 10 22, pp. 804 - 810.

KAPLAN, R. S. & NORTON, D. P., 1996. The balanced scorecard. **Harvard Business School Press**, Boston.

KEEGAN, D. P., EILER, R. G. & JONES, C. R., 1989. Are your performance measures obsolete? **Management Accounting**, N.1 V. 70, pp. 45-50.

KULKARNI, V. A. & KATTI, P. K., 2010. **Efficient Utilization Of Energy In Industry Energy Management Perspective.** s.l., s.n.

LACERDA, R. T. de O. ENSSLIN, L. ENSSLIN, S. R. Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. **Gestão da Produção**, São Carlos. V.19, n.1, p.59-78, 2012.

LEEL, G. B. KOL, M. J. KUL, T. J. Analysis of Energy Efficiency in PCB Manufacturing Process. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing**, 2012.

LI, S.; *et al.* The impact of supply chain management practices on competitive advantage and organizational performance. **Omega**, v.34, 2006.

LIMA, E.P. COSTA, S. E.G. FARIA, A.R. Taking operations strategy into practice: developing a process for defining priorities and performance measures. **International Journal of Production Economics.** v.22, 2009.

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

LOMBARD, L. P., ORTIZ, J. & VELÁZQUEZ, D., 2013. Revisiting energy efficiency fundamentals. **Energy Efficiency**, 6, pp. 239 - 254.

MALHOTRA, M. K., GROVER, V. An assessment of survey research in POM: from constructs to theory. **Journal of Operations Management**, v. 16, n. 4, p. 407-425, 1998.

MATURANA, H. and VARELA, F. (1992) **The tree of knowledge: the biological roots of human understanding.** Boston: Shambhala, revised edition.

MCT. **Ministério de Ciência e Tecnologia.** Disponível em: < <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html>>.

MELNYK, S. A. PAGE, T. J. WU, S.J. BURNS, L.A. 2012. Would you mind completing this survey: Assessing the state of survey research in supply chain management. **Journal of Purchasing & Supply Management**.

MINTZBERG, H. The strategy concept: Five P's for strategy. **California Management Review**. V.30, 1987, pp11-24.

MOSKALENKO, N. et al., 2012. **Energy management system with dynamic component control for efficiency optimization**. Berlin, s.n.

NEELY, A. & ADAMS, C., 2000. Perspective on performance: the performance prism. **Centre for Business. School of Management**,.

NEVES, A. R. & LEAL, V., 2010. Energy sustainability indicators for local energy planning: Review of current practices and derivation of a new framework. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 14, p. 2723–2735.

O' DRISCOLL, E., CUSACK, D. Ó. & O' DONNEL, G. E., 2013. The development of energy performance indicators within a complex manufacturing facility. **International Journal Advanced Manufacturing Technology**, p. 2205–2214.

PALM, J. & THOLLANDER, P., 2010. An interdisciplinary perspective on industrial energy efficiency. **Applied Energy**, 87, pp. 3255-3261.

PARK, C. W. et al., 2009. Energy Consumption Reduction Technology in Manufacturing – A Selective Review of Policies, Standards, and Research. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing**, n.5 v.10, pp. 151-173.

PATTERSON, M. G., 1996. What is energy efficiency?. **Energy Policy**, 5 24, pp. 377 - 390.

PATLIZIANAS, K. D. DOUKAS, H. KAGIANNAS, A. PSARRAS, J. Sustainable energy policy indicators: review and recommendations. **Renewable Energy**, 33, p. 966 – 973, 2008.

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

PODSAKOFF, P. M. et al. The influence of management journals in the 1980s and 1990s. **Strategic Management Journal**, v.26, p.473-488, 2005.

POKROVSKI, V. N., 2003. Energy in the theory of production. **Energy**, 28, pp. 769 - 788.

QUALTRICS. Disponível em: < <https://www.qualtrics.com/>>

RUDBERG, M., WALDEMARSSON, M. & LIDESTAM, H., 2013. Strategic perspectives on energy management: a case study in the process industry. **Applied Energy**, 104, pp. 487 - 496.

SAMPAIO, R. F. MANCINI, M. C. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Rev. Bras. Fisioter.**, São Carlos, v. 11, nº1, jan/fev, 2007. PP 83-89.

Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **SEBRAE**. Disponível em: [HYPERLINK "http://www.sebrae-sc.com.br/leis/default.asp?vcdtexto=4154"](http://www.sebrae-sc.com.br/leis/default.asp?vcdtexto=4154) ["http://www.sebrae-sc.com.br/leis/default.asp?vcdtexto=4154"](http://www.sebrae-sc.com.br/leis/default.asp?vcdtexto=4154) . Acessado em maio de 2014.

SCHONSLEBEN P., VODICKA M, BUNSE K, ERNST F. O. The research on performance management for new energy project oriented company based on information system in China. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, 2010.

SKINNER, W., 1969. "Manufacturing: missing link in corporate strategy", **Harvard Business Review**, May-June.

SKINNER, W., 1996. Manufacturing - missing link in corporate strategy. **Harvard Business Review**, May - June, pp. 136 - 145.

TAN, K. C.; KANNAN, V.R.; NARASIMHAN, R. The impact of operations capability on firm performance. **Int. Journal of Production Research**, v.45, n.21, 2007, p.5135–5156, nov.

TANAKA, K. Assessment of energy efficiency performance measures in industry and their application for policy. **Energy Policy**. v.36, 2008, pp 2887-2902.

TASCA, J. E. et al. Na approach for selecting a theoretical framework for the evaluation of training programs. **Journal of European Industrial Training**, v.34, p.631-655, 2010.

VILELA, L. O. Aplicação do Proknow-C para seleção de um portfólio bibliográfico e análise bibliométrica sobre avaliação de desempenho da gestão do conhecimento. **Revista Gestão Industrial**, v.08, n.01, p. 76-92, 2012.

VOSS, C. TSIKRIKTSIS, N. FROHLICH, M. 2002. Case research in operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, vol 22, Iss 2, pp. 195-219.

WHEELWRIGHT, S. C. & HAYES, R. H., 1985. Competing Through Manufacturing. **Harvard Business Review**.

WORRELL, E., LAITNER, J. A., RUTH, M. & FINMAN, H., 2003. Productivity benefits of industrial energy efficiency measures. **Energy**, 28, pp. 1081-1098.

WU, L. M., CHEN, B. S., BOR, Y. C. & WU, Y. C., 2007. Structure model of energy efficiency indicators and applications. **Energy Policy**, 35, pp. 3768 - 3777.

APÊNDICE A - ÁREAS DE DECISÃO E AS CARACTERÍSTICAS DE CADA UMA DAS ÁREAS, POR SKINNER (1969), HAYES E WHEELWRIGHT (1985;1988).

Área de Decisão	Tipos de Decisão	Tipos de Decisão	Tipos de Decisão
Equipamento e Instalações	Tipo de processo, tamanho da planta, localização da planta, decisões de investimento, escolha de equipamentos, tipo de ferramentas.	Tamanho, localização, especialização, escala, flexibilidade e interconectividade.	Projeto estático, projetos e futuros.
Capacidade	---	Quantidade, tempo e tipo de processo.	Demanda em atraso, capital requerido, capacidade dirigida.
Produção, Controle e Planejamento	Frequência de inventário, tamanho do inventário, o quê controlar, controle de qualidade, uso de normas, grau de controle de estoque	---	Centralização, descentralização, incertezas inerentes, redução de incertezas.
Recursos Humanos	Especificação de trabalho, supervisão, engenharia industrial, sistema de salários	Seleção, treinamento, compensação e segurança.	Redução de habilidades, recursos de energia, desenvolvimentos de competências, recursos de melhorias.
Engenharia de Produto	Tamanho da linha de produto, riscos tecnológicos, engenharia, uso da engenharia de manufatura,	Início, término e modificações.	Sequenciamento, atividades paralelas, time iterativo.
Organização e Gerenciamento	Tipo de organização, uso do tempo dos executivos, graus de riscos assumidos, tipos	Organização, escalas e controle.	Fragmentação, coordenadores, integração, linha responsável,

	de executivos, uso de funcionários.		
Integração Vertical	---	Direção, extensão e balanço.	Minimização de custos, divisão de responsabilidades, habilidades, busca de influências.
Tecnologia	Processos, equipamentos, determinantes críticos, materiais, tendências, graus de mecanização, extensão do processo.	Escala, flexibilidade e interconectividade.	Custo de corte, recursos externos e internos, aumentos de capacidade.
Referência	Skinner, W., "Manufacturing: missing link in corporate strategy", Harvard Business Review, May-June 1969.	Wheelwright, S.C and Hayes, Competing through Manufacturing, Harvard Business Review, 1985.	Hayes, R.H., Wheelwright, S.C. and Clark, K.B., Dynamic Manufacturing, The Free Press, New York, NY, 1988.

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO UTILIZADO PARA CONFIRMAR AS RELAÇÕES EXISTENTES ENTRE AS ÁREAS DE DECISÃO E AS CINCO PERSPECTIVAS DE ESTUDO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.

SURVEY QUESTIONNAIRE

This is a questionnaire related to a PhD research conducted by the student Francielle Cristina Fenerich and her advisors (Prof. Dr. Sérgio E. Gouvea da Costa and Prof. Dr. Edson Pinheiro de Lima). The research is associated with the Industrial and Systems Engineering Graduate Program at Pontifical Catholic University of Paraná (<http://www.pucpr.br/en/>), Curitiba, Brazil and is related to energy efficiency on industries in the strategic perspective of operations engineering.

The document attached present the relevant concepts (decision areas and performance management system) for this research and also to remedy any doubts during the execution of the questionnaire.

Your expert opinion will contribute to our research regarding the evaluation of the energy indicators and to extract the relationships between decision areas and BSC perspectives.

You will probably take around 15 minutes to answer the questions, and we appreciate for your time.

Thank you very much.

Kind regards.

Francielle C. Fenerich

1. Select the item that best suits the type of experience (or involvement, knowledge, participation) you have with energy efficiency. Select only one alternative.
 - Academic
 - Industrial experience (professional)
 - Both (academic and professional)
 - Consult
 - Other
2. For how long (years) do you have experience in energy efficiency?
3. If you work on industry, what the size of the company? (SEBRAE, 2014)
 - a) Micro company – 1 a 19 employees;
 - b) Small company empresa – 20 a 99 employees;
 - c) Medium company – 100 a 99 employees;
 - d) Large company – 500 or more employees.
4. Do you have any knowledge about decision areas concept? (PLATTS *et al*, 1994; WHEELWRIGHT e HEYS, 1985)
 - () yes
 - () no

5. What are the decision areas of your company? (PLATTS *et al*, 1994; WHEELWRIGHT e HEYS, 1985)
- Capacity
 - Facilities and Equipments
 - Quality
 - Production Planning Control
 - Product Engineering
 - Human Resource
 - Organization and Management
 - Logistics
6. What are decision areas you believe are influenced by the energy performance?
- Capacity
 - Facilities and Equipments
 - Quality
 - Production Planning Control
 - Product Engineering
 - Human Resource
 - Organization and Management.
 - Logistics
7. What are decision areas you believe that influence the energy performance?
- Capacity
 - Facilities and Equipments
 - Quality
 - Production Planning Control
 - Product Engineering
 - Human Resource
 - Organization and Management.
 - Logistics
8. Do you work with any of these references of performance measurement system? (BITITCI *et al*, 1997; CROSS e LYNCH, 1990; KAPLAN e NORTON, 1996; KEEGAN *et al*, 1989; NEELY e ADAMS, 2000)
- Performance Measurement Matrix
 - Performance Pyramid – SMART
 - Balanced Scorecard – BSC
 - Integrated Performance Measurement System
 - Prism Performance
9. Do you know the ISO 50001:2011? (ISO 50001:2011)
10. Do you use some energy performance measurement system? Which one?
11. Do you quantify the energy consume? How?
12. Do you control the energy use? How?
13. Do you use performance energy indicators?

14. Do you believe there are relationship between some energy performance indicator with decision areas? Which area and how?
15. It is possible quantify the energy consume on social perspective (Human resources)? If it is positive, how?
16. It is possible quantify the energy consume on environmental perspective? If it is positive, how?
17. It is possible quantify the energy consume on economic perspective? If it is positive, how?
18. It is possible quantify the energy consume on innovation and learning perspective? If it is positive, how?
19. It is possible quantify the energy consume on internal business perspective? If it is positive, how?
20. Identify the relationship between decision areas and BSC perspective with scores from 1 to 5, where 1 represent a very weak relation, 2 – is a weak relation, 3 – there is no relation, 4 – is a strong relation and 5 – is a very strong relation.

BSC Perspectives/ Decision areas	Social Perspective	Environmental Perspective	Economic Perspective	Innovation and learning perspective	Internal business perspective
Capacity					
Quality					
PCP					
RH					
Facilities and equipment					
Product Eng.					
Organization and Manag.					
Logistics					

21. Identify the relationship between global energy efficiency measure and BSC perspective with scores from 1 to 5, where 1 represent a very weak relation, 2 – is a weak relation, 3 – there is no relation, 4 – is a strong relation and 5 – is a very strong relation

BSC Perspectives/ Energy efficiency	Social Perspective	Environmental Perspective	Economic Perspective	Innovation and learning perspective	Internal business perspective
Global Energy efficiency measure					

22. Check the indicators that you think are feasible, consistent (or both) and choose the area each one is related.

- a. Número de colaboradores por processo: Número de pessoas de um setor produtivo/ número de processos realizados no setor (BOYD e PANG, 2000; BUNSE et al, 2011).
- b. Relation between outputs and energy consume: production (ton)/kwh consume (BOYD e PANG, 2000; NEVES e LEAL, 2010; PATTERSON, 1996).
- c. Relation between refuse rate and CO₂ emission: Kg of refuse by sector/ [kg of CO₂ emission/number of sectors of the company] (WORRELL et al, 2003).
- d. Relation between refuse and energy consumption: Kg of refuse by sector /kwh consumed by sector (WORRELL et al, 2003).
- e. Rework rate by energy consumption: Kg (or unit) of rework by sector/kwh consumed by sector (WORRELL et al, 2003).
- f. Relation between rework and CO₂ emission: Kg (or units) of rework by sector/[kg of CO₂ emitido/number of sector] (WORRELL et al, 2003).
- g. Rework rate by energy consumed: Kg (or unit) of rework by sector/kwh consumed by sector (WORRELL et al, 2003).
- h. CO₂ emission by Kwh consumed (BUNSE et al, 2011; NEVES e LEAL, 2010; PATLIZIANAS, 2008).
- i. Energy cost by production: Kwh cost/ ton production (PALM e THOLLANDER, 2010).
- j. Relation between energy consumption and proction time: Kwh consumed/ lead time production (PALM e THOLLANDER, 2010).
- k. Energy Efficiency Capacitation: number of energy efficiency courses by year (ABDELAZIZ et al, 2011; KULKARNI e KATTI, 2010).
- l. Productive Efficiency Capacitation: number of productive efficiency courses by year
- m. Average number of new Jobs created: number of hiring – number of demission by year
- n. Plano anual de inovação com produtos de consumo energético reduzido
- o. Equipment substitution: number of new equipments installed by year
- p. Percentage of employees reduction: (number of employees at the moment t/number of employees at the moment t+1) .100
- q. Percentage of equipment replaced by year: (number of equipment replaced by year/number of total equipments). 100
- r. Use of renewable energy: Kwh consumed (from renewable energy)/Kwh consume (from non renewable energy)
- s. Energy generation for own consumption: Kwh generated/Kwh bought
- t. Number of energy efficiency trainings by year
- u. Accomplishment with policies and targets set by the internal plan for energy management
- v. Development of energy management manual

APÊNDICE C - TABELAS DE ANÁLISE DAS RESPOSTAS DOS QUESTIONÁRIOS, NO SOFTWARE MINITAB.

Q20 - Identify the grade of relationship between decision areas and Environmental Perspective with scores from 1 to 5 stars, where 1 star represent a very weak relation, 2 – is a weak relation, 3 – is a moderate relation, 4 – is a strong relation and 5 – is a very strong relation. For the areas with no relation, dont´t check the stars.

Correlation Matrix

	Capacity (CAP)_1	Quality (QLT)_1	Facilities and E	Production Plann
Quality (QLT)_1	0,527			
Facilities and E	0,631	0,191		
Production Plann	-0,711	-0,889	-0,387	
Product Engineer	0,866	0,722	0,600	-0,797
Human Resource (	0,872	0,689	0,700	-0,852
Organization and	0,605	0,148	0,854	-0,240
Logistics (LOG)_	0,743	0,649	0,694	-0,717

	Product Engineer	Human Resource (	Organization and
Human Resource (	0,857		
Organization and	0,612	0,528	
Logistics (LOG)_	0,794	0,741	0,647

Cell Contents: Pearson correlation

Item and Total Statistics

Variable	Mean	StDev
Capacity (CAP)_1	3,667	1,073
Quality (QLT)_1	3,250	0,965
Facilities and Equipment (FE)_1	4,667	0,492
Production Planning Control (_1	4,000	0,953
Product Engineering (PE)_1	3,833	0,718
Human Resource (RH)_1	3,667	1,231
Organization and Management (_1	3,917	0,793
Logistics (LOG)_1	3,500	0,798
Total	30,500	4,380

Cronbach's alpha = 0,7538

Omitted Variable	Adj. Total Mean	Adj. Total StDev	Item-Adj. Total Corr	Squared Multiple Corr	Cronbach's Alpha
Capacity (CAP)_1	26,833	3,433	0,8472	0,9110	0,6343
Quality (QLT)_1	27,250	3,841	0,4720	0,9125	0,7238
Facilities and Equipment (FE)_1	25,833	3,996	0,7547	0,9371	0,7073
Production Planning Control (_1)	26,500	5,126	-0,8185	0,9222	0,9171
Product Engineering (PE)_1	26,667	3,725	0,8953	0,8877	0,6610
Human Resource (RH)_1	26,833	3,298	0,8360	0,9586	0,6288
Organization and Management (_1)	26,583	3,801	0,6812	0,8738	0,6901
Logistics (LOG)_1	27,000	3,693	0,8332	0,8569	0,6624

Test for Equal Variances: Capacity (CA; Quality (QLT; Facilities a; Production P; ...

Method

Null hypothesis All variances are equal
 Alternative hypothesis At least one variance is different
 Significance level $\alpha = 0,05$

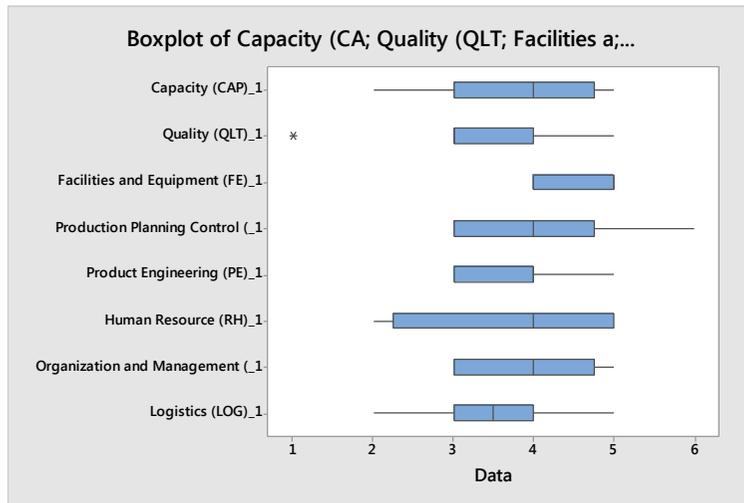
95% Bonferroni Confidence Intervals for Standard Deviations

	Sample	N	StDev	CI
Capacity (CAP)_1	16	1,07309	(0,670850; 2,22306)	
Quality (QLT)_1	16	0,96531	(0,413894; 2,91574)	
Facilities and Equipment (FE)_1	16	0,49237	(0,289960; 1,08279)	
Production Planning Control (_1)	16	0,95346	(0,476065; 2,47313)	
Product Engineering (PE)_1	16	0,71774	(0,421997; 1,58100)	
Human Resource (RH)_1	16	1,23091	(0,837641; 2,34263)	
Organization and Management (_1)	16	0,79296	(0,522148; 1,55961)	
Logistics (LOG)_1	16	0,79772	(0,436390; 1,88859)	

Individual confidence level = 99,375%

Tests

Method	Test Statistic	P-Value
Multiple comparisons	-	0,028
Levene	1,30	0,261



Q21 - Identify the grade of relationship between decision areas and Social Perspective with scores from 1 to 5 stars, where 1 star represent a very weak relation, 2 – is a weak relation, 3 – there is a moderate relation, 4 – is a strong relation and 5 – is a very strong relation. For the areas with no relations, don't check the stars.

Correlation Matrix

	Capacity (CAP)	Quality (QLT)	Facilities and E	Production Plann
Quality (QLT)	0,701			
Facilities and E	0,594	0,155		
Production Plann	0,277	0,217	0,143	
Product Engineer	0,679	0,590	0,350	0,163
Human Resource (	-0,075	0,163	-0,039	0,054
Organization and	-0,053	0,160	-0,081	-0,114

Logistics (LOG)	0,628	0,566	0,522	0,174
Product Engineer				
Human Resource (	0,442			
Organization and	0,466	0,840		
Logistics (LOG)	0,853	0,612	0,563	

Cell Contents: Pearson correlation

Item and Total Statistics

Variable	Mean	StDev
Capacity (CAP)	3,500	1,087
Quality (QLT)	3,833	0,835
Facilities and Equipment (FE)	3,250	1,055
Production Planning Control (PC)	3,250	0,754
Product Engineering (PE)	3,000	0,739
Human Resource (RH)	3,833	1,115
Organization and Management (OM)	3,583	0,793
Logistics (LOG)	3,250	0,866
Total	27,500	4,700

Cronbach's alpha = 0,7948

Omitted Variable	Adj. Total Mean	Adj. Total StDev	Item-Adj. Total Corr	Squared Multiple Corr	Cronbach's Alpha
Capacity (CAP)	24,000	3,977	0,5887	0,8554	0,7577
Quality (QLT)	23,667	4,185	0,5551	0,6724	0,7650
Facilities and Equipment (FE)	24,250	4,224	0,3518	0,6963	0,7996
Production Planning Control (PC)	24,250	4,495	0,1945	0,1784	0,8110
Product Engineering (PE)	24,500	4,079	0,8148	0,8157	0,7332
Human Resource (RH)	23,667	4,163	0,3787	0,8336	0,7975
Organization and Management (OM)	23,917	4,337	0,3855	0,7617	0,7884
Logistics (LOG)	24,250	3,888	0,9248	0,9159	0,7053

Test for Equal Variances: Capacity (CA; Quality (QLT; Facilities a; Production P; ...

Method

Null hypothesis All variances are equal
 Alternative hypothesis At least one variance is different
 Significance level $\alpha = 0,05$

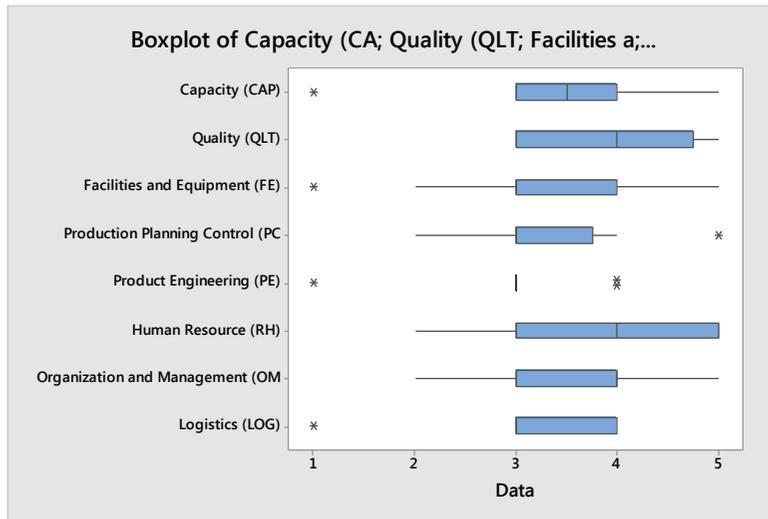
95% Bonferroni Confidence Intervals for Standard Deviations

	Sample	N	StDev	CI
	Capacity (CAP)	16	1,08711	(0,507771; 3,01432)
	Quality (QLT)	16	0,83485	(0,543230; 1,66164)
	Facilities and Equipment (FE)	16	1,05529	(0,501076; 2,87837)
	Production Planning Control (PC)	16	0,75378	(0,295105; 2,49354)
	Product Engineering (PE)	16	0,73855	(0,247332; 2,85618)
	Human Resource (RH)	16	1,11464	(0,633502; 2,53997)
	Organization and Management (OM)	16	0,79296	(0,417236; 1,95177)
	Logistics (LOG)	16	0,86603	(0,299390; 3,24437)

Individual confidence level = 99,375%

Tests

Method	Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0,945
Levene	0,92	0,494



Q22 - Identify the grade of relationship between decision areas and Economic Perspective with scores from 1 to 5 stars, where 1 star represent a very weak relation, 2 – is a weak relation, 3 – there is a moderate relation, 4 – is a strong relation and 5 – is a very strong relation. For the areas with no relations, don't check the stars.

Correlation Matrix

	Capacity (CAP)	Quality (QLT)	Facilities and E	Production Plann
Quality (QLT)	0,911			
Facilities and E	0,925	0,965		
Production Plann	0,874	0,873	0,870	
Product Engineer	0,822	0,765	0,817	0,904
Human Resource (	0,755	0,644	0,651	0,758
Organization and	0,914	0,968	0,957	0,847
Logistics (LOG)	0,793	0,818	0,817	0,904
	Product Engineer	Human Resource (	Organization and	
Human Resource (	0,679			
Organization and	0,759	0,645		
Logistics (LOG)	0,870	0,710	0,771	

Cell Contents: Pearson correlation

Item and Total Statistics

Variable	Mean	StDev
Capacity (CAP)	3,750	1,357
Quality (QLT)	3,583	1,379
Facilities and Equipment (FE)	3,917	0,996
Production Planning Control (PC)	3,583	0,900
Product Engineering (PE)	3,750	0,754
Human Resource (RH)	3,333	0,888
Organization and Management (OM)	4,000	0,953
Logistics (LOG)	3,750	0,866
Total	29,667	7,475

Cronbach's alpha = 0,9678

Omitted Variable	Adj. Total	Adj. Total	Item-Adj. Total	Squared Multiple Corr	Cronbach's Alpha
Capacity (CAP)	25,917	6,186	0,9396	0,9114	0,9618
Quality (QLT)	26,083	6,171	0,9339	0,9686	0,9627
Facilities and Equipment (FE)	25,750	6,524	0,9476	0,9566	0,9592
Production Planning Control (PC)	26,083	6,626	0,9359	0,9232	0,9607
Product Engineering (PE)	25,917	6,815	0,8627	0,8848	0,9659
Human Resource (RH)	26,333	6,800	0,7330	0,6813	0,9706
Organization and Management (OM)	25,667	6,583	0,9270	0,9507	0,9607
Logistics (LOG)	25,917	6,708	0,8725	0,8617	0,9641

Test for Equal Variances: Capacity (CA; Quality (QLT; Facilities a; Production P; ...

Method

Null hypothesis All variances are equal
 Alternative hypothesis At least one variance is different
 Significance level $\alpha = 0,05$

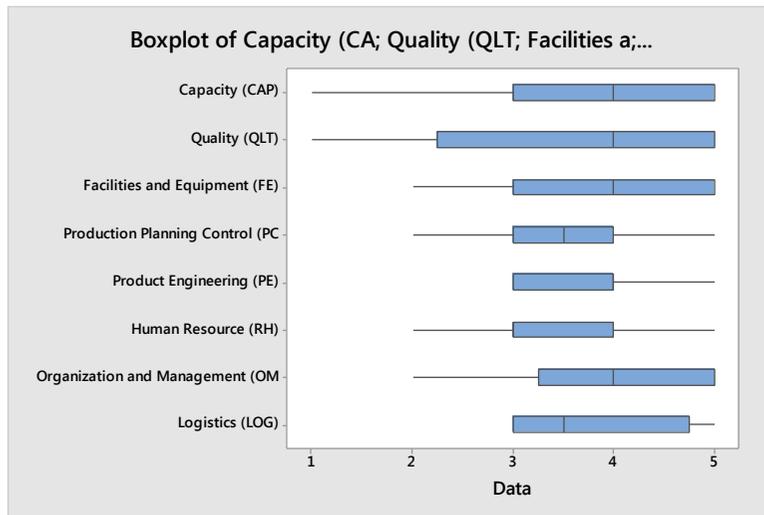
95% Bonferroni Confidence Intervals for Standard Deviations

	Sample	N	StDev	CI
Capacity (CAP)		16	1,35680	(0,684398; 3,48361)
Quality (QLT)		16	1,37895	(0,792116; 3,10898)
Facilities and Equipment (FE)		16	0,99620	(0,581246; 2,21128)
Production Planning Control (PC)		16	0,90034	(0,518562; 2,02449)
Product Engineering (PE)		16	0,75378	(0,428469; 1,71741)
Human Resource (RH)		16	0,88763	(0,512104; 1,99254)
Organization and Management (OM)		16	0,95346	(0,476065; 2,47313)
Logistics (LOG)		16	0,86603	(0,527905; 1,83997)

Individual confidence level = 99,375%

Tests

Method	Test	Statistic	P-Value
Multiple comparisons		-	0,508
Levene		1,02	0,420



Q23 - Identify the grade of relationship between decision areas and Innovation and Learning Perspective with scores from 1 to 5 stars, where 1 star represent a very weak relation, 2 – is a weak relation, 3 – there is a moderate relation, 4 – is a strong relation and 5 – is a very strong relation. For the areas with no relations, don't check the stars.

Correlation Matrix

	Capacity (CAP)	Quality (QLT)	Facilities and E	Production Plann
Quality (QLT)	0,392			
Facilities and E	0,298	0,143		
Production Plann	0,322	-0,050	-0,235	
Product Engineer	0,522	0,579	0,266	-0,000
Human Resource (	0,366	0,360	-0,293	0,519
Organization and	0,658	0,631	0,346	0,130
Logistics (LOG)	-0,113	-0,403	-0,057	0,679
	Product Engineer	Human Resource (	Organization and	
Human Resource (	0,420			
Organization and	0,924	0,294		
Logistics (LOG)	-0,492	0,236	-0,417	

Cell Contents: Pearson correlation

Covariance Matrix

	Capacity (CAP)	Quality (QLT)	Facilities and E	Production Plann
Capacity (CAP)	0,7500			
Quality (QLT)	0,3182	0,8788		
Facilities and E	0,2045	0,1061	0,6288	
Production Plann	0,1818	-0,0303	-0,1212	0,4242
Product Engineer	0,3409	0,4091	0,1591	-0,0000
Human Resource (	0,2273	0,2424	-0,1667	0,2424
Organization and	0,4091	0,4242	0,1970	0,0606
Logistics (LOG)	-0,1136	-0,4394	-0,0530	0,5152
	Product Engineer	Human Resource (	Organization and	Logistics (LOG)
Product Engineer	0,5682			
Human Resource (	0,2273	0,5152		
Organization and	0,5000	0,1515	0,5152	
Logistics (LOG)	-0,4318	0,1970	-0,3485	1,3561

Item and Total Statistics

Variable	Mean	StDev
Capacity (CAP)	3,250	0,866
Quality (QLT)	3,833	0,937
Facilities and Equipment (FE)	3,583	0,793
Production Planning Control (PCP)	3,333	0,651
Product Engineering (PE)	3,750	0,754
Human Resource (RH)	3,833	0,718
Organization and Management (OM)	3,833	0,718
Logistics (LOG)	3,083	1,165
Total	28,500	3,529

Cronbach's alpha = 0,6257

Omitted Variable	Mean	StDev	Adj. Total		Adj. Squared	
			Total	Corr	Total	Item-Adj. Multiple Cronbach's Alpha
Capacity (CAP)	25,250	2,927	0,6186	0,7202	0,5013	0,5013
Quality (QLT)	24,667	3,085	0,3563	0,6997	0,5833	0,5833
Facilities and Equipment (FE)	24,917	3,343	0,1229	0,7160	0,6438	0,6438
Production Planning Control (PC)	25,167	3,215	0,4052	0,8511	0,5782	0,5782
Product Engineering (PE)	24,750	3,079	0,5191	0,9681	0,5428	0,5428
Human Resource (RH)	24,667	3,114	0,5017	0,8803	0,5505	0,5505
Organization and Management (OM)	24,667	3,025	0,6420	0,9688	0,5138	0,5138
Logistics (LOG)	25,417	3,528	-0,1641	0,8878	0,7655	0,7655

Test for Equal Variances: Capacity (CA; Quality (QLT; Facilities a; Production P; ...

Method

Null hypothesis	All variances are equal
Alternative hypothesis	At least one variance is different
Significance level	$\alpha = 0,05$

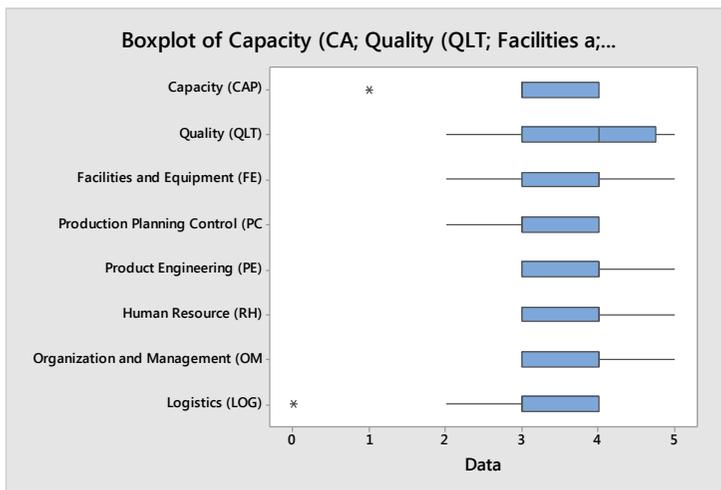
95% Bonferroni Confidence Intervals for Standard Deviations

Sample	N	StDev	CI
Capacity (CAP)	16	0,86603	(0,299390; 3,24437)
Quality (QLT)	16	0,93744	(0,534951; 2,12753)
Facilities and Equipment (FE)	16	0,79296	(0,417236; 1,95177)
Production Planning Control (PC)	16	0,65134	(0,370216; 1,48410)
Product Engineering (PE)	16	0,75378	(0,428469; 1,71741)
Human Resource (RH)	16	0,71774	(0,421997; 1,58100)
Organization and Management (OM)	16	0,71774	(0,421997; 1,58100)
Logistics (LOG)	16	1,16450	(0,341442; 5,14361)

Individual confidence level = 99,375%

Tests

Method	Test Statistic	P-Value
Multiple comparisons	-	0,917
Levene	0,24	0,974



Q24 - Identify the grade of relationship between decision areas and Internal Business Perspective with scores from 1 to 5 stars, where 1 star represent a very weak relation, 2 – is a weak relation, 3 – there is a moderate relation, 4 – is a strong relation and 5 – is a very strong relation. For the areas with no relations, dont't check the stars.

Correlation Matrix

	Capacity (CAP)	Quality (QLT)	Facilities and E	Production Plann
Quality (QLT)	0,652			
Facilities and E	0,701	0,346		
Production Plann	0,679	0,320	0,295	
Product Engineer	0,580	0,430	0,664	0,155
Human Resource (	0,869	0,568	0,503	0,640
Organization and	0,453	0,107	0,147	0,833
Logistics (LOG)	0,563	0,432	0,842	0,184
	Product Engineer	Human Resource (	Organization and	
Human Resource (	0,563			
Organization and	-0,155	0,320		
Logistics (LOG)	0,700	0,275	0,184	

Cell Contents: Pearson correlation

Item and Total Statistics

Variable	Mean	StDev
Capacity (CAP)	3,500	1,087
Quality (QLT)	3,333	1,155
Facilities and Equipment (FE)	3,833	0,835
Production Planning Control (PC)	4,000	0,739
Product Engineering (PE)	3,417	0,793
Human Resource (RH)	3,667	1,155
Organization and Management (OM)	4,000	0,739
Logistics (LOG)	3,583	0,669
Total	29,333	5,314

Cronbach's alpha = 0,8712

Omitted Variable	Adj.		Item-Adj.		Squared		Cronbach's Alpha
	Adj. Total Mean	Total StDev	Total	Corr	Multiple Corr	Corr	
Capacity (CAP)	25,833	4,282	0,9375	0,9198	0,8147	0,8147	0,8147
Quality (QLT)	26,000	4,573	0,5682	0,8551	0,8665	0,8665	0,8665
Facilities and Equipment (FE)	25,500	4,719	0,6691	0,9544	0,8516	0,8516	0,8516
Production Planning Control (PC)	25,333	4,830	0,6116	0,9437	0,8583	0,8583	0,8583
Product Engineering (PE)	25,917	4,814	0,5815	0,9551	0,8604	0,8604	0,8604
Human Resource (RH)	25,667	4,376	0,7676	0,9401	0,8390	0,8390	0,8390
Organization and Management (OM)	25,333	5,015	0,3436	0,9676	0,8806	0,8806	0,8806
Logistics (LOG)	25,750	4,883	0,6057	0,9802	0,8601	0,8601	0,8601

Test for Equal Variances: Capacity (CA; Quality (QLT; Facilities a; Production P; ...

Method

Null hypothesis All variances are equal
 Alternative hypothesis At least one variance is different
 Significance level $\alpha = 0,05$

95% Bonferroni Confidence Intervals for Standard Deviations

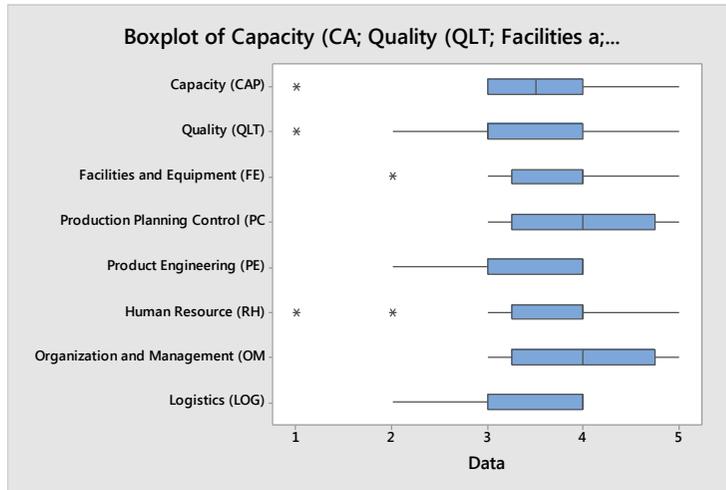
	Sample	N	StDev	CI
Capacity (CAP)	16	1,08711	(0,507771; 3,01432)	
Quality (QLT)	16	1,15470	(0,614460; 2,81029)	
Facilities and Equipment (FE)	16	0,83485	(0,394082; 2,29052)	
Production Planning Control (PC)	16	0,73855	(0,462709; 1,52671)	
Product Engineering (PE)	16	0,79296	(0,361687; 2,25153)	
Human Resource (RH)	16	1,15470	(0,449558; 3,84113)	
Organization and Management (OM)	16	0,73855	(0,462709; 1,52671)	
Logistics (LOG)	16	0,66856	(0,245333; 2,35955)	

Individual confidence level = 99,375%

Tests

Method	Test	
	Statistic	P-Value

Multiple comparisons - 0,818
 Levene 0,58 0,768



Q25 -Identify the grade of relationship between global energy efficiency measure and the perspectives of this research, with scores from 1 to 5 stars, where 1 star represent a very weak relation, 2 – is a weak relation, 3- is a moderate relation, 4 – is a strong relation and 5 – is a very strong relation. For the areas with no relations, dont't check the stars.

Correlation Matrix

	Social Perspecti	Economic Perspec	Environmental Pe	Internal Busines
Economic Perspec	0,650			
Environmental Pe	0,650	1,000		
Internal Busines	0,644	0,638	0,638	
Innovation and L	0,743	0,686	0,686	0,820

Cell Contents: Pearson correlation

Covariance Matrix

	Social Perspecti	Economic Perspec	Environmental Pe	Internal Busines
Social Perspecti				
Economic Perspec				
Environmental Pe				
Internal Busines				

Social Perspecti	0,96970				
Economic Perspec	0,54545	0,72727			
Environmental Pe	0,54545	0,72727	0,72727		
Internal Busines	0,42424	0,36364	0,36364	0,44697	
Innovation and L	0,45455	0,36364	0,36364	0,34091	
	Innovation and L				
Innovation and L	0,38636				

Item and Total Statistics

Variable	Mean	StDev
Social Perspective	3,333	0,985
Economic Perspective	4,000	0,853
Environmental Perspective	4,000	0,853
Internal Business Perspective	3,583	0,669
Innovation and Learning Perspec	3,750	0,622
Total	18,667	3,499

Cronbach's alpha = 0,9174

Omitted Variable	Adj. Total Mean	Adj. Total StDev	Item-Adj. Total Corr	Squared Multiple Corr	Cronbach's Alpha
Social Perspective	15,333	2,708	0,7386	0,5893	0,9174
Economic Perspective	14,667	2,741	0,8555	1,0000	0,8844
Environmental Perspective	14,667	2,741	0,8555	1,0000	0,8844
Internal Business Perspective	15,083	2,968	0,7521	0,6842	0,9080
Innovation and Learning Perspec	14,917	2,968	0,8253	0,7628	0,8988

Test for Equal Variances: Social Persp; Economic Per; Environmenta; Internal Bus; ...

Method

Null hypothesis All variances are equal
 Alternative hypothesis At least one variance is different

Significance level $\alpha = 0,05$

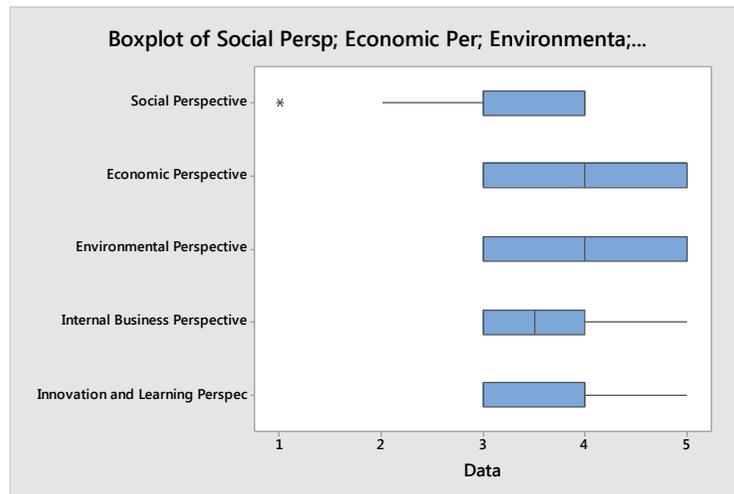
95% Bonferroni Confidence Intervals for Standard Deviations

	Sample	N	StDev	CI
Social Perspective		16	0,984732	(0,364030; 3,39185)
Economic Perspective		16	0,852803	(0,627115; 1,47669)
Environmental Perspective		16	0,852803	(0,627115; 1,47669)
Internal Business Perspective		16	0,668558	(0,368212; 1,54568)
Innovation and Learning Perspec		16	0,621582	(0,366432; 1,34258)

Individual confidence level = 99%

Tests

Method	Statistic	P-Value
Multiple comparisons	-	0,658
Levene	0,39	0,813



**APÊNDICE D – ARTIGO APRESENTADO E PUBLICADO NOS ANAIS DO 22º ICPR -
INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRODUCTION RESEARCH, EM JULHO DE 2013.**

PROPOSITION OF A STRATEGIC MANAGEMENT SYSTEM FOR ENERGY

Abstract ID: PSMG10708

F. C. Fenerich¹, S.E.G. da Costa², E.P. de Lima³

Production Engineering, Pontifical Catholic University (PUC), Curitiba, Paraná, Brazil

Abstract

The satisfaction of human needs is directly linked to energy use, which can be derived from many sources. However, in industrial terms, we must manage the energy use so that we can save and maximize its use. To manage the use of energy, it is possible to create indicators that identify the efficient use of this resource, implying a strategic operation management. The objective of this study was to propose a theoretical energy performance measuring system – conceptual, involving the importance of energy management, working in a sustainable environment development. Therefore, it is important to identify through a systematic review of literature, which are the most used models for energy management, which are the main contribution and most cited authors; transporting them to the scene of operations, so that the focus of the literature review was to analyze the content. Therefore, the dimensions of performance (energy efficiency, sustainability and operations management) were characterized, as well as the decision areas of production system. The proposed model try to relate the parameters of generation, transmission and distribution of energy that impact on energy consumption by the end user, with the performance dimensions characterized previously. The main contribution of the paper was to propose a model of performance measurement that can be easily used by operation systems, in order to monitor the consumption of energy, expanding the basis for a decision. As future work, it is proposed the application of the model, trying to validate it empirically.

Keywords: Measurement system, energy, operations

1 Introduction

It is known that the energy, in its many faces, is vital for human survival, as well as the transformation of raw materials in manufacturing or services. According to Schonsleben et al (2010), the manufacturing industry is a major consumer of energy, requiring around 31% of primary energy, such that the business areas that are heavily affected by the values of raw materials, energy and also by the change in demand, and this is one reason to try to optimize the use of energy, enjoying it as much as possible. The maximum use of energy as well as the contemporary scene (which involves changing market) indicates the need for a system to manage energy consumption in production environments, so that companies can not only remain stable in market, but also to raise their competitiveness [31].

The indicators are defined as a value calculated from various parameters, providing information about some phenomenon (OECD, 1993 apud PATLITZIANAS, 2008). The indicators related to energy try to relate energy use, human activity, and it can present impacts on economic, social and market. A large part of the energy indicators correlate the energy (or

carbon) in each activity, or end use, as a measure unit (PATLITZIANAS, 2008) [36].

According to Neves and Leal (2010), the new energy is an emerging paradigm where energy chain, based on a centralized large-scale production of fuels and electricity, is replaced by a decentralized approach to energy management, which in turn is changed in energy policies and differentiated actions of government.

A system for measuring energy consumption in a production environment, can focus the efforts of a decision to the exact point of the problem and can contribute to the business strategy, benefiting production costs, as well as the work organization. Thus, the research aims to propose a system for measuring energy performance in production environments, based on a literature review with focus on the use of energy performance indicators, having as the object of study, the productive environment.

2 METHODOLOGY

To start the search, it was chosen to do a systematic review of the literature in order to identify materials relevant to the topic addressed and synthesizing information selected. The research question was

addressed in the search: what are the performance indicators used to measure energy efficiency in production environments and how are they developed?

The knowledge in this research was built around the following research steps:

- Selecting the portfolio literature;
- Systematic analysis of the portfolio;
- Elaboration of the research objectives.

For the selection of the portfolio literature, pairs of keywords aligned to the subject of research, and database for searching were defined. Regarding keywords, it was used the following pairs of search:

<i>Energy</i>	<i>Efficiency</i>
<i>Energy</i>	<i>Indicators</i>
<i>Energy</i>	<i>Management</i>

The database selected was SCOPUS, because it contains large number of journals in the area of research. To refine the search, it was defined subareas of research (engineering, energy, economics, econometrics and finance, business management and multidisciplinary), the languages (Portuguese and English), years to search (2003 to 2013) and delineation of key words.

In SCOPUS database, the search of the pair Energy + Efficiency resulted in 8551 articles. After refine the search resulted in 1098 articles. The pair Energy + Indicators resulted in a major number of articles, 2636, and after refinement resulted in 720. Finally, yet in the database SCOPUS, the pair Energy + Management result in 26 articles after all refinement. For each pair, it was made the first selection of articles by reading the titles, repeated items were excluded, then held on reading the abstracts to finally get to the relevant research, which resulted in an amount of 39 articles.

A systematic analysis of the portfolio was made considering the methodology of content analysis, which according to Moraes (1999), "it is a method used to describe and interpret the content of all types of documents and texts." This methodology is divided into five stages, the first being the stage of preparation, which consists in finding the material relevant to the research, the second step consists in defining the unit of analysis, which can be a word, a phrase or a theme, which in this case was defined as measuring system energy performance, and the object of study was production systems [43]. The third step is the categorization, which functions as a stratification of the selected material, in this case the categories used were: sustainability, energy efficiency and operations management. The fourth step of the methodology of content analysis consists in a description of the material under analysis, and finally, the fifth and final stage, is the Interpretation of material, which should reach a deeper understanding of the content through interference and interpretation [43]. For this step four research questions were

prepared, which describe the proposed text also evaluating the quality of the material. The research questions were: (RQ1) Does the paper propose practical feasible? (RQ2) Does the work describe indicators of energy? (RQ3) Does the study use a reference model for developing a system for evaluating energy performance? (RQ4) Does the study recommend formalizing a process or system deployment evaluation of energy performance?

In preparation of the research objectives sought to identify the material of the portfolio, that can be a basis for the construction of the proposed article. It also Included a chart with total articles and selected bar chart with the magazines, with bases and a picture with the article source (base) and the name, line graph with years of articles.

3 LITERATURE REVIEW

According to Pokrovsky (2003), the energy should not only be regarded as an intermediate product that contributes to the value of the products, but rather as a factor of value creation, which must be entered in the list of conventional factors, as well as capital and labor. In some industries, such as metallurgical, chemical, aluminum production, and others, the energy factor is the most important intermediate factor of the process [42].

Most of the energy consumption in manufacturing companies is related to the production equipment of the factory floor. This energy can be managed and analyzed by monitoring these devices, using a system of energy management in production environments. Once energy is considered as a necessary factor of production in manufacturing companies, energy resource management can be conducted through a series of activities, such as estimating the required amount of energy, measurement of energy consumption and analysis of energy efficiency (Lee et al, 2012).

According to Gorp (2004) a specific system of energy management (EEM) that supports the strategic management of energy, including modeling, forecasting, energy use, cost analysis, and verification measures, and this information can enable the firm to greater understanding of the current energy performance, planning, measures of cost effective energy, which are the values of the measures implemented and verification of what was accomplished. An EEM system provides process support power management by capturing data on energy performance to form a database, it also provides the information needed for formulating energy performance goals and indicators generates keys for energy performance [41].

The relative "energy" and "volume production", where energy is a determinant of the physical process (such as chemical or heat-based), is positive, ie, the more it produces, the greater the energy consumption [41]. During the literature review, it was sought to work on content analysis methodology, where the first two stages consist of "Material Preparation" and "Analysis Unit", steps already described in the methodology. In

general, analyzing items in the portfolio, it can be observed, as shown in Figure 1, most articles were published in 2012. Considering the current date research, it can be seen a slight trend of publications on the topic addressed in 2013.

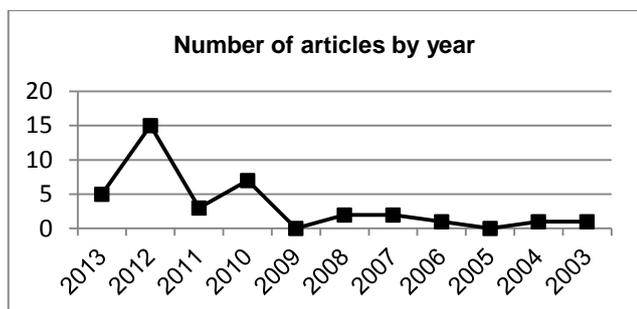


Figure 1. Graph the amount of paper in energy management versus year.

In relation to magazines more frequently in the research, one can highlight the Applied Energy with 18.9% of the articles selected for the portfolio, the Renewable and Sustainable Energy Reviews appears with 13.5%; annals CIRP Annals - Manufacturing Technology with 10.8%; magazine Energy, Energy Economics, Energy Efficiency with 5.4% of all articles, each. The other magazines stand out with only 2.7% of articles, which indicates only one article per magazine. The relative number of articles per magazine can be seen in Figure 2.

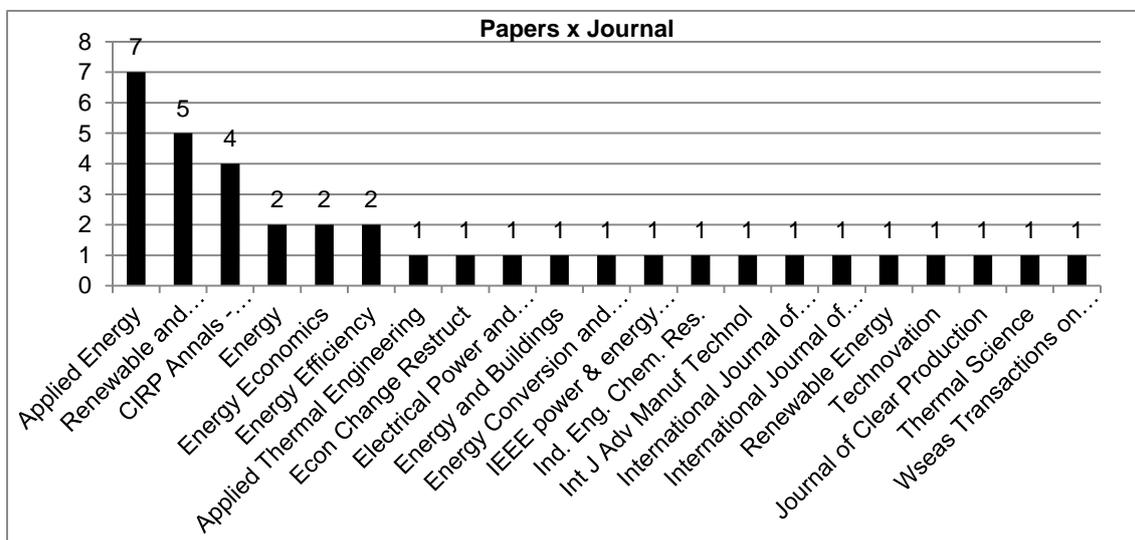


Figure 2. Graph of the number of articles published by the journal.

Following the steps of the methodology of content analysis, the third step is related to "Categorization", that is a way of stratifying the sample acquired. In this Categorization, articles were subdivided into: articles

related to sustainability, the ones related to energy efficiency -, and those related to operations management. Table 1 presents the articles related to energy efficiency.

Table 1. Description and classification of articles listed in the category "Energy Efficiency".

Article	Category: Energy Efficiency		RQ 1	RQ 02	RQ 3	RQ 4
	Authors	Description				
Energy in the theory of production	Vladimir N. Pokrovski	Present a theoretical model that simulates the production and consider the factors: capital, labor and energy.			x	
Slow technologies and government intervention: Energy efficiency in industrial process technologies	Esther Luitena, Harro van Lenteb, Kornelis Blokb	Four case studies are presented involving new technologies in industrial processes. Shows that the relationship between				x

Enterprising Energy Management	John C. Van Gorp	new technologies and energy efficiency can be positive, but depends on a number of factors and preliminary studies. Introduces the concept of energy management and the elements that are necessary for a strategic energy management.	x			x
Analysis of Energy Efficiency in PCB Manufacturing Process	Gyu-Bong Lee ¹ , Min-Jae Ko ¹ , and Tae-Jun Ku ¹	Presents a framework for energy management, crossing consumption information and energy efficiency.	x			x
Method for energy and resource balancing demonstrated as an example of the hot sheet metal production process	Angela Goschel, Frank Schieck, Julia Schonherr	Presents a procedure for material and energy balance.	x		x	x
Energy efficiency of cold roll forming process	John Paralikas, Konstantinos Salonitis, George Chryssolouris	Displays an indicator of specific energy efficiency for electric motors, obtained from an analytical model of deformation material.		x	x	
An on-line approach for energy efficiency monitoring of machine tools	Shaohua Hu, Fei Liu, Yan He, Tong Hu	Proposes a procedure for monitoring energy efficiency in machines by developing a system (OEEM).			x	x
Quantifying the savings of an industry energy efficiency programme	Caiman J. Cahill, Brian P. Ó Gallachóir	Model for calculating energy efficiency, considering the following factors: activity, structure and intensity.	x	x		
Energy efficiency, sustainability and economic growth	Robert U. Ayresa, Hal Turtonb, Tom Casten	Introduces the concept of energy efficiency and sustainability.				
Analysis of energy consumption and indicators of energy use in Bangladesh	Joarder Mohammad, Abdul Munim, bul Hakim, Md. Abdullah-Al-Mamun	Analysis of energy consumption through indicators of agriculture and residential energy consumption.	x			
An approach for model-based energy cost analysis of industrial automation systems	Andreas Beck, Peter Göhner	Model for reducing the cost of energy, using it to lift a study of the parameters that influence the cost.		x		x
Modeling international trends in energy efficiency	David I. Stern	Stochastic production model for calculating energy efficiency, highlighting the two most important factors that affect the energy and intensity of emissions, technological changes and the			x	

Identifying Factors of Energy Usage in Taiwan	Jui-Chen Yu, Hung-Jen Yang, Lung-Hsing Kuo, Hsieh-Hua Yang	replacement of energy for human capital. Seeks to identify energy efficiency indicators in four areas: economic efficiency, safety and environmental.		x		x
Development of an energy management system for a naphtha reforming plant: A data mining approach	David Velazquez, Rocio Gonzalez-Falcon, Luis Perez-Lombard, L. Marina Gallego, Inigo Monedero, Felix Biscarri	Describes the development of an energy management system, showing that data mining helps to characterize the energy performance of an industrial plant, identifying the key issues that influence the variables indicators.	x	x		x

Legend: (x) an affirmative answer.

Looking at Table 1, it can be seen that none of the articles studied responded positively to the four research questions, however, it is possible to detach that some articles have a positive affirmation for three

of the four questions. Similarly, Table 2 presents the items listed in the category "sustainability" with proper description of each, as well as answers to research questions for qualification of articles.

Table 2. Description and classification of articles listed in the category "sustainability."

Category: Sustentability

Description	Description	Description	RQ 1	RQ 02	RQ 3	RQ 4
Energy for sustainable development: A case of developing countries	Kamil Kaygusuz	Survey of theoretical pursuit of sustainable processes, highlighting their importance in the economic business and in the society.				
Energy sustainability indicators for local energy planning: Review of current practices and derivation of a new framework	Ana Rita Neves, Vitor Leal	It presents a framework that can be used for the development of sustainability indicators related to energy use, relating three dimensions: environment, economy and social.	x	x	x	
The changing concept of sustainability and economic opportunities for energy intensive industries	Schonsleben P., Vodicka M, Bunse K, Ernst F. O.	A conceptual research that proposes two strategies: reactive and proactive, also highlights the social, economic and environmental.	x		x	
Sustainable energy policy indicators: Review and recommendations	Konstantinos D. Patlitzianas_, Haris Doukas, Kagiannas, John Psarras	Presents a review of sustainability indicators related to energy use.	x	x	x	

The role of pumped and waste heat technologies in a high-efficiency sustainable energy future for the UK	Christos N. Markides	Review of several solutions proposed for energy sustainability, such as: clean production, solar, wind, and others.			
Methods of measuring sustainable development of the German energy sector	Holger Schlör, Wolfgang Fischer, Jürgen-Friedrich Hake	It uses a set of indicator involving economic, social and ecological dimension to build a sustainability indicator.	x	x	x
Energy indicators for sustainable development in Baltic States	Dalia Streimikiene, Remigijus Ciegis, Dainora Grundey	Uses a conceptual framework with energy indicators for sustainable development, to analyze trends, set goals for energy management policies, and monitoring progress.	x	x	x
Comparative study of sustainability of the electrical power industry in Mexico and its northern border region	Patricia Navarro Alvaradoa, Jesus Fernando Hinojosa Palafoxa, Miguel Angel Vazquez Ruizb	Application of economic indicators, social and environmental over 13 years to compare the sustainability of the electric industry.	x	x	x

Legend: (x) an affirmative answer.

Table 3 presents the articles listed in the category "operations management", describing and classifying them.

Some articles of the portfolio were not classified because during the reading, was identified that they didn't present a real contribution to this research.

Table 3. Description and classification of articles listed in the category "operations management".

Description	Category: Operations Management					
	Description	Description	RQ 1	RQ 02	RQ 3	RQ 4
Energy consumption and economic development in Sub-Saharan Africa	Ellene Kebede, John Kagochi, Curtis M. Jolly	Presents a model of energy consumption as a function of time, relating GDP, population growth, the value of commodities, among other variables.	x	x	x	
Strategic perspectives on energy management: A case study in the process industry	Martin Rudberg, Martin Waldemarsson, Helene Lidestam	Presents important aspects in strategic issues and operational tactics in an energy management system.	x			x
Assessment of the energy and economic performance of second generation biofuel production processes	Stefan Heyne, Simon Harvey	Created a systematic way to evaluate performance of a biofuel production process, using different scenarios, and can	x	x	x	

using energy market scenarios An aggregated energy security performance indicator	Jutamanee Martchamadol, S. Kumar	account for energy and economic performance. Development of performance indicator of energy security for a country considering 25 indicators divided into three dimensions: social, economic and environmental.	x	x	x
Energy models for demand forecasting—A review	L. Suganthia, Anand A. Samuelb	Presents a review of energy management models based on mathematical logic, introducing the variables of each, as well as relevant points. The models presented relate energy, economy and environment.			x
Improving the prediction of UK domestic energy-demand using annual consumption-data	Keith J. Baker, R. Mark Rylatt	Using a survey, the text describes the factors that influence the demand for electricity in a house, highlighting the determinants.	x		x

Legend: (x) an affirmative answer.

4 PROPOSAL AND DISCUSSION

On the preparation of the proposed energy management system in production environments, it was taken as the basis, the additional literature review, the ISO 50001:2011, which is a standard that establishes some requirements for an energy management system (SGE), which according to ISO itself, it is the way that the organization must implement an energy policy, establish objectives, targets and action plans related to energy use. This standard is based on the PDCA structure (plan, do, check, act), seeking to develop a planning energy management systems that can be continuously improved [22].

According to ISO 50001:2011, Energy performance indicators (EPI) may include the energy consumption by time, energy consumption per unit of output or a model with multiple variables related to energy. Figure 3 is a model representation of the energy management system according to ISO 50001:2011. In general, this ISO may contribute to more efficient use of available energy sources, increase of competitiveness of companies and also to the reduction of greenhouse environmental impacts.

The Figure 3, shows not only works with NRB energy performance, but energy policy, working in a more comprehensive way. According to ISO 50001:2011, "this standard can be applied to any organization that wishes to ensure that conforms to its stated energy policy and demonstrate such conformity and others." The use of indicators of energy consumption in an industrial plant contributes to the reduction of energy

consumption and cost, however, is not always that such indicator is aligned with production. Analyzing the theoretical revision raised in this research, it can be seen a clearly gap in the literature about energy management on the shop floor environment.

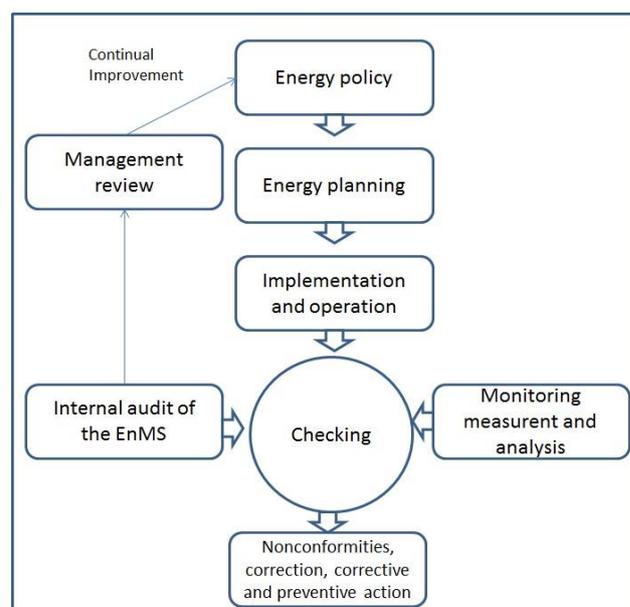


Figure 3. Energy management system model by ISO 50001:2011 [22].

Analyzing each of the categories highlighted in the review, regarding the "Energy Efficiency" and

"Operations Management", it can be highlighted the common use of the following variables to calculate energy performance for: capital, time, labor, consumption energy inputs and outputs. In the category "Sustainability" it can be highlighted the presence of three dimensions featuring the work of sustainability, namely: economic dimension, social and environmental dimension. Thus, this research propose an adaptation framework presented in ISO 50001:2011, highlighting the dimensions for analysis of energy performance, as well as indicators that can be used in each.

A strategic energy control system should be part of any business strategy. Therefore, it is proposed a

framework, based on the model proposed by ISO 50001:2011 and the dimensions of performance that can be observed in the BSC model, highlighted by Alan Noble (1996) [44]. The framework presented in Figure 4, establishes the connection between the strategy of the functional areas of a business (marketing, production, finance and human resources), as well as areas of decision entered in production strategy. These decision areas (product development, process engineering, maintenance, facilities, and quality) are directly linked to the energy policy of the company, from which it derives a strategic plan for energy and its operations.

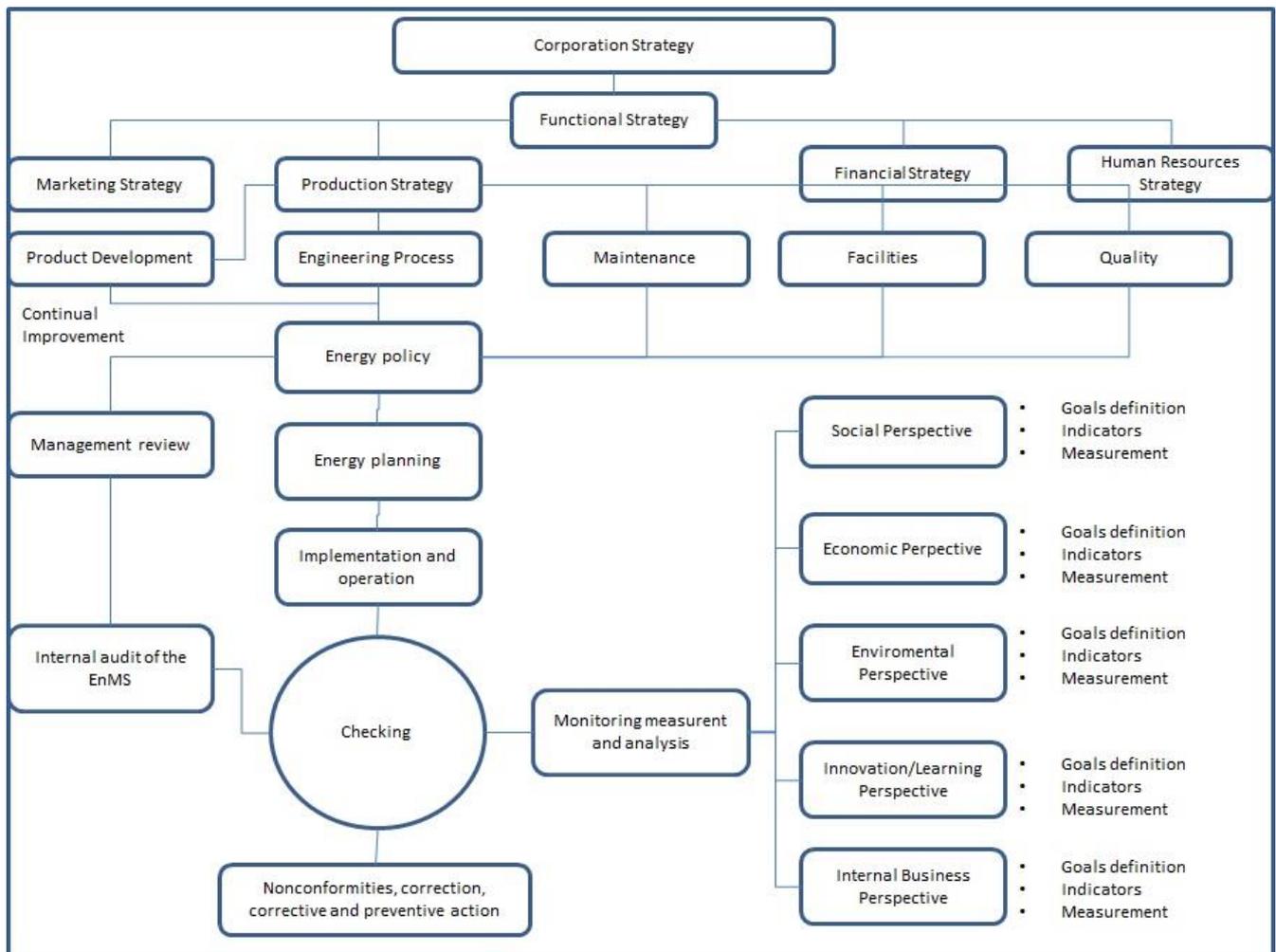


Figure 4. Framework proposed.

To monitor this system, it is proposed five dimensions. (1) Social perspective, which is aligned to production strategy and the human resources strategy. In this dimension there is the possibility of using the relationship between human capital and energy consumption (kWh), because according to Stern (2012), the replacement of human capital for energy can have an impact on energy consumption, so the greater the amount of labor used in the process, the lower should be energy consumption [19]. (2) Economic perspective, is the dimension that is aligned with the following decision areas: product

development, process engineering, maintenance and facilities. For the economic dimension, it is proposed to use three indicators: the relationship between energy consumption (kWh) and quantity of product, or outputs (ton) of the process, the energy cost per ton produced and the ratio of energy consumption (kWh) by production time. The relationship between energy consumption and ton produced may represent the need for energy production unit. Invariably, taking the measure of energy consumption per inputs, may be seeking a productive performance relation, indirectly also conducting a survey of waste and energy

consumption. The involvement of variable energy cost may represent support for the decision, since it is clearly the energy cost for unit produced. Since the ratio of energy

consumption and production time seeks to analyze the intensity of energy consumption, as noted in some studies in theoretical review. (3) Environmental perspective, it represents a way to analyze the environmental impact of the process and is aligned to the area of quality and process engineering. Therefore, it is proposed to use the ratio of CO2 emissions per MWh of electricity generated. (4) Perspective on Innovation / Learning, is primarily associated with all areas of decision highlighted and this dimension can generate indicators that relate to the reduction of energy consumption through the introduction of new technologies (and / or process modifications) , as well as reducing environmental

5 FINAL CONSIDERATIONS

Producing more with less resource and faster has been the major challenge for companies, and therefore, the need for integrated management and alignment between production and energy efficiency, account updates in the management of industrial operations. The use of an energy management system can provide larger gains to the system, optimization of energy use, reducing consumption, reducing costs and environmental impacts. In this regard, the present study suggests the use of six indicators for an energy management system, following the model proposed by ISO 50001:2011 and

6 References

- [1] SCHONSLEBEN P., VODICKA M, BUNSE K, ERNST F. O. The changing concept of sustainability and economic opportunities for energy intensive industries. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 2010.
- [2] PATLIZIANAS, K. D. DOUKAS, H. KAGIANNAS, A. PSARRAS, J. Sustainable energy policy indicators: review and recommendations. *Renewable Energy*, 33, p. 966 – 973, 2008.
- [3] NEVES, A. R. LEAL, V. Energy sustainability indicators for local energy planning: Review of current practices and derivation of a new framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010.
- [4] MORAES, R. Análise de conteúdo. *Revista Educação*, Porto Alegre, v.22, n.37, 9.7-32, 1999.
- [5] POKROVSKI, V.N. Energy in the theory of production. *Energy*, 2003.
- [6] LEEL, G. B. KOL, M. J. KUL, T. J. Analysis of Energy Efficiency in PCB Manufacturing Process. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 2012.
- [7] GORP, J.C.V. Enterprising Energy Management. *IEEE power & energy magazine*, 2004.
- [8] Internacional Organization for Standardization. Energy Management Systems – Requirements with guidance for use: ISO 50001:2011.
- [9] GHALAYINI, A.M. NOBLE, J.S. The changing basis of performance measurement. *International Journal of Operations & Production Management*. Vol 16, n8, 1996.
- [10] STERN, D. I. Modeling international trends in energy efficiency. *Energy Economics*, 2012.
- [11] TANGEN,S. Performance measurement: from philosophy to practice. *International Journal of Productivity and Performance Management*. Vol 53, n8, 2004.
- [12] HEYNE, S. HARVEY, S. Assessment of the energy and economic performance of second generation biofuel production processes using energy market scenarios. *Applied Energy*, 2013.
- [13] MARTCHAMADOL, J. KUMAR, S. An aggregated energy security performance indicator. *Applied Energy*, 2013.
- [14] RUDBERG, M. WALDEMARSSON, M. LIDESTAM, H. Strategic perspectives on energy management: A case study in the process industry. *Applied Energy*, 2013.
- [15] SCHLOR, H. FISCHER, W. HAKE, J. F. Methods of measuring sustainable development of the German energy sector. *Applied Energy*, 2013.
- [16] VELAZQUEZ, D. GONZALEZ, R. F. LOMBARD, L. P. GALLEGO, M. MONEDERO, I. BISCARRI, F.

- Development of an energy management system for a naphtha reforming plant: A data mining approach. *Energy Conversion and Management*, 2013.
- [17] BECK, A. GOHNER, P. An approach for model-based energy cost analysis of industrial automation systems. *Energy Efficiency*, 2012.
- [18] CAHILL, C. J. GALLACHOIR, B. P. Quantifying the savings of an industry energy efficiency programme, *Energy Efficiency*, 2012
- [19] DUFLOU, J. R. SUTHERLAND, J. W. DORNFELD, D. HERRMANN, C. JESWIET, J. KARA, S. HAUSCHILD, M. KELLENS, K. Towards energy and resource efficient manufacturing: A processes and systems approach. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 2012.
- [20] LUITENA, E. LENTEB, H. V. BLOKB, K.. Slow technologies and government intervention: Energy efficiency in industrial process technologies. *Technovation*, 2006.
- [21] GOSCHEL, A. SCHIECK, F. SCHONHERR, J. Method for energy and resource balancing demonstrated as an example of the hot sheet metal production process. *Manufacturing Technology*, 2012.
- [22] GVOZDENAC, D. D. SIMI, T. S. About the Serbian energy efficiency problems. *Thermal Science*, 2012.
- [23] HU, S. LIU, F. HE, Y. HU, T. An on-line approach for energy efficiency monitoring of machine tools. *Journal of Clear Production*, 2012.
- [24] KAYGUSUZ, K. Energy for sustainable development: A case of developing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012.
- [25] LOMBARDA, L. P. ORTIZB, J. O. MAESTREC, I. R. CORONELA, J. F. Constructing HVAC energy efficiency indicators. *Energy and Buildings*, 2012.
- [26] MARKIDES, C. N. The role of pumped and waste heat technologies in a high-efficiency sustainable energy future for the UK. *Applied Thermal Engineering*, 2012.
- [27] PARALIKAS, J. SALONITIS, K. CHRYSOLOURIS, G. Energy efficiency of cold roll forming process. *International Journal Advanced of Manufacturing Technological*, 2012.
- [28] POPESCU, D. BIENERT, S. SCHUTZENHOFER, C. BOAZU, R. Impact of energy efficiency measures on the economic value of buildings. *Applied Energy*, 2012.
- [29] RERAT, C. PAPADOKONSTANTAKIS, S. HUNGERBUHLER, K. Estimation and Analysis of Energy Utilities Consumption in Batch Chemical Industry through Thermal Losses Modeling. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2012.
- [30] SUGANTHIA, L. ANAND, A. S. Energy models for demand forecasting—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012.
- [31] ALVARADOA, P. N. PALAFOX, J. F. H. RUIZB, M. A.V. Comparative study of sustainability of the electrical power industry in Mexico and its northern border region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011.
- [32] TSEKOURAS, G. J. TSAROUCH, M.A. TSIREKIS, C.D. SALIS, A.D. DIALYNAS, E.N. HATZIARGYRIOU, N.D. A database system for power systems customers and energy efficiency programs. *Electrical Power and Energy Systems*, 2011.
- [33] YU, J. C. YANG, H. J. KUO, L. H. YANG, H. H. Identifying Factors of Energy Usage in Taiwan. *Wseas Transactions on Power Systems*, 2011.
- [34] KEBEDE, E. KAGOCHI, J. JOLLY, C.M. Energy consumption and economic development in Sub-Saharan Africa. *Energy Economics*, 2010.
- [35] MARTÍNEZ, C. I. P. Analysis of energy efficiency development in the German and Colombian food industries. *International Journal of Energy Sector Management*, 2010.
- [36] MOHAMMAD, J. MUNIM, A. HAKIM, B. MAMUN, M.A.A. Analysis of energy consumption and indicators of energy use in Bangladesh. *Econ Change Restruct*, 2010.
- [37] NEVES, A. R. LEAL, V. Energy sustainability indicators for local energy planning: review of current practices and derivation of a new framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, pp. 2723 – 2735, 2010.
- [38] SCHONSLEBEN P., VODICKA M, BUNSE K, ERNST F. O. The research on performance management for new energy project oriented company based on information system in China. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 2010.
- [39] SCHONSLEBEN P., VODICKA M, BUNSE K, ERNST F. O. The research on performance management for new energy project oriented company based on information system in China. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 2010.
- [40] USÓN, S. VALERO, A. CORREAS, L. Energy efficiency assessment and improvement in energy intensive systems through thermoeconomic diagnosis of the operation. *Applied Energy*, 2010.
- [41] KONSTANTINOS D. PATLITZIANAS, H. D. KAGIANNAS, A.G. PSARRAS, J. Sustainable energy policy indicators: Review and recommendations. *Renewable Energy*, 2008.
- [42] BAKER, K.J. RYLATT, R.M. Improving the prediction of UK domestic energy-demand using annual consumption-data. *Applied Energy*, 2008.
- [43] AYRESA, R.U. TURTONB, H. CASTEN, T. Energy efficiency, sustainability and economic growth. *Energy*, 2007.
- [44] STREIMIKIENE, D. CIEGIS, R. GRUNDEY, D. Energy indicators for sustainable development in Baltic States. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2007.
- [45] Organization for Economic Co-operation and Development Environment Directorate – OECD. OECD core set of indicators for environmental performance reviews. OECD Environment Monographs, 83. Paris, France, 1993

**APÊNDICE E – ARTIGO APRESENTADO E PUBLICADO NO EVENTO: THE 23º
INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRODUCTION RESEARCH – ICPR, EM MANILA, 2015.**

The 23rd International Conference on Production Research

Energy Efficiency in Industrial Environments: A Systematic Review of the Literature

Fenerich, F.C.^a. Costa, S.E.G.^b Lima, E.P.^b. Perroni, M.G.^b

^aUniversidade Estadual de Maringá, UEM, Maringá, Brazil.

^bPontifícia Universidade Católica do Paraná, PUCPR, Curitiba, Brazil

Abstract

The literature can lighten a certain topic, identifying the relevant texts to it, as well as making explicit all the content already proposed to this topic. The main objective of this research was to define the state of the art energy efficiency in industrial environments, using for this systematic review of the literature as a fundamental methodology in the search for material that could enhance our understanding of the subject under study. Once you have selected a portfolio of reading, we attempted to statistically analyze the literature and propose some indicators for analysis.

Keywords: Systematic Review of the Literature, Energy Efficiency, Management.

1. Introduction

Sustaining a competitive position can be based on the greater ability of operations, it is difficult to imitate and often competitors do not even realize this potential effective. To achieve this competitive position must be reinforced to means of appealing to the consumer with the development of an integrated system of support values, skills, technologies, suppliers, relationships, manpower and motivation (Hayes and Upton, 1998).

The indicators related to energy seek to relate the use of energy and human activity, and may have economic, social and market. Much of the energy indicators correlates the energy (or carbon) in each activity or end use, as a unit measure (PATLITZIANAS, 2008).

Patterson (1996) energy efficiency can be calculated from the output ratio and the process input energy. According to the author, energy efficiency indicators may still be divided into four groups: thermodynamic, physical and thermodynamic, economic and thermodynamic and economic. Before this exhibition, you can start an assessment of the need for cohesion of these indicators with the management operations. The insecurity in energy supply and the price rise, climate change and behavioral change has awakened the energy efficiency of the search field, for the inclusion of renewable energy technologies are not always able to ensure the solution of these problems in short term. According to Bunse et al (2011), there are three factors that drive the studies on improvement of energy performance in the industries: the increase in energy prices, new environmental regulations associated CO₂ emissions and consumer change. The main objective of the study was to perform a systematic and structured review of the literature in order to identify the state of the art energy efficiency in production environments.

2. Literature Review

The literature review aims at seeking the concepts and characteristics presented by other authors on the energy performance of management in production environments, from survey studies and practices carried out on the subject. The literature implies an ordered set of search procedures for solutions, aware of the object of study, and therefore can not be random (LIMA and Mioto, 2007).

The bibliometrics is the application of statistical techniques in selected material to form the basis of literature review. According to Lacerda (2012), the concept of bibliometric analysis is the quantitative disclosure of the parameters of a set of selected items.

Through the evolution of information systems, it has become easy and quick use of databases, which are periodic indexing systems, books and theses, conference proceedings, and other documents. Besides the ease in finding theoretical

framework, the search through the base allows the establishment of indicators to visualize the impact of certain journal, for example (Lacerda et al 2012 cited Podsakoff et al, 2005).

It is known that the energy in its many faces, it is vital for human survival, and the processing of raw materials in manufacturing or services. According Schonsleben et al (2010), the manufacturing industry is a major energy consumers, requiring around 31% of primary energy, so that the business areas that are strongly affected by the values of raw materials, energy and also by the demand for change; and this is one reason to try to optimize the use of energy, using it to the maximum. The maximum use of energy as well as the contemporary scene (which involves constant market changes) indicate the need for a system to manage energy consumption in production environments, so that companies can not only remain stable in market, as can also increase their competitiveness.

According to Neves and Leal (2010), new energy is an emerging paradigm where centralized energy chain based on a large-scale production of fuels and electricity is replaced by a decentralized energy management approach; which in turn is in changes in energy policies and different government actions.

3. Metodology

This research, in nature can be characterized as basic of qualitative and quantitative approach, because beyond the comprehension of selected texts, there was mathematical and statistical analyzes of this material. It is also considered as an exploratory research study, conducted by systematic literature search.

According to Sampaio and Mancini (2007), a systematic review of the literature is a form of research characterized by the pursuit of literature about a given topic in a structured way and are particularly useful to integrate the information from a set of studies separately on certain methods or model, and identify issues that need evidence.

For the literature review, according to Lacerda et al (2012), we chose the three stages of division:

- Preliminary Investigation for greater knowledge on the subject and definition of the reasons for this study;
- Selection of articles to compose the portfolio of research;
- Bibliometric analysis of the portfolio of selected items for the theoretical framework.

Making an adaptation to the suggested by Lima and Mioto (2007), for search and selection of library materials were defined some aspects of the survey:

- a) **Parameter theme:** the survey of the existing literature on energy performance management in production environments, where you can highlight the following research questions:
 - QR1.** What are the energy performance indicators used in production environments?
 - QR2.** As the energy performance indicators relate to the areas of decision of a company?
 - QR3.** There is a reference model adopted for the energy performance of management in production environments?
- b) **Language Parameter:** works were selected in Portuguese, English and Spanish.
- c) **Main sources:** databases were selected to research in Capes portal in the area of production engineering and were: Science Direct, Emerald, Springer, IEEE Xplorer, ISI Web of Knowledge, Scopus, Cambridge.
- d) **Types of documents for selection:** scientific articles published in national and international journals and complete scientific articles published in national and international conferences, theses and dissertations.
- e) **Chronological parameter:** the research period was chosen was 2004 - 2014, ie the last ten years of publications, since in preliminary research can be seen that the growth of publications in the area took place from 2009 (Fenerich et al, 2013);
- f) **Keywords:** energy / energy, productivity / productivity, management / management, strategy / strategy.
- g) **Search String:** searches were performed using trios of keywords, which are highlighted in Table 1.

strategy AND energy AND efficiency
strategy AND energy AND operations
strategy AND energy AND management
productivity AND management AND energy
productivity AND indicators AND energy

Table 1. Search strigs.

The definition of information search strategy in databases, either via keywords, author, subject, etc., according to Vilela (2012 apud Tasca et al, 2010), is fundamental to the failure or success of the research. It is in this way that one opts for the use of databases and for the bibliometric study of the selected material to the base of literature.

Reading the articles selected from a literature review should also be directed so that we can have better use of reading content and scope of the review of capacity on the content and quality of the material under study. Thus, we chose to follow the steps proposed by Lima and Mioto (2007 apud SALVADOR, 1986), which guides the following reading:

- a) Reading recognition of publications: performed by reading the title of the material, is characterized for being a quick read that aims to locate the material, information and or / data on the topic;

- b) Exploratory reading: also consists of a quick read that is to identify the information and / or selected data is relevant to the study to be performed, and can be done by reading the summary of the material. At this time we used seven criteria for inclusion material:

CI1. Studies that describe energy performance indicators.

CI2. Studies describing indicators of production performance.

CI3. Studies that describe energy performance systems.

CI4. Studies that highlight energy management practices.

CI5. Studies highlighting procedures adopted in the creation of productive performance systems.

CI6. Studies highlighting procedures adopted for the development of energy performance indicators.

CI7. Studies correlating energy performance and decision areas.

To exclude material the following criteria are used:

EC1. Publications made before the year 2004.

EC2. Publications that do not have the full version available.

EC3. Not scientific publications.

EC4. Publications that do not reach the goal of research.

EC5. Publications repeated.

- c) **Selective reading:** seeks to determine the fact that stuff matters to study, relating it directly to the research objectives. Refers to a more structured and focused reading of the material in its entirety. This reading was directed by the following way:

i. the work identification: bibliographic reference and the work location;

ii. characterization of the work: central theme of the search, of the work objectives, the concepts used and the theoretical framework;

iii. the work contributions for the proposed study;

- d) **Reflective reading or criticism:** assessing the quality of the selected material is guided by the following criteria:

CR1. The paper describes energy performance indicators in production environments.

CR2. The work uses a reference model.

CR3. The work develops or adopts a procedure for the development of energy performance indicators.

CR4. The paper reports recommendations on the use of performance indicators in production environments.

CR5. The work related indicators of productive performance with the decision areas of the company.

This analysis of each material used the following information was extracted:

a) Keywords highlighted;

b) Year of publication;

c) Periodic publication versus amount of selected material;

d) Number of citations of each material;

e) Survey of the most cited authors;

f) Number of articles per author.

This study aims to provide visualization of the main journals that present research in this area of research and the search period will reveal the early development in energy efficiency studies. The survey of the authors and most cited papers give credibility to the material and scientific recognition to the articles selected as the basis for exploratory research study, and facilitate new searches, reducing and directing efforts in an attempt to identify material relevant to this research.

The general description of the systematic review process is shown in Figure 1.

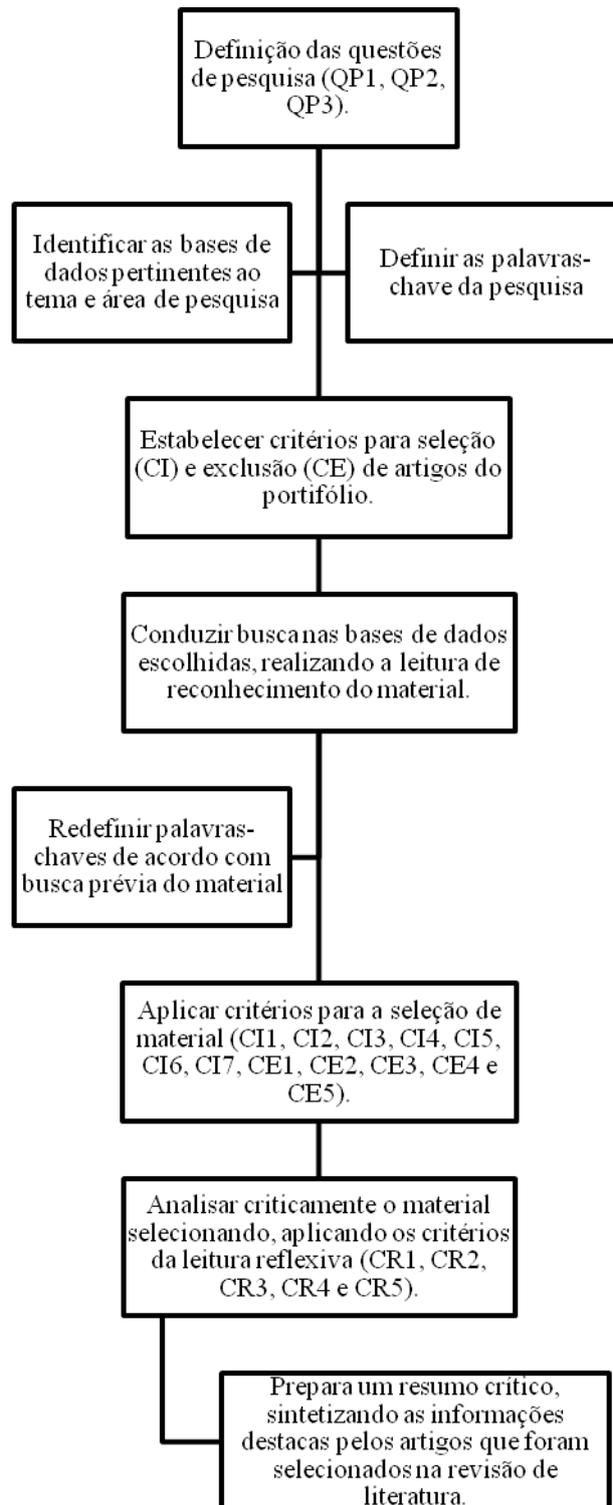


Figura 44. Descrição do processo de revisão sistemática da literatura. Adaptado de Sampaio e Mancini (2007).

4. Results and Discussion

Using the set of keywords selected, sought to material relevant to research in the eight databases (Science Direct, Emerald, Springer, IEEE Xplorer, ISI Web of Knowledge, Scopus, Cambridge and Scielo), applying to them criteria described in the methodology.

According to Du et al (2003) cited by Kinney (2007) bibliometric analysis aims to quantitatively describe the characteristics of scientific and technological content through publications. This literature search was limited between the years 2004 to 2014, however, in prior literature search can find relevant material outside this period, totaling 189 publications that can be highlighted as relevant to the study.

In Figure 2 we can observe the quantity of items found by year. Clearly you can see an increase of literature around the study of energy efficiency in production environments occurred more intensely from the year 2007.

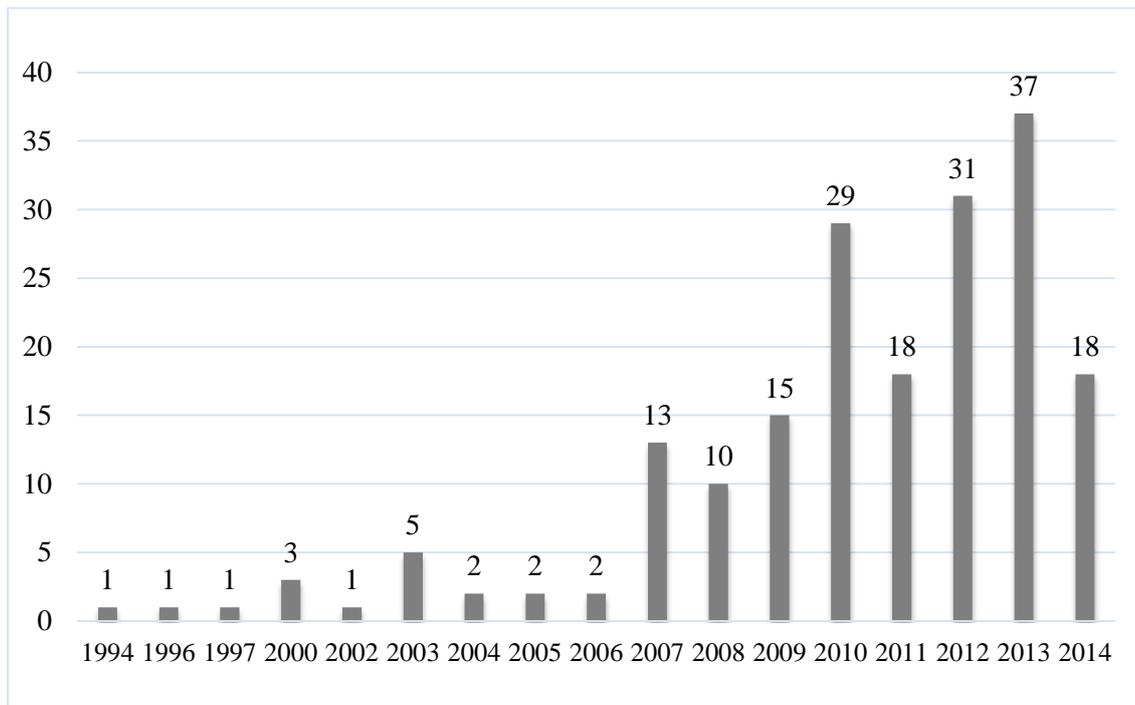


Figure 2. Number of publications per year.

Adopting the same analysis used by Du et al (2013), it was possible to create some indexes based on the number of publications (TP) per year, the amount of authors who appear in these publications (AU) and the number of times these articles are cited (NR). These indices are the average number of authors per article (AU / TP) and the average number of times these articles are cited (NR / TP). These indices can be seen in Table 2.

Year	TP	AU	NR	AU/TP	NR/TP
1994	1	2	257	2,0	257,0
1996	1	1	172	1,0	172,0
1997	1	3	38	3,0	38,0
2000	3	9	451	3,0	150,3
2002	1	2	8	2,0	8,0
2003	5	13	96	2,6	19,2
2004	2	1	2	0,5	1,0
2005	2	4	6	2,0	3,0
2006	2	4	29	2,0	14,5
2007	13	35	300	2,7	23,1
2008	10	32	124	3,2	12,4
2009	15	52	143	3,5	9,5
2010	29	57	420	2,0	14,5
2011	18	64	312	3,6	17,3
2012	31	59	222	1,9	7,2
2013	37	73	51	2,0	1,4
2014	18	51	11	2,8	0,6

Table 2. Characteristics of publications between the period 1994 to 2014. TP is the number of publications per year; AU is the amount of authors per year; NR is the number of citations per year; AU / TP and NR / TP is the average number of authors and citations from articles.

In analyzing Table 2 it can be observed that AU / TP ratio remains very close all years between 2004 and has except for a behavior authors of 2.3 on average per publication. Have NR / TP index allows verification that the articles from 1994 to 2000 are most frequently used, while the 2013 and 2014 articles are cited less, a process extremely natural, given the lead time that has for a publication. Except goods for the years 2004 and 2005, the rest also shows a longitudinal behavior of 15, 8 citations per article.

In Figure 3 are marked with higher productivity countries with regard to energy efficiency and manufacturing.

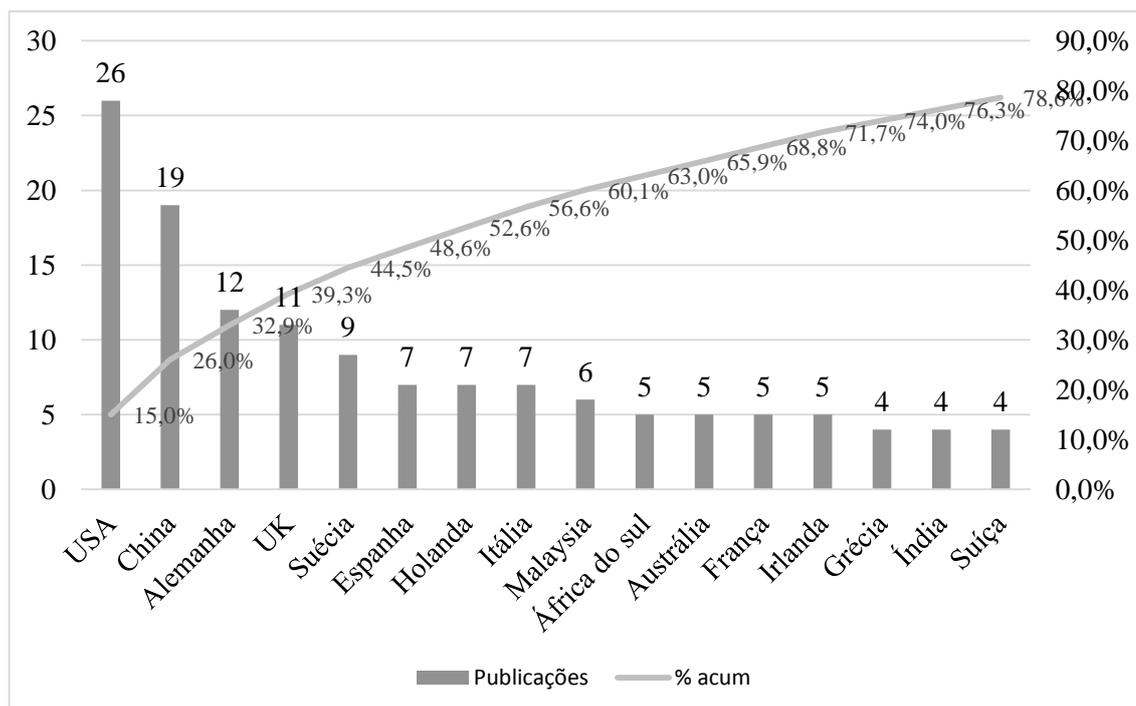


Figure 3. More productive Countries.

Analyzing the graph of Figure 3, the countries with the highest productivity can be highlighted as: USA, China, Germany, European Union, Sweden, Spain, Holland and Italy, totaling 52.6% of the articles used in this research. Note that this graph shows only the countries contributing 78.6% of the publications directed the research, and the remaining countries had only 3, 2:01 publication. The Brazil contributed two publications only.

In Figure 4 there is the relationship between the countries and the number of each of publications per year, so that one can see that the countries with the highest contribution in 2014 were the United States with 5 articles in the year 2013 can highlight Germany and Sweden with 5 items each, in 2012 the USA countries, China, South Africa, Australia and Ireland have 3 posts each, as well as China in 2011. In 2010 we can highlight the production 3 articles each country, USA, Germany and the European Union and China in 2009. In the years between the countries had between one and two articles per year.

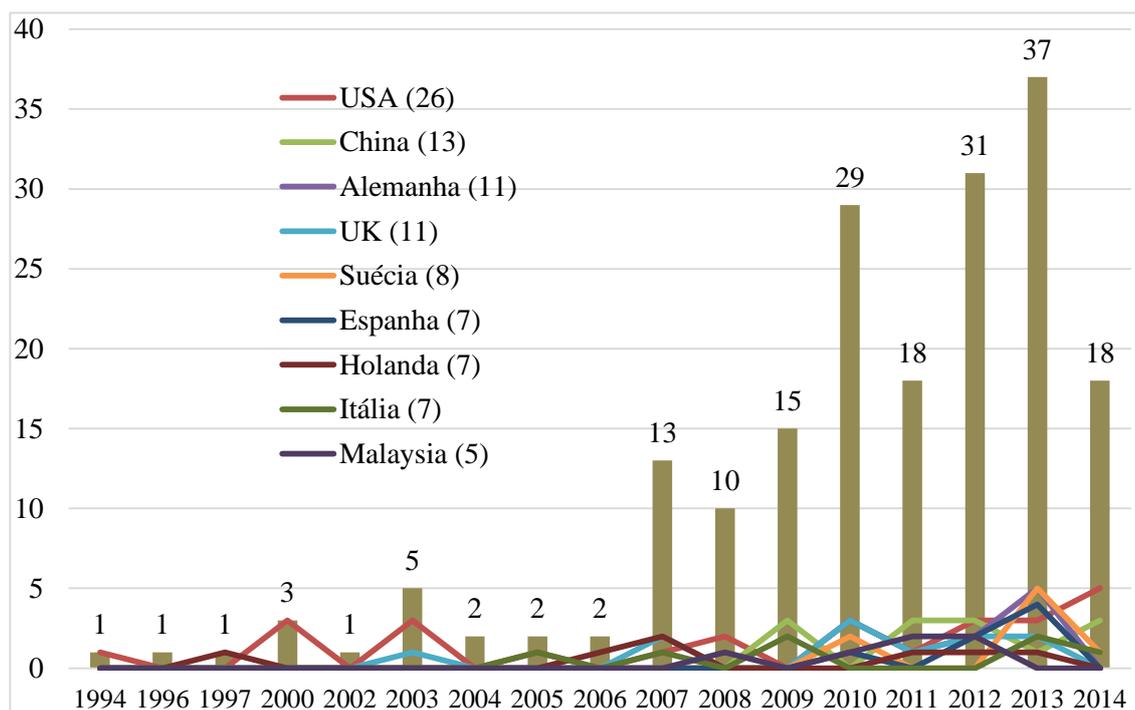


Figure 4. Annual Production number of countries representing 60% of research publications.

Table 3 items are highlighted with the greatest amount of quotes, which may be highlighted the three items with more than one hundred quotes: Energy efficiency and consumption - the rebound effect - the survey, written by Lorna A. Greening, David L. Greene and Carmen Difiglio in 2000; The energy-efficiency gap, written by Adam B Jaffe and Robert N Stavins in 1994 and the article entitled What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues written by Murray G Patterson 1996, both published in the journal Energy Policy, which may also be highlighted as the most relevant to the search, according to Table 4.

Title	Journal	Citations
<i>Energy efficiency and consumption - the rebound effect - a survey</i> (Lorna A. Greening, David L. Greene, Carmen Difiglio)	Energy Policy	357
<i>The energy-efficiency gap</i> (Adam B Jaffe, Robert N Stavins)	Energy Policy	257
<i>What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues</i> (Murray G Patterson)	Energy Policy	172
<i>Estimating the linkage between energy efficiency and productivity</i> (Gale A. Boyd, Joseph X. Pang)	Energy Policy	90
<i>Towards energy and resource efficient manufacturing: A processes and systems approach</i> (Joost R. Duflou et al)	CIRP Annals - Manufacturing Technology	81
<i>A review on energy saving strategies in industrial sector</i> (E.A. Abdelaziz, R. Saidur, S. Mekhilef)	Renewable and Sustainable Energy Reviews	78
<i>Energy use and efficiency in two Canadian organic and conventional crop production systems</i> (J.W. Hoepfner, M.H. Entza, B.G. McConkey, R.P. Zentner and C.N. Nagy)	Renewable Agriculture and Food Systems	78
<i>Productivity benefits of industrial energy efficiency measures</i> (Ernst Worrell, John A. Laitner, Michael Ruth, Hodayah Finman)	Energy	66

<i>Energy models for demand forecasting—A review</i> (L. Suganthi, Anand A. Samuel)	Renewable and Sustainable Energy Reviews	62
---	--	----

Table 3. Most cited articles on the research.

In Table 4 are marked journals with the greatest amount of relevant publications to the topic under study, the Energy Efficiency being, Energy Policy, Applied Energy and International Journal of Energy Sector Management major. Table 4 shows only the 21 journals totaling 70.8% of the publications, being most relevant. Table 4 can also be checked the impact factor (IF) of each of the featured journals, where you can highlight the journal Renewable and Sustainable Energy Reviews with higher IF, being 5.51.

Journal	N° of articles	% accumulated	IF	Ranking
<i>Energy Efficiency</i>	15	9,3%	2,466	1
<i>Energy Policy</i>	13	17,4%	2,629	2
<i>Applied Energy</i>	10	23,6%	3,915	3
<i>International Journal of Energy Sector Management</i>	10	29,8%	NA	4
<i>Journal of Cleaner Production</i>	8	34,8%	2,43	5
<i>Int J Adv Manuf Technol</i>	8	39,8%	1,779	6
<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>	8	44,7%	5,51	7
<i>Energy and Buildings</i>	6	48,4%	2,046	8
<i>Energy</i>	5	51,6%	3,597	9
<i>Facilities</i>	5	54,7%	NA	10
<i>Energy for Sustainable Development</i>	4	57,1%	2,36	11
<i>CIRP Annals - Manufacturing Technology</i>	3	59,0%	2,828	12
<i>Management of Environmental Quality: An International Journal</i>	3	60,9%	NA	13
<i>Applied Thermal Engineering</i>	2	62,1%	2,88	14
<i>Environmental Practice</i>	2	63,4%	NA	15
<i>IEEE Computer Society</i>	2	64,6%	NA	16
<i>International Journal of Physical Distribution & Logistics Management</i>	2	65,8%	NA	17
<i>Journal of Facilities Management</i>	2	67,1%	NA	18
<i>Procedia CIRP</i>	2	68,3%	NA	19
<i>Smart and Sustainable Built Environment</i>	2	69,6%	NA	20
<i>Supply Chain Management: An International Journal</i>	2	70,8%	NA	21

Table 4. Ranking of the leading journals in the context.

On a year-over-year analysis of the journals representing 51.6% of the publications, can be noted that most of the work of the Energy Efficiency were published in the years 2012, 2013 and 2013 with 4 jobs per year. Have the journal Energy Policy was presented the highest frequency of work, with publications in almost every year of the survey except 2012 and 2014. The journal Applied Energy had lower frequency of publications, but with greater intensity, with 2 work in 2007 , 3 in 2010, four in 2013 and one in 2014. The Journal of Cleaner Production also had greater intensity publication in 2013 with 4 works, and the periodic Int. J. Adv. Manuf. Technol. who presented 4 papers in 2013 and 4 in 2014. Other prominent journals in Figure 5 had between one and two publications per year.

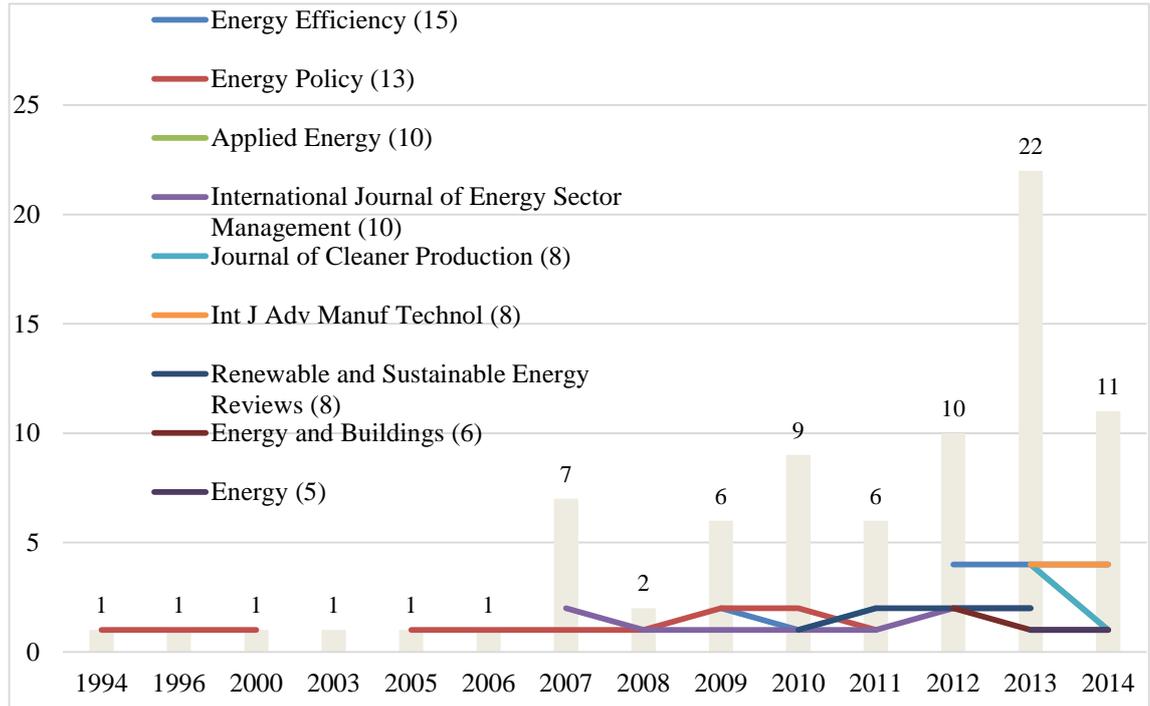


Figure 5. Number of publications per year of the main journals.

In Figure 6 the main journals of the research are highlighted, with a representation of 70.8%.

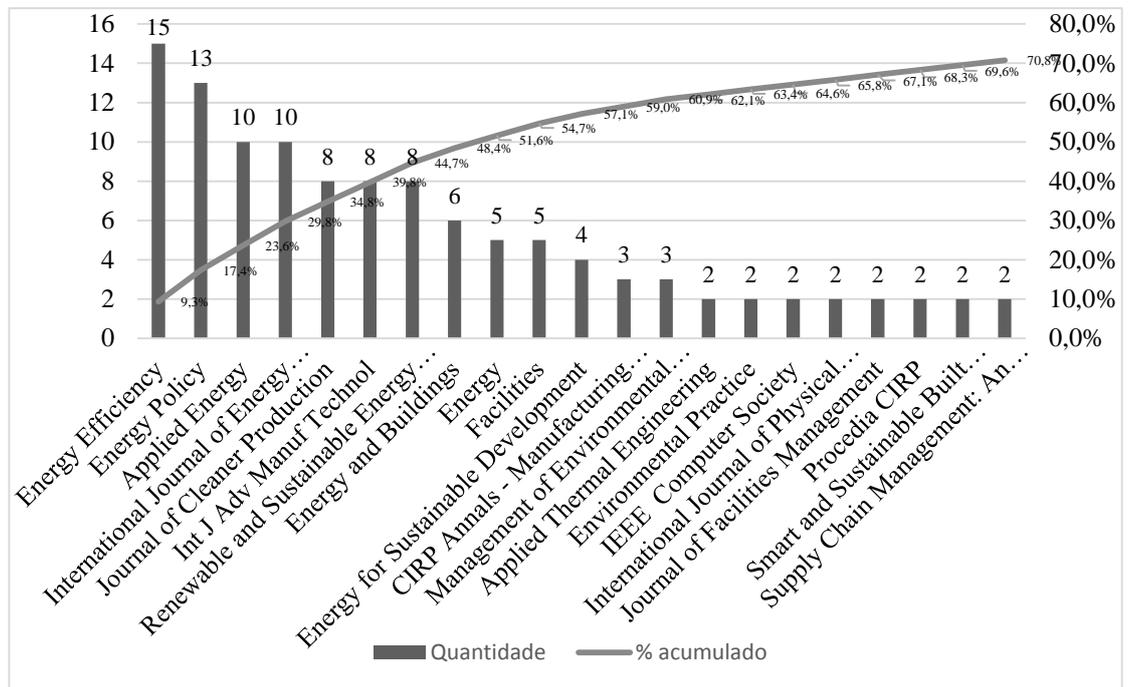


Figure 6. Ranking of journals that presented more relevant research publications.

In the Table 5 shows the institutions that contributed to the survey, with an Institution Swedish Linköping University the greatest impact, presentations 6 publications, double the rest who are ranked among the 21 institutions that produced more on the subject.

Research Institutions	N° of publications	% accumulated	Ranking

<i>Linköping University</i>	6	3,55%	1
<i>Tsinghua University</i>	3	5,33%	2
<i>Universidad de Sevilla</i>	3	7,10%	3
<i>University of California</i>	3	8,88%	4
<i>University of Malaya</i>	3	10,65%	5
<i>University of Patras</i>	3	12,43%	6
<i>Utrecht University</i>	3	14,20%	7
<i>BWI Center for Industrial Management</i>	2	15,38%	8
<i>Chalmers University of Technology</i>	2	16,57%	9
<i>Colorado State University</i>	2	17,75%	10
<i>International Energy Agency</i>	2	18,93%	11
<i>Islamic Azad University</i>	2	20,12%	12
<i>National Technical University of Athens</i>	2	21,30%	13
<i>North China Electric Power University</i>	2	22,49%	14
<i>Seoul National University</i>	2	23,67%	15
<i>The Hong Kong Polytechnic University</i>	2	24,85%	16
<i>Trinity College Dublin</i>	2	26,04%	17
<i>TU Dortmund University</i>	2	27,22%	18
<i>University College Cork</i>	2	28,40%	19
<i>University of Pretoria</i>	2	29,59%	20
<i>University of Rome</i>	2	30,77%	21
<i>University of Wuppertal</i>	2	31,95%	22
<i>University of Wuppertal Faculty of Management and Economics</i>	2	33,14%	23

Table 5. Institutions with the highest rates of publications.

Repeating the same analysis with periodic, we can highlight the six main institutions, representing only 14.20% of the published work, but having 3 publications except the Linköping University institution that published 6 papers, of which 2 were in 2010 and 4 were published in 2013, as shown in Figure 7. The institution Tsinghua University published two papers in 2010 and in 2011, as well as the Universidad de Sevilla who published two papers in 2013 and one in 2012. The other institutions highlighted in Figure 7 had only one publication per year.

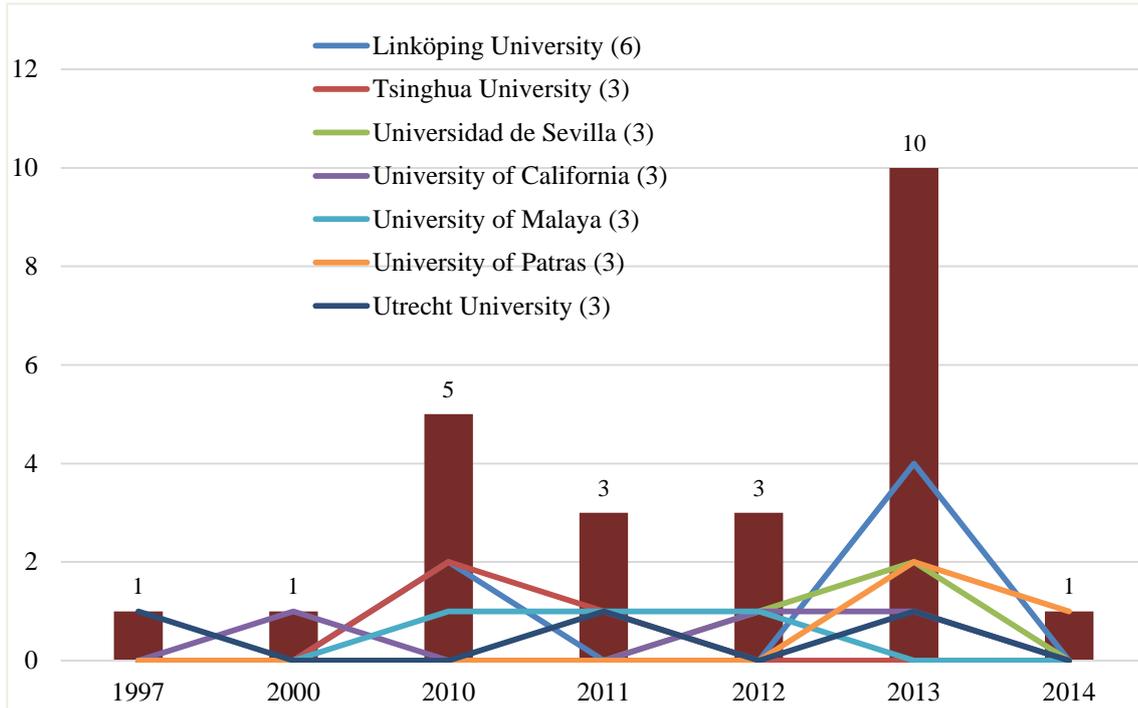


Figure 7. Number of publications per year of the institutions that presented more jobs.

Table 6 can be observed the authors who contributed to this study, with 2 to 5 jobs, among which we can highlight the first 2, Edwin HW Chan who has published 5 articles relevant to the research and Clara Inés Pardo Martínez 4. published authors Charles Goldman, Ernst Worrell, Luis Pérez-Lombard, Queena K. Qian and Patrik Thollander published 3 articles each. The other presented in Table 6, published two articles, each.

Ranking	Author	Qtd	% Accumulated
1	Edwin H.W. Chan	5	0,91%
2	Clara Inés Pardo Martínez	4	1,64%
3	Charles Goldman	3	2,19%
4	Ernst Worrell	3	2,74%
5	Luis Pérez-Lombard	3	3,28%
6	Queena K. Qian	3	3,83%
7	Patrik Thollander	3	4,38%
8	Yong Wu	2	4,74%
9	Andrea Trianni	2	5,11%
10	Arni Halldorsson	2	5,47%
11	Baizhan Li	2	5,84%
12	Brian P. Ó Gallachóir	2	6,20%
13	Caiman J. Cahill	2	6,57%
14	David Velázquez	2	6,93%
15	E. Worrell	2	7,30%
16	Enrico Cagno	2	7,66%
17	Eoin O'Driscoll	2	8,03%
18	Felipe Nunes	2	8,39%
19	Frank O. Ernst	2	8,76%
20	Gale Boyd	2	9,12%
21	Galen Barbose	2	9,49%
22	Garret E. O'Donnell	2	9,85%
23	George Chryssolouris	2	10,22%
24	Helene Lidestam	2	10,58%

25	Igor Bashmakov	2	10,95%
26	James O'Donnell	2	11,31%
27	Joarder Mohammad Abdul Munim	2	11,68%
28	Jochen Deus	2	12,04%
29	John C. Van Gorp	2	12,41%
30	John Psarras	2	12,77%
31	José Ortiz	2	13,14%
32	Kanako Tanaka	2	13,50%
33	Katharina Bunse	2	13,87%
34	Lei Yang	2	14,23%
35	Marcus M. Keane	2	14,60%
36	Marilyn A. Brown	2	14,96%
37	Martin Rudberg	2	15,33%
38	Martin Waldemarsson	2	15,69%
39	Matthias Vodicka	2	16,06%
40	Mikael Ottosson	2	16,42%
41	Naehyuck Chang	2	16,79%
42	Paul Schönsleben	2	17,15%
43	Peng Peng Xu	2	17,52%
44	Pingyu Jiang	2	17,88%
45	R. Saidur	2	18,25%
46	S. Mekhilef	2	18,61%

Table 6. Top authors who contribute to research.

Among the seven main authors, one can make an analysis every year, identifying frequency and intensity of publication, as proposed in Figure 8. The researcher with the largest number of published papers, Ernst Worrell, is also presenting more frequently, and the work published in 1997, 2003, 2011, 2012 and 2014. search Clara Inés P. Martínez presented more publication in 2010 with 3 works and a work in 2013. The researchers Luis Pérez Lombard and Patrik Thollander also showed intensity Posted in 2013 with two works each and in 2012 and 2010, with a job each, respectively. Other researchers presented a publication per year.

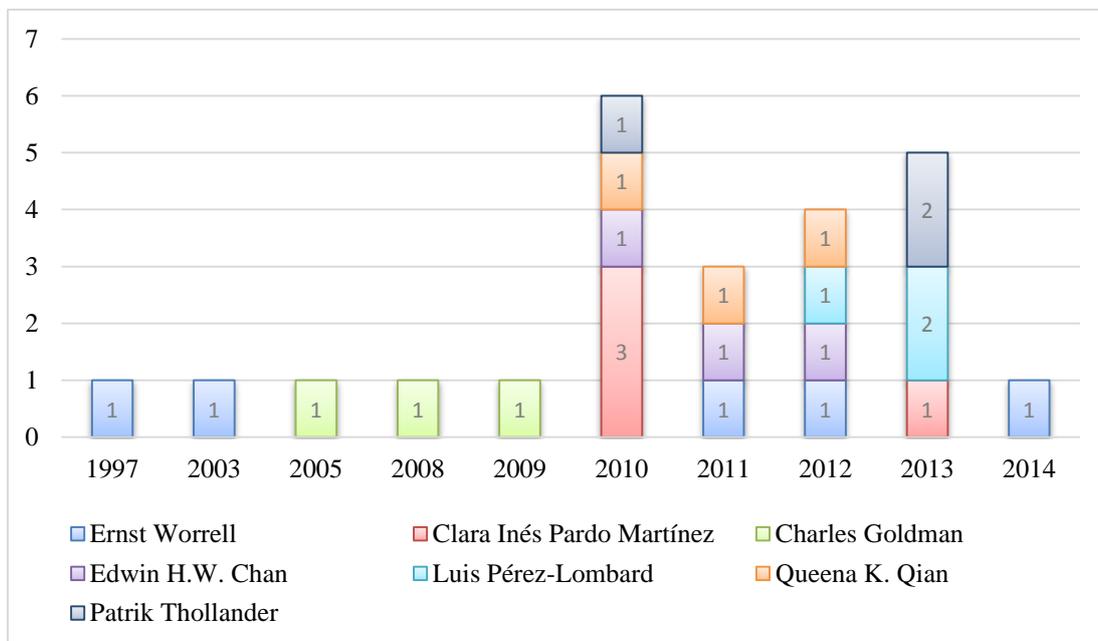
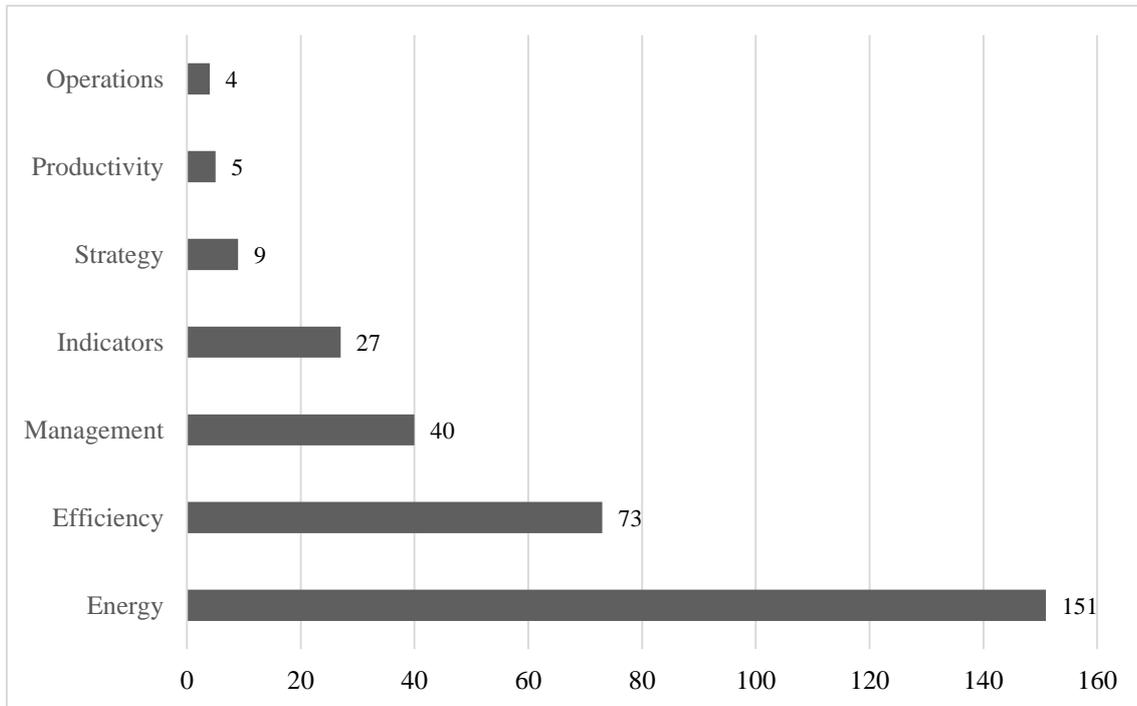


Figure 8. Number of publications per year author, year by year.

Can I still make an analysis as to pairs of words used to conduct the search of the literature (Figure 9) and more appear in the titles of articles (Figure 10). From Figure 9, it can be noticed that the words energy, efficiency, management and indicators are present more often in keywords highlighted by the work of research portfolio. By this observation, one can expect a minimum amount of work that have strategies for power measurement and management systems in production environments, unlike indicators that are present in most articles.

Figure 9. Number of repetitions of keywords present in the search strings.



Looking at Figure 10, it can be perceived again the words with higher frequencies are: energy, efficiency and management, which bought the items selected in the portfolio are consistent with the research theme. Furthermore, noting that the other words which are present in the titles: indicator, sustainability, performance, strategy, manufacturing, saving, production and productivity, suggest that the articles can be categorized into two themes: Operations, Sustainability, in which one can highlight the strategies pursued and the performance indicators used.

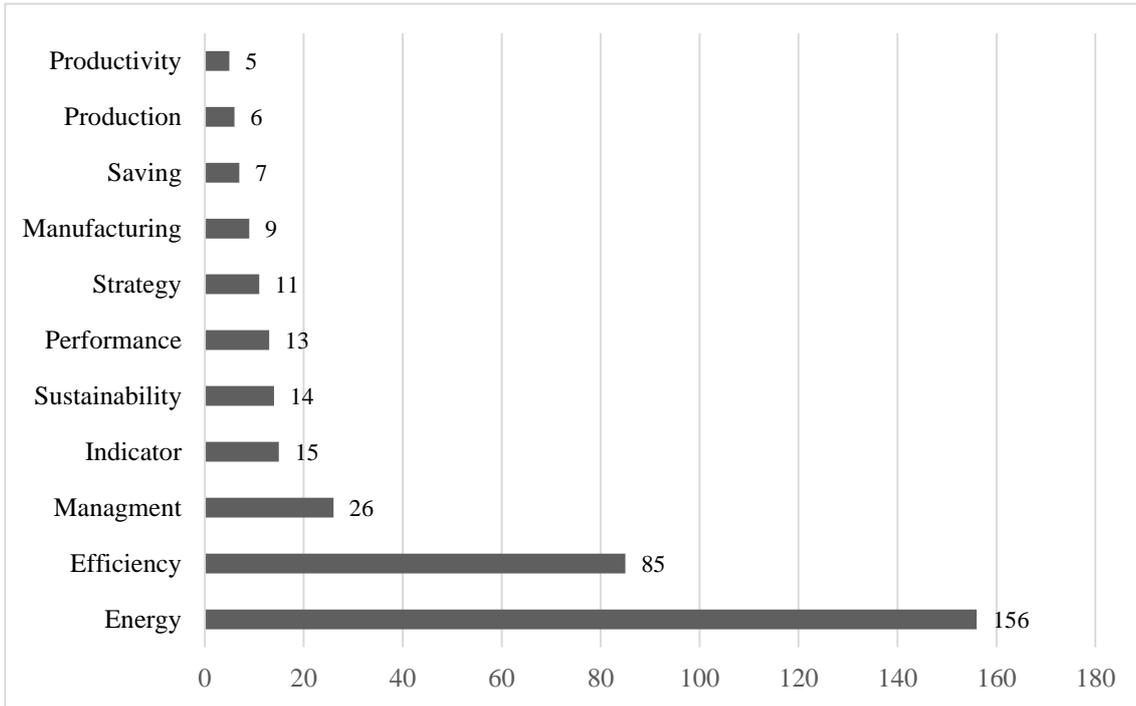


Figure 10. Words which appear in the titles of the selected works.

The portfolio items can be divided into two categories: Sustainability (SU), represented by work related to renewable energy, energy efficiency due to the greenhouse gas emission reduction and the study of other types of energy; and Operations (OP), category represented by the energy efficiency work in manufacturing and service environments. How subcategories, was still possible to categorize the studies: Strategy, where the jobs that have a strategic approach around energy efficiency have been allocated; Indicators, subcategory represented by works that present energy performance indicators and energy management systems in manufacturing environments; Practices, where the works that present practices and recommendations for energy efficiency were allocated. Looking at Figure 11, one can understand that most of the items are part of the category Operations, around 72%, of which 35.3% are related to exposure strategies for energy management in manufacturing, 33.8% with the practices and recommendations for energy efficiency and 30.8% have performance indicators of energy use in manufacturing environments.

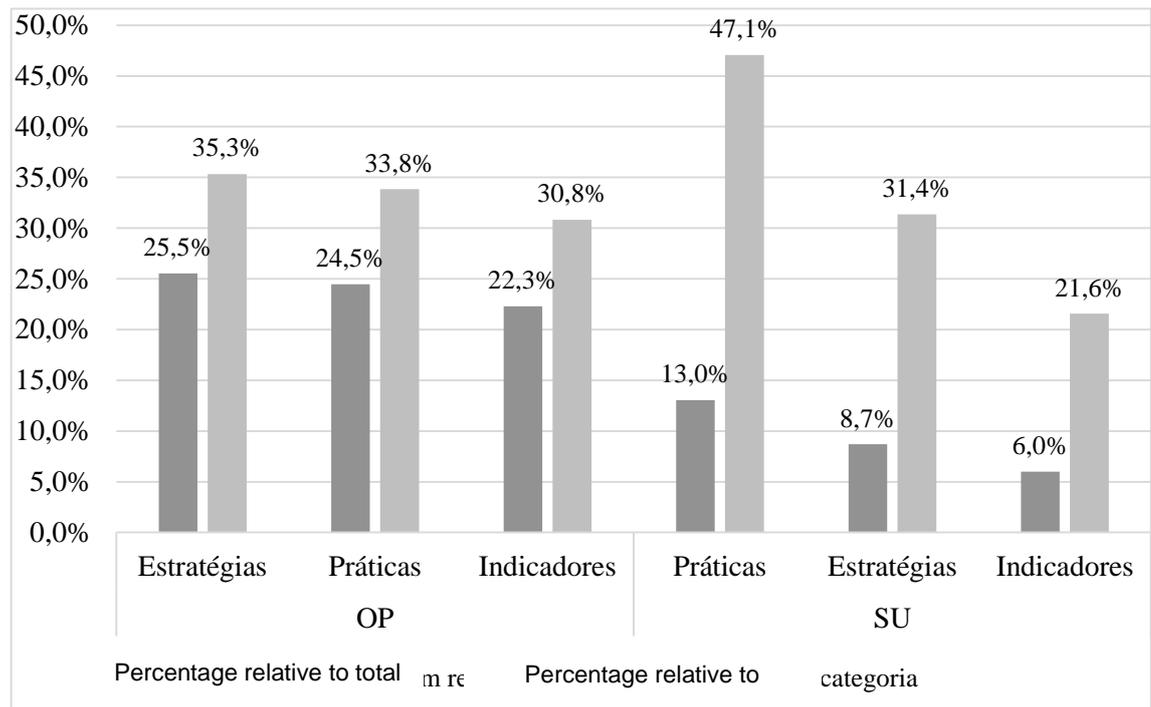


Figure 11. Chart of the categories and subcategories of works selected for study.

5. Final Considerations

Through the proposed analysis, it can be observed that the publications on Energy Efficiency in manufacturing grew from the year 2007, with the United States and China the countries with the highest publication rate. However, the main institution, that is, that has the highest volume in publications, is the Linköping University, Sweden. As for periodicals, the most cited articles were published in Energy Policy, however the journal that had more relevant publications to the theme was the Energy Efficiency.

Note also the creation of the following indices: the number of publications (TP) per year, the amount of authors who appear in these publications (AU) and the number of times these articles are cited (NR), the average number of authors per paper (AU / TP) and the average number of times these articles are cited (NR / TP) suggested by Du et al (2013).

This study was able to present an overview of publications on energy efficiency in manufacturing, by working with the authors, institutions, countries, years, journals and citations. Suggests a continuation of the study, expanding the search terms, or working with different sets of keywords, so you can make an even more intense scan on theme.

References

- [1] HAYES, R.H. UPTON, D.M. Operations – Based Strategy. California Management Review. v.40, n°4, 1998.
- [2] PATLIZIANAS, K. D. DOUKAS, H. KAGIANNAS, A. PSARRAS, J. Sustainable energy policy indicators: review and recommendations. *Renewable Energy*, 33, p. 966 – 973, 2008.
- [3] PATTERSON, M. G., 1996. What is energy efficiency?. *Energy Policy*, 5 24, pp. 377 - 390.
- [4] BUNSE, K. VODICKA, M. SCHONSLEBEN, P. BRULHART, M. ERNST, F. Integrating energy efficiency performance in production management – gap analysis between industrial needs and scientific literature. *Journal of Cleaner Production*. v.19, 2011, pp 667-679.
- [5] LIMA, T. C. S. MIOTO, R.C.T. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. Ver. Katál. Florianópolis, v.10 n. esp. 2007.
- [6] LACERDA, R. T. de O. ENSSLIN, L. ENSSLIN, S. R. Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. *Gestão da Produção*, São Carlos. V.19, n.1, p.59-78, 2012.
- [7] SCHONSLEBEN P., VODICKA M, BUNSE K, ERNST F. O. The research on performance management for new energy project oriented company based on information system in China. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 2010.

- [8] NEVES, A. R. & LEAL, V., 2010. Energy sustainability indicators for local energy planning: Review of current practices and derivation of a new framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, p. 2723–2735.
- [9] SAMPAIO, R. F. MANCINI, M. C. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. *Rev. Bras. Fisioter.*, São Carlos, v. 11, n°1, jan/fev, 2007. PP 83-89.
- [10] FENERICH, F.C. COSTA, S.E.G. LIMA, E.P. Proposition of strategic management system for energy. *ICPR – Annals – Challenges for Sustainable Operations*, 2013.
- [11] VILELA, L. O. Aplicação do Proknow-C para seleção de um portfólio bibliográfico e análise bibliométrica sobre avaliação de desempenho da gestão do conhecimento. *Revista Gestão Industrial*, v.08, n.01, p. 76-92, 2012.
- [12] TASCA, J. E. et al. Na approach for selecting a theoretical framework for the evaluation of training programs. *Journal of European Industrial Training*, v.34, p.631-655, 2010.
- [13] DU, H. et al., 2013. A bibliometric analysis of recent energy efficient literatures: an expanding and sifting focus. *Energy Efficiency*, 6, pp. 177 - 190.

APÊNDICE F – ARTIGO PUBLICADO EM: REVISTA TECNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA, UNIVERSIDAD DEL ZULIA, DEZEMBRO DE 2016.

Energy Efficiency and Decision Areas: A Cognitive Study of This Relationship

*F. C. Fenerich^{a,b}, S. E. Gouvea da Costa^{a,c}, E. Pinheiro de Lima^{a,c}

Industrial and Systems Engineering, Pontifical Catholic University of Paraná^a. State University of Maringá^b. Federal University of Technology^c, Paraná, Brazil.
fcfenerich@uem.br

Abstract: The energy is a vital factor for the operation of industries, however, the integration of this variable in productive performance measurement systems is found in a limited way in the literature and in practice. However, the impact entailed in energy consumption before some decisions in specific areas, is still unknown in its entirety, therefore, the main objective of the research was to perform a cognitive analysis that relates the decision areas with indicators, procedures and strategies proposed in the literature, for energy efficiency in production processes. Thus, an extensive review of the literature was carried out, structured by a systematic review, from which the texts were selected for analysis of the relationship between energy efficiency and decision areas. It was adopted the decision areas proposed by Skinner (1969) and by Hayes and Wheelwright (1985) and it was possible to extract the existence of the relationship between energy efficiency and all areas, however, some relationship apparently stronger than others.

Key words: Energy Efficiency; Decision Areas; Manufacturing.

1. INTRODUCTION

The efficient use of energy has been featured on the world stage, not only for raised consumption of energy, but also for the economic effect that the lack of an energy program may cause. According to Patterson (1996), the energy efficiency (EE), in the industrial sector, can be measured from the amount of energy required by the process and the amount of products it generates. To Espinosa and Salinas (2008) the industries aims to transform raw material into manufacture by the energy aggregation; in addition, the demand around EE has also grown due to the increased concern for environmental impacts caused by energy use. Some studies show energy security in an indirect contribution to reducing energy use, consequently, the energy efficiency (Tanaka, 2008).

According to Moskalenko et al (2012), an efficient operation can save energy without changing the structure and parameters of the power supply system, so that by means of a detailed investigation, it is possible to identify the devices that are not functioning optimally. The measurement energy systems in a production environment can direct the efforts of a decision-making to the exact point of the problem and can contribute to the business strategy, benefiting the production costs as well as the organization of work.

The performance measurement systems, in turn, are composed by indicators of production performance, organizational, economic, among others, and has been a valuable tool for analyzing the efficiency and effectiveness of industrial operations. However, in most cases, the production indicators do not include the variable energy in their actions. These indicators can be used, for example, to measure the influence that operational changes can have on energy demand or in all activities this resource. These indicators may be an indicative of how energy is related to the economic and technological parameters (Patlizianas *et al*, 2007).

The business strategy commonly aligns with the decision areas of the company, and according to Choudhari (2012), the skills of a production system, depends on some individual decisions, characterized by decision areas of the system. According to Skinner (1969), the decision areas are defined in Plant and Equipment, Production Planning Control, Personnel, Product Engineering and Organization Management. To Hayes and Wheelwright (1985) the decision areas can be allocated into two groups, the structural group, which has the following areas: Capacity, Facilities, Technology and Vertical Integration; and the Infrastructural group, which has the following decision areas: Workforce, Organization, Quality and Planning Production Control.

In this scenario of deficiency integration between various decision areas of a production system and energy efficiency, this study aims to analyze the cognitively literature presented in energy efficiency in production environments and its relation to decision areas, thus promoting a collaborative vision of the strategic decisions and their influences on the energy use in a production system. Therefore, it was chosen to work with the systematic review of the literature and perform cognitive analysis from the perspective of procedures and strategies adopted for management of energy consumption and energy performance indicators.

2. METHODOLOGY

The study began with a systematic literature search, directed by strings search set from the research questions, which were selected texts relevant to the theme of this study for further critical reading. Thus, it is a basic nature research, with qualitative approach and exploratory objectives. In Figure 1, it is possible to observe the steps of the systematic literature review.

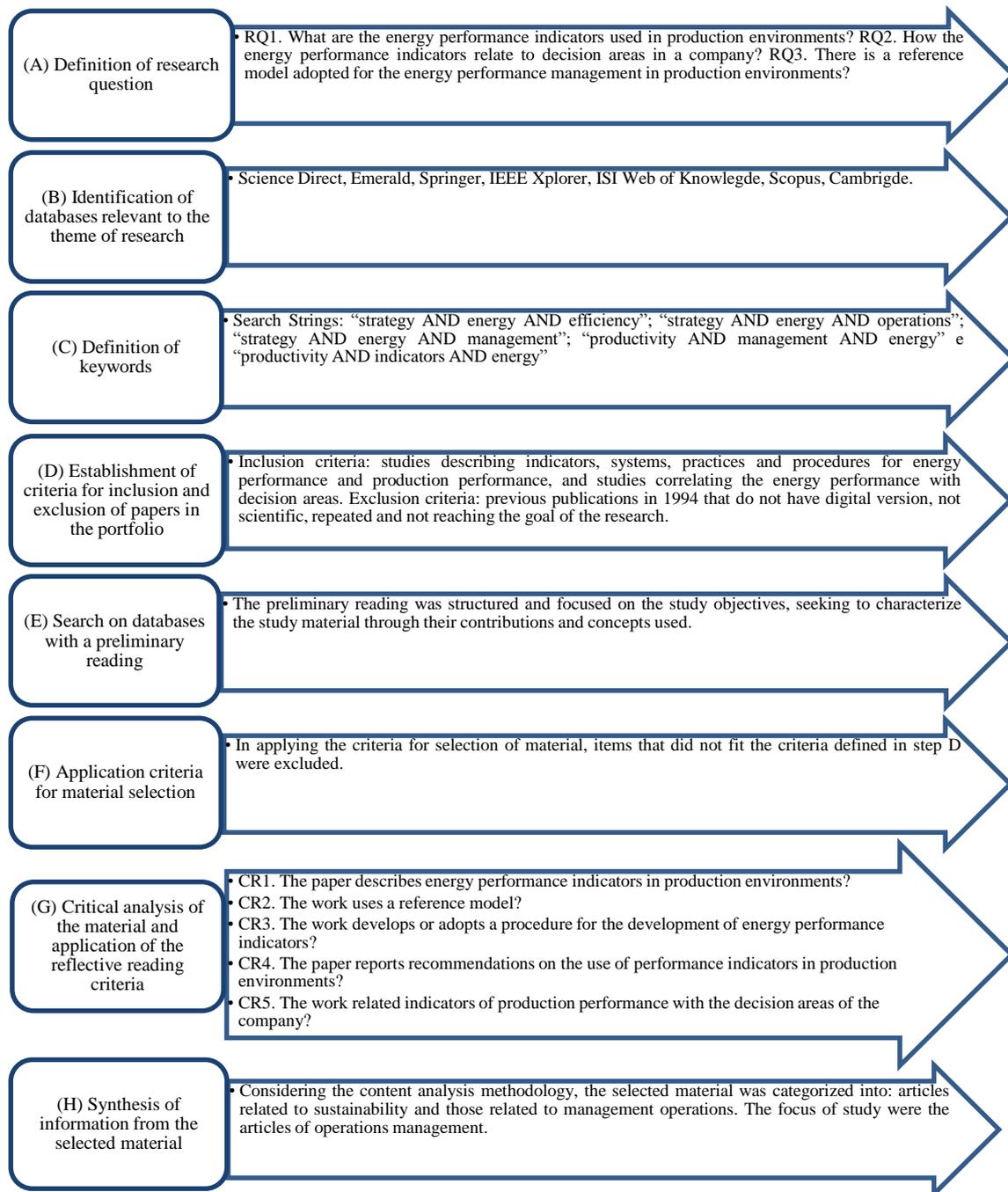


Figure 1. Steps of the systematic literature review, adapted from Sampaio and Mancini (2007).

Using the methodology proposed, it were selected, as relevant to this research, 186 scientific papers published between years from 1994 to 2015 with significant growth from 2007. According to bibliometric analysis, only 20 articles represent 70,2% of all citations of entire portfolio selected and is possible to highlight countries with greater productivity, such as: USA, China, Germany, United Kingdom, Sweden, Spain, Netherlands, Italy, Malaysia, South Africa, Australia, France, Ireland, Greece, India and Switzerland, totaling 78,6% of publications. As the journals that had the highest number of relevant publications to the theme of

this study, the main ones are Energy Efficiency, Energy Policy, Applied Energy, and International Journal of Energy Sector Management. According to Pareto curve, only 21 journals totaling 70,8% of the publications.

According to the categorization defined, 72% of the articles are in the category "Operations Management (OM)", which is the category focus of study, while 28% complete the category "Sustainability (SU)". Of the articles in the "OM" category: 35,3% are related to exposure strategies for energy management in manufacturing; 33,8% with the practices and recommendations for energy efficiency and 30,8% had

used performance indicators for energy in manufacturing environments.

In the next sections, the analysis of portfolio texts will be presented, in order to answer the three research questions defined in the methodology and list the procedures, practices and energy performance indicators with the decision areas defined by literature, through a cognitive analysis. To Varela and Maturana (1992), "this situation, implicitly or explicitly the organization of an object is recognized when indicated or distinguished, it is universal as something done constantly: a basic cognitive act." Thus, cognitive analysis was performed using the knowledge and experience of the authors, considering the decision areas, from the indicators exposed, practices and procedures for energy management and the characteristics of the decision areas outlined by Skinner (1969) and by Hayes and Wheelwright (1985; 1988), summarized in Appendix A.

3. STRATEGIES AND PROCEDURES FOR THE ENERGY MANAGEMENT SYSTEM (EMS) AND DECISION AREAS

According to Wheelwright and Hayes (1985), the following decision areas are capacity, facilities, technology and vertical integration, workforce, organization, quality, planning and production control. To Skinner (1996), the decision areas can be classified into plant and equipment, planning and production control, human resources, product engineering, organization and management. To Corrêa and Corrêa (2009) the decision areas can be divided into product design and service, process and technology, facilities, capacity / demand, workforce and project work, quality, organization, queues and flows, systems planning, scheduling and production control; information systems; supply chains; customer relationship management; performance measures and enhancement systems. Thus, as defined in section 2, it was chosen to work with areas related to both authors: installations (INST), technology (TEC), human resources (HR), quality (QLD), planning production control (PPC), organization and management (OM), logistics (LOG) and product engineering (EP).

Some of the previously described decision areas can be related to the management strategies outlined by Kulkarni and Katti (2010) to promote improvements in energy efficiency, which can cite the energy audit; energy costs; cutout refill; use of materials; maintenance operation; lighting; alternative energy resources; human resources; modernization and energy management.

For the evaluation of energy use in the audit process, which could be related to the area of organization (OM), first, working with the phase of preliminary studies, for only then evaluate the detailed project execution and facilities. The evaluation of strategy cost is based on energy bills that usually feature the monthly energy consumption. The third strategy consists of the analysis of the refill behavior related to the area of systems and technology; the fourth strategy is

to maximize the use of materials and to encourage recycling; the fifth strategy is to optimize the use of components and the sixth strategy relates to lighting the local. The studies of alternative energy sources are presented in the seventh strategy. Training and awareness are also aligned with the organization area and the energy utilization is related to the improvement that can be obtained in the eighth strategy; and finally the last two strategies dealing with upgrading equipment (plant area and technology) and the establishment of procedures and methods for the energy management (OM) (Kulkarni and Katti, 2010).

For Dusi and Schultz (2012), an energy management program must have the participation of all representatives of the company from the board, such as finance, production, maintenance, quality, engineering and others. It is extremely important to engage all employees in all stages of the process. Employees are not only responsible for achieving the program goals, but also acting as program facilitators, promoting communication of goals with their respective departments. To Moreno and Medina (2011) the price of energy is influenced by some factors, as economic, political, social, financial, risk and regulatory conditions, and these factors must receive attention as the strategies areas. The monitoring of energy will know where it is consumed, will also enable the monitoring costs and calculate the amount of energy per each stage of production (KWh\ton). The audit is a key process of the energy management program, as it allows access to action plans, goals achieved and progress of the program. It is suggested that the auditing system assess the following questions: historical data of energy consumption per machine; study of maintenance reports to determine the best and worst facilities; calculation of savings and rate of return and; study of current electrical distribution system. As for goals, it is suggested that they be specific, measurable, attainable, relevant and made in time (Dusi and Schultz, 2012). A generalized cognitive analysis, it can be said that the action strategies on energy efficiency proposed by Dusi and Schultz (2012) are related to the organizational area, however, for the generation of positive results, the authors emphasize the need for participation and integration of the various decision areas.

The ISO 50001: 2011 defines an energy management system as the combination of elements in an organization, with the strategic objectives on energy policy and has the following objectives:

- Representing energy flows transparently;
- Constantly improve energy efficiency through continuous monitoring of energy flow;
- Identify potential energy savings for the accuracy of data;
- Cut energy costs and CO₂ emissions;
- Create a competitive advantage through optimized process guidance for energy consumption;
- Awareness of employees towards the energy

management system and its objectives;

- Verification of legal greetings;
- Provide a basis for tax reduction.

Accordingly, the ISO 50001:2011 proposed actions are the following intrinsic decision areas: organization and management, technology, installations and planning production control.

Moskalenko et al (2012) believe the strategy of a EMS consists of a few basic elements:

a) Monitoring, where energy consumption data are collected and analyzed in order to identify potential energy savings;

b) Automation, automatic process control can provide continuous improvement and detect changes in energy demand and supply energy;

c) Online control, which is the analysis and continuous monitoring of energy,

d) Maintenance and control in order to avoid non programmed stop and;

e) Energy meters.

The concept of energy management is the continuous data collection, evaluation measures and visualization of the results. Therefore, EMS need equipment, communication tools, control systems and customers. The decision areas highlighted in the actions proposed by Moskalenko et al (2012) are technology and planning production control, since it is stressed the need for monitoring and measuring energy consumption, as well as planning the demand.

In study, the authors Rudberg et al (2013) attempted to answer the following questions: a) What issues are important to consider for the establishment of a strategic perspective on the energy system in a company? b) What issues are important to consider getting strategic attention to the energy system in a company? iii. What issues are important to consider obtaining strategic attention on research possibilities to find efficient alternatives to the energy system in a company?

In the first question answer, three points were detached; the first is the need for policy continuity with energy issues, so that the investments can be reduced. Second, it was possible to realize that even the energy issue is not the core business, it can be the core of the business, since the cost of energy is much of the added value. And finally establish an organization containing an energy management that is responsible for energy management of the company, and may incorporate the possibility of integrating energy planning for energy saving initiatives at the corporate level (Rudberg *et al*, 2013). Such a response can be directed by the strategic decisions of the organization and management area, since it is the definition of EE policies.

Answering the second question it were raised four important points to obtaining strategic attention to the company's energy system. The first was the need for centralization of energy planning and accountability of energy efficiency initiatives; potential identification of energy saving and focus on investments with better energy solutions, considering the environmental impacts

in decision-making; focus on efficiency and effectiveness of the energy system (using load management methods, analysis and energy waste disposal).And finally, work with process innovations with regard to the quality of energy and its alternative costs (Rudberg *et al*, 2013). Cognitive analysis can be related to the response of the second question with strategic decisions of technology on product development.

Finally, the last issue addressed by the authors, with regard to research alternatives to energy system efficiency.It was also detached three key strategic points: the location of the companies can influence profitability; the use or reuse possibilities can add the production process in order to transform surplus energy alternative economy, or electricity or district heating, among others. And furthermore, government support that can promote the competitiveness of sustainable energy (Rudberg *et al*, 2013), giving thus greater emphasis to the areas of installations, technology and planning production control.

Some studies show that companies have difficulties in following steps, such as the evaluation of the initial situation due to lack of data, not focus on major energy consumer and derive improvement measures for the same, and implement continuous improvement processes by a lack of interaction of employees. Overall, to Dorr et al (2013) energy management systems should contain: an energy policy with operational and strategic goals; an initial energy legal position; organizational structure, processes and responsibilities; training systems, documentation, communication and reporting; procedure for continuous process improvement and planning system with the planning processes defined.

Based on ISO 50001:2011, Dorr *et al* (2013) propose the components of an energy management system and the use of a framework that defines the system settings, organization, structure and processes. It is considered the place where the power system must be allocated and act in global planning. The operating technical system is the system for actions, measures and achievements, including the observation of objects, such as products, processes and services. Between the framework and the operating system, operates a control system where detailed planning is carried to the various levels and their requirements are broken down into operational goals. The authors seek to relate the energy efficiency project with the necessary extensions in the technical control system, with the goal of creating a technical basis for a continuous improvement of energy efficiency process level (Dorr *et al*, 2013).

As a success factor it may suggest the use of a catalog of measures based on the process that allows reducing energy consumption, acting as drivers in making process-level decision. It is about the creation of a document in process level, with possible general and detailed measures, such as cost savings, amortization, savings potential, process and quality risks, among others; which will operate as an integrated database of

information technology technical control system (Dorr *et al*, 2013).

Analyzing the energy efficiency system, the framework and the EE project proposed by Dorr *et al* (2013), which also has reference to ISO 50001:2011, based on a PDCA model, it appears that for this system causing efficient results, decisions happen strategically in the areas of organization and management, installations and technology.

Considering the historical development of standards aimed at the energy consumption and focusing on the ISO 50001:2011, O'Driscoll *et al* (2013) observed that an energy management system addresses energy efficiency, conservation and performance management, highlighting how main components: strategic plan; management team; identification of energy projects; energy manual and energy performance indicators. In proposals by O'Driscoll *et al* (2013), it is clearly observed the priorities established in the organization and management area, which is also expected to be treated in a work of analysis of strategies and procedures for energy management in environments industrial.

Duflou *et al* (2012) propose a strategic model to increase energy efficiency in manufacturing industries that is divided into three initial stages, which lead to two. The first stage is focused on supply chain, where you have to identify machinery, chain links, material flow, takt time and the available production programs. The second stage refers to an energy analysis of production, highlighting the inputs and outputs and the average energy consumption. In the third stage, there is the energy technical analysis, the identification of relevant equipment, analysis of inputs and outputs and the average energy consumption. These three steps leading to a fourth step, the load profile and energy cost, where work with consumption, cost analysis detailing the composition and contract specifications. Finally, the last stage has an integrated simulation and evaluation of the production system through process modeling, data integration measures and contract specifications and technical considerations. This is a strategic model, focused on organizational and management area, technology, logistics and planning production control.

According to Abdelaziz *et al* (2011), to achieve energy efficiency in the industrial sector, it is necessary to address three strategic issues: energy savings achieved through management for technology and energy policies, intrinsically already addressing the areas of organization and management, as well as technology. Thus, a typical management program must have definition of energy policies, audits, educational plans, reports and strategic plans. In the audit process, it first establishes a team, then the objectives and goals, in sequence gather historical data, the audit is carried out, the results should be in a report from which priority should be given to implementation, establish measures and verify the performance to maintain the measures. This process can ensure control of industrial energy consumption (Abdelaziz *et al*, 2011).

Regarding sustainable development, the search for energy efficiency has been a key issue and has directed great efforts in recent decades to the energy consumption measurements, understanding the impact on energy consumption and around the effective policy design of energy efficiency. Lombard *et al* (2013) suggest that the energy is used in sum, around three bases reasons activity, structure and strength, so that the "activity" means a phenomenon that generates an energy demand. The term "structure" is used to explain the relationship between different activities and the term "intensity" refers to the measure of the amount of energy to be delivered to a unit for service or production of consumer goods. Lombard *et al* (2013) also propose a sequence of actions that are intended to assist and reduce the problems encountered during the development of energy performance indicators such as the quality settings you need to identify what are the quality requirements for each company, so specific, for example, speed of service, safety, comfort, and others. The level of aggregation, hold up work with the pyramid efficiency. In the third step you must select the magnitude of the energy measurement and finally, selecting the measure of greatness (Lombard *et al*, 2013).

Energy efficiency, for Palm and Thollander (2010) has some barriers especially in three perspectives: economic, organizational and behavioral. In the economic dimension are related imperfect information, asymmetric, hidden costs and risks. As for the organizational perspective, we can highlight the lack of managers for energy, negligence led to organizational culture and environmental issues. Finally, the behavioral dimension can highlight the inability to process information, the format of the information, confidence and inertia.

Like Palm and Thollander (2010), Abdelaziz *et al* (2011) also attribute some dimensions to energy efficiency, such as legal dimension, environmental, technological, social-economic, and financial dimension. This division into dimensions implies that energy efficiency programs, training and management are developed on these perspectives, to raise awareness and control of energy consumption and understanding of their impacts (Abdelaziz *et al*, 2011). On the same way, to Bunse *et al* (2011), the use of energy can also be divided into dimensions for better understanding, the social, economic and environmental dimensions. Based on this division it is possible to establish dimensions in the development of energy management system in industrial environments.

Jaffe and Stavins (1994) propose a graphical summary for analysis of gaps in energy efficiency by aligning energy efficiency qualitatively (vertical axis) with the business level (horizontal axis). It finds that between the elimination of market failures through efficient energy technologies, and to obtain benefits from these disposal, there is an extensive field of study that involves economic potential technologies, fault in the energy market, barriers in the energy market and its

effects and the environmental conditions for energy efficiency.

The framework presented by Fenerich *et al* (2013) establishes the connection between the strategy of the functional areas of a company (marketing, production, finance and human resources) as well as the decision areas inserted in the production strategy. These decision areas (product development, process engineering,

maintenance, facilities and quality) are directly linked to the company's energy policy, which derives a strategic plan for energy and its operations. It is based on the energy management system model proposed by ISO 50001:2011 along dimensions of performance that can be observed in the BSC model by Kaplan and Norton (1996) and the sustainable perspectives from Neves and Leal (2010). It can be seen in Figure 2.

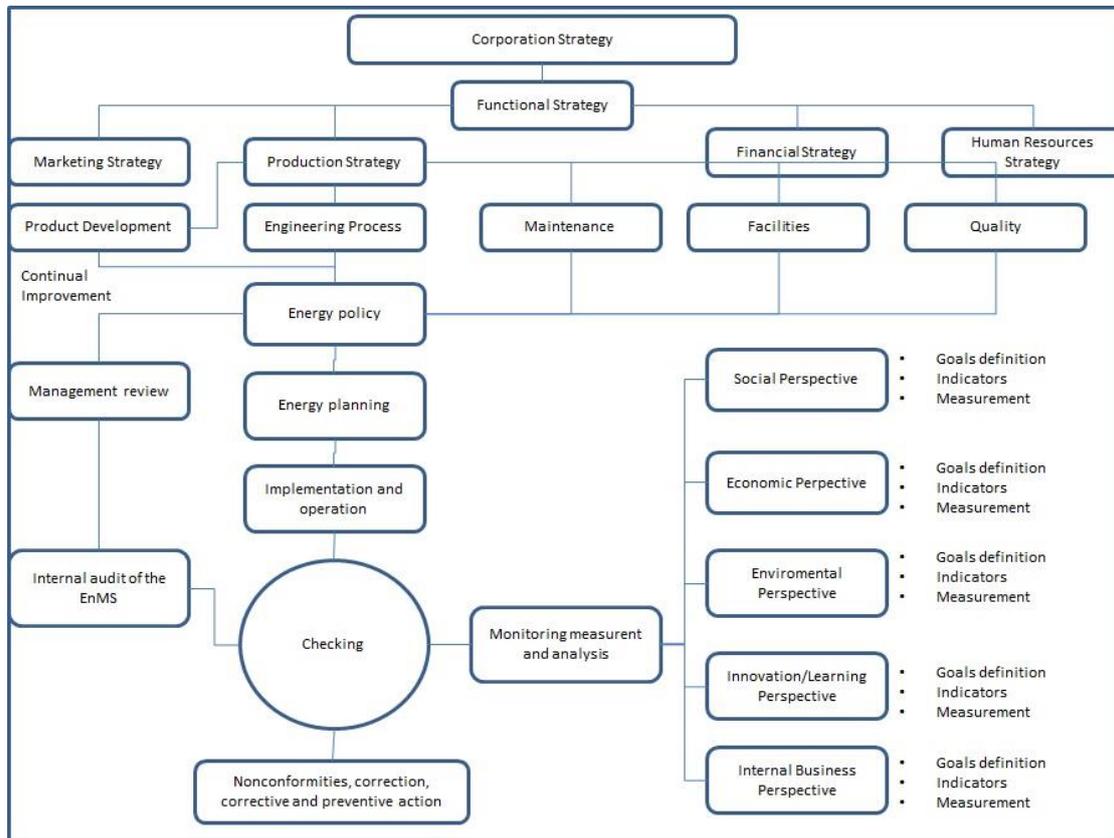


Figure 45. Framework by Fenerich *et al* (2013).

According to Fenerich *et al* (2013) to monitor this system, it is proposed five dimensions. (1) Social perspective, which is aligned with the production strategy and the strategy of human resources. (2) Economic perspective, which is the dimension that is aligned with the following decision areas: product development, process engineering, maintenance and facilities. (3) Environmental perspective, it is a way to analyze the environmental impact of the process and is aligned with the area of quality and process engineering. (4) Perspective innovation / learning is, basically, associated to all decision areas. (5) Internal business perspective is also aligned with all decision areas and

should measure the approach of the results obtained through the activities outlined in production strategy, the planned targets.

3.1 Summary of the Cognitive Analysis of the Strategies and Procedures for Energy Management Systems and Decision Areas

Through cognitive analysis of the topic 3, it can be exposed in a simple and clear in (Figure 3), which decision areas are intrinsically related to energy management models proposed for each of the studied authors.

Authors	OG	INST	TEC	RH	QLD	LOG	EP	PCP
Kulkarni e Katti (2010)								
Dusi e Schultz (2012)								
ISO 50001:2011								
Moskalenko <i>et al</i> (2012)								

Rudberg <i>et al</i> (2013)								
Dorr <i>et al</i> (2013)								
O' Driscoll <i>et al</i> (2013)								
Abdelaziz <i>et al</i> (2011)								
Bunse <i>et al</i> (2011)								
Jaffe e Stavins (1994)								
Palm e Thollander (2010)								
Duflou <i>et al</i> (2012)								
Fenerich <i>et al</i> (2013)								

Figure 3. Summary of decision areas and energy management models

It can be seen in Figure 3, that implicitly or directly, all decision areas appear detached in studies. However, the logistics and quality area are the least noted in the relevant strategies and procedures study. Making a reflection on the proposed models, means the need for alignment mainly to the organization area and management, since this unit of study, these are the strategies and procedures for energy management within the category of operations, according to the methodology used to develop the study. As the areas of technology and installations, which generally involve long-term decisions and high cost, or strategic decisions.

Some models also highlights the need to develop products that are more efficient as energy consumption, also referring to a strategic decision and long-term horizon. Already the mention of the planning production control area, in most cases is related to the planning and control of energy consumption of the production area, seeking reuse of resources, minimizing rework and wasted energy. Aligned with this same analysis, there is the logistics area aimed at integrating the production chain, mapping all material and energy flows. However, it is possible to demonstrate the absence of quality areas and human resources in the proposed models for energy management.

4. INDICATORS OF ENERGY PERFORMANCE AND DECISION AREAS

The indicators are used widely in different fields as tools that provide information on measures of change or process phenomenon. The energy indicators has become a key part in the development of energy policy, since its use allows for a trend analysis with historical data, comparative analysis and performance monitoring of past and present policy. In general, they provide information to assess the consumption and energy changes (Lombard *et al*, 2013).

To Patterson (1996), indicators that can monitor changes in energy efficiency can be divided into four categories: the thermodynamic, physical-thermodynamic, economic-thermodynamic and economic, involving the enthalpy variables, entropy, Gibbs free energy, temperature, energy, and outputs in monetary unit terms. However, these same indicators

were still presenting some limitations, for example, measures the energy efficiency of the general process. In a way, the indicators proposed by Patterson (1996) relate the installations and technology areas when using temperature measurements, Gibbs energy, entropy and output in financial terms, since the change of the structure and type of technology may involve changes in these variables.

Kulkarni and Katti (2010) propose the use of two general indicators, Plant Performance Factor and the Energy Consumed that is the use of energy efficient in general, somewhat stratified on procedures or areas; which also form cognitive believed to be associated with installations and technology areas.

According to Neves and Leal (2010), an energy system that reduces the effects caused to the environment, which increases the opportunities for economic and social development, with a long-term perspective it is the basis of a concept of sustainable energy. In this context, three dimensions can be developed: environmental, economic and social; and proposes the distribution of various indicators in the production chain, such as the use of final energy by sector, the local rate of renewable energy production for local consumption of energy and electricity, the emission of pollutants by transport activities, among others.

The observation that is possible to make in the indicators proposed by Neves and Leal (2010) is that they address almost all decision areas detached in this study, since they present indicators for the entire chain. It has been the policy indicators related to the field of management and organization and other indicators present the production chain, distributed among the areas of logistics, installations, technology, human resources and planning, production control.

Whereas a process has at least seven factors that can vary per product unit energy consumption, namely: equipment, methods of operation, energy category, raw material, management system, energy saving activity and use of production capacity, Wu *et al* (2007) developed an energy efficiency indicator system in process level, considering a mathematical function with seven independent variables. The model is able to distinguish the difference in energy between energy related to the activities and use of process equipment, allowing

qualitative and quantitative analysis and its energy saving values or excessive use due to energy variation in the process. Through the analysis of the variables proposed by Wu *et al* (2007), is possible to extract the relationship with management and organization, facilities, technology, quality, human resources and planning production control areas.

According to Dufrou *et al* (2012), the energy input is a product of a process, water recycle, and emission of gases, solids, liquids and heat. Indicating that these variables can be used for defining energy efficiency indicators of the process, as highlighted in section 3, the proposed strategies and procedures for managing energy efficiency.

The objectives of energy policy for Patlitzianas *et al* (2008) can be divided into three groups; the first is safety chain, which is focused on the discovery of new energy sources and new technologies. The second is a competitive energy market, which takes place for lack of energy deregulation, which allows multiple companies to produce and distribute energy, generating competition that creates the need for regulation of the energy market.

In addition, the third is the environmental protection, which is the goal facing the energy market changes and climate change as well. For each of these three major objectives, Patlitzianas *et al* (2008) recommend some indicators, such as the dependence on imported natural gas, energy generation efficiency, the percentage of renewable primary sources in energy production, and others. From the indicators proposed by Patlitzianas *et al* (2008), it is possible to visualize the management and organization, installations, technology, logistics and planning production control areas.

4.1 Summary of Cognitive Analysis of Energy Performance Indicators and Decision Areas

Incorporating the extracted relations cognitively, the sets of indicators proposed by these authors, Figure 4 was built, in which the clearer information to note is the lack of indicators to the area of Product Engineering. All other areas, indirectly, appear in some of the proposed indicators, and the main areas are the installations and technology.

Authors	OG	INST	TEC	RH	QLD	LOG	EP	PCP
Patterson (1996)								
Kulkarni e Katti (2010)								
Neves e Leal (2010)								
Wu et al (2007)								
Dufrou et al (2012)								
Patlitzianas et al (2008)								

Figure 4. Summary of decision areas and the studies selected for this research.

It is understood that the energy performance indicators related with installations and technology areas are strongly related to energy variable, since these areas are addressed in the company's structure, plant size, type of technology used, production capacity, type and degree of automation of the process, these being features that can raise or lower the energy consumption according to the decision. As for the other areas, it is understood that there is subjectivity in energy consumption, however, the idea of this study is even implicitly, extract the relationship between all decision areas and energy performance indicators.

5. DISCUSSION

The study of the impact of variable energy in the industrial environment, arouses curiosity about the relationship between it and the areas of decision, operations strategy, because at the time it is defined a strategic action, it can indirectly cause reactions in this chain, by varying the energy and its impacts. Thus, it is sought to identify these relationships, albeit cognitively, so assertive strategies can be outlined for the use and maintenance of energy in an industrial environment.

From the viewpoint of industrial productivity, to Boyd and Pang (2000) energy should be treated equally like any other input, because according to the linear programming models developed by them, the stock variables, output, labor, electricity consumption, fuel cost and cost of materials, have impacts on productivity and should be treated equally. That is, supported the hypothesis that energy efficiency and productivity are statistically related.

Productivity variation can be considered a determining factor in energy efficiency, and other economic variables such as the price of energy and the variable knowledge that is considered important and consistent for the study of energy management systems (Boyd and Pang, 2000). The results show that plants that adopt best practices are consistently more efficient in energy, holding prices and constant learning. In all cases, the difference in productivity between plants, for example, account for at least a proportional difference in energy intensity (Boyd and Pang, 2000).

Clearly, it can be seen that some of the models presented for energy management in manufacturing environments relate indirectly the decision areas and not in others, it presents this well-defined relationship.

However, some may significantly contribute to the development of energy management system operating strategies, indicating best practices and defining performance indicators.

The use of energy consumption indicators in an industrial plant contributes to the reduction of consumption and energy costs, however, not always, this kind of indicator goes in line with the production. Analyzing literature review raised in this research, we identified a gap in the literature when it comes to energy management in industrial environment and its relation to the decision areas.

It proposes in the present analysis that the model shown in Figure 2 is restructured, expanding the areas of decision already highlighted and clearly defining indicators for each of them. The model proposed by Fenerich *et al* (2013), has as its main contribution to energy management, and a proposal contemplation that appears in ISO 50001: 2011, with the decision areas, as defined by Skinner (1996), Corrêa and Corrêa (2009). The model presents itself as a research opportunity in Production Engineering. The model allow the definition of the relationship between decision areas and the five perspectives proposed (social, economic, environmental, innovation / learning and internal affairs), which are defined by models BSC performance management (Kaplan and Norton, 1996) and the sustainable perspectives from Neves and Leal (2010).

This proposed model for energy management in manufacturing environments may allow visualization and quantification of the impact that energy efficiency can cause in each decision area. It also emphasizes that the definition of targets, indicators and measures promoting the monitoring process and quantifies the performance of each perspective from which to assess the need for corrections and preventive actions, and again conduct a monitoring.

6. FINAL CONSIDERATIONS

A literature systematic review provided the identification of energy efficiency in studies aimed specifically for industrial environments and their relation to the previously defined decision areas. The areas were aligned with the studies by a cognitive form, as defined in the proposed methodology, as well as the decision areas used in the study.

By reading the texts, it could be observed that none of them explicitly dealt with the relationship between decision areas and industrial energy efficiency. However, by interpreting the same, it was possible create a link between these areas and some studies, so that the gap appears as a search opportunity, since none of the studies exploring the relationship between the areas and energy efficiency. It was proposed that in future studies this relationship could be identified and explored in more detail, creating energy indicators for each of the decision areas, but also highlights the importance of continuous

search of the literature using other search terms and even different criteria.

REFERENCES

- ABDELAZIZ, E. A., SAIDUR, R. and MEKHILEF, S. (2011) "A review on energy saving strategies in industrial sector", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (15), pp. (150-168).
- BOYD, G. A. and PANG, J. X. (2000) "Estimating the linkage between energy efficiency and productivity", *Energy Policy* (28), pp. (289-296).
- BUNSE, K. VODICKA, M. SCHONSLEBEN, P. BRULHART, M. and ERNST, F. (2011) "Integrating energy efficiency performance in production management – gap analysis between industrial needs and scientific literature", *Journal of Cleaner Production* (19), pp. (667-679).
- CHOUDHARI, S. C. (2012) "Exploratory case studies on manufacturing decision areas in the job production system", *International Journal of Operations & Production Management* (32), n. 11, pp. (1337-1361).
- CORRÊA, H. L. and CORRÊA, C. A. (2009) *Administração de produção e de operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica*. 1ª ed. ed. São Paulo: Atlas.
- DÖRR, M., WAHREN, S. and BAUERNHANSL, T. (2013) "Methodology for energy efficiency on process level", *Procedia CIRP - Elsevier*, pp. (652 – 657).
- DUFLOU, J. R.; SUTHERLAND, J. W.; DORNFELD, D.; HERRMANN, C.; JESWIET, J.; KARA, S.; HAUSCHILD, M. and KELLENS, K. (2012) "Towards energy and resource efficient manufacturing: a processes and system approach", *CIRP Annals - Manufacturing Technology* (61), pp. (587-609).
- DUSI, B. and SCHULTZ, R. (2012) "Energy management and efficiency - a system approach", *IEEE Conference Publication*.
- ESPINOSA, F. F. and SALINAS, G. S. (2008) "A model proposition for strategies definition in manufacture process improvement in reference to its environment impact", *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia* (31), n.1, pp. (41-49).
- FENERICH, F.C. COSTA, S.E.G. and LIMA, E.P. (2013) "Proposition of strategic management system for energy", *ICPR – Annals – Challenges for Sustainable Operations*.
- Internacional Organization for Standardization. Energy Management Systems – Requirements with guidance for use: ISO 50001:2011.
- JAFFE, A. B. and STAVINS, R. N. (1994) "The energy efficiency gap - what does it mean?", *Energy Policy* (10), n.22, pp. (804 - 810).
- KAPLAN, R. S. and NORTON, D. P. (1996) "The balanced scorecard -Measures that drive performance", *Harvard Business School* (January-February), pp. (71-79).
- KULKARNI, V. A. and KATTI, P. K. (2010) "Efficient Utilization Of Energy In Industry Energy Management

- Perspective", *International Conference on Power System Technology*.
- LOMBARD, L. P., ORTIZ, J. and VELÁZQUEZ, D. (2013) "Revisiting energy efficiency fundamentals", *Energy Efficiency* (6), pp. (239 - 254).
- MOSKALENKO, N; WENGE, C; PELZER, A; KOMARNICKI, P and STYCZYNSKI, A. (2012) "Energy management system with dynamic component control for efficiency optimization", *3rd IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe)*, Berlin.
- MATURANA, H. and VARELA, F. (1992) *The tree of knowledge: the biological roots of human understanding*. Boston: Shambhala, revised edition.
- MORENO, J. and MEDINA, S. (2011) "Energy price variation estimation using an ANFIS model", *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia* (34), n.1, pp.(86-93).
- NEVES, A. R. and LEAL, V. (2010) "Energy sustainability indicators for local energy planning: Review of current practices and derivation of a new framework", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (14), pp. (2723–2735).
- O' DRISCOLL, E., CUSACK, D. Ó. and O' DONNEL, G. E. (2013) "The development of energy performance indicators within a complex manufacturing facility", *International Journal Advanced Manufacturing Technology*, pp. (2205–2214).
- PALM, J. and THOLLANDER, P. (2010) "An interdisciplinary perspective on industrial energy efficiency", *Applied Energy* (87), pp. (3255-3261).
- PATTERSON, M. G. (1996) "What is energy efficiency?", *Energy Policy* (5), n.24, pp. (377 - 390).
- PATLIZIANAS, K. D. DOUKAS, H. KAGIANNAS, A. and PSARRAS, J. (2008) "Sustainable energy policy indicators: review and recommendations", *Renewable Energy* (33), pp. (966 – 973).
- RUDBERG, M., WALDEMARSSON, M. and LIDESTAM, H. (2013) "Strategic perspectives on energy management: a case study in the process industry", *Applied Energy* (104), pp. (487 - 496).
- SAMPAIO, R. F. and MANCINI, M. C. (2007) "Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica", *Rev. Bras. Fisioter.*, (11) , n°1, jan/fev, pp. (83-89).
- SKINNER, W. (1969) "Manufacturing: missing link in corporate strategy", *Harvard Business Review* (May-June), pp. (136-145).
- TANAKA, K. (2008) "Assessment of energy efficiency performance measures in industry and their application for policy", *Energy Policy* (36), pp. (2887-2902).
- WHEELWRIGHT, S. C. and HAYES, R. H. (1985) "Competing Through Manufacturing", *Harvard Business Review* (January-February), pp. (99-109).
- HAYES, R.H., WHEELWRIGHT, S.C. and CLARK, K.B. (1988) *Dynamic Manufacturing: Creating the learning organization*, New York: The Free Press, NY.
- WU, L. M., CHEN, B. S., BOR, Y. C. and WU, Y. C. (2007) "Structure model of energy efficiency indicators and applications", *Energy Policy* (35), pp. (3768 - 3777).

APÊNDICE G – ARTIGO PUBLICADO EM: REVISTA IEEE AMÉRICA LATINA, EM FEVEREIRO DE 2017.

Energy Efficiency in Industrial Environments: Overview and Research Agenda

F. C. Fenerich, S. E. Gouvea da Costa and E. Pinheiro de Lima

Abstract— Energy efficiency has been the subject of discussion throughout the world, not only for optimization of process costs, but also by some crises identified in the energy matrix. On this context, a research agenda for energy efficiency can take assist effect in finding solutions to reduce energy consumption (or smart consumption) in industrial environments. Therefore, the main objective of this paper was to create a research agenda for energy efficiency in industrial environments, using, for this, systematic review of the literature as a fundamental methodology in the search for material that could enhance our understanding of the subject under study, identifying relevant texts to it. Once selected a portfolio of reading, it was possible to outline a statistical look around the literature, proposing indicators for analysis, as authors, countries, institutions, journals, keywords and topics and the development of the research agenda with major authors, themes and magazines. A research agenda on energy efficiency can be the start point for the studies of management practices focused on efficient use of energy. In this study, however, was limited to work only eight databases, given the importance in the engineering area.

Keywords— Systematic Literature Review, Energy Efficiency, Research Agenda.

I. INTRODUÇÃO

A INSEGURANÇA no suprimento energético, bem como o aumento de preço, mudanças climáticas e comportamentais, tem despertado o campo de pesquisa da eficiência energética, pois inserção das tecnologias de energia renovável nem sempre são capazes de garantir a solução destes problemas em curto prazo. Existem três fatores que direcionam os estudos em melhoria do desempenho energético nas indústrias: o aumento do preço de energia, novas regulamentações ambientais associadas à emissão de CO₂ e a mudança do perfil consumidor [1].

Segundo Schonsleben *et al* (2010), a indústria de manufatura é um dos principais consumidores de energia, requerendo em torno de 31% da energia primária, de tal forma que os negócios nesta área são fortemente afetados pelos valores de matéria-prima, energia e também pela mudança de demanda; e esse é um dos motivos a tentar otimizar a utilização da energia [2]. O aproveitamento máximo da energia, assim como o cenário contemporâneo (que envolve constantes mudanças de mercado, mudanças econômicas e políticas) indicam a necessidade de um sistema capaz de gerenciar o

S. E. Gouvea da Costa, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Brasil, s.gouvea@pucpr.br

E. Pinheiro de Lima, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Brasil, e.pinheiro@pucpr.br

consumo de energia em ambientes produtivos, a fim de que as empresas não somente possam manter-se estáveis no mercado, como também possam elevar sua competitividade.

A energia é um paradigma emergente, onde a cadeia energética centralizada baseada numa larga escala de produção de combustíveis e eletricidade é substituída por uma abordagem de gerenciamento energético descentralizado; o que por sua vez constitui em mudanças nas políticas energéticas e ações diferenciadas de governo [3].

O uso de métodos e tecnologias de economia de energia podem gerar sistemas eficientes de energia, capazes de proporcionar inúmeras vantagens para o setor industrial, por exemplo, ao um setor de consumo energético potencial, a promoção de melhoria na eficiência energética pode conduzir à efeitos estratégicos e competitivos positivos [4].

De acordo com Pokrovski (2003), a energia é uma força motriz da produção, sendo está uma variável fortemente relacionada com a geração de *outputs* de um processo, assim como a mão de obra também está. De acordo com o pesquisador, o sistema de produção segue o princípio de potência máxima, ou seja, busca consumir todos os recursos disponíveis [5]. Em sua pesquisa, Pokrovski (2003) destacou três fatores de produção: capital (K), trabalho (T) e energia produtiva (E) que contribui para a agregação de valor dos produtos, analisando como os mesmos se relacionam [5].

A eficiência energética pode desempenhar um importante papel na indústria, no entanto para que isto aconteça é necessário que se promovam mudanças no ambiente, considerando equipamentos que produzam, utilizando menos energia [6].

O crescimento e desenvolvimento da pesquisa em Eficiência Energética pode ser avaliado por diversas perspectivas por meio de técnicas bibliométricas, pois estas têm se tornado um instrumento interdisciplinar para medição do progresso científico [7];[8]. Na literatura, os indicadores de desempenho ligados à energia buscam relacionar o uso da energia e a atividade humana, podendo apresentar impactos econômicos, sociais e de mercado. Grande parte dos indicadores de energia correlaciona a energia em cada atividade, ou uso final, como uma medida unitária [9].

A eficiência energética pode ser calculada pela relação de *outputs* e a energia de entrada do processo. Os indicadores de eficiência energética podem ainda serem divididos em quatro grupos: termodinâmico, físico-

F.C. Fenerich, Universidade Estadual de Maringá, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Brasil, fcfenerich@uem.br

termodinâmico, econômico-termodinâmico e econômico [10].

A fraca conexão entre indústria e academia dificulta o mapeamento das práticas de eficiência energética executadas por este setor, assim como a análise da factibilidade das estratégias e sistemas de indicadores propostos. Por outro lado, pode-se observar a crescente literatura no campo da eficiência energética, no entanto, poucos são os estudos que apresentam uma análise bibliométrica destacando as mudanças ao longo dos anos [7], as estratégias no consumo de energia [11] e uma revisão nas políticas de eficiência energética [12] aplicadas e factíveis ao meio industrial.

No presente estudo pôde-se evidenciar esta escassez em estudos bibliométricos e agendas de pesquisa especificamente para eficiência energética em ambientes industriais, que é o principal objetivo desta pesquisa. O estudo bibliométrico, bem como a agenda de pesquisa podem ser direcionadores na compreensão do estado da arte e a tendência das pesquisas e práticas em eficiência energética.

Na seção II, será abordada a metodologia utilizada na revisão sistemática da literatura, já na seção III serão apresentados os estudos bibliométricos e a agenda de pesquisa desenvolvida. Por fim, a seção IV se trata das considerações finais do trabalho, visando a conclusão do estudo.

II. METODOLOGIA

A presente pesquisa, quanto à sua natureza pode ser caracterizada como básica, de abordagem quali-quantitativa, pois além da compreensão dos textos selecionados, realizou-se análises estatísticas deste material. É também considerada como uma pesquisa de investigação exploratória, realizada por meio da pesquisa bibliográfica sistematizada.

A revisão de literatura visa buscar os conceitos e características apresentadas por outros autores sobre a gestão de desempenho energético em ambientes produtivos, a partir do levantamento de estudos e práticas realizadas sobre o tema. Já a análise bibliométrica tem o objetivo de descrever quantitativamente as características do conteúdo científico e tecnológico por meio das publicações [7]. As técnicas bibliométricas tem evoluído ao longo do tempo e apontam importantes contribuições como: países mais produtivos, instituições, autores, contagem de citações, documentos mais citados, entre outros. Todas estas técnicas, quando combinadas podem apresentar resultados em diferentes formas, como mapeamento, agenda, descrição de relações, entre outros, de tal forma a contribuir com a produção do conhecimento [13].

O processo sistematizado do desenvolvimento da pesquisa, foi dividido em quatro etapas: investigação preliminar para maior conhecimento acerca do tema e definição das razões para realização da pesquisa; a seleção de artigos para compor o portfólio da pesquisa; a análise bibliométrica do portfólio e por fim, o desenho

da agenda de pesquisa por meio dos indicadores bibliométricos.

A busca da literatura foi delineada a partir da definição de alguns parâmetros, tais como: o tema central em eficiência energético em ambientes produtivos, com foco nos estudos que apresentam indicadores, modelos e referências para gestão energética em ambientes industriais; obras nos idiomas português, inglês e espanhol, cujas fontes principais foram as bases de dados: *Science Direct, Emerald, Springer, IEEE Xplorer, ISI Web of Knowledge, Scopus, Cambridge*. A seleção se deu por artigos científicos publicados em periódicos nacionais e estrangeiros e artigos científicos completos publicados em congressos nacionais e estrangeiros, teses e dissertações, limitado ao período de 1994 à 2014, pois em pesquisa preliminar pôde-se constatar que as publicações no tema em estudo iniciaram em 1994 e se intensificam a partir do ano de 2007 [14]. As *strings* de busca utilizadas foram: “*strategy AND energy AND efficiency*”; “*strategy AND energy AND operations*”; “*strategy AND energy AND management*”; “*productivity AND management AND energy*” e “*productivity AND indicators AND energy*”.

Para se obter maior aproveitamento do conteúdo de leitura e amplitude da capacidade de análise crítica quanto ao conteúdo e qualidade do material em estudo, foram seguidos alguns passos propostos por Lima e Mioto (2007 apud SALVADOR, 1986) [15], que orienta a seguinte leitura:

a) Leitura de reconhecimento de material bibliográfico através do título do material.

b) Leitura exploratória consiste em identificar se as informações e/ou dados selecionados são pertinentes ao estudo a ser realizado, e pode ser feita por meio da leitura do resumo do material. Para tanto, foram definidos como critérios para inclusão de material: estudos que descrevem indicadores de eficiência energética, indicadores de desempenho produtivos, que descrevem sistemas, práticas e/ou procedimentos de desempenho energético no sistema produtivos, procedimentos adotados para o desenvolvimento de indicadores de eficiência energético e estudos que correlacionam eficiência energética e áreas de decisão. Para exclusão de material utilizou-se os seguintes critérios: publicações que não possuem a versão completa disponível, publicações não científicas, que não atingem o objetivo da pesquisa e as publicações repetidas.

c) Leitura seletiva, onde se fez a identificação da obra (referência bibliográfica e localização da obra), caracterização (busca do tema central, dos objetivos da obra, dos conceitos utilizados e do referencial teórico) e definição das contribuições da obra para o estudo proposto;

d) Leitura crítica reflexiva, que foi orientada aos trabalhos que descreveram indicadores de eficiência energética em ambientes produtivos, que utilizaram um

modelo de referência, que desenvolveram ou adotaram um procedimento para o desenvolvimento dos indicadores de eficiência energética, que relataram recomendações sobre o uso dos indicadores de desempenho em ambientes produtivos e que relacionaram indicadores de desempenho produtivo com as áreas de decisão da empresa.

Durante a análise de cada material utilizado 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, instituição e país de estudo.

Este estudo teve o intuito de criar uma agenda de pesquisa, proporcionando a visualização dos principais periódicos que apresentam trabalhos nesta área de pesquisa, o período de busca evidenciando o início do desenvolvimento em estudos de eficiência energética. O levantamento dos autores e trabalhos mais citados conferirá ênfase nos temas mais estudados, o destaque para os periódicos pode facilitar novas buscas, reduzindo e direcionando os esforços na tentativa de identificar materiais relevantes para a presente pesquisa.

A descrição geral do processo de revisão sistemática e desenvolvimento da agenda é apresentada na Figura 1.

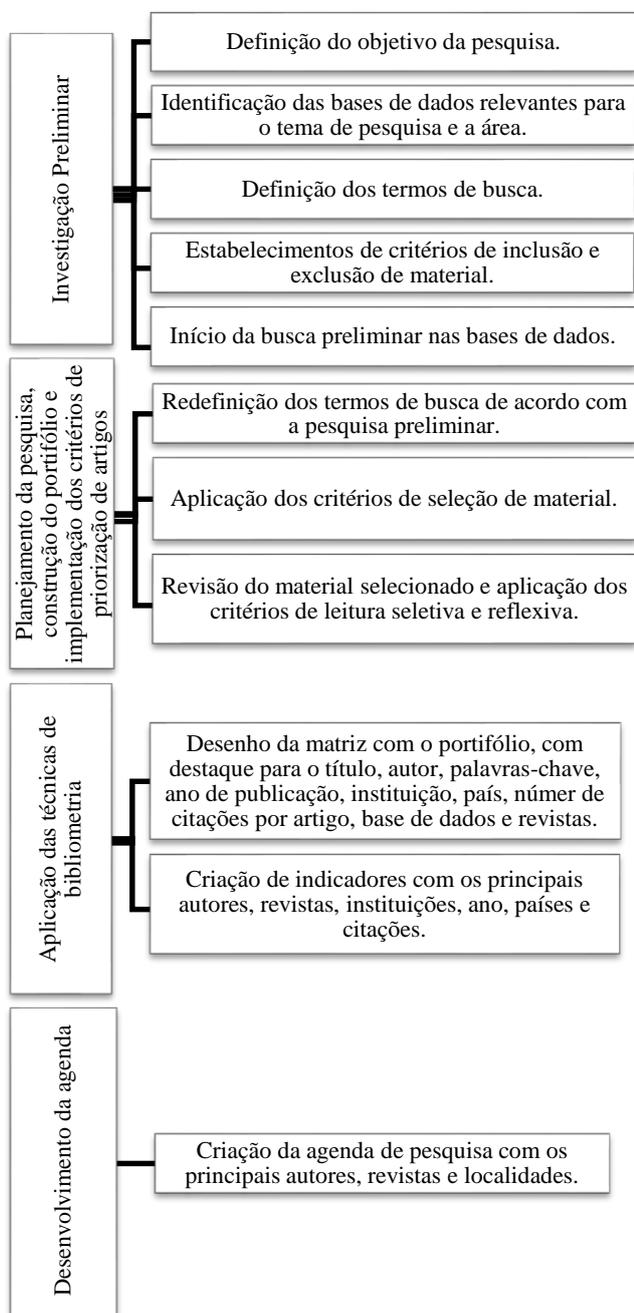


Figura 46. Processo de revisão sistemática utilizado na busca e análise de material da pesquisa.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A. Análise Bibliométrica

A análise quantitativa da literatura auxilia na identificação de padrões históricos, tendências e interesses de pesquisa, implicando em previsões mais precisas de crescimento, declínio e desenvolvimento de um determinado campo. A análise bibliométrica é constantemente utilizada para avaliação da performance em diferentes níveis da pesquisa científica [16].

Utilizando-se os termos de busca e as bases de dados já descritos na seção II, foram selecionadas 186 publicações que podem ser destacadas como relevantes para o estudo, segundo os critérios também expostos na seção II.

Na Figura 2 pode-se observar a quantidade de artigos relevantes ao tema, encontrados por ano. É visível que houve um crescimento na literatura em torno dos estudos de eficiência energética em ambientes produtivos, de forma mais intensa, a partir do ano de 2007.

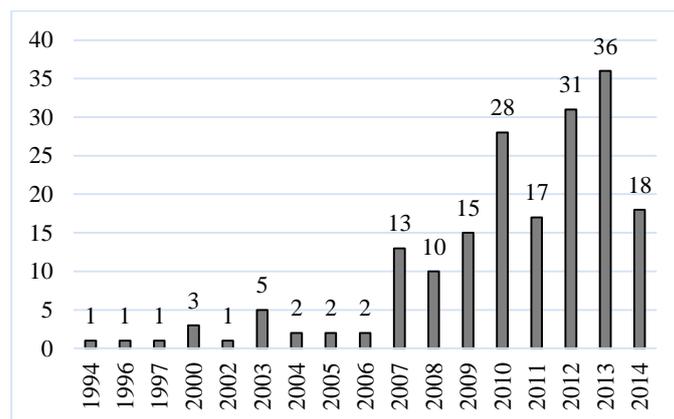


Figura 2. Número de publicações por ano.

Na literatura são encontrados alguns índices criados para a análise bibliométrica, a partir da quantidade de publicações (TP) por ano, a quantidade de autores que aparecem nestas publicações (AU) e o número de vezes que estes artigos são citados (NR), sendo eles o número médio de autores por artigo (AU/TP) e o número médio de vezes que estes artigos são citados (NR/TP) [7]. Estes índices foram aplicados no portfólio selecionado e podem ser visualizados na Tabela I.

TABELA I. CARACTERÍSTICAS DAS PUBLICAÇÕES ENTRE OS PERÍODOS DE 1994 À 2014 EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS AMBIENTES INDUSTRIAIS.

Ano	TP	AU	NR	AU/TP	NR/TP
1994	1	2	257	2,0	257,0
1996	1	1	172	1,0	172,0
1997	1	3	38	3,0	38,0
2000	3	9	451	3,0	150,3
2002	1	2	8	2,0	8,0
2003	5	13	96	2,6	19,2
2004	2	1	2	0,5	1,0
2005	2	4	6	2,0	3,0
2006	2	4	29	2,0	14,5
2007	13	35	300	2,7	23,1
2008	10	32	124	3,2	12,4
2009	15	52	143	3,5	9,5
2010	29	57	420	2,0	14,5
2011	18	64	312	3,6	17,3
2012	31	59	222	1,9	7,2
2013	37	73	51	2,0	1,4
2014	18	51	11	2,8	0,6

TP é o número de publicações por ano; AU é a quantidade de autores por ano; NR é o número de citações por ano; AU/TP e NR/TP é a média do número de autores e citações por artigos.

Ao analisar a Tabela I pode-se observar que o índice AU/TP, dado pela relação da quantidade de autores e o número de publicações por ano, indica um comportamento de 2,3 autores em média, por publicação. Já o índice NR/TP, dado pela relação do número de citações e o número de publicações por ano, permite a verificação de que os artigos dos anos de 1994 à 2000 são mais citados, enquanto os artigos de 2004, 2005, 2013 e 2014 são menos citados. Para 2013 e 2014 pode-se explicar o baixo valor deste indicador como um processo natural, tendo em vista o *lead time* que se tem uma

publicação; assim como é natural que os artigos mais antigos sejam os mais citados.

Extrai-se dos portfólio o local das publicações e, analisando-se a curva de Pareto da produtividade dos países, podem ser destacados os países de maior produtividade como: USA, China, Alemanha, Reino Unido, Suécia, Espanha, Holanda e Itália, Malásia, África do Sul, Austrália, França, Irlanda, Grécia, Índia e Suíça totalizando 78,6% das publicações direcionadas na pesquisa, o que se confirma com pesquisa já realizada [17] por outros autores, onde também se destaca os USA como principal país de produção científica em pesquisa de P&D em energia.

Relacionando-se os países que representam 60% do portfólio da pesquisa e o número de publicações de cada um, por ano, foi possível observar que o país de maior contribuição no ano de 2014 foram os Estados Unidos com 5 artigos, no ano de 2013 destaca-se a Alemanha e a Suécia com 5 artigos cada, em 2012 os Estados Unidos, China, África do Sul, Austrália e Irlanda apresentaram 3 publicações cada, assim como a China em 2011. Em 2010 pode-se destacar a produção de 3 artigos cada um dos países, Estados Unidos, Alemanha e a Reino Unido, bem como a China em 2009. Nos demais anos os países apresentaram entre um e dois artigos por ano.

Dentre os artigos mais citados, pode-se destacar que apenas 20 artigos são responsáveis por 70,2% do somatório de todas as citações dos artigos presentes no portfólio da pesquisa. Os três artigos mais citados e que apresentam mais de cem citações cada, são: *Energy efficiency and consumption - the rebound effect - a survey*, escrito por Lorna A. Greening, David L. Greene e Carmen Difiglio no ano 2000 [18]; *The energy-efficiency gap*, escrito por Adam B Jaffe e Robert N Stavins em 1994 [19] e o artigo intitulado *What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues*, escrito por Murray G Patterson em 1996 [10], ambos publicados pelo periódico *Energy Policy*, que também pode ser destacado como um dos mais relevantes para a pesquisa e indicado como o principal periódico em pesquisas de P&D em energia no trabalho de análise bibliométrica realizado em 2015 [17].

Foi possível também, tecer uma análise quanto aos periódicos que apresentaram maior número de publicações pertinentes ao tema em estudo, sendo eles: *Energy Efficiency* (IF- JCR:1,060), *Energy Policy* (IF- JCR:2,575), *Applied Energy* (IF- JCR:5,613) e *International Journal of Energy Sector Management* (IF- JCR:NA) os principais. Pela curva de Pareto, tem-se que apenas 21 periódicos totalizam 70,8% das publicações.

Em uma análise ano a ano dos periódicos que representam a maioria das publicações (51,6%), pode-se destacar que a maior parte dos trabalhos do *Energy Efficiency*, foram publicados nos anos de 2012, 2013 e 2014 com 4 trabalhos por ano. Já o periódico *Energy Policy* foi que apresentou maior frequência de trabalho, apresentando publicações em quase todos os anos da pesquisa exceto 2012 e 2014. O periódico *Applied Energy* obteve menor frequência de publicações, no entanto com maior intensidade, apresentando 2 trabalhos no ano de 2007, 3 no ano de 2010, 4 em 2013 e um em 2014. O *Journal of Cleaner Production* (IF- JCR:3,844), também teve maior intensidade de publicação no ano de 2013 com 4 trabalhos, assim como o periódico *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* (IF- JCR:NA) que apresentou 4 artigos em 2013 e 4 em 2014. Os demais periódicos do portfólio apresentaram entre uma e duas publicações por ano.

De maneira semelhante à análise realizada com os periódicos, pode-se destacar as seis principais Instituições, que representam apenas 14,20% dos trabalhos publicados, mas que apresentam 3 publicações

cada, exceto a instituição *Linköping University* que publicou 6 trabalhos, dos quais 2 foram em 2010 e 4 foram publicados em 2013. A instituição *Tsinghua University* obteve duas publicações em 2010 e uma em 2011, assim como a *Universidad de Sevilla* que publicou 2 trabalhos em 2013 e um em 2012. As demais instituições apresentaram apenas uma ou duas publicações, entre os anos de 1994 à 2014.

Quanto aos autores, os que mais contribuíram com o tema de pesquisa apresentam entre 2 e 5 trabalhos, dentre os quais se pode destacar o primeiro, Ernst Worrell (*Utrecht University*) que publicou 5 artigos relevantes para a pesquisa e é também o que apresenta maior frequência, tendo os trabalhos publicados em 1997 (*Applied Policy*), 2003 (*Energy*), 2011 (*Energy*), 2012 (*Applied Energy*) e 2014 (*Journal of Food Engineering*). O autor Charles Goldman (*The Hong Kong Polytechnic University*) apresentou 3 publicações, em 2005 e 2010 na revista *Energy Policy* e em 2008 publicou pelo *Berkeley National Laboratory*. Já o autor Edwin H. W. Chan (*The Hong Kong Polytechnic University*) obteve 3 publicações, duas no *Facilities*, em 2010 e 2012 e uma publicação em 2011 no *Journal of Facilities Management*. A pesquisadora Clara Inés Pardo Martínez (*University of Wuppertal*), também apresentou 3 publicações, sendo duas em 2010 nas revistas *International Journal of Energy Sector* e *Energy for Sustainable Development* e uma publicação em 2013, no *Energy Efficiency*. Luiz Pérez Lombard (*Universidad de Sevilla*), publicou dois trabalhos em 2013, sendo um no *Energy Efficiency* e o outro no *Energy Conversion and Management*, e em 2012 publicou um trabalho na revista *Energy Buildings*. Já Patrick Thollander (*Linköping University*) apresentou duas publicações na revista *Applied Energy*, em 2010 e 2013 e uma publicação em 2013 no *Journal of Cleaner Production*. Por fim, Queena K. Qian (*The Hong Kong Polytechnic University*) publicou dois trabalhos na revista *Facilities*, nos anos de 2010 e 2012, e em 2011 publicou no *Journal of Facilities Management*. Há ainda uma lista de 25 autores que publicaram 2 artigos cada, enquanto que os demais apresentaram apenas uma publicação.

Fez-se ainda uma análise quanto as palavras-chave que mais aparecem nos artigos, onde o termo *energy efficiency* foi o de maior incidência nos artigos, seguido por *energy*, *energy management*, *energy saving*, *energy consumption*, *energy conservation*, *industries*, *China*, *industrial energy efficiency*, *barriers*, *sustainability*, *manufacturing e productivity rate*. Por meio desta observação, pôde-se esperar uma quantidade mínima de trabalhos que apresentassem estratégias para mensuração de eficiência energética, bem como indicadores, ao contrário de práticas de gerenciamento de energia.

B. Agenda de Pesquisa

Os artigos do portfólio foram divididos em duas categorias: *Sustentabilidade* (SU), representada por trabalhos relacionados às energias renováveis, eficiência energética em função da redução de emissão de gases e

o estudo de outros tipos de energia; e *Operações* (OP), categoria representada pelos trabalhos de eficiência energética em ambientes de manufatura e serviços. Como subcategorias, ainda foi possível categorizar os estudos em: *Estratégia*, onde foram alocados os trabalhos que apresentam uma abordagem estratégica em torno da eficiência energética; *Indicadores*, subcategoria representada pelos trabalhos que apresentam indicadores de desempenho energético e sistemas de gerenciamento de energia em ambientes de manufatura e; *Práticas*, onde foram alocados os trabalhos que apresentam práticas e recomendações para eficiência energéticas. Observou-se que a maioria dos artigos do portfólio faz parte da categoria *Operações*, em torno de 72%, dos quais 35,3%

estão relacionados à exposição de estratégias para o gerenciamento de energia em manufatura, 33,8% com as práticas e recomendações para eficiência energética e 30,8% apresentam indicadores de desempenho do uso da energia em ambientes de manufatura.

Seguindo a categorização citada, ou seja, distribuindo os trabalhos na categoria de *Operações* e *Sustentabilidade*, pôde-se criar uma agenda de pesquisa, identificando os periódicos presentes em cada subcategoria, os principais autores e as publicações sugeridas (as mais citadas). Na Tabela II apresenta-se a agenda desenvolvida a partir do estudo de bibliometria, para ambas categorias, de acordo com a categorização adotada.

TABELA II. AGENDA DE PESQUISA EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS AMBIENTES INDUSTRIAIS.

Eficiência Energética em Operações: Agenda de Pesquisa	
Estratégia	
Periódicos	2010 IEEE International Energy Conference, American Chemical Society, Applied Energy, Applied Thermal, Engineering CIRP Annals - Manufacturing Technology, Electric Power Systems Research, Energy, Energy and Buildings, Energy Conversion and Management, Energy Efficiency, Energy for Sustainable Development, Energy Polity, IEEE Power & Energy Magazine, Int J Adv Manuf Technol, International Journal of Energy Sector Management, Int J of Precision Engineering and Manufacturing, Journal of Cleaner Production, Journal of Food Engineering, Natural Resources Research, Procedia CIRP, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Smart and Sustainable Built Environment, Strategy & Leadership, Technovation, The 2nd International Conference on Intelligent Control and Information Processing.
Temas	Assessment Energy efficiency in the industrial economic structure, Thermodynamic energy, Efficient production and variation in energy intensity, ISO 50001 and management of energy consumption, Econometric model for energy demand management, Development of systems for energy management, Government and industrial energy efficiency, Energy management, Energy efficiency, Energy policy, Methodology key factors in managing energy, Energy costs, Productiveness of a unit of energy, Energy corporate strategy.

Autores	Andrea Trianni, Charles Goldman, Clara Inés Pardo Martínez, David Velázquez, Enrico Cagno, Eoin O'Driscoll, Ernst Worrell, Gale A. Boyd, Galen Barbose, George Chryssoulouris, Helene Lidestam, James O'Donnell, John C. Van Gorp, John Psarras, Kanako Tanaka, Luis Pérez-Lombard, Marcus M. Keanea, Marilyn A. Brown, Martin Rudberg, Martin Waldemarsson, Patrik Thollander, R. Saidur, S. Mekhilef, Yong Wu, Baizhan Li.
Palavras-chave	Energy efficiency, Energy, Building energy management system, Continuous improvement, Economics, Econometric model, Energy, Energy efficiency indicators, Energy management, Energy management system, Energy saving, Manufacturing, Manufacturing process, Production function, Productivity.
Artigos Sugeridos	[10]; [19]; [20]
Indicadores	
Periódicos	Applied Energy, Ecological economics, Econ Change Restruct, Energy, Energy and Buildings, Energy Efficiency, Energy for Sustainable Development, Energy Policy, Facilities, IEEE Computer Society, IEEE Electrical Power and Energy Conference, IEEE International Conference on Power and Energy, IEEE International, Joint Conferences on Computational Cybernetics and Technical Informatics, IEEE Second International Conference on Consumer Electronics, Int J Adv Manuf Technol, International Journal of Energy Sector Management, International Journal of Productivity and Performance Management, Journal of Cleaner Production, Mathematical Problems in Engineering, Procedia

	CIRP, Supply Chain Management: An International Journal.
Temas	Production energy efficiency measure, Contribution of energy efficiency, Assessment of energy efficiency performance measures in industry, Energy Star, Energy use in têtil industries, Energy service modeling technique, Energy efficiency indicators, Energy characterization schemes, In-house cycle-accurate energy measurement tool, Performance of the industry, Strategies to improve energy efficiency, Energy consumption of logistics, Energy security performance indicator, Energy consumption, Building energy efficiency retrofit (BEER), Key performance indicators (KPI), DEA-Based Method, Physical indicators, Energy savings, Continuous Energy Efficiency Improvement Process, Economic evaluation of energy system, Smart Energy Monitoring.
Autores	Edwin H.W. Chan, Clara Inés Pardo Martínez, Ernst Worrell, Luis Pérez-Lombard, Queena K. Qian, Brian P. Ó Gallachóir, Caiman J. Cahill, E. Worrell, Eoin O'Driscoll, Frank O. Ernst, Gale Boyd, Garret E. O'Donnell, George Chryssolouris, Joarder Mohammad, Abdul Munim, José Ortiz, Kanako Tanaka, Katharina Bunse, Matthias Vodicka, Naehyuck Chang, Paul Schönsleben, Peng Peng Xu.
Palavras-chave	Distributed energy systems, Electricity industry, Energy, Energy conservation, Energy consumption, Energy efficiency, Energy efficiency indicators, Energy intensity, Energy management, Energy Policy, Energy saving, Industrial energy efficiency, Key performance indicators, Sustainable development.
Artigos Sugeridos	[1]; [18]; [21]
Práticas	
Periódicos	CIRP Annals - Manufacturing Technology, Applied Energy, Applied Thermal Engineering, Berkeley National Laboratory, Clean Techn Environ Policy, Energy, Energy and Buildings, Energy Economics, Energy Efficiency, Energy, Sustainability and Society, Environmental & Resource Economics, Facilities, IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe, Int J Adv Manuf Technol, International Journal of Energy Sector Management, International Journal of

	Law in the Built Environment, J Intell Manuf, Journal of Cleaner Production, Journal of Energy in Southern Africa, Journal of Facilities Management, Management of Environmental Quality: An International Journal, Renewable Agriculture and Food Systems, Renewable and Sustainable Energy, Reviews SciVerse ScienceDirect, Smart and Sustainable Built Environment, South African Journal of Industrial Engineering.
Temas	Energy management practices, Energy and exergy efficiencies, Combination of top down and bottom-up approaches, Measured energy consumptions, Management control strategy, Mathematical model, Thermo-economic diagnosis system, Energy efficiency in terms of performance, operation, equipment and technology (POET), Best practice technology, Rebound effects of energy efficiency improvements, Building energy efficiency (BEE), Energy management, Energy efficiency policy, Measures for industries, Energy and maintenance management, Behaviour changes, OECD energy intensity.
Autores	Edwin H.W. Chan, Charles Goldman, Ernst Worrell, Queena K. Qian, Patrik Thollander, Andrea Trianni, Enrico Cagno, Felipe Nunes, Galen Barbose, George Chryssolouris, Jochen Deus, Lei Yang, Mikael Ottosson, Pingyu Jiang.
Palavras-chave	Carbon footprinting, Energy, Energy conservation, Energy consumption, Energy efficiency, Energy efficiency policy, Energy management, Energy management practices, Energy use, Government policy.
Artigos Sugeridos	[22]; [23]; [24]
Eficiência Energética e Sustentabilidade: Agenda de Pesquisa	
Estratégia	
Periódicos	Energy and Buildings, Energy Policy, Energy Efficiency, CIRP Annals - Manufacturing Technology.
Temas	Economy, System approach, Integrated energy Strategy, Building energy efficiency, Sustainable energy system, Energy technology sustainability assessment, Sustainability, Economic opportunities, Sustainable manufacturing, Evaluation of energy-efficiency programs, Renewable

	electricity standard, Alternative energy policies.
Autores	Charles Goldman, Frank O. Ernst, Marilyn A. Brown, Matthias Vodicka, Igor Bashmakov, Paul Schönsleben, Yong Wu, Baizhan Li, Katharina Bunse.
Palavras-chave	Carbon emission, Energy, Energy efficiency, Energy saving, Policy, Sustainable development.
Artigos Sugeridos	[25]; [26]; [27]
Indicadores	
Periódico	Energy Efficiency
Temas	Thermodynamic methods, Energy and exergy methods, Sustainable energy strategies, Environmental performance, Systems for Performance and Energy Consumption, Energy efficiency and CO2 emissions, Sustainable energy policy indicators.
Autores	Clara Inés Pardo Martínez, Igor Bashmakov.
Palavras-chave	Sustainability, Sustainable energy development, Energy, Energy efficiency, Indicators.
Artigos Sugeridos	[28]; [29]; [30]
Práticas	
Periódicos	Renewable Energy, Applied Energy, Journal of Facilities , Management, Supply Chain Management: An

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio das análises propostas, pode-se observar que as publicações em Eficiência Energética na manufatura cresceram com maior intensidade a partir do ano de 2007, sendo os Estados Unidos e China os países com maior índice de publicação. Contudo, a principal Instituição, ou seja, que apresenta maior volume em publicações, é a *Linköping University*, da Suécia. Quanto aos periódicos, os artigos mais citados foram publicados no *Energy Policy*, no entanto o periódico que apresentou mais publicações pertinentes ao tema foi o *Energy Efficiency*.

Destaca-se ainda a utilização dos seguintes índices: a quantidade de publicações (TP) por ano, a quantidade de autores que aparecem nestas publicações (AU) e o número de vezes que estes artigos são citados (NR), o número médio de autores por artigo (AU/TP) e o número médio de vezes que estes artigos são citados (NR/TP), sugeridos por Du *et al* (2013) [7].

Para [33], as energias de pequena escala comportam se maneira mais eficiente, no entanto as energias de larga escala são economicamente viáveis, o que corrobora com ideia de buscar métodos, ferramentas e procedimentos de maximizar ou promover o uso eficiente da energia em ambientes industriais.

	International Journal, Energy and Buildings.
Temas	Energy efficiency policy, Energy saving, Sustainability and energy efficiency, Energy management, Energy and exergy, Systems Approach to Corporate Sustainability in Energy Management, Energy conservation, Efficient energy production, Energy resources, Energy Program.
Autores	Edwin H.W. Chan, Queena K. Qian, Arni Halldorsson, James O'Donnell, John Psarras, Marcus M. Keane, Peng Peng Xu, R. Saidur, S. Mekhilef.
Palavras-chave	Building energy efficiency, Combined heat and Power, Energy, Energy conservation, Energy efficiency, Energy management, Energy saving, Energy sources. Indicators, Lighting, Optimisation, Supply chain management, Sustainability.
Artigos Sugeridos	[9]; [31]; [32]

A agenda de pesquisa apresentada na Tabela II pode ser utilizada como um guia para novas e pesquisas mais aprofundadas em eficiência energética, uma vez que destaca os principais autores do tema (sendo aqueles com o maior número de publicações), os principais periódicos, os temas, as palavras-chave e os artigos mais citados de cada subárea utilizada na pesquisa, como sugestão de leitura.

O presente estudo teve como objetivo fazer uma análise bibliométrica e criar uma agenda de pesquisa em eficiência energética nos ambientes produtivos. Em termos gerais o trabalho apresenta um panorama das publicações no tema em estudo, trabalhando-se com os autores, instituições, países, anos, periódicos e citações, fazendo-se uma divisão em categorias e subcategorias, com seus respectivos autores para estudos futuros, temas e palavras-chave. No entanto, é preciso ressaltar que o trabalho apresenta algumas limitações, como por exemplo, a restrição quanto às bases de dados e acesso não gratuito de alguns artigos. Sugere-se uma continuação do estudo, ampliando-se os termos de busca, ou ainda trabalhando se com diferentes bases de busca, no intuito de realizar uma varredura ainda mais intensa acerca do tema.

REFERENCIAS

- [1] K. Bunse, M. Vodicka; P. Schonsleben; M. Brulhart and F. Ernst. "Integrating energy efficiency performance in production management - gap analysis between industrial needs and scientific literature", *Journal of Cleaner Production*, v. 19, pp 667-679, 2011.
- [2] P. Schonsleben, M. Vodicka; K. Bunse and F. O. Ernst. "The changing concept of sustainability and economic

opportunities for energy-intensive industries", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, v. 59, pp 477–480, 2010.

[3] A. R. Neves and V. Leal. "Energy sustainability indicators for local energy planning: Review of current practices and derivation of a new framework", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 14, pp 2723–2735, 2010.

[4] V. A. Kulkarni and P. K. Katti. "Efficient Utilization Of Energy In Industry Energy Management Perspective", *International Conference on Power System Technology*, 2010.

[5] V. N. Pokrovski. "Energy in the theory of production", *Energy*, v. 28, pp 769 - 788, 2003.

[6] A. B. Lovins. "Energy myth nine - energy efficiency improvements have already reaches their potencial", *Energy and American Society* K. Sovacool & M. A. Brown (Eds), 2007.

[7] H. DU, L. Wei; L. Brown; A. Marilyn; Y. Wang and Z. Shi. "A bibliometric analysis of recent energy efficient literatures: an expanding and sifting focus", *Energy Efficiency*, v. 6, pp 177 - 190, 2013.

[8] A. F. J. Van Raam. "For Your Citations Only? Hot Topics in Bibliometric Analysis", *Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives*, v. 1, n. 3, pp 50-62, 2005.

[9] K. D. Patlitzianas, H. Doukas; A. G. Kagiannas and J. Psarras. "Sustainable energy policy indicators: Review and recommendations", *Renewable Energy*, v. 33, pp 966–973, 2008.

[10] M. G. Patterson. "What is energy efficiency?", *Energy Policy*, v. 5, n. 24, pp 377 - 390, 1996.

[11] E. A. Abdelaziz, R. Saidur and S. Mekhilef. "A review on energy saving strategies in industrial sector", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, pp 150-168, 2011.

[12] L. Ozolina and R. Marika. "A review of energy efficiency policy and measures for industries in Latvia", *Management of Environmental Quality: An International Journal*, v. 23, n. 5, 2012 pp. 517-526, 2012.

[13] Y. Okubo. "Bibliometric Indicators and Analysis of Research Systems: Methods and Examples", *OECD Science, Technology and Industry Working Papers 1997/01*, 1997.

[14] F. C. Fenerich, S. E. Gouvea da Costa and E. Pinheiro de Lima. "Proposition fo strategic management system for energy", *Foz do Iguaçu, Brazil: 22nd International Conference on Production Research*, 2013.

[15] T. C. S. Lima and R. C. T. Mioto. "Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento cinetífico: a pesquisa bibliográfica", *Rev. Katál, Florianópolis*, v. 10, 2007.

[16] K. Rodriguez and J. A. Moreiro. "The growth and development of research in the field of ecology", *Scientometrics*, v. 1, n. 35. Pp 59-70, 1996.

[17] D. F. A. Araújo and A. P. C. S. Costa. "Bibliometric Analysis of R&D in the energy sector", *IEEE Latin America Transactions*, v.14, n.3, pp.1221-1226, 2016.

[18] L. A. Greening, D. L. Greene and C. Difiglio. "Energy efficiency and consumption - the rebound effect - a survey", *Energy Policy*, v. 28, pp 389-401, 2000.

[19] A. B. Jaffe and R. N. Stavins. "The energy-efficiency gap", *Energy Policy*, v. 10, pp 804-810, 1994.

[20] G. A. Boyd and J. X. Pang. "Estimating the linkage between energy efficiency and productivity", *Energy Policy*, v.28, pp 289-296, 2000.

[21] E. Worrell, J. A. Laitner, M. Ruth, H. Finman. "Productivity benefits of industrial energy efficiency measures", *Energy*, v. 28, pp. 1081–1098, 2003.

[22] J. R. Dufloy, J. W. Sutherland, D. Dornfeld, C. Herrmann, J. Jeswiet, S. Kara, M. Hauschild and K. Kellens. "Towards energy and resource efficient manufacturing: a processes and

system approach", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, v.61, pp. 587-609, 2012.

[23] J. W. Hoepfner, M. G. Entz, B. G. McConkey, R. P. Zentner, C. N. Nagy. "Energy use and efficiency in two Canadian organic and conventional crop production systems", *Renewable Agriculture and Food Systems*, v.1, pp. 60-67, 2005.

[24] P. Thollander and M. Ottosson. "Energy management practices in Swedish energy-intensive industries", *Journal of Cleaner Production*, v.18, pp. 1125–1133, 2010.

[25] R. U. Ayres, H. Turton and T. Casten. "Energy efficiency, sustainability and economic growth", *Energy*, v. 32, pp. 634-648, 2007.

[26] L. Ma, P. Liu, F. Fu, Z. Li, W. Ni. "Integrated energy strategy for the sustainable development of China", *Energy*, v.36, pp.1143-1154, 2011.

[27] J. Liang, B. Li, Y. Wu, R. Yao. "An investigation of the existing situation and trends in building energy efficiency management in China", *Energy and Buildings*, v.39, n.10, pp.1098-1106, 2007.

[28] G. P. Hammond, G. P. "Industrial energy analysis, thermodynamics and sustainability", *Applied Energy*, v.84, pp. 675-700, 2007.

[29] D. Streimikiene, R. Ciegis and D. Grundey. "Energy indicators for sustainable development in Baltic States", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.8, n.5, pp.877-893, 2007.

[30] Z. Li. "Quantitative analysis of sustainable energy strategies in China. 2010", *Energy Policy*, v.38, n.5, pp. 2149-2160, 2010.

[31] R. Saidur and S. Mekhilef. "Energy use, energy savings and emission analysis in the Malaysian rubber producing industries", *Applied Energy*, v.87, n.8, pp. 2746-2758, 2010.

[32] M. Yang. "Energy efficiency policy impact in India: case study of investment in industrial energy efficiency", *Energy Policy*, v.34, n.17, pp.3104-3114, 2006.

[33] G. N. Andrade, L. A. Alves, F. V. S Andrade and J. C. C. B. S. de Mello. "Evaluation of power plants technologies using multicriteria methodology Macbeth", *IEEE Latin America Transactions*, v.14, n.1, pp 188-198, 2016.



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 doutoranda em Engenharia de Produção pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (2016). Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos e supervisão de processos, com ênfase em Engenharia de Alimentos. Atualmente é professora assistente do corpo efetivo do curso de Engenharia de Produção da Universidade Estadual de Maringá.



Sérgio Eduardo Gouvea da Costa é graduado em Engenharia Industrial Elétrica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR-1989), com Mestrado em Engenharia Elétrica (Automação) pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP-1993) e Doutorado em Engenharia (Produção) pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP-2003). É Professor Titular (Gestão de Operações) da

Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) e Professor Associado da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). É Vice President - Americas 2014-2017 da Production and Operations Management Society (POMS) e foi Secretário-Geral 2011-2013 e Presidente 2013-2015 da International Foundation for Production Research (IFPR), e membro da Diretoria 2010-2013 da Society for Engineering and Management Systems do Institute of Industrial Engineers (SEMS/IIIE). É Professor Permanente dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS) da PUCPR e da UTFPR / Campus Pato Branco. É bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq desde 2006 e Membro do Comitê Assessor de Área (CAA - Engenharias) 2013-2016 da Fundação Araucária.



Edson Pinheiro de Lima é graduado em Engenharia Industrial pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (1989), mestre em Engenharia Elétrica - ênfase automação - pela Universidade Estadual de Campinas (1993) e doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (2001). Atualmente é

professor titular da Pontifícia Universidade Católica do Paraná e membro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, professor associado (ensino superior) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, membro fundador do Grupo Produtônica da PUCPR, membro da Diretoria da International Foundation for Production Research, membro da Diretoria da Society for Engineering and Management Systems do Institute of Industrial Engineers, editor associado da revista Engineering Management Journal (ASEM/Taylor and Francis/USA), membro do corpo editorial da revista Produção online e membro do conselho científico da revista Produto e Produção, avaliador de projetos da Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná e da Fundação de Apoio a Pesquisa Científica e Tecnológica do Estado de Santa Catarina.

APÊNDICE H – FATORES DE EMISSÃO DE CO₂ DO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL DO BRASIL

Fator Médio Mensal (tCO ₂ /MWh)												Fator Médio Anual (tCO ₂ /MWh)	
2006	MÊS											ANO - 2006	
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	0,0323
	0,0322	0,0346	0,0337	0,0275	0,0317	0,0306	0,0351	0,0336	0,0383	0,0360	0,0265	0,0280	

Fator Médio Mensal (tCO ₂ /MWh)												Fator Médio Anual (tCO ₂ /MWh)	
2007	MÊS											ANO - 2007	
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	0,0293
	0,0229	0,0195	0,0195	0,0197	0,0161	0,0256	0,0310	0,0324	0,0355	0,0377	0,0406	0,0496	

Fator Médio Mensal (tCO ₂ /MWh)												Fator Médio Anual (tCO ₂ /MWh)	
2008	MÊS											ANO - 2008	
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	0,0484
	0,0584	0,0668	0,0599	0,0453	0,0459	0,0521	0,0437	0,0425	0,0411	0,0438	0,0334	0,0477	

Fator Médio Mensal (tCO ₂ /MWh)												Fator Médio Anual (tCO ₂ /MWh)	
2009	MÊS											ANO - 2009	
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	0,0246
	0,0281	0,0237	0,0247	0,0245	0,0405	0,0369	0,0241	0,0199	0,0162	0,0179	0,0181	0,0194	

Fator Médio Mensal (tCO ₂ /MWh)												Fator Médio Anual (tCO ₂ /MWh)
2010	MÊS											ANO - 2010

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	0,0512
	0,0211	0,0280	0,0243	0,0238	0,0341	0,0506	0,0435	0,0774	0,0907	0,0817	0,0869	0,0532	

Fator Médio Mensal (tCO₂/MWh)												Fator Médio Anual (tCO₂/MWh)	
2011	MÊS											ANO - 2011	
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	0,0292
	0,0262	0,0288	0,0208	0,0198	0,0270	0,0341	0,0308	0,0301	0,0273	0,0350	0,0356	0,0349	

Fator Médio Mensal (tCO₂/MWh)												Fator Médio Anual (tCO₂/MWh)	
2012	MÊS											ANO - 2012	
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	0,0653
	0,0294	0,0322	0,0405	0,0642	0,0620	0,0522	0,0394	0,0460	0,0783	0,0984	0,1247	0,1168	

Fator Médio Mensal (tCO₂/MWh)												Fator Médio Anual (tCO₂/MWh)	
2013	MÊS											ANO - 2013	
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	0,0960
	0,1151	0,1090	0,0981	0,0959	0,1151	0,1079	0,0838	0,0833	0,0840	0,0831	0,0930	0,0841	

Fator Médio Mensal (tCO₂/MWh)												Fator Médio Anual (tCO₂/MWh)	
2014	MÊS											ANO - 2014	
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	0,1355
	0,0911	0,1169	0,1238	0,1310	0,1422	0,1440	0,1464	0,1578	0,1431	0,1413	0,1514	0,1368	

Fator Médio Mensal (tCO₂/MWh)												Fator Médio Anual (tCO₂/MWh)
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

2015	MÊS											ANO - 2015	
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	
	0,1275	0,1321	0,1369	0,1301	0,1258	0,1406	0,1221	0,1183	0,1217	0,1180	0,1127	0,1075	0,1244

Fator Médio Mensal (tCO ₂ /MWh)											Fator Médio Anual (tCO ₂ /MWh)		
2016	MÊS											ANO - 2016	
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	
	0,0960	0,0815	0,0710	0,0757	0,0701	0,0760	0,0725	0,0836	0,0897	0,0925	0,1002	0,0714	0,0817

* Em 01 de Fevereiro de 2017, o fator médio anual de 2016 foi revisado, passando a ser 0,0817