

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS (UNISINOS)
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E
SISTEMAS
NÍVEL MESTRADO**

BIANCA FOGAÇA MORETTO

**AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DA EFICIÊNCIA NAS ÁREAS DE APOIO DOS
SISTEMAS PRODUTIVOS**

São Leopoldo

2024

BIANCA FOGAÇA MORETTO

**AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DA EFICIÊNCIA NAS ÁREAS DE APOIO DOS
SISTEMAS PRODUTIVOS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Orientador: Prof. Dr. Fabio Sartori Piran

São Leopoldo

2024

BIANCA FOGAÇA MORETTO

**AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DA EFICIÊNCIA NAS ÁREAS DE APOIO DOS
SISTEMAS PRODUTIVOS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Aprovado em

BANCA EXAMINADORA

Daniel Pacheco Lacerda - UFSC

Componente da Banca Examinadora – Instituição a que pertence

Rodrigo Gomes

Componente da Banca Examinadora – Instituição a que pertence

Maria Isabel Wolf Mota Morandi - UNISINOS

Componente da Banca Examinadora – Instituição a que pertence

Leando Gauss - UNISINOS

Componente da Banca Examinadora – Instituição a que pertence

Fábio Sartori Piran - UNISINOS

Componente da Banca Examinadora – Instituição a que pertence

AGRADECIMENTOS À CAPES

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Professor Fabio Piran, por me acompanhar e guiar em toda minha trajetória acadêmica, desde a graduação até o último ato do mestrado. Obrigada por ser um dos meus grandes incentivadores! E por estar sempre disponível, finais de semana, sextas a noite e feriados!

Agradeço especialmente meus pais (Scheila e Neri) e ao meu irmão, Marcelo, que desde quando o mestrado era apenas um sonho distante, não pouparam esforços em me apoiar e fornecer toda a bases necessária. Que entenderam todos os momentos de ausência e dedicação para esse grande projeto! Sou eternamente grata por ter vocês como família. Também gostaria de deixar um agradecimento especial, ao meu parceiro, Guilherme, por ser sempre meu suporte, meu apoio e não medir esforços para deixar esse momento mais leve.

Finalmente, agradeço a todos professores, colegas, amigos, familiares que colaboraram com ideias, suporte emocional, contatos, palavras de incentivo e não pouparam esforços para essa experiência ser a melhor possível.

RESUMO

Os indicadores para medição de produtividade e eficiência dos sistemas produtivos estão bem difundidos no mundo acadêmico e empresarial. No entanto, nas áreas de apoio dos processos produtivos, em que não é claro quais são as entradas e saídas do sistema, ainda é necessário realizar avanços nas pesquisas. O objetivo geral deste trabalho é propor um meio para analisar e monitorar, longitudinalmente, a eficiência das áreas de apoio no sistema produtivo de uma empresa multinacional do segmento metal mecânico. Foi realizada uma modelagem baseada em casos com a utilização do DEA DDF por meio do procedimento de *benchmarking* interno. Para isso, foi desenvolvida uma aplicação piloto, no setor de Planejamento de Controle de Produção e Materiais (PCPM) da empresa objeto de estudo. Os principais resultados consideram a proposição de um modelo conceitual para determinação das variáveis do sistema, que pode ser replicado para outras áreas de apoio. Além disso, é apresentado um painel de dados para acompanhamento mensal da eficiência do setor, com informações relevantes para os gestores da área. As contribuições do trabalho podem ser divididas em teóricas e práticas. Entre as teóricas, ressalta-se o modelo conceitual genérico para avaliação da eficiência, a validação e a aplicabilidade da DEA DDF como um indicador recorrente para acompanhamento de eficiência e a discussão empírica sob o efeito da adição de novas DMUs em relação ao deslocamento da fronteira eficiente. No âmbito empresarial, o estudo contribui ao fornecer um painel de dados para acompanhamento dos resultados alcançados pelas áreas de apoio, além de introduzir um indicador para medição de eficiência de áreas de apoio com alta replicabilidade, diferente dos indicadores utilizados amplamente, que medem a eficácia.

Palavras-chave: DEA DDF, Eficiência, Área de Apoio de Sistemas Produtivos, Análise Envoltória de Dados.

ABSTRACT

The indicators for measuring productivity and efficiency of production areas are well-known in the academic and business worlds. In contrast, the supporting branches of the production systems where the inputs and outputs are unclear, it is imperative to make research advancements. The general objective of this study is to propose methods to analyze and monitoring, longitudinally, the efficiency of the support area of the production system from a multinational company in the metal-mechanic segment. A case-based modeling was performed using DEA DDF through the internal benchmarking procedure. For this reason, a pilot application was developed in the Material Control and Production Planning sector of the company under study. The main results take into account the proposal of a conceptual model for identifying system variables, which can be replicated for other support areas. Furthermore, a dashboard for monitoring monthly the sector's efficiency is presented, with relevant information for the area managers. The contributions of the work can be divided into theoretical and practical. Among the theoretical contributions, the generic conceptual model for evaluating efficiency, the validation, and applicability of the DEA DDF as a recurring indicator for monitoring efficiency and the empirical discussion on the effect of adding new DMUs in relation to the displacement of the efficient frontier stand out. Finally, in the business context, the study contributes by providing a dashboard for monitoring the results achieved by the support area, in addition to introducing an indicator for measuring the efficiency of support areas with high replicability, which is different from the widely used indicators that measure effectiveness.

Key-words: DEA DDF, Efficiency, Production Systems Support Area, Data Envelopment Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma dos resultados da Revisão Sistemática da Literatura	25
Figura 2 - Etapas para a condução de uma pesquisa científica	42
Figura 3 – Método de Trabalho	44
Figura 4 - Áreas de apoio da empresa	47
Figura 5 – Modelo Conceitual Genérico para auxiliar na identificação de <i>inputs</i> e <i>outputs</i>	52
Figura 6 – Primeira Versão do Modelo DEA DDF empírico	53
Figura 7 - Modelo Final DEA DDF Empírico.....	58
Figura 8 - Modelo DEA DDF utilizado na pesquisa	61
Figura 9 - Procedimento para análise dos resultados	64
Figura 10 – Capa painel de dados proposto	74
Figura 11 - Painel de dados acompanhamento mensal eficiência	76
Figura 12 - Análise por período	79
Figura 13 - Meses em que acontece deslocamento de fronteira.....	80
Figura 14 - Análise Médias Hitóricas.....	81
Figura 15 - Formulário Para registro de Boas Práticas	82
Figura 16 - Aplicação Formulário Boas Práticas	82

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Artigos que abordam importância da utilização de indicadores	22
Quadro 2 - Síntese de conceitos	33
Quadro 3 - Corpus da análise da RSL	34
Quadro 4 – Classificação conforme tipo de indicador proposto	38
Quadro 5 - Resumo do delineamento da pesquisa	39
Quadro 6 - Grupo de especialistas externos	48
Quadro 7 – Grupo de especialistas internos	48
Quadro 8 – Detalhamento das variáveis do modelo inicial, desenvolvido com especialistas do processo	54
Quadro 9 - Procedimento coleta de dados	62
Quadro 10 - Resumo seções painel de dados	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - <i>Strings</i> da Revisão Sistemática da Literatura.....	23
Tabela 2 - Estatística Descritiva das Variáveis.....	63
Tabela 3 - Eficiência técnica Mensal	67
Tabela 4 - Eficiência média anual	68
Tabela 5 - Relação dos <i>Targets</i> e Ganhos das DMU's ineficientes	71
Tabela 6 - Validação comportamento modelo DEA com adição de novas DMUs	77

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Índice de eficiência trimestral	69
Gráfico 2 - Deslocamento da fronteira DEA ao adicionar nova DMU	78

LISTA DE SIGLAS

CRS	<i>Constant Returns to Scale</i> (Retorno Constante de Escala)
DDF	<i>Directional Distance Function</i> (Função de Distância Direcional)
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i> (Análise Envoltória de Dados)
DMU	<i>Decision Making Unit</i> (Unidades de Tomada de Decisão)
KPI	<i>Key Performance Indicators</i> (Indicadores Chave de Performance)
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i> (Eficácia Global do Equipamento)
R&D	<i>Research and Desing</i> (Pesquisa e Desenvolvimento)
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
VRS	<i>Variable Returns to Scale</i> (Retorno Variável de Escala)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETO E PROBLEMA DE PESQUISA.....	16
1.2	Objetivos	21
1.2.1	Objetivo geral.....	21
1.2.2	Objetivos específicos	21
1.3	Justificativa.....	21
1.4	Delimitações	28
1.5	Estrutura do trabalho	28
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	31
2.1	Produtividade, Eficiência, Eficácia, Efetividade e Benchmarking.....	31
2.2	Estudos sobre avaliação de desempenho nas áreas de apoio	33
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	39
3.1	Delineamento da Pesquisa	39
3.2	Método de Trabalho.....	43
3.3	Projeto do Modelo DEA DDF	46
3.3.1	Modelagem: definição da unidade de contexto e período de análise	49
3.3.2	Modelagem: definição das Unidades de Tomada de Decisão (DMUs)	50
3.3.3	Modelagem: definição das variáveis do modelo DEA (<i>inputs</i> e <i>outputs</i>).....	51
3.3.4	Definição do modelo DEA/DDF (CRS ou VRS) e da orientação do modelo.....	58
3.3.5	Discussão e validação do modelo conceitual com os especialistas.....	60
3.4	Coleta dos dados.....	61
3.5	Análise dos dados	63
4	RESULTADOS.....	66
4.1	ANÁLISE DAS EFICIÊNCIAS TÉCNICAS	66
4.2	ANÁLISE <i>TARGETS</i> E GANHOS.....	69
4.3	painel de dados para acompanhamento mensal da eficiência do setor..	73
4.3.1	Análise Dados trimestrais e mensais	75
4.3.2	Análise Metas e Ganhos	78
4.3.3	Análise histórico entradas, saídas e ganhos.....	80
4.3.4	Mapeamento de boas práticas.....	81
5	DISCUSSÃO	84

5.1	CONTRIBUIÇÕES DOS RESULTADOS PARA A TEORIA	84
5.2	CONTRIBUIÇÕES DOS RESULTADOS PARA AS EMPRESAS	86
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
	REFERÊNCIAS.....	92
	APÊNDICE A – PROTOCOLO DE BUSCA RSL	98

1 INTRODUÇÃO

Impulsionadas pela globalização da economia e pelo aumento da competitividade nos mercados, as empresas têm intensificado seu foco na melhoria do desempenho organizacional (Souza *et al.*, 2018; Sampaio Brasil *et al.*, 2024). Isso exige a integração da gestão, além da capacidade de tomadas de decisões com foco na otimização dos resultados da empresa (Andonov-Acev *et al.*, 2008). Um dos meios para melhorar a capacidade de tomada de decisão é a mensuração do desempenho dos sistemas, avaliando, por exemplo, indicadores de produtividade e eficiência. A busca por melhores indicadores de produtividade e eficiência são temas amplamente discutidos nos meios empresarial, governamental e acadêmico (Kerstens; Sadeghi; Van De Woestyne, 2019). Além desses, a eficácia é outro indicador frequentemente utilizado (Gomes *et al.*, 2023).

Em muitos casos, a produtividade e a eficiência são consideradas como iguais nas organizações, apesar de possuírem conceitos distintos (Piran, Lacerda; Camargo, 2018). A produtividade é a relação entre os recursos utilizados na entrada de um sistema (exemplo, máquina ou processo) e os resultados gerados em sua saída, ou seja, a razão entre *outputs* e *input* (Charnes; Cooper; Rhodes, 1978). A eficiência é uma medida que quantifica a capacidade de um sistema em incrementar suas saídas ou reduzir suas entradas, em relação a um certo nível de entradas ou saídas, respectivamente, ou seja, a comparação da produtividade gerada com a produtividade máxima (Piran; Lacerda; Camargo, 2018). Assim, a produtividade é uma medida absoluta, a eficiência é uma medida relativa (Sampaio Brasil *et al.*, 2024). A eficácia, por sua vez, avalia o alcance das metas propostas, desconsiderando os recursos utilizados para alcançar os resultados, sendo assim, o resultado pode ser alcançado mesmo com a subutilização de recursos (Gomes *et al.*, 2023).

Em ambientes produtivos de bens e serviços, caracterizados por seus requisitos complexos e dinâmicos (Abdeen; Sandanayake; Ramachandra, 2022), as empresas precisam melhorar o seu desempenho, avaliando, além dos objetivos isolados, o conjunto de suas métricas (Bianchi, 2012). Destaca-se que nas áreas de apoio das empresas produtoras de bens e de serviços, a eficácia é uma medida comumente utilizada para avaliar o seu desempenho (Piran; Lacerda; Camargo, 2020; Thompson, 1976). No entanto, monitorar a eficácia do setor em atingir suas

metas é necessário, mas não é suficiente (Gomes *et al.*, 2023). Isso porque, o setor pode estar atingindo suas metas porém com uma baixa eficiência, ou ainda, com baixa efetividade.

Dessa forma, postula-se que é necessário utilizar indicadores que considerem as entradas utilizadas para alcançar os objetivos. Portanto, é importante avançar e medir, também, a produtividade e eficiência das áreas de apoio de sistemas produtivos, onde as entradas e saídas não são facilmente identificadas, como em processos produtivos tradicionais (Marques *et al.*, 2023).

Alguns estudos propõe indicadores para medição e acompanhamento do desempenho das áreas de apoio de sistemas produtivos, como, por exemplo, Abdeen *et al.* (2022), Agostino *et al.* (2012), Ghosh *et al.* (2016), Lescot (2016), e Francis *et al.* (2011). Abdeen *et al.* (2022) propõe a utilização de 38 indicadores para o acompanhamento da eficiência de uma *Supply Chain* na construção civil. Enquanto Agostino *et al.* (2012) utilizaram 23 indicadores relacionados a eficácia e eficiência para avaliar um setor de pesquisa e desenvolvimento. Por outro lado, Ghosh *et al.* (2016) agregaram quatro Indicadores Chave de Desempenho (KPIs – do inglês *Key Performance Indicator*) em um, por meio da arbitragem de pesos para cada indicador. Paralelo a isso, Lescot (2016) determinaram um indicador de produtividade para avaliar o setor de recursos humanos de uma empresa do Reino Unido e Francis *et al.* (2011) agruparam diversos aspectos do setor de gestão de prédios em um indicador por meio da média aritmética.

Apesar dos estudos relatados, existe escassez de trabalhos que avaliem a eficiência de áreas de apoio de sistemas produtivos. Os estudos existentes na literatura focam em compreender quais indicadores podem ser utilizados nas áreas de apoio (Abdeen; Sandanayake; Ramachandra, 2022; Obiajunwa, 2012; Mahmood; Mohd Zahari, 2021; Andonov-Acev *et al.*, 2008; Kadam; Fonseca, 2009). Além disso, as pesquisas que apresentam a implementação de algum tipo de indicador, esse estava relacionado a eficácia do setor, e não a avaliação de sua eficiência (Francis; Geens; Littlewood, 2011; Thompson, 1976; Kristensen; Saabye, 2021; Tornese *et al.*, 2014 e Naji; Gunduz; Naser, 2022). Assim, a partir dos trabalhos relatados, identifica-se um *gap* relacionado as métricas e indicadores descritos. Nesse sentido, os indicadores fornecem informações se o sistema avaliado está ou não atingindo as

metas estabelecidas, no entanto não auxiliam na compreensão de quais ações são necessárias para incrementar os resultados (Star *et al.*, 2016).

Além disso, indicadores como o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), amplamente utilizado para medir a eficiência dos processos produtivos, apresentam limitações para aplicações em áreas de apoio (Piran *et al.*, 2020). Com isso, identifica-se que há escassez de pesquisas que avaliem a eficiência das áreas de apoio de sistemas produtivos. Nesse contexto, a Análise Envoltória de Dados (DEA) surge como uma alternativa para medir a produtividade e eficiência das áreas de apoio dos sistemas produtivos (Piran *et al.*, 2021).

A utilização da DEA para avaliar a eficiência, considerando as entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) no processo, é uma alternativa relevante para avaliação do desempenho das Unidades de Tomada de Decisão (DMUs) dos sistemas produtivos (Gomes *et al.*, 2023). A DEA é utilizada para medir produtividade e eficiência de empresas distintas e concorrentes, a partir da utilização do *benchmarking* externo (Piran *et al.*, 2021). No entanto, para os casos em que não é possível aplicar o *benchmarking* externo, há a possibilidade de comparar longitudinalmente, as DMUs consigo mesmas, procedimento conhecido como *benchmarking* interno (Camanho *et al.*, 2024). Os estudos que realizaram o *benchmarking* interno a partir da DEA estão concentrados em processos produtivos (Piran *et al.*, 2023).

Dado o contexto apresentado, o tema central deste trabalho é a medição e acompanhamento da eficiência das áreas de apoio em sistemas produtivos. Na próxima seção, são apresentados o objeto de estudo e o problema de pesquisa.

1.1 OBJETO E PROBLEMA DE PESQUISA

A avaliação do desempenho das empresas ao longo do tempo é uma pauta importante para gestores, executivos e empresários (Bianchi, 2012). Para alcançar melhores níveis de desempenho e atingir o conjunto de metas definidas, que conduzem ao sucesso e crescimento, a avaliação de todos os processos e setores das empresas é de suma importância para a organização (Thompson, 1976). Frequentemente, devido à complexidade dos setores, a utilização de soluções *standards* e com lógicas fechadas não são o suficiente (Thompson, 1976).

A medição de desempenho do setor é o processo de quantificar a eficiência e eficácia do mesmo em um período de tempo pré-determinado (Star *et al.*, 2016). Há algum tempo a utilização da eficácia é indicada como uma possibilidade para acompanhar o desempenho das organizações (Thompson, 1976), ou seja, a eficácia é um indicador utilizado frequentemente para medir o desempenho dos sistemas. Conceitualmente a eficácia é um indicador que visa analisar a capacidade da organização, setor ou projeto, em alcançar as metas ou objetivos definidos (Ahmad *et al.*, 2019), compreendendo as organizações como agentes com propósitos declarados e coordenados (Ahmend, 1999). Porém, apenas o acompanhamento da eficácia das áreas de apoio pode não ser suficiente, pois as metas em muitas empresas não são claras, sofrem alterações contantes ou são incompatíveis e inalcançáveis (Ahmend, 1999). Além do indicador não avaliar questões relevantes, como, por exemplo: quantidade de insumos utilizados para o alcance do objetivo, se o objetivo foi finalizado no prazo correto e no orçamento pré-estipulado. Assim, compreende-se que uma empresa pode ser eficaz, mesmo não sendo rentável, visto que a eficácia considera somente o alcance das metas estipuladas sem considerar a utilização dos recursos para alcançá-las.

Além da eficácia, existem outros indicadores que podem ser utilizados para o acompanhamento das áreas de apoio. Como os Indicadores Chave de Resultados (KPIs), que acompanham quão bem um setor está performando em relação a um determinado fator crítico para o sucesso da empresa (Star *et al.*, 2016). Alguns exemplos de KPIs são: utilização de funcionários, tempo médio de resposta de incidentes, custo de operação, valores gastos em frete aéreo entre outros. No entanto, os KPIs avaliam os fatores do setor isoladamente, desconsiderando na análise possíveis interdependências entre mais de um KPI. Outros tipos de indicadores encontrados nas organizações, são indicadores focados nos resultados, que visam comunicar o que o setor alcançou no período (Star *et al.*, 2016). Esses indicadores desconsideram o “custo”, ou seja, ignoram os impactos negativos e positivos que o alcance dessa meta teve para a organização. Os indicadores encontrados na literatura, em sua maioria, expressam o que a área já alcançou ou para qual direção ela está se encaminhando, sem indicar as ações que são necessárias para incrementar o desempenho atual (Abdeen; Sandanayake; Ramachandra, 2022).

Uma alternativa para medir o desempenho das áreas de apoio é a avaliação da produtividade e eficiência. A produtividade e a eficiência são indicadores importantes, que estão relacionados à lucratividade da empresa (Ghosh *et al.*, 2016). Além disso, os sistemas de medição de desempenho são empregados recorrentemente para auxiliar as organizações a alcançarem seus objetivos (Star *et al.*, 2016). Ao monitorar áreas críticas da empresa, a organização pode identificar recursos adicionais necessários para o incremento de sua eficiência (Star *et al.*, 2016). No entanto, limitar o acompanhamento da eficiência apenas nas áreas produtivas da empresa, não é o suficiente, por exemplo o setor de manutenção (área de apoio), possui grande influência na eficiência das áreas produtivas, sendo assim, monitorar a eficiência do setor de manutenção é de fundamental importância para empresa. Por isso, torna-se importante analisar o desempenho da empresa em todos os processos do negócio, incluindo, por exemplo, as áreas de apoio dos sistemas produtivos, a fim de compreender as variações e causas desse resultado (Kronsbein; Meiser; Leyer, 2014).

Para uma análise concisa e embasada do desempenho da empresa e de suas áreas, se faz necessário a seleção de métodos e técnicas de avaliação apropriados, bem como a utilização de dados corretos e adequados (Gomes *et al.*, 2023). A eficiência, na maioria das empresas, conforme constatado na Revisão Sistemática da Literatura realizada neste estudo e apresentada na seção 2.2, é medida e acompanhada apenas em áreas produtivas, negligenciando as áreas de apoio. O não acompanhamento da eficiência das áreas de apoio pode acarretar diversos problemas tanto para área quanto para empresa, como, por exemplo, a demora ou não identificação de custos excessivos e atrasos gerados por ineficiência do setor (Naji; Gunduz; Naser, 2022). Além disso, a falta de acompanhamento da eficiência das áreas de apoio impossibilita a identificação precoce de disfunções no setor, dificultando a implementação de planos de ação para atenuação de riscos e retomada dos valores esperados (Naji; Gunduz; Naser, 2022).

Em contrapartida, algumas das vantagens geradas pelo acompanhamento da eficiência, são: aumento de vantagens competitivas (Mahmood; Mohd Zahari, 2021); aperfeiçoamento da capacidade de gerenciar custos (Mahmood; Mohd Zahari, 2021); aumento da capacidade de atender as demandas dos clientes (Mahmood; Mohd Zahari, 2021); e maior transparência interna e externa do impacto do setor nos

resultados da organização (Kristensen; Saabye, 2021). Ademais, esse acompanhamento fornece orientações para os gerentes de qual caminho seguir para garantir melhorias contínuas no sistema (Kristensen; Saabye, 2021), além de auxiliar na promoção de iniciativas para melhorar a transformação de processos (Kristensen; Saabye, 2021). Adicionalmente, auxilia na comunicação da estratégia e objetivos do setor desde o nível gerencial até o operacional (Kadam; Fonseca, 2009).

O acompanhamento da eficiência entre a equipe acarreta a compreensão geral dos pontos negativos da área e aumenta as chances dos funcionários manterem níveis elevados de desempenho (Kristensen; Saabye, 2021). Além disso, incrementa a capacidade de priorização de iniciativas focadas nos pontos em que as melhorias são necessárias, bem como possibilita a implementação de ações baseadas em seu potencial de contribuição para o alcance do objetivo do setor (Kadam; Fonseca, 2009). Outro ponto positivo, relacionado ao acompanhamento da eficiência, é que o indicador auxilia os gestores a mudarem o foco de problemas diários e operacionais para problemas relacionados a estratégia (Kadam; Fonseca, 2009). Ressalta-se que a capacidade da empresa de atingir os objetivos macros, está diretamente relacionada com como a empresa planeja e gerencia todos os seus recursos, desde os operacionais até os administrativos (Mahmood; Mohd Zahari, 2021).

Para avaliar a eficiência das áreas de apoio, técnicas são necessárias. Uma técnica que pode ser utilizada nesse contexto é a DEA. A DEA, além de ser amplamente utilizada para avaliações de eficiência (Lampe; Hilgers, 2015), permite por meio do *benchmarking* longitudinal interno melhorar o desempenho da empresa. Piran *et al.* (2023) conduziram uma pesquisa com o objetivo de identificar os estudos que aplicaram a DEA no *benchmarking* longitudinal interno. Dezesesseis artigos foram compreendidos na revisão da literatura, incluindo todos os setores da economia (primário, secundário, terciário e quartenário) e com áreas de aplicações diversas desde o setor agrícola até governamentais, porém, nenhum trabalho possuía foco na avaliação de eficiência em áreas de apoio de sistemas produtivos.

Camanho *et al.* (2024) realizaram uma Revisão Sistemática da Literatura voltada na identificação de trabalhos que aplicaram DEA para avaliar eficiência econômica, abrangendo desenvolvimentos metodológicos e aplicações empíricas. Entre as características dos trabalhos incluídos em ambas as revisões, um aspecto importante é que aplicações e avaliações empíricas sobre a DEA mostram que essa

técnica é utilizada exclusivamente para realização análises de eficiência momentâneas do objeto estudado. Ou seja, análises com DEA, fornecem uma visão ou uma “fotografia” da análise realizada em determinado momento. No entanto, para ser considerada uma técnica adequada para medição de desempenho nas áreas de apoio, é necessário que a eficiência calculada por meio da DEA também seja utilizada como um indicador recorrente, mensal ou semanal. Entretanto, há carência de estudos na literatura que analisaram a eficiência de áreas de apoio de sistemas produtivos por meio da DEA. Mesmo em pesquisas de *benchmarking* interno de sistemas produtivos, a DEA vem sendo empregada para avaliações momentâneas, não existindo, até o presente momento, trabalhos que proponham a utilização da DEA como um indicador de eficiência recorrente.

Outra lacuna presente na literatura atual e evidenciada nas pesquisas de Piran *et al.* (2023) e Camanho *et al.* (2024), é a escassez de estudos com foco nas áreas de apoio. Apesar da quantidade crescente de custos de indiretos nas áreas de apoio (Schneeweiss, 1998), representando em média 40% dos custos totais de adição de novas tecnologias na indústria automobilística (Rogozhin *et al.*, 2010), bem como os custos relacionados a satisfação dos clientes internos e externos, que estão associados a processos administrativos e representam entre 70% e 80% de todos os custos (Monteiro; Alves; Carvalho, 2017). Assim, compreende-se que as avaliações de desempenho nas áreas de apoio das empresas não podem ser negligenciadas.

Os estudos disponíveis na literatura, que abordam a avaliação de desempenho de áreas de apoio, concentram-se principalmente na definição dos indicadores para acompanhamento do desempenho do setor (manutenção, logística, pesquisa e desenvolvimento). Em sua maioria, esses indicadores avaliam a produtividade ou eficácia do setor. No entanto, o acompanhamento apenas desses indicadores pode gerar uma visão equivocada da situação real da área, considerando que o resultado pode estar sendo alcançado, mas é possível que os recursos estejam sendo subutilizados (Gomes *et al.*, 2023).

Considerando a relevância das áreas de apoio em sistemas produtivos, identifica-se a falta de trabalhos que visam medir a eficiência das áreas de apoio de sistemas produtivos em termos gerais e de maneira ampla. Em adição, há falta de estudos que avaliem a possibilidade de utilização da DEA como a técnica de avaliação de eficiência de áreas de apoio. Diante do contexto apresentado, a pergunta central

desta pesquisa é: Como a eficiência pode ser medida e monitorada de maneira recorrente, em áreas de apoio nos sistemas produtivos?

A partir da apresentação do objeto de estudo e do problema de pesquisa, realizadas nesta seção, na próxima seção são descritos os objetivos deste trabalho.

1.2 OBJETIVOS

Nesta seção, são descritos os objetivos gerais e específicos que compõem a pesquisa.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo é verificar como pode ser analisada e monitorada, longitudinalmente, a eficiência das áreas de apoio no sistema produtivo de uma empresa multinacional do segmento metal mecânico.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- A) Caracterizar os indicadores de avaliação de desempenho de áreas de apoio dos sistemas produtivos descritos/existentes na literatura;
- B) Avaliar a adequabilidade da eficiência calculada a partir da DEA, como um indicador recorrente para avaliação da eficiência longitudinal de uma área de apoio de um sistema produtivo;
- C) Desenvolver um painel de dados para suportar a tomada de decisão por meio das informações geradas a partir da DEA.

1.3 JUSTIFICATIVA

A literatura científica apresenta estudos que discutem a importância da utilização de indicadores de eficiência nas áreas de apoio de processos produtivos, bem como seus benefícios e desafios. No Quadro 1, é possível observar alguns exemplos de estudos que discutiram sobre o assunto, contemplando os impactos negativos da falta de indicadores.

Quadro 1- Artigos que abordam importância da utilização de indicadores

Assunto	Estudos que discutem o assunto
Importância da utilização de indicadores de eficiência em áreas de apoio	Abdeen, Sandanayake e Ramachandra (2022), Bianchi (2012), Coenen, Waldburger e Von Felten (2013), Kristensen e Saabye (2021), Star <i>et al.</i> (2016), Ghosh <i>et al.</i> (2016), Naji, Gunduz e Naser (2022), Mahmood e Mohd Zahari (2021), Kristensen e Saabye (2021), Alsyof (2006) e Kadam e Fonseca (2009).
Impactos da falta de indicadores	Abdeen, Sandanayake e Ramachandra (2022), Bianchi (2012), Martin <i>et al.</i> (2012), Andonov-Acev <i>et al.</i> (2008) e Mahmood e Mohd Zahari (2021).

Fonte: Elaborado pela autora.

Os estudos apresentados no Quadro 1 discutem a importância do uso de indicadores e os efeitos negativos da ausência desses na gestão dos setores. Abdeen *et al.* (2022) defendem que muitas organizações não alcançam o auge do seu potencial na *Supply Chain* devido ao insucesso no desenvolvimento de métricas de desempenho com olhar abrangente para todas as suas dimensões. Naji, Gunduz e Naser (2022) argumentam que a utilização de métricas de desempenho auxilia na identificação precoce de desvios nos resultados esperados, fornecendo informações importantes para o desenvolvimento de planos para mitigação de riscos. Mahmood e Mohd Zahari (2021) afirmam que um dos principais problemas enfrentados atualmente é a elevada disponibilidade e confiabilidade dos dados. Esse fato causa dificuldades para distinção dos dados relevantes e dos irrelevantes, Mahmood e Mohd Zahari (2021) abordam a existência de 12 indicadores utilizados para medição de desempenho, como receita, lucros, crescimento no número de empregados, redução do custo da produção, mas não elencam quais indicadores possuem maior relevância ou a relação entre eles. Constata-se que nenhum desses artigos apresentou uma maneira robusta para o acompanhamento longitudinal da eficiência de um setor por meio de um único indicador, capaz de apresentar de maneira sucinta e de fácil compreensão o resultado do setor no período estudado.

Abdeen *et al.* (2022) propuseram o uso de 38 indicadores para avaliar o setor da *Supply Chain* de uma rede de hotéis. Star *et al.* (2016) realizaram uma Revisão Sistemática da Literatura e desenvolveram um modelo prático para medição de desempenho de Recursos Humanos (RH). Lescot (2016) conduziu o estudo uma empresa do Reino Unido, em que propôs a utilização de um único indicador para medir a eficiência do setor de recursos humanos. Os demais artigos incluídos no Quadro 1 não especificaram nenhum tipo de indicador, limitando-se a discutir sua importância.

Para fundamentar a justificativa acadêmica desta pesquisa, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), com objetivo de investigar e analisar os estudos existentes focados na avaliação de desempenho das áreas de apoio em sistemas produtivos, bem como o interesse acadêmico no tema. O objetivo da RSL é a realização de uma busca abrangente e imparcial nas bases de dados (Shrinivasan *et al.*, 2012).

A estratégia de busca, seguiu as etapas indicadas por Morandi e Camargo (2015). Inicialmente, desenvolveu-se o protocolo de pesquisa do estudo, estabelecendo a estrutura conduzida na RSL. O protocolo da primeira revisão encontra-se no Apêndice A. Nessa etapa foram determinados os termos de busca, também conhecidos como palavras/termos-chave. Posteriormente, foram definidas as bases de dados para consulta e os critérios de inclusão e exclusão utilizados para selecionar os artigos que compuseram o *corpus* de análise. Assim, determinou-se as palavras-chave da primeira RSL como “*Key Performance Indicators*” AND “*Support Area*”, e suas variações, conforme indicadas na Tabela 1. As bases de dados consultadas foram EBSCOHost e Scopus. A quantidade de documentos encontrados nessas bases a partir da *string* de busca determinada pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1 - *Strings* da Revisão Sistemática da Literatura

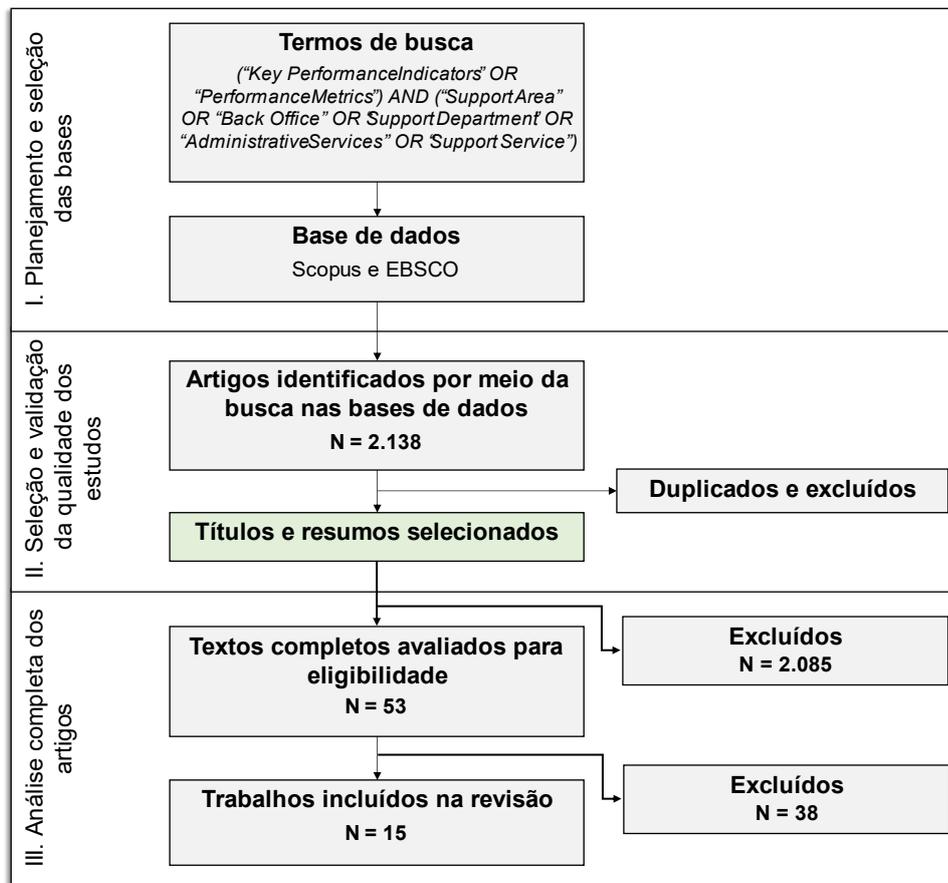
Base de Dados	Termos de Busca	Documentos Encontrados	Sem Duplicados
EBSCOHost	TI (“(“ <i>Key Performance Indicators</i> ” OR “ <i>Performance Metrics</i> ” OR “ <i>EFFICIENCY</i> ” OR “ <i>EFFECTIVENESS</i> ” OR “ <i>operational efficiency</i> ” OR “ <i>Organizational effectiveness</i> ” OR “ <i>Process Efficiency</i> ” OR “ <i>KPI</i> ” OR “ <i>Performance Efficiency</i> ”) AND (“ <i>Support Area</i> ” OR “ <i>Back Office</i> ” OR “ <i>Support Department</i> ” OR “ <i>Administrative Services</i> ” OR “ <i>Support Service</i> ” OR “ <i>Support Activities Areas</i> ” OR “ <i>Operational Support</i> ” OR “ <i>Support Functions</i> ” OR “ <i>Ancillary Areas</i> ” OR “ <i>Back-office</i> ” OR “ <i>Support Areas in Production Systems</i> ” OR “ <i>OPERATIONAL SUPPORT</i> ”))	226	224
Scopus	TITLE-ABS-KEY (“(“ <i>Key Performance Indicators</i> ” OR “ <i>Performance Metrics</i> ” OR “ <i>EFFICIENCY</i> ” OR “ <i>EFFECTIVENESS</i> ” OR “ <i>operational efficiency</i> ” OR “ <i>Organizational effectiveness</i> ” OR “ <i>Process Efficiency</i> ” OR “ <i>KPI</i> ” OR “ <i>Performance Efficiency</i> ”) AND (“ <i>Support Area</i> ” OR “ <i>Back Office</i> ” OR “ <i>Support Department</i> ” OR “ <i>Administrative Services</i> ” OR “ <i>Support Service</i> ” OR “ <i>Support Activities Areas</i> ” OR “ <i>Operational Support</i> ” OR “ <i>Support Functions</i> ” OR “ <i>Ancillary Areas</i> ” OR	2.142	1.959

Base de Dados	Termos de Busca	Documentos Encontrados	Sem Duplicados
	<p><i>"Back-office" OR "Support Areas in Production Systems" OR "OPERATIONAL SUPPORT")</i></p> <p><i>TITLE-ABS-KEY (("Key Performance Indicators" OR "Performance Metrics" OR "EFFICIENCY" OR "EFFECTIVENESS" OR "operational efficiency" OR "Organizational effectiveness" OR "Process Efficiency" OR "KPI" OR "Performance Efficiency") AND ("Support Area" OR "Back Office" OR "Support Department" OR "Administrative Services" OR "Support Service" OR "Support Activities Areas" OR "Operational Support" OR "Support Functions" OR "Ancillary Areas" OR "Back-office" OR "Support Areas in Production Systems" OR "OPERATIONAL SUPPORT"))</i></p>		

Fonte: Elaborado pela autora.

A partir dos documentos encontrados, expostos na Tabela 1, realizou-se a seleção desses estudos. A Figura 1 apresenta o fluxograma dos resultados da pesquisa, contemplando a quantidade de documentos encontrados, documentos excluídos e o total de documentos incluídos na revisão.

Figura 1 - Fluxograma dos resultados da Revisão Sistemática da Literatura



Fonte: Elaborado pela autora.

A busca nas bases de dados resultou em 2.138 artigos, publicados entre os anos de 1995 e agosto de 2024. Foram excluídos os documentos duplicados, aqueles que não estavam relacionados a áreas de apoio de empresas do setor privado, não estavam alinhados com o foco da pesquisa ou não estavam escritos em inglês. Foram incluídos artigos revisados por especialistas e que abordassem indicadores de desempenho e/ou eficiência em áreas de apoio.

A realização da Revisão Sistemática da Literatura auxiliou para a formação de uma visão abrangente sobre o tema estudado, em relação aos estudos científicos existentes e a evolução dos temas ao longo das últimas décadas. Apesar do aumento de publicações na última década, relacionadas a indicadores de desempenho de áreas de apoio, o que evidencia o crescimento do interesse acadêmico e das organizações sobre o tópico, é notável a escassez de estudos empíricos que avaliem longitudinalmente a eficiência de áreas de apoio de sistemas produtivos. Essa lacuna

corroborar com a necessidade de desenvolvimento de pesquisas adicionais que auxiliem no preenchimento do *gap* de conhecimento sobre o tema.

Dos 15 estudos analisados na Revisão Sistemática da Literatura, relacionados a indicadores de desempenho, quatro artigos propuseram um único indicador ou o agrupamento de vários indicadores em um único, sendo: Francis, Geens e Littlewood (2011), Ghosh *et al.* (2016), Kristensen e Saabye (2021) e Namba, Yamanaka e Yanase (2007)). Enquanto, dois estudos, o de Tornese *et al.* (2014) e de Naji, Gunduz e Naser (2022), sugeriram o agrupamento de diversos indicadores em um relatório. Seis artigos focaram em compreender quais os indicadores devem ser analisados em áreas de apoio (Abdeen; Sandanayake; Ramachandra, 2022; Obiajunwa, 2012; Martin *et al.*, 2012; Andonov-Acev *et al.*, 2008; Kadam; Fonseca, 2009). Em quatro artigos foram propostos *frameworks* para auxiliar na escolha de indicadores para acompanhamento (Bianchi, 2012; Loch; Tapper, 2002; Star *et al.*, 2016; Alsyouf, 2006). Todos os autores considerados na revisão destacaram a relevância de métricas para avaliação de desempenho dos setores e os impactos gerados pela falta dos mesmos em diversos âmbitos das organizações. No entanto, apenas Loch *et al.* (2002) evidenciaram por meio de entrevistas a percepção dos gestores que, após um ano da implementação do sistema de medição de desempenho, perceberam uma mudança positiva do comportamento e nos resultados do setor. A partir da análise desses estudos, foi possível identificar a dificuldade em compilar a avaliação de eficiência de áreas de apoio de sistemas produtivos em um único indicador.

A falta de indicadores corretos para acompanhamento de eficiência pode acarretar objetivos desfocados e, também, maior atenção a objetivos financeiros, fazendo com que os gestores concentrem suas decisões apenas nos resultados financeiros (Bianchi, 2012). Entretanto, os *stakeholders* do processo tendem a perceber o desempenho dos setores de maneiras distintas, fato que reforça a importância de um indicador que agregue diferentes esferas do negócio, avaliando a satisfação de todas as partes interessadas (Obiajunwa, 2012). Para Abdeeb *et al.* (2022) e Obiajunwa (2012), a satisfação do cliente final exerce um impacto maior no desempenho do setor do que o custo utilizado para alcançar o resultado.

Embora exista interesse tanto da academia como das organizações em encontrar parâmetros e indicadores capazes de avaliar a eficiência das áreas de apoio e a literatura apresente os benefícios de usar tais indicadores, atualmente não existe

um método difundido que agrupe diversos *inputs* e *outputs* em um único indicador. A maioria dos estudos sobre indicadores de eficiência em áreas de apoio de sistemas produtivos são focados em elencar os indicadores importantes de acompanhamento e desenvolver *frameworks* de utilização. Em alguns casos os autores propõem o agrupamento de diversos indicadores em um único, porém ainda não existe um procedimento difundido e amplamente aceito no âmbito empresarial e acadêmico. Tornando-se evidente que a avaliação e acompanhamento da eficiência é um tópico discutido com frequência, mas raramente definido (Neely; Gregory; Platts, 2005).

Os indicadores de desempenho possuem o papel de comunicar para todos os níveis da empresa e setor seus resultados, separando as informações relevantes para gerência, apresentando de maneira simples assuntos complexos e criando transparência para toda a organização (Meier *et al.*, 2013). Assim, os indicadores são a base para organizações que buscam gerenciamento orientado ao resultado. Portanto, após realização da RSL, fica evidente que existe uma escassez de estudos empíricos que proponham um único indicador, capaz de agrupar as métricas relevantes para o setor, que possa ser utilizado para acompanhamento mensal de desempenho da área, apresentando assim, a relevância do presente estudo sob a ótica empresarial.

Com base no contexto apresentado, percebe-se que é relevante desenvolver um trabalho que objetiva fornecer contribuições para os gestores, com foco em áreas de apoio de sistemas produtivos, ao propor um indicador mensal que auxilie no acompanhamento e melhore a compreensão da eficiência dos setores. Destaca-se que o trabalho é fundamentado na modelagem com dados de uma área de apoio de um sistema produtivo, em suas condições reais, o que diferencia esta pesquisa da maioria dos estudos existentes na literatura. Portanto, este estudo apresenta uma abordagem promissora para o acompanhamento mensal da eficiência de áreas de apoio de sistemas produtivos e contribui para o avanço do conhecimento nesta área.

Assim, por meio desta pesquisa, espera-se proporcionar às empresas um melhor entendimento sobre a eficiência das áreas de apoio, auxiliando na tomada de decisões estratégicas fundamentadas. Por meio deste trabalho, as empresas poderão obter uma compreensão mais profunda de quais *inputs* possuem maior impacto na seu desempenho e como ela tem se comportado ao longo do tempo.

Com base nos argumentos apresentados, percebe-se que é relevante desenvolver, do ponto de vista acadêmico, um trabalho que: (i) avalie empiricamente e longitudinalmente a eficiência de áreas de apoio de sistemas produtivos, auxiliando na maior compreensão do assunto; (ii) desenvolva um indicador que agregue a visão de diferentes áreas do setor e que seja de fácil compreensão para os gestores; e (iii) avalie a possibilidade da utilização da DEA como um indicador recorrente. Além de também ser relevante no ponto de vista empresarial, por proporcionar aos gestores uma ferramenta poderosa para o entendimento e alavancagem de resultados.

1.4 DELIMITAÇÕES

Objetivando explicitar as abrangências e limites deste trabalho, esta seção aborda as delimitações da presente dissertação, a qual utiliza a Análise Envoltória de Dados considerando dados de uma empresa real. O propósito do trabalho é desenvolver um indicador mensal de acompanhamento da eficiência para áreas de apoio de sistemas produtivos. Sendo assim, o trabalho tem como foco a eficiência, não realizando nenhum tipo de análise relacionada à efetividade. Além disso, o trabalho não pretende avaliar as ações gerenciais adotadas ao longo do tempo no setor utilizado como base para o estudo.

Este estudo apresenta um modelo aplicado em um caso único, mas com a perspectiva de ser facilmente replicado para outras áreas de apoio da empresa em questão e de outras empresas interessadas. O objetivo é fornecer um meio adequado de acompanhamento mensal de eficiência, por meio de um único indicador. A DEA clássica foi a técnica utilizada para a medição da eficiência, as demais técnicas disponíveis não foram utilizadas.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos que abordam o desenvolvimento de um indicador mensal de avaliação do desempenho das áreas de apoio de empresas de manufatura por meio do *benchmarking* interno. No primeiro capítulo, o estudo é introduzido, contextualizando o tema da pesquisa e discutindo aspectos relacionados à aplicação desses princípios, embasando a questão de

pesquisa. O objeto de estudo, problema de pesquisa, objetivo geral e os específicos também são apresentados. Nesse capítulo também são expostos os argumentos que justificam a relevância da pesquisa para a comunidade acadêmica e empresarial.

No segundo capítulo, o referencial teórico é dividido em duas fases. A primeira etapa aborda conceitos-chave para o desenvolvimento da pesquisa, como eficiência, produtividade e eficácia. A segunda fase aborda os indicadores de desempenho e eficiência utilizados atualmente em áreas de apoio de sistemas produtivos.

O terceiro capítulo apresenta detalhadamente a metodologia utilizada para realização da pesquisa. A metodologia seguida compreende as etapas de delineamento de pesquisa, método de trabalho empregado, procedimento de coleta de dados e elaboração do modelo DEA. Além disso, nesse capítulo é proposto o modelo de indicador para acompanhamento da eficiência das áreas de apoio do objeto de estudo.

No quarto capítulo, é apresentada a análise detalhada das eficiências obtidas. Primeiramente, são expostos os resultados das eficiências em cada período de análise (DMU), em conjunto com as médias e desvio padrão, com objetivo de identificar possíveis padrões ou variações significativas. Na sequência, são apresentadas as metas (*target*) e ganhos, também conhecido como folgas, dos *inputs* e *outputs* de cada DMU. Por fim, é apresentado o modelo proposto de acompanhamento mensal do indicador.

No quinto capítulo, é realizada a discussão dos resultados obtidos, abordando as contribuições no âmbito acadêmico e empresarial desta pesquisa. São explorados os aspectos relevantes relacionados à utilização do *benchmarking* interno por meio da aplicação da DEA, como um indicador mensal para acompanhamento da evolução da eficiência de áreas de apoio de sistemas produtivos. Além disso, é realizada uma análise da amplitude e do alcance dos resultados obtidos, considerando limitações e oportunidades para futuras melhorias e continuidade do estudo.

O sexto capítulo é composto pelas conclusões e considerações finais da dissertação, ele está embasado nos resultados e discussões apresentadas no corpo da pesquisa. Nessa etapa, as principais descobertas são sintetizadas, destacando a relevância e as contribuições que o estudo apresenta para comunidade científica e empresarial. Como conclusão do trabalho, são apresentadas sugestões para possíveis trabalhos futuros, a fim de expandir o conhecimento científico na área.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico está dividido em duas partes. Primeiramente, são introduzidos e explorados conceitos fundamentais para o embasamento da pesquisa. Na segunda etapa, são abordados os estudos disponíveis na literatura referentes a indicadores de desempenho de áreas de apoio de sistema produtivos.

2.1 PRODUTIVIDADE, EFICIÊNCIA, EFICÁCIA, EFETIVIDADE E BENCHMARKING

Em diversas organizações os conceitos de produtividade e eficiência são tratados como idênticos, por isso, o entendimento de sua diferença é de suma importância (Piran; Lacerda; Camargo, 2018). Em linhas gerais, a produtividade pode ser explicada como o indicador responsável por mostrar como os recursos (*inputs*) de um determinado processo estão sendo utilizados (*outputs*) (Piran; Lacerda; Camargo, 2018), conforme Equação 1. O conceito de produtividade pode ser aplicado em todas as áreas geradoras de produtos (*outputs*) a partir de insumos (*inputs*), como por exemplo, a indústria e área de serviços (Macedo, 2012) .

$$Produtividade = \frac{Outputs \text{ (saídas)}}{Inputs \text{ (entradas)}} \quad (1)$$

A avaliação isolada da produtividade de uma empresa ou área de apoio pode acarretar a utilização inadequada dos recursos (Bartelsman; Haltiwanger; Scarpetta, 2013). Por isso, é necessário utilizar, em conjunto, a eficiência e produtividade. Visto que ambas podem ser analisadas em diversas escalas, ou seja, desde um nível macro (países e regiões) até o nível micro (setores e processos) (Piran *et al.*, 2020). A eficiência é uma medida comparativa, ou seja, uma unidade produtiva é considerada eficiente quando utiliza a menor quantidade de insumos possíveis para a produção de uma determinada quantidade de produtos, conforme a Equação 2 (Cummins; Weiss, 2011). Em muitas empresas, a eficiência é medida como a relação entre as horas trabalhadas e as horas disponíveis para trabalhar (Souza *et al.*, 2018).

$$Eficiência = \frac{saída (real)}{entrada (real)} \text{ comparada com } \frac{saída (máxima)}{entrada (máxima)} \quad (2)$$

Para analisar a produtividade e eficiência sistemicamente, torna-se relevante a compreensão dos conceitos de eficácia, efetividade e *benchmarking* e suas relações (Piran *et al.*, 2020). A eficácia pode ser definida como o monitoramento da capacidade de cumprir os objetivos propostos, desconsiderando os recursos empregados para o atendimento das metas (Piran *et al.*, 2020). Sendo amplamente utilizada para validar se o setor, empresa ou organização está cumprido as metas e objetivos organizacionais (Ahmad *et al.*, 2019; Piran; Lacerda; Camargo, 2018). Enquanto a efetividade tem como objetivo avaliar as mudanças, quantitativamente e qualitativamente, promovidas por uma intervenção, ou seja, a efetividade avalia a capacidade de alcançar as metas propostas, considerando os recursos utilizados (Piran *et al.*, 2020).

A DEA é uma técnica não paramétrica utilizada para mensuração da eficiência relativa de unidades produtivas, homogêneas e comparáveis entre si, chamadas de unidade de tomada de decisão (DMUs). Sua eficiência pode ser avaliada por meio do *benchmarking* (Piran *et al.*, 2023). O *benchmarking* é um processo contínuo e sistemático que busca as melhores práticas para a unidade produtiva, conduzindo assim a um desempenho superior. A partir do *benchmarking* é possível identificar práticas, processos e ações gerenciais que incrementam o resultado da unidade produtiva estudada e aplicá-los na unidade produtiva de interesse (Piran; Lacerda; Camargo, 2018).

Existem dois tipos de *benchmarking*, o externo e interno. O externo consiste na comparação de uma DMU com outras semelhantes, em geral concorrentes, em um determinado período ou em vários (Piran *et al.*, 2023). Entre as desvantagens do *benchmarking* externo, está a dificuldade de obtenção de dados internos de outras empresas ou áreas, e o fato de que algumas empresas ou setores possuem características exclusivas, o que inviabiliza a possibilidade de comparação com concorrentes (Piran *et al.*, 2023). Assim, o *benchmarking* interno surge como uma possibilidade promissora, pois um setor (DMU) é comparado com ele mesmo ao longo do tempo, adicionando assim a dimensão temporal na avaliação de um único setor

(Piran *et al.*, 2021), chamado de *benchmarking* interno longitudinal. No Quadro 2, é apresentado uma síntese dos conceitos abordados nesta seção.

Quadro 2 - Síntese de conceitos

Conceito	Descrição
Produtividade	Relação entre as entradas utilizadas e os resultados (saídas) geradas pelo processo
Eficiência	Indicador que representa o aproveitamento dos insumos utilizados no processo. Comparação entre o que foi utilizado para produzir determinado insumo em relação ao que poderia ter sido consumido para produzir a mesma quantidade, ou ainda, o que poderia ter sido produzido com a mesma quantidade de insumos;
Eficácia	Indicador referente a capacidade de cumprir com os objetivos propostos, não considerando os insumos (entradas) utilizadas
Efetividade	Indicador referente a capacidade de cumprir com os objetivos propostos, considerando os insumos (entradas) utilizadas
DEA	Técnica não paramétrica utilizada para calcular curva de eficiência, considerado relação ótima entre insumos e produtos
<i>Benchmarking</i>	Processo de comparação entre uma ou mais entidades, a fim de identificar melhores práticas e adaptá-los as entidades menos eficientes

Fonte: Elaborado pela autora com base em Piran, Lacerda e Camargo (2018).

2.2 ESTUDOS SOBRE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO NAS ÁREAS DE APOIO

Por meio da Revisão Sistemática da Literatura, apresentada na seção 1.3, o escopo final da pesquisa considerou 15 artigos, publicados entre os anos de 2002 e 2022, que abordam técnicas ou métodos de avaliação de desempenho de áreas de apoio de sistemas produtivos. Assim, foram desconsiderados da revisão artigos que estudaram sistemas públicos, relacionados à saúde ou à educação. Na sequência, foi realizada uma análise de conteúdo dos quinze artigos.

Inicialmente, identificou-se os trabalhos que propuseram novas técnicas ou ferramenta para cálculo da eficiência. Por esse motivo os trabalhos foram classificados como: (i) proposição de um indicador, por agrupamento de vários indicadores em um único ou definição de um único indicador relevante para acompanhamento (UN); (ii) agrupamento de diversos indicadores em um relatório (AR); (iii) os trabalhos que discutiram quais os indicadores devem ser analisados (IA); e (iv) estudos que tiveram como foco desenvolver frameworks para escolha de indicadores (EI). Também foram identificadas as áreas ou setores em que os trabalhos

foram desenvolvidos. A lista dos artigos incluídos e a classificação deles está disponível no Quadro 3.

Quadro 3 - Corpus da análise da RSL

Autores	Título	Classificação
Fathima Nishara Abdeen, Yasangika Gayani Sandanayake e Thanuja Ramachandra (2022)	<i>A framework for facilities management supply chain performance evaluation: case study of hotel buildings</i>	IA
Christopher C. Obiajunwa (2012)	<i>A framework for the evaluation of turnaround maintenance projects</i>	IA
Fabiana Tornese, Maria Holgado, Maria Grazia Gnoni, Valério Elia e Marco Macchi (2014)	<i>A systematic framework for defining environmental performance metrics for industrial services</i>	AR
Trevor J. Francis, Andrew J. Geens and John Littlewood (2011)	<i>Assessing The Effectiveness of Maintenance Practice, in Caring for Historic Buildings</i>	UN
Rahul Ghosh, Avantika Gupta, Soumi Chattopadhyay, Ansuman Banerjee e Koustuv Dasgupta (2016)	<i>CoCOA: A Framework for Comparing Aggregate Client Operations in BPO Services</i>	UN
Naji, K.K., Gunduz, M., Naser, A.F. (2022)	<i>Construction change order management project support system utilizing Delphi method</i>	AR
Martin, J., Setzer, T., Teschner, F., Conte, T., Weinhardt, C. (2012)	<i>Decision support services based on dynamic digital analyses: Quality metrics for financial planning processes</i>	IA
Carmine Bianchi (2012)	<i>Enhancing performance management and sustainable organizational growth through system-dynamics modelling</i>	EI
Andonov-Acev, D., Buckovska, A., Blagojevic, Z., Kraljevski, V. (2008)	<i>Enterprise Performance Monitoring</i>	IA
Loch, C.H. e Staffan Tapper, U.A. (2002)	<i>Implementing a strategy-driven performance measurement system for an applied research group</i>	EI
Kristensen, T.B., Saabye, H. (2021)	<i>Increasing the enabling use of performance measures: a longitudinal quasi natural experiment</i>	UN
Barnum, D.T., Gleason, J.M. (2011)	<i>Measuring maintenance performance using a balanced scorecard approach</i>	EI
Sequoia Star, Darlene Russ Eft, Marc T. Braverman e Roger Levine (2016)	<i>Performance Measurement and Performance Indicators A Literature Review and a Proposed Model for Practical Adoption</i>	EI
Namba, I., Yamanaka, H., Yanase, T. (2007)	<i>Technologies for Raising Efficiency in Support Services</i>	UN

Autores	Título	Classificação
Kadam, S., Fonseca, C. (2009)	<i>The E&P Balanced Scorecard: Becoming a Strategy Focused OPCO Driven by Performance</i>	IA

Fonte: Elaborado pela autora.

Loch e Tapper (2002) foram os primeiros a discutirem os indicadores relevantes para acompanhamento da eficiência de um setor de Pesquisa e Desenvolvimento (do inglês, *Research and Development* - R&D), de uma indústria, propondo o acompanhamento de 16 indicadores em um único gráfico. Os autores não tiveram como foco abordar os métodos utilizados para coleta de dados ou cálculo de cada indicador. Porém, estudaram o efeito na eficácia do setor após um ano de acompanhamento dos indicadores elencados, em que todos os indicadores apresentaram uma melhora significativa. Loch e Tapper (2002) também evidenciaram, por meio de entrevistas e observações, mudanças positivas no comportamento do setor. Entre os trabalhos incluídos nesta revisão, Loch e Tapper (2002) foram os únicos que após um período revisitaram a área estudada e discutiram o impacto da implementação dos indicadores a longo prazo.

Os estudos de Bianchi (2012), Tornese *et al.* (2014), Star *et al.* (2016) e Naji, Gunduz e Naser (2022) tiveram como objeto de estudo avaliar e auxiliar no desenvolvimento de sistemas de avaliação de desempenho apresentando como resultado de suas pesquisas frameworks que ajudam no processo de escolha de indicadores relevantes. Contudo nenhum dos artigos apresentaram resultados práticos de seus modelos. (Alsyouf, 2006), desenvolveu um sistema estratégico para medir e acompanhar o desempenho da área de planejamento de manutenção, relacionando os resultados do setor com os da empresa, possibilitando a identificação da causa raiz de resultados negativos e fornecendo dados para desenvolvimento de planos de ação. O autor propôs medidas operacionais e financeiras, sendo algumas quantitativas e outras qualitativas.

Obiajunwa (2012) avaliou o processo de medição de desempenho de um setor responsável pelos projetos de manutenção, de seis empresas distintas. O trabalho não se aprofunda no método para medição dos indicadores, porém tem como foco elencar os critérios de sucessos de projetos acompanhados atualmente e propõe quais critérios deveriam ser utilizados, elencando por fim os seguintes critérios relevantes a serem acompanhados: custo, tempo, qualidade, segurança, meio

ambiente e funcionalidade. Porém não propôs a correlação entre os recursos utilizados para alcance de metas, abordando apenas o acompanhamento dos indicadores

Abdeen *et al.* (2022) realizaram um estudo de caso no setor de *Supply Chain* de três redes de hotéis do Sri Lanka, com objetivo de elencar quais indicadores devem ser acompanhados no setor. Os autores entrevistaram 21 especialistas, identificando um total de 38 indicadores relevantes para acompanhamento, estando relacionados à avaliação de fornecedores, prestadores de serviços, qualidade dos serviços, percepção do serviço pelo cliente. Os autores não discorrem sobre como calcular os indicadores, nem como manter atualizado um montante expressivo de indicadores (38). Além disso, não abordam quais indicadores devem ser priorizados ou possuem maior impacto no desempenho do setor. Percebe-se a inexistência de indicadores econômicos e financeiros. Além da inexistência da relação de quanto recurso foi consumido para alcance de determinada meta ou finalização de determinada atividade.

(Martin *et al.*, 2012), desenvolveram seu trabalho no setor de planejamento financeiro de uma indústria metalmeccânica multinacional, tendo como objetivo final do trabalho a apresentação de um indicador capaz de avaliar a qualidade dos dados gerados pelo setor. A solução proposta foi a adição de um indicador que visa medir a precisão do planejamento e seus desvios, porém não apresentaram como de fato aplicar o mesmo.

Andonov-Acev *et al.* (2008) argumentaram sobre os fatores importantes a serem considerados para determinação dos indicadores que devem ser avaliados em áreas de apoio, reforçando a importância dos indicadores responderem a quatro perguntas bases, que são: (i) o que indicador visa comunicar; (ii) quais decisões precisam ser tomadas com base no indicador, em caso de valores abaixo do esperado; (iii) quem é o responsável pelas decisões, ou seja, quem deve tomar as decisões; e (iv) o processo e estrutura necessária para monitoramento do indicador. Além disso, Andonov-Acev *et al.* (2008) reforçaram que, todos os envolvidos no setor, não apenas a alta gerência, devem ter conhecimento dos indicadores e como eles impactam nos objetivos corporativos. Kadam e Fonseca (2009) estudaram uma indústria de Óleo e Gás do Oriente Médio e apresentaram um modelo conceitual, contemplado os procedimentos que devem ser seguidos para definir, coletar, medir e

comunicar as métricas que cada setor e unidade da empresa devem seguir, a fim de garantir o alinhamento entre as metas e indicadores estratégicos e operacionais com os objetivos da empresa.

Francis *et al.* (2011) e Ghosh *et al.* (2016) agregaram mais de um indicador em um único, processo também conhecido como indicador composto. Indicadores compostos tem como finalidade reduzir fenômenos multidimensionais para unidimensional. O resultado do processo de agregação é um indicador simplificado e com maior facilidade de compreensão, porém menos informativo do que quando comparado com a gama de indicadores originais (Mariani; Ciommi; Recchioni, 2024). Francis *et al.* (2011) realizaram o trabalho com foco no setor de manutenção predial, apresentando um indicador obtido por meio da média aritmética de diferentes aspectos da conservação predial. Ghosh *et al.* (2016) propõem um *dashboard* para o acompanhamento dos clientes por meio da classificação de KPIs elencados e, na sequência, classificam os KPIs por importância. O *dashboard* proposto possibilita que o usuário compare o resultado do mês vigente de um ou mais clientes e confronte com o mês anterior, proporcionando a identificação de uma deterioração ou melhora de um KPI em específico. O *dashboard* apresentado também fornece a opção de cadastros de alertas, permitindo assim que o usuário identifique com facilidade comportamentos indesejados. Um ponto negativo do sistema proposto é que os KPIs utilizados passam por um processo de normalização que não é trivial caso ocorra a necessidade de adicionar ou incluir um indicador.

Kristensen e Saabye (2021) objetivaram validar o incremento de desempenho e do setor administrativo de uma indústria após a implementação do *Lean*. Para isso, os autores calcularam a relação entre a quantidade de entregas do setor, ou seja, tarefas concluídas, e os recursos consumidos e orçados para as mesmas, denominando esse indicador como eficiência. Destaca-se que os autores, além de considerarem apenas tempo como recurso, desconsideraram outros pontos relevantes, como a conclusão da atividade dentro do prazo estipulado, sendo assim, o que foi calculado pelos autores é a efetividade do setor. Os autores Namba, Yamanaka e Yanase (2007) defenderam que o setor responsável pela gestão da manutenção tem sua eficiência, termo utilizado pelos autores, incrementada se os serviços de manutenção forem realizados em um tempo inferior ao tempo médio.

Após a classificação dos trabalhos, a partir dos objetivos e soluções propostas pelos autores, os estudos foram submetidos a uma segunda classificação. Em que, buscou-se identificar se os trabalhos propuseram indicadores que avaliam a eficácia ou efetividade do setor. Essa classificação é exposta no Quadro 4.

Quadro 4 – Classificação conforme tipo de indicador proposto

Título	Classificação 2
<i>A framework for facilities management supply chain performance evaluation: case study of hotel buildings</i>	Eficácia
<i>A framework for the evaluation of turnaround maintenance projects</i>	Eficácia
<i>A systematic framework for defining environmental performance metrics for industrial services</i>	Eficácia
<i>Assessing The Effectiveness of Maintenance Practice, In Caring For Historic Buildings</i>	Eficácia
<i>CoCOA: A Framework for Comparing Aggregate Client Operations in BPO Services</i>	Efetividade
<i>Construction change order management project support system utilizing Delphi method</i>	Eficácia
<i>Decision support services based on dynamic digital analyses: Quality metrics for financial planning processes</i>	Eficácia
<i>Enhancing performance management and sustainable organizational growth through system-dynamics modelling</i>	Eficácia
<i>Enterprise Performance Monitoring</i>	Eficácia
<i>Implementing a strategy-driven performance measurement system for an applied research group</i>	Eficácia
<i>Increasing the enabling use of performance measures: a longitudinal quasi natural experiment</i>	Efetividade
<i>Measuring maintenance performance using a balanced scorecard approach</i>	Eficácia
<i>Performance Measurement and Performance Indicators A Literature Review and a Proposed Model for Practical Adoption</i>	Eficácia
<i>Technologies for Raising Efficiency in Support Services</i>	Efetividade
<i>The E&P Balanced Scorecard: Becoming a Strategy Focused OPCO Driven by Performance</i>	Eficácia

Fonte: Elaborado pela autora.

Após realização da segunda classificação, identifica-se que dos 15 artigos incluídos na revisão, apenas 3 tiveram como foco a definição de indicadores que avaliem a efetividade do setor. Apenas Loch e Tapper (2002) e Ghosh *et al.* (2016) avaliaram o setor estudado de maneira longitudinal. Fato que reforça o *gap* na literatura referente a indicadores de desempenho para avaliação de áreas de apoio longitudinalmente.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos que guiam o trabalho são descritos na seguinte sequência: (i) delineamento da pesquisa, composto pela natureza, objetivo, método científico, abordagem e método de investigação aplicado na pesquisa; (ii) método de trabalho empregado; (iii) coleta e refinamento dos dados; e (iv) análise de dados.

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Nesta etapa é realizado o delineamento do estudo de maneira ampla. Esta etapa tem como função orientar o pesquisador no planejamento, nas definições de coleta de dados e na interpretação dos mesmos (Yin, 2001). Nesta etapa, é avaliado o contexto em que os dados são obtidos, examinando os métodos de controle das variáveis relevantes e o processo usado para obter as informações (Piran, 2015).

Trabalhos científicos devem apresentar coesão e alinhamento do início ao fim. Ou seja, o referencial teórico, os objetivos, o desenvolvimento e as conclusões, devem estar alinhados, assegurando consistência à pesquisa (Cauchick-Miguel, 2007). Os métodos e técnicas utilizados na pesquisa devem ser escolhidos adequadamente, a fim de explicarem os fenômenos estudados (Cauchick-Miguel, 2007). Existem diversas maneiras de classificar o método de pesquisa, sendo os modelos clássicos: quanto a natureza, objetivo, método científico, abordagem e método de investigação. O Quadro 5 resume o delineamento desta pesquisa, conforme tais classificações.

Quadro 5 - Resumo do delineamento da pesquisa

Dimensão	Enquadramento
Natureza	Aplicada
Objetivo	Exploratória
Método Científico	Indutivo
Abordagem	Quantitativa
Método de pesquisa	Modelagem baseada em casos

Fonte: Elaborado pela autora com base em Lacerda, Rodrigues e Silva (2009).

As pesquisas científicas podem ser motivadas por questões teóricas ou práticas. Pesquisas com cunho teórico são chamadas de pesquisa básica ou pura, possuindo como foco assegurar o desenvolvimento científico, sem necessariamente

visar a utilização do conhecimento na prática (Dresch; Lacerda; Júnior, 2015). Por outro lado, pesquisas com foco na prática, também chamadas de aplicadas, têm como principal objetivo auxiliar organizações ou profissionais por meio da resolução de problemas reais (Dresch; Lacerda; Júnior, 2015). Sendo assim, o presente estudo é enquadrado como uma pesquisa aplicada.

O pesquisador deve definir o objetivo a ser alcançado com o desenvolvimento da pesquisa. Isso significa determinar se a pesquisa tem o intuito de explorar, descrever, explicar ou prever o comportamento do fenômeno a ser estudado. A presente pesquisa é considerada exploratória. Visto que as pesquisas exploratórias são caracterizadas pela formulação de hipóteses, esclarecimentos ou ambos para a compreensão de um problema (Dresch; Lacerda; Júnior, 2015).

As pesquisas são orientadas pelo seu método científico, podendo ser: indutivo, dedutivo ou hipotético-dedutivo. O método científico utilizado nesta pesquisa é o indutivo. O método indutivo tem como base a inferência de uma ideia a partir da observação. As pesquisas científicas baseadas nesse método possuem três etapas básicas: (i) observação do fenômeno de interesse; (ii) identificação da relação entre os fenômenos observados; e (iii) generalização das descobertas. O método indutivo é amplamente utilizado em pesquisas com foco em gestão (Dresch; Lacerda; Júnior, 2015).

Em relação à abordagem, as pesquisas podem ser qualitativas, quantitativas (Dresch; Lacerda; Júnior, 2015) ou mistas (Barratt; Choi; Li, 2010). Pesquisas que abordam fenômenos que podem ser descritos ou compreendidos sem a utilização de técnicas estatísticas ou representações numéricas são consideradas qualitativas (Cauchick-Miguel, 2007). A abordagem quantitativa visa estabelecer as relações de causalidade entre as variáveis investigadas, mediante a análise dos dados, empregando linguagens matemáticas (Dresch; Lacerda; Júnior, 2015), tais como técnicas estatísticas e DEA. A utilização da abordagem mista resulta em informações abrangentes sobre os fenômenos estudados (Barratt; Choi; Li, 2010). A abordagem considerada nesta pesquisa é a quantitativa, visto que são empregadas técnicas matemáticas para avaliação da eficiência de áreas de apoio de sistemas produtivos, por meio da aplicação da DEA.

A definição do método de pesquisa a ser adotado é a última etapa do delineamento. O método apropriado contribui para que o pesquisador atinja o

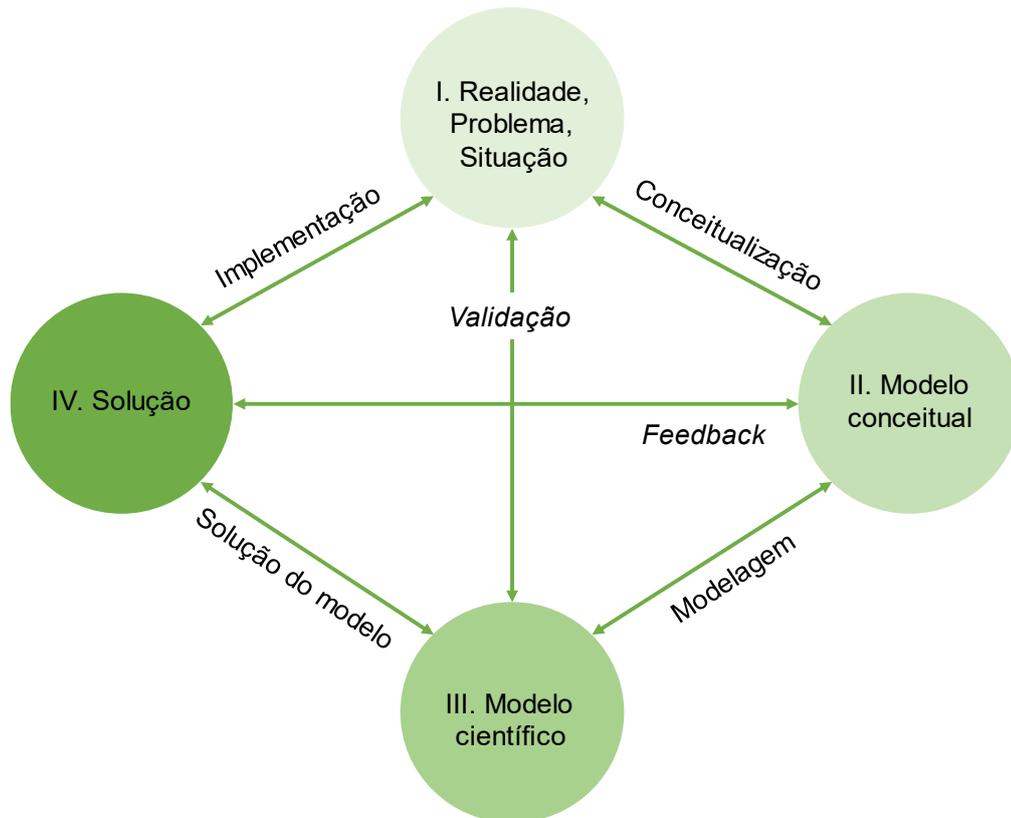
resultado esperado na conclusão da pesquisa, bem como a obter o reconhecimento dos resultados pela comunidade científica, validando sua relevância para a área. Os métodos comumente adotados são: estudo de caso, pesquisa ação, *survey* e modelagem. Entre os tipos de modelagem, encontra-se a modelagem baseada em casos (Karlsson, 2023), que é o método selecionado para o desenvolvimento desta pesquisa.

A modelagem baseada em casos, defende que é possível construir modelos objetivos que expliquem o comportamento do processo estudado ou capturem os problemas de tomada de decisão enfrentados pelos gerentes de processos operacionais da vida real, de maneira geral ou parcial (Karlsson, 2023). Os modelos desenvolvidos a partir da modelagem de casos podem ser validados em processos reais, e, em alguns casos, os resultados obtidos por meio da análise são testados, obtendo assim a validação da qualidade do modelo utilizado e das soluções propostas (Karlsson, 2023).

A modelagem baseada em casos tem como foco a abordagem de modelos relacionados a processos operacionais da vida real (Bertrand; Fransoo, 2002). Os modelos desenvolvidos a partir dessa abordagem são validados em processos reais e, em algumas vezes, também podem ter seus resultados testados na prática (Bertrand; Fransoo, 2002).

Mitroff *et al.* (1974) apresentaram no artigo seminal, um modelo baseado nas abordagens utilizadas na pesquisa operacional, formado pelas seguintes etapas: (i) conceitualização; (ii) modelagem; (iii) resolução do modelo; e (iv) implementação. A Figura 2 representa o modelo proposto por Mittrof *et al.* (1974). Esse modelo foi utilizado como base para o desenvolvimento do método de trabalho da presente dissertação.

Figura 2 - Etapas para a condução de uma pesquisa científica



Fonte: Elaborado pela autora com base em Mitroff *et al.* (1974).

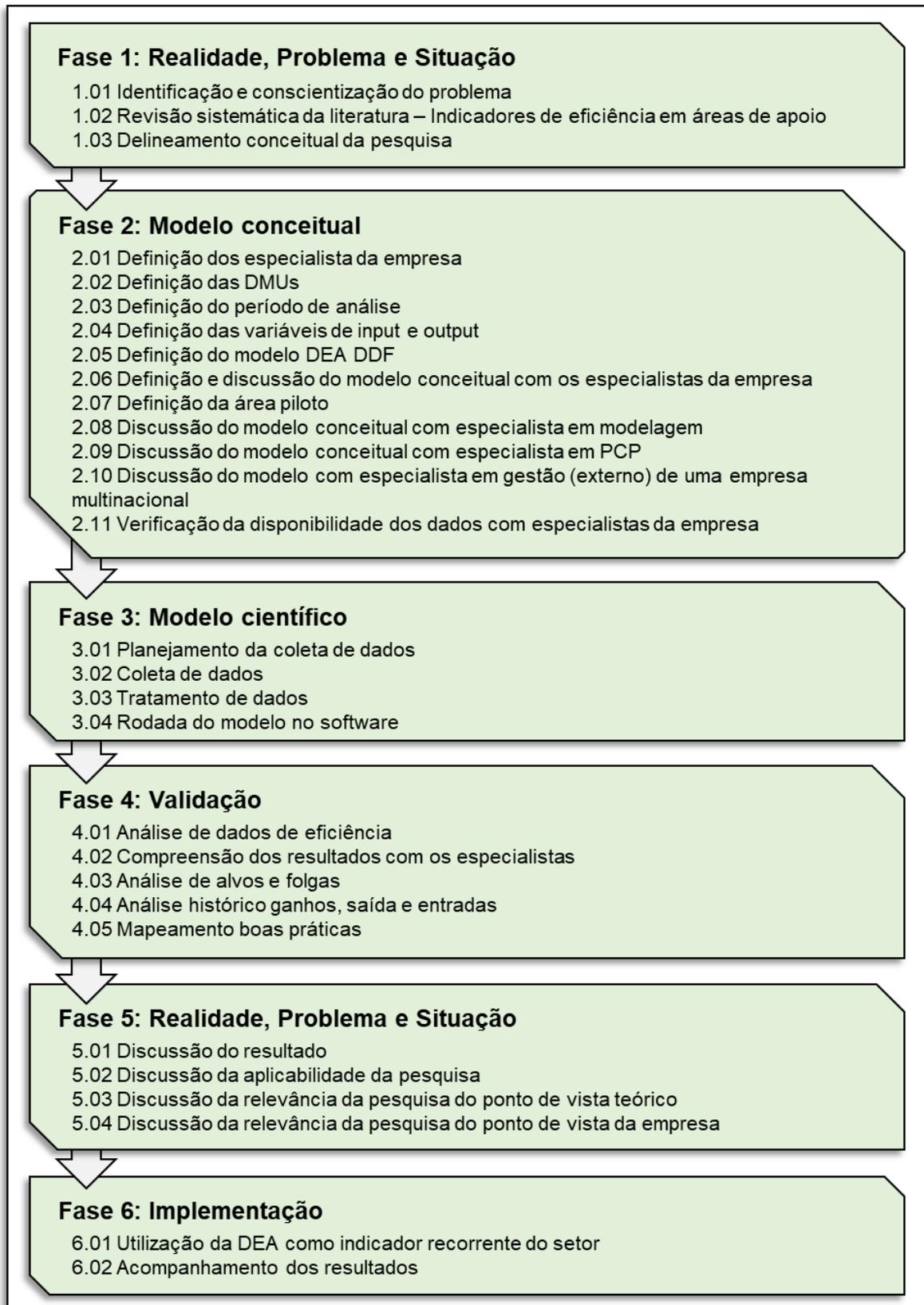
A etapa de conceitualização consiste na elaboração do modelo conceitual do problema e no aprofundamento do sistema estudado. Nessa fase, é definido o escopo do problema e modelo a ser estudado, bem como as variáveis que serão incluídas na pesquisa. Na etapa posterior, o modelo quantitativo é construído e as relações causais entre as variáveis são definidas. A etapa de resolução do modelo é o momento em que a matemática é aplicada e o modelo é calculado. Por fim, na etapa de implementação, os resultados obtidos por meio da modelagem são implementados e um novo ciclo se inicia (Bertrand; Fransoo, 2002). Mitroff *et al.* (1974) defendem que o processo de pesquisa pode iniciar e terminar em todas as etapas do ciclo, desde que o pesquisador tenha ciência das etapas específicas necessárias para o processo que está sendo abordado.

Na próxima seção são discutidas as etapas do método de trabalho, baseadas na abordagem proposta por Mitroff *et al.* (1974).

3.2 MÉTODO DE TRABALHO

Nesta seção, o método de trabalho utilizado para o desenvolvimento do estudo é apresentado. O método de trabalho é formado por uma sequência de passos lógicos a serem seguidos pelo pesquisador com o intuito de alcançar os objetivos determinados (Dresch; Lacerda; Júnior, 2015). A clareza, transparência e replicabilidade do estudo é fundamental para validação e relevância dos resultados obtidos. As etapas do método de trabalho foram planejadas conforme Mitroff *et al.* (1974), totalizando 23 procedimentos, agrupados em 6 grandes blocos, conforme apresentado na Figura 3. O método foi elaborado com ênfase na validação, verificação e aperfeiçoamento do processo proposto inicialmente, por isso, passa pelas etapas I, II e III, como sugerido por com Mitroff *et al.* (1974) (Figura 2 - Etapas para a condução de uma pesquisa científica).

Figura 3 – Método de Trabalho



Fonte: Elaborado pela autora com base em com Mitroff *et al.* (1974).

A primeira etapa do método consiste no aprofundamento do conhecimento ao redor da realidade, problema e situação do assunto estudado. Para alcançar o objetivo, primeiro realizou-se a identificação e conscientização do problema. Na sequência, foi conduzida uma Revisão Sistemática da Literatura com foco na identificação dos trabalhos disponíveis na base de dados com foco na mensuração da eficiência de áreas de apoio. Por fim, foi definido o delineamento da pesquisa.

Na Fase 2 do trabalho, projetou-se conceitualmente o modelo DEA. Formou-se dois grupos especialistas, o primeiro composto por especialistas internos do processo e o segundo composto por especialistas em modelagem e planejamento. Posteriormente, todas as etapas para definição do modelo DEA foram percorridas, sendo elas: definição do período a ser incluído na análise, escolha do setor piloto (DMU), definição dos *inputs* e *outputs* a serem considerados na modelagem, definição do modelo DEA, bem como sua orientação e, por fim, validação com os especialistas do modelo e da disponibilidade dos dados necessários. As etapas da Fase 2 são apresentadas detalhadamente na seção 3.3, que explora o Projeto do modelo DEA.

Após a definição e validação do modelo DEA a ser utilizado no estudo, iniciou-se a etapa de modelagem científica. A Fase 3 tem como foco a obtenção dos dados. Primeiramente, foi planejado a etapa de coleta de dados, na sequência, os dados foram coletados com apoio dos especialistas da empresa. A Fase 3 é apresentada com profundidade na seção 3.4.

Na Fase 4, foi realizada a validação do modelo e dos resultados obtidos. Para isso, inicialmente, foi efetuada uma avaliação para validar o comportamento da eficiência ao longo do tempo da área estudada junto com grupos de especialistas internos e externos. Posteriormente, os dados foram dispostos em um painel de dados que permite a análise em quatro momentos distintos, avaliação da eficiência trimestral dos anos de 2018 a 2023 e mensal no ano corrente (2024). Na sequência, são dispostos os dados referentes as análises de alvos e folgas, o painel de dados ainda conta com uma seção em que é apresentado o histórico das entradas, saídas e ganhos e, por fim, é exposto o modelo sugerido para o mapeamento de boas práticas. A Fase 4 é apresentada no capítulo 4.

Na Fase 5 desta pesquisa, os resultados obtidos serão discutidos, tanto no âmbito acadêmico quanto no empresarial. Visando garantir a validade, relevância e aplicabilidade da pesquisa para outros setores. Por fim, a Fase 6 apresenta as

considerações finais sobre a implementação do indicador recorrente para o acompanhamento mensal da eficiência partir da modelagem DEA DDF.

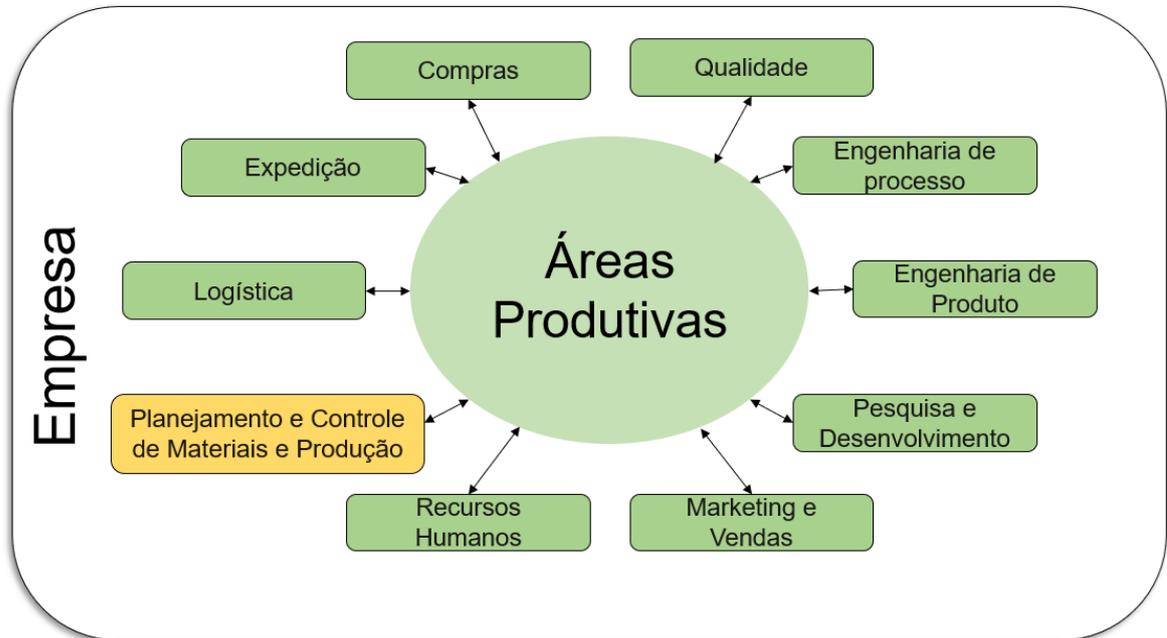
3.3 PROJETO DO MODELO DEA DDF

A primeira etapa da modelagem conceitual, ou seja, conceitualização, consiste na definição da empresa em que a pesquisa é realizada. Para o desenvolvimento exploratório da pesquisa, é realizada uma modelagem utilizando dados reais de uma área de apoio de uma empresa do setor metal mecânico que produz ferramentas motorizadas. Trata-se de uma empresa multinacional, sediada na Europa, com unidades produtivas em sete países, incluindo o Brasil.

A empresa em estudo possui uma unidade produtora no Rio Grande do Sul-Brasil e três centros de distribuição localizados no Rio Grande do Sul, São Paulo e Pará. Com um quadro de aproximadamente 3.000 funcionários, a fábrica brasileira é dividida em dois segmentos distintos: motores e cilindros. O segmento de motores é responsável pelo processo de montagem de máquinas, com uma capacidade instalada para a fabricação de 1,1 milhão de máquinas por ano. Por outro lado, o segmento de cilindros é responsável pela fabricação de 90% dos cilindros do grupo, com uma capacidade instalada de mais de 11 milhões de cilindros por ano.

Para apoiar as áreas produtivas, a empresa em questão, bem como a maioria das empresas, conta com uma ampla quantidade de áreas de apoio, desde áreas de apoio como qualidade, manutenção e planejamento, que possuem contato direto com a área produtiva, até áreas de apoio como recursos humanos, controladoria e pesquisa e desenvolvimento (R&D), que possuem menor frequência de interação com as áreas produtivas. Porém, todas as áreas de apoio possuem impacto direto no desempenho da empresa como um todo. Na Figura 4, é apresentado de maneira esquemática as áreas de apoio da empresa estudada.

Figura 4 - Áreas de apoio da empresa



Fonte: Elaborado pela autora.

Esta pesquisa utiliza como objeto de estudo o setor de Planejamento e Controle de Materiais e Produção da unidade produtiva localizada no Rio Grande do Sul, considerando seu impacto nos dois segmentos de negócio da empresa. O setor de Planejamento e Controle de Materiais e Produção é responsável por uma série de funções, incluindo o planejamento e controle de produção, planejamento e controle dos estoques, planejamento de materiais, controles de fretes aéreos, atendimento do nível de serviço aos clientes conforme a normativa da empresa, abastecimento dos centros de distribuições, entre outras atividades.

No desenvolvimento do projeto do modelo DEA, é recomendado o apoio de especialistas e profissionais da organização estudada (Piran *et al.*, 2021). Para esse fim, contou-se com o apoio de grupo de especialistas externos, formado por especialistas externos a empresa. Em um segundo momento, contou-se com o apoio de um grupo de especialistas internos, composto por profissionais experientes da empresa em que se aplicou o estudo. No Quadro 6, são apresentados os especialistas que compuseram o grupo de especialistas externos. O grupo forneceu um apoio significativo no processo de definição das variantes e para coleta e tratamento dos dados.

Quadro 6 - Grupo de especialistas externos

Especialista	Área de especialização	Suporte fornecido pelo especialista
Especialista 1	Doutor em Engenharia de Produção e Sistemas – Especialista em modelagem	Construção e validação do modelo conceitual
Especialista 2	Doutora em Engenharia de Produção e Sistemas – Especialista em Planejamento e Controle de Produção	Validação do modelo conceitual; Construção e validação do modelo empírico
Especialista 3	Doutor e Engenharia de Produção e Sistemas – Especialista em gestão de uma empresa multinacional do mesmo ramo da empresa objeto de estudo (metal mecânico) e especialista em DEA	Validação do modelo conceitual; Construção e validação do modelo empírico

Fonte: Elaborado pela autora.

Os profissionais da empresa foram consultados na etapa de modelagem do processo, como, por exemplo, na definição das variantes necessárias e auxílio na coleta de dados. O grupo de profissionais da empresa também foi acionado nas etapas subsequentes da dissertação, para validação e compreensão dos resultados, bem como para discussão da aplicabilidade da pesquisa no ambiente da empresa. Tais profissionais estão apresentados no Quadro 7, considerando de maneira sintetizada a função do profissional na empresa, o apoio que o profissional exerceu no estudo e o tempo de atuação de cada profissional na organização.

Quadro 7 – Grupo de especialistas internos

Função	Apoio no projeto	Tempo de empresa (anos)
Vice-presidente de operações	Apoio na validação do modelo e do painel de dados proposto	26 anos
Diretor de <i>Supply Chain</i>	Apoio na definição do modelo e interpretação dos resultados	9 anos
Especialista de planejamento	Apoio na definição do modelo, coleta de dados, validação do modelo e interpretação dos resultados	6 anos
Gerente de Planejamento e Controle de Materiais e Produção	Apoio na definição do modelo, validação do modelo e interpretação dos resultados	11 anos
Analista de planejamento de produção	Apoio na definição do modelo, coleta de dados, validação do modelo, desenvolvimento do painel de dados e interpretação dos resultados	8 anos

Função	Apoio no projeto	Tempo de empresa (anos)
Analista de planejamento de materiais	Apoio na definição do modelo, coleta de dados, validação do modelo, desenvolvimento do painel de dados e interpretação dos resultados	5 anos
Analista de <i>Sales and Operations Planning</i>	Apoio na definição do modelo, coleta de dados, validação do modelo, aplicação dos dados no <i>software</i> , desenvolvimento do painel de dados e interpretação dos resultados	4 anos

Fonte: Elaborado pela autora.

O grupo de especialistas definido para auxiliar no desenvolvimento do projeto é multidisciplinar, visto que é composto por profissionais que exercem cargos estratégicos (diretor), táticos (gerentes e especialistas) e operacionais (analistas de planejamento). Essa multidisciplinaridade é relevante para considerar os conhecimentos empíricos e vivências de todos os envolvidos no processo estudado (Karlsson, 2023).

Após a definição dos especialistas da empresa e dos grupos de especialistas, conforme descrito no método de trabalho, iniciou-se a fase do projeto do modelo DEA. Essa fase foi composta pela definição do período de análise, variáveis de *input* e *output*, definição do modelo e sua orientação. A escolha do modelo de maneira equivocada, ou não criteriosa, impacta negativamente no resultado do modelo (Nataraja; Johnson, 2011). Por isso, buscou-se formar um grupo conciso e com amplo conhecimento no setor estudado, para que todos os fatores relevantes à análise fossem considerados. Nesse sentido, na próxima sessão, são discutidos os aspectos referentes à definição das unidades de contexto de análise.

3.3.1 Modelagem: definição da unidade de contexto e período de análise

A seleção da área de apoio a ser analisada como teste piloto foi realizada com base na relevância e impacto da área em praticamente toda cadeia produtiva da empresa. O setor de planejamento e controle de materiais e produção tem forte impacto, desde as decisões gerenciais e estratégicas (definições de cobertura de estoques e volume de produção) até as mais operacionais (decisão entre fazer ou não frete aéreo), por esse motivo, esse foi o setor considerado para análise. Outro fator relevante para a escolha do setor de planejamento como objeto de estudo é a

disponibilidade, confiabilidade e facilidade de obtenção dos dados necessários, pois compreende-se que isso não deve ser uma restrição para a realização da pesquisa.

Como o objetivo da dissertação é verificar a possibilidade da utilização da DEA como um indicador recorrente para avaliação e acompanhamento de eficiência das áreas de apoio, não tendo como objetivo avaliar uma área em específico da empresa, a DMU a ser analisada na pesquisa será o setor de planejamento como piloto. Sendo assim, após a conclusão do trabalho é esperado que o modelo e solução proposto possa ser aplicado tanto em outras áreas da empresa em questão como em outras empresas.

Visto que a pesquisa é longitudinal, a definição do horizonte de análise é uma etapa fundamental. O primeiro aspecto a ser considerado nesse processo decisório é a disponibilidade de dados confiáveis. Outro fator importante é a verificação de quando o setor de planejamento e controle de materiais e produção foi implementado e se aconteceram mudanças significativas no seu escopo e estrutura ao longo do tempo. Após consultar os especialistas, verificou-se que desde 2018 a área em questão não passou por mudanças significativas em sua estrutura organizacional, escopo, nem nas ferramentas utilizadas para medição e armazenamento dos dados.

Dessa maneira, definiu-se que o estudo adota o período inicial de análise como janeiro de 2018 e o período final como agosto de 2024. A escolha de tal considerou o fato de que a coleta de dados foi efetuada entre os meses de setembro e outubro de 2024.

3.3.2 Modelagem: definição das Unidades de Tomada de Decisão (DMUs)

Após a determinação da área de apoio a ser estudada e do período de análise, iniciou-se a definição das DMUs com base longitudinal no período de 6 anos (2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023), seis meses (primeiro semestre de 2024) e 2 meses do segundo semestre de 2024, de análise dos dados. Em um primeiro momento, considerou-se a divisão das DMUs por semana, totalizando assim 312 DMUs. Porém, após a validação com os especialistas da empresa, foi concluído que na visão gerencial e no contexto em que o setor de planejamento está inserido é mais adequado realizar a análise mensal, devido ao fechamento de indicadores, como o total de banco de horas e o nível de atendimento ao cliente.

Portanto, optou-se por utilizar as DMUs mensais, por serem mais adequadas para a unidade de análise em questão. No entanto, ressalta-se que, considerando o método de pesquisa adotado neste trabalho, modelagem de casos, também é possível, caso necessário, optar por outras unidades de tempo, como semanas, trimestres, semestres ou anos.

Dessa forma, a análise da eficiência longitudinal da área de apoio escolhida como piloto, o planejamento e controle de materiais e produção, contempla 80 DMUs, sendo: (i) 12 DMUs referentes aos meses de 2018; (ii) 12 DMUs referentes aos meses de 2019; (iii) 12 DMUs referentes aos meses de 2020; (iv) 12 DMUs referentes aos meses de 2021; (v) 12 DMUs referentes aos meses de 2022; (vi) 12 DMUs referentes aos meses de 2023; e (vii) 8 DMUs referentes aos meses de 2024. Na próxima seção, são descritos os procedimentos de definição das variáveis de *input* e *output*.

3.3.3 Modelagem: definição das variáveis do modelo DEA (*inputs* e *outputs*)

Os quatro pressupostos elementares, propostos por Dyson *et al.* (2001), para definição dos *inputs* e *outputs* foram seguidos: (i) abranger os recursos utilizados em sua totalidade, sem tornar o modelo complexo; (ii) abranger todos os níveis de atividades e medidas de desempenhos; (iii) utilizar o conjunto de *inputs* e *outputs* utilizados em todas DMUs; e (iv) utilizar as variáveis ambientais no modelo, se relevante.

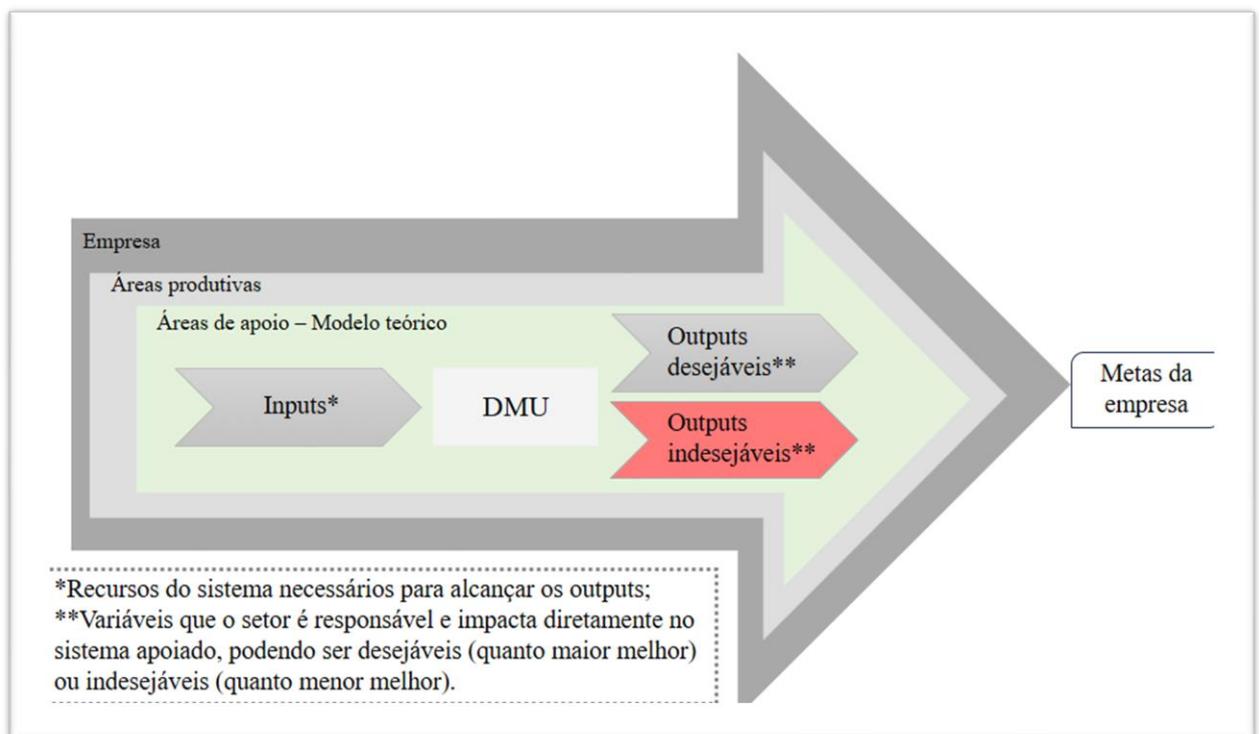
Devido à definição das variáveis ser apontada como a questão central da modelagem DEA e pela incerteza de que todas as variáveis relevantes estão consideradas no modelo, é indicado que seja incluído todas as variáveis que demonstrem relevância para a análise (Cook; Tone; Zhu, 2014). Entretanto, a adição de um número elevado de variáveis em relação a quantidade de DMUs definidas pode acarretar um problema de discriminação, dificultando a distinção entre as unidades de análise eficientes das ineficientes (Piran; Lacerda; Camargo, 2018).

Buscando evitar o problema de discriminação, alguns autores recomendam que o número de DMUs utilizadas seja no mínimo três vezes maior que a soma de todos *inputs* e *outputs* (Piran; Lacerda; Camargo, 2018). No entanto, outros autores reforçam a importância da utilização apenas das variáveis relevantes na situação analisada

(Wagner; Shimshak, 2007). Recomendando que, dentro do possível, seja limitado o número de variáveis consideradas (Jain; Triantis; Liu, 2011).

Diante do contexto exposto, inicialmente, desenvolveu-se um modelo conceitual genérico para auxiliar na identificação dos *inputs* e *outputs* relevantes para análise da eficiência das áreas de apoio, conforme apresentado na Figura 5. Durante as etapas de desenvolvimento, discussão e validação do modelo, contou-se com o auxílio do grupo de especialistas externos da empresa.

Figura 5 – Modelo Conceitual Genérico para auxiliar na identificação de *inputs* e *outputs*



Fonte: Elaborado pela autora.

No modelo apresentado na Figura 5, os *outputs* devem ser todas as variáveis que o setor avaliado é responsável e que impactam diretamente no resultado do sistema apoiado, ou seja, nas metas da empresa. Entre os *outputs*, é possível ter saídas desejáveis e indesejáveis, sendo as desejáveis as variáveis que quanto maior seu resultado, maior será o impacto positivo no resultado do sistema apoiado, e as indesejáveis as variáveis que quanto menor seu resultado, melhor para o resultado positivo do sistema apoiado. Após a definição dos *outputs* relevantes para o modelo,

é necessário identificar os *inputs*, ou seja, nesse caso os recursos que a área de apoio consome para alcançar os *outputs* elencados. Esse modelo teórico pode ser seguido para avaliação de qualquer área de apoio em que se deseje avaliar a eficiência, não apenas a área utilizada como piloto para este estudo. Assim, destaca-se que o modelo conceitual genérico é uma das contribuições desta pesquisa.

No método tradicional de definição das variáveis, considera-se a opinião de especialistas no setor (Casu; Shaw; Thanassoulis, 2017). Portanto, procurou-se o apoio do grupo dos especialistas internos e externos para a definição das variáveis que devem ser consideradas na modelagem, utilizando como base o modelo conceitual genérico apresentado na Figura 5. Após a análise com os especialistas, construiu-se o primeiro modelo, conforme Figura 6.

Figura 6 – Primeira Versão do Modelo DEA DDF empírico



Fonte: Elaborado pela autora.

Após a construção do modelo com os especialistas do processo e da empresa, realizou-se três rodadas distintas para construção e validação do modelo inicial da DEA DDF empírico, com três especialistas externos (apresentado no Quadro 6). No Quadro 8, é apresentado um resumo com todas as variáveis de entrada e saídas discutidas nas rodadas com os especialistas como possíveis *outputs* ou *inputs* para o

modelo. Além disso, no Quadro 8 é apresentado um breve detalhamento de cada variável, a unidade de medida, o tipo e a decisão de incluir ou não no modelo final, bem como o motivo da decisão.

Quadro 8 – Detalhamento das variáveis do modelo inicial, desenvolvido com especialistas do processo

Nome da variável	Descrição	Tipo	Unidade	Incluída no modelo final?
Quadro pessoal	Quadro de funcionários do setor (supervisores e analistas)	<i>Input</i>	Funcionários	Não, substituída por Custo de Pessoal
Banco de horas	A empresa em questão trabalha em regime de banco de horas e não de hora extra. Valor do fechamento mensal de banco de horas.	<i>Input</i>	Horas	Não, substituída por Custo de Pessoal
Custo de Pessoal	Valor total gasto com funcionários (supervisores, especialistas e analistas) do setor. Incluindo salário e horas extras	<i>Input</i>	Reais	Sim
Custo de Estoque de Matéria Prima	Soma do valor total de estoque, em reais, no final do período contábil – mês, ferente a matérias primas.	<i>Input</i>	Reais	Sim
Valor Logístico	Soma do valor total gasto em logística inbound. Soma do valor total de frete aéreo, utilizado em caráter de urgência pela empresa para evitar <i>backorder</i> ou parada de máquina, mais valor do frete regular, marítimo ou rodoviário, conforme contrato com fornecedor.	<i>Input</i>	Reais	Sim
Número de Revisões do Plano	Quantidades de revisões no plano de produção dentro do período (mês)	<i>Input</i>	Nº de revisões	Não considerado, pois as revisões do plano de produção podem ter origens

Nome da variável	Descrição	Tipo	Unidade	Incluída no modelo final?
				distintas, nem sempre geradas por motivos relacionados com o planejamento.
Volume de produção	Volume total de produção de produtos prontos, desconsiderado valor referentes aos produtos semiacabados, pois demais <i>outputs</i> como erro de previsão e <i>55ervisse level</i> é referente apenas aos produtos prontos.	<i>Output</i>	Unidades	Não considerado, não depende apenas do planejamento.
Volume de produção em reais	Soma do valor total, em reais, da produção de produtos prontos, desconsiderado valor referentes aos produtos semiacabados, pois demais <i>outputs</i> como erro de previsão e <i>55ervisse level</i> é referente apenas aos produtos prontos.	<i>Output</i>	Reais	Não considerado, não depende apenas do planejamento.
Desvio do plano de produção	Desvio em unidades da quantidade planejada por <i>part number</i> x o valor entregue ao final do período por <i>part number</i> . Desconsiderado valor referentes aos produtos semiacabados, pois demais <i>outputs</i> como erro de previsão e <i>55ervisse level</i> é referente apenas aos produtos prontos.	<i>Output</i> (saída indesejada)	Unidades	Não considerado, não depende apenas do planejamento.
Desvio do plano de produção em reais	Soma do valor total em reais, referente ao desvio da quantidade de produção planejada por <i>part number</i> x o valor entregue ao final do período por <i>part number</i> . Desconsiderado valor	<i>Output</i> (saída indesejada)	Unidades	Não considerado, não depende apenas do planejamento.

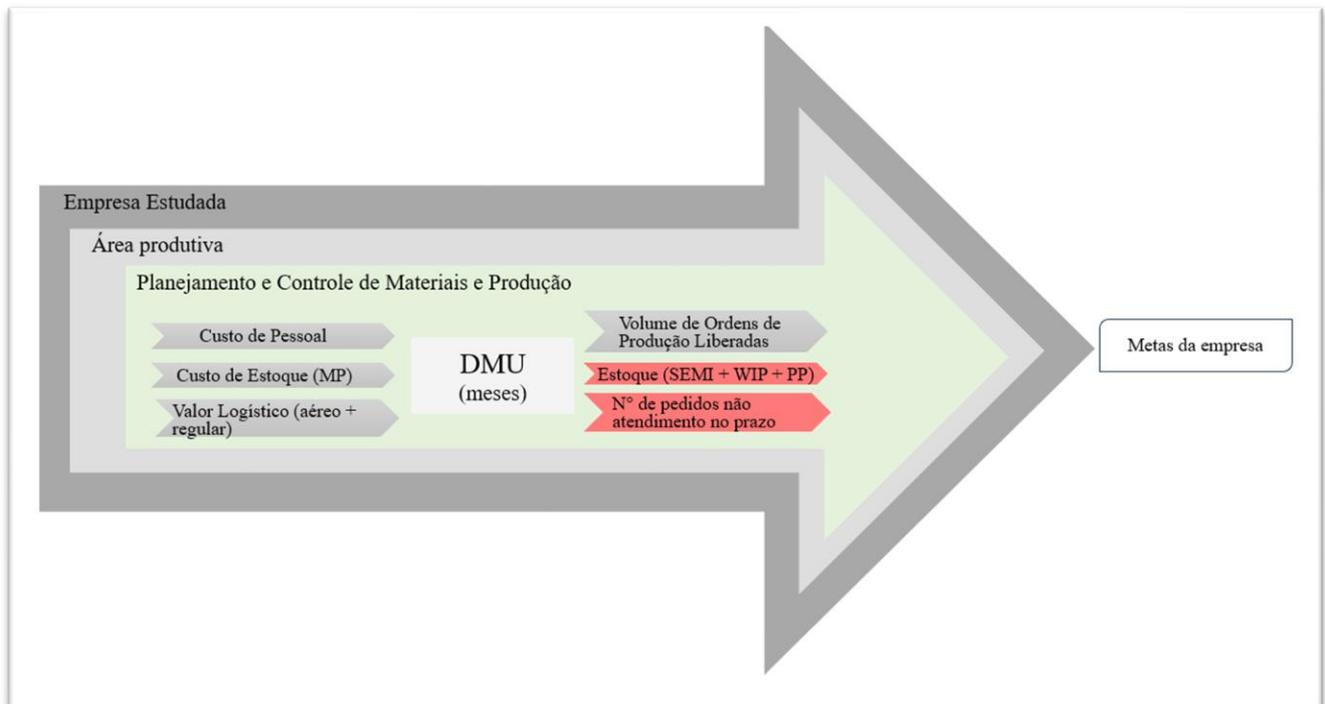
Nome da variável	Descrição	Tipo	Unidade	Incluída no modelo final?
	referentes aos produtos semiacabados, pois demais <i>outputs</i> como erro de previsão e <i>56eruisse level</i> é referente apenas aos produtos prontos.			
MAPE	<i>Mean Absolute Percentage Error</i> (Erro Percentual Absoluto Médio) com base no plano de 90 dias, devido ao Lead Time de 70% da matéria prima ser de aproximadamente 3 meses, quanto comprado pelo modal marítimo. Desconsiderado valor referentes aos produtos semiacabados, pois demais <i>outputs</i> como erro de previsão e <i>56eruisse level</i> é referente apenas aos produtos prontos.	<i>Output</i> (saída indesejada)	Unidades	Não considerado, planejamento não tem atuação por essa variável.
Frete aéreo	Valor em reais gastos com fretes aéreos no período. Valor representativo devido a 70% da matéria prima utilizada no processo produtivo ser importada.	<i>Output</i> (saída indesejada)	Reais	Substituído por Valor logístico (<i>input</i>)
Estoque	Valor total de estoque em reais. Produto pronto, produção em andamento e matéria prima.	<i>Output</i> (saída indesejada)	Reais	Desmembrado entre Estoque MP e Estoque SEMI + PP + WIP
Custo de Estoque de SEMI + WIP + PP	Soma do valor total de estoque, em reais, no final do período contábil – mês, referente a produtos Semi Acabados (componentes fabricados internamente) + WIO (<i>work in process</i> – produção em	<i>Output</i> (saída indesejada)	Reais	Sim

Nome da variável	Descrição	Tipo	Unidade	Incluída no modelo final?
	andamento) + Produto Pronto.			
Volume de ordens de produção liberadas	Soma do total de ordens de produção liberadas dentro do mês. Essa variável é um indicador que auxilia na compreensão da complexidade dentro do planejamento de produção da empresa.	<i>Output</i>	Ordens de Produção	Sim
Nº de pedidos/linhas não atendidas no prazo solicitado pelo cliente	A empresa calcula o nível de satisfação do cliente a partir do número de linhas (pedidos) atendidos no prazo desejado. Empresa é make to stock, trabalhando com coberturas de 1 mês para produtos prontos.	<i>Output</i> (saída indesejada)	Número de linhas perdidas	Sim

Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 7, encontra-se o modelo final, desenvolvido com base nas rodas com os especialistas do processo, DEA, Planejamento e Controle de Produção e Modelagem.

Figura 7 - Modelo Final DEA DDF Empírico



Fonte: Elaborado pela autora.

3.3.4 Definição do modelo DEA/DDF (CRS ou VRS) e da orientação do modelo

Para definição do modelo DEA, obteve-se o apoio dos especialistas internos e externos. A área de apoio estudada possui como objetivo responder a duas questões: (i) Com os mesmos esforços (*inputs*), como é possível melhorar os resultados?; e (ii) Como pode-se reduzir as ineficiências para alcançar o mesmo resultado? Outro fator relevante para definição do modelo e sua orientação é que o volume de ordens de produção liberadas no período analisado é a principal variável (*output*) do setor avaliado, impactando diretamente no sistema apoiado, a área de produção e, por consequência, a empresa como um todo. Nesse sentido, o volume de ordens liberadas tem relação direta com o volume de produção da empresa. Como consequência, o volume de produção tem relação direta com o estoque de produtos acabados e produção em andamento e, também, tem relação com o número de pedidos não atendidos no prazo. Sendo as duas saídas indesejáveis do modelo.

Devido a essas duas questões e ao modelo contar com saídas desejáveis e indesejáveis, optou-se por utilizar a Análise Envoltória de Dados (DEA) com a função

da Distância Direcional (DDF). O modelo DDF utilizado é um modelo não orientado, que busca minimizar os *inputs* e maximizar os *outputs* simultaneamente.

Especificamente considerando as saídas, a utilização da DEA/DDF permite a medição da eficiência da DMU incorporando as saídas indesejáveis. Nos modelos convencionais, a eficiência é medida maximizando as saídas. Porém, quando o modelo possui saídas desejáveis e indesejáveis, o processo de medição de eficiência deve ser definido com o objetivo de aumentar as saídas desejáveis, diminuindo as indesejáveis. O DDF busca aumentar as saídas desejáveis simultaneamente à redução de saídas indesejáveis e dos *inputs*, utilizando como base um determinado vetor de direção (Ramli; Munisamy; Arabi, 2013).

Em linhas gerais, o modelo DDF não orientado, busca expandir as saídas desejáveis (yg) e reduzir as entradas (x) e as saídas indesejáveis (yb) simultaneamente, com base em um dado vetor direcional g ($-x, -yb, yg$) (Chung; Färe; Grosskopf, 1997). O vetor direcional $g \rightarrow$ indica a direção da mudança para as entradas (x), saídas desejáveis (yg) e saídas indesejáveis (yb). Conforme apresentado nas Equações (3) e (4). A tecnologia de produção (T) abrange os *inputs* e *outputs* considerado no modelo do sistema que está sendo avaliado. Na formulação (4), $D \rightarrow$ indica a função de distância direcional, cujo objetivo é maximizar a "melhoria potencial" presente (β) ao dimensionar as entradas e saídas desejáveis/indesejáveis dentro da tecnologia e sua fronteira eficiente. Assim, é permitido o estabelecimento de *benchmarks* que definem as melhores práticas possíveis para o sistema estudado. O valor ótimo de β pode ser interpretado como a ineficiência ou distância da fronteira, ou seja, a margem de melhoria para uma DMU k em avaliação (Zhang; Choi, 2014; Gomes *et al.*, 2023).

$$T = \{(x, yb, yg): x \text{ can produce } yb \text{ and } yg\} \quad (3)$$

$$D \rightarrow (x, yb, yg, gx, gyb, gyg) = \max \beta: (x - \beta \cdot |gx|, yb - \beta \cdot |gyb|, yg + \beta \cdot |gyg|) \in T \quad (4)$$

A literatura aponta algumas desvantagens relacionadas ao uso do modelo DDF convencional como, por exemplo, que a redução das saídas indesejáveis acarreta o aumento proporcional das saídas desejáveis. Assim como, que a eficiência pode ser superestimada quando a DMU possuir ganhos, devido a medida radial considerar a distância perpendicular da fronteira de eficiência, desconsiderando os ganhos. Assim,

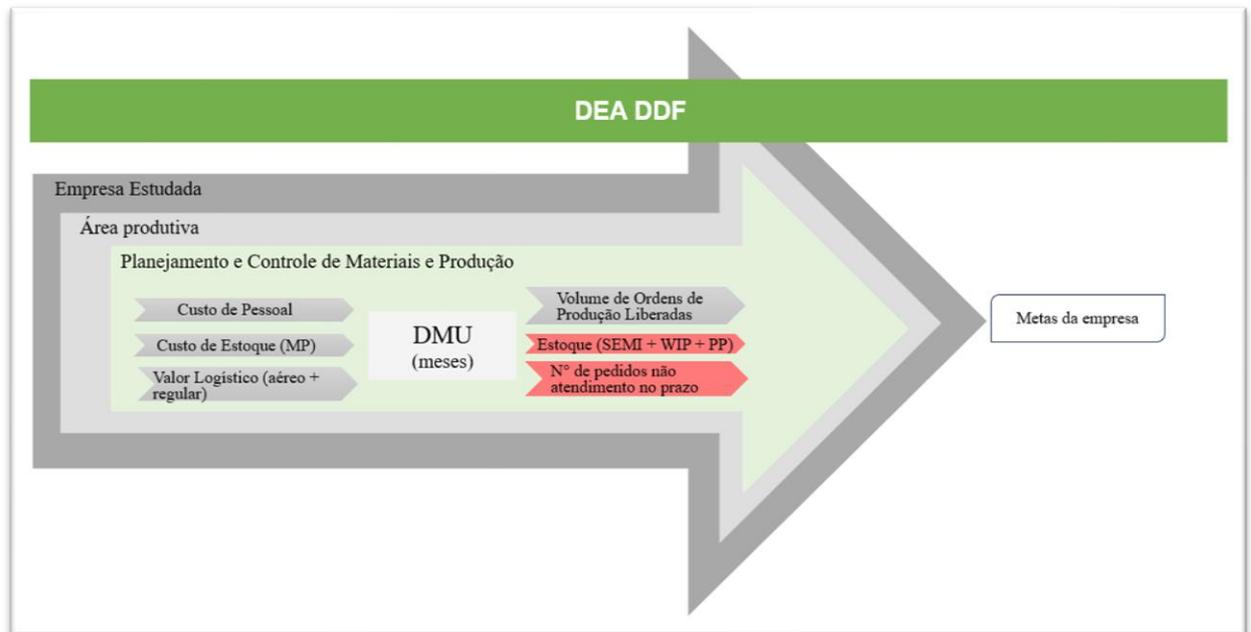
se a DMU estiver subutilizando seus recursos, ela ainda pode ser considerada eficiente em relação a fronteira (Zhang; Choi, 2014).

Optou-se por um modelo DEA/DDF com retornos constantes de escala (CRS) ou seja, se houver alterações nas entradas (*inputs*) ocorrerá alterações nas saídas (*outputs*) das DMUs. O modelo realiza avaliação direta da análise global, determinando o valor percentual da eficiência e portanto da ineficiência (Piran; Lacerda; Camargo, 2018). O modelo CRS é utilizado em casos que as DMUs comparadas apresentam proporcionalidade entre si. Sendo assim, é o modelo recomendado para a realização de análises de *benchmarks* internos (Piran; Lacerda; Camargo, 2018). Na seção seguinte, é apresentado o modelo proposto e descrito o processo de validação.

3.3.5 Discussão e validação do modelo conceitual com os especialistas

Conforme apresentado no método de trabalho, a última etapa do modelo conceitual é a discussão e validação do modelo final com os especialistas internos (apresentados no Quadro 7), além da verificação da disponibilidade dos dados. A Figura 8 representa esquematicamente o modelo utilizado nesta pesquisa. Destaca-se que esse modelo foi construído e validado após 11 rodadas de revisão e validação. O item 3.4 desta dissertação apresenta detalhadamente a etapa de coleta de dados.

Figura 8 - Modelo DEA DDF utilizado na pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora.

3.4 COLETA DOS DADOS

Nesta seção são abordados os procedimentos utilizados para a coleta dos dados necessários para o desenvolvimento desta dissertação. A coleta de dados tem como função a obtenção dos elementos necessários para a pesquisa alcançar seus objetivos (Pereira, 2019). A pesquisadora foi devidamente autorizada pela referida empresa a acessar as dependências em que o estudo foi conduzido, bem como coletar e utilizar os dados necessários para o desenvolvimento da dissertação, em virtude da pesquisadora possuir vínculo com a empresa em questão. Devido à criticidade dos dados utilizados pela pesquisa e visando manter o sigilo em relação à empresa, todas as informações utilizadas no estudo foram multiplicadas por uma constante XX.

Após a definição das variáveis utilizadas no modelo DEA, reuniu-se novamente o grupo de especialistas da empresa, visando desenvolver o planejamento detalhado e adequado da coleta dos dados de cada variável. Esse documento conta com informações da variável, sistema ou fonte consultada. O Quadro 9 apresenta um resumo do procedimento definido em conjunto com os especialistas.

Quadro 9 - Procedimento coleta de dados

Nome da variável	Fórmula de cálculo	Sistema a ser coletado
Custo de Pessoal (x1)	Custo total de Pessoas do setor dentro do período, considerando analistas, especialistas, supervisor do setor de planejamento e controle de produção e materiais, incluindo valor relacionado a salário e banco de horas.	SAP
Custo de estoque de MP (x2)	Soma do valor de estoque de matéria prima, importada e nacional, dentro do período .	SAP
Valor logístico (aéreo + regular) (x1)	Soma do valor total gasto em logística inbound. Soma do valor de frete aéreo (utilizado em caráter de exceção) + , mais valor do frete regular, marítimo ou rodoviário, conforme contrato com fornecedor, referente a matéria prima.	SAP
Ordens de Produção Liberadas (yb1)	Soma do valor total de ordens de produção liberadas no mês.	SAP
Estoque Produção em Andamento e Produto Pronto (-) (yb2)	Soma de todos os estoques de produção em andamento e produto pronto, considerando os três centros de distribuição (São Leopoldo, São Paulo, Benevides) no final de cada período.	SAP
Atendimento ao cliente (-) (yb3)	Soma de todas as linhas perdidas, ou seja, não entregues na data e quantidade desejada pelo cliente devido a indisponibilidade de estoque.	GIS (Sistema interno)

Fonte: Elaborado pela autora.

Para melhor compreensão acerca das variáveis utilizadas no modelo, os dados coletados são apresentados na Tabela 2, de maneira estatística descritiva. Na Tabela 2, é possível encontrar as informações de média, mediana e desvio padrão de cada dado. Além disso, é possível identificar que há uma diferença significativa entre as unidades de medidas de cada variável. Buscando a equalização das medidas, os valores de estoques (matéria prima e produto acabado), bem como de valor logístico, foram divididos por 1.000, sendo utilizados na modelagem como milhões de reais.

Tabela 2 - Estatística Descritiva das Variáveis

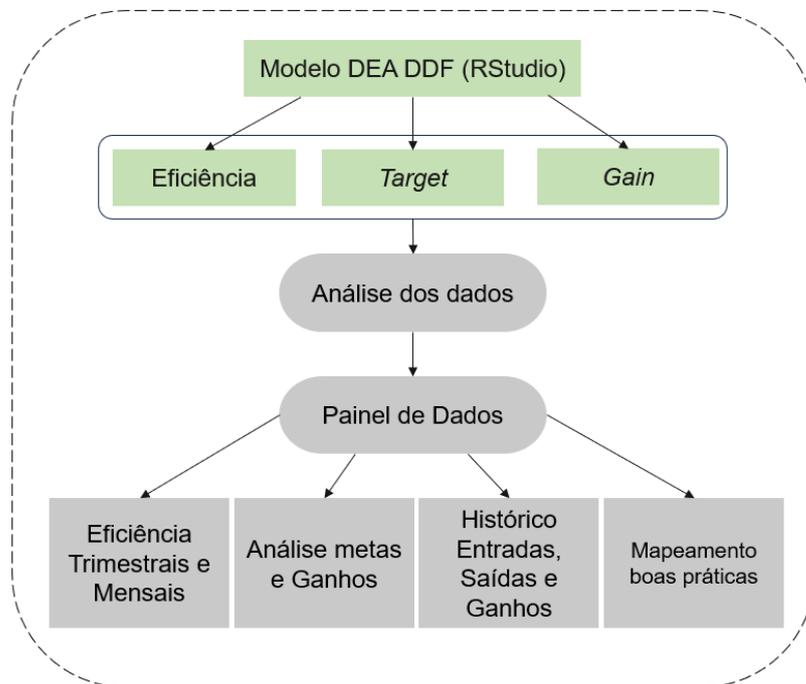
	Input				Output	
	Custo de Pessoal	Custo Estoque M BRL (MP)	Valor Logístico M BRL (aéreo+ rodoviário + marítimo)	Ordens Liberadas	Estoque M BRL (SEMI + PP)	Nº Pedidos Não atendidos
Média	215.406	241.114	4.125	361	238.726	4.909
Mediana	213.684	244.409	2.636	356	204.852	4.266
Desvio Padrão	50.581,5	96.554,7	3.256,8	84,4	106.056,4	4.104,4

Fonte: Elaborado pela autora.

3.5 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados necessários para pesquisa foram coletados e adicionados em planilhas eletrônicas, de maneira organizada por DMU, conforme explicado na seção 3.4. Após a coleta, tratamento e organização dos dados, esses foram inseridos no RStudio. Os resultados da eficiência relativa de cada DMU, bem como seus valores de metas (*target*) e ganhos (*gains*) e as DMUs *benchmarking* para cada DMU ineficiente foram extraídos e adicionados em uma nova planilha a fim de possibilitar análises posteriores. A partir disso, iniciou-se o processo de análise dos dados, conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Procedimento para análise dos resultados



Fonte: Elaborado pela autora.

A partir dos dados obtidos por meio do cálculo da eficiência DEA, considerando *benchmarking* interno, as informações foram dispostas em um painel de dados para facilitar a análise e compreensão do pesquisador e da área. As análises dos resultados foram realizadas mensalmente em quatro momentos distintos, devido aos diferentes objetivos. Primeiramente, foi possível acompanhar a evolução da eficiência do setor no mês atual e comparar com os meses anteriores e trimestres anteriores, por meio de um gráfico. Como este estudo visa o desenvolvimento de um indicador recorrente para o acompanhamento e análise da eficiência de áreas de apoio, a pesquisadora sugere que a cada novo período da análise, seja adicionado o novo valor de eficiência, *target* e ganho na base de dados, mantendo os valores dos meses anteriores congelados. Essa etapa é importante, visto que, como é de conhecimento geral, a adição de uma nova DMU pode fazer com que uma DMU que anteriormente foi considerada eficiente, após uma nova rodada da DEA com dados adicionais, tenha seu valor de eficiência alterado e passe a ser considerada ineficiente. Porém, como para a empresa e o setor pode não ser interessante a alteração de valores divulgados previamente, sugere-se que sejam apenas adicionados os resultados do novo período.

Após a avaliação da evolução da eficiência, a partir dos dados gerados de *target* e ganhos, as análises subsequentes visaram responder a quatro questões:

- i) Para os meses em que não se alcançou 100% de eficiência, quanto deveria reduzir o volume das entradas?
- ii) Para os meses em que não se alcançou 100% de eficiência, quanto deveria reduzir o volume das saídas indesejadas?
- iii) Para os meses em que não se alcançou 100% de eficiência, qual deveria ser o incremento do volume das saídas desejadas?
- iv) Nos meses em que se alcançou eficiência máxima, quais ações levaram a esse resultado?

Para responder essas perguntas, foi elaborado um painel de dados que permite os gestores visualizarem de maneira interativa e fácil as metas e ganhos das DMUs, tanto na visão mensal como na trimestral, a partir da agregação de 3 DMUs. Visando fornecer aos gestores uma ferramenta que permita uma maior compreensão e entendimento de qual *input* está penalizando seus resultados e qual *output* poderia ser melhorado. Auxiliando o gestor a compreender qual deve ser o foco do setor nos próximos períodos. Essas informações são fundamentais para apoiar os gestores na identificação dos pontos que poderiam ser ajustados a fim de alcançar níveis de eficiência melhores. As análises dos resultados obtidos na presente pesquisa encontram-se detalhadas no capítulo 4 deste trabalho, enquanto o capítulo 5 contempla a discussão desses resultados.

4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados relativos à eficiência técnica da área de apoio, utilizada como piloto, com base nos cálculos efetuados após a coleta e o tratamento de dados, conforme os procedimentos descritos no capítulo anterior. Assim, são contempladas as eficiências da DEA DDF (função da distância direcional) não orientado. Além disso, são apresentadas análises sobre os *targets* e os ganhos em cada período estudado, que possuem como objetivo auxiliar a rotina dos gerentes de áreas de apoio em tomadas de decisões de maneira assertiva e embasadas na realidade da área em questão. Além disso, são apresentadas análises sobre os *targets* e os ganhos em cada período estudado.

Os resultados abrangem um período de cinco anos e oito meses consecutivos, correspondendo ao intervalo entre janeiro de 2018 e agosto de 2024, totalizando 80 meses. Esse intervalo permite a consideração de 80 Unidades de Decisão (DMUs) da área de Planejamento e Controle de Materiais e Produção.

Este capítulo também apresenta o painel de dados proposto para o acompanhamento mensal da eficiência, voltado para diretores, gerentes e colaboradores do setor. O painel de dados fornece análises e dados estruturados em diferentes níveis de granularidade, permitindo tanto uma visão macro quanto uma análise específica do setor em questão. Além disso, descreve-se o procedimento de atualização mensal proposto, bem como os resultados do processo de inclusão de novos meses (DMUs) na análise.

4.1 ANÁLISE DAS EFICIÊNCIAS TÉCNICAS

Os resultados de eficiência mensal, juntamente com os *targets* e ganhos de cada DMU, calculados a partir da rodada do *script* no RStudio, encontram-se na Tabela 3 em ordem cronológica. Ressalta-se que ao analisar a Tabela 3, deve-se considerar que quanto maior o valor de eficiência técnica, melhor o resultado da DMU no período em questão.

Tabela 3 - Eficiência técnica Mensal

DMU	Eficiência Técnica	DMU	Eficiência Técnica
jan/18	91,12%	mai/21	91,01%
fev/18	94,86%	jun/21	100,00%
mar/18	100,00%	jul/21	94,74%
abr/18	98,11%	ago/21	87,22%
mai/18	100,00%	set/21	84,72%
jun/18	91,83%	out/21	100,00%
jul/18	100,00%	nov/21	100,00%
ago/18	100,00%	dez/21	100,00%
set/18	99,46%	jan/22	69,64%
out/18	100,00%	fev/22	100,00%
nov/18	100,00%	mar/22	82,85%
dez/18	100,00%	abr/22	63,20%
jan/19	84,05%	mai/22	67,03%
fev/19	97,76%	jun/22	68,04%
mar/19	100,00%	jul/22	77,41%
abr/19	100,00%	ago/22	68,61%
mai/19	100,00%	set/22	68,52%
jun/19	95,01%	out/22	73,30%
jul/19	91,66%	nov/22	72,16%
ago/19	100,00%	dez/22	100,00%
set/19	96,07%	jan/23	53,38%
out/19	97,84%	fev/23	64,69%
nov/19	100,00%	mar/23	65,17%
dez/19	90,98%	abr/23	69,71%
jan/20	88,55%	mai/23	74,58%
fev/20	95,79%	jun/23	76,23%
mar/20	98,03%	jul/23	72,47%
abr/20	100,00%	ago/23	88,28%
mai/20	100,00%	set/23	81,81%
jun/20	100,00%	out/23	88,09%
jul/20	100,00%	nov/23	87,94%
ago/20	100,00%	dez/23	100,00%
set/20	100,00%	jan/24	100,00%
out/20	100,00%	fev/24	100,00%
nov/20	94,87%	mar/24	100,00%
dez/20	96,16%	abr/24	100,00%
jan/21	80,51%	mai/24	100,00%
fev/21	100,00%	jun/24	95,91%
mar/21	86,15%	jul/24	100,00%
abr/21	100,00%	ago/24	98,67%

Fonte: Elaborada pela autora.

Trinta e quatro DMUs alcançaram o valor máximo de eficiência, ou seja, 100%, representando 42,5% dos meses incluídos na análise. Os períodos de menor eficiência foram observados nos meses de abril de 2022 (63,2%), janeiro de 2023 (53,38%) e fevereiro de 2020 (64,69%). Para facilitar a compreensão da evolução da eficiência do setor ao longo do período analisado e viabilizar análises anuais subsequentes, foi calculada a eficiência anual do setor, conforme apresentado na Tabela 4. Compreende-se que para algumas análises e obtenção de informações de forma macro e rápida, é importante que os gestores tenham fácil acesso ao valor da eficiência anual.

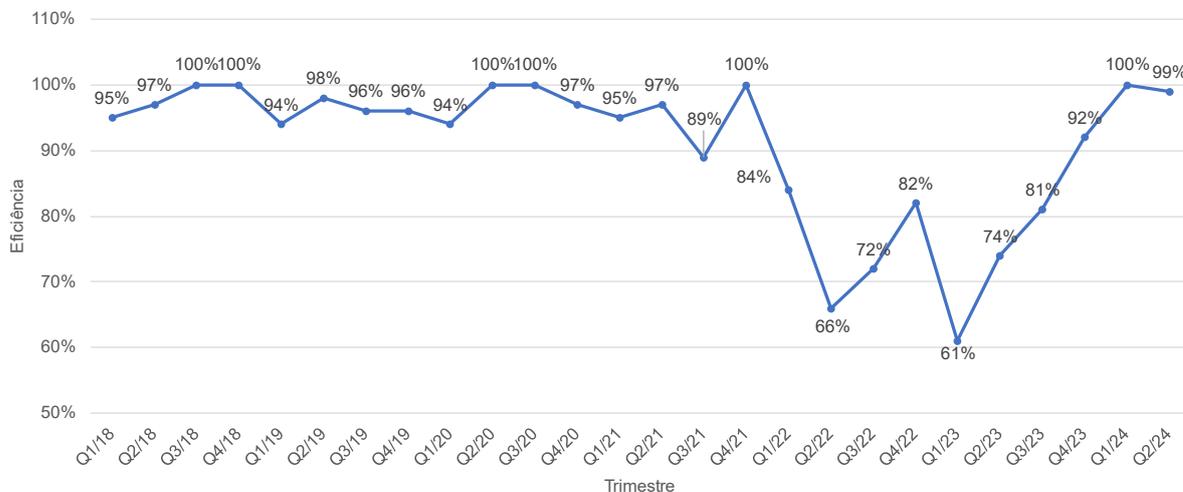
Tabela 4 - Eficiência média anual

Ano	Média anual
2018	97,95%
2019	96,11%
2020	97,78%
2021	93,70%
2022	75,90%
2023	75,90%
2024	99,40%
Média	90,96%
Desvio Padrão	10,44%
Mediana	96,11%

Fonte: Elaborada pela autora.

A variação nos níveis de eficiência ao longo dos anos pode ter sido influenciada por diversos fatores internos ou externos, como, por exemplo, a COVID-19, que para empresa em questão gerou um aumento expressivo da demanda e, como consequência, uma redução expressiva do estoque de matéria prima (*inputs*) e de produtos acabados (*outputs* indesejáveis). A média geral dos anos analisados foi de 90,96%, mediana de 94,84% e o desvio padrão de 10,44%. Com o propósito de realizar uma análise com maior profundidade, as DMUs foram agrupadas por trimestre. O Gráfico 1 apresenta, trimestralmente, os índices de eficiência da área de apoio estudada.

Gráfico 1 - Índice de eficiência trimestral



Fonte: Elaborado pela autora.

A análise do Gráfico 1 revela que, em quatro dos seis anos avaliados, o setor apresentou seu menor índice de eficiência no primeiro trimestre em comparação aos demais trimestres do mesmo ano, e em um outro ano (2021), o primeiro trimestre registrou o segundo menor índice de eficiência. Para validar esses dados, realizou-se uma nova rodada de avaliação com os especialistas da empresa, que confirmaram que o primeiro trimestre, historicamente, representa um período de desafios significativos para o setor. Esse comportamento é atribuído à alta sazonalidade dos produtos comercializados pela empresa, um fator que impacta diretamente a área de planejamento e controle materiais e de produção e, conseqüentemente, nas entradas e saídas elencadas no modelo.

4.2 ANÁLISE *TARGETS* E GANHOS

A análise dos *targets* e metas permite identificar os valores que cada parâmetro do modelo, *output* ou *input*, deve atingir para que a DMU ineficiente se torne eficiente (Piran; Lacerda; Camargo, 2020). Os *targets* representam valores teóricos que cada *output* poderia atingir, mantendo as entradas, com o objetivo de elevar a eficiência da DMU em questão. O ganho, também conhecido como meta, é a diferença entre o valor real da DMU e o valor teórico do *target*. Na Tabela 5, são apresentados os dados de metas e ganhos referentes às DMUs consideradas ineficientes nessa análise DEA.

Assim, foram excluídas da avaliação as DMUs que operaram de maneira eficiente, ou seja, que executaram as melhores práticas e que consumiram da melhor forma os insumos, foram desconsideradas da avaliação. Destaca-se que o modelo DEA adotado nesta pesquisa é o não orientado, o que implica que seu objetivo é aumentar a eficiência da DMU ao reduzir *inputs* e *outputs* indesejáveis, enquanto maximiza os *outputs* desejáveis proporcionalmente.

Tabela 5 - Relação dos *Targets* e Ganhos das DMU's ineficientes

DMU	Custo de Pessoal			Custo Estoque M BRL (MP)			Valor Logístico M BRL (aéreo + rodoviário + marítimo)			Ordens Liberadas			Estoque (SEMI + PP)			Nº de Pedidos Não atendidos		
	Valor (mil)	Meta (mil)	Ganho (mil)	Valor (mil)	Meta (mil)	Ganho (mil)	Valor (mil)	Meta (mil)	Ganho (mil)	Valor (mil)	Meta (mil)	Ganho (mil)	Valor (mil)	Meta (mil)	Ganho (mil)	Valor (mil)	Meta (mil)	Ganho (mil)
01_2018	132,28	128,02	4,26	122,53	118,58	3,95	1,30	1,26	0,04	0,28	0,29	0,01	121,47	117,56	3,91	0,77	0,74	0,02
02_2018	148,71	142,74	5,96	127,72	122,60	5,12	1,43	1,38	0,06	0,31	0,33	0,01	119,04	114,27	4,77	1,59	1,53	0,06
04_2018	159,91	157,66	2,25	130,42	128,58	1,84	1,10	1,09	0,02	0,32	0,32	0,00	124,35	122,59	1,75	2,17	2,14	0,03
06_2018	158,45	149,55	8,90	142,18	134,19	7,99	1,23	1,16	0,07	0,34	0,36	0,02	148,86	140,50	8,37	0,87	0,82	0,05
09_2018	181,71	181,60	0,12	144,17	144,08	0,09	0,84	0,84	0,00	0,31	0,31	0,00	189,35	189,23	0,12	2,04	2,03	0,00
01_2019	138,48	124,26	14,21	150,16	134,75	15,41	1,33	1,20	0,14	0,24	0,26	0,02	168,14	150,88	17,25	1,52	1,36	0,16
02_2019	186,17	184,06	2,12	146,26	144,60	1,66	1,39	1,37	0,02	0,38	0,38	0,00	162,50	160,65	1,85	1,18	1,16	0,01
06_2019	164,87	156,73	8,14	136,90	130,14	6,76	1,13	1,07	0,06	0,33	0,34	0,02	180,90	171,97	8,93	0,61	0,58	0,03
07_2019	163,52	151,35	12,16	139,93	129,52	10,41	1,35	1,25	0,10	0,34	0,36	0,03	189,78	175,66	14,12	0,93	0,86	0,07
09_2019	172,68	165,89	6,79	142,46	136,86	5,60	1,33	1,28	0,05	0,33	0,35	0,01	206,69	198,57	8,12	0,67	0,64	0,03
10_2019	170,38	166,71	3,68	130,09	127,28	2,81	1,33	1,31	0,03	0,35	0,36	0,01	233,94	228,89	5,05	0,49	0,48	0,01
12_2019	147,01	136,99	10,02	139,27	129,78	9,49	0,81	0,75	0,06	0,25	0,26	0,02	242,65	226,12	16,54	0,96	0,90	0,07
01_2020	144,91	134,48	10,43	142,38	132,13	10,25	1,35	1,25	0,10	0,23	0,25	0,02	199,85	185,46	14,39	2,30	2,13	0,17
02_2020	171,58	166,16	5,43	137,44	133,09	4,35	1,09	1,05	0,03	0,32	0,33	0,01	190,21	184,19	6,01	3,06	2,97	0,10
11_2020	232,09	220,20	11,89	186,12	176,59	9,54	5,27	5,00	0,27	0,45	0,47	0,02	135,12	128,20	6,93	7,89	7,49	0,40
01_2021	183,12	149,42	33,70	207,88	169,62	38,26	6,30	5,14	1,16	0,42	0,50	0,08	128,00	104,45	23,56	9,24	7,54	1,70
03_2021	208,79	179,91	28,88	221,27	190,66	30,61	8,25	7,11	1,14	0,48	0,54	0,07	137,47	118,45	19,02	11,52	9,92	1,59
05_2021	228,06	208,89	19,17	244,76	224,19	20,57	7,97	7,30	0,67	0,45	0,49	0,04	143,08	131,05	12,03	10,84	9,93	0,91
07_2021	262,74	258,20	4,53	244,79	240,57	4,23	7,07	6,95	0,12	0,41	0,41	0,01	183,10	179,94	3,16	10,74	10,55	0,19
08_2021	231,78	212,98	18,80	250,08	229,80	20,28	6,34	5,83	0,51	0,38	0,41	0,03	225,27	207,00	18,27	9,84	9,04	0,80
09_2021	204,10	177,21	26,89	247,12	214,56	32,55	9,73	8,45	1,28	0,42	0,47	0,05	221,94	192,70	29,24	8,66	7,52	1,14
01_2022	178,06	144,41	33,65	335,77	272,31	63,46	11,28	9,15	2,13	0,40	0,47	0,08	227,79	184,74	43,05	10,66	8,64	2,01
03_2022	219,01	182,84	36,17	375,04	313,10	61,94	11,20	9,35	1,85	0,51	0,59	0,08	190,59	159,11	31,48	9,73	8,12	1,61

	Custo de Pessoal			Custo Estoque M BRL (MP)			Valor Logístico M BRL (aéreo + rodoviário + marítimo)			Ordens Liberadas			Estoque (SEMI + PP)			Nº de Pedidos Não atendidos		
04_2022	202,77	161,89	40,88	375,84	300,07	75,77	7,19	5,74	1,45	0,45	0,54	0,09	208,89	166,78	42,11	8,99	7,18	1,81
05_2022	229,12	174,35	54,77	367,37	279,55	87,82	7,57	5,76	1,81	0,55	0,69	0,13	220,01	167,42	52,59	7,43	5,65	1,78
07_2022	286,25	258,60	27,65	375,63	339,35	36,28	7,24	6,54	0,70	0,51	0,56	0,05	270,96	244,79	26,17	7,94	7,17	0,77
08_2022	249,28	182,89	66,39	374,10	274,47	99,63	6,70	4,92	1,79	0,59	0,75	0,16	310,86	228,07	82,79	7,04	5,16	1,87
09_2022	227,80	175,13	52,67	381,05	292,95	88,10	8,38	6,45	1,94	0,48	0,59	0,11	335,59	258,00	77,59	4,56	3,51	1,05
10_2022	238,98	203,83	35,15	374,95	319,81	55,15	7,97	6,80	1,17	0,39	0,45	0,06	354,49	302,36	52,14	5,27	4,50	0,78
11_2022	244,92	201,40	43,52	377,23	310,20	67,03	6,92	5,69	1,23	0,44	0,51	0,08	386,80	318,07	68,73	4,34	3,57	0,77
01_2023	172,16	115,13	57,02	422,31	282,43	139,88	5,36	3,58	1,77	0,35	0,47	0,12	354,48	237,07	117,42	7,93	5,30	2,63
02_2023	235,47	180,25	55,21	412,51	315,78	96,73	3,56	2,72	0,83	0,41	0,51	0,10	380,93	291,61	89,33	5,25	4,02	1,23
03_2023	232,45	169,55	62,90	390,48	284,81	105,67	4,02	2,93	1,09	0,48	0,61	0,13	413,20	301,39	111,82	9,46	6,90	2,56
04_2023	228,45	195,38	33,06	376,44	321,96	54,48	3,87	3,31	0,56	0,30	0,35	0,04	404,73	346,16	58,57	6,87	5,87	0,99
05_2023	247,53	217,02	30,52	356,09	312,19	43,90	3,62	3,17	0,45	0,34	0,39	0,04	428,68	375,83	52,85	4,35	3,81	0,54
06_2023	217,94	180,71	37,23	338,74	280,88	57,86	2,24	1,86	0,38	0,35	0,41	0,06	462,08	383,15	78,93	2,06	1,71	0,35
07_2023	212,25	192,88	19,37	334,80	304,24	30,55	2,79	2,53	0,25	0,23	0,25	0,02	449,89	408,83	41,06	4,57	4,15	0,42
08_2023	273,10	269,79	3,31	317,04	313,19	3,85	2,82	2,79	0,03	0,31	0,31	0,00	463,71	458,09	5,63	2,96	2,92	0,04
09_2023	234,03	218,06	15,97	320,76	298,87	21,89	2,04	1,90	0,14	0,27	0,29	0,02	450,88	420,12	30,77	2,53	2,36	0,17
10_2023	249,98	249,94	0,04	301,01	300,96	0,05	1,88	1,88	0,00	0,25	0,25	0,00	438,84	438,76	0,07	2,58	2,57	0,0004
11_2023	234,97	214,38	20,59	295,63	269,72	25,91	1,89	1,72	0,17	0,33	0,36	0,03	439,16	400,67	38,49	1,60	1,46	0,14
06_2024	327,07	313,70	13,37	302,86	290,48	12,38	2,60	2,49	0,11	0,27	0,29	0,01	282,59	271,04	11,55	6,08	5,83	0,25
08_2024	338,78	334,29	4,49	293,66	289,77	3,89	2,28	2,25	0,03	0,33	0,33	0,00	277,26	273,59	3,68	5,93	5,85	0,08

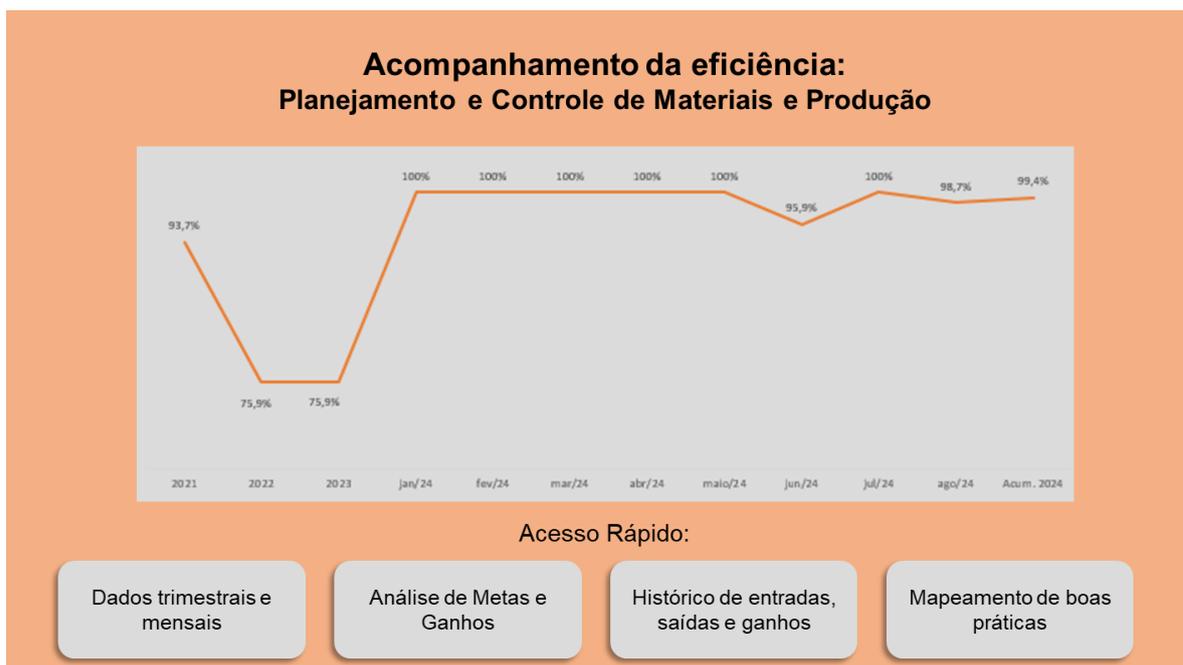
Fonte: Elaborado pela autora.

Para discutir os *targets* e ganhos obtidos pelo modelo, utiliza-se como exemplo a DMU referente a janeiro de 2022. Neste período, 399 ordens foram liberadas para produção (*output* desejável), 10.656 mil pedidos não foram atendidos no prazo (*output* indesejável), enquanto o custo de pessoal foi de 178 mil reais. Caso essa DMU fosse eficiente, ela deveria incrementar suas ordens liberadas em 75 (ganho), totalizando assim 474 (*target*). Simultaneamente, a quantidade de pedidos de clientes não atendidos no prazo deveria reduzir em 2.013 mil (ganho), alcançando assim uma quantidade de 8.642 (*target*) pedidos de clientes não atendidos no prazo esperado. Além disso, o custo de pessoal poderia ser reduzido em 33.651 mil reais (ganho), atingindo 144.349 mil reais (*target*) no período. Conforme exemplificado com a DMU referente ao mês de janeiro de 2022, o modelo buscou incrementar a saída desejável, na mesma proporção que reduziu as saídas indesejáveis e os insumos.

4.3 PAINEL DE DADOS PARA ACOMPANHAMENTO MENSAL DA EFICIÊNCIA DO SETOR

A etapa de análise de dados, além de contemplar as atividades de categorizar e classificar em tabelas e gráficos os dados encontrados, é responsável por apresentar e comunicar aos interessados e responsáveis pelos dados encontrados as descobertas obtidas (Kostamo *et al.*, 2019; Yin, 2001). Considerando esse objetivo, foi desenvolvido um painel de dados para acompanhamento mensal da eficiência da área, destinado aos gestores e analistas envolvidos no processo. A capa do painel de dados pode ser encontrada na Figura 10.

Figura 10 – Capa painel de dados proposto



Fonte: Elaborado pela autora.

O painel de dados apresentado na Figura 10 é composto por cinco seções. Sendo a primeira a capa do relatório, na sequência é apresentado um breve resumo dos tópicos que cada seção do painel de dados trata, conforme exposto no Quadro 10. As análises referentes a cada seção são abordadas nas subseções deste capítulo.

Quadro 10 - Resumo seções painel de dados

Subdivisão do painel de dados	Resumo
Capa	Gráfico com eficiência acumulada dos últimos três anos e eficiência mensal do ano corrente; Acesso rápido as demais seções do painel de dados;
Dados trimestrais e mensais	Gráfico 1: Dados de eficiência trimestral compreendendo o primeiro trimestre de 2018 até o segundo trimestre de 2024; Gráfico 2: Valor de eficiência anual de 2018 a 2023, valor de eficiência mensal do ano corrente (2024);
Análise metas e ganhos	Opção de escolha do período a ser analisado, gráficos com valor atual, meta e ganho de cada variável, no período selecionado. Aviso sobre deslocamento da fronteira eficiente ou se a fronteira se manteve a mesma; Informação da eficiência do mês

Subdivisão do painel de dados	Resumo
Histórico entradas, saídas e ganhos	Gráfico 1: Média histórica por trimestre do valor da variável, possível escolher variável que será analisada. Gráfico 2: Média histórica por trimestre do ganho possível se cada DMU fosse eficiente
Mapeamento boas práticas	Formulário para registro e mapeamento de boas práticas (RMBP) para meses em que ocorreu o deslocamento da fronteira eficiente

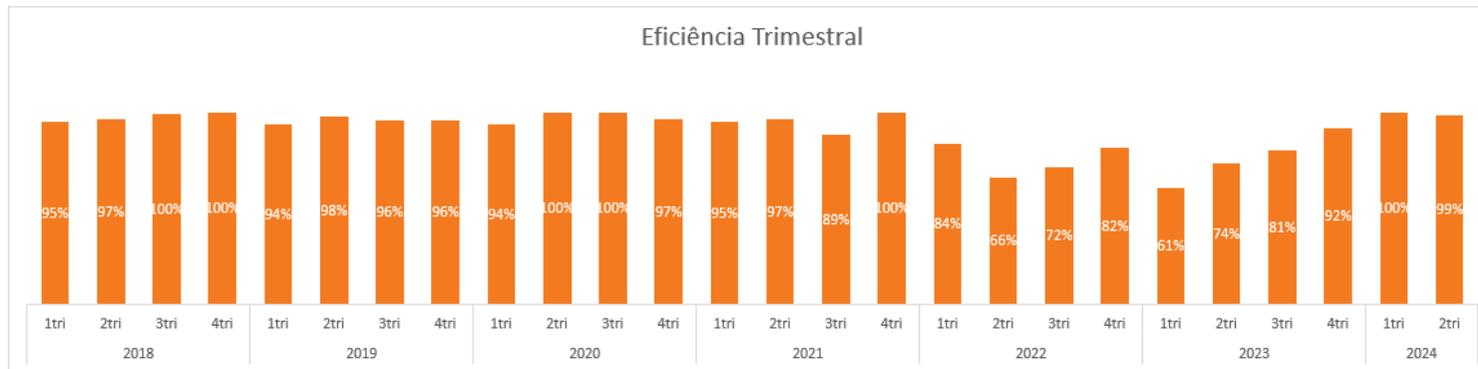
Fonte: Elaborado pela autora.

4.3.1 Análise Dados trimestrais e mensais

A segunda seção do painel de dados contém dois gráficos que ilustram o desempenho do setor. No primeiro gráfico é possível acompanhar a evolução do setor trimestralmente, abrangendo o período de 2018 até o segundo trimestre de 2024. O segundo gráfico apresenta inicialmente os valores de eficiência dos anos de 2018 até 2023 e, em seguida, detalha as eficiências alcançadas a cada mês de 2024, incluindo o total acumulado até o momento. A primeira seção do painel de dados é apresentada na Figura 11.

Figura 11 - Painel de dados acompanhamento mensal eficiência

Eficiência Planejamento e Controle de Materiais e Produção DEA DDF - não orientado



Fonte: Elaborado pela autora.

Ressalta-se que para validação da proposta de utilização da DEA como um indicador recorrente de eficiência e melhor compreensão de como o modelo se comporta com adição de novas DMUs, por exemplo, melhor compreensão de quando ocorre e os motivos para ocorrer se acontecerem modificação da fronteira eficiente do modelo, optou-se por rodar o modelo oito vezes. Na primeira rodada o modelo continha 73 DMUs, ou seja, abrangia o período de janeiro de 2018 até janeiro de 2024. Em seguida, os valores de *inputs* e *outputs* de fevereiro foram adicionados e o modelo foi rodado novamente. O valor da eficiência calculado para fevereiro de 2024 foi incorporado ao painel de dados, enquanto os dados dos meses anteriores foram mantidos conforme a rodada de janeiro. Esse processo foi repetido sucessivamente até a inclusão dos valores de eficiência, *targets* e ganhos referentes a agosto de 2024. Os resultados desse teste estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Validação comportamento modelo DEA com adição de novas DMUs

DMU	Resultado rodando modelo mês a mês	Agosto	Julho	Junho	Maior	Abril	Março	Fevereiro	Janeiro
01_2024	100,00%	83,50%	83,50%	83,50%	83,50%	83,50%	87,26%	87,81%	100%
02_2024	100,00%	95,74%	95,74%	95,74%	95,74%	98,24%	99,36%	100,00%	
03_2024	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%		
04_2024	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%			
05_2024	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%				
06_2024	95,91%	95,91%	95,91%	95,91%					
07_2024	100,00%	100,00%	100,00%						
08_2024	98,67%	98,67%							
Média Anual	99,3%	96,7%							

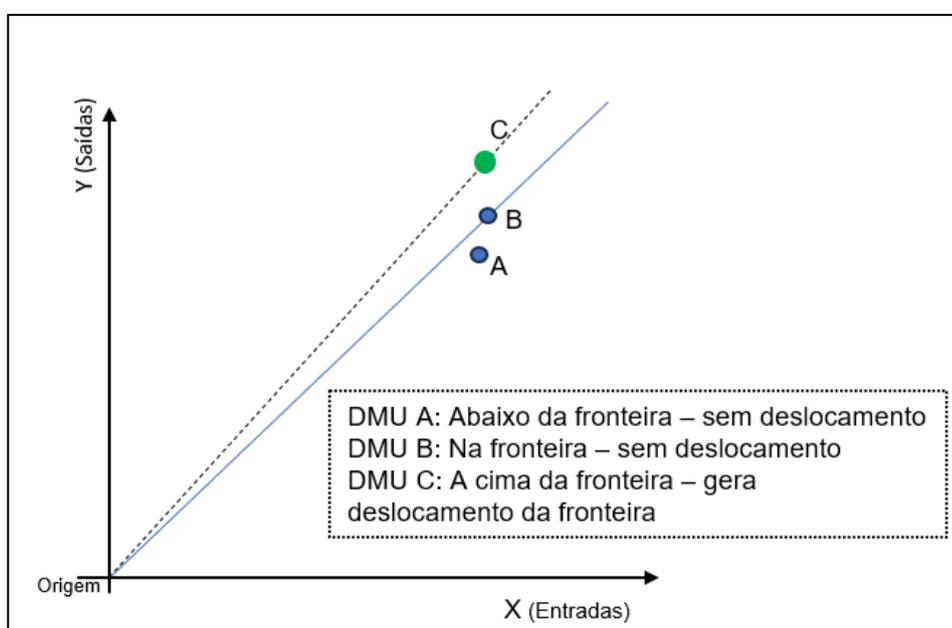
Fonte: Elaborado pela autora.

A partir dos dados apresentados na Tabela 6, é possível concluir que o deslocamento da fronteira eficiente do modelo ocorre apenas quando a DMU adicionada ao modelo apresenta uma eficiência superior às demais DMUs, como evidenciado nos meses de fevereiro, março, abril e maio. No entanto, no mês de junho, quando foi adicionada uma DMU com eficiência inferior à anterior, os valores de eficiência das DMUs anteriores não sofreram alterações.

Assim, conclui-se que a fronteira de eficiência do modelo é deslocada apenas quando uma DMU com eficiência superior às DMUs anteriores é incorporada ao

modelo. Ou seja, em casos de inclusão de uma nova DMU com eficiência inferior a fronteira previamente estipulada, ou com eficiência idêntica a previamente calculada, a fronteira de eficiência não será deslocada. O Gráfico 2 auxilia na compreensão do que acontece com a fronteira eficiência na inclusão de uma nova DMU ao modelo. Caso ocorra a inclusão de uma DMU com eficiência inferior ou igual a fronteira de eficiência calculada no modelo (A e B), a fronteira não será deslocada (linha contínua azul), entretanto, se a nova DMU adicionada possuir eficiência acima da fronteira calculada, o modelo irá assumir uma nova fronteira (linha pontilhada preta) e, portanto, as DMUs consideradas anteriormente eficientes, terão novos valores de eficiência.

Gráfico 2 - Deslocamento da fronteira DEA ao adicionar nova DMU



Fonte: Elaborado pela autora.

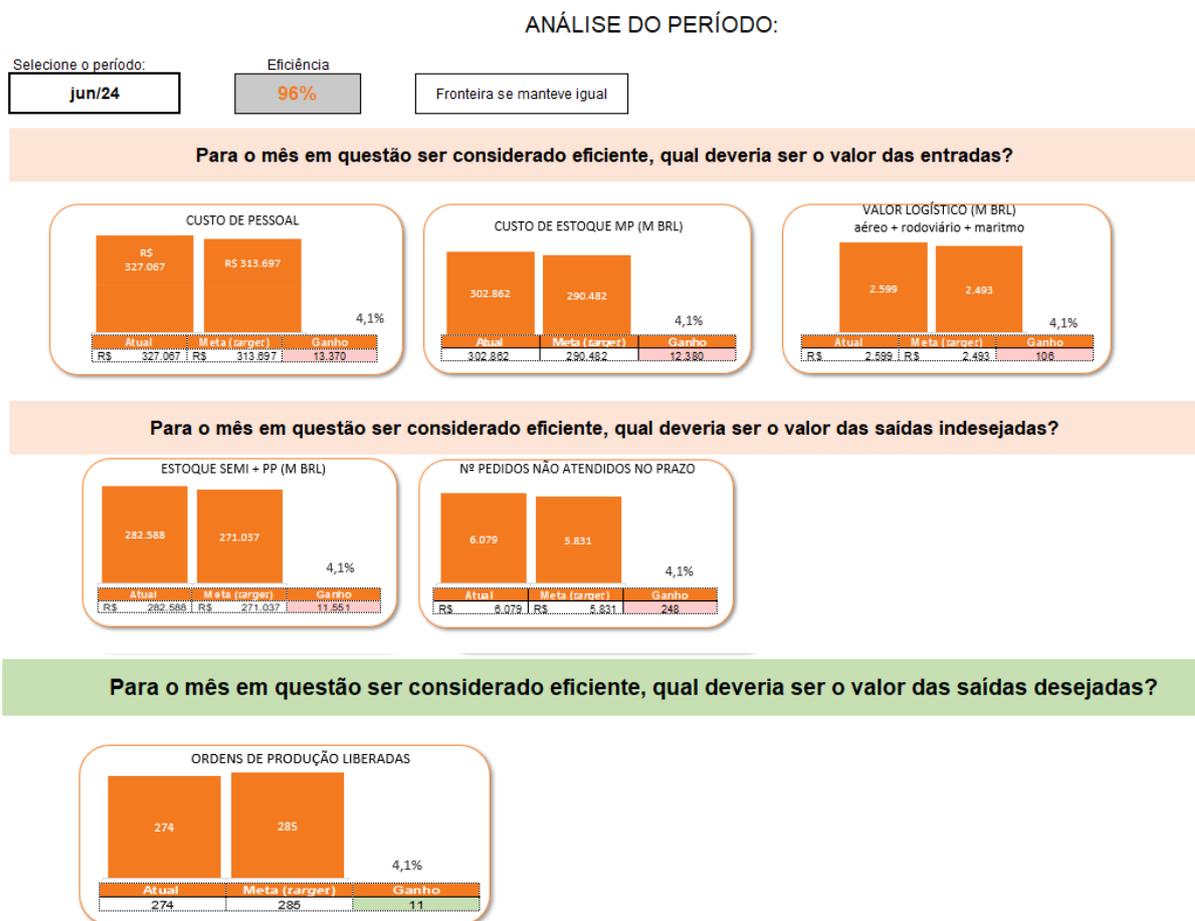
Ressalta-se que no painel de dados e em todo este estudo, optou-se por utilizar os valores de eficiência para os meses de 2024 conforme a coluna “Resultado rodando modelo mês a mês” da Tabela 6. Na sequência, é apresentada a análise de metas e ganhos.

4.3.2 Análise Metas e Ganhos

A terceira sessão do painel de dados foi desenvolvida com o objetivo de fornecer aos gerentes do processo informações de metas e ganhos detalhadas sobre os meses do

ano corrente. Por exemplo, ela apresenta o valor que deveria ser reduzido dos *inputs* em um mês em que o setor não foi eficiente, para que se torne eficiente, ou seja, o ganho, também apresenta o *target*, ou seja o valor máximo que DMU poderia alcançar se ela fosse eficiente. Nessa seção, também é possível realizar as mesmas análises para as saídas desejadas, como a quantidade de ordens liberadas, avaliando o valor que deveria ser incrementado em cada saída indesejável, para que o setor fosse considerado eficiente. Na Figura 12, é apresentado o protótipo do painel de dados, com dados referentes ao mês de junho de 2024.

Figura 12 - Análise por período



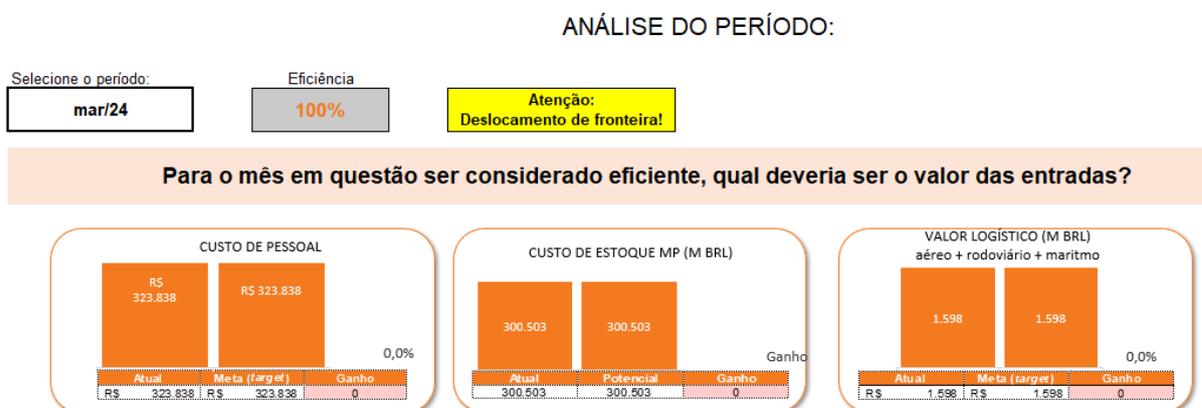
Fonte: Elaborado pela autora.

A fim de compreender os valores apresentados nesta seção, será utilizado, como exemplo, o mês de julho de 2024. Para que o mês em questão fosse considerado eficiente, o custo de estoque de MP (M BRL) deveria ser reduzido em 12.380 M BRL (ganho), ou seja, o valor atual (302.882 M BRL) deveria ser reduzido

para 290.482 M BRL para alcançar a meta. Os mesmos valores são apresentados para as saídas indesejáveis, em que o valor de ganho é quanto deveria ser reduzido para o mês ser eficiente e para as saídas desejadas. No caso das saídas desejadas, o ganho representa o valor que deveria ser incrementado no valor atual, para que o mês fosse eficiente. No exemplo, junho de 2024, para que o mês fosse eficiente, deveriam ter sido liberadas 11 ordens a mais (ganho), totalizando assim 285 ordens liberadas (meta) ao invés de 274, que é o valor atual.

Para que os gestores possam identificar quando ocorre um deslocamento da fronteira, foram implementados dois tipos distintos de alertas no painel de dados. Em meses como junho (Figura 12), em que a fronteira se manteve inalterada, será exibida a mensagem "Fronteira se manteve igual". Enquanto em meses em que ocorre um deslocamento da fronteira, ou seja, quando o novo mês alcança resultados melhores do que os meses anteriores, será adicionada a mensagem "Atenção: Deslocamento de Fronteira", conforme exemplificado na Figura 13.

Figura 13 - Meses em que acontece deslocamento de fronteira



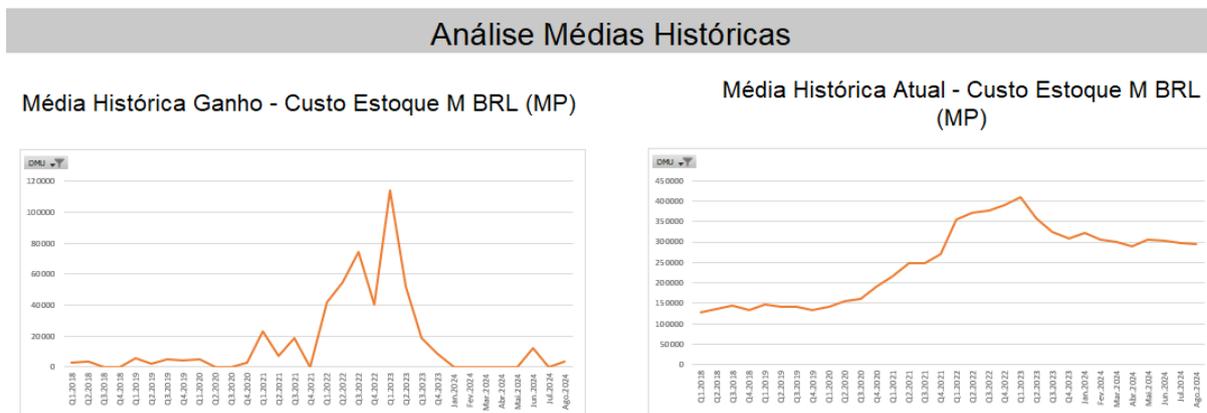
Fonte: Elaborado pela autora.

4.3.3 Análise histórico entradas, saídas e ganhos

A quarta seção do painel de dados é dedicada para realização do acompanhamento e análise histórica dos valores de entradas e saídas dos trimestres dos anos anteriores, 2018 a 2023, e dos meses do ano presente, 2024. Bem como a análise dos ganhos para cada *input* e *output*. Essa análise possibilita aos gerentes uma visão ampla e detalhada de como cada variável do modelo está se comportando

ao longo do tempo. Além de proporcionar uma melhor visão de quando é possível incrementar em cada variável para alcançar melhores patamares de eficiência nos meses seguintes. Na Figura 14, encontra-se os gráficos propostos para essa seção.

Figura 14 - Análise Médias Históricas



Fonte: Elaborado pela autora.

4.3.4 Mapeamento de boas práticas

O alerta, da terceira seção do painel de dados, além de informar aos gestores sobre o deslocamento da fronteira, serve como um gatilho para o acionamento de análises posteriores, direcionando assim para a terceira e última seção do painel de dados. Quando ocorre o deslocamento de fronteira, indica que o mês recém-adicionado à análise, ou seja, o mês anterior, alcançou novos patamares de eficiência em relação a todas DMUs adicionadas anteriormente. Esse alerta, servirá como gatilho, sugerindo que os gestores responsáveis pela área, realizem uma análise detalhada para identificar as práticas que contribuíram para tais resultados. Permitindo que as boas práticas realizadas pela DMU, sejam replicadas para os meses seguintes e, se possível, adicionadas ao padrão de trabalho do setor. Para isso, foi desenvolvido um formulário de mapeamento de boas práticas, conforme apresentado na Figura 15. O mapeamento de boas práticas, é uma adaptação da técnica de análise de incidente crítico de Flanagan (1954).

Figura 15 - Formulário Para registro de Boas Práticas

Registro Mapeamento Boas Práticas - Deslocamento de Fronteira				
Nº Do Registro	Data	Descrição	Ação	Acompanhamento Impacto

Fonte: Elaborado pela autora.

O grupo de especialista, além de ter auxiliado no processo de criação do formulário para registro de boas práticas exercidas pelo setor, realizou a validação do formulário. Para o processo de validação, decidiu-se analisar o mês de Fevereiro de 2024. No mês de Janeiro, devido a novas diretrizes da empresa e objetivos anuais, foi iniciado um processo de revisão de parâmetros no sistema e entendeu-se que seria possível trabalhar com coberturas de estoque inferiores das que estavam sendo praticadas em algumas matérias primas e em alguns produtos semiacabados. A partir da análise, é possível identificar, que os quatro meses posteriores aos ajustes obtiveram eficiência de 100%. Além disso, quando os dados coletados são avaliados, tanto o *input* relacionado a matéria prima, custo de estoque de matéria prima, quanto o *output* indesejado, estoque de produto semiacabado e produto acabado, reduziram de maneira constante. A análise realizada foi cadastrada no painel de dados, conforme Figura 16.

Figura 16 - Aplicação Formulário Boas Práticas

Registro Mapeamento Boas Práticas (RMBP) - Deslocamento de Fronteira				
Nº Do Registro	Data	Descrição	Ação	Acompanhamento Impacto
R0001	nov/24	Análise referente aos meses de Fev/2024, Mar/2024, Abr/2024 e Maio/2024. Grupo envolvido na análise: Analista de S&OP e Gerente do Supply Chain. Identificado redução gradual e constante, dos valores referente ao estoque de matéria prima e produto semi acabado. Devido a análise e posterior redução da cobertura de estoque de alguns itens.	Aumentar frequência de avaliação das coberturas de estoque de todos itens para semestral (até momento da avaliação esta revisão era feita apenas uma vez por mês) E acompanhar nos meses posteriores a análise impacto na eficiência do setor	4 meses após mudanças

Fonte: Elaborado pela autora.

Após a realização, junto com o grupo de especialista, do exercício de mapeamento e identificação de boas práticas do setor, com base nos dados calculados pela análise DEA e evidenciados no painel de dados proposto, fica claro o potencial do painel de dados. Até o momento da análise das boas práticas, era senso comum do setor que a realização da revisão dos parâmetros de estoque de maneira anual era o suficiente. Portanto, é indicado que exista uma reunião mensal recorrente, com o time de gestores da área, para análise crítica dos dados gerados e das oportunidades de melhoria do setor. Acredita-se que com a realização desse procedimento, é possível alcançar resultados ainda melhores.

5 DISCUSSÃO

Após a análise dos resultados, considera-se pertinente aprofundar a discussão sobre as contribuições deste trabalho. Na seção 5.1 são examinadas as contribuições da pesquisa para o desenvolvimento teórico, enquanto na seção 5.2 são elencadas as contribuições da pesquisa no âmbito empresarial, além do contexto da empresa em que o estudo foi conduzido, considerando as indústrias em geral que possuem áreas de apoio.

5.1 CONTRIBUIÇÕES DOS RESULTADOS PARA A TEORIA

A presente pesquisa contribuiu para o avanço do conhecimento acerca da medição e acompanhamento da eficiência de áreas de apoios de sistemas produtivos longitudinalmente por meio da DEA e do *benchmarking* interno. Observou-se, durante a revisão de literatura, que tanto o campo teórico quanto o empresarial demonstram interesse na medição da eficiência em áreas de apoio, evidenciado pela elevada quantidade de estudos que discutem os benefícios dessa prática para as indústrias (Abdeen; Sandanayake; Ramachandra, 2022; Bianchi, 2012; Coenen; Waldburger; von Felten, 2013; Kristensen; Saabye, 2021; Star *et al.*, 2016; Ghosh *et al.*, 2016; Naji; Gunduz; Naser, 2022; Mahmood; Mohd Zahari, 2021; Alsyouf, 2006; Kadam; Fonseca, 2009).

No entanto, são escassas as pesquisas empíricas que comprovem tais benefícios e proponham metodologias concretas para o cálculo da eficiência. Nesse sentido, compreende-se que o estudo contribui com a teoria, pois apresenta uma maneira de acompanhamento mensal da eficiência do setor, aumentando assim a possibilidade de acompanhamentos de indicadores de áreas de apoio, para além do acompanhamento de eficácia. Além disso, exemplifica que a DEA pode ser utilizada como um indicador recorrente e os *insights* gerados neste trabalho podem ser utilizados como base para outros pesquisadores na realização de estudos futuros que ampliem o conhecimento existente sobre o tema.

Outra contribuição importante que deste trabalho para o âmbito acadêmico, é em relação a aplicação da DEA DDF. Primeiramente, por apresentar um modelo conceitual genérico, com alto potencial de generalização e replicabilidade para outras

áreas de apoio da própria empresa ou de outras empresas. Além de que até o momento de publicação do trabalho, não foi localizado, nas bases de dados utilizadas para realização da pesquisa em questão, trabalhos que utilizassem a DEA como um indicador recorrente. Outra contribuição importante do trabalho relacionada à DEA é a discussão empírica acerca do deslocamento da fronteira de eficiência após a inclusão de novas DMUs no modelo existente. Até o momento da conclusão do trabalho, não se tem conhecimento sobre autores que discutiram o efeito da inclusão de novas DMUs na fronteira eficiente.

Tornese *et al.* (2014) estudaram meios para avaliar a eficiência ambiental de dois setores: um voltado para o apoio à manutenção industrial e outro em um setor que presta serviços logísticos. Os autores concentraram-se em metodologias teóricas estabelecidas e amplamente conhecidas, no entanto, essas ferramentas mostraram-se pouco adaptáveis aos contextos industriais específicos. Esta pesquisa, por outro lado, evidencia que mesmo a DEA sendo uma técnica amplamente utilizada e aceita no contexto acadêmico e até o momento não ter sua aplicação estudada para o objetivo proposto. É uma técnica robusta e que pode ser facilmente adaptada e utilizada para medir a eficiência de áreas de apoio de sistemas produtivos.

Kadam *et al.* (2009) destacaram a importância de monitorar o desempenho das áreas de apoio e alinhar suas metas com a estratégia quinquenal da empresa. Focando em descrever os procedimentos que devem ser seguidos para coletar, medir e comunicar as métricas de cada área da empresa, contudo os resultados apresentados foram no âmbito teórico, por meio de uma proposta de modelo conceitual. Em contraste, a presente pesquisa, além de propor um modelo conceitual, oferece uma aplicação prática e uma proposta de comunicar as métricas e o desempenho da área de apoio em todos os níveis hierárquicos da organização.

Ghosh *et al.* (2016) propuseram o agrupamento de quatro KPIs em um único, por meio de um painel de dados para monitoramento do atendimento do setor em relação aos clientes ao longo do tempo. Nesse sistema, quando é identificada uma redução no nível de atendimento a um cliente, um alerta é disparado, permitindo que os gestores investiguem o que está acontecendo e retornem ao atendimento dos clientes no nível esperado. Porém para viabilizar o modelo, os autores atribuíram pesos específicos para cada KPI, conforme os objetivos da empresa. Assim, o modelo não tem capacidade de mostrar o valor máximo que um KPI em específico poderia

alcançar ou ainda, mostrar qual KPI iria incrementar mais o desempenho do setor como um todo. Assim, diante do contexto explicado, compreende-se que a presente pesquisa, por meio da análise de eficiência por meio da DEA, além de permitir a identificação de eventuais penalizações no desempenho, possibilita uma compreensão aprofundada sobre quais KPIs ou *outputs* possuem um impacto mais significativo no resultado. Ademais, a DEA oferece uma visão detalhada de quanto seria possível incrementar ou reduzir cada *input* e *output* para tornar uma DMU (período avaliado) eficiente, ou, caso necessário, identificar os ajustes necessários para evitar ineficiências no período avaliado.

Outro aspecto relevante é que, embora a academia defenda a importância de medir a eficiência das áreas de apoio em sistemas produtivos, poucos estudos oferecem métodos concretos para essa mensuração. Entre os que o fazem, observa-se a presença de lacunas. Por exemplo, Loch *et al.* (2002) que agrupam 16 indicadores em um único gráfico, mas não discutiram a interação entre esses indicadores nem apresentaram um valor agregado de eficiência para o setor de Pesquisa e Desenvolvimento (R&D) da empresa analisada. Da mesma forma, Naji *et al.* (2022) discutem 49 fatores que influenciam o desempenho de áreas de apoio, mas não propõem nenhum tipo de agrupamento ou métricas a serem seguidas. Nesse sentido, entende-se como uma contribuição para teoria a apresentação da Análise Envoltória de Dados (DEA) como uma técnica que permite o acompanhamento recorrente da eficiência de áreas de apoio de sistemas produtivos, através de um indicador. Utilizando como saídas os indicadores que o setor é responsável e impactam diretamente o resultado da empresa, e como entradas os recursos necessários para alcançar os resultados esperados. Além de validar a proposta empiricamente e desenvolver um painel de dados validado pelo grupo de especialistas internos.

5.2 CONTRIBUIÇÕES DOS RESULTADOS PARA AS EMPRESAS

O presente trabalho, além de contribuir para a empresa na qual se desenvolveu o estudo, colabora com as empresas no geral, por meio da comprovação de que a eficiência das áreas de apoio pode ser medida com a utilização da DEA DDF. Ressalta-se que, até o momento da publicação do trabalho, não foram identificados

trabalhos que utilizassem DEA como um indicador recorrente e que aplicassem a mesma para medição da eficiência de áreas de apoio de sistemas produtivos.

Quando apresentado os resultados da pesquisa e o painel de dados final para os especialistas da empresa, foi reconhecido que as informações geradas pela análise DEA são relevantes para uma compreensão aprofundada da situação atual do setor em relação a ele mesmo ao longo dos anos. Além de fornecer dados que até o momento a empresa não tinha conhecimento sobre, como, por exemplo, quanto deve ser reduzido de entradas e saídas indesejáveis para alcançar melhores resultados. Os especialistas também indicaram que as orientações sugeridas pela análise, bem como a identificação de meses que foram eficientes, podem ser úteis para a compreensão aprofundada das ações que acarretaram tal eficiência e que devem servir de gatilho para iniciar um processo de análise. Além disso, posteriormente as informações coletas podem servir como base para elaboração de estratégias e revisões padrões operacionais ou práticas antigas, visando a busca contínua de melhoria no processo e, por consequência, eficiência do setor.

Ao avaliar os resultados obtidos trimestralmente e anualmente com os especialistas da empresa, concluiu-se que os resultados obtidos são concisos e que estão alinhados com os resultados obtidos pela empresa ao longo do período analisado. Os especialistas destacaram o potencial de estender a utilização da avaliação da eficiência DEA para todas as áreas de apoio da empresa, reforçando os resultados positivos que trará para a empresa, no processo constante de busca de melhores resultados e redução de desperdícios, tanto operacionais como administrativos, pois a técnica DEA fornece parâmetros para proposição e busca de melhoria.

Outro aspecto relevante é que atualmente a empresa mantém um extenso conjunto de indicadores que buscam avaliar diversos parâmetros do setor, porém não é avaliado a interdependência entre eles e quando um afeta o outros. Esses indicadores podem ser substituídos pela utilização do modelo DEA DDF, agrupando assim diversos indicadores em um único e possibilitando um maior entendimento sobre a correlação entre os *inputs* e *outputs*. Além disso, tanto os especialistas quanto a gerência do setor e empresa percebem que o painel de dados proposto apresenta um elevado potencial de auxiliar a gerência e o setor na busca de melhores resultados e na realização de análises rápidas do que vem acontecendo com o setor ao longo do

tempo. Além disso, frisam a importância de possuir dados tão relevantes em um formato de fácil entendimento e acompanhamento como no painel de dados proposto.

Por fim, a pesquisa contribui para os sistemas produtivos em geral que possuem áreas de apoio, pois podem utilizar como base o modelo conceitual genérico para definição de *inputs* e *outputs* relevantes para qualquer área de apoio, não limitando-se aos setores da empresa estudada. Ressalta-se que o painel de dados e a utilização da DEA como um indicador recorrente para acompanhamento de eficiência de setores pode ser replicado por outras empresas que busquem os mesmos benefícios demonstrados no presente trabalho.

Portanto, entende-se que, entre todas as contribuições e resultados que a presente pesquisa gerou para o âmbito empresarial, é importante destacar a validação da possibilidade de utilizar DEA para cálculo de um indicador recorrente. Além disso, destaca-se que o painel de dados proposto pelo trabalho, além de apresentar os resultados da DEA, fornece valiosos *insights* e informações para todos os níveis gerenciais da empresa.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo principal verificar como pode ser analisado longitudinalmente a eficiência das áreas de apoio de sistemas produtivos. Para alcançar esse propósito, foi utilizado como área piloto, o setor de Planejamento e Controle de Materiais e Produção de uma empresa do segmento metal mecânico, no qual foi empregado a DEA-DDF em conjunto com *benchmarking* interno. A utilização da DEA DDF permitiu que o modelo buscasse reduzir as entradas e saídas indesejadas, na mesma proporção que incrementava as saídas desejáveis de DMUs ineficientes.

Para alcançar o objetivo principal deste estudo, foi necessário estabelecer objetivos específicos, sendo o primeiro deles realizar a caracterização dos indicadores de avaliação de desempenho de áreas de apoio dos sistemas produtivos existentes na literatura. Para alcançar esse objetivo, foi realizada uma extensa revisão sistemática da literatura, resultando na seleção de quinze artigos. Ressalta-se que, mesmo com quantidade elevada de artigos disponíveis na literatura sobre o tópico, uma reduzida quantidade de artigos propôs um único indicador para avaliação e apresentou um método de cálculo. Entretanto, os artigos incluídos na revisão, ofereceram importantes *insights* para a realização do trabalho.

O segundo objetivo específico do trabalho foi avaliar a adequabilidade da eficiência calculada a partir da DEA DDF como um indicador recorrente para acompanhamento da eficiência longitudinal de uma área de apoio de um sistema produtivo. Para isso, utilizou-se como área piloto a área de planejamento e controle de materiais e produção. Com esse intuito, primeiramente foi definido um modelo conceitual genérico para auxiliar na definição dos *inputs* e *outputs* a serem considerados, e que futuramente pode ser replicado para qualquer área de apoio de sistemas produtivos. Após isso, foram definidas as variáveis relevantes para a área estudada e foi aplicado o modelo DEA. Para análise dos dados, foi desenvolvido um painel de dados, que tem como objetivo apresentar de maneira clara e objetiva os resultados de eficiência do setor. Bem como prover informações relevantes para o acompanhamento do setor em questão longitudinalmente.

Por fim, foi apresentado para o time de especialista da empresa o painel de dados, para validação dos dados e sua relevância. Para isso, foram realizadas

entrevistas com o time e o mapeamento de boas práticas realizadas pelo setor, ou seja, atividades que acarretaram o deslocamento da fronteira. Tanto o painel de dados, quanto os resultados e a proposta de mapeamento das boas práticas foram avaliados positivamente como uma ferramenta que pode oferecer frutos para a empresa em questão, bem como para todas as empresas que futuramente se interessem em replicar o estudo.

Sob o ponto de vista teórico, entende-se que a presente pesquisa apresenta contribuições para teoria existente sobre meios para acompanhamento recorrente de eficiência de áreas de apoio. A contribuição consiste na apresentação de evidências e aplicação pela primeira vez, até o momento, da DEA como meio de calcular a eficiência, considerando múltiplas entradas e saídas, tanto desejáveis como indesejáveis. Além de corroborar com as evidências dos benefícios do acompanhamento da eficiência em áreas de apoio (Naji; Gunduz; Naser, 2022; Mahmood; Mohd Zahari, 2021; Kristensen; Saabye, 2021; Alsyouf, 2006; Kadam; Fonseca, 2009). Outra contribuição relevante da pesquisa no campo teórico, está relacionada ao deslocamento da fronteira eficiente da DEA, após a inclusão de novas DMUs. O trabalho evidenciou que a fronteira é deslocada apenas quando uma DMU com eficiência superior é incorporada na análise.

Do ponto de vista prático, entende-se que as informações geradas a partir da modelagem DEA DDF, para análise recorrente da eficiência de áreas de apoio, bem como do painel de dados, fornecem informações relevantes para os gestores e funcionários da empresa. Além de que a utilização da DEA, como meio para cálculo de eficiência de áreas de apoio, pode também auxiliar no aumento contínuo da eficiência do setor. A pesquisa realizada, bem como as evidências apresentadas, podem servir como suporte na implementação do cálculo de eficiência para todos os sistemas produtivos.

Apesar das contribuições práticas e teóricas citadas, este estudo apresenta algumas limitações. No que se refere a DEA DDF, existe a possibilidade de questionamento do modelo, mesmo que desenvolvido com respaldo do time de especialistas da empresa e especialistas da área estudada e ter sido considerado adequado por todos. Conforme conhecimento geral, não é possível garantir, que estudos que utilizam a DEA incluíram todas as variáveis relevantes para o modelo (Cook, Tone e Zhu 2014). Porém, todos os esforços possíveis por parte da

pesquisadora foram realizados, a fim de contemplar se não todos, o maior número possível de variáveis relevantes para a pesquisa no modelo em questão. Entre as limitações teóricas do trabalho, encontra-se o foco do trabalho em medir a eficiência da área de apoio, não considerando a efetividade. O acompanhamento da efetividade do setor, considerando tanto a eficiência quanto a eficácia poderia resultar em um indicador com maior relevância para alta gerência.

Outra limitação que o estudo apresenta, é o esforço adicional para replicar o trabalho em outra área de apoio da empresa estudada ou de outra empresa. Por ser uma modelagem DEA, para replicação do estudo é necessário realizar o mapeamento das variáveis relevantes, ou seja, é necessário refazer a modelagem por completo. Uma última limitação que pode ser atribuída ao trabalho, é a reduzida quantidade de mapeamento de boas práticas, devido ao curto tempo disponível para realização de mapeamentos adicionais.

O presente estudo oferece oportunidade para discussão de novas pesquisas relacionadas ao acompanhamento recorrente da eficiência de áreas de apoio e para futuras pesquisas que visem aplicar DEA como um indicador recorrente, independente do objeto de estudo. Pesquisas futuras podem aplicar o mesmo modelo em empresas que possuem uma ou mais unidade produtiva, a fim de possibilitar a comparação de mesmas áreas de apoio em plantas diferentes, utilizando a mesma base.

REFERÊNCIAS

ABDEEN, F. N.; SANDANAYAKE, Y. G.; RAMACHANDRA, T. A framework for facilities management supply chain performance evaluation: case study of hotel buildings. **Facilities**, v. 40, n. 3–4, p. 248–267, 2022.

AGOSTINO, D. *et al.* **Developing a performance measurement system for public research centres. Journal of Business Science and Applied Management**, 2012.

AHMAD, Z. *et al.* Changing hr roles, hr effectiveness and its impact on organizational effectiveness; a study of indian healthcare firms. **International Journal of Scientific & Technology Research**, 2019.

AHMEND, S. The emerging measure of effectiveness for human resource management: An exploratory study with performance appraisal. **Journal of Management Development**, 1999.

ALSYOUF, I. Measuring maintenance performance using a balanced scorecard approach. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 12, n. 2, p. 133–149, 2006.

ANDONOV-ACEV, D. *et al.* **Enterprise Performance Monitoring 1**, 2008.

BARRATT, M.; CHOI, T. Y.; LI, M. **Qualitative Case Studies in Operations Management: Trends and Future Research Implications (1992-2007) Article in Journal of Operations Management**. 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/216020385>. Acesso em: 19 dez. 2024.

BARTELSMAN, E.; HALTIWANGER, J.; SCARPETTA, S. Cross-country differences in productivity: The role of allocation and selection. **American Economic Review**, v. 103, n. 1, p. 305–334, 2013.

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241–264, 2002.

BIANCHI, C. Enhancing performance management and sustainable organizational growth through system-dynamics modelling. *In*: SYSTEMIC MANAGEMENT FOR INTELLIGENT ORGANIZATIONS: CONCEPTS, MODELS-BASED APPROACHES AND APPLICATIONS. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012. v. 9783642292446, p. 143–161.

CAMANHO, A. S. *et al.* **A literature review of economic efficiency assessments using Data Envelopment Analysis**. Elsevier B.V., 2024.

CASU, B.; SHAW, D.; THANASSOULIS, E. Using a group support system to aid input-output identification in DEA. **Journal of the Operational Research Society**, 2017.

CAUCHICK-MIGUEL, P. **Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução**, 2007.

CHARNES, A.; COOPER, W.; RHODES, E. **Measuring the efficiency of decision making units** *Company European Journal of Operational Research*, 1978.

CHUNG, Y. H.; FÄRE, R.; GROSSKOPF, S. Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach. **Journal of Environmental Management**, v. 51, n. 3, p. 229–240, 1997. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479797901468>.

COENEN, C.; WALDBURGER, D.; VON FELTEN, D. FM Servicebarometer: monitoring customer perception of service performance. **Journal of Facilities Management**, v. 11, n. 3, p. 266–278, 2013.

COOK, W. D.; TONE, K.; ZHU, J. Data envelopment analysis: Prior to choosing a model. **Omega**, v. 44, p. 1–4, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305048313000947>.

CUMMINS, J. D.; WEISS, M. A. Analyzing Firm Performance in the Insurance Industry Using Frontier Efficiency and Productivity Methods. **SSRN Electronic Journal**, 2011.

DE, M.; MACEDO, M. **Gestão da produtividade nas empresas Productivity management in enterprises. Revista Organização Sistêmica [vol.1-nº. [S. l.: s. n.]**, 2012. Disponível em: http://www.brasilmaior.mdic.gov.br/wp-content/uploads/2011/11/plano_brasil_maior_texto_de_referencia_rev_out11.pdf. Acesso em: 19 dez. 2024.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; JÚNIOR, J. A. V. A. **Design Science Research**. Porto Alegre: Grupo A, 2015.

DYSON, R. G. *et al.* Pitfalls and protocols in DEA. **European Journal of Operational Research**, v. 132, n. 2, p. 245–259, 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221700001491>. Acesso em: 19 dez. 2024.

FLANAGAN, John C. The critical incident technique. *Psychological Bulletin*, Washington, D. C., p. 327-58, 1954.

FRANCIS, T. J.; GEENS, A. J.; LITTLEWOOD, J. **Assessing the effectiveness of maintenance practice, in caring for historic buildings**. 2011. Disponível em: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84861042482&origin=inward&txGid=294468cc09c585c371bdf5899f28b08e>. Acesso em: 21 dez. 2023.

GHOSH, R. *et al.* CoCOA: A framework for comparing aggregate client operations in BPO services. *In: 2016a. Proceedings - 2016 IEEE International Conference on Services Computing, SCC 2016*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2016. p. 539–546.

GOMES, R. F. S. *et al.* Measuring efficiency of safe work environment from the perspective of the decent work Agenda. **Safety Science**, v. 167, 2023.

JAIN, S.; TRIANTIS, K.; LIU, S. Manufacturing performance measurement and target setting: A data envelopment analysis approach. **European Journal of Operational Research**, v. 214, p. 616–626, 2011.

KADAM, S.; FONSECA, C. **SPE 122769 The E&P Balanced Scorecard: Becoming a Strategy Focused OPCO Driven by Performance. SPE Digital Energy Conference & Exhibition.** 2009.

KARLSSON, C. **Research Methods for Operations and Supply Chain Management: Third Edition.** Taylor and Francis, 2023.

KERSTENS, K.; SADEGHI, J.; VAN DE WOESTYNE, I. Convex and nonconvex input-oriented technical and economic capacity measures: An empirical comparison. **European Journal of Operational Research**, v. 276, n. 2, p. 699–709, 2019.

KOSTAMO, K. *et al.* Using the critical incident technique for qualitative process evaluation of interventions: The example of the “Let’s Move It” trial. **Social Science & Medicine**, v. 232, 2019.

KRISTENSEN, T. B.; SAABYE, H. Increasing the enabling use of performance measures: a longitudinal quasi natural experiment. **Journal of Management Control**, v. 32, n. 3, p. 401–433, 2021a.

KRONSBEIN, D.; MEISER, D.; LEYER, M. Conceptualisation of contextual factors for business process performance. *In*: 2014. **Anais.** Newswood Limited, 2014.

LACERDA, D. P.; RODRIGUES, L. H.; DA SILVA, A. C. Process analysis for higher education institutions: From the cost world to the throughput world. **Gestao e Producao**, v. 16, n. 4, p. 584–597, 2009.

LAMPE, H.; HILGERS, D. Trajectories of efficiency measurement: A bibliometric analysis of DEA and SFA. **European Journal of Operational Research**, v. 240, p. 1–21, 2015.

LESCOT, T. Mayday, mayday!. **Recruiter**, p. 38–38, 2016.

LOCH, C. H.; TAPPER, U. A. S. Implementing a strategy-driven performance measurement system for an applied research group. **Journal of Product Innovation Management**, v. 19, n. 3, p. 185–198, 2002.

MAHMOOD, R.; MOHD ZAHARI, A. S. Delivery mechanisms and microenterprises performance: an analysis of microcredit program. **Emerging Science Journal**, v. 5, n. 3, p. 338–349, 2021.

MARIANI, F.; CIOMMI, M.; RECCHIONI, M. C. A new class of composite indicators: The penalized power mean. **European Journal of Operational Research**, 2024.

MARQUES, R. *et al.* Exploring outsourcing service productivity from the buyer and supplier perspective: A case analysis in the fleet maintenance industry. **Operations Management Research**, v. 16, n. 2, p. 853–867, 2023.

MARTIN, J. *et al.* Decision support services based on dynamic digital analyses: Quality metrics for financial planning processes. *In*: 2012. **Annual SRII Global Conference, SRII**. p. 130–138, 2012.

MEIER, H. *et al.* Key performance indicators for assessing the planning and delivery of industrial services. *In*: 2013. **Procedia CIRP**. Elsevier B.V., p. 99–104, 2013.

MITROFF, Ian. I.; BETZ, F.; PONDY, L. R. **ON MANAGING SCIENCE IN THE SYSTEMS AGE: TWO SCHEMAS FOR THE STUDY OF SCIENCE AS A WHOLE SYSTEMS PHENOMENON*** IAN I. MITROFF, 1974.

MONTEIRO, J.; ALVES, A. C.; CARVALHO, M. do S. Processes improvement applying Lean Office tools in a logistic department of a car multimedia components company. *In*: 2017. **Procedia Manufacturing**. [S. l.]: Elsevier B.V., p. 995–1002, 2017.

NAJI, K. K.; GUNDUZ, M.; NASER, A. F. CONSTRUCTION CHANGE ORDER MANAGEMENT PROJECT SUPPORT SYSTEM UTILIZING DELPHI METHOD. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 28, n. 7, p. 564–589, 2022.

NAMBA, R. I.; YAMANAKA, R. H.; YANASE, R. T. Technologies for raising efficiency in support services. 2007.

NATARAJA, N.; JOHNSON, A. Guidelines for using variable selection techniques in data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 215, p. 662–669, 2011.

NEELY, A.; GREGORY, M.; PLATTS, K. **Performance measurement system design: A literature review and research agenda**. 2005.

OBIAJUNWA, C. C. A framework for the evaluation of turnaround maintenance projects. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 18, n. 4, p. 368–383, 2012.

PEREIRA, J. M. **Manual de metodologia da pesquisa científica**. 4. ed. São Paulo : Atlas., 2019.

PIRAN, F. S. *et al.* Internal Benchmarking for Efficiency Evaluations Using Data Envelopment Analysis: A Review of Applications and Directions for Future Research. 2023. p. 143–162.

PIRAN, F. S. *et al.* Internal benchmarking to assess the cost efficiency of a broiler production system combining data envelopment analysis and throughput accounting. **International Journal of Production Economics**, v. 238, 2021.

PIRAN, F. *et al.* Overall Equipment Effectiveness: Required but not Enough-An Analysis Integrating Overall Equipment Effect and Data Envelopment Analysis. **Global Journal of Flexible Systems Management**, v. 21, 2020.

PIRAN, F. A. S. **UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS-UNISINOS UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS FABIO ANTONIO SARTORI PIRAN MODULARIZAÇÃO DE PRODUTO E OS EFEITOS SOBRE A EFICIÊNCIA TÉCNICA: UMA AVALIAÇÃO EM UMA FABRICANTE DE ÔNIBUS SÃO LEOPOLDO**, 2015.

PIRAN, F.; LACERDA, D.; CAMARGO, L. **Análise e gestão da eficiência**. Elsevier Editora Ltda., 2018.

PIRAN, F.; LACERDA, D.; CAMARGO, L. **Analysis and Management of Productivity and Efficiency in Production Systems for Goods and Services**. CRC Press, 2020a.

RAMLI, N.; MUNISAMY, S.; ARABI, B. Scale directional distance function and its application to the measurement of eco- efficiency in the manufacturing sector. **Annals of Operations Research**, v. 211, p. 381–398, 2013.

ROGOZHIN, A. *et al.* Using indirect cost multipliers to estimate the total cost of adding new technology in the automobile industry. **International Journal of Production Economics**, v. 124, n. 2, p. 360–368, 2010.

SAMPAIO BRASIL, J. E. *et al.* Enhancing the efficiency of a gas-fueled reheating furnace of the steelmaking industry: assessment and improvement. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, 2024.

SCHNEEWEISS, C. **On the applicability of activity based costing as a planning instrument**Int. J. Production Economics. 1998.

SHRINIVASAN, Y. B. *et al.* **LNCS 7636 - A Method for Assessing Influence Relationships among KPIs of Service Systems**. [S. l.: s. n.], 2012. Disponível em: <http://asq.org/learn-about-quality/six-sigma/>.

SOUZA, I. G. *et al.* Do the improvement programs really matter? An analysis using data envelopment analysis. **BRQ Business Research Quarterly**, v. 21, n. 4, p. 225–237, 2018.

STAR, S. *et al.* **Performance Measurement and Performance Indicators: A Literature Review and a Proposed Model for Practical Adoption**. SAGE Publications Ltd, 2016.

THOMPSON, J. **Dinâmica Organizacional**. 1976.

TORNESE, F. *et al.* **A systematic framework for defining environmental performance metrics for industrial services**. 2014.

WAGNER, J. M.; SHIMSHAK, D. G. Stepwise selection of variables in data envelopment analysis: Procedures and managerial perspectives. **European Journal of Operational Research**, v. 180, n. 1, p. 57–67, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221706002839>. Acesso em: 19 dez. 2024.

YIN, R. K. **Estudo de caso : planejamento e métodos**. Bookman, 2001.

ZHANG, N.; CHOI, Y. A note on the evolution of directional distance function and its development in energy and environmental studies 1997–2013. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 33, p. 50–59, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114000859>. Acesso em: 19 dez. 2024.

APÊNDICE A – PROTOCOLO DE BUSCA RSL

ELEMENTO	ESCOLHA
Questão de pesquisa	Como a Análise Envoltória de Dados pode ser utilizada para criação de um indicador mensal de eficiência de uma área de apoio de uma indústria metalúrgica.
Contexto	Desenvolvimento de um indicador recorrente para avaliação da eficiência mensal de uma área de apoio de uma empresa metal mecânica
Horizonte	ABERTO
Idiomas	Inglês e português
Estratégia de revisão	(X) configurativa () agregativa
Critérios de busca	<p style="text-align: center;">Critérios de inclusão:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Artigos que utilizaram indicadores de performance ou eficiência para avaliar áreas de apoio de empresas do ramo metal mecânico. <p style="text-align: center;">Critérios de exclusão:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Artigos completos indisponíveis para download nas bases de dados científicas. • Artigos que não se apresentem nos idiomas selecionados. • Artigos fora do escopo da pesquisa. • Pesquisas não relacionadas a sistemas produtivos de bens - novo
Strings e termos de busca	<p>((“Key Performance Indicators” OR “Performance Metrics”) AND (“Support Area” OR “Back Office” OR “Support Department” OR “Administrative Services” OR “Support Service” OR “Support Activities Areas” OR “Operational Support” OR “Support Functions” OR “Ancillary Areas” OR “Back-officw” OR “Support Areas in Production Systems”))</p> <p>TITLE-ABS-KEY (“Key Performance Indicators” OR “Performance Metrics” OR “EFFICIENCY” OR “EFFECTIVENESS” OR “operational efficiency” OR “Organizational effectiveness” OR “Process Efficiency” OR “KPI” OR “Performance Efficiency”) AND (“Support Area” OR “Back Office” OR “Support Department” OR “Administrative Services” OR “Support Service” OR “Support Activities Areas” OR “Operational Support” OR “Support Functions” OR “Ancillary Areas” OR “Back-office” OR “Support Areas in Production Systems”))</p>
Fontes de busca	SCOPUS, Science Dierect e EBSCO
Índices de busca	Título, resumo e palavras-chave dos artigos.

Fonte: Elaborado pela autora.