

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 DOUTORADO

RICARDO BRANDÃO MANSILHA

MODELO DE DIAGNÓSTICO PARA GESTÃO DA PRODUÇÃO DE BENS DE
CAPITAL DO TIPO ENGINEER-TO-ORDER

São Leopoldo

2018

RICARDO BRANDÃO MANSILHA

MODELO DE DIAGNÓSTICO PARA GESTÃO DA PRODUÇÃO DE BENS DE
CAPITAL DO TIPO ENGINEER-TO-ORDER

Projeto de tese apresentado como pré-requisito
para obtenção do título de Doutor pelo Programa
de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e
Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos
Sinos – UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda

Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Augusto Cassel

São Leopoldo

2018

M288m Mansilha, Ricardo Brandão.

Modelo de diagnóstico para gestão da produção de bens de capital do tipo Engineer-to-order / Ricardo Brandão Mansilha. – 2018.

176 f. : il. ; 30 cm.

Tese (doutorado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, São Leopoldo, 2018.

“Orientador: Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda ;
Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Augusto Cassel.”

1. Indústria de bens de capital. 2. Engineer-to-order. 3.
AHPSort. I. Título.

CDU 658.5

“A desobediência é uma virtude necessária à criatividade”

- Raul Seixas -

AGRADECIMENTOS

Se eu pudesse, não agradeceria a Deus. Não agradeceria a meus pais Edison Mansilha e Venina Brandão Mansilha, por toda dedicação desde meu berço até a minha barba branca. Não ousaria agradecer a meus irmãos Rodrigo Brandão Mansilha e Raquel Brandão Mansilha, pela certeza depositada nas minhas tatuagens desde o momento em que puderam compreender o meu “eu” tecendo meu próprio destino.

Não quero agradecer aos meus orientadores do presente Daniel Pacheco Lacerda e Ricardo Augusto Cassel, por todo conhecimento compartilhado e construído ao longo desse curto espaço de tempo infinito. Da mesma forma, deixaria de agradecer meus orientadores do passado Luis Henrique Rodrigues e José Antônio do Valle Junior, como as primeiras pessoas que acreditaram no meu potencial fora do laço familiar. Por fim – embora sei que por fim não seja bem-vindo em contextos acadêmicos - ousou utilizá-lo duas vezes em sequência e sem finalizar este texto, pois não quero de jeito algum agradecer aos nobres amigos componentes da banca representados aqui pela figura de Julio Siluk.

Também não agradeceria ao elenco de entrevistados e muito menos às empresas Polo Electro, SR Engenharia Industrial e Tecnopampa, que gastaram um par de horas sem esperar nada em troca, auxiliando no processo de construção deste trabalho. Não agradeceria às instituições de ensino UNISINOS e IFFar/FW, pelo conhecimento projetado e pela disponibilidade de agenda, respectivamente. Tampouco agradeceria aos meus amigos, aos meus colegas de formação e ao Grupo de Pesquisa em Modelagem para Aprendizagem - GMAP - pelos encontros e sorrisos que nunca deixei de presenciar.

Pretendo, assim, não parar para agradecer em especial a quem neste projeto de vida foi a mais importante: minha esposa Marília Rodrigues. Minha vida, minha fortaleza, meu tudo. A ela não conseguiria agradecer pelo apoio, pela confiança, pelo amor e pela alegria que pude contemplar nessa intransponível, mas ultrapassável, jornada. Não minha, mas nossa jornada tão longa e distante do nosso bem mais precioso: nossas famílias. E é por isso, que deixaria de prestar uma homenagem a meus sogros Nilva Goreti Rodrigues e Ademilso Bertão, por acreditar em nossa caminhada.

Dito isso, não quero agradecer a todos, pois não gostaria de colocar meu relógio para despertar desse sonho sobrevivido. Foi tão sofrido, porém tão peculiar. Um desafio amargo com gosto de experiências e lamentações forjadas pelo aprendizado. Tão difícil e ao mesmo tempo tão doce, que não gostaria de deixar para trás esses cinco anos embalados no tempo.

Portanto, não gostaria de agradecer. Simplesmente porque os agradecimentos costumam a ser os últimos versos escritos de uma boa história. É quando encontramos nossos objetivos e resolvemos mais do que, em tese, nosso próprio problema de pesquisa. É quando o nosso esforço do passado se perpetua acumulado em meia dúzia de páginas de literatura presente. É quando fechamos o caderno e passamos a régua. Quando estamos aptos a novos desafios futuros.

Com isso, não pretendia, mas sei que devo, e muito, agradecer. Pois se faz necessário gratidão a todos aqueles que realmente, por um instante, colaboraram de alguma forma para o desfecho de mais um capítulo da minha vida. A tese de doutorado. Muito obrigado!

RESUMO

A indústria de bens de capital é um dos principais segmentos responsáveis pelo desenvolvimento tecnológico de uma nação. Isso porque engloba empresas que produzem tecnologias e desenvolvem equipamentos e maquinários para outras empresas. Por trabalharem com a mais alta tecnologia, tais organizações possuem um alto grau de complexidade. Além disso, uma parcela considerável dessas empresas se encontra inserida em sistemas produtivos do tipo *Engineer-To-Order* (ETO). Tais sistemas são fadados a incertezas devido à estratégia de customização geralmente direcionada a um mercado escasso e instável. A justificativa para seguir essa estratégia está no valor agregado pela diferenciação. Entretanto, com o tempo, essas empresas deixaram de ser exclusivas, passando a concorrer acirradamente no mercado. Com isso, além de as exigências repercutirem diretamente nos escopos dos projetos, essas organizações passaram a competir com maior intensidade em prazos e custos. Dito isso, este trabalho busca, inicialmente, estudar os problemas do ETO que podem comprometer o processo de gestão em busca da competitividade, bem como alavancar soluções para os problemas identificados e compreendidos. Nessa perspectiva, a proposta desta tese é desenvolver um modelo de diagnóstico para classificar os problemas característicos da indústria de bens de capital do ETO. Para tanto, inicialmente, realiza-se uma Revisão Sistemática de Literatura. Os problemas do ETO são selecionados e correlacionados a partir de um diagrama de relações de causa-efeito. Assim, por intermédio do estudo das relações entre os problemas do ETO, propõe-se um coeficiente para calcular o potencial de impacto de cada um desses problemas. A partir dos coeficientes, são gerados vetores de prioridades para classificação dos problemas pelo método AHPSort. Para avaliar o modelo proposto, três estudos de casos são realizados e conduzidos à luz da metodologia *Design Science Research*. O resultado alcançado é a unanimidade das empresas participantes no que tange à relevância do novo artefato, à praticidade de aplicação do modelo e ao diagnóstico alcançado.

Palavras-chave: AHPSort. Árvore da Realidade Atual. Critérios competitivos. *Engineer-to-order*. Modelo de diagnóstico. Relações causa-efeito.

ABSTRACT

The capital goods industry is one of the main responsible for the technological development of a nation, since it encompasses companies that develop new technologies, equipment and machinery for other companies. By working with the highest technology, such organizations have a high degree of complexity. In addition, a considerable number of these type of companies are included in Engineer-To-Order (ETO) production systems. Such systems are bound to be uncertain due to the customization strategy which is generally directed to a scarce and unstable market. However, what justifies the use of such strategy is the value added by differentiation. Nevertheless, over time, these companies ceased to be exclusive, starting to compete in the market. As a result, the demands directly affected project scopes and these organizations started to compete more intensively on deadlines and costs. Based on that, the present study aims to analyze the problems related to ETO that can compromise the management process that seeks competitiveness, as well as leverage solutions to the identified problems. In this perspective, the proposal of this thesis is to develop a diagnostic model to classify the characteristic problems of ETO in the capital goods industry. For this end, a Systematic Review of Literature was carried out. The ETO problems were selected and correlated using a cause-effect relationship diagram. Thus, through the study of the relationships between ETO problems, a coefficient is proposed to calculate the potential impact of each of these problems. From the coefficients, priority vectors were generated to classify the problems by the AHPSort method. To evaluate the proposed model, three case studies were carried out and conducted using the Design Science Research methodology. The result achieved showed that all participating companies recognized the relevance of the new artifact, the practicality of application of the model and the diagnosis achieved.

Keywords: AHPSort. Current Reality Tree. Competitive criteria. *Engineer-to-order*. Diagnostic Model. Cause-effect relationship.

FIGURAS

Figura 1– Sistema Produtivo ETO	18
Figura 2 – Estratégia do Pêndulo.....	67
Figura 3 – Passos da DSR	70
Figura 4 – Método de trabalho	72
Figura 5 – Organização dos dados RSL	75
Figura 6 – Lógica das relações da ARA.....	86
Figura 7 – Perfis de Classe	89
Figura 8 – Simplificação do diagrama de relações dos EIs.....	111
Figura 9 – Matriz das relações.....	114
Figura 10 – Definição do problema de classificação.....	119
Figura 11 – Limitantes dos critérios.....	120
Figura 12 – Escala de Saaty.....	122
Figura 13 – Escala de conversão adaptada aos coeficientes do modelo.....	123
Figura 14 – Composição dos coeficientes de custos e prazos	125
Figura 15 – Escala de conversão dos vetores de prioridade	126
Figura 16 – Transformador a seco (3D)	136

GRÁFICOS

Gráfico 1– Nível de utilização da capacidade instalada	16
--	----

QUADROS

Quadro 1 – Classificações e Sistemas	26
Quadro 2 – Escala de Saaty	90
Quadro 3 – Conversor de vetores de prioridade	90
Quadro 4 – Tipos de artefatos.....	71
Quadro 5 – Protocolo RSL	73
Quadro 6 – Perfil dos Especialistas	83
Quadro 7 – Perfil dos profissionais entrevistados	84
Quadro 8 – Conversão dos coeficientes a escala de Saaty	125
Quadro 9 – Normalização dos coeficientes convertidos	126
Quadro 10 – Exemplo de estrutura para calculo dos coeficientes	127
Quadro 11 – Cálculo dos coeficientes	128
Quadro 12 – Cálculo dos vetores de prioridades	129
Quadro 13 – Classificação dos EIs	130
Quadro 14 – Resultados da Polo Electro	141
Quadro 15 – Resultados da SR Engenharia.....	146
Quadro 16 – Resultados da Tecnopampa	151

TABELAS

Tabela 1 – Assuntos tratados na literatura do ETO	25
Tabela 2 – Efeitos de Escopo	100
Tabela 3 – Efeitos Indesejáveis	101
Tabela 4 – Fatos do ETO	102
Tabela 5 – Fatos do Produto	103
Tabela 6 – Fatos da vida	104
Tabela 7 – Raízes de custos	106
Tabela 8 – Raízes de Prazos	107
Tabela 9 – Consequências de custo	108
Tabela 10 – Consequências de Prazos	109

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETO E PROBLEMA DE PESQUISA.....	15
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.....	30
2 REFERENCIAL TEÓRICO	32
2.1 PROBLEMAS CARACTERÍSTICOS DOS SISTEMAS PRODUTIVOS ETO	32
2.1.1 Prazos de entrega e custos de projeto	34
2.1.2 Marketing.....	38
2.1.3 Engenharia	41
2.1.3.1 Recursos restritivos na Engenharia	42
2.1.3.2 Planejamento e Controle na Engenharia.....	45
2.1.4 Produção.....	49
2.1.4.1 Recursos Restritivos de Produção	50
2.1.4.2 Programação da Produção	56
2.1.4.3 Controle da Produção	61
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	67
3.1 DELINEAMENTO DE PESQUISA	68
3.1.1 Design Science Research	69
3.2 MÉTODO DO TRABALHO.....	71
3.2.1 Coleta e análise de dados	81
3.3 ARTEFATOS UTILIZADOS PARA CONSTRUÇÃO DO MODELO.....	85
3.3.1 Árvore da Realidade atual.....	85
3.3.2 Método AHPSort	87
4 Elucidação das variáveis do modelo de diagnóstico	92
4.1 DESCRIÇÃO DAS RELAÇÕES ENTRE OS EFEITOS INDESEJÁVEIS	92
4.2 CLASSIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO DIAGRAMA DE RELAÇÕES	99
4.3 PREPARAÇÃO E CATEGORIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS.....	104
5 construção do modelo de diagnóstico.....	110

5.1 DEFINIÇÃO DOS COEFICIENTES DE ENTRADA	110
5.2 TRATAMENTO DOS COEFICIENTES DE ENTRADA	115
5.3 CONVERSÃO DOS COEFICIENTES DE ENTRADA	118
5.4 ESTRUTURAÇÃO DO MODELO E APLICAÇÃO DOS CASOS	127
6 Avaliação e resultados do modelo proposto	132
6.1 ESTUDO DE CASO PILOTO	132
6.2 DESCRIÇÃO DOS MÚLTIPLOS CASOS	134
6.2.1 Estudo de caso I: Polo Electro	135
6.2.2 Estudo de caso II: SR Engenharia	137
6.2.3 Estudo de caso III: Tecnopampa.....	138
6.3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DO MODELO DE DIAGNÓSTICO	139
6.3.1 Apresentação dos resultados: Polo Electro	140
6.3.1.1 Diagnóstico apresentado a Polo Electro	144
6.3.2 Apresentação dos resultados: SR Engenharia	145
6.3.2.1 Diagnóstico apresentado a SR Engenharia Industrial.....	148
6.3.3 Apresentação dos resultados: Tecnopampa	150
6.3.3.1 Diagnóstico apresentado a Tecnopampa	152
6.4 Avaliação do modelo e considerações finais	153
7 CONCLUSÃO.....	157
7.1 Análise do modelo desenvolvido.....	158
7.2 aplicabilidade e limitações do modelo.....	159
7.3 Contribuições na área.....	160
7.4 sugestões para trabalhos futuros	161
REFERÊNCIAS	163

1 INTRODUÇÃO

A indústria de bens de capital tornou-se um dos fatores substanciais no processo de crescimento e desenvolvimento econômico do Brasil. (MAGACHO, 2012). Embora tal segmento tenha iniciado suas atividades no início do Século XX, o interesse de formalizar o setor despontou apenas no plano de metas do presidente Juscelino Kubitschek (1956-1961), e consolidou-se 20 anos depois, no II PND (Plano Nacional de Desenvolvimento) lançado no ano de 1974. (ARAÚJO, 2009a). Com o setor de máquinas e equipamentos instalado no país, foi possível estabelecer uma economia capaz de gerir o próprio crescimento, reduzindo a dependência das importações. Como resultado, a indústria de bens de capital, no Brasil, tornou-se líder no processo de eclosão das demais indústrias, possibilitando à economia engendrar-se autônoma e independentemente. (MAGACHO, 2012).

Uma evidência dessa liderança encontra-se nos fatos. No ano de 2009, segundo pesquisa do IBGE, o setor de máquinas e equipamentos contava, no Brasil, com mais de 7.500 empresas distribuídas pelo país, faturando uma quantia próxima a 80 bilhões de reais por ano. A indústria de bens de capital chegou a triplicar seu tamanho em comparação à década de 90 (IBGE, 2016), encerrando o ano de 2015 com 337 mil pessoas empregadas em suas fábricas. (DIÁRIO DA MANHÃ, 2015).

Paralelo ao reconhecimento da indústria de bens de capital, a customização e a pressão crescente do mercado também se tornaram evidentes no Brasil a partir da década de 80. (SMETS; VAN HOUTUM; LANGERAK, 2012). De acordo com Bayazit, Karpak e Yagci (2006), além da busca constante por produtos inovadores e mais baratos, a partir dos anos 80, na indústria em geral, os clientes passaram a exigir, também, maior qualidade de produtos e capacidade de fornecimento em prazos menores e tempestivos.

Diante desse cenário, a partir do ano de 1990, as importações, outrora complementares à indústria brasileira, passaram a concorrer com os produtos nacionais. (ARAÚJO, 2009a). Essa concorrência tornou-se cada vez mais acirrada ao longo do tempo. No primeiro semestre de 2015, mesmo com uma queda de 15,8% nas importações em comparação ao mesmo período do ano anterior, as empresas brasileiras compraram o equivalente a 20,32 bilhões de dólares em bens de capital no comércio externo. (DURÃO, 2015). Esse número expressivo indica que apesar de haver demanda, falta capacidade para desenvolver e produzir determinados bens internamente.

Nesse sentido, enquanto uma parte dos recursos utilizados pelas empresas brasileiras na compra de bens de capital no exterior é direcionada a produtos que não são ofertados no Brasil,

entende-se que outra parte é investida em função de vantagens apresentadas pelo mercado externo, mesmo que exista oferta no mercado brasileiro. Nessa situação, para romper tais obstáculos competitivos, as empresas precisam igualar ou superar a concorrência na preferência de consumo, o que normalmente ocorre pelo preço do produto ou por sua diferenciação. (CNI, 2014). Entretanto, para vencer esse desafio, é necessário conhecer as características desse tipo de indústria em específico.

Uma variedade de produtos concebidos pela indústria de bens de capital é projetada e produzida em sistemas produtivos do tipo *Engineer-to-Order* (ETO). (HICKS; MCGOVERN; EARL, 2001). Esse tipo de sistema é subdividido em duas etapas, uma da engenharia e outra da produção, atendendo aos clientes com produtos customizados e sob encomenda. (CARVALHO; OLIVEIRA; SCAVARDA, 2015). Destarte, a pressão competitiva força o sistema a projetar e produzir produtos inovadores com qualidade, confiabilidade, baixo custo e menor tempo de atravessamento possível. (KUMAR; WELLBROCK, 2009; ULONSKA; WELO, 2014).

No ETO, um determinado produto pode ser escolhido pelo preço, pelo diferencial que ele apresenta ou, ainda, pelo tempo de resposta com que a empresa atende os clientes. Embora em outros sistemas produtivos o tempo de resposta também possa ser decisivo, no ETO o prazo de entrega é ainda mais relevante, uma vez que nesse tipo de sistema costuma passar um tempo considerável desde o momento da venda até a entrega dos produtos. É possível demorar meses e até anos para que se complete o processo produtivo. (WENG; AKASAKA; ONARI, 2014). Conseqüentemente, a inovação dos produtos, o desenvolvimento tecnológico e, principalmente, a adoção de estratégias aprimoradas de gestão orientadas a atender o consumidor do ETO no menor tempo possível são ações fundamentais. (VOTTO; FERNANDES, 2014). Porém, a falta de estabilidade e previsibilidade evidencia a vulnerabilidade das ferramentas de gestão utilizadas, tanto no plano empírico quanto no plano teórico. (VASCONCELOS; CYRINO, 2000). Em sistemas produtivos do tipo ETO, ainda é necessário estudar novas técnicas que auxiliem no gerenciamento integrado e na coordenação de processos desde a engenharia até a produção. (CARVALHO; OLIVEIRA; SCAVARDA, 2015).

Na etapa de engenharia, apesar da variedade de métodos disponíveis para gerenciamento de projetos, na prática, um projeto raramente é concluído no tempo especificado. (ASSAF; ALHEJII, 2006). Além disso, devido à extensão das variabilidades vivenciadas pelo ETO, o planejamento e o controle da produção são mais complexos e laboriosos de serem gerenciados do que em outros tipos de sistemas. (POWELL et al., 2014). Mesmo assim, temas relevantes de interesse que abordam esse contexto como, por exemplo, o problema das incertezas ou

mesmo da flexibilidade, não são discutidos com frequência na literatura. (KRISTIANTO; HELO; JIAO, 2015).

Logo, a ausência de coordenação para lidar com constantes alterações no produto e em requisitos específicos, situação que ocorre tanto na engenharia quanto na produção, é uma das principais razões para os atrasos que aumentam o tempo de espera do processo no ETO. (KONIJNENDIJK, 1994). Isso reforça a afirmação de que a escolha de um conjunto particular de mecanismos de gerenciamento e coordenação para empresas ETO ainda se encontra em aberto na literatura. (MELLO; STRANDHAGEN; ALFNES, 2015b).

É necessário salientar que ambientes customizados recebem menos atenção dos pesquisadores do que ambientes com maior volume de produção, com produtos padronizados produzidos para abastecer estoques. (GOSLING; NAIM, 2009; YANG, 2013b). Como resultado, esse tipo de sistema de produção, que reflete diretamente uma parcela significativa e importante do setor de bens de capital, sofre dificuldades frente aos desafios que progressivamente vem aumentando em função de um mercado que se torna cada vez mais exigente. (KUMAR; WELLBROCK, 2009).

Os motivos dos atrasos nesse tipo específico de indústria podem variar de um projeto para outro devido à existência de várias fontes de incertezas. (ELFVING, 2003). Esse fato sugere uma compreensão aprofundada dos desafios e problemas enfrentados principalmente pelo gerenciamento de recursos desse tipo de sistema produtivo, em particular, da indústria de bens de capital.

1.1 OBJETO E PROBLEMA DE PESQUISA

“O setor de bens de capital enfrenta a pior crise dos últimos 80 anos. Essa situação precisa ser revertida o mais rápido possível”, alegou o presidente da ABIMAQ (Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos) durante uma coletiva de imprensa. (EXAME, 2016). Com o aumento das importações no início da década de 1990, a indústria brasileira de bens de capital passou a enfrentar forte concorrência internacional. O consumo de bens de capital no mercado interno caiu de 24 bilhões para 16 bilhões de dólares, impulsionando a reestruturação do setor para competir com empresas estrangeiras. (REBOUÇAS, 2014).

Sendo assim, a reestruturação da indústria de bens de capital no Brasil foi marcada pelo processo de desverticalização, com aumento da participação do capital estrangeiro, movimento de saída de empresas ineficientes e redução expressiva da variedade de produtos ofertados pelas

empresas. (NASSIF, 2007). Todavia, devido a deficiências identificadas no setor de bens de capital, como baixa escala produtiva, recursos obsoletos, ineficiência tecnológica, falta de certificação para exportações, estrutura de capital desequilibrada, estrutura de assistência técnica deficiente e, finalmente, métodos de gestão ineficazes, o aumento das importações e a redução das exportações no país foi inevitável. (ALEM; PESSOA, 2005).

Além das deficiências do próprio setor, a indústria de bens de capital precisou sobreviver a um longo período de crise, enfrentando juros elevados e, em especial, o câmbio sobrevalorizado. (SANTOS, 2016). O Gráfico 1 mostra a evolução da utilização da capacidade instalada do setor de máquinas e equipamentos do Brasil, como reflexo da deficiência do setor e da conjuntura econômica do país entre os anos de 2008 e 2015. Nota-se um aumento significativo da ociosidade das fábricas brasileiras, devido, principalmente, à preferência nacional por produtos importados. No ano de 2015, apenas 67,8% da capacidade instalada no país foi utilizada.

Gráfico 1- Nível de utilização da capacidade instalada



Fonte: MDIC (2015)

Para atender à ampla variedade de produtos ofertados pelo setor, a indústria de bens de capital subdivide-se em duas classificações, conforme sua estratégia produtiva: bens seriados e não seriados. Enquanto os produtos seriados são padronizados e produzidos em larga escala, os bens de capital não seriados são projetados e produzidos especificamente para um determinado cliente. Isso significa que os critérios competitivos e o processo de aprendizado nesses dois segmentos são distintos. (ARAÚJO, 2009b).

A indústria de bens de capital não seriada, também conhecida como indústria de bens de capital sob encomenda (IBCE), representa 20% do setor de bens de capital. Os principais segmentos produzidos pela IBCE são caldeiraria, turbinas hidráulicas, equipamentos industriais, equipamentos de geração de energia, equipamentos ferroviários e navais.

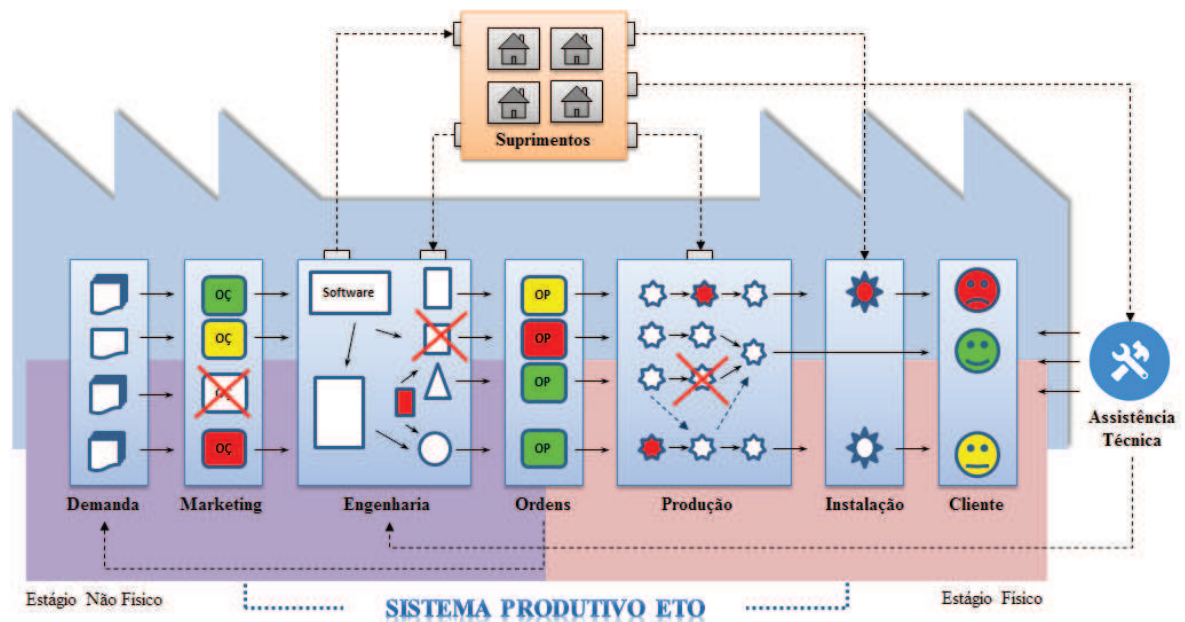
(DEPEC, 2016). Nesse contexto, por produzirem equipamentos de investimento elevado, as empresas desse setor são expostas a condições de mercado desfavoráveis em relação a outros segmentos, em função da variabilidade e da instabilidade da demanda. (VERMULM, 2003).

Embora a IBCE seja de cunho estratégico para a economia do país, poucos são os estudos que contemplam a gestão dessas empresas em comparação a organizações de sistemas produtivos seriados. (VOTTO; FERNANDES, 2014). Os estudos relativos à IBCE, segundo Fernandes e Godinho (2010), referem-se, mais precisamente, à estratégia de atendimento à demanda ETO, na qual o projeto do produto é feito após o recebimento do pedido. Tais sistemas são complexos, trabalham com processos e produtos não repetitivos e as suas atividades, além de únicas, normalmente são customizadas. (GRABENSTETTER; USHER, 2015).

Não obstante, empresas que se enquadram nessa tipologia são caracterizadas por sua distinta habilidade de atender às especificações dos clientes por meio de produtos exclusivos e personalizados. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993). Para atender a especificações exclusivas, é necessário lidar com diversas fontes de incertezas, tais como demanda, custos, preços, especificações, duração de processos e tempo de ciclo dos produtos. (CARON; FIORE, 1995). Assim, devido ao alto grau de incertezas, o gerenciamento ineficaz pode comprometer o desempenho das empresas que atuam nesse tipo de sistema. (MCGOVERN; HICKS; EARL, 1999).

A Figura 1 ilustra simplificada o processo existente nas empresas de bens de capital do tipo *Engineer-To-Order*. Tal sistema desdobra-se, inicialmente, em dois estágios: um físico e outro não físico. O estágio não físico envolve as etapas de marketing, orçamento e atividades de engenharia, enquanto que o estágio físico é composto pelas etapas de produção, logística e montagem. Observa-se que o processo de montagem pode ser concebido na própria instalação ou nas instalações do cliente. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993).

Figura 1- Sistema Produtivo ETO



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 1 salienta a necessidade de soluções integradas entre os departamentos e a assistência técnica e entre a empresa e seus parceiros, tais como fornecedores e terceiros. Tal iniciativa é necessária porque problemas ocorrem em todas as etapas do processo, afetando, naturalmente, outras áreas. Destarte, as ordens dos clientes podem sofrer atrasos e angariar custos extras em qualquer uma das etapas produtivas, pelos mais variados tipos de problema. Diferente de outros sistemas, no ETO, os produtos são desenvolvidos sob encomenda. No ETO a principal diferença é que o departamento de engenharia é acionado normalmente depois da formalização dos contratos.

Diferente de outros sistemas produtivos, em que o tempo de ciclo de uma operação gargalo é o foco de melhoria para aumentar a taxa de saída dos produtos, no ETO o mais importante é o tempo de atravessamento. (MANSILHA et al., 2013). Na produção do ETO, o *lead time* de entrega é igual ou bastante próximo do tempo total de produção de um projeto. (SAIA, 2013). Isso se deve ao fato de que, no ETO, os produtos são produzidos uma única vez. Logo, nesse caso, o tempo para finalizar um projeto é igual ao somatório do tempo individual de cada uma das operações mais as esperas. Nesse sentido, a redução do tempo de resposta das atividades em toda e qualquer etapa do projeto é importante, principalmente na divisão de engenharia, que consome grande parte do tempo de execução do projeto como um todo. (SAIA, 2013).

Observa-se que, além dos problemas decorrentes de fatores externos e econômicos, a complexidade de gerenciamento desse tipo específico de sistema é evidente. Cada departamento possui objetivos diferentes que precisam lidar diariamente com um conjunto de incertezas e variabilidade. Enquanto o departamento de marketing preocupa-se com prazos e preços acessíveis, a engenharia busca continuamente melhores soluções técnicas, e a manufatura mostra-se interessada com a padronização dos processos e componentes. (GELDERS, 1991).

No estágio não físico, as previsões de demanda são vulneráveis (KONIJNENDIJK, 1994), os contratos são formalizados sem conhecimento detalhado dos projetos (WORTMANN, 1992) e a engenharia costuma trabalhar sobrecarregada em função da demanda de recursos qualificados e onerosos. (HICKS; MCGOVERN; EARL, 2001). No estágio físico, a produção costuma sofrer com a aleatoriedade dos problemas corriqueiros (HUSEJNAGIĆ; SLUGA, 2015), os materiais são adquiridos para projetos específicos (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993) e as instalações dependem da sincronização entre a produção e a disponibilidade de recursos em campo, quando necessário. (SILVENTOINEN et al., 2014).

A partir disso, é preciso concordar que empresas de bens de capital do tipo ETO possuem vantagens competitivas devido à inovação e exclusividade de seus produtos, entretanto trata-se de um sistema caro e difícil de ser gerenciado devido à complexidade e necessidade de trabalho intensivo. (SJØBAKK; THOMASSEN, 2014). Atrasos, custos e incertezas podem ocorrer em qualquer etapa do processo, seja ele físico ou não físico, e, por isso, o esforço em gerenciar esse tipo de empresa vai além de qualquer outro tipo. Esse fato é potencializado quando os sistemas de apoio às informações disponíveis no mercado como, por exemplo, o ERP, não são suficientes para integração plena desse tipo de sistema. (HIETALA; PÖTRY; SALMINEN, 2007).

Na tentativa de adequar o gerenciamento das empresas à competitividade, muitas das soluções encontradas pelos gestores costumam emanar da teoria publicada em livros, revistas e artigos científicos. No entanto, pesquisas e estudos em sistemas produtivos ETO são recentes. De acordo com Bertrand e Muntslag (1993), as primeiras tentativas de classificar os tipos de sistemas produtivos ocorreram no final da década de 1970, com os artigos “*Concepts of Operations Management*” (WILD, 1977) e “*Managing the Manufacturing of Complex Products-Coordinating Multi-Component Assembly*”. (NEW, 1977). Apesar disso, o artigo “*Production Control in an 'Engineer-to-Order' Environment*”, publicado no ano de 1991 por Ludo Gelders, na Bélgica, foi o documento acessível à leitura contendo nomenclatura e definições específicas do ETO mais antigo encontrado no âmbito desta pesquisa.

Segundo Yang (2013a), sistemas produtivos ETO requerem o desenvolvimento de habilidades gerenciais dos gestores. Tanto a engenharia quanto a produção são processos cruciais para cumprir os objetivos do ETO e, por isso, exigem soluções conjuntas que envolvem ambas as partes. Entretanto, na bibliografia existente sobre o ETO, poucos estudos abordam essa necessidade de coordenação. (MELLO; STRANDHAGEN; ALFNES, 2015a). O conteúdo teórico existente sobre soluções para esse tipo de sistema possui muitas lacunas. Faltam descrições de estratégias eficazes (WILLNER et al., 2016), integração de conceitos e teorias estabelecidas e específicas ao ETO. (GOSLING et al., 2014).

Além disso, os problemas tratados na teoria são estudados isoladamente. De certa forma, é natural que as pesquisas tendenciem a delimitar estudos a partir de problemas específicos. Um artigo científico, ao tratar de soluções para o departamento de compras, por exemplo, dificilmente apresentará problemas vivenciados em outro departamento que não esteja envolvido diretamente no caso. Assim, a gestão de projetos é estudada em algumas publicações, enquanto a gestão da produção é estudada em outras.

No entanto, a questão é que os problemas estão conectados uns aos outros formando uma rede de causalidade, mas sua abordagem é feita de maneira fragmentada. Não se percebe a repercussão do todo nas partes. Dessa forma, é preciso estudar as relações existentes entre esses problemas para compreender porque as coisas acontecem e não simplesmente como elas acontecem. (ALVAREZ, 1996). Para isso, os problemas precisam ser analisados todos de uma só vez, formando um contexto abrangente para a tomada de decisões e investimentos.

Conforme visto anteriormente, no ETO os problemas são muitos e complexos. Soluções direcionadas aos problemas nem sempre suprem as expectativas dos gestores. Isso ocorre devido à existência das redes de relações causais que são formadas por mais de um problema relativo a um mesmo assunto. É necessário atacar as causas raízes desses problemas para, de fato, extingui-los. Além disso, a existência de problemas considerados mais graves do que outros sugere a necessidade de priorizar as ações que envolvem tempo e dinheiro nas organizações.

Nesse contexto, problemas de gestão típicos e corriqueiros do sistema produtivo ETO são objeto desta pesquisa, que busca responder à seguinte pergunta: Como identificar e classificar problemas de gestão da produção na indústria de bens de capital não seriada, com base na investigação dos problemas existentes em sistemas produtivos *Engineer-to-Order*?

1.2 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos que norteiam este trabalho.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é desenvolver um modelo de diagnóstico para classificação e avaliação de problemas complexos que costumam ocorrer em sistemas produtivos do tipo *Engineer-to-Order* na indústria de bens de capital não seriada.

1.2.2 Objetivos Específicos

No intuito de atender ao objetivo geral deste trabalho e corroborar com novas descobertas, os seguintes objetivos intermediários são sugeridos:

- a) identificar, a partir de uma Revisão Sistemática de Literatura, os problemas oriundos do sistema produtivo ETO;
- b) desenvolver um diagrama de relações de causa-efeito pertinente aos problemas existentes em sistemas produtivos ETO;
- c) propor um coeficiente para classificação dos problemas da indústria de bens de capital do ETO, ponderado por critérios competitivos de preços e prazos;
- d) avaliar o potencial do modelo de diagnóstico por intermédio de aplicações práticas.

1.3 JUSTIFICATIVA

A principal vantagem de uma robusta indústria de bens de capital no território nacional é a facilidade de aquisição de maquinários e equipamentos adequados aos padrões e necessidades do mercado interno. (REBOUÇAS, 2014). O setor de bens de capital é de cunho estratégico, tendo em vista a capacidade de difusão de tecnologia para a indústria como um todo. A existência de uma indústria de bens de capital internacionalmente competitiva no país tende a criar vantagens para os demais setores industriais, devido ao acesso eficiente, precoce e rápido aos bens que ela produz. (MDIC, 2015).

A indústria, nesse segmento, é protagonista da difusão do progresso tecnológico, fornecendo maquinários e equipamentos variados a todas as cadeias produtivas da economia. Além disso, a produção de bens de capital amplia o mercado interno, gerando emprego e renda. (ALEM; PESSOA, 2005). Entretanto, devido à diversidade de produtos e tipos de organizações, fabricantes de produtos com elevado conteúdo tecnológico, situados no limite do “estado da arte”, precisam conviver com fabricantes que incorporam o mínimo de tecnologia por possuírem tecnologia maduras. (DEPEC, 2016).

Confeccionados por meio de particularidades técnicas exigidas pelo consumidor, produtos não seriados precisam atender a desempenhos específicos para determinados processos ou instalações industriais. Tais produtos constituem-se em uma ampla variedade de equipamentos produzidos em pequenos volumes. (MEGLIORINI, 2003).

É por meio desse segmento que novas tecnologias são desenvolvidas em projetos de máquinas e equipamentos. Isso fica evidente, nesse caso, porque a customização de produtos ocorre em etapa anterior à engenharia. Isso significa que o cliente toma decisões a respeito de como deverá ser o futuro projeto do produto. Em contrapartida, na indústria de bens de capital seriada, o cliente somente pode escolher entre as opções disponíveis no mercado. Nessa situação, a maior parte dos investimentos em pesquisa é direcionada ao aperfeiçoamento dos produtos, enquanto que na indústria não seriada os investimentos visam a atender as necessidades exclusivas de cada cliente.

Não foi por acaso que no final da década de 1980 Hendry e Kingsman (1989) alegaram a necessidade de ampliação dos estudos em empresas não seriadas. Segundo esses autores, o setor é importante no contexto global, mas tais empresas não são beneficiadas pelos modelos e teorias desenvolvidos para as indústrias seriadas. (HENDRY; KINGSMAN, 1989). A maior parte das recomendações para que uma empresa consiga alcançar a “classe mundial” se dirige à produção para estoque ou customização em massa. O problema é que estudos nessas áreas não se aplicam por completo a organizações de produção não seriada. (HENDRY, 1998).

A busca pela eficiência competitiva requer revisar a maneira como as empresas são gerenciadas, exigindo novas habilidades e conhecimentos para implementar mudanças na gestão. Em um ambiente altamente competitivo, é natural que as empresas procurem novas soluções em busca de excelência em todas as áreas da organização. Com relação às características inerentes a esse tipo de empresa, são consideradas empresas de bens de capital que produzem por meio de sistemas produtivos do tipo ETO, um segmento cujos métodos e modelos de gestão necessitam ser melhor desenvolvidos. (MEGLIORINI, 2003).

Sistemas produtivos ETO dedicam-se, na maioria das vezes, a produzir bens de capital. (HICKS; MCGOVERN; EARL, 2001). Dessa maneira, partindo do pressuposto de que as indústrias de bens de capital não seriado possuem as características do ETO e de que, por isso, devem ser gerenciadas diferenciadamente, uma revisão sistemática de literatura foi feita entre Janeiro e Fevereiro do ano de 2016, buscando maior compreensão sobre esse tipo de sistema produtivo. Além disso, buscou-se verificar se as afirmações de Hendry e Kingsman (1989) relativas ao pouco conteúdo voltado a sistemas produtivos ETO ainda são pertinentes. Para isso, inicialmente, procedeu-se uma consulta a bases científicas. As bases investigadas foram: EBSCO, CAPES e Google Acadêmico. A palavra-chave utilizada foi “*Engineer-to-Order*”. Os critérios que nortearam a escolha dessa palavra-chave são detalhados na metodologia deste trabalho.

Em uma análise superficial da consulta às bases mencionadas, os resultados retornados foram 3.749 para o ETO e 31.259 para a soma dos demais tipos de sistemas produtivos, dentre eles: *Make-To-Order*, *Assembly-To-Order* e *Make-To-Stock*. Nota-se que para cada publicação inerente ao ETO existem 8,34 resultados de outros tipos de sistemas produtivos. Isso significa que apenas 10,7% dos resultados apontados são referentes ao ETO. Todavia, os resultados apresentados pelas bases científicas precisaram ser filtrados, tendo em vista a possibilidade de duplicidade de publicações e a ocorrência de resultados que poderiam não fazer parte da delimitação proposta pela tese.

Sendo assim, os 3.749 títulos foram investigados e, nessa primeira fase, mais de dois terços dos resultados foram eliminados por não apresentarem afinidade com o tema. Em relação aos trabalhos restantes, procedeu-se a leitura dos títulos e resumos, e, quando havia alguma dúvida, investigava-se em profundidade o conteúdo de tais documentos. Ao final desse processo, restaram 194 publicações, dentre artigos científicos, não científicos, livros, teses e dissertações que de alguma forma abordavam o ETO. Destas, 158 foram acessadas e lidas na íntegra, o que possibilitou uma seleção mais refinada das publicações encontradas.

Com o processo de refinamento, outras 17 publicações foram descartadas. Tais publicações traziam, em algum momento do texto, o termo “*Engineer-to-order*”, porém, apenas referenciavam a existência desse tipo de sistema, sem levar em consideração estudos imanentes ao ETO. Um desses artigos, por exemplo, apresentava um estudo de caso feito em uma empresa do tipo *Make-To-Stock*, e citava o ETO apenas como um dos sistemas produtivos existentes.

Assim, 141 publicações foram lidas, analisadas, codificadas e, ainda, classificadas considerando os critérios de ano e assunto principal (119 artigos científicos, 7 não científicos e 15 teses/dissertações). Além disso, foram encontradas 34 publicações não disponíveis

gratuitamente para leitura (26 artigos científicos, 4 teses/dissertações e 4 livros). No total, foram selecionadas 175 publicações sobre sistemas produtivos ETO. Destas, apenas 8 publicações tiveram como objeto de pesquisa a indústria de bens de capital.

Posteriormente, os artigos científicos sobre ETO encontrados foram segregados e classificados quanto ao interesse de pesquisa. Com o auxílio do *software* ATLAS.ti, cada um dos 145 artigos científicos (119 +26) foi codificado conforme o tema de pesquisa. No caso dos artigos não disponíveis para leitura, foi possível aproveitá-los codificando-os a partir dos títulos e resumos. Durante a codificação, percebeu-se que os assuntos mais estudados pelos pesquisadores no que tange ao ETO são a cadeia de suprimentos e comparativos entre diferentes sistemas produtivos. Produção enxuta encontra-se logo após, com 10 publicações.

Neste ponto é importante mencionar que nove das 145 publicações foram codificadas em dois assuntos diferentes, resultando em um total de 154 amostras. Ao codificar, o autor buscou categorizar pelo assunto principal abordado na publicação. Dessa forma, não foram, em nenhum momento, sugeridos assuntos; estes simplesmente foram evidenciados durante a leitura dos materiais.

Em outros casos, mais de dois assuntos foram evidenciados. Entretanto, como o propósito dessa classificação foi expressar o principal foco de cada uma das publicações, limitou-se a abordagem em, no máximo, dois assuntos, possibilitando uma orientação mais sensata do que os autores vem publicando sobre esse tipo de sistema produtivo ao longo dos anos. A Tabela 1 mostra os assuntos tratados ao longo de 25 anos, relacionando-os ao segmento da indústria em que foram feitas as pesquisas.

Com base nas publicações selecionadas e nos assuntos codificados é possível afirmar que a literatura do ETO ainda se encontra carente de pesquisas. É notório que o ETO possui muitas lacunas a serem pesquisadas, e que todo e qualquer assunto já abordado pelos pesquisadores precisa ser mais bem explorado. Sendo assim, na tentativa de facilitar a compreensão dos assuntos tratados pela teoria do ETO, foram identificados três grupos de interesse nas categorias apresentadas pela Tabela 1.

Tabela 1 – Assuntos tratados na literatura do ETO

Tema / Setor	Bens de capital	Construção Civil	Indústria Aérea	Indústria Naval	Indústria Outros	Global	Total
Automação operações				1			1
Automação projetos	1				3	2	6
Cadeia de suprimentos	7	4			2	1	14
Capabilidade	2					3	5
Comparação	3			1	2	8	14
Compras		1				1	2
Configuradores	1		1	1	3		6
Controle	1	1		1		1	4
Coordenação				3		3	6
Custos	4			1		2	7
Definição de preços	3			1			4
Des. de produtos	1				3	1	5
Engenharia simultânea	1						1
Especificações	2	2					4
Estudo dos layouts	3				1		4
Gestão conhecimento	2	1	1	2		2	8
Gestão Materiais	1				1	1	3
Gestão processos	3				1		4
Modularização		1					1
Planejamento	2						2
Planejamento agregado	2						2
Plataformas	1	2	1	1	1		6
Portfólio de produtos	1				4		5
Prazos de entrega	2					2	4
Produção Enxuta	4	2	1		2	1	10
Programação	6			1		1	8
Sistemas de informação	3	1		1	2	2	9
Taxonomia	1	2			1	2	6
Teoria das Restrições		1			1		2
Terceirização					1		1
Total	57	18	4	14	28	33	154

Fonte: Elaborado pelo autor

O primeiro grupo, composto pelos assuntos “Comparação” e “Taxonomia”, contempla a necessidade de melhor compreensão desse tipo de sistema produtivo. O grupo aborda tipologias, taxonomias, comparativos e classificações. Tais publicações buscam comparar sistemas de produção distintos e/ou classificar o ETO na tentativa de organizar e melhor entender o que faz do ETO um sistema produtivo exclusivo. No artigo intitulado “*Competitive advantage customisation and a new taxonomy for non make-to-stock companies*”, por exemplo, os autores Amaro, Hendry e Kingsman (1999) classificam o ETO em quatro categorias, e ao mesmo tempo o comparam a outros dois sistemas produtivos que não produzem para estocagem. Segundo pesquisadores, o ETO poderia ser classificado quanto às responsabilidades da empresa e às atividades desenvolvidas após o recebimento da ordem de produção, conforme Quadro 1.

Quadro 1 – Classificações e Sistemas

Classificação Categorias	ETO				MTO					ATO	
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2
Grau Customização:											
• <i>Puro</i>	★	★	★	★							
• <i>Adaptado</i>					★						
• <i>Padronizado</i>						★	★			★	
• <i>Nenhum</i>								★	★		★
Responsabilidades:											
• <i>Desenhos</i>	★				★	★	★	★	★	★	★
• <i>Especificações</i>	★	★			★	★	★	★	★	★	★
• <i>Compras</i>	★	★	★		★	★	★	★	★	★	★
Atividades pós ordem:											
• <i>Entrega</i>	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
• <i>Montagem</i>	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
• <i>Processamento</i>	★	★	★	★	★	★	★	★	★		
• <i>Compras</i>	★	★	★		★	★		★			
• <i>Roteiros</i>	★	★	★	★	★						
• <i>Especificações</i>	★	★			★						
• <i>Desenhos</i>	★				★						

Fonte: Adaptado de Amaro, Hendry e Kingsman (1999).

No segundo grupo de interesse, observa-se a tentativa de implementar conceitos e ferramentas do Sistema Toyota de Produção e da Teoria das Restrições, com a finalidade de tornar os casos estudados mais competitivos. De acordo com Votto (2012), empresas inseridas em sistemas produtivos ETO, tais como a indústria de bens de capital não seriada, costumam implementar estratégias modernas de melhoria contínua consolidadas nos setores mais dinâmicos da economia, como a Produção Enxuta e a Teoria das Restrições. A implementação dessas estratégias de gestão visa a melhorar o fluxo produtivo e a minimizar os impactos peculiares a esses sistemas de produção. Tais implementações, em variados segmentos da indústria, produzem resultados como a redução de custos, de despesas operacionais e de inventários, o aumento da velocidade e da confiabilidade de entrega, além de alavancar a rentabilidade das empresas. (VOTTO; FERNANDES, 2014).

O terceiro e último grupo é composto pelos demais assuntos listados na Tabela 1. Nesse escopo, estão soluções pontuais para problemas característicos do ETO. Neste ponto, é necessário destacar que autores diferentes poderiam chegar a conclusões diversas quanto às categorias aqui apresentadas. No entanto, independente do ponto de vista do autor em relação às nomenclaturas ou até mesmo da interpretação quanto aos assuntos principais, é notório e de

comum acordo que os problemas do ETO existem, e que grande parte das publicações são endereçadas a solucionar problemas específicos.

Sendo assim, é possível afirmar, a partir da Revisão Sistemática de Literatura, que a busca por soluções aos problemas do ETO ocorre em grande número, mas, principalmente, que tais assuntos tratados na literatura são estudados de maneira dissociada. Porém, tendo em vista que o desenvolvimento dos produtos e a fabricação no ETO demandam participação de departamentos distintos, os dados deveriam ser tratados e compilados em informações agregadas, a fim de qualificar a tomada de decisão dos gestores. (SAIA, 2013).

De acordo com Blevins (2004), os departamentos no ETO costumam criar “ilhas de informação”, dificultando uma visão sistêmica dos projetos. A manufatura do produto é apenas uma etapa do sistema produtivo ETO, e isso significa que tais sistemas possuem um conjunto de “ilhas” que precisam estar integradas para melhor planejamento e controle do todo. (YANG, 2013a). Contudo, a discussão sobre a escolha de um determinado conjunto de mecanismos de coordenação e gestão integrada do ETO ainda se encontra em aberto na literatura.

Nesse sentido, Yang (2013a) enfatiza a demanda por abordagens contendo soluções para apoio da gestão em sistemas produtivos ETO. Carvalho, Oliveira e Scavarda (2015) afirmam a necessidade de pesquisas com a finalidade de preencher a lacuna existente entre teoria e prática no que diz respeito ao desenvolvimento de ferramentas para diagnóstico de problemas gerenciais e apoio à decisão, especialmente para organizações do tipo ETO.

Para alcançar esses objetivos, metodologias são empregadas na busca de problemas por meio da construção de diagramas de relação de causa-efeito. (TAYLOR; NAYAK, 2012). Isso significa que os problemas centrais são compostos por uma rede de outros problemas menores, estando interligados uns aos outros por relações de causalidade. Segundo Cox III e Spencer (2002), diagramas de causa-efeito geram mecanismos para identificar claramente os problemas centrais, permitindo soluções robustas e integradas para tais problemas.

Não obstante, ferramentas de análises causais e de identificação de problemas centrais são estudados e aplicados nas empresas, tais como: Análise de Árvore de Falhas e Mapa de Causa Raiz; Análise de Barreira de Controle; Árvore da Realidade Atual; Diagrama de Ishikawa; Gráfico de Fator Causal e Evento e; Método dos 5 por quês. Essas ferramentas são apenas alguns exemplos, de uso prático comum, apontados pela literatura. (AGUIAR, 2014).

Dessa maneira, diagramas de relações orientados por regras lógicas e estritas poderiam ser aplicados a qualquer tipo de situação problemática se combinados com a intuição e o conhecimento das pessoas que possuem ou estão intimamente envolvidas com o problema. (MABIN; BALDERSTONE, 2000). Portanto, os tomadores de decisão, se tiverem

conhecimento das relações existentes entre os problemas de um determinado sistema, podem resolver situações complexas com maior eficiência e eficácia. (KIM; MABIN; DAVIES, 2008).

No entanto, os problemas e suas respectivas soluções se encontram “desagregados” em poucas centenas de documentos publicados em bases científicas, nos mais diversos assuntos sobre o ETO, conforme visto anteriormente. Recentemente, Mello, Strandhagen e Alfnes (2015a) utilizaram diagramas de causalidade para explicar como a falta de coordenação impacta o desempenho dos projetos. Um padrão significativo baseado em possíveis relações de causa-efeito ajudou a compreender a ocorrência de retrabalho e atrasos que aumentavam o tempo de atravessamento em uma determinada empresa. (MELLO; STRANDHAGEN; ALFNES, 2015a).

Contudo, nenhuma publicação encontrada utiliza a lógica de relações de causa-efeito para compreender porque os problemas existem e tornam a existir no ETO. Ademais, também não foi encontrada publicação que apresentasse as relações existentes entre os problemas efetivos do ETO, de forma organizada e metódica, em um contexto integrado. Simplesmente, verifica-se que os problemas no ETO não são tratados holisticamente. Cada caso é estudado em particular, conforme as categorias apresentadas. Justifica-se, pois, a existência de estudos a partir de uma visão conjunta, a fim de otimizar o processo de identificação e classificação dos problemas principais, para que sejam tomadas decisões mais assertivas na indústria de bens de capital não seriada.

1.4 DELIMITAÇÕES

O foco desta pesquisa encontra-se na indústria de bens de capital não seriada. Embora, tal setor seja também reconhecido pelo termo “Sob Encomenda”, busca-se evitar tal nomenclatura, uma vez que sistemas produtivos do tipo “*Make-To-Order*” também fazem parte desse contexto. Dessa maneira, os produtos seriados, produzidos ou não para estoque, e inseridos tanto na indústria de bens de capital quanto em outro tipo de indústria, não são tratados nesta tese, assim como não são contemplados produtos não seriados de outro tipo de indústria que não seja a de bens de capital.

Da mesma forma, este trabalho não possui a incumbência de descrever, comparar ou até mesmo pesquisar sistemas produtivos que não sejam do tipo ETO. Embora tais assuntos possam aparecer no decorrer do texto, limitam-se ao papel de descrever o ETO, apenas como forma de

diferenciação. Logo, sistemas como MTO, ATO e MTS são citados neste trabalho somente com o intuito de destacar ainda mais os problemas que estão sendo pesquisados em relação ao ETO.

Outra delimitação parte do pressuposto de que a qualidade dos produtos e serviços é fundamental para a permanência das empresas em um mercado acirrado e turbulento. Sem qualidade, as empresas são esquecidas e praticamente eliminadas pelos próprios consumidores. A partir desse pressuposto, acredita-se que os problemas tangíveis de qualidade nas modalidades de desempenho, confiabilidade, conformidade, durabilidade e outros são problemas que, uma vez identificados, devem ser tratados como prioridade.

Mesmo com preços mais acessíveis e prazos mais curtos, a falta de qualidade percebida pelos clientes costuma excluir naturalmente as empresas do circuito competitivo. Isso significa que empresas que não investem em qualidade vão perdendo mercado aos poucos até que sejam extintas. Dessa maneira, este trabalho não entra em detalhes a respeito dos efeitos que a falta de qualidade pode trazer às organizações. São consideradas apenas empresas que dominam tecnológica e qualitativamente os seus produtos e que, conseqüentemente, estão aptas a competir no mercado por meio de critérios competitivos de prazos e custos.

Nesse caso, também é importante considerar que as variáveis alocadas no diagrama de relações, referentes ao problema de escopo dos projetos, não participaram do modelo de diagnóstico. Tais variáveis foram descobertas nas entrevistas e não nos artigos. Apenas dois artigos, dentre todos os pesquisados, citam esse assunto. Assim, não foi possível detalhar em profundidade os problemas que acarretam escopos não satisfatórios ao cliente.

O fato de oferecer ou não aquilo que um cliente deseja também pode ser visto como um problema de qualidade, e essa premissa é reconhecida dentre os critérios de custo e prazo de literaturas específicas de gestão de projetos. Também pode se tratar de uma questão estratégica, de escolha de nicho, e não de um problema. De qualquer maneira, muitas das questões de escopo estão arraigadas aos problemas de prazos e custos. A engenharia sempre trabalha com a consciência de que ao mexer no escopo do produto é possível reduzir preços e prazos, e que ao escolher materiais mais baratos pode-se interferir em problemas de qualidade.

Este estudo, ainda, não leva em consideração problemas de cunho financeiro. Sabe-se, de antemão, que muitos problemas ocorrem devido à falta de dinheiro. Sem capital de giro, as empresas entram em uma espiral negativa, consumidas por juros e falta de crédito. Pretende-se, por meio desta pesquisa, avaliar os sintomas a partir de ambientes econômicos estáveis, nos quais os problemas ocorrem devido a restrições físicas e políticas da empresa.

Este estudo também é delimitado pelas fronteiras existentes na cadeia de suprimento como um todo. Nele, apenas um elo da cadeia é pesquisado. Tal elo se inicia no processo de

vendas do produto e encerra na montagem ou instalação no cliente. Serviços de pós-venda e de comissionamento não são tratados. Subentende-se, que a gestão desses serviços possa ser feita a parte, sem interferir no sistema produtivo em si. Outro motivo diz respeito à atenção dada, em certos produtos, ao serviço de pós-venda. A gestão de tais problemas é semelhante às modalidades da qualidade inseridas no escopo dos projetos, caso a empresa esteja perdendo vendas devido ao pós-venda, tais problemas precisam ser sanados antes da aplicação do modelo.

Em relação à utilização do processo de pensamento da Teoria das Restrições, apenas a ferramenta da ARA (Árvore da Realidade Atual) é utilizada. As demais ferramentas não são executadas, tendo em vista que o foco deste trabalho está na proposta de um modelo de diagnóstico. Logo, as demais ferramentas que visam a estruturar e resolver os problemas apresentados por tais diagnósticos não se enquadram na delimitação desta pesquisa.

Outra delimitação se refere ao fato de que o modelo é construído para atender tão somente a um problema de classificação de alternativas. Embora a partir dessa classificação exista a possibilidade de adicionar uma etapa de priorização, isso não é realizado, porque os resultados da classificação foram satisfatórios e atenderam aos objetivos desta pesquisa. Além disso, a etapa de priorização não é necessária, pois os problemas ocorrem em redes de relacionamento de causa-efeito. Nesse caso, ao classificar os problemas, está clara a necessidade de tratá-los de maneira integrada, de modo que não faz sentido priorizá-los na tentativa de saber quem é o mais importante ou qual deles deve ser trabalhado primeiro. A classificação, por si só, já resolve essas questões. Logo, apenas a derivação do método AHP, ou seja, o AHPSort, foi modelado.

Para encerrar, esta pesquisa busca propor um modelo de diagnóstico. Não se propõe elucidar as melhores soluções existentes para os problemas que ocorrem na prática, mas, ao longo do texto, são sugeridas melhorias. Logo, não são tratadas, nesta tese, propostas de soluções aos problemas encontrados, como também não são avaliadas ou validadas propostas teóricas.

1.5 ESTRUTURA

Esta tese está dividida em 7 capítulos. No capítulo 1, evidencia-se a introdução, o problema e a justificativa, bem como as delimitações e os objetivos deste trabalho. No capítulo 2, são apresentadas informações bibliográficas pertinentes, principalmente no que tange ao sistema produtivo do tipo ETO. No capítulo 3, visualiza-se o delineamento de pesquisa, assim

como o método do trabalho e os artefatos selecionados para a construção do modelo: o diagrama ARA e o método AHPSort.

No capítulo 4, aborda-se uma descrição do diagrama de relações causa-efeito, além do processo de categorização dos efeitos indesejáveis do ETO. Já no capítulo 5, descreve-se a construção do modelo de diagnóstico, e no capítulo 6, realiza-se a aplicação dos casos. Por último, no capítulo 7, são contextualizadas as conclusões encontradas, a avaliação do modelo, as contribuições à área e as propostas de trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Muitos são os problemas encontrados em sistemas produtivos do tipo ETO. A partir da RSL efetuada sobre o tema, é possível afirmar que muito deles já foram abordados na teoria. Da mesma forma, pode-se dizer que, mesmo com um número pequeno de publicações e pesquisas na área, grande parte das características básicas e comuns dos sistemas produtivos ETO já foi contemplada em estudos. Nessa perspectiva, este referencial objetiva explorar tal sistema produtivo em busca de problemas pertinentes ao ETO e previamente reportados pela literatura.

2.1 PROBLEMAS CARACTERÍSTICOS DOS SISTEMAS PRODUTIVOS ETO

Quando uma organização possui produtos de qualidade e é reconhecida pelos consumidores está apta a competir no mercado. Entretanto, uma organização apta a competir não é necessariamente uma organização competitiva. Ela pode ter um bom produto, mas não ter um bom preço, ou ainda oferecer longos prazos de entrega. No ETO, a qualidade é fundamental, uma vez que na entrega do produto as especificações técnicas do cliente devem ser conferidas nos mínimos detalhes.

Partindo da premissa de que para concorrer no mercado é preciso excelência nos produtos, o quesito ‘melhor preço’ é o primeiro critério considerado para decidir um contrato em sistemas produtivos ETO. (HICKS; MCGOVERN; EARL, 2000). No entanto, essa afirmação não pode ser generalizada. No segmento ETO da produção de bens de capital, por exemplo, a velocidade e a pontualidade de entrega são valores reconhecidos pelos clientes. Uma entrega rápida e no momento certo permite ao cliente estudar a possibilidade de postergar o investimento, ou ainda de antecipar o início de uma determinada operação. (VOTTO; FERNANDES, 2014).

Na verdade, a probabilidade de ganhar um pedido no ETO depende dos preços e prazos que os fornecedores concorrentes estabelecem e da capacidade de produzir produtos em condição de excelência. (AMARO; HENDRY; KINGSMAN, 1999). Assim, no ETO, as empresas enfrentam intensa pressão para reduzir custos e encurtar prazos sem perder de vista a qualidade dos produtos. (HUSEJNAGIĆ; SLUGA, 2015). Isso significa que ambos os quesitos, preços e prazos, são igualmente importantes como ganhadores de pedido nesse tipo de sistema produtivo. (KINGSMAN et al., 1996).

Concorrer em prazos e custos no ETO não é um processo trivial, pois os produtos são caros e requerem longos prazos por natureza. No ETO, o produto como um todo, concebido desde a engenharia até a produção, é considerado um projeto. Esses projetos costumam ser altamente tecnológicos e, por isso, levam um prazo relativamente longo para serem produzidos e normalmente custam muito caro. (MOLINA; VELANDIA; GALEANO, 2007).

Somado a isso, no ETO sempre existe o risco de que a realidade não saia conforme o planejado. (WENG; AKASAKA; ONARI, 2014). Riscos relacionados a atrasos, variações e alterações exigem uma margem de segurança no projeto orçado com o cliente. Muitas vezes, os preços e prazos de entrega são superestimados para que as empresas não corram o risco de perder dinheiro. (ELGH, 2012). Entretanto, a margem de segurança inserida em um projeto pode fazer com que os preços e prazos ofertados pelas empresas sejam maiores do que a oferta da concorrência. (GUSTAFSSON, 2012).

É preciso considerar que os clientes são sensíveis a prazos e preços oferecidos pelo mercado. (ERKOC; WU; GURNANI, 2008). Os clientes não estão mais dispostos, devido às múltiplas opções de mercado, a pagar margens de lucro elevadas em produtos customizados. (WILLNER et al., 2014). Nessa situação, se o cliente possui outras fontes de suprimento confiáveis e costuma cotar com diferentes fornecedores, poderá optar por comprar de outro fornecedor. Assim, quanto maior for o preço e o prazo, menor será a probabilidade de se conseguir uma ordem de produção. (KONIJNENDIJK, 1994).

Logo, se o mercado possui opções diversas de suprimento e os preços e prazos ditados por uma empresa não são satisfatórios aos clientes, a tendência é que essa organização passe a perder em número de vendas. (WENG; AKASAKA; ONARI, 2014). Nesse cenário, a empresa deixa de ser competitiva, posto que os principais parâmetros competitivos identificados no ETO se referem ao menor tempo de resposta da cotação à entrega, além de preços mais baixos. (HVAM; PAPE; NIELSEN, 2006).

Mesmo assim, o principal argumento quando uma empresa pensa em produzir produtos customizados é a ideia de se tornar competitiva por meio da diferenciação. (OLSEN; SÆTRE, 1998). Sistemas produtivos ETO almejam ser competitivos ao adicionar valor ao cliente por meio de produtos diferenciados e específicos. (SILVENTOINEN et al., 2014). Porém, é possível perceber que as empresas de manufatura que trabalham com sistemas produtivos ETO atuam em ambientes sob pressão da concorrência global, que as instiga a aumentarem a variedade de produtos, a produzirem em prazos mais curtos e a venderem a preços mais baixos sem perderem a qualidade. (HUSEJNAGIĆ; SLUGA, 2015). Isso significa que a estratégia de

customização pode causar um impacto negativo devido à alta variedade de produtos que induzem a uma maior complexidade. (BONEV, 2015).

O problema é que, mesmo nas empresas mais competentes, a maior parte das cotações feitas pelos clientes não chega a se transformar em ordem de produção. (MUNTSLAG, 1994). Esse baixo índice de sucesso nos fechamentos de contratos ocorre porque para cada ordem em específico o cliente procura considerar o maior número de opções, buscando diferentes fornecedores. Destarte, um índice maior a 15% na conversão de cotação para ordem de produção, em sistemas produtivos do tipo ETO, é um bom indicador comercial. (MUNTSLAG, 1994).

Visto isso, se uma empresa se encontra com uma taxa de captação de contratos inferior ao valor esperado e possui qualidade reconhecida pelo mercado, entende-se que ela está oferecendo preços e/ou prazos de entrega acima da média do mercado. Nas cotações, o cliente avalia o potencial do fornecedor em produzir o produto com qualidade e dentro das especificações necessárias, além do preço e do prazo de entrega. (GUSTAFSSON, 2012). Nesse contexto, se um concorrente oferecer um produto dentro de um mesmo padrão de qualidade a preços e/ou prazos diferenciados, provavelmente formalizará o contrato com o cliente, que apenas depois de comparar todas as cotações possíveis decidirá que empresa escolher. (KONIJNENDIJK, 1994).

2.1.1 Prazos de entrega e custos de projeto

Incerteza é a diferença entre a quantidade de informações necessárias para desempenhar uma atividade e a quantidade de informações disponíveis para desempenhá-la. (GALBRAITH, 1973). Quanto maior é o número de incertezas relacionadas a um processo, maior é o desperdício nesse processo (PERSSON, 1995), porque as incertezas podem levar a reações exageradas, intervenções desnecessárias, previsões incorretas, receios e fluxo de informações distorcidas. (GOSLING; NAIM; TOWILL, 2013).

De acordo com Atkinson (2006), a incerteza tem sido reconhecida como um dos principais fatores que levam ao baixo desempenho de entregas de projetos complexos. Em sistemas produtivos ETO, atrasos variam substancialmente de um projeto a outro devido, principalmente, às incertezas que ocorrem nas mais variadas etapas dos projetos. (ELFVING, 2003). Tais atrasos costumam comprometer o nível de desempenho relativo aos prazos de entrega.

Nesse sentido, um dos motivos de atraso dos projetos é o mau desempenho na utilização dos recursos, o que pode acarretar níveis mais baixos de satisfação do cliente e perda de algumas oportunidades de negócios. (VAIDYANATHAN, 2003). Porém, o desempenho é mensurado comparando-se dados reais com estimativas de prazos de entrega baseadas em *lead times* médios padronizados, derivados de produtos semelhantes já produzidos anteriormente. (ZORZINI; CORTI; POZZETTI, 2008). Isso significa que a meta de saída já é comprometida por incertezas. Além da necessidade de prever possíveis variações em recursos e materiais, as empresas do ETO precisam acertar tais previsões baseando-se exclusivamente em informações de outros projetos.

Em outros casos, os projetos também atrasam devido a frequentes alterações das especificações vindas do cliente. (MATT, 2014). Porém, diferentemente de outros tipos de sistemas produtivos, no ETO o cliente é envolvido em todo o processo desde o *design* até a manufatura e, sendo assim, mudanças de engenharia são esperadas já na fase inicial do projeto. (HUSEJNAGIĆ; SLUGA, 2015). Grandes projetos são geralmente sujeitos a muitas alterações, pela engenharia ou pelos clientes, mesmo depois de a produção ter iniciado. (MATT, 2014).

Dessa forma, a dinâmica de curto prazo na forma de constantes alterações dos pedidos exige das empresas ETO capacidade de responder a tais solicitações prontamente. (LITTLE et al., 2000). Retrabalhos são consequências das alterações solicitadas, principalmente depois de iniciada a produção. Ademais, os projetos, quando atrasam, podem resultar em atrasos de outros projetos. (SAIA, 2013), uma vez que recursos que poderiam ser utilizados para adiantar um segundo projeto ainda são necessários para refinar o primeiro. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993).

Complementando, atrasos representam custos para a organização, e ainda podem resultar em multas. (GRABENSTETTER; USHER, 2015). De acordo com Grabenstetter e Usher (2014), a redução de prazos é um componente-chave também para competir em custos. Assim sendo, para aumentar a competitividade no mercado, as organizações do tipo ETO esforçam-se para reduzir continuamente os prazos de execução em todas as etapas dos projetos. (CHRISTOGIANNIS, 2014).

Por consequência, muitas vezes a Engenharia procura aguardar um tempo maior por mudanças que possam vir do cliente. Para isso, o departamento técnico retém a versão de engenharia tanto tempo quanto possível, na tentativa de evitar que alterações precisem ser feitas depois que a produção do produto tenha iniciado. (MATT, 2014). Isso ocorre porque as mudanças de engenharia geralmente incorrem em um demorado processamento de informações. Tal processamento é ainda mais demorado quando as alterações são propagadas

para fora do sistema por meio da cadeia de fornecimento, sugerindo troca de dados eletrônicos com fornecedores e clientes. (DO; CHOI; JANG, 2002).

No ETO as especificações dos projetos somente são conhecidas ao longo do processo produtivo. Uma vez que o ETO trabalha com baixos volumes de produção, a construção de protótipos é inviável. (RAHIM; BAKSH, 2003a). Cada produto ETO é único, complexo e caro, e as empresas não dispõem de tempo e nem de dinheiro para construir protótipos físicos. (LI, 2006). Além disso, tendo em vista que os projetos são exclusivos, parece não haver razão para se produzir um protótipo como modelo de um produto que será produzido uma única vez.

Enquanto outros sistemas produtivos que se dedicam à produção de protótipos possuem como vantagens a preparação para o mercado com melhores estimativas de preços, as especificações técnicas de produto e processos, prazos de entrega e garantia (KŁOS; TREBIINA, 2014), no ETO, além de não existir a opção de prototipagem, a pressão da concorrência leva as empresas a formalizarem contratos antes mesmo de possuírem todas as especificações necessárias. Caso contrário, correm o risco de perder oportunidades de vendas pela demora. (WENG; AKASAKA; ONARI, 2014).

Diante disso, o fato de tomar decisões sobre prazos de entrega e preços em momentos em que os processos de Engenharia e de Produção ainda não foram bem definidos, aumenta o risco de erro nas cotações. (GELDERS, 1991). A aquisição de uma ordem às pressas pode levar à perda financeira, tendo em vista que as especificações finais do produto permanecem indeterminadas. Logo, um obstáculo a ser vencido é o fato de que os métodos, que dependem de estimativas tanto de produto quanto de processos, não são considerados alternativas para definição dos custos em sistemas produtivos ETO. (BRUNOE; NIELSEN, 2012).

Assim, apesar das vantagens competitivas relativas à flexibilidade e dinamismo, a própria natureza do ETO impulsiona a complexidade, visto que os produtos são fabricados em baixas quantidades, de acordo com as especificações individuais de cada cliente. (GRABENSTETTER; USHER, 2014). Produtos e processos customizados são complexos, e por isso, tendem a criar um maior desafio para o planejamento e a programação da produção, devido à dificuldade nas estimativas de tempos e custos. (CHEN, 2006).

Além disso, o alto nível de personalização requer o atendimento de exigências específicas que remetem à inovação e a um elevado nível de desenvolvimento tecnológico. (WILLNER et al., 2016). Dessa forma, em sistemas produtivos ETO, em que os produtos são personalizados para atender às necessidades dos clientes, é preciso uma grande variedade de atividades exclusivas de Engenharia, principalmente porque os projetos normalmente são extensos. (SJØBAKK; BONDARENKO; KAMRAN, 2014).

Uma vez que os produtos são de alta tecnologia e extensos, poucos projetos são executados em médio prazo. De acordo com uma *survey* realizada na década de 90 com 54 empresas do tipo ETO, mais de 60% das empresas pesquisadas formalizavam menos de 10 contratos por ano. (KONIJNENDIJK, 1994). Devido às características de baixo volume e de longo tempo de atravessamentos (de meses ou até anos), o fluxo de saída do caixa normalmente é maior do que o fluxo de entrada em faturamento. (SAIA, 2013).

Isso significa que, independentemente de o custo ser absorvido pelo fabricante ou pelo próprio cliente, dependendo da natureza dos contratos, o investimento de produção feito pela empresa somente retorna quando os produtos são entregues ao cliente. (DENTON, 2002). Nesse caso, as empresas precisam de capital de giro próprio ou emprestado para financiar todo ou grande parte de seus projetos.

Quando o dinheiro é escasso, a empresa pode ser incapaz de financiar seus próprios fornecedores e, sendo assim, podem faltar componentes essenciais para o desenvolvimento de um determinado projeto. (DENTON, 2002). Nessa situação, a empresa tende a entrar em um ciclo excessivo de *lead times* pela demora da matéria-prima, por estoques elevados de trabalho em progresso, pelo baixo rendimento, por taxas de juros bancários, o que leva à contração do fluxo de caixa. (BINKS; ENNEW; REED, 1990).

Como complemento, os custos no ETO também são inflacionados, tendo em vista a tecnologia dos produtos, que depende de inúmeras atividades de engenharia. (SJØBAKK; BONDARENKO; KAMRAN, 2014). A mão de obra é diferenciada, posto que, os produtos são customizados ao detalhe pelo cliente. Tais sistemas produtivos dependem de desenvolvimento e pesquisa para cada novo projeto. (ERKOC; WU; GURNANI, 2008). Dessa maneira, a mão de obra, tanto na engenharia quanto nas operações de fábricas, é especializada. Trata-se de uma mão de obra onerosa e difícil de ser substituída. (SAHIN-SARIISIK et al., 2014).

Além disso, as variações estatísticas induzem a margens de segurança exageradas, devido à possibilidade de atrasos e custos extras. (GUSTAFSSON, 2012). Uma vez que os custos são elevados por natureza, as margens também costumam ser altas. Um projeto previsto para dois anos, por exemplo, não pode alocar uma margem de segurança de apenas um dia. Sendo assim, na medida do possível, uma margem de segurança proporcional ao tamanho do projeto é adicionada aos custos diretos para composição dos orçamentos de vendas.

Logo, uma das principais adversidades do ETO encontra-se na definição de margens de segurança. É necessário encontrar um equilíbrio para não perder dinheiro com margens muito baixas ou perder clientes com margens muito altas. Tais incertezas ocasionam dificuldades no

gerenciamento das divisões de Marketing, Engenharia e Produção, os principais departamentos no ETO que precisam ser gerenciados. (HICKS; MCGOVERN; EARL, 2000).

2.1.2 Marketing

O departamento de marketing no ETO atua na fase inicial da cadeia de valor, conhecida como “Linha de Frente”, abarcando tarefas que ocorrem antes do desenvolvimento de um projeto. (PACAGNELLA JR. et al., 2011). O marketing interage diretamente com os clientes, e é essa área que confecciona os orçamentos. (ERKOC; WU; GURNANI, 2008). O marketing é responsável pela coleta das informações do cliente e pelo processamento desses dados em especificações que serão utilizadas em etapas posteriores do processo. A atuação dessa linha de frente inicia no processo de cotação dos projetos. (GUSTAFSSON, 2012).

No ETO, estimativas e cotações são cruciais para práticas de negócios bem sucedidos. (HUSEJNAGIĆ; SLUGA, 2015). Entretanto, para obter as especificações mínimas necessárias para cotação de um projeto, é necessário um longo período de tempo. (ELGH, 2012). Na etapa de cotação, as primeiras especificações são fornecidas pela engenharia e utilizadas para promover discussões entre a equipe de vendas e o cliente. Normalmente, no primeiro contato, os clientes ainda não estão familiarizados com as especificações do produto, e as propostas iniciais são ofertadas pelo departamento de marketing conforme sua experiência. (WENG; AKASAKA; ONARI, 2014). Entretanto, quando uma especificação é muito complexa, por vezes as opções são muito caras e o cliente pode não ficar satisfeito. Assim, extensas discussões são realizadas entre cliente, marketing, engenharia e produção. Esse processo pode levar, até mesmo, vários meses. (WENG; AKASAKA; ONARI, 2014).

Com isso, atrasos podem ocorrer na disponibilidade de especificações mais detalhadas do projeto (CHRISTOGIANNIS, 2014), especialmente em empresas que possuem uma ampla gama de especificações de componentes. (MCGOVERN; HICKS; EARL, 1999). Isso ocorre porque todas as informações relevantes para a produção e entrega de produtos se originam nesse processo de especificação. (HVAM et al., 2004).

O processo inclui especificações provenientes tanto da etapa de cotação quanto especificações definidas na etapa de engenharia. (BONEV, 2015). Isso significa que o nível de detalhamento das especificações dos itens que compõem os produtos no ETO é um assunto que merece ser discutido. (MCGOVERN; HICKS; EARL, 1999). Um projeto com muitas especificações torna inviável a coleta de todas as informações necessárias na etapa de cotação.

(GUSTAFSSON, 2012). Portanto, essas especificações não costumam ser investigadas em profundidade durante as negociações do contrato para não tomar muito tempo. (WORTMANN, 1992).

A definição das especificações depende, além das competências técnicas da própria empresa, principalmente do conhecimento e dos desejos do cliente. (AMRANI et al., 2010). Até o encerramento das atividades de engenharia ainda restam muitas incertezas sobre a natureza dessas especificações. (WORTMANN, 1992). Uma vez que as especificações variam de produto para produto (MATT, 2014), sistemas produtivos ETO tendem a formalizar contratos com os clientes antes de todas as especificações necessárias para execução do projeto serem conhecidas. (WENG; AKASAKA; ONARI, 2014). Logo, uma das maiores fontes de incerteza de um projeto está no detalhamento das especificações. (GUSTAFSSON, 2012).

No ETO, o número de componentes padronizados é limitado, e as especificações dos produtos no início de cada projeto são, em parte, desconhecidas. (GELDERS, 1991). A lista de materiais e desenhos técnicos dos componentes, na etapa de cotação, é incompleta (KRISTIANO; HELO; JIAO, 2015), e vai gradualmente sendo explorada durante o desenvolvimento dos projetos. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993). Consequentemente, a lista de preços dos materiais também não existe. Os fornecedores precisam ser contatados toda vez que uma nova especificação é definida com o cliente. (ELGH, 2012).

Para agravar a situação, cada produto ETO requer uma grande quantidade de componentes, muitas vezes, milhares deles. (GELDERS, 1991). De acordo com Husejnagic e Sluga (2015), um projeto do ETO requer um distinto conjunto de itens e uma extensa lista de materiais. Ao final, o desconhecimento de especificações, materiais e valores de compra do mercado em uma diversidade grande de itens pode dificultar o processo de estimativa de custos de materiais, impondo baixa acuracidade das estimativas. Devido a estimativas de custos mal feitas, ETO fabricantes, muitas vezes, lutam contra desvios significativos em suas margens de lucro. (BRUNOE; NIELSEN, 2012). Verifica-se que uma quantidade considerável da carteira de clientes pode gerar pouco ou nenhum lucro para a empresa. (DUCHI et al., 2014).

Com o excesso de componentes diferenciados, que se encaixam conforme as necessidades dos clientes (GELDERS, 1991), as especificações e os prazos costumam ser diferentes em cada projeto. (MATT, 2014). Por isso, ao longo do tempo, o padrão de demanda dos recursos varia significativamente, originando flutuações de tempo consideráveis. (HICKS; BRAIDEN, 2000).

Diferente de sistemas produtivos que produzem para estoques (MTS), quando produtos e roteiros são conhecidos e o momento de negociação e o volume de pedidos são incertos, nas

organizações ETO, que trabalham sob encomenda, o momento e as quantidades são conhecidos, mas a natureza exata dos produtos e roteiros não. (WORTMANN, 1995). Diante disso, o planejamento de capacidade deve levar em consideração ordens de produção em potencial, sem conhecimento da estrutura de materiais durante essa fase inicial do projeto. (CARVALHO; OLIVEIRA; SCAVARDA, 2015). Isso torna mais difícil o balanceamento da produção, devido à natureza dinâmica das restrições de recursos. (HICKS; BRAIDEN, 2000).

Dito isso, um dos problemas mais comuns associado aos sistemas produtivos ETO é a dificuldade de estimar prazos de entrega. (PANDIT; ZHU, 2007). Em sistemas produtivos ETO, grande parte dos dados relativos a prazos de entrega e tempos de processo baseiam-se em estimativas. (HICKS; BRAIDEN, 2000). No entanto, o baixo nível de precisão nas estimativas de tempo de operações devido a flutuações estatísticas, aliado ao baixo nível nas estimativas de custos de materiais dado o desconhecimento das estruturas do produto, acarretam a falta de precisão na estimativa global de custos. (ELGH, 2012).

Sendo assim, especialmente no início do projeto, no estágio não físico, quando parte do produto ainda é desconhecido, as decisões sobre capacidade, tempos de atravessamento e preços precisam ser tomadas sob a incerteza. (SAIA, 2013). Esse fato pode resultar em uma discrepância entre o que foi previsto e o que foi realizado. (HICKS; BRAIDEN, 2000).

Devido às incertezas, é difícil estimar prazos e preços, porque parte das especificações de produto e processo é desconhecida. (MUNTSLAG, 1994). Além disso, o próprio processo de cotação não é padronizado. (ELGH, 2012). Como consequência, a troca de informações nessa etapa inicial normalmente é intensa e demorada, pois o tempo despendido na interação da empresa com os clientes e com os fornecedores, na tentativa de reduzir ao máximo os riscos provenientes das incertezas, pode variar bastante. (SAIA, 2013).

De acordo com Chen (2006), estimar o tempo de atravessamento e o custo de forma ágil é um grande desafio para os sistemas produtivos ETO, porque o processo de reconhecimento das necessidades do cliente pode levar muito tempo. Quanto maior for o tempo gasto com estimativas de preços e prazos, maior será o tempo para liberação de uma ordem de produção. Destarte, levando em consideração que não é possível prever o momento em que uma cotação é convertida em um pedido firme em carteira (MUNTSLAG, 1994), e que os projetos no ETO somente podem ser iniciados após o recebimento formal das especificações necessárias (DE PAOLI; ANDRADE; LUCATO, 2014), é possível afirmar que a etapa de cotações e licitações é restritiva nesse tipo de sistemas produtivo. (ELFVING; TOMMELEIN; BALLARD, 2005).

Em suma, por mais que a resposta rápida ao cliente seja um fator importante nas negociações dos mais diferentes contratos, em geral é necessário desenvolver as especificações

para cada cliente a um determinado nível de detalhamento que possa garantir que a proposta fornecida seja realizada dentro de uma margem aceitável de risco. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993). Para tanto, o ETO precisa adotar novas formas de executar suas tarefas, precisa tornar-se capaz de responder rapidamente com prazos e preços competitivos, visando à rentabilidade do negócio. (ELGH, 2012). Uma vez que o cliente deseja receber os seus produtos de acordo com a data de entrega solicitada, é evidente que a melhoria das estimativas pode resultar em uma vantagem competitiva. (GRABENSTETTER; USHER, 2014).

2.1.3 Engenharia

Após receber informações da divisão de marketing sobre um determinado projeto, a engenharia deve estabelecer as etapas necessárias para o desenvolvimento e determinar quanto da capacidade dos recursos será utilizada. Se a engenharia considerar que a capacidade existente não é suficiente para executar o projeto, deve estimar os custos para expandir a capacidade ou encontrar alguma maneira de suprir tal demanda. (ERKOC; WU; GURNANI, 2008).

O departamento de engenharia é compreendido como etapa de desenvolvimento não físico do ETO. É responsável por gerenciar e definir, com o cliente, as especificações iniciais e finais de um projeto, ou seja, é encarregado de desenvolvê-lo. Sem essas especificações, a produção não pode ser iniciada. Logo, quanto antes o produto da engenharia ficar pronto, melhor, até porque tal produto, por natureza, pode levar mais tempo do que a própria fabricação. (VOTTO, 2012).

O departamento de Engenharia é um processo central que nunca deve ser terceirizado. (HICKS; MCGOVERN; EARL, 2000). Além disso, na engenharia, o tempo de uma atividade só pode ser manipulado pela quantidade de pessoas, desde que a atividade possa ser separada em partes independentes. (KONIJNENDIJK, 1994). Nesse caso, ou a engenharia arca com os custos de nivelar a capacidade média do setor para previsões com metas arrojadas ou corre o risco de ficar, algumas vezes, sobrecarregada.

Uma vez que os custos para manter os recursos de engenharia, compostos basicamente por mão de obra especializada, são muito onerosos, é natural que a divisão de engenharia seja considerada um gargalo de tempo em sistemas produtivos ETO. (LITTLE et al., 2000). Tal afirmação também pode ser evidenciada em Pandit e Zhu (2007), Gosling e Naim (2009), e Cutler (2009).

O problema é intensificado na medida em que o setor de engenharia, além de lidar com a escassez de recursos, precisa suportar a dificuldade de planejar e controlar tal processo. A carga de trabalho exata de uma atividade de engenharia não pode ser facilmente determinada. Todas as atividades de engenharia são únicas (KONIJNENDIJK, 1994), logo, o planejamento, a programação e o controle tornam-se mais difíceis, pois pouco se sabe sobre tais atividades antes que elas ocorram. (GRABENSTETTER; USHER, 2013). Como consequência, no ETO, o produto da engenharia (cálculos, desenhos, especificações, etc.) pode não ser entregue no prazo, acarretando maiores custos. (VOTTO; FERNANDES, 2014).

2.1.3.1 Recursos restritivos na Engenharia

Quando um produto se encontra na etapa de engenharia, várias alternativas de projeto são desenvolvidas e investigadas para, posteriormente, uma delas ser selecionada para o detalhamento completo do projeto. (PANDIT; ZHU, 2007). O processo de decisão no departamento de engenharia é geralmente complicado, pois envolve uma combinação de fatores para cada atividade, tais como: desempenho, qualidade, segurança, economia, impacto ambiental, prioridades do fabricante, necessidades do cliente, condições de mercado, questões de tempo e custo, requisitos de certificação, especificações do produto e requisitos de instalação. (PANDIT; ZHU, 2007).

Exemplos de produtos produzidos pelo ETO são sistemas de fornecimento de energia, aviões, bens de capital, construções, navios, entre outros. Esses produtos possuem estruturas complexas, cuja confecção exige muitos níveis. (HICKS; BRAIDEN, 2000). Nesse sistema, o processo de engenharia é o maior consumidor controlável do *lead time*, chegando a ocupar a metade do tempo total do projeto. (LITTLE et al., 2000). Conforme Grabenstetter e Usher (2015), uma vez que o *lead time* pode ocupar a metade do tempo de um projeto, este pode ser considerado de longa duração. Isso acontece porque, especialmente na fase inicial, além das atividades operacionais, precisa-se selecionar alternativas de projetos e interpretar e compreender as exigências dos clientes para todos os níveis da estrutura. (PANDIT; ZHU, 2007).

Nesse contexto, de acordo com Grabenstetter e Usher (2015), as atividades de engenharia são complexas e intelectuais. Elas consistem em traduzir as especificações do cliente em um “projeto do produto” tangível, responsável por disseminar as informações a toda empresa. Em função dessa complexidade, os engenheiros que trabalham com produtos ETO

normalmente possuem um alto grau de experiência e, por essa razão, não podem ser facilmente substituídos. (GRABENSTETTER; USHER, 2015).

Posto isto, pode-se dizer que um dilema frequente no departamento de engenharia está na indecisão quanto ao número ideal do quadro de mão de obra. Se por um lado os recursos para os processos de engenharia são caros, e por isso a engenharia sofre pressão financeira para reduzir o quadro de colaboradores (HICKS; MCGOVERN; EARL, 2001), por outro lado muitos dos produtos são desenvolvidos a partir do zero, com base em requisitos específicos dos clientes. Nesse caso, a interação com o cliente é intensa, de modo que é eminente a necessidade de mais engenheiros, o que torna o custo da engenharia significativo. (SAHIN-SARIISIK et al., 2014).

O quadro de colaboradores da engenharia é importante, pois o principal diferencial das empresas do ETO encontra-se nos projetos de seus produtos. Diante disso, uma das dificuldades desses sistemas é que as atividades de engenharia não podem ser terceirizadas. (KONIJNENDIJK, 1994). Tais atividades constituem um processo central das organizações e, por isso, não deveriam ser subcontratadas. (HICKS; MCGOVERN; EARL, 2000). A natureza estratégica existente na pesquisa e no desenvolvimento dos produtos impossibilita a terceirização como opção para incrementar a capacidade do departamento de engenharia. (KONIJNENDIJK, 1994).

O problema de não poder contar com equipes terceirizadas é que, normalmente, sistemas produtivos ETO exigem flexibilidade quanto ao incremento de capacidade da engenharia. Os projetos inovadores normalmente sofrem com uma quantidade significativa de retrabalho, que permanece desconhecido até que a produção ocorra. (LOCH; MIHN; HUCHZERMEIER, 2003). Muitos dos detalhes dos projetos são definidos na etapa de engenharia, e assim, o maior esforço desse setor é evitar retrabalhos futuros. (PERO; STÖSSLEI; CIGOLINI, 2015). Mesmo assim, retrabalhos no departamento de engenharia são habituais, pois o desenvolvimento de grandes projetos requer aperfeiçoamentos sofisticados. (CARON; FIORE, 1995).

A configuração inicial de um projeto é uma atividade crítica no segmento da Engenharia, pois é necessário definir informações exatas para os setores de compras e de fabricação. Omissões, imprecisões ou erros de especificação e configuração do projeto tendem a adicionar níveis de retrabalho tanto para a engenharia quanto para a fábrica. (LITTLE et al., 2000). Em vista disso, existem muitas fontes de erros operacionais devido à falta de coordenação, de experiência e de habilidade dos colaboradores. (MELLO; STRANDHAGEN; ALFNES, 2015a). Dessa forma, atrasos e retrabalhos são comuns no desenvolvimento de projetos complexos no ETO. Tais projetos requerem refinamentos durante a fase de implementação, o

que repercute em maiores prazos e custos. (CARON; FIORE, 1995). Por conseguinte, a engenharia é frequentemente sobrecarregada por picos de demanda de atividades. (CHRISTOGIANNIS, 2014).

Outro ponto crítico que pode acarretar retrabalho na etapa de engenharia diz respeito às frequentes mudanças de especificações durante as fases de desenvolvimento do produto. (SAIA, 2013). O gerenciamento dessas alterações está ligado a vários departamentos, o que dificulta a coleta das informações com vista às mudanças necessárias. (BLEVINS, 2004). Logo, a capacidade de responder a essas modificações é um pré-requisito para o sucesso do ETO e requer notável agilidade por parte das empresas, principalmente quando essas alterações ocorrem depois de iniciar a produção. Nesse caso o trabalho, além de ser feito pela engenharia, precisa ser feito também pela produção. (MATT, 2014).

Posto que o recurso principal do departamento de engenharia é a mão de obra e que o produto da engenharia não pode ser terceirizado, o principal mecanismo para controlar o tempo de espera é o número de pessoas que trabalham no setor. (JOHNSSON, 2013). Todavia, o número de engenheiros deve ser o menor possível devido ao custo da mão de obra especializada. (HICKS; MCGOVERN; EARL, 2001). Nesse sentido, a engenharia precisa racionalizar seus recursos, pois além de atender às atividades que envolvem os projetos, ela deve reservar parte da sua capacidade para cotações. Essa fração de capacidade normalmente ocupa boa parte das horas de trabalho disponíveis dos engenheiros, interferindo na resposta dos projetos com contratos formalizados anteriormente. (SAIA, 2013).

Ademais, as atividades de engenharia, além de costumeiramente consumirem a metade do tempo total de um projeto (LITTLE et al., 2000), podem levar até meses para serem concluídas. (GRABENSTETTER; USHER, 2015). Isso ocorre em função do grande volume de trabalho devido à complexidade dos projetos e à interação significativa existente entre os clientes e a engenharia, principalmente na fase de concepção do projeto. (JANSSON; JOHNSSON; ENGSTRÖM, 2014).

Consoante Rahim e Baksh (2003b), a interação inicia quando o cliente pergunta sobre o produto. A compreensão das especificações, o conceito do projeto e os detalhes de engenharia são vitais para atender aos requisitos do consumidor. Dessa maneira, os clientes devem aprovar cada mudança de projeto antes de se iniciar a produção, evitando retrabalho e desperdício de materiais. (RAHIM; BAKSH, 2003b).

Em sistemas produtivos ETO, em que os recursos de engenharia são escassos, é importante que o prazo estipulado pelas ordens leve em consideração a capacidade dos engenheiros de atender a demanda de atividades previstas. Quando isso não ocorre, ou as ordens

atrasam ou horas extras são contratadas na tentativa de garantir as entregas das especificações técnicas para a produção no prazo previsto. (LITTLE et al., 2000). Embora em um âmbito geral as opções básicas para incrementar a capacidade produtiva possam ser representadas por horas extras, contratação de mão de obra, contrato temporário, terceirização e manutenção dos estoques (LINGITZ et al., 2013), quando se trata do ETO nem todas essas opções são válidas, principalmente no departamento de engenharia.

As atividades de engenharia não podem ser estocadas, pois elas são únicas e desconhecidas. Terceirizar ou subcontratar também não é possível, dado a importância estratégica do conhecimento e da experiência da engenharia. (KONIJNENDIJK, 1994). Já em relação às contratações, utilizar trabalho contingente não é uma alternativa para aumentar temporariamente a capacidade devido à exigência de trabalhadores qualificados. (ALP; TAN, 2008). Nessa situação, manter um quadro excessivo de mão de obra qualificada com o único objetivo de atender a picos de demanda é muito caro. Dessa forma, a flexibilidade no volume total das atividades de engenharia é limitada à capacidade máxima de horas extras com que a empresa consegue trabalhar. (KONIJNENDIJK, 1994).

Não obstante, o problema de trabalhar com a capacidade nivelada pela demanda média e de ter a contratação de horas extras como solução única de flexibilidade, é que, às vezes, é preciso utilizar horas extras em excesso e, em outros momentos, a engenharia fica ociosa. (DENTON, 2002). Diante disso, é necessário comprimir o tempo de cotações e de engenharia para melhorar toda a cadeia de fornecimento ETO. Uma redução de 40% no tempo de engenharia, considerando as etapas de cotações e projeto, pode levar a uma redução global de 25%, inclusive reduzindo os custos. (TOWILL, 2003). Observa-se que tais atividades não físicas se encontram no caminho crítico do processo global, e isso significa que toda redução de tempo nessas atividades repercutirá no prazo final de entrega. Como resultado, as equipes de engenharia frequentemente são cogitadas como um recurso restritivo frente aos projetos em geral. (GRABENSTETTER; USHER, 2015).

2.1.3.2 Planejamento e Controle na Engenharia

Em sistemas produtivos ETO, o cliente é introduzido na cadeia de suprimentos em algum momento da etapa de engenharia, de modo que ele pode interferir nas saídas, personalizando a solução final do projeto. (JANSSON; JOHNSON; ENGSTRÖM, 2014). Para isso, o cliente precisa estar fortemente envolvido em todo o processo, desde a concepção

do projeto até a fabricação. (HUSEJNAGIĆ; SLUGA, 2015). Da mesma forma, devido à complexidade dos projetos, as empresas ETO precisam se envolver com os clientes ao longo de todo o processo de engenharia e produção, a fim de garantir que as especificações sejam atendidas. (POWELL et al., 2014).

Para que as especificações dos componentes e subsistemas do cliente sejam atendidas, elas precisam ser traduzidas pela engenharia antes de se passar para a etapa de produção e compras. De acordo com Hicks, Mcgovern e Earl (2000), a engenharia deve traduzir as especificações no formato de desenhos, detalhando-os de tal forma que os demais departamentos possam compreendê-los na sua leitura por completo. Todavia, embora importante, o nível de detalhamento pode causar atraso na disponibilidade das especificações. (CHRISTOGIANNIS, 2014).

As principais entregas da engenharia são desenhos, listas de materiais e modelos de visualização em 3D. (GUSTAFSSON, 2012). É possível afirmar que, no ETO, a diferenciação dos projetos ocorre na fase dos desenhos. Cada produto é detalhado para satisfazer necessidades específicas, que podem variar de um cliente para outro. (MELLO; STRANDHAGEN; ALFNES, 2015a).

Códigos e padrões de desenhos precisam ser rigorosamente respeitados quanto às tolerâncias do cliente e do próprio projeto, especialmente quando os itens estão relacionados a quesitos de segurança e confiabilidade. (RAHIM; BAKSH, 2003b). Nesses casos, os produtos são tão específicos e detalhados que no início do projeto são praticamente desconhecidos. Desenhos e listas de materiais precisam ser descobertos, paulatinamente, durante a evolução do projeto. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993).

Portanto, um dos principais desafios do ETO é trabalhar regularmente com desenhos e listas de materiais incompletos, que evoluem ao longo do tempo. Esses recursos são conhecidos, na indústria, como “*White Spots*”, ou seja, são desenhos e configurações que se encontram incompletos, sendo sujeitos à alteração, ao mesmo tempo em que exigem trabalho de engenharia antes do início da produção. (KRISTIANTO; HELO; JIAO, 2015).

Como cada item, de cada produto, requer o seu próprio desenho, é natural que haja uma frequência elevada de desenhos em sistemas produtivos ETO. (RAHIM; BAKSH, 2003b). Como consequência, em sistemas produtivos ETO cada atividade da engenharia é única e, sendo assim, a carga de trabalho exata de uma atividade de engenharia não pode ser facilmente determinada. (KONIJNENDIJK, 1994). Os tempos de processos de cada atividade são desconhecidos e difíceis de serem estimados. (GRABENSTETTER; USHER, 2015).

Diariamente, as empresas enfrentam a necessidade de determinar quais recursos devem ser alocados, para quais atividades e em que sequência os trabalhos devem seguir. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993). Mesmo que os tempos das atividades de engenharia não sejam conhecidos antecipadamente, o departamento de engenharia normalmente é incumbido de elaborar estimativas de tempo para cada uma das atividades. (MEREDITH; SHAFER, 2002). Conseqüentemente, os recursos da engenharia podem facilmente se transformar em pontos de estrangulamento devido a estimativas distorcidas que podem acarretar um mau sequenciamento do trabalho. (OLHAGER, 2003). Destarte, a programação e o sequenciamento das tarefas são processos importantes, pois visam à otimização dos recursos e ao atendimento no prazo de entrega. (TORRES et al., 2003).

Levando em consideração a quantidade significativa de atividades de engenharia no ETO, tais empresas precisam de um sistema de planejamento que possa agendar todas as ordens em uma sequência lógica e adequada, reduzindo os atrasos e melhorando a precisão em um olhar mais realista aos prazos de entrega. (NONÅS; OLSEN, 2005). Na programação e no controle dessas atividades, o maior interesse está em minimizar as quantidades em atraso e em maximizar a utilização dos recursos disponíveis. (MEREDITH; SHAFER, 2002).

Consoante Bertrand e Muntslag (1993), o controle das atividades de engenharia do ETO é complexo devido à ocorrência de três fatores principais: a) tempos de atividades e processos desconhecidos, difíceis de serem estimados; b) excesso de atividades de engenharia por projeto; e c) gerenciamento de múltiplos projetos. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993). O problema é que o progresso do trabalho no departamento de Engenharia não é fácil de ser quantificado, visto que processos criativos dificultam a padronização das atividades. (SAIA, 2013).

Segundo Backhouse, Burns e Brookes (2000), processos criativos contêm um elemento inerente chamado incerteza. Mesmo que boas técnicas de gerenciamento das atividades e habilidade para utilização de modernas ferramentas de desenho possam remover uma proporção considerável de incerteza, sempre prevalecerá o fator humano. (BACKHOUSE; BURNS; BROOKES, 2000). Entretanto, a velocidade de execução de uma atividade, em alguns casos, pode ser manipulada, adicionando-se ou diminuindo-se o número de pessoas alocadas, o que é possível quando as atividades podem ser fragmentadas em atividades menores. (KONIJNENDIJK, 1994). Logo, uma mesma atividade pode durar unidades de tempo distintas por diversos fatores.

Além disso, cada pedido do cliente consiste em uma rede de atividades, muitas delas desconhecidas na fase inicial do projeto. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993). Os produtos mudam constantemente em sistemas produtivos ETO e, na maioria das vezes, existe mais de

um projeto sendo desenvolvido simultaneamente em diferentes estágios da engenharia. (RAHIM; BAKSH, 2003b). Isso quer dizer que vários projetos precisam ser controlados ao mesmo tempo, em diferentes fases de concretização. Assim, atrasos que ocorrem como resultados da incerteza de um projeto podem ter efeitos graves sobre outros projetos mais à frente. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993).

No ETO, as encomendas chegam de forma aleatória e quase sem nenhuma repetição. Nesse caso, não se sabe quando e nem o que deverá ser produzido até que um cliente faça uma solicitação. (VRABIČ; HUSEJNAGIĆ; BUTALA, 2012). A demanda flutua consideravelmente e tende a ocorrer em grandes unidades discretas. Como consequência, a maior parte das tarefas de reprogramação, nesse tipo de sistema, é atribuída à chegada de novos pedidos. (HICKS; SONG; EARL, 2007).

Uma vez que o ETO trabalha com produtos onerosos, de longos prazos e baixa frequência na chegada de novas ordens (ERKOC; WU; GURNANI, 2008), a conquista de novos pedidos é fundamental. Quando existe a oportunidade, é preciso aproveitá-la. No entanto, restrições precedentes, disponibilidade de recursos e capacidade, bem como prazos de entrega de projetos já em execução precisam ser respeitados sempre que a programação das atividades é refeita. (VLACHOU, 2016). Quando a engenharia inicia uma função, se possível, é desejável que ela seja autorizada a completar o trabalho sem interrupção. Mudanças constantes nas atividades são conhecidas por aumentar o índice de erros e retrabalho, além de causar frustrações nos colaboradores. (GRABENSTETTER; USHER, 2015).

Sendo assim, além das dificuldades de estimar os tempos de inúmeras atividades designadas para mais de um projeto, no ETO as informações normalmente não estão disponíveis, em tempo real, para todos os membros do sistema. Isso pode resultar em atrasos, distorções e duplicidade de informações. De acordo com Gosling et al. (2014), outro problema comum no ETO é a baixa visibilidade quanto à atualização das informações (desenhos, formulários, programas, relatórios, etc.) para conhecimento de todos os departamentos da empresa que precisam de tais dados.

A falta de informação também é obstáculo à implantação de sistemas de informação que poderiam auxiliar no planejamento e controle dos projetos. A integração eficaz de um sistema de informação é crucial, pois serve de apoio para a rápida tomada de decisões durante o processo de engenharia. (PANDIT; ZHU, 2007). Porém, de acordo com Kristianto, Helo e Jião (2015), sistemas de informação de nível empresarial não suportam o ETO e outros negócios baseados em projetos. Isso acontece porque, geralmente, os sistemas que se destinam a soluções de

engenharia, produção e planejamento de compras requerem informações sobre a demanda de materiais e componentes com antecedência.

Assim, é impraticável configurar o sistema sem o conhecimento completo das características do produto, da quantidade de materiais necessários e de outras configurações. (KRISTIANO; HELO; JIAO, 2015). Por isso, o planejamento e a coordenação correta das atividades de engenharia passam a ser questões complexas de serem administradas. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993).

2.1.4 Produção

Em sistemas produtivos ETO, o departamento de produção é diariamente confrontado por uma série de problemas relacionados ao fluxo dos trabalhos e causados por influências aleatórias internas e externas. As circunstâncias geralmente são caóticas e requerem decisões rápidas e racionais. (HUSEJNAGIĆ; SLUGA, 2015). Normalmente, nesse tipo de sistema produtivo, a programação de novas encomendas é feita na fábrica já ocupada por outros projetos. Tal programação é realizada empiricamente usando regras conhecidas de sequenciamento. (MOURTZIS et al., 2014).

No ETO, ferramentas sofisticadas de planejamento e programação raramente são sinônimas de sucesso devido à quantidade significativa de incertezas. (WORTMANN, 1992). Os resultados por vezes insatisfatórios obtidos na adoção de uma abordagem de programação são atribuídos principalmente à inadequação do contexto organizacional e ao método aplicado. (CARON; FIORE, 1995). Por vezes, a programação da produção é inadequada e insuficiente para atender à demanda no prazo. (DENTON, 2002).

A percepção de que a programação não será suficiente para atender à demanda é de responsabilidade do controle da produção. O controle deve focar os prazos acordados para entrega, as quantidades a subcontratar e a liberação de ordens de trabalho. (KONIJNENDIJK, 1994). Para cada divisão do setor de produção, existe mais de um projeto que deve ser controlado ao mesmo tempo, em diferentes estágios de acabamento. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993).

Também é necessário que o controle de produção seja executado em coordenação com a divisão de marketing, tendo em vista o impacto direto das atividades de produção nos prazos de entrega. Tanto o processo de fabricação quanto o processo de marketing são caracterizados por possuir baixa controlabilidade e muitas incertezas. (KONIJNENDIJK, 1994). Devido à

extensão das incertezas no ETO, o planejamento e o controle da produção tornam-se mais complexos e difíceis do que em outro tipo de sistema. (POWELL et al., 2014).

A falta de disponibilidade de recursos também pode afetar diretamente os prazos de entrega. Como os fabricantes do ETO não trabalham com grandes lotes de produção, corriqueiramente tempos de *set-up* são consumidos da capacidade total de fabricação dos recursos. (BONEV, 2015). Como as empresas em questão lidam com múltiplos projetos, muitas vezes alguns recursos são considerados escassos por permitirem executar apenas uma atividade por vez. (ALFIERI; TOLIO; URGO, 2012).

É natural que as organizações negociem e tentem absorver o maior número de ordens possíveis, ignorando a dificuldade de estimar o impacto no desempenho do sistema produtivo. Tal atitude pode acarretar uma sobrecarga na produção, comprometendo o desempenho da empresa em termos de níveis de serviço e utilização eficiente dos recursos. (WULLINK; HANS; HARTEN, 2004).

Devido aos problemas recorrentes de limitação de recursos associados a uma programação inadequada e ao baixo nível de controle, o tempo de processamento necessário para a fabricação de um determinado produto pode ser maior do que o estipulado originalmente na fase de cotação. Como resultado, a data de entrega acordada com o cliente pode não ser cumprida. (MUNTSLAG, 1994).

2.1.4.1 Recursos Restritivos de Produção

Sistemas produtivos ETO produzem, em baixo volume, uma grande variedade de produtos, permitindo que os clientes vindiquem produtos que satisfaçam exatamente suas necessidades. (MELLO; STRANDHAGEN; ALFNES, 2015a). Uma das razões para esse nível de exigência é o aumento da demanda por produtos personalizados, fragmentando cada vez mais o mercado. (GRABENSTETTER; USHER, 2015). A predição minuciosa da demanda em sistemas ETO não é tão simples, visto que cada cliente possui necessidades distintas e, como consequência, o volume de vendas e o *mix* de produtos pode variar significativamente ao longo do tempo. (SAIA, 2013).

No ETO, o consumo flutua consideravelmente e pende a ocorrer em unidades discretas. (MCGOVERN; HICKS; EARL, 1999). Tais flutuações são difíceis de antecipar e, por isso, causam incertezas quanto à quantidade e aos tipos de produtos que serão vendidos futuramente. O sistema precisa lidar com fortes flutuações tanto no *mix* quanto no volume de vendas no curto

e médio prazo. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993). Conquanto, acordos precisos sobre custos e prazos de entrega só podem ser feitos sem risco quando ambos, o *mix* de produção e o volume de vendas, são suficientemente estáveis. (KONIJNENDIJK, 1993).

Nesse sentido, a capacidade de lidar com a instabilidade da demanda e de responder às modificações do consumo ao longo do tempo é crucial nesses sistemas. (ZORZINI; CORTI; POZZETTI, 2008). Sistemas produtivos ETO precisam ser concebidos, em sua essência, com maior agilidade e flexibilidade, permitindo o posicionamento estratégico para responder a rápidas mudanças do mercado por meio de projetos exclusivos. (GRABENSTETTER; USHER, 2015).

Em um mercado dinâmico e instável e, por isso, incerto quanto à demanda, sugere-se flexibilidade por meio da captação de recursos externos para lidar com tais flutuações. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993). Little et al. (2000) também sugerem flexibilidade como condição para o alcance do sucesso e como requisito de sobrevivência em sistemas produtivos ETO. Portanto, detalhar com precisão a demanda em sistemas produtivos em que os produtos são de caráter específico do cliente, para muitas linhas de produtos diferentes, é uma tarefa árdua. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993). Não obstante, sistemas produtivos ETO são caracterizados por muitos aspectos importantes, e dentre eles, a previsão de demanda é considerada por sua baixa acuracidade. (BERKEL, 2010).

No início de um projeto, pouco se conhece sobre os processos envolvidos na fabricação dos produtos. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993). As empresas enfrentam incertezas no que diz respeito à composição de atividades, roteiros, matérias-primas e, principalmente, quanto à disponibilidade e capacidade dos recursos. (WULLINK; HANS; HARTEN, 2004).

Frente a esses problemas, em tais sistemas, devido às incertezas e à baixa acuracidade das estimativas, é difícil antecipar materiais e prever adequada capacidade produtiva. (WORTMANN, 1992). Regularmente, não se sabe se um cliente potencial vai ou não formalizar um contrato com base em uma cotação, e se um pedido é feito, não se sabe em que momento a ordem será liberada. Isso significa que no ETO reservar capacidade de produção é um processo delicado (MUNTSLAG, 1994), especialmente porque, nesses sistemas, o suprimento não é impecável, os consumidores alteram suas imposições e os engenheiros mudam os parâmetros do produto concomitantemente. (WORTMANN, 1992).

Assim, o planejamento agregado deve ser feito em função do planejamento das vendas e operações (*Sales & Operation Planning - S&OP*). (SRIRAM; ALFNES; ARICA, 2013). As principais etapas do processo do planejamento agregado geralmente são repetidas periodicamente e consistem em planejar a demanda (previsões e investimento em esforço de

vendas) e reavaliar a capacidade de oferta da empresa. (CHRISTOGIANNIS, 2014). No caso de sistemas como o ETO, o plano agregado, além de verificar a capacidade dos recursos, requer avaliação de uma rede de terceiros (fornecedores e prestadores de serviços) como segurança contra flutuações de tempo nos projetos, visando ao não comprometimento do desempenho global da empresa. (SRIRAM; ALFNES; ARICA, 2013).

No entanto, para definir o planejamento agregado, são necessárias informações sobre a demanda, e no ETO a previsão de demanda é imprecisa. (HUSEJNAGIĆ; SLUGA, 2015). Essa imprecisão se deve principalmente ao fato de que as necessidades de cada cliente são específicas e o volume de vendas é instável. (SAIA, 2013). Além disso, a demanda de recursos tende a ser "irregular", e cada projeto costuma ocupar uma proporção significativa de capacidade. (MCGOVERN; HICKS; EARL, 1999).

Diferente de outros sistemas em que a previsão de vendas é essencial para a aquisição de materiais e a programação da produção, no ETO a previsão é estratégica e tem por objetivo visualizar tendências de mercado para tomada de decisões no que diz respeito à capacidade dos recursos. Nesses tipos de sistemas, procura-se utilizar o conhecimento do mercado para explorar novas oportunidades lucrativas. (GOSLING; NAIM, 2009).

Entretanto, a complexidade no ETO tende a crescer proporcionalmente a investimentos adicionais, como novas máquinas ou processos para fabricação de novos produtos. (BONEV, 2015). Nesses sistemas, o investimento em equipamentos é realizado principalmente para aumentar a capacidade dos recursos existentes e introduzir novos produtos no mercado. (WENG; AKASAKA; ONARI, 2014). Já a inovação dos produtos pode ocorrer ao desenvolver uma nova tecnologia ou ao cumprir requisições de um determinado cliente. Diante disso, o planejamento agregado é geralmente baseado em informações agregadas expressas em termos de valor ou conteúdo de trabalho. (BONEV, 2015).

Não obstante, o cenário de planejamento no ETO envolve múltiplos projetos com recursos compartilhados e, por isso, as quantidades e os tipos de recursos são difíceis de serem estimados para a tomada de decisões de novos investimentos. Dessa forma, é preciso capacitar os responsáveis pelo planejamento para resolver problemas relativos a atrasos nos projetos e variações de capacidade nos recursos quando a capacidade instalada não for suficiente. (VAIDYANATHAN, 2003). Nesse caso, informações relativas às estimativas de demanda e de recursos são os principais insumos para o processo do planejamento agregado. Conseqüentemente, devido à baixa acuracidade nas estimativas, em organizações típicas do ETO não se espera maturidade no planejamento agregado, elemento encontrado em outros

sistemas produtivos em que muitos produtos são padronizados e a demanda é estável. (CHRISTOGIANNIS, 2014).

Outra característica da produção no ETO, é que geralmente tais sistemas exigem recursos de capacidade polivalente e flexível. (KONIJNENDIJK, 1994). No ETO, são realizadas anualmente pequenas quantidades de grandes encomendas e, por isso, a organização das fábricas tende a um caráter funcional, com maquinários de produção universal. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993). Destarte, a produção ocorre em diferentes máquinas multifuncionais, exigindo operadores qualificados para executar as atividades. (KONIJNENDIJK, 1993).

A flexibilidade de tais recursos é necessária, tendo em vista as especificações do cliente e a ampla gama de operações necessárias para executar os produtos. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993). O padrão de demanda dos recursos varia consideravelmente ao longo do tempo em termos de nível e *mix* de trabalho, originando variações significativas na utilização de cada um dos recursos. (HICKS; BRAIDEN, 2000). No ETO, é possível produzir produtos personalizados de diferentes maneiras. (RAHIM; BAKSH, 2003b). Em outros casos, produtos variados podem ser manufaturados em um mesmo posto de trabalho. (HUSEJNAGIĆ; SLUGA, 2015). Em tal contexto, a flexibilidade é inevitável, tendo em vista a complexidade das estruturas dos produtos ofertados pelo ETO. Cada produto pode dispor de muitas variantes, com formas vagamente distintas para atender a diferentes mercados. (SAHIN-SARIISIK et al., 2014).

No ETO, os produtos muitas vezes são únicos e concebidos como um projeto. As especificações e os prazos de entrega variam de produto para produto. (MATT; DALLASEGA; RAUCH, 2014). Consequentemente, as empresas enquadradas nesse tipo de sistema não podem prever com precisão a demanda, nem estocar matéria-prima e tampouco anteceder a produção. Em tais empresas, métodos de produção para grandes lotes não são viáveis. (POWELL et al., 2014), porque os lotes de produção, no ETO, quando não são únicos, são pequenos. (GELDERS, 1991).

Lotes em quantidades menores e tempos de setup reduzidos permitem melhor resposta às necessidades dos clientes. (STEFANELLI, 2010). Entretanto, se o tamanho dos lotes aumenta, o número de setup diminui. (CÉSAR et al., 2008). Dessa maneira, as empresas tendem a otimizar seus lotes de produção de acordo com a melhor estratégia, pois o aumento dos lotes também pode resultar em estoques e baixa flexibilidade. Observa-se que quando uma empresa opta por lotes maiores, está enfatizando a eficiência do trabalho e a utilização das máquinas, evitando assim, um número elevado de setups. (WAHLERS; COX, 1994).

O problema é que produtos altamente diversificados apresentam tempos de ciclo diferentes e altos tempos de setup. (VOTTO; FERNANDES, 2014). Contudo, o aumento dos tempos de setup não pode ser visto como um problema causado pela customização, mas sim pela multifuncionalidade dos recursos e do baixo volume de produção resultantes dessa personalização. Nota-se que em um cenário com versatilidade de recursos e tamanho reduzido de lotes, mesmo produtos padronizados tendem a apresentar altos tempos de setup. (VOTTO, 2012).

Outra característica comum no ETO é que os processos produtivos tipicamente não se repetem, são trabalhosos e, além disso, muitas vezes, requerem atividades altamente especializadas. (POWELL et al., 2014). São processos produtivos que exigem habilidades específicas e artesanais. (KONIJNENDIJK, 1994). Wortmann, Muntslag e Timmermans (1997) destacam o alto grau de dependência humana ligada à produção no ETO devido à customização dos produtos ofertados. Segundo o autor, quanto mais customizados forem os produtos, maior será a dependência quanto à experiência dos profissionais envolvidos na solução de problemas.

Os processos de produção em empresas ETO normalmente exigem recursos de capacidade flexíveis, que possam ser utilizados em diferentes tipos de operações. (KONIJNENDIJK, 1994). A fabricação dos componentes ocorre ao longo de linhas funcionais, em máquinas de produção multiuso, levando em conta a incerteza sobre qual produto será produzido e os aspectos característicos deste. (MUNTSLAG, 1994). Dessa forma, os profissionais envolvidos com a fabricação de produtos precisam ser qualificados para operar em máquinas que costumam ser de uso geral, tais como tornos, guilhotinas, soldas, máquinas de corte, etc. (KONIJNENDIJK, 1994).

Além disso, são necessários profissionais qualificados para atender às linhas de montagem. A flexibilidade nessa etapa é conduzida pela existência de uma força de trabalho de profissionais capazes de alternar a produção de um produto para outro. Só assim os tempos de montagem podem ser manipulados, como no processo de engenharia, quando se aloca mais ou menos mão de obra em trabalhos específicos. (KONIJNENDIJK, 1994).

Características típicas do ETO, como complexidade técnica, personalização, ciclos de vida curtos e demanda instável são exemplos de situações em que existe predominância de tarefas manuais. (BOSSSEN et al., 2014). Nesses casos de aplicação, em que o sistema de produção é organizado pelos principais processos de fabricação, que envolvem os setores de corte, estamperia, usinagem, soldagem e montagem, normalmente se costuma exigir qualificação e dedicação dos funcionários nas atividades. Nesse sentido, a força de trabalho

humano empregada nesses sistemas produtivos é mais onerosa. (CARVALHO; OLIVEIRA; SCAVARDA, 2015).

A produção baseia-se essencialmente na experiência dos colaboradores para produção de peças, componentes e produtos específicos para cada cliente. (MOURTZIS et al., 2014). Múltiplas interações de diálogos, medições, esboços, modelos e acessórios em geral, convertem o desejo do cliente em um bem físico original. Contudo, as empresas ETO possuem baixa produtividade, posto que as práticas de trabalho são intensivas, demoradas e, principalmente, caras. (FOX, 2014). Uma vez que o orçamento relativo à mão de obra torna-se muito caro, o número de colaboradores deve ser reduzido e a capacidade restringida. (HICKS; MCGOVERN; EARL, 2001).

Em alguns casos, o alto custo para investir em novos equipamentos para aumentar a capacidade força as empresas a permanecerem com recursos limitados. Quando o valor de compra de um novo equipamento é significativamente maior do que a capacidade de investimento de uma empresa, é preciso aceitar a capacidade do recurso como restrição e tentar explorá-lo da melhor forma possível. (HENDRY, 2010). Portanto, a falta de capital para investimento pode impedir a aquisição de tecnologias consideradas caras, entre outros ativos tangíveis responsáveis pelo aumento da capacidade produtiva no chão de fábrica. (YANG, 2013b). Nesse caso, o plano agregado precisa levar em consideração, além da incerteza nos tempos de operações e nos processos de resposta a flutuações da demanda, as restrições de recursos mantidas pela empresa para o desenvolvimento de múltiplos projetos (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993), pois, no ETO, normalmente a formalização de novos contratos ocorre em um sistema de produção anteriormente ocupado por outros projetos. (MOURTZIS et al., 2014).

Na prática, existem diferentes tipos de recursos necessários para diferentes tipos de operações na produção de componentes para os mais variados projetos. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993). Características de volume e *mix* particulares do ETO implicam em variação dos tempos de ciclo, em altos tempos de setup, em layout funcional e em longo *lead time* de projeto. Além disso, como o ETO produz sob encomenda, não é permitido manter estoques, dificultando o nivelamento da produção. (VOTTO; FERNANDES, 2014).

Como resultado dessas variações e das características do ETO, a ocupação da capacidade produtiva torna-se desbalanceada. Isso exige que os processos produtivos no ETO tenham flexibilidade para lidar com o desbalanceamento da produção. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993). Assim, uma vez que as especificações do cliente são identificadas, uma avaliação da carga potencial imposta aos recursos escassos deve ser realizada antes da aprovação de uma ordem. Em virtude da limitação dos recursos, cuidados devem ser tomados

para evitar a sobrecarga da fábrica na medida em que o prazo de entrega do cliente não pode ser cumprido. (LITTLE et al., 2000).

2.1.4.2 Programação da Produção

No ETO, é preciso habilidades especiais para lidar com a instabilidade da demanda. (ZORZINI; CORTI; POZZETTI, 2008). Nesse tipo de sistema, a demanda flutua consideravelmente. (HICKS; SONG; EARL, 2007). Devido a tais flutuações, a programação no ETO precisa levar em consideração a capacidade limitada dos recursos mantida por decisão da própria empresa. (EARL; SONG; HICKS, 2003). O planejamento de capacidade, nesse contexto, é um aspecto importante, pois se refere ao problema de equilíbrio entre a demanda e a disponibilidade dos recursos em médio prazo. (GADEMANN; SCHUTTEN, 2005). Dado às características da demanda no ETO, a saber, forte variabilidade no *mix* de produção e volume de vendas, tais sistemas produtivos somente conseguem confeccionar seus produtos por encomenda. (OLHAGER, 2003).

Tendo em vista a customização dos produtos por meio da produção sob encomenda, é notável que, no princípio de um projeto, pouco se sabe sobre o processo de produção de cada produto personalizado. (SAIA, 2013). Por essa razão, é difícil prever as quantidades e os tipos de recursos que serão necessários para cumprir a demanda, principalmente porque existem diferentes tipos de recursos que são necessários para atender a diferentes tipos de operações. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993).

No ETO, os equipamentos são universais e, por isso, diferentes produtos podem ser fabricados em um mesmo sistema de trabalho. (HUSEJNAGIĆ; SLUGA, 2015). Como resultado, encontra-se o desajuste da capacidade produtiva, que exige que os processos produtivos sejam flexíveis para lidar com tal desbalanceamento. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993).

Uma vez que os produtos são altamente personalizados e o nível de interação entre o cliente e a empresa é considerável, elevados custos de fabricação são gerados devido à dificuldade de padronização dos processos. (SAIA, 2013). Os produtos são específicos, customizados e produzidos em baixos volumes, muitas vezes em uma única unidade. Dessa forma, os processos não são repetitivos e a mão de obra costuma ser intensiva. (POWELL et al., 2014).

Nas fábricas do ETO, os recursos costumam ser multifuncionais e distribuídos em layouts funcionais. (HUSEJNAGIĆ; SLUGA, 2015). Nesse caso, uma mesma operação pode ser executada em mais de um tipo de recurso, bem como um mesmo recurso pode executar diversos tipos de operações diferentes. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993). Isso significa que o controle da capacidade é complexo, com diferentes rotas para os produtos e variabilidade de tempos de operações. (SAIA, 2013). Portanto, as capacidades de recursos fabris não são ajustadas, e muitos produtos diferentes são fabricados utilizando-se praticamente os mesmos recursos. (HUSEJNAGIĆ; SLUGA, 2015).

Em tal contexto, a estrutura do produto é um dos ativos mais importantes sob o ponto de vista competitivo, porém tais estruturas são complexas, já que cada produto pode ter muitas variantes para atender diferentes necessidades advindas dos clientes. (NI; YARLAGGADA; LU, 2005). Nesse ambiente, as necessidades dos clientes são muito técnicas e específicas. Ao contrário de sistemas do tipo MTS, em que a maioria dos processos é automatizada, no ETO os recursos são mecanizados e as linhas de montagem geralmente são manuais. (RAHIM; BAKSH, 2003b).

O problema se agrava porque as operações de montagem costumam ser realizadas em locais equipados com recursos específicos para cada tipo de produto. Sendo assim, além do trabalho de montar o produto, é preciso coordenar a convergência de peças e componentes de diferentes setores, tornando a gestão da capacidade e dos materiais ainda mais abstrusa devido às esperas. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993).

O padrão de ocupação e disponibilidade de recursos na fábrica do ETO flutua consideravelmente no que diz respeito ao nível e *mix* de atividades, dando origem a variações significativas na utilização de cada um dos recursos ao longo do tempo. (HICKS; BRAIDEN, 2000). Além disso, as sequências e tempos de ciclo dos processos de fabricação variam muito e não permitem um equilíbrio adequado do fluxo de trabalho com os processos produtivos. (MATT, 2014).

Nessa situação, torna-se difícil a tarefa de planejar os recursos da produção devido à natureza dinâmica das restrições no ETO. Isso acontece porque grande parte dos dados relativos a prazos de entrega e tempos de processos precisa ser estimada. Entretanto, os dados históricos muitas vezes são escassos, baseados em pequenas e pouco confiáveis amostragens, devido à dificuldade operacional que existe na coleta de dados precisos das atividades do chão de fábrica. (HICKS; BRAIDEN, 2000).

Essas dificuldades ocorrem porque as empresas do tipo ETO costumam desenvolver seus produtos a partir do zero, construindo-os com base em requisitos personalizados.

Consequentemente, a interação com os clientes é intensiva. (SAHIN-SARIISIK et al., 2014). Isso quer dizer que as especificações dos produtos vão sendo reconhecidas conforme a evolução dos projetos. Os processos produtivos, principalmente em empresas *one of a kind*, não são repetitivos e, além disso, são descontínuos. (CARON; FIORE, 1995).

Cada vez que uma nova ordem é gerada, todo processo de fabricação precisa ser repensado, pois se trata de projeto exclusivo. Nessa situação, o conhecimento aplicado aos processos não costuma ser formalizado e documentado. (FORSMAN et al., 2012). Como consequência, os procedimentos e mapeamentos de processos em sistemas produtivos ETO, em geral, encontram-se em partes, desestruturados e não documentados. (ELGH, 2012). Essa lacuna de informações sobre os processos torna difícil analisar de forma sistêmica as necessidades de recursos e suas disponibilidades. (FORSMAN et al., 2012).

Uma vez que os produtos são personalizados, as peças que os compõem são desconhecidas no início de cada projeto. Assim, o tipo específico de recurso necessário para produção é incerto. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993). Tais particularidades provocam incertezas a respeito das especificações referentes aos processos produtivos, dificultando as estimativas quanto a quantidades e tipos de recursos necessários para o atendimento, com qualidade, dos prazos do cliente. (MUNTSLAG, 1994).

Outra característica do ETO encontra-se nas variações dos tempos de ciclo. Uma vez que os produtos são personalizados de acordo com ordens específicas dos clientes, cada um possui o seu tempo para desenvolvimento e produção. (VOTTO; FERNANDES, 2014). Além disso, o sequenciamento e os tempos de ciclo dos processos de fabricação, por variarem significativamente, acabam por não permitir um equilíbrio adequado dos fluxos de trabalho por meio da produção. (MATT, 2014).

Visto que diferentes operações podem ser executadas em diferentes postos de trabalho (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993), uma determinada atividade pode ser simples o bastante para ocupar pouco tempo da capacidade de um recurso, enquanto outra atividade, dada a complexidade, pode exigir muito tempo do mesmo recurso. O padrão da demanda dos recursos de fabricação varia consideravelmente ao longo do tempo, em termos de nível e *mix* de trabalho. (HICKS; BRAIDEN, 2000).

Com isso, as empresas do ETO estão fadadas a operar com incertezas expressivas quanto aos tempos das operações. (EARL; SONG; HICKS, 2003). O problema é que tais incertezas podem levar a um desalinhamento entre os tempos de atravessamento previstos e os realizados. (HICKS; BRAIDEN, 2000). Portanto, um dos problemas mais comuns associado

aos processos produtivos ETO encontra-se na dificuldade em estimar *lead times* e prazos de entrega com acuracidade. (PANDIT; ZHU, 2007).

Cada produto do ETO requer um conjunto distinto de componentes, declarações de necessidades de materiais e de roteiros de produção. (HUSEJNAGIĆ; SLUGA, 2015). Os produtos são fabricados e montados em pequenas quantidades para clientes com especificações individuais. (GRABENSTETTER; USHER, 2015). Além disso, os produtos fabricados no ETO tendem a ser de natureza complexa, resultando em estruturas de produtos de vários níveis e roteiros, que muitas vezes contêm atividades peculiares. (HICKS; SONG; EARL, 2007).

Dessa maneira, cada atividade é única no ETO, os tempos de operação são desconhecidos e difíceis de ser estimados (GRABENSTETTER; USHER, 2015) e as rotas dos produtos não são padronizadas. (BERKEL, 2010). Ademais, é difícil estimar quantidades e tipos de recursos que serão relevantes para atender às ordens de produção, porque as necessidades de capacidade, em particular, são incertas. (MUNTSLAG, 1994).

Portanto, a situação de produção no ETO difere do cenário em que as empresas produzem para repor estoques. Enquanto nas empresas MTS os produtos e roteiros são conhecidos, e o tempo e a quantidade de demanda são incertas, no ETO o momento e a demanda são eminentes, porém a natureza exata dos produtos e os roteiros desses produtos não são. (WORTMANN, 1995).

Nessa situação, a representação da estrutura do produto torna-se complexa, já que cada produto pode ter muitas variantes com formatos ligeiramente diferentes para atender necessidades distintas. (SAHIN-SARIISIK et al., 2014). Isso significa que as estruturas dos produtos precisam ser definidas conforme a evolução dos projetos, ao longo do tempo. (KRISTIANO; HELO; JIAO, 2015). Os produtos, no ETO, costumam ter estruturas profundas e complexas, com mais de seis níveis (HICKS; BRAIDEN, 2000), que originam muitos subníveis, reservados, principalmente, a processos de montagem. (MCGOVERN; HICKS; EARL, 1999).

Tais estruturas podem ser compostas por milhares de itens, sendo que muitos desses itens são personalizados e, por isso, projetados desde seu princípio. Todavia, materiais para customização desses itens muitas vezes são adquiridos sem o conhecimento detalhado da estrutura do produto porque, com o longo *lead time* dos fornecedores, os materiais precisam ser acionados o mais cedo possível. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993).

Assim, nesse tipo de sistema, normalmente as estruturas dos produtos se encontram, em parte, desestruturadas e não documentadas. (ELGH; POORKIANY, 2012). Os desenhos e as listas de materiais são incompletos. Consequentemente, um dos fatores que contribui para a

ineficiência no ETO são as incertezas causadas pela ausência ou insuficiência de informações referente às estruturas dos produtos, principalmente no que diz respeito aos processos de montagem. (FORSMAN et al., 2012).

Em suma, sistemas produtivos ETO são tipicamente caracterizados por estruturas complexas de produto, trabalho artesanal e mecanizado, equipamentos universais, capacidades desbalanceadas e muitos produtos diferentes fabricados em sistemas de trabalho semelhantes. (HUSEJNAGIĆ; SLUGA, 2015). Quando os recursos são multifuncionais e bastante semelhantes, o arranjo físico costuma ser funcional. Esse modelo é utilizado quando os equipamentos podem ser alocados para produzir diferentes tipos de produtos. (RODRIGUES; OTÁVIO, 2010). Além disso, as próprias características de baixo volume e alta variedade de produtos do ETO, por si sós, implicam a variação de tempos de ciclo, altos tempos de setup e layouts funcionais. (VOTTO; FERNANDES, 2014).

Em termos de disposição da fábrica, as máquinas geralmente podem ser agrupadas em centros de trabalho, quer com base na sua função ou com base na família de produtos que serão processados. Em tais casos, o planejamento pode ser realizado por centro de trabalho, de modo que não é necessário planejar trabalho em máquinas individuais. (KINGSMAN et al., 1996). Desse modo, no ETO, as práticas de negócios se configuram de tal maneira que o planejamento normalmente é feito por setores, sem visibilidade de interações e programação de um departamento para outro. Contudo, o planejamento por silos pode levar ao mau desempenho, sobrecarregando recursos e atrasando prazos de entrega, uma vez que a capacidade é desbalanceada e a programação é desintegrada. (VAIDYANATHAN, 2003).

Outro fator de destaque relativo à complexidade da programação da produção são os sistemas de informações gerenciais. O *Enterprise Resource Planning* (ERP), por exemplo, tornou-se uma ferramenta básica no apoio à gestão eficaz na indústria. (KŁOS; TREBIINA, 2014). Tal ferramenta se trata de uma solução integrada disposta em *software*, que tem por objetivo dar suporte à integração das informações que emanam por meio de uma organização. (DAVENPORT, 1998). O ERP é um sistema de informação que permite o planejamento e a identificação dos recursos necessários à aquisição, fabricação e expedição das ordens do cliente. (KŁOS; TREBIINA, 2014).

Não obstante, um sistema ERP clássico é concebido para atuar preferencialmente nas empresas de produção repetitiva, com produtos previamente testados e aprovados em termos de engenharia e processos produtivos. (CHEN, 2006). Sistemas ERP utilizados na produção frequentemente exigem estruturas de produtos fixas e roteiros operacionais bem definidos. (WILLNER et al., 2014). Em outras palavras, o sistema exige uma lista de materiais (*Bill of*

Material – BOM), para o cálculo de necessidades de materiais (*Material Requirement Planning - MRP*) e um plano de processos para o cálculo da capacidade de recursos (*Resource Capacity Planning - CRP*). (CHEN, 2006).

Dessa maneira, soluções integradas de ERP possuem dificuldades para dar suporte a sistemas produtivos ETO. (HIETALA; PÖTRY; SALMINEN, 2007). Isso se deve ao fato de que os planos referentes aos processos e à lista de materiais nunca estão disponíveis a tempo para serem encaminhados ao planejamento da produção. (CHEN, 2006). Mesmo assim, a maioria das organizações do tipo ETO costuma utilizar esse tipo de sistema de informação. (STEVENSON; HENDRY; KINGSMAN, 2005).

Como a aquisição desses sistemas é um investimento substancial para as empresas (GRABENSTETTER; USHER, 2015), é difícil convencê-las da necessidade de substituir seus sistemas de informação. Infelizmente, a maioria das pesquisas realizadas para as empresas do ETO, recomendam outras abordagens que visam a substituir o ERP. (HICKS; SONG; EARL, 2007). Isso acontece principalmente porque tais sistemas de informação precisam ser estruturados com a indicação de materiais necessários para atender ao plano de produção e compras. (KRISTIANTO; HELO; JIAO, 2015). Logo, sistemas clássicos de ERP não são adequados, visto que não existe a possibilidade de determinar exatamente o que deve ser produzido até que a empresa receba uma ordem, com especificações detalhadas, que deve ser convertida em um bem de consumo. (DENTON, 2002).

2.1.4.3 Controle da Produção

Quando um processo de montagem ocorre nas instalações do cliente, alguns problemas característicos tendem a surgir. Embora grande parte dos estudos que tratam desses problemas esteja voltada à construção civil (MATT; DALLASEGA; RAUCH, 2014), muitas informações são similares a outras empresas do ETO que precisam atuar “*on-site*”, isto é, efetuando a montagem na propriedade do cliente.

Edifícios de grande porte, por exemplo, podem ser afetados por muitos fatores subversivos, como a falta de disponibilidade de recursos, danos materiais e interferências comerciais e de clima. (MATT; DALLASEGA; RAUCH, 2015). Se o desempenho na construção diminui devido a eventos imprevisíveis, o desempenho da produção também precisa ser reduzido, evitando assim, estoques. Caso contrário, é necessário manter o ritmo da produção para evitar que a construção pare. (MATT; DALLASEGA; RAUCH, 2014). Além disso,

quando ocorrem interrupções na etapa de montagem no cliente, atividades agendadas no local são alteradas. Conseqüentemente, algumas tarefas que não agregam valor são verificadas, havendo necessidade de rearranjo de materiais e equipamentos. (MATT; DALLASEGA; RAUCH, 2015).

Empresas que trabalham com bens de capital não seriados sob encomenda, muitas vezes se deparam com problemas parecidos. A diferença é que na construção civil as etapas de produção e montagem muitas vezes se confundem no canteiro de obras. Já na produção de equipamentos e máquinas customizadas, a produção é feita, quando não terceirizada, nas propriedades da própria empresa. Nesse caso, é preciso destacar que quanto mais sofisticado e inovador for o produto ofertado, maior é a necessidade de subcontratar peças e componentes, aumentando o problema de coordenação. (MELLO; STRANDHAGEN; ALFNES, 2015a).

Uma vez considerado pronto, o produto é montado e testado na base. Após, o produto é desmontado em partes, normalmente em grandes módulos, para facilitar o processo de remontagem no cliente e também o transporte do produto. Logo, quando a montagem ocorre no cliente, é porque pelo menos os principais componentes do produto já foram produzidos. Nesse caso, os esforços de desenvolvimento do produto no ETO concentram-se na pré-fabricação e pré-montagem, objetivando que o produto esteja pronto, tanto quanto possível, antes que os elementos cheguem ao local, evitando impactos negativos durante o processo de montagem final no cliente. (MATT; DALLASEGA; RAUCH, 2015).

No ETO as encomendas costumam chegar de forma aleatória e quase sem repetições. Não se sabe ao certo quando uma nova ordem será inserida na produção e tampouco se conhecem as especificações necessárias do produto. (VRABIČ; HUSEJNAGIĆ; BUTALA, 2012). Além disso, o ETO é confrontado com uma série de problemas relacionados com as atividades produtivas, tais como atrasos no fornecimento, falha de máquina, falta de ferramentas, saúde dos colaboradores, etc. (HUSEJNAGIĆ; SLUGA, 2015). No entanto, esses problemas tendem a ser relativamente menos importantes, pois dificilmente repercutem na reprogramação das atividades. Na prática, as atividades de reprogramação da produção e reescalonamento da mão de obra no ETO são atribuídas, quase sempre, à chegada de novas ordens. (HICKS; SONG; EARL, 2007).

No ETO, os fornecedores de materiais e componentes são contatados sempre que uma nova ordem de produção é inserida. (ELGH; POORKIANY, 2012). Tal cenário ocorre em razão das muitas incertezas a respeito das ordens até que estas sejam compreendidas pela engenharia de modo a formalizar as especificações em documentos e desenhos que possam ser decifrados pela produção. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993). Para agravar essa situação, nesses

sistemas, o número de componentes padronizados é limitado e a quantidade necessária é abundante, podendo chegar a milhares de itens. (GELDERS, 1991).

As empresas do tipo ETO oferecem produtos personalizados. Dessa forma, uma das características marcantes desses sistemas é não trabalhar com estoques. (MOLINA; VELANDIA; GALEANO, 2007). A produção sob encomenda, por natureza, não permite manutenção de estoques, independente da etapa do processo (almoxarifado, produção e expedição). (VOTTO; FERNANDES, 2014). Portanto, não é possível trabalhar com estoques e satisfazer imediatamente as necessidades específicas de cada cliente. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993).

Conseqüentemente, não existe nenhum inventário em termos de produtos acabados e de matérias-primas geralmente adquiridas para um determinado projeto. (MATT, 2014). Para um fabricante ETO, os produtos são os resultados finais de cada projeto e, portanto, são temporários e únicos. Posto que cada projeto é composto por elementos originais, os níveis de estoque costumam ser baixos. (YANG, 2013b). Nesse caso, a utilização de estoques para responder a eventuais lacunas de capacidade no atendimento à demanda, processo comumente aplicado em outros tipos de sistemas, não é uma opção viável no ETO. (CARVALHO; OLIVEIRA; SCAVARDA, 2015).

A gestão da cadeia de suprimentos é um problema crítico para empresas de engenharia sob encomenda, como as de construção civil, construção naval e bens de capital. (HICKS; MCGOVERN; EARL, 2000). Tais problemas enfrentados pela gestão da cadeia de suprimentos no ETO são amplamente reconhecidos na literatura. (GOSLING et al., 2014). É natural que a complexidade dos produtos ofertados por essas empresas acarrete a união de uma gama diversificada de parceiros especializados, para trabalharem juntos no atendimento às necessidades individuais de cada cliente. (WORTMANN, 1992). Tal medida é importante porque dificilmente empresas do tipo ETO, principalmente pequenas e médias empresas, detêm toda a tecnologia necessária para confecção completa dos itens de uma determinada estrutura de produto. (JOHNSSON, 2013).

Assim, no ETO, mais de 75% do custo total em peças e componentes procede da terceirização. (HICKS; MCGOVERN; EARL, 2000). O problema dessa situação é que os parceiros costumam utilizar diferentes sistemas de ERP e CAD, muitas vezes incompatíveis com a empresa líder do projeto. Nesse caso, a solução encontrada pelas empresas está na utilização do correio eletrônico, a maneira mais comum de compartilhar os dados dos projetos. (MELLO; STRANDHAGEN; ALFNES, 2015a)

A troca de informações pode ser um problema quando os parceiros não possuem banco de dados integrado. (MELLO; STRANDHAGEN; ALFNES, 2015b), ainda mais quando a despadronização dos componentes e a grande quantidade de itens e fornecedores precisam ser gerenciadas. (GELDERS, 1991). Sendo assim, a gestão da cadeia de suprimentos é tarefa difícil devido à baixa visibilidade de processos e decisões em curso para diferentes parceiros do projeto. (MELLO; STRANDHAGEN; ALFNES, 2015a).

A evolução natural dos projetos pode ser impactada por atrasos e/ou deficiências na entrega de materiais, componentes e peças por fornecedores e parceiros. (HUSEJNAGIĆ; SLUGA, 2015). Os atrasos são controlados pelo tempo, e a deficiência é medida pela falta ou pelo excesso de itens comprados erroneamente. Um dos principais motivos para atrasos e deficiências se encontra na própria gestão da cadeia de suprimentos, pois no ETO existe a dificuldade de gerenciar e coordenar múltiplos fornecedores para que as entregas sejam feitas no prazo e nas quantidades corretas. (GOSLING; NAIM, 2009).

Como agravante, a aquisição dos materiais no ETO ocorre apenas depois da liberação da ordem de produção pela engenharia. (ELGH; POORKIANY, 2012). Desse modo, o momento de adquirir determinados itens pode, de saída, estar comprometido pelo fato de que o prazo estipulado pelo fornecedor, às vezes, é maior do que o necessário. Outras vezes, os prazos ofertados são satisfatórios, mas os fornecedores não conseguem atender conforme prometido. (CHEN, 2006).

Na tentativa de evitar atrasos, uma vez que a capacidade de resposta do fornecedor nem sempre é adequada, os materiais e componentes devem ser adquiridos o mais cedo possível. No entanto, dado a necessidade de antepor as compras devido aos *lead times* do fornecedor, muitas vezes materiais são adquiridos sem o conhecimento detalhado da estrutura do produto. (SAIA, 2013). Assim, alguns materiais podem ser comprados em quantidades erradas. Outros podem ser adquiridos e não ser utilizados futuramente. Por conta de uma documentação errada ou incompleta, componentes podem chegar no prazo, mas com defeitos de fabricação, ou ainda com especificações diferentes do necessário. (MELLO; STRANDHAGEN; ALFNES, 2015b). Além disso, a qualidade dos itens adquiridos pode variar de fornecedor para fornecedor. (WILLNER et al., 2014).

Assim, tendo em vista a probabilidade de falta de qualidade em produtos fornecidos e subcontratados e na execução dos processos produtivos do ETO, uma das etapas essenciais é composta pelos mais variados tipos de testes nos produtos. (KONIJNENDIJK, 1994). Baterias de testes são vitais para conferir a consistência do produto antes da entrega ao cliente. (SILVENTOINEN et al., 2014). Os produtos são testados na última etapa do processo, que

ocorre somente após a produção e a montagem. Isso se deve ao fato de que normalmente não é possível executar os ensaios antes que o produto esteja completamente pronto. (KONIJNENDIJK, 1994).

Os testes têm por finalidade verificar se o produto atende por completo às exigências do cliente. Em alguns casos, existe a chance de que um produto, ou parte dele, possa não ser produzido de acordo com as estimativas técnicas iniciais. Em tal situação, normalmente são necessárias mais horas de trabalho do que as estimadas na etapa de formalização do contrato (MUNTSLAG, 1994), porque os testes podem levar a reparos ou trabalhos adicionais nos processos de produção e montagem. (KONIJNENDIJK, 1994).

É possível afirmar que longos atrasos e retrabalhos são comuns no desenvolvimento de grandes projetos, uma vez que produtos exclusivos requerem inúmeros refinamentos ao longo da execução. (CARON; FIORE, 1995). Cada detalhe do produto definido na fase de concepção do projeto pode mudar a qualquer momento, mesmo que os principais esforços da engenharia se voltem a evitar retrabalhos futuros. (PERO; STÖSSLEI; CIGOLINI, 2015). Retrabalhos devido a refinamento dos projetos, a erros de configurações e execução, entre outros, fazem com que parte da capacidade seja consumida, resultando em atrasos. (CARON; FIORE, 1995). O retrabalho, além de repercutir em atrasos e aumento de custos, também costuma gerar conflitos, decepções e desconfiança entre os parceiros do projeto. (MELLO; STRANDHAGEN; ALFNES, 2015a).

Nesse sentido, a capacidade de controlar a produção no ETO é considerada baixa. (KONIJNENDIJK, 1994). O controle da produção é visto como complexo devido à estrutura do produto, ao fluxo produtivo e à situação multiprojeto existente. (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993). No ETO, existem situações de imprevisibilidade no processo de produção (roteiros) e problemas de engenharia específicos, que são descobertos somente durante a fabricação (especificações). (KONIJNENDIJK, 1994). Nesse contexto, as informações, quando não suficientemente detalhadas, levam a suposições, criando riscos de retrabalho e de revisões. (GUSTAFSSON, 2012). Consequentemente, as incertezas costumam levar a reparos e trabalhos adicionais, distorcendo os *lead times* estipulados nas fases iniciais dos projetos. (KONIJNENDIJK, 1994).

Além disso, nesse ambiente é comum o gerenciamento de múltiplos projetos e de inúmeros parceiros ao mesmo tempo, o que também dificulta o controle produtivo. A complexidade de tais produtos, muitas vezes, requer a união de uma gama diversificada de empresas especializadas para trabalhar em conjunto para atender às necessidades individuais de cada cliente. (GOSLING et al., 2014). Mais de 90% das empresas do tipo ETO lidam com

mais de um projeto por vez, e estes competem entre si pelos mesmos recursos limitados. (GOSLING et al., 2007).

Entre outros aspectos, o controle de produção precisa ser executado em coordenação com o marketing, pois tem um impacto direto sobre os prazos de entrega e a aceitação do pedido. O controle é uma função de gestão de prioridades e capacidade medido por três objetivos: maximizar o serviço ao cliente, minimizar custos e melhorar continuamente a eficiência operacional. (REYES; RAISINGHANI, 2002). No entanto, esses objetivos devem ser alcançados levando em consideração que mais de um projeto pode ser trabalhado simultaneamente, a qualquer momento, resultando em um ambiente multiprojetado. (GOSLING et al., 2007). Isso significa que o problema relativo à imprevisibilidade dos *lead times* e à gestão de recursos externos tende a agravar, pois o ETO consiste em uma situação multiprojetado cuja natureza exata de cada projeto torna-se evidente somente no final, na entrega do produto ao cliente. Isso significa que cada etapa somente é detalhada precisamente conforme a evolução dos processos produtivos. (WORTMANN, 1995).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos costumam ser subdivididos em delineamento de pesquisa e método de trabalho. O delineamento de pesquisa diz respeito à estratégia de condução da pesquisa ao longo de um processo de raciocínio. Trata-se do planejamento do estudo em sua maneira mais ampla. (GIL, 2008). Desse modo, o método de trabalho procura detalhar as ações executadas ao longo da construção de uma pesquisa, indicando o roteiro que deve ser seguido para alcançar os objetivos. (MARCONI; LAKATOS, 2010).

Tais procedimentos metodológicos – delineamento e método – empregam técnicas e ferramentas que devem ser consideradas na produção do conhecimento científico. Destarte, o procedimento metodológico deve abordar o tipo de estratégia utilizada para condução de uma investigação científica. Somente com os procedimentos explícitos é possível para os interessados julgar a solidez e adequação no emprego da metodologia. (ELLRAM, 1996). Um exemplo de estratégia sólida e consolidada na literatura é a analogia do pêndulo, apresentada na Figura 4.

Figura 2 – Estratégia do Pêndulo



Fonte: Dresch, Lacerda e Antunes (2015, p. 16).

O pêndulo apresenta sete esferas (etapas) que precisam ser definidas para a realização de uma pesquisa científica. (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015). As primeiras quatro etapas são decisões que dizem respeito ao delineamento de pesquisa, enquanto as três últimas se encontram explícitas no método de trabalho.

3.1 DELINEAMENTO DE PESQUISA

A primeira decisão para a condução de uma pesquisa, conforme a estratégia do pêndulo, é encontrar as razões pelas quais se pretende realizá-la. O problema precisa ser motivador e interessante, e a sua solução tem de ser útil para a comunidade envolvida. (HEVNER et. al., 2004). Nesse momento, o pesquisador busca evidenciar a essência de seu trabalho. Argumenta o quão problemática é uma situação e justifica porque se está gastando tempo e dinheiro em um determinado assunto. Essas razões dizem respeito à relevância do estudo e do problema de pesquisa, e são apresentadas, normalmente, na introdução de um relatório científico. (HEVNER et. al., 2004).

Na segunda esfera, são revelados os objetivos da pesquisa. Dentre os objetivos, o pesquisador pode desejar explorar, descrever, explicar ou prever comportamentos, bem como prescrever ou projetar um novo artefato. (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015). O objetivo alcançado significa, na prática, que o problema de pesquisa foi solucionado. Dessa forma, o objetivo geral, em conjunto com os objetivos específicos, deve nortear a estratégia de pesquisa para solução do problema. Uma vez que as esferas restantes estão todas direcionadas à conquista desses objetivos, só após a compreensão e a conscientização deles é que as demais esferas podem ser definidas. (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015).

Sendo assim, em busca do atendimento dos objetivos previamente traçados, a terceira esfera sugere a definição do método científico. Dentre os métodos existentes, o método abduutivo é o mais adequado para alcançar objetivos que possuem a pretensão de prescrever e/ou projetar algo novo. Isso porque o processo de abdução é o único método que propicia a proposição de novas ideias. (FISCHER; GREGOR, 2011).

O método abduutivo também permite compor outros métodos. (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015). Tal composição é essencial, uma vez que, a partir da apresentação de uma nova ideia, ela precisa ser avaliada e, nesse caso, o método mais adequado é o dedutivo. Finalmente, na tentativa de generalizar os resultados de uma pesquisa para uma determinada classe de problemas, o método sugerido seria o indutivo.

Enquanto o método dedutivo propõe, por intermédio de várias premissas, a dedução de uma informação particular, da qual se pode obter uma conclusão, o método indutivo é fundamentado pela inferência de ideias que surgem a partir de dados previamente constatados ou observados empiricamente. (BOAVENTURA, 2011). Como consequência, embora o principal método científico, devido ao foco desta pesquisa, seja o método abduutivo, entende-se

que os processos dedutivo e indutivo estarão presentes ao longo de todo processo e, por isso, também precisam ser considerados.

A quarta e última esfera do delineamento apresentada pela estratégia do pêndulo é a escolha do método de pesquisa. Métodos de pesquisa consistem em um conjunto de procedimentos e regras, aceitos pela comunidade acadêmica em prol da construção do conhecimento científico. (ANDERY, 2004).

Definir o método que conduzirá a pesquisa e justificar a escolha, segundo Dresch, Lacerda e Antunes (2015), pode auxiliar o pesquisador a alcançar seus objetivos e, finalmente, a solucionar o problema da pesquisa. Dessa maneira, uma análise contrária, que parte dos objetivos de encontro ao método de pesquisa, deveria ser suficiente para auxiliar na escolha do método.

Assim, ao analisar o objetivo geral deste documento, fica claro que para projetar um modelo com foco de pesquisa, é necessário um método que auxilie na investigação e no desenvolvimento de um artefato novo. Como resultado, a partir de uma análise dos objetivos pré-definidos e de pressupostos referentes a possíveis ações que deverão ser executadas, o método de pesquisa proposto por este trabalho será composto pela *Design Science Research* (DSR).

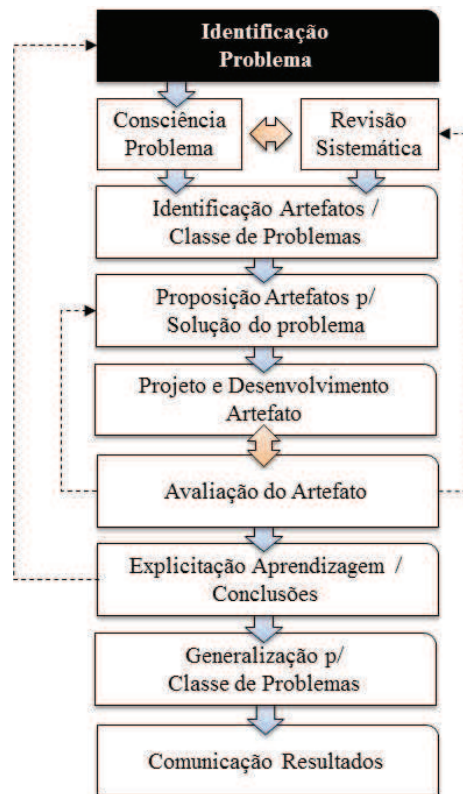
Em suma, uma vez definidas as razões para a pesquisa e os objetivos deste trabalho, a decisão pelo método científico abduativo justifica-se pela proposta de desenvolvimento de um novo artefato. Além disso, a escolha do método abduativo não é um empecilho para trabalhar com outros métodos científicos, até porque métodos dedutivos e indutivos precisarão estar presentes, principalmente para avaliar o artefato proposto. Dito isso, a DSR parece contemplar tal necessidade de pesquisa, uma vez que o método abduativo é uma das suas principais características, tendo em vista a pretensão de atender a requisitos para alcançar objetivos que dizem respeito à construção de um novo artefato.

3.1.1 Design Science Research

A DSR justifica-se por auxiliar pesquisas no desenvolvimento do conhecimento e na construção de novos artefatos. (VAN AKEN, 2004). Esse método de pesquisa não almeja alcançar teorias notáveis ou leis gerais, mas identificar e compreender problemas práticos, além de propor soluções úteis e adequadas à evolução do conhecimento prático e teórico da área em estudo. (HEVNER et al., 2004).

O processo de planejar e criar um artefato a partir da utilização do conhecimento, realizado de forma rigorosa, cautelosa e sistemática, pode ser considerado como pesquisa. (MANSON, 2006). Nesse sentido, os passos para condução do método de pesquisa por meio da DSR são apresentados na Figura 3.

Figura 3 – Passos da DSR



Fonte: Dresch, Lacerda e Antunes (2015, p. 125).

O processo se inicia, conforme Dresch, Lacerda e Antunes (2015), pela identificação do problema. O problema a ser investigado surge a partir do interesse do pesquisador em: a) encontrar uma resposta a uma questão interessante; b) encontrar uma solução para um problema prático; ou c) encontrar uma solução para uma classe de problemas.

O passo de conscientização do problema, como o próprio nome sugere, é o momento em que o pesquisador busca uma melhor compreensão daquilo que será estudado. Para isso, procura o máximo de informações possíveis. (DRESCH, 2013). Essas informações vêm da coleta de dados em campo e de revisões sistemáticas na literatura.

O terceiro passo busca identificar quais artefatos existentes na literatura podem contribuir para a proposta de um novo artefato. Observa-se que artefato é tudo aquilo que não é natural, que é construído pelo ser humano. (SIMON, 1996). Esses artefatos variam entre

construtos, modelos, métodos e instanciações. (MARCH; SMITH, 1995). Para facilitar a compreensão, a visualização e a comparação dos artefatos, a definição de cada conceito é resumida no Quadro 2.

Quadro 2 – Tipos de artefatos

ARTEFATO	DEFINIÇÃO
Constructo	Vocabulário de um domínio; Utilizado para resolver problemas e especificar soluções.
Modelo	Conjunto de proposições ou declarações que expressam relações entre construtos; Representativos da realidade; Descrevem como as coisas são.
Método	Composto de etapas e procedimentos para realizar uma tarefa.
Instanciação	Aplicação de um artefato no ambiente para o qual foi desenvolvido.

Fonte: Adaptado de March e Smith (1995).

O quarto passo diz respeito à proposição de artefatos para resolução do problema. Nesse ponto, segundo Dresch, Lacerda e Antunes (2015), o pesquisador utiliza o raciocínio lógico para melhor compreender o contexto atual, em que existe um problema e suas possíveis soluções. Esse processo tem, em sua essência, a criatividade e, por isso, nesta etapa do processo, o raciocínio é abduativo.

Nos passos cinco e seis, o raciocínio passa do abduativo ao dedutivo. Na fase de projeto e desenvolvimento, as informações, inicialmente, são classificadas para auxiliar na confecção do artefato. Entretanto, ao avaliar, o pesquisador deve julgar se o novo artefato proposto é satisfatório à solução do problema de pesquisa ou não. (LACERDA et al., 2013).

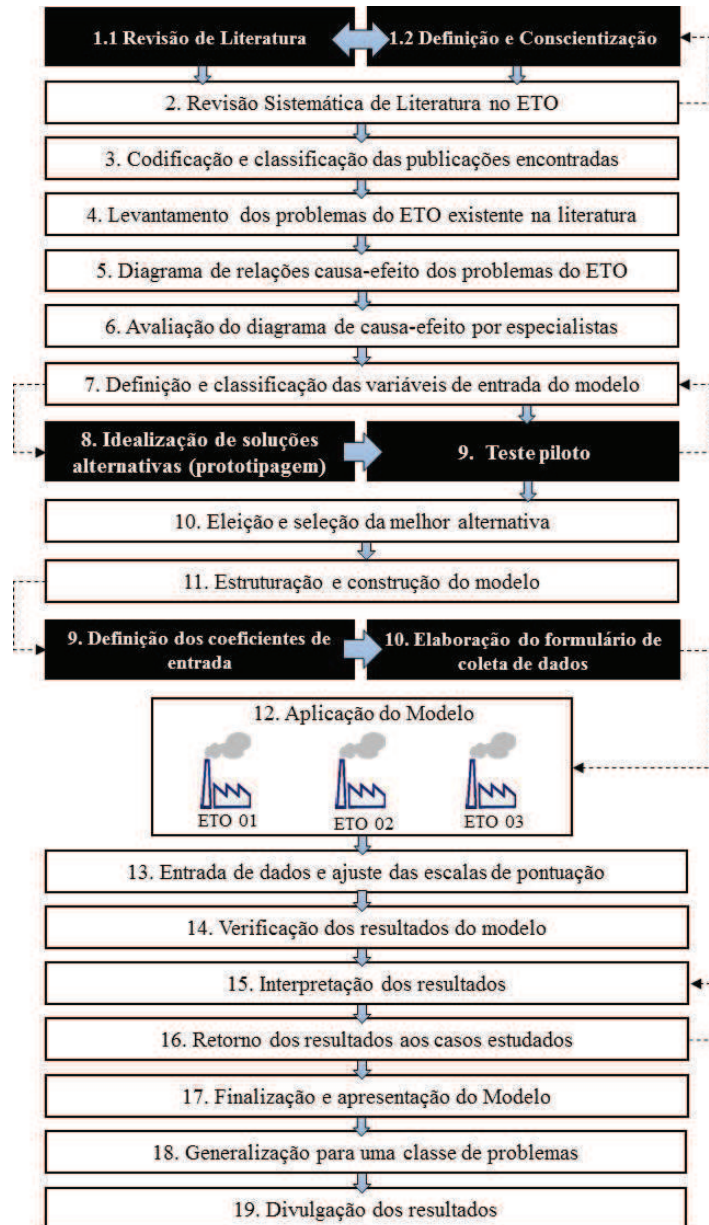
Do sétimo ao último passo da DSR, o pesquisador se prepara para explicitar e concluir os resultados do trabalho. Uma das conclusões propostas por este método está na generalização do artefato construído a partir de uma determinada classe de problema, por intermédio de um processo de raciocínio indutivo. (DRESCH, 2013). Sendo assim, após conclusões e generalização do artefato proposto, a comunicação dos resultados pode ser concebida.

3.2 MÉTODO DO TRABALHO

Segundo Marconi e Lakatos (2010), o método de trabalho pode ser considerado uma sequência lógica das etapas que devem conduzir uma investigação de pesquisa. Essa sequência lógica é constituída por atividades técnico-científicas que precisam ser executadas em busca

dos objetivos e da solução do problema de pesquisa. A Figura 4 ordena, de maneira lógica, as atividades que devem ser desempenhadas para entrega do modelo proposto nos objetivos deste trabalho.

Figura 4 – Método de trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor

A primeira etapa do método de trabalho é a Revisão de Literatura. Uma pesquisa em teses e artigos científicos foi conduzida em busca de definição e conscientização de um problema de pesquisa. Em situações como essa, o investigador é estimulado a conhecer mais

sobre um determinado assunto, e por fim, a verificar lacunas existentes sobre esse tema que possam ser exploradas em pesquisas.

Após definir e delimitar o interesse desta pesquisa em relação aos problemas gerenciais apresentados pela indústria de bens de capital inserida no sistema produtivo ETO, a próxima etapa foi pesquisar, em um nível mais detalhado, esses assuntos. Para tanto, a segunda etapa do método abordou uma Revisão Sistemática de Literatura no ETO.

De acordo com Morandi e Camargo (2015), a Revisão Sistemática de Literatura (RSL) é fundamental em pesquisas científicas, uma vez que o pesquisador precisa estar suficientemente embasado sobre o que foi e o que não foi pesquisado sobre o assunto. Para atender a essa etapa, os estágios da RSL foram decididos conforme protocolo apresentado pelo Quadro 3.

Quadro 3 – Protocolo RSL

DEFINIÇÕES	DECISÃO
Framework Conceitual	Problemas de gestão em sistemas produtivos ETO
Contexto da Pesquisa	Sistemas produtivos ETO na indústria de bens de capital
Horizonte de Publicações	Sem limitações
Correntes Teóricas	Sem limitações
Idiomas Pesquisados	Inglês e Português
Questões de revisão	Quais são os problemas existentes no ETO?
Estratégia de Revisão	Configurativa
Critérios de Busca	Apenas publicações que contenha estudo referente ao ETO
Termos de Busca	Engineer-to-Order
Fontes de Busca	CAPES, EBSCO e Google Acadêmico

Fonte: Adaptado de Morandi e Camargo (2015).

Considerando o problema e o objetivo desta pesquisa, o framework conceitual e o contexto de pesquisa foram definidos. Devido à amplitude do tema, considerou-se necessário não limitar o horizonte das publicações, bem como as correntes teóricas que abrangem o tema. Dessa forma, toda publicação, independente da data e do assunto, mas com foco no ETO, foi selecionada.

A busca por publicações foi realizada em inglês e português. A pesquisa em inglês foi feita em função de a referida língua abranger grande parte das publicações sobre o assunto, e a

busca em português foi realizada pelo fato de esta ser a língua de origem do autor. Devido à amplitude da busca retratada pela questão de pesquisa, a estratégia de revisão foi do tipo configurativa. Tal estratégia envolve questões abertas com a finalidade de gerar e explorar a teoria pelo método indutivo.

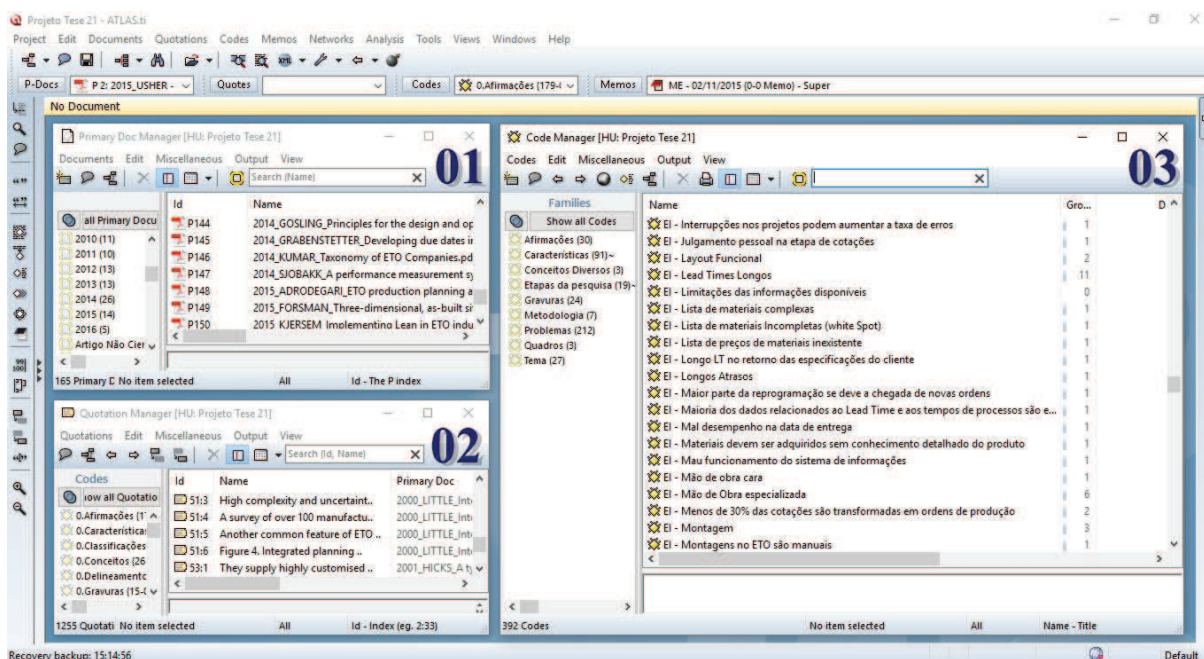
Na sequência, como critério de busca, delimitou-se a pesquisa a publicações referentes ao ETO. Isso significa que todo e qualquer material que de certa forma retrate o ETO como ambiente de estudo foi selecionado. Logo, para atender a esse critério, os termos-chave de pesquisa foram delimitados aos do sistema produtivo do tipo ETO.

Assim, verificou-se que o termo *Engineer-to-Order* era o mais adequado para busca, tanto na língua inglesa quanto na portuguesa. Mesmo depois de ler parte dos artigos encontrados e outras publicações não científicas, em nenhum momento encontrou-se algum termo semelhante que também pudesse remeter ao assunto pesquisado, com exceção da sigla “ETO”, que é bastante utilizada. Entretanto, o termo “ETO”, em si, remete a inúmeras siglas de outros assuntos que não fazem sentido a esta pesquisa.

As bases pesquisadas foram EBSCO, CAPES e Google Acadêmico. Estas incorporam os principais periódicos envolvidos com o tema proposto. Nesse ponto, o objetivo foi conseguir acesso ao maior número de publicações possível que considerassem sistemas produtivos do tipo ETO. Para tanto, todos os títulos apontados pelos sistemas de busca na internet foram lidos. Os que certamente não faziam parte do contexto do ETO foram eliminados. Depois, foram estudados os resumos de todos os artigos sobre os quais restava alguma dúvida, e mais uma vez os que não faziam sentido foram descartados. Por último, alguns artigos foram retirados da pesquisa a partir da leitura do texto completo, até restarem 175 publicações capazes de contribuir com esta pesquisa.

Todas essas publicações, na versão digital, foram carregadas para o *software* de pesquisa ATLAS.ti. Esse *software* visa a auxiliar o pesquisador a organizar e registrar dados, além de possibilitar o acompanhamento dos registros efetuados, contribuindo para a análise posterior de dados empíricos (FREITAS, 2016). A Figura 5 ilustra a tela principal do *software* ATLAS.ti, subdividida em três painéis menores. O painel 1 demonstra os artigos e periódicos organizados; o painel 2 revela a lista de pequenos trechos da literatura que foram destacados durante as pesquisas realizadas; e, por fim, o painel 3 mostra a lista de problemas, também conhecidos por efeitos indesejáveis, codificados a partir de uma pesquisa em profundidade nos artigos científicos encontrados junto com os demais tipos de publicações.

Figura 5 – Organização dos dados RSL



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Ao final da etapa de codificação e classificação das publicações, obteve-se acesso, a partir do ATLAS.ti, a uma lista contendo todos os efeitos indesejáveis codificados no processo de leitura do material bibliográfico do ETO. No total, 212 efeitos indesejáveis foram encontrados e codificados. Depois de filtrar os efeitos indesejáveis para códigos duplicados (redundantes), 179 efeitos foram selecionados, um a um, para futura construção do diagrama de relações de causa-efeito do ETO.

Ao encerrar o processo de codificação, de classificação e de levantamento da lista de problemas específicos do ETO, foram concluídas as etapas três e quatro propostas pelo método. Já na quinta etapa, assim que a lista de problemas pertinentes à literatura do ETO foi extraída do ATLAS.ti, iniciou-se o processo de construção do diagrama de relações de causa-efeito do ETO. O diagrama foi construído com o auxílio da Árvore da Realidade Atual (ARA), um artefato que tem por finalidade compreender as relações de causalidade existentes a partir de um conjunto de efeitos indesejáveis. Tal artefato é apresentado na última seção deste capítulo.

Buscando entender os problemas recorrentes de sistemas produtivos ETO, afirmações e trechos evidenciados em cada uma das publicações selecionadas com auxílio do ATLAS.ti foram recodificadas e correlacionadas em uma rede de efeitos indesejáveis, visando à possibilidade de uma compreensão holística dos problemas existentes no ETO. Dessa maneira, por intermédio do processo de construção do diagrama de relações, os efeitos indesejáveis foram lapidados e estudados. Para isso, os 179 efeitos indesejáveis encontrados na literatura

foram relacionados um a um em uma estrutura inicial que pode ser visualizada no ANEXO IV. Nesse processo, uma variável foi adicionada à estrutura para representar o problema central (EI#101). Tal estrutura foi apresentada à banca de qualificação e aos orientadores que, por sua vez, sugeriram que o diagrama deveria ser integrado. Como a primeira versão encontrava-se dividida em setores (Marketing, Engenharia e Produção), segundo orientação, a ARA proposta até esse ponto não era adequada para atender ao objetivo do pesquisador.

Sendo assim, uma nova ARA, desta vez integrada, foi construída e proposta aos orientadores desta pesquisa. A nova estrutura reduziu os efeitos indesejáveis (EIs) de 179 para 84, em função da eliminação dos efeitos indesejáveis duplicados com a anterior divisão de setores. Como exemplo, é possível citar o efeito indesejável que corresponde ao problema da mão de obra onerosa. Na primeira versão, duas variáveis referenciavam esse problema, pois a mão de obra, nesse tipo de sistema, é cara tanto para o departamento de engenharia quanto para o de produção.

Diante dessa transformação do diagrama de relações, os orientadores foram acionados novamente. Depois que a ARA foi avaliada por eles, iniciou-se o processo de avaliação da estrutura com os especialistas. No final de todo o processo, a partir de indicações de experiências do cotidiano, ou seja, do posicionamento dos especialistas, 15 efeitos verificados na prática foram adicionados. A lista dos efeitos classificados é detalhada no próximo capítulo deste trabalho.

O ANEXO I desta tese ilustra a estrutura obtida a partir da construção do diagrama de relações de causa-efeito dos problemas do ETO. No total, foram 99 efeitos indesejados conectados logicamente, 84 baseados nos problemas encontrados na literatura e 15 nas observações dos especialistas. Dessa maneira, com exceção das 15 variáveis adicionadas pelos especialistas, principalmente por insuficiência de causa, no referencial teórico é possível comprovar a existência dos efeitos indesejáveis que compõem a ARA.

A ARA também é detalhada, no formato de texto, na primeira seção do capítulo de desenvolvimento desta pesquisa, tratando-se efeito por efeito e suas relações. A construção do diagrama em paralelo com o desdobramento do referencial auxiliou, em parte, a própria avaliação do diagrama. Isso acontece porque a lista de efeitos, em si, já foi evidenciada no processo de construção do referencial teórico. Tendo em vista que os efeitos encontrados foram codificados a partir de publicações do ETO, o próprio referencial teórico é uma prova de que os efeitos foram, em algum momento, relatados na bibliografia.

Contudo, a estrutura de relações proposta pelo diagrama necessitou ser avaliada. Dessa maneira, a sexta e próxima etapa descrita pelo método de trabalho é a avaliação do diagrama

de relações causais estruturado previamente pelo autor. As avaliações foram feitas a partir do conceito de especialistas. Uma maneira científica de avaliar artefatos é apresentá-los a pessoas que conhecem e dominam os assuntos e conteúdos pertinentes e necessários ao seu desenvolvimento. (TREMBLAY; HEVNER; BERNDT, 2010).

Tal técnica é adequada tendo em vista a possibilidade de ser utilizada tanto para avaliação quanto complementação no desenvolvimento do artefato. A participação de especialistas aquece as discussões e aprofunda o tema devido à colaboração de pessoas que dominam e possuem percepções diferentes sobre o assunto. (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015).

Com isso, pode-se dizer que o foco da avaliação do diagrama causal transcorreu nas relações entre os problemas definidos quase que exclusivamente pela interpretação do autor diante da leitura dos artigos. Embora as relações também tenham se originado das publicações, muitas dessas relações não foram afirmadas diretamente no texto, e sim defendidas dentro de uma análise de contexto. Logo, a má interpretação do pesquisador ou até mesmo a má interpretação do próprio autor da bibliografia em estudo, poderia comprometer a veracidade da ARA.

Dessa maneira, uma avaliação descritiva foi utilizada para validar as relações definidas no diagrama de causalidade. Tal avaliação buscou compreender a lógica por trás do diagrama desenvolvido. As avaliações ocorreram individualmente com cada um dos especialistas. Segundo Tremblay, Hevner e Berndt (2010), a participação de especialistas na avaliação de artefatos é fundamental, pois além de avaliar, eles também auxiliam no processo de melhoria e incremento, quando necessário.

Nesse processo, as relações foram avaliadas e refinadas, uma a uma. O processo de refinamento contou com a participação de cinco especialistas, cada qual com sua experiência, porém todos versados em sistema produtivo ETO quando inseridos na indústria de bens de capital. É necessário frisar que o número de especialistas participantes do processo de avaliação não foi uma escolha. A partir do terceiro especialista, percebeu-se que as alterações se encontravam nas relações e não mais em adição de variáveis. Já subtrações de variáveis, conforme encontrado na literatura, não foram necessárias. Todos os especialistas concordaram com os efeitos expostos pela literatura. Dessa forma, durante a avaliação, o diagrama foi amadurecendo, sendo que não se verificou a necessidade de reavaliar tal estrutura com mais do que cinco colaboradores.

O diagrama da ARA foi apresentado aos especialistas em épocas e maneiras diferentes. Dois especialistas participaram das reuniões presencialmente. A ARA foi projetada em

multimídia em uma sala, e as relações foram lidas de baixo para cima. Outros dois especialistas conheceram a ARA por meio de uma tela do computador compartilhada em videoconferência. Já o quinto especialista que auxiliou na validação da ARA não precisou ser capacitado em relação à ferramenta por dominá-la na prática e em sala de aula, como professor. Sendo assim, o último especialista recebeu, por Sedex, uma versão do diagrama plotado em folha A0, em função de legibilidade. Nesse caso em específico, o especialista fez as avaliações à parte, e um encontro virtual foi agendado para discutir apenas o que foi observado por ele.

Como a única maneira de verificar a consistência entre relações causais é apresentar o diagrama para pessoas que não participaram do processo de construção (NORREN; SMITH; MACKE, 1996), encontros foram agendados, mais de uma vez, com cada um dos especialistas. A finalidade desses encontros foi verificar a consistência de cada uma das relações existentes na ARA, avaliar a falta ou excesso de efeitos indesejáveis e discutir a possibilidade de insuficiência de causa nas relações entre os EIs. Todo esse processo foi necessário para que eventuais erros lógicos não percebidos pudessem ser corrigidos.

Depois, na sétima etapa do método, os efeitos indesejáveis foram categorizados. Para tanto, cada uma das variáveis presentes na ARA foi estudada e selecionada para participar ou não do modelo de diagnóstico. No final desse processo, cinco categorias foram definidas e 36 variáveis foram segregadas para a construção do modelo. Os detalhes do processo de categorização podem ser vistos mais adiante, no Capítulo 4.

Evoluindo, a partir da definição de um primeiro conjunto de variáveis, algumas soluções alternativas foram idealizadas. Uma das propostas, por exemplo, encontrava-se no processo de priorização dos problemas, na tentativa de encontrar problemas potenciais capazes de alavancar melhorias significativas nas organizações. Outra ideia foi ponderar os EIs mediante critérios competitivos, em busca de melhores opções de investimentos. Por conseguinte, alguns princípios de modelo foram pensados e modelados. Nesse sentido, visando a simular dados reais ainda nesse processo de criação e definição, um estudo piloto foi desencadeado.

O estudo piloto ocorreu na cidade de Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul. A empresa parceira nesse processo foi a Polo Equipamentos Elétricos. Tal empresa foi escolhida por contemplar todos os atributos necessários para fazer parte da pesquisa, além de prover fácil acesso. Para participar desta pesquisa, as empresas selecionadas deveriam pertencer à indústria de bens de capital e estarem inseridas em sistemas produtivos do tipo ETO. O estudo piloto teve

como objetivo coletar dados para melhor compreensão do modelo, das escalas e da entrevista em si. Não se avaliou nenhuma ferramenta, tentou-se apenas amenizar as dúvidas que poderiam surgir futuramente.

Nessa etapa, buscou-se coletar o maior número de informações possível. Para isso, com exceção de algumas variáveis categorizadas como Fatos da Vida (sem solução), de acordo com a teoria das restrições, todos os demais efeitos indesejáveis foram questionados. Portanto, um formulário provisório foi construído contendo afirmações referentes a cada um dos efeitos indesejáveis. Enquanto as afirmações eram feitas na entrevista, o entrevistado era instigado a pontuar, em uma escala de cinco pontos, o quanto concordava com cada uma das afirmações.

Tais informações foram essenciais na definição final das variáveis participantes do modelo. Além disso, auxiliaram na eleição da melhor proposta, na estruturação e na construção do modelo, conforme etapas 10 e 11 do método. Com os dados disponíveis, foi possível construir algumas variações de modelos e simular princípios de resultados para tomada de decisão.

Ao longo dessas simulações, ficou claro que o problema de priorização não era o mais adequado. Não foi possível afirmar, a partir dos resultados alcançados, que qualquer efeito indesejável poderia ser o “pior” problema da empresa. A partir dos dados simulados, a resposta obtida por intermédio do método AHP não proporcionou um amplo sentido a ser considerado. Assim, o resultado do processo de priorização não fez sentido nenhum, pois não houve argumentos para explicá-lo. Com isso, ficou claro que a solução buscada para esta pesquisa tratava-se de um problema de classificação e não de ranqueamento.

A partir desse pressuposto, de acordo com Vetschera et al. (2010), a proposta de classificar alternativas existentes é significativamente diferente da proposta de escolher apenas uma e, portanto, requer o uso de métodos específicos. Sendo assim, dentre os métodos disponíveis na literatura, quatro deles foram avaliados: a) AHPSort; b) FlowSort; c) UTADIS e; d) ELECTRE-Tri. Destes, apenas um apresentou praticidade na aplicação. Os outros exigiram elicitação de muitos parâmetros, sendo que raramente o decisor conseguiu explicitá-los com clareza.

Nesse contexto, por parcimônia, o AHPSort foi selecionado para atender à proposta de modelo a partir de problemas de classificação. Uma vantagem particular do método AHPSort é que ele requer menos pares de comparações, oferecendo uma aplicação prática mais realista. (ISHIZAKA; PEARMAN; NEMERY, 2012).

No entanto, além de ser mais simples e de fácil aplicação, também existe o interesse de conhecer melhor o novo método derivado do AHP tradicional. O método AHPSort foi

construído inicialmente para atender ao problema do excesso de variáveis que não podem ser trabalhadas no método tradicional. Dessa forma, o AHPSort, além de ser um método para classificação, pode ser apenas uma etapa de classificação das variáveis para posterior priorização no AHP.

Definido o método a ser seguido, iniciou-se o processo de estruturação e construção do modelo. Para tal, referências foram encontradas e o método AHPSort foi estudado passo a passo e replicado em planilhas do Excel, utilizando-se dados do estudo piloto para simular os resultados.

Nesse processo, as variáveis do modelo foram repensadas e muitas delas foram desclassificadas, conforme pode ser observado no próximo capítulo. Na sequência, após a definição final quanto aos EIs participantes, um novo estudo referente à necessidade de criar pesos para classificação das variáveis foi necessário. Até então, a única pontuação existente era o nível de percepção dos gestores, que conseguem reconhecer a relevância dos problemas, porém desconhecem as relações entre eles. Isso significa que não são capazes de determinar os impactos que os problemas causam uns sobre os outros.

Seguindo esse raciocínio, as relações do diagrama foram revistas e, por intermédio de observações diretas no diagrama, algumas conclusões foram obtidas. Em primeiro lugar, observou-se que cada um dos EIs é responsável por impactar um número distinto de variáveis no diagrama. Em segundo lugar, alguns EIs, são impactados por mais variáveis do que outros. As causas raízes, por exemplo, não são impactadas por outros EIs, porém são as variáveis com maior potencial de impacto perante as outras. Por último, também se verificou que cada uma das variáveis é responsável ora por impactar em custos, ora em prazos. Dessa maneira, vislumbrou-se a possibilidade de gerar um coeficiente a partir da compreensão relativa ao potencial de impacto que cada um dos efeitos indesejáveis, em particular, é capaz de causar em todo o sistema.

Com isso, uma matriz foi gerada para registrar o número de variáveis que impactam os EIs e a quantidade de variáveis impactadas por eles. Além disso, os EIs foram avaliados em relação aos critérios competitivos relativos a custos e prazos de entrega. A partir dessas informações, algumas formulações foram pensadas e, por raciocínio lógico, chegou-se a um coeficiente simples, porém capaz de revelar o potencial de cada EI perante o todo. A lógica de construção desse coeficiente pode ser verificada na continuação deste trabalho.

Desse modo, depois que o modelo foi preconcebido e os coeficientes definidos, um formulário de coleta de dados foi formalizado para as entrevistas (ANEXO III). Com o formulário em mãos, três empresas de pequeno porte foram escolhidas para aplicação prática.

As empresas foram selecionadas por atender aos seguintes critérios: a) produzir bens de capital; b) operar com sistemas produtivos do tipo ETO; c) ser diferenciada quanto aos produtos ofertados; e d) ser acessível e ter gestores disponíveis.

Na etapa de coleta de dados, com os dados armazenados em formulário, estes foram transcritos para o modelo. Nesse ponto, o único ajuste necessário foi a escala de geração dos vetores de prioridade, passo fundamental do método AHPSort. É por meio desses vetores que a classificação das alternativas é feita. Tais ajustes só são possíveis depois que os dados reais são coletados, pois é necessário ajustar os perfis limitantes com base na realidade dos participantes, neste caso, as empresas.

Depois dos ajustes necessários em relação às escalas e aos perfis limitantes, os resultados do modelo de diagnóstico foram calculados e as alternativas foram classificadas por limitantes de alto, médio e baixo impacto. Os EIs foram avaliados individualmente e, na sequência, buscou-se compreender as relações existentes entre esses EIs classificados. A partir de uma compreensão holística de cada uma das tabelas dos resultados de classificação, uma por empresa, os diagnósticos finais foram revelados.

Esses diagnósticos de descrição dos resultados foram registrados e divulgados a cada uma das empresas com a finalidade de avaliar a aplicação do modelo. Observa-se que o processo final de avaliação não trata de julgar o modelo, e sim a aplicação. Isso só é possível quando os resultados são reportados aos participantes. Além da avaliação observacional e experimental, que de acordo com Dresch, Lacerda e Antunes (2015) serve para verificar o comportamento do artefato em um ambiente real, é necessário que os resultados encontrados façam algum sentido. Os resultados e o retorno dos casos podem ser visualizados no penúltimo capítulo, antes das conclusões deste trabalho.

3.2.1 Coleta e análise de dados

A coleta e a análise de dados ocorreram em diversos estágios do processo de desenvolvimento deste trabalho. Em cada estágio, a coleta de dados utilizou técnicas distintas para extração das informações. Os dados foram coletados a partir de bases primárias e secundárias. Tais informações foram importantes tanto para a redação deste relatório quanto para o desenvolvimento e a aplicação do modelo proposto.

O estágio de revisão de literatura ocorreu de forma superficial para um melhor entendimento sobre sistemas do tipo ETO. Nesse estágio, buscou-se embasamento para

conscientização do problema e definição dos objetivos. A revisão ocorreu paralelamente em livros, revistas, internet, monografias, teses, dissertações e artigos científicos. Essa atividade foi encerrada no momento em que o pesquisador obteve informações suficientes para conduzir o processo de pesquisa.

Depois, a partir da definição dos objetivos e do problema de pesquisa, o estágio de Revisão Sistemática de Literatura (RSL) foi iniciado. Esse estágio teve como objetivo um estudo exaustivo na literatura. Bases de artigos e periódicos foram exploradas em busca do material existente e possível de ser encontrado sobre empresas do tipo ETO.

Com a aplicação da RSL, procurou-se levantar o máximo de informações existentes, situando o pesquisador em relação ao que foi explorado e às lacunas que faltam ser atendidas na literatura do ETO. Para tanto, todos os artigos, livros, teses e dissertações referente ao ETO encontrados foram arquivados para futura avaliação. Após a seleção, o material foi organizado por ordem de importância. Nesse ponto, materiais que não condiziam ao interesse desta pesquisa foram descartados, e os mais importantes foram lidos na íntegra. Artigos não tão importantes foram preservados apenas para consulta a tópicos específicos. A discrepância entre mais ou menos importante foi avaliada a partir do conteúdo. Enquanto alguns artigos tratam especificamente do ETO, do início ao final do texto, outros trazem apenas conteúdos de aplicação prática ou informações de referencial teórico.

O terceiro estágio diz respeito à coleta de dados para construção do diagrama de relações de causa-efeito. Os dados para construção do diagrama partiram da codificação dos problemas encontrados nas publicações do *software* ATLAS.TI. Cada efeito indesejável contido na lista de problemas do ETO tornou-se um dado de entrada para confecção da estrutura de causalidades. Ao final, tal estrutura serviu como auxílio na construção do modelo.

Já o quarto estágio se relaciona à participação de especialistas para avaliar o diagrama de relações trabalhado a partir da ARA. Nessa situação, subentendeu-se que as informações que eventualmente fossem surgindo durante as reuniões de avaliação deveriam ser coletadas. Acredita-se que a experiência dos especialistas que participaram da avaliação da ARA teve um papel crucial no processo de refinamento do diagrama e posteriormente na construção do modelo.

Para compor a banca de especialistas, os profissionais que fizeram parte do processo de avaliação da ARA precisaram atender quatro critérios seletivos: a) ter mais de 30 anos de idade, em função da maturidade e do tempo de experiência profissional; b) ter cursado, no mínimo, a graduação, visando a uma melhor compreensão dos assuntos; c) conhecer o assunto tratado e ter interesse nele; d) ter experiência comprovada de mais de 10 anos de prática na indústria de

bens de capital do ETO. O perfil traçado e as restrições impostas aos componentes da banca de especialistas podem ser visualizados no Quadro 4.

Uma vez que o diagrama de relações foi avaliado pelos especialistas, foi possível iniciar a prototipagem do modelo de diagnóstico. É importante destacar que os dados coletados para a definição do novo artefato partiram inicialmente da literatura. Logo, os dados e as informações que foram coletados com os especialistas serviram como complemento ao que não foi encontrado nas publicações ou ao que passou despercebido pelo pesquisador durante o estudo.

Quadro 4 – Perfil dos Especialistas

Esp.	Idade	Titulação	Profissão	IBC/ETO
E1	65 anos	Grad. Engenharia Elétrica	Empresário	25 anos
E2	34 anos	Grad. Ciência Computação/UNISINOS Me. Computação/UFRGS Dr. Computação/ UFRGS	Professor Unipampa	12 anos
E3	45 anos	Grad. Administração/UNISINOS Esp. Docência Ensino Superior/ULBRA Me. Educação/IFSUL (em andamento)	Professor IFFarroupilha	11 anos
E4	43 anos	Grad. Comércio Exterior/UNISINOS Esp. Finanças Empresariais/FGV Me. Engenharia de Produção/UFSM Dr. Eng. Elétrica/UFSM (em andamento)	Professor UFSM e AMF	14 anos
E5	53 anos	Grad. Administração/UFRGS Me. Administração/UFRGS Dr. Management Sciences/Lancaster	Empresário/ Consultor	12 anos

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

No quinto estágio, desenvolveu-se um estudo de caso piloto. O caso piloto teve como finalidade alcançar dados reais para ajuste fino do modelo de diagnóstico. Os dados coletados foram divididos em dois grupos, um composto pelas respostas às afirmações do formulário de coleta e o outro ao aprendizado em si. No caso piloto houve troca de informações necessárias para o ajuste fino do modelo.

Tais informações proporcionaram uma definição mais precisa em relação às variáveis incluídas, aos valores das escalas e ao próprio formulário. Além disso, foi a partir do estudo piloto que se verificou a necessidade de capacitar os gestores sobre o processo de pontuação do formulário. Também se verificou que para cada afirmação seria interessante questionar o porquê da pontuação definida. Enfim, o caso piloto foi uma maneira de compreender além das relações, entendendo porque as coisas acontecem.

Depois de embasado pela teoria, por especialistas e pelo estudo piloto, o artefato ficou pronto para ser executado. Visto isso, o modelo de diagnóstico foi aplicado na realidade de três empresas diferentes da indústria de bens de capital do ETO. Logo, a aplicação em si traduziu-se no sexto estágio de coleta, em que foi conduzido o levantamento dos dados de entrada para o modelo. Esses dados de entrada foram coletados a partir do preenchimento de um formulário padrão (ANEXO III) por profissionais responsáveis pela tomada de decisões nas empresas participantes.

Paralela ao processo de coleta de dados via formulário, foi conduzida uma entrevista exploratória semiestruturada. As questões dessas entrevistas seguiram o próprio rol de afirmações presentes no formulário. As entrevistas, na verdade, ocorreram quando os entrevistados foram questionados quanto à justificativa das respostas para cada afirmação pontuada.

Os entrevistados são profissionais experientes na indústria de bens de capital do ETO. O perfil de cada um dos participantes e entrevistados pode ser visualizado no Quadro 5. Observa-se que na empresa SR Engenharia, a entrevista foi conduzida com três profissionais ao mesmo tempo – um presidente e dois diretores. A condução da pontuação e das entrevistas foi efetuada a partir de questionamentos do pesquisador, que foi pontuando e anotando as justificativas de cada efeito indesejável com auxílio de papel, caneta e prancheta.

Quadro 5 – Perfil dos profissionais entrevistados

Empresa	Cargo	Tempo	Formação
Polo Electro	Diretor Técnico e de Engenharia	20 anos	Eng. Eletricista
SR Engenharia	Presidente e fundador	31 anos	Eng. Mecânico
	Diretor Industrial	13 anos	Eng. Civil
	Diretor Comercial	07 anos	Eng. Mecânico e Adm.
Tecnopampa	Diretor Comercial e de Engenharia	13 anos	Eng. Mecânico

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Por último, o estágio sete de coleta de dados foi realizado com os mesmos profissionais dos casos estudados anteriormente. Porém, a diferença é que os profissionais foram acionados, desta vez, a título confirmatório, com o intuito de avaliar a aplicação alcançada a partir da classificação dos EIs, bem como o diagnóstico global resultante da análise dessa classificação. As informações coletadas nessa fase foram essenciais para a generalização final do artefato à classe de problemas.

3.3 ARTEFATOS UTILIZADOS PARA CONSTRUÇÃO DO MODELO

Nesta seção, é apresentado um breve relato dos dois artefatos identificados e selecionados para construir o modelo. O primeiro artefato diz respeito a uma ferramenta utilizada para mapear as relações de causa-efeito existentes entre problemas reais. O segundo trata-se de uma adaptação ao tradicional método AHP, sendo uma solução para classificação de alternativas ponderadas por critérios. Ambos os assuntos não serão expandidos em detalhe, tendo em vista que isso será realizado mais adiante, a partir da aplicação prática desses artefatos.

3.3.1 Árvore da Realidade atual

A Árvore da Realidade Atual (ARA), solução apresentada por Elyiahu M. Goldratt na obra “Mais que sorte”, publicada em 1990, serve para organizar os problemas de maneira que seja possível compreender as relações existentes entre eles. Trata-se de uma ferramenta de aplicação, que tem por objetivo identificar os problemas centrais para um determinado problema principal. Tal finalidade lhe confere a capacidade de análise sistêmica por meio das relações causais existentes entre os efeitos indesejados. (ALVAREZ, 1996).

A definição dos problemas centrais encontrados em um sistema específico é o objetivo essencial da ARA (ANTUNES et al, 2004). Os problemas, também considerados Efeitos Indesejáveis (EI), estão presentes em todas as organizações e se relacionam entre si. A ARA do processo de pensamento da teoria das restrições é estabelecida para revelar as conexões causais existentes a partir de um conjunto de efeitos indesejáveis. (COX III; SPENCER, 2002). Ao reconhecer essas relações é possível identificar quais são as raízes dos problemas e quais são as suas consequências. Esses relacionamentos podem ser interpretados como relações de causa-efeito. (GOLDRATT, 1994).

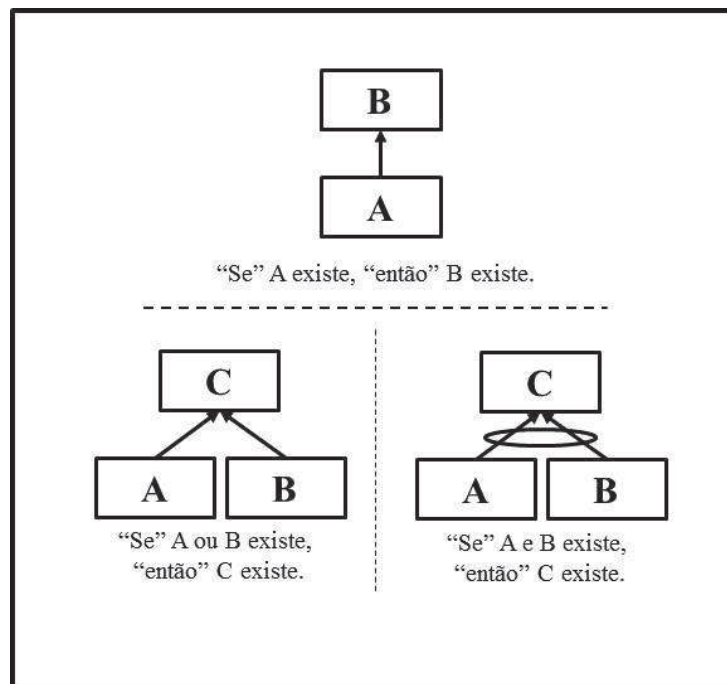
O fato de compreender tais relações é importante para o aprofundamento da aprendizagem organizacional, tendo em vista a análise holística dos problemas. (COX III; SPENCER, 2002). A ARA permite um padrão de linguagem comum aos interessados no aprofundamento das relações existente entre os EIs. Nesse processo, é possível gerar uma visão compartilhada entre os participantes, a partir da troca de informações e percepções sobre os problemas e suas relações. Tal partilha objetiva alavancar os níveis de compreensão individual e, principalmente, coletiva. (LACERDA; RODRIGUES; NETO, 2011).

A ARA deve ser construída no sentido *top-down*, porém, deve ser lida e compreendida no sentido contrário. (NORREN; SMITH; MACKKE, 1996). A Figura 6 apresenta, de maneira simples, os principais tipos de relacionamento entre os EIs e a maneira como as relações são compreendidas na ARA. (SCHEINKOPF, 1999). Observa-se que a leitura de uma ARA deve ser feita a partir das palavras “SE” e “ENTÃO”, que são utilizadas para compreensão do relacionamento e para verificar as relações e insuficiências de causas. Os EIs que iniciam a ARA são denominados causas raízes. As causas raízes, além de impactarem a rede de relações configurada por diversos EIs, também caracterizam o sistema. (COX III; SPENCER, 2002).

A ARA pode ser considerada uma ferramenta lógica, composta por variáveis de causa-efeito que se relacionam entre si, organizadas de maneira a determinar a raiz dos problemas que provocam efeitos indesejáveis em todo o sistema. Embora simples, a construção da ARA consome tempo, pois é necessário raciocínio a partir de um processo de pensamento que normalmente não está explicitado. (COX III; SPENCER, 2002).

A construção da ARA deve ser realizada por equipes multidisciplinares, de maneira a incorrer no maior número de contribuições possíveis relacionadas ao problema em pauta. (RODRIGUES, 2004). Tal construção é mentalmente desgastante e, por isso, não se trata de uma tarefa fácil. Porém, quando elaborada com sucesso, oferece melhores alternativas para a solução dos problemas evidenciados. (COGAN, 2007).

Figura 6 – Lógica das relações da ARA



Fonte: Adaptado de Scheinkopf (1999).

A ARA, em sua forma completa, oferece mecanismos para identificar impactos, verificar relações de causalidade, definir as causas raízes e permitir soluções mais robustas em relação ao problema central, colocando toda a massa crítica em prol desse objetivo. (COX III; SPENCER, 2002). Trata-se da combinação entre a lógica e as regras percebidas no cotidiano por intermédio do método de tentativa e erro. Tais diagramas de relações de causa-efeito podem ser desenvolvidos tanto por meio de evidências teóricas quanto empíricas. (NORREN; SMITH; MACKE, 1996).

A ARA como ferramenta, possibilita a inserção de ressalvas legítimas com a finalidade de estabelecer sentido às conexões realizadas. Isso quer dizer que, ao lado dos efeitos indesejáveis, podem existir ressalvas que não necessariamente representem um problema, mas que são suficientes para que um efeito ocorra. (RODRIGUES, 2004). Uma das formas efetivas de verificar se as relações são consistentes é apresentar a ARA a interessados que não fizeram parte do processo de construção. O objetivo desse exercício é identificar possíveis e eventuais erros lógicos não percebidos durante o processo construtivo. (LACERDA; RODRIGUES; NETO, 2011).

Os efeitos indesejáveis encontrados na ARA podem ser classificados em três classes: fatos da vida, causas internas e causas externas. De acordo com Goldmeyer (2012), as causas raízes internas são aquelas que estão dentro do limite de abrangência da organização, sendo passíveis de modificação. Já as causas externas são aquelas sobre as quais a empresa não tem alcance, estando fora do seu limite de atuação. As causas chamadas de fatos da vida representam os pressupostos básicos considerados como verdades no sistema analisado. (GOLDMEYER, 2012).

3.3.2 Método AHPSort

O AHPSort é um método recente, proposto por Ishizaka, Pearman e Nemery (2012), derivado do método tradicional AHP. O novo método surgiu devido à necessidade de suprir algumas deficiências do método tradicional, trabalhando com um número elevado de alternativas. Visto que o número de comparações aumenta quadraticamente dependendo da quantidade de alternativas, em alguns casos a utilização do AHP é inviável. O limite superior ideal para a utilização do método é de 7 ± 2 alternativas. (SAATY; OZDEMIR, 2003).

O AHP é construído em uma plataforma de comparação para identificar e priorizar a melhor alternativa. O ingrediente principal do AHP encontra-se no julgamento das alternativas

e critérios por pares, oferecendo um resultado mais preciso do que uma avaliação direta. (ISHIZAKA; NEMERY, 2013). Quando o número de alternativas é elevado, a comparação torna-se extensa e isso pode ser simplificado utilizando a nova alternativa AHP Sort. (RANI; SAKTHIVEL, 2015).

Uma vez que o AHPSort foi gerado a partir do método AHP, a utilização de ambos em um único processo de escolha não gera conflitos de aplicação. Nesse caso, após classificar as variáveis mais importantes com o AHPSort, é possível priorizar as variáveis pelo método tradicional AHP. Dessa maneira, o método AHPSort mostrou-se uma opção de ferramenta a ser utilizada para o ranqueamento de um grande número de alternativas, em conjunto ao AHP. (GUJANSKY; BELDERRAIN, 2014).

No entanto, métodos de classificação, por si sós, são utilizados para atribuir alternativas a classes predefinidas. As classes são definidas com base em preferências do decisor. Essa é a principal diferença entre as ferramentas de classificação e de priorização, pois as classes são nominais. (ZOPOUNIDIS; DOUMPOS, 2002). Além do mais, tal classificação auxilia o decisor no posicionamento crítico frente às classes de alternativas de interesse. (GUJANSKY; BELDERRAIN, 2014).

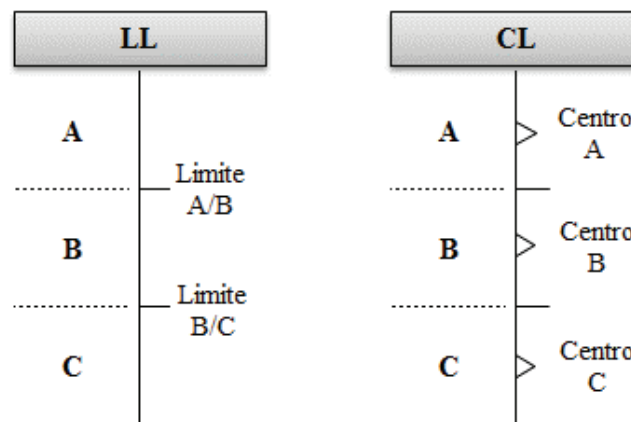
Uma das vantagens do novo método é a praticidade de modelagem e aplicação. O AHPSort reduz consideravelmente o esforço e o tempo necessários para classificar as alternativas. (RANI; SAKTHIVEL, 2015). Além disso, são necessárias somente três etapas para o desdobramento do método: a) definição do problema; b) comparação aos pares; e c) atribuição de classes. (ISHIZAKA; PEARMAN; NEMERY, 2012).

Na primeira etapa de definição do problema, são determinadas todas as dimensões necessárias ao processo de classificação. Inicialmente, são estabelecidos o objetivo, os critérios e as alternativas. O objetivo diz respeito à necessidade de classificação, ou seja, ao que deve ser classificado. As alternativas são as escolhas, e os critérios são os motivos dessas escolhas. Nessa etapa, também é necessário definir as classes, os limites e os perfis de classe. (GUJANSKY; BELDERRAIN, 2014).

As classes são definidas a partir de nomenclaturas que identificam quando uma alternativa deve pertencer a uma classe ou a outra. Logo, também é necessário definir o número de classes. Uma estrutura de classificação de três níveis poderia conter as divisões alta, média e baixa, por exemplo. Destarte, o que separa uma classe da outra são os limites. Nesse ponto, os interessados são obrigados a decidir quais serão os limites divisores de classe, ou melhor, quais são os desempenhos mínimos necessários para que uma alternativa pertença a uma determinada classe. (ISHIZAKA; PEARMAN; NEMERY, 2012).

Para isso, é necessário definir se as alternativas vão ser classificadas por ultrapassarem as fronteiras limitantes ou se serão classificadas por se aproximarem mais de um limite do que de outro. A Figura 7 mostra a diferença entre as duas opções de perfis de classe: Perfil limitante local (LL) e Perfil central local (CL). (ISHIZAKA; NEMERY, 2013). No caso do limitante local, para a alternativa ser classificada como A, ela precisa ser maior do que o limite A/B, e para ser B, ela precisa ser menor. Já em relação à classificação CL, as alternativas que estão mais próximas do centro B são B, e aquelas que estão mais próximas do centro C são C.

Figura 7 – Perfis de Classe



Fonte: Adaptado de Ishizaka, Pearman e Nemery (2012).

Na segunda etapa, é feita a avaliação dos critérios e das alternativas, e são gerados os vetores de prioridades. Para isso, primeiramente, os critérios e as alternativas são julgados na escala de Saaty (1980). Os critérios são avaliados par a par entre si e as alternativas par a par com os perfis de classe de cada critério. Entende-se por perfil de classe a decisão sobre qual perfil escolher para seguir o método; caso a opção seja o perfil limitante local, as alternativas serão comparadas par a par com o perfil limitante local.

Para obtenção dos pesos para cada um dos comparativos, tanto para alternativas quanto para critérios, a operação realizada é idêntica ao AHP tradicional. (ISHIZAKA; PEARMAN; NEMERY, 2012). Isso significa que, par a par, são definidos os critérios ou as alternativas mais importantes, bem como o seu grau de importância, conforme definições apontadas pelo Quadro 2.

Quadro 6 – Escala de Saaty

Intensidade	Definição
1	Igual importância
3	Moderada importância de um sobre o outro
5	Essencial ou de grande importância
7	Importância muito forte
9	Extrema importância
2-4-6-8	Valores intermediários entre dois julgamentos adjacentes

Fonte: Adaptado de Saaty (1991).

A partir dos valores comparativos, é possível obter o vetor de prioridade de cada alternativa em relação a cada perfil de classe. Outra opção é utilizar uma equação para calcular a média das pontuações obtidas, a partir da escala de Saaty, entre os valores das alternativas e das limitantes – isso depois de normalizadas. Pode-se, ainda, associar diretamente a escala de Saaty ao quadro organizado por Gujansky e Belderrain (2014), visto que os únicos valores possíveis de se obter com a equação seriam os valores expostos no Quadro 7.

Por último, na terceira etapa, é conduzida a atribuição de classes. A finalidade dessa etapa encontra-se na alocação das alternativas em suas respectivas classes de acordo com os vetores calculados de prioridades. (RANI; SAKTHIVEL, 2015). Para tanto, dois últimos passos são dados em direção aos resultados de classificação do AHPSort: o primeiro para classificar as alternativas divididas entre as classes A e B, e o segundo para dividir as alternativas em classe B e C. Observa-se que, nessa etapa, quanto maior é o número de classes, maior é o número de passos da etapa.

Quadro 7 – Conversor de vetores de prioridade

Grau de importância	A favor da alternativa	A favor da limitante
1	0,500	0,500
2	0,667	0,333
3	0,750	0,250
4	0,800	0,200
5	0,833	0,167
6	0,857	0,143
7	0,875	0,125
8	0,889	0,111
9	0,900	0,100

Fonte: Gujansky e Belderrain (2014)

Para classificação, utilizam-se as prioridades locais das alternativas ponderadas pelos critérios para encontrar a prioridade global da alternativa e a prioridade global em relação às

limitantes ou centros. (GUJANSKY; BELDERRAIN, 2014). A partir desses valores organizados, realiza-se a soma dos produtos entre as prioridades locais das alternativas e os valores ponderados dos critérios de encontro à prioridade global da alternativa. Já a prioridade global dos centros ou limitantes é a diferença entre 100% e o valor da prioridade global da alternativa. (ISHIZAKA; PEARMAN; NEMERY, 2012).

Com esses valores ordenados do maior para o menor, todas as alternativas maiores a 0,5 serão classificadas na primeira classe, e as menores na segunda. As alternativas da primeira classe serão mantidas e o segundo passo é realizado, classificando-se, desta vez, como alternativas na segunda ou terceira classe, as maiores ou menores a 0,5. Como as alternativas da primeira classe foram selecionadas anteriormente, os resultados da segunda e terceira classes são fixados. Entretanto, caso exista mais do que três classes, novos passos são necessários até que todas as alternativas sejam classificadas. (ISHIZAKA; NEMERY, 2013).

4 ELUCIDAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO MODELO DE DIAGNÓSTICO

A proposta deste capítulo é definir, classificar e esclarecer as variáveis de entrada do modelo. Um longo caminho foi percorrido até que tais variáveis fossem finalmente selecionadas. Primeiramente, as variáveis foram identificadas na literatura e relacionadas entre si por meio da ferramenta ARA, conforme referenciado no método desse trabalho.

Após, inúmeras discussões e revisões resultaram em um diagrama de relações de causa-efeito composto por 99 variáveis. Tais variáveis foram identificadas inicialmente como Efeitos Indesejáveis (EI) que ocorrem em sistemas produtivos do tipo ETO. As relações entre os EIs podem ser interpretadas a partir da ARA que se encontra no ANEXO I deste trabalho, ou compreendidas a partir de relato textual.

Para isso, uma descrição das relações existentes entre os efeitos indesejáveis é apresentada na sequência. No texto, cada um dos efeitos indesejáveis foi vinculado ao diagrama por intermédio dos códigos de efeitos (EI#Nº) apresentados na ARA. O objetivo da construção da ARA foi compreender as relações existentes entre os problemas da indústria de bens de capital que operam em sistemas produtivos do tipo ETO para, posteriormente, segregar as variáveis necessárias para construção do modelo de diagnóstico.

4.1 DESCRIÇÃO DAS RELAÇÕES EXISTENTES ENTRE OS EFEITOS INDESEJÁVEIS

Conforme o ANEXO I, nas empresas de bens de capital do tipo ETO, os produtos são personalizados conforme as necessidades do cliente (EI#11) e a demanda é instável (EI#12). Tais condições são inerentes a esse sistema produtivo e, por isso ele é tão complexo de ser gerenciado. Devido a essas peculiaridades, as ordens de produção não se repetem e possuem baixa previsibilidade (EI#23). Não é possível prever quando ocorrerão novas vendas, antever que tipo de produto será o próximo solicitado, nem tampouco saber quais serão suas especificações (EI#35). Nesse sentido, estoques dificilmente são encontrados em demasia. Restam nas prateleiras dos almoxarifados pequenas quantidades de consumíveis, manípulos e fixadores, dentre outros materiais, que não chegam a 5% do custo total de um projeto.

Visto que os materiais e componentes necessários para a produção do próximo projeto só são reconhecidos após o estabelecimento de um novo contrato comercial (EI#44), e que os estoques representam custos para as organizações (EI#45), as compras nesses ambientes produtivos são acionadas geralmente depois que os projetos são vendidos (EI#57). Embora

trabalhar com estoques quase que inexistentes seja uma vantagem percebida pelas organizações, no ETO isso pode se tornar uma grande desvantagem, porque a empresa fica desprotegida nas linhas de produção devido a variações e imprevistos. Além disso, muitas vezes é necessário adicionar o tempo dos fornecedores aos projetos.

O risco de falta de componentes e materiais pode gerar atrasos nas linhas produtivas (EI#67). Existe um prazo para aquisição de materiais que depende de fornecedor para fornecedor. Alguns produtos menos críticos podem ser adquiridos à pronta entrega, enquanto outros podem levar dias ou até meses para chegar. Nesse caso, algumas etapas de projetos que poderiam ser iniciadas de imediato, ficam em estado de espera até a chegada dos materiais e componentes. Isso sem falar que os suprimentos podem atrasar (EI#56), as aquisições podem ter erros (EI#58), o que é frequente (EI#34), ou os contratos podem ser formalizados com especificações incompletas (EI#81). Isso significa que nem sempre se sabe ao certo o que será utilizado.

No ETO, os processos não são repetitivos (EI#21) e, por isso, erros operacionais costumam ocorrer mais do que em outros tipos de sistemas (EI#34). Os erros acarretam custos e prazos maiores nos projetos. Os itens fabricados nem sempre são aprovados nos testes de laboratório (EI#43) e, por esse motivo, incidências de retrabalho são frequentes (EI#55). Além disso, visto que os contratos normalmente não são formalizados com todas as especificações completas (EI#81), é natural que nesse tipo de sistema produtivo os retrabalhos também ocorram devido a alterações solicitadas pelos clientes em meio à produção (EI#42). Como consequência, retrabalhos (EI#55) somados a qualquer tipo de imprevisto (EI#54), mais a baixa previsibilidade das ordens de produção (EI#23) tendem a exigir reprogramações regulares (EI#66). Retrabalhos (EI#55) e imprevistos (EI#54) em conjunto com atrasos de fornecimento (EI#56) podem resultar em um maior tempo para entrega do produto montado nas instalações do cliente (EI#65).

Por outra vertente de efeitos indesejáveis, o baixo volume de produção (EI#32) e o alto volume de variações dos produtos (EI#32) revelam características de produtos não padronizados. Dessa maneira, diferente de sistemas em linhas, em que o maquinário é dedicado, no ETO as máquinas são de grande porte e universais (EI#31). São recursos dinâmicos e flexíveis utilizados principalmente no segmento metalúrgico. O maquinário é considerado de grande porte, pois além das dimensões dos equipamentos é exigido um alto investimento de aquisição (EI#41). Trata-se de recursos universais, pois exercem milhares de operações diferentes (EI#52), satisfazendo a necessidade de atender à variação de produtos a partir de

poucas unidades de máquinas. Assim, mesmo com baixo volume de produção, é possível reduzir a ociosidade das máquinas.

Se por um lado, os lotes de produção são únicos ou compostos por poucas unidades (EI#53) em virtude da customização (EI#11) e do baixo volume de produção (EI#33), por outro lado, cada produto produzido na indústria de bens de capital do ETO é composto por uma quantidade expressiva de materiais e componentes (EI#51) graças à tecnologia avançada dos produtos. Como consequência, existe um grande volume de atividades por projeto (EI#111) além de muitas operações fabris e montagens (EI#112), ou seja, há um volume significativo de trabalho (EI#121). Dessa maneira, dificilmente existe, nesses processos produtivos, alguma máquina dedicada a uma operação exclusiva (EI#52) e, por isso, muitos setups de máquina são executados frequentemente (EI#64).

Tais quantidades expressivas e customizadas requerem a definição de muitas especificações (EI#62). Destarte, visto que o processo de levantamento das especificações com o cliente não é padronizado (EI#63) e que para iniciar um projeto é necessário conhecer o canteiro de obra em que serão instalados os equipamentos vendidos (EI#61), o processo de aquisição das informações é demorado (EI#71). Como é necessário formalizar os contratos para iniciar os projetos, é natural que nesses sistemas produtivos exista a necessidade de acelerar o processo de cotações (EI#72).

Assim, na tentativa de apurar um processo que demanda tempo para ser executado com perfeição, normalmente os contratos são formalizados com as especificações incompletas (EI#81). Tais especificações são importantes para definir as compras e compreender os roteiros produtivos necessários para executar o projeto. No caso dos roteiros, o problema é ainda mais grave. Mesmo com domínio na execução de determinados processos, devido à falta de padronização, cada roteiro é distinto, com tempos diferenciados nos recursos (EI#91). Cada peça que compõe o produto acabado possui o seu próprio percurso no “chão-de-fábrica”, de modo que os recursos vão sendo consumidos em parcelas.

Assim, a variabilidade no mix de produtos e no volume de vendas (EI#24), fruto de uma demanda dinâmica e instável (EI#12), associada a roteiros e tempos de ciclos distintos (EI#25), acarreta variações no volume de trabalho e no consumo da capacidade de recursos (EI#37). Uma vez que tais variações ocorrem em recursos de capacidade fixa (EI#38), é notório que nos sistemas ETO a utilização da capacidade seja desbalanceada (EI#59). Isso pode ser comprovado pela existência de recursos sobrecarregados (EI#47) em paralelo a outros que se encontram ociosos (EI#46), pois sempre existirão recursos não tão caros e menos utilizados que também são necessários para a confecção dos produtos.

Posto que a capacidade é desbalanceada (EI#59), não existe razão para as empresas com variedade grande de produtos trabalharem com layouts dedicados, como layouts em linha ou celulares. Para isso, algumas máquinas que já possuem capacidade de sobra precisariam ser duplicadas, como também os recursos, que já são limitados pela capacidade de investimento. Dessa maneira, como as máquinas que compõem o espaço fabril no ETO são muito caras (EI#41), e as máquinas existentes conseguem absorver as particularidades dos projetos (EI#52), é natural que nesse cenário os layouts sejam organizados por processos (EI#74) e, a partir disso, a programação seja setorizada (EI#94).

Em sistemas produtivos do tipo ETO, os trabalhos não são automatizados (EI#69), mas manuais e artesanais, para solucionar a falta de padronização dos processos produtivos. Dessa forma, o tempo de ciclo dos trabalhos flutua consideravelmente (EI#68). Isso ocorre porque existe baixa evolução da coordenação motora por parte dos colaboradores para executar tarefas cada vez mais rápidas e com maior exigência de qualidade. Cada projeto possui as suas operações particulares. As operações e montagens são únicas e customizadas (EI#77), logo, a acuracidade nas estimativas dos tempos é baixa (EI#76) e a mão de obra é especializada e onerosa (EI#85).

No ETO, a folha de pagamento dos funcionários é cara, pois para atender à estratégia de customização, além de mão de obra qualificada na fábrica, é necessária uma equipe de engenharia, que é responsável por atividades complexas, intelectuais e não físicas (EI#83). Nessa situação, o grau de qualificação exigido tanto na fábrica quanto no departamento de pesquisa e desenvolvimento é elevado. Na engenharia, o grau mínimo de escolaridade exigido é o superior completo.

Enquanto atividade não física (EI#83), o produto da engenharia não pode ser estocado (EI#86). Logo, não é possível adiantar atividades de engenharia quando a demanda está em baixa para garantir capacidade em picos de demanda futura no setor. Sendo assim, a flexibilidade na engenharia depende exclusivamente da utilização de horas extras (EI#97). Contratar engenheiros provisoriamente é inviável (FE#96) e terceirizar as atividades não é recomendável (EI#87). A tecnologia de desenvolvimento dos produtos é um diferencial competitivo (EI#78) justamente porque a engenharia é complexa e os produtos são altamente customizados. Nesse caso, terceirizar a engenharia pode não ser benéfico, pois a organização poderia estar entregando anos de pesquisa e desenvolvimento nas mãos de outras empresas.

Da mesma forma, alguns itens da produção não devem ser terceirizados por motivos estratégicos ou segredos industriais (EI#88). Assim, a capacidade produtiva também se torna refém das horas extras (EI#104). Por mais que na produção o produto seja físico, os estoques

também são inexistentes (EI#99). Os produtos são personalizados e caros para manter estoques de produtos acabados (EI#11), e como a lista de materiais só é conhecida após a formalização dos contratos (EI#57), estocar produtos pode custar caro.

De qualquer maneira, a produção quase sempre é mais flexível do que o departamento de engenharia, pois possui a vantagem de poder terceirizar grande parte dos componentes. Entretanto, a terceirização em extremo também pode ser prejudicial, visto que a empresa deixa de lucrar com etapas que agregam valor ao produto, perdendo parte da lucratividade a terceiros.

Contudo, muitas empresas do ETO carecem do apoio de terceiros. Muitas vezes a tecnologia própria para atender a determinadas especificações é inexistente (EI#95). Sendo assim, no ETO é natural a preocupação em gerenciar as solicitações e os prazos existentes para cada componente terceirizado (EI#103). As soluções contratadas diferem umas das outras. Algumas ordens de compra podem ser atendidas à pronta entrega, enquanto outras precisam aguardar, além do tempo de logística, o tempo de produção do subcontratado (EI#75). Portanto, é comum ocorrerem picos de demanda tanto nos processos de produção quanto nos de engenharia (EI#98). Quando isso acontece, certamente em algum momento horas extras (EI#104) e subcontratações são negociadas (EI#103), pois não existe outra maneira para atender aos prazos dos clientes.

Na indústria de bens de capital não seriada os tempos de atravessamento sofrem variações de projeto para projeto (EI#75), por mais similares que sejam. Os motivos aparentes são: atrasos nas instalações (EI#65), setups de máquinas (EI#64), falta de materiais (EI#67), reprogramações (EI#66), imprevistos (EI#54) e retrabalhos (EI#55), além de flutuações estatísticas acentuadas pelos processos artesanais (EI#68). Tais variações incorrem em incertezas quanto ao tempo necessário para desenvolver e produzir os projetos (EI#102). Aliás, todos os problemas descritos até então, diretamente ou indiretamente, põem em questão dúvidas em relação aos prazos de entrega.

No ETO, normalmente existe a possibilidade de alterar o escopo para reduzir prazos e custos (EI#84). O fato de os clientes desconhecerem os processos e a tecnologia de desenvolvimento dos produtos (EI#82) sugere que no processo de cotações uma parcela da capacidade da engenharia seja consumida em pré-projetos (EI#92). Por último, para agravar ainda mais o problema dessas incertezas, mais de um projeto é conduzido ao mesmo tempo (EI#93), e como uns projetos são mais urgentes do que outros (EI#36), também existem indefinições quanto à priorização das ordens de produção no meio produtivo (EI#101).

Nesse ponto da descrição do diagrama de relações, nota-se certa centralização de todos os acontecimentos em apenas duas variáveis de incertezas (EI#102 e o EI#114). Para encontrar

os efeitos do topo, todos os efeitos que se encontram pelo menos um nível abaixo dessas variáveis, passam pelos efeitos de incerteza referentes a prazos e custos de desenvolvimento dos projetos. O efeito indesejável relativo à dúvida quanto aos prazos de desenvolvimento (EI#102) também gera consequências aumentando as dúvidas quanto aos custos para desenvolver os projetos (EI#114).

É nesse ponto, também, que se percebe uma subdivisão da estrutura em três tópicos principais no topo do diagrama: preços, prazos e escopo do projeto. No lado dos prazos, as incertezas quanto aos prazos para desenvolvimento dos projetos sugerem auxílio nas informações de projetos similares (EI#122). Embora altamente customizados, os produtos não deixam de pertencer a alguma classe ou família. Logo, tratando-se de produtos variantes dessas classes e famílias, geralmente existe um ou outro produto que serve como base comparativa para se averiguar se os prazos ofertados em outra situação foram assertivos.

Nessa situação, o problema se encontra na oferta de prazos ao cliente antes mesmo de se possuir o projeto completo da engenharia em mãos (EI#113), antes mesmo da formalização de um contrato e, por isso, sempre existe o risco de os prazos serem subestimados (EI#133), principalmente tendo em vista o grande número de variáveis que geram incertezas dos tempos de desenvolvimento e fabricação do projeto. Nesse caso, o problema maior ocorre quando os clientes costumam impor multas por atraso (EI#132). E isso é bastante comum no universo das empresas de bens de capital não seriado, já que estas lidam com equipamentos necessários ao funcionamento dos processos produtivos de outras organizações que também possuem responsabilidades com seus clientes. Sendo assim, para não incorrerem em multas, a tendência é que as organizações insiram margens de segurança muitas vezes excessivas aos prazos de entrega (EI#143). Nesse contexto de incertezas, as empresas preferem, por vezes, deixar de negociar um contrato para evitar prejuízos por atraso de projeto.

Uma vez que no ETO cada projeto é composto por um grande volume de trabalho (EI#121) e que cada trabalho exige um longo tempo de processamento (EI#131), os projetos possuem um elevado tempo de atravessamento por natureza (EI#142). Logo, as margens de segurança também são elevadas. Como os produtos podem levar meses para serem produzidos, certamente a adição de margens relativamente pequenas para proteger a organização de imprevistos pode significar muito tempo do ponto de vista do cliente. Diante disso, sabendo-se que quanto maiores são os prazos, menor é a satisfação do cliente (EI#141), os prazos de entrega da organização não serão satisfatórios (EI#151).

Já no lado dos custos, a preocupação se encontra na dúvida em relação aos preços ofertados. A diferença é que por conta desse critério competitivo, quando a empresa deixa de

ser um monopólio, os preços são ditados pelo mercado. Caso não haja qualidade de inteligência competitiva para especular o mercado e absorver informações precisas sobre a concorrência, esses preços serão desconhecidos (EI#115).

Como é necessário definir os preços de venda antes de fechar os contratos (EI#116), mas há incertezas quanto aos custos para desenvolver e produzir os projetos (EI#114) e o preço praticado pelo mercado é desconhecido (EI#115), as organizações costumam buscar informações em projetos similares (EI#124). Entretanto, no que tange à definição dos preços, existe a dificuldade de calcular as margens de contribuição do produto (EI#123), pois além de prever os custos é preciso dimensionar os lucros da empresa.

Dessa maneira, ao definir os custos também existe o risco de subestimar os preços ofertados (EI#136). Os produtos de bens de capital do ETO são de alta tecnologia (EI#137) e, por isso, os projetos possuem alto valor agregado. Frente ao risco, margens de segurança são inseridas aos preços ofertados (EI#147). Uma vez que produtos caros sugerem margens de segurança significativas, caso o mercado ofereça preços mais baixos, os valores ofertados são insatisfatórios (EI#153). Isso acontece porque quanto maior for o preço de venda, menor é a satisfação do cliente (EI#149).

Já em relação à variável central de escopo, se a organização não possui tecnologia própria para atender a determinadas especificações (EI#95), o custo benefício para subcontratar essa tecnologia é inviável (EI#134). Além disso, quando soluções alternativas não satisfazem às necessidades dos clientes (EI#135), o desenvolvimento de alguns projetos pode não ser viável para a organização. Caso o projeto passível de ser executado não atenda a todas as especificações exigidas (EI#145), o escopo do projeto não será satisfatório (EI#152).

Da mesma forma, se o produto atende a todas as especificações, mas a qualidade de critérios de desempenho, confiabilidade, durabilidade, conformidade, entre outros (EI#144) é questionável, o escopo também não será satisfatório (EI#152). Além disso, muitos clientes levam em consideração os serviços pós-vendas desse tipo de empresa para definir se o escopo proposto por ela é adequado a suas necessidades (EI#146), principalmente porque bens de capital não seriados são equipamentos e máquinas que sugerem um ciclo de vida útil, ou seja, que podem parar de funcionar a qualquer momento. Dessa forma, muitas organizações oferecem garantia, assistência técnica, comissionamento e outras vantagens que dizem respeito ao depois, quando o produto não pertence mais à organização produtora.

Finalizando a descrição da ARA, no topo do diagrama se encontra o problema principal da Árvore da Realidade Atual do ETO em relação à indústria de bens de capital. Tal problema

remete a dificuldade de competir das organizações (EI#161). No ETO, os projetos deixam de ser competitivos quando preços e prazos não são satisfatórios (EI#152 e EI#153). Entretanto, antes de se preocupar com essas duas variáveis, é necessário que a empresa atinja um nível de credibilidade quanto ao escopo ofertado (EI#152). Caso um projeto não seja satisfatório em relação ao escopo, ou seja, caso não atenda às necessidades do cliente, não adianta focar em preços e prazos para fechar um negócio.

4.2 CLASSIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO DIAGRAMA DE RELAÇÕES

Depois que o diagrama de relações passou pelo processo de avaliação dos especialistas, a próxima etapa foi classificar as variáveis em busca daquelas que seriam incorporadas no modelo proposto. Esse passo é necessário porque nem todas as variáveis são passíveis de alteração, assim como outras podem não ser de interesse estratégico para as organizações. Além disso, algumas variáveis podem não pertencer à delimitação almejada.

Para uma melhor compreensão e classificação dessas variáveis, um protótipo do modelo foi elaborado, e informações de campo foram coletadas por intermédio de um estudo piloto. A partir desses dados providos pelo estudo piloto, inúmeras simulações foram realizadas. Nesse processo de simulação, observou-se que uma parcela dos Efeitos Indesejáveis apresentava características semelhantes às variáveis consideradas como causas externas e fatos da vida, referenciadas na literatura da TOC, conforme pode ser visto na descrição da Árvore da Realidade Atual que se encontra na última seção da metodologia. Sendo assim, uma segunda análise foi feita item a item, e a lista de Efeitos Indesejáveis foi reclassificada. Ao final, as variáveis foram divididas em cinco grupos, a saber: Efeitos de Escopo (EE), Efeitos de Indesejáveis (EI), Fatos do ETO (FE); Fatos do Produto (FP) e Fatos da Vida (FV).

As variáveis do tipo EE foram classificadas porque se encontram fora das delimitações deste trabalho. Essa decisão foi tomada por dois motivos. O primeiro motivo diz respeito a observações feitas, na literatura e na prática, condizentes ao fato de que o escopo do projeto é o critério mais importante para o cliente. Porém, se um projeto não atende às necessidades do consumidor, não há porque querer barganhar prazos e preços. Isso significa que os critérios competitivos de prazo e custos somente são avaliados caso haja interesse do cliente pelo produto ofertado pela empresa. Caso contrário, o modelo proposto não faz sentido, a menos que a empresa esteja apta a oferecer seus produtos no mercado.

O segundo motivo abarca o fato de que na literatura do ETO tais problemas raramente são contemplados e, quando contemplados, não são estudados em profundidade. Dessa maneira, não foi possível detalhar as relações existentes entre os problemas sob a ótica da literatura. As variáveis incorporadas no diagrama de relações foram obtidas a partir de observações da prática – entrevistas informais e sugestões dos especialistas. Tais variáveis foram mantidas no diagrama de relações, pois, de fato, esses problemas existem e são importantes à gestão, bem como às demais variáveis. Contudo, não foram adicionadas ao modelo porque, para trabalhar com essas variáveis, seria necessária uma pesquisa específica sobre o assunto, o que não é de interesse tendo em vista o foco deste trabalho. Na Tabela 2 é possível identificar os Efeitos de Escopo.

Tabela 2 – Efeitos de Escopo

EE#	Efeitos de Escopo
134	O custo benefício para subcontratar determinada tecnologia é inviável;
135	Soluções alternativas não satisfazem as necessidades do cliente;
144	A qualidade do produto é questionável (desempenho, confiabilidade, conformidade, etc.);
145	O projeto possível de ser executado não atende a todas as especificações exigidas pelo cliente;
146	Os serviços pós-venda não são satisfatórios;
152	O escopo do projeto não é satisfatório;

Fonte: Elaborado pelo autor

As variáveis que mantiveram a classificação como Efeitos Indesejáveis (EI) são para este estudo em específico as variáveis mais importantes. Esse grupo representa as variáveis selecionadas para compor o modelo de diagnóstico. O grupo dos EIs é composto por 39 variáveis passíveis de serem melhoradas sem comprometer as características do sistema produtivo e as características dos produtos ofertados pela indústria de bens e capital. É importante salientar que esses EIs não são problemas particulares do ETO, tampouco exclusivos dos bens de capital não seriados. Entretanto, ocorrem em maior ou menor frequência nessas organizações. Logo, são variáveis que, ao serem trabalhadas no mundo real, podem surtir efeitos positivos para todo o sistema. Os EIs são apresentados no Tabela 3.

Tabela 3 – Efeitos Indesejáveis

EI#	Efeitos Indesejáveis
34	Erros operacionais ocorrem frequentemente;
42	Os clientes costumam alterar as especificações dos projetos em execução;
43	Os itens fabricados nem sempre são aprovados nos testes (acabamento, desempenho, etc.);
47	Existem recursos limitados pela capacidade de investimento;
54	Imprevistos ocorrem frequentemente (falhas de máquina, variações climáticas, etc.);
55	Há incidências de retrabalhos;
56	Os suprimentos atrasam frequentemente;
57	As compras são acionadas pelos projetos;
58	As aquisições frequentemente são feitas com erros;
63	O processo de aquisição das especificações não é padronizado;
64	Setups de máquina são executados frequentemente;
65	Há atrasos no processo de montagem nas instalações do cliente;
66	Reprogramações muitas vezes são necessárias;
67	Há incidência de atrasos na produção por falta de materiais;
68	O tempo de ciclo dos trabalhos flutua consideravelmente;
69	Os trabalhos não são automatizados;
71	O tempo para aquisição de especificações com o cliente é demorado e variado;
75	Há variações nos tempos de atravessamento;
76	A acuracidade nas estimativas dos tempos de fábrica é baixa;
81	Os contratos são formalizados com as especificações incompletas;
91	Há processos e roteiros desconhecidos na formalização dos contratos;
92	As cotações consomem capacidade de engenharia em pré-projetos;
95	A tecnologia própria para atender determinadas especificações é inexistente;
98	Picos de demanda ocorrem nos recursos de produção e engenharia;
101	Há uma indefinição na priorização das ordens de produção;
102	Há incertezas quanto ao tempo necessário para desenvolver e produzir os projetos;
103	Há necessidade de gerenciar componentes terceirizados;
104	Horas extras são utilizadas frequentemente;
114	Há incertezas quanto aos custos para desenvolver e produzir os projetos;
122	Os prazos são definidos com auxílio de informações de projetos similares;
123	Existe dificuldade em calcular as margens de contribuição;
124	Os preços são definidos com auxílio de informações de projetos similares;
133	Existe o risco de subestimar os prazos de entrega;
136	Existe o risco de subestimar os preços ofertados;
143	Margens de segurança excessivas são inseridas aos prazos de entrega;
147	Margens de segurança excessivas são inseridas aos preços ofertados;
151	Os prazos de entrega não são satisfatórios;
153	Os preços ofertados não são satisfatórios;
161	Os projetos ofertados pela organização não são competitivos.

Fonte: Elaborado pelo autor

Os problemas típicos do ETO, ou FEs, definem o sistema produtivo do ETO por meio de suas características. Os FEs, bem como os Eis, são variáveis passíveis de melhorias e, por isso, soluções poderiam ser implementadas a qualquer momento a esse grupo de variáveis.

Entretanto, no caso dos FEs, isso só é possível quando a organização está disposta a migrar de sistema produtivo. O Efeito Indesejável EI#33 – O volume de produção é baixo – é um exemplo de problema típico do ETO. Ainda que seja possível propor soluções para que o volume seja convertido em larga escala, seria necessário mudar a estratégia da empresa para produtos padronizados. Nessa perspectiva, seria necessário deslocar o sistema ETO em direção a sistemas do tipo MTS.

Observa-se que todos os problemas classificados como FE ocorrem devido à estratégia de personificação dos produtos. Tal estratégia visa a atender um nicho específico de mercado, o qual é altamente customizado e cuja demanda é reduzida. Logo, para converter produtos altamente customizados em padronizados, além de avançar para outro nível de sistema produtivo, seria necessário vencer as barreiras do mercado, pois os produtos destinados à indústria de bens de capital não são vendidos para consumo da população e sim para um conjunto específico e reduzido de empresas. A lista de Efeitos Indesejáveis característicos do tipo de sistema produtivo do ETO é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 – Fatos do ETO

FE#	Fatos do ETO
11	Os produtos são personalizados conforme as necessidades do cliente;
12	A demanda é instável;
21	Os processos não são repetitivos;
23	As ordens de produção não são repetitivas e possuem baixa previsibilidade;
24	Há variabilidade no mix e no volume de vendas;
25	Os projetos possuem roteiros distintos com tempos de ciclo diferenciados nos recursos;
32	Os produtos possuem muitas variantes;
33	O volume de produção é baixo;
35	Há incerteza referente à chegada de novas ordens de produção;
37	O volume de trabalho e o consumo de capacidade variam nos recursos;
44	A necessidade de materiais e componentes possui baixa previsibilidade;
53	Os lotes de produção são únicos ou em poucas unidades;
72	Existe a necessidade de agilizar o processo de cotações;
73	É necessário formalizar os contratos para iniciar o projeto;
77	As operações e montagens são únicas e customizadas;
85	A mão de obra direta é especializada e onerosa;
96	O aumento da capacidade provisória por contratações é inviável;
99	Não existe estoque de produtos acabados e componentes para absorver as variações;
113	É necessário definir o prazo de entrega antes de iniciar um projeto;
115	Os preços estipulados pelo mercado são desconhecidos;
116	É necessário definir o preço de venda antes de iniciar o projeto.

Fonte: Elaborado pelo autor

Os FPs possuem características semelhantes aos FEs. Ambos os grupos de variáveis só podem ser solucionados por meio de decisões estratégicas da empresa. A diferença é que, ao estudar em profundidade essas variáveis, verificou-se que elas não apresentam problemas típicos do ETO e sim dos produtos de bens de capital não seriados. Nos FPs, as soluções encontram-se na alteração do portfólio de produtos. Nos FPs, a estratégia de padronização não é suficiente para que as variáveis sejam solucionadas. A lista dos problemas dos FPs pode ser visualizada na Tabela 5.

Tabela 5 – Fatos do Produto

FP#	Fatos do Produto
31	As máquinas usadas na produção são de grande porte e de uso universal;
41	As máquinas são caras;
46	Há recursos geralmente ociosos;
51	Cada produto é composto por uma quantidade expressiva de materiais e componentes;
52	As máquinas executam operações em diversos componentes diferentes;
59	A utilização da capacidade é desbalanceada;
61	Existem informações desconhecidas do projeto de instalação (entorno);
62	Os produtos possuem muitas especificações;
74	Os layouts são funcionais;
78	A tecnologia de desenvolvimento dos produtos é um diferencial competitivo;
82	Os clientes desconhecem os processos e a tecnologia de desenvolvimento do produto;
83	As atividades de engenharia são complexa, intelectuais e não físicas;
86	Não é possível estocar atividades de engenharia;
87	Terceirizar as atividades de engenharia não é recomendável;
88	Alguns itens da produção não devem ser terceirizados (segredo industrial);
93	Mais de um projeto é conduzido ao mesmo tempo;
94	A programação da produção é setorizada;
97	A flexibilidade na engenharia depende exclusivamente de horas extras;
111	Existe um grande volume de atividades de engenharia (desenhos, novas matrizes, adaptações, etc.);
112	Muitas operações e montagens são necessárias por projeto;
121	Há um alto volume de trabalho por projeto;
131	Os trabalhos são de longa duração;
132	Os clientes impõem multas por atraso;
137	Os produtos são de alta tecnologia;
142	Os projetos possuem elevado tempo de atravessamento por natureza;
148	Os projetos possuem elevado custo por natureza.

Fonte: Elaborado pelo autor

A recomendação de não terceirizar os projetos de engenharia é um exemplo de variável FP. Nota-se que, dependendo do tipo de produto, tal preocupação deixaria de existir. Em outro exemplo, a variável diz respeito à quantidade considerável de especificações existente nos

produtos. Em ambos os casos, o sistema produtivo pode ser alterado e, mesmo assim, o problema persistir. Nesse caso, a única maneira de solucionar tal problema seria substituir completamente os produtos produzidos pela fábrica. Por essa razão, tais variáveis também não foram selecionadas para compor o modelo.

Já os FVs são variáveis que correspondem à natureza das coisas, quando a causa de um problema pertence à classe de fenômenos naturais. Essas variáveis se apresentam sempre como causas raízes dos problemas, porém não possuem solução. Ao todo, foram encontrados sete efeitos considerados Fatos da Vida.

Embora essas variáveis sejam consideradas causas raízes, nada pode ser feito a partir delas. Os problemas devem ser resolvidos em outros níveis na hierarquia de relações de causa-efeito. Logo, essas variáveis também não fazem parte do modelo. A Tabela 6 reúne as variáveis consideradas como Fatos da Vida no diagrama de relações do ETO voltado para indústria de bens de capital não seriada.

Tabela 6 – Fatos da vida

FV#	Fatos da Vida
22	Existe uma curva de aprendizado na execução dos trabalhos;
36	Há ordens de produção mais urgentes que outras;
38	Os recursos possuem capacidade fixa;
45	Há custo em manter estoques de materiais e componentes;
84	Existe a possibilidade de alterar escopo para reduzir prazos e custos;
141	Quanto maior o prazo, menor a satisfação do cliente;
149	Quanto maior o preço, menor a satisfação do cliente;

Fonte: Elaborado pelo autor

Uma vez classificadas as variáveis, os Efeitos Indesejáveis que deveriam fazer parte do modelo tornaram-se evidentes. O resultado dessa classificação pode ser visualizado no ANEXO II. A próxima etapa foi preparar as variáveis consideradas Efeitos Indesejáveis e reavaliá-las para futura aplicação no modelo.

4.3 PREPARAÇÃO E CATEGORIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS

Após a classificação dos Efeitos Indesejáveis, iniciou-se um processo de compreensão dessas variáveis em busca de padrões que pudessem sinalizar semelhanças ou divergências

entre elas. Nesse sentido, a primeira etapa desse processo foi destacar do diagrama de relações os EIs selecionados anteriormente. Para tanto, os EIs foram identificados e diferenciados em cores com o intuito de obter uma visão integrada do posicionamento desses efeitos remanescentes no diagrama de relações. Após alguns ajustes, o diagrama em destaque mostrou-se independente. Os EIs identificados continuaram se relacionando da base ao problema principal, que se encontra representado no topo do diagrama. No ANEXO II deste trabalho, é possível acessar o diagrama exclusivo dos EIs e compará-lo com o diagrama completo exposto no ANEXO I.

Na sequência, ao observar o diagrama de relações exclusivo dos EIs, três variáveis foram descartadas por serem entendidas como variáveis resultantes – as últimas consequências na hierarquia do diagrama de relações. Tais consequências descrevem que os prazos de entrega e os preços ofertados não são satisfatórios, refletindo na falta de competitividade dos projetos (EI#151, EI#153 e EI#161). Essas variáveis são efeitos resultantes, pois somente é possível solucioná-las resolvendo os problemas que se encontram hierarquicamente abaixo no diagrama de relações, ou seja, reduzindo os custos e os tempos de atravessamento a partir de outras variáveis.

Depois de eliminar as variáveis resultantes, iniciou-se uma nova etapa de categorização dos EIs. Primeiramente, os EIs foram subdivididos em Causa Raiz e Causa Consequência. Como o próprio nome sugere, as causas raízes são aquelas que se encontram no primeiro nível das relações de causa-efeito. São consideradas como raiz dos problemas por não serem consequências de outros EIs. As causas consequências são problemas que ocorrem devido a causas anteriores. Elas podem ser consequências de uma ou mais causas raízes ou de uma ou mais causas consequências. Podem, ainda, ser resultado de várias causas raízes e consequências ao mesmo tempo.

Assim, depois de segregar as variáveis EIs em raízes e consequências, foi a vez de identificar nos EIs suas relações com os critérios de prazos e custos. Nesse processo, a ideia inicial foi separar as variáveis que, quando solucionadas, reduziriam os custos, daquelas que naturalmente reduziriam os tempos de atravessamento. Entretanto, ao estudar as variáveis, observou-se que parte delas retratavam problemas de incerteza consequentes de outras causas que consomem “tempo e dinheiro”.

Nessa ocasião, foi possível observar que dois fatores tendem a tornar ambos os critérios, de preços e prazos, insatisfatórios. O primeiro fator é físico, e diz respeito à gestão e execução das atividades de engenharia e de operações de fábrica de maneira inapropriada. Os retrabalhos, por exemplo, resultam em tempo adicional de execução, e os erros operacionais acarretam

custos adicionais com matéria-prima. Já o segundo fator, não físico, encontra-se na precisão das informações, e visa à redução de margens de segurança inseridas nos preços e prazos ofertados ao cliente, ou melhor, encontra-se no risco de subestimar os prazos e os custos devido às incertezas.

Visto isso, é necessário frisar a importância de trabalhar no modelo as variáveis de incerteza, pois quanto mais precisas forem as informações gerenciáveis, menor será a incidência de margens de segurança na cotação dos projetos. Sendo assim, ao compreender a importância das variáveis de incerteza, os Efeitos Indesejáveis foram subdivididos em quatro categorias: a) variáveis de custo; b) variáveis de prazo; c) variáveis de incertezas de custos; e d) variáveis de incertezas de prazo.

Desse modo, cada uma das variáveis foi diferenciada obedecendo aos critérios de grupo – raiz ou consequência – e suas respectivas categorias. A Tabela 7 mostra os EIs classificados como causas raízes das variáveis de custos. As primeiras duas colunas trazem informações referentes ao código de rastreamento e ao efeito indesejável em si, enquanto a terceira coluna justifica o motivo pelo qual a variável foi agregada a tal categoria.

Tabela 7 – Raízes de custos

Grupo/Classe: Causas raízes das variáveis de custos		
EI#	Variável	Justificativa
34	Erros operacionais ocorrem frequentemente;	Custo com materiais e componentes danificados; Custo de mão de obra;
47	Existem recursos limitados pela capacidade de investimento;	Custo em soluções alternativas de capacidade;
54	Imprevistos ocorrem frequentemente;	Custo de manutenção; Mão de obra ociosa;
69	Os trabalhos não são automatizados;	Custo de mão de obra;
95	A tecnologia própria para atender determinadas especificações é inexistente;	Custo de subcontratação; Custos logísticos;

Fonte: Elaborado pelo autor

A primeira variável apresentada na Tabela 7, por exemplo, afirma que erros operacionais ocorrem frequentemente (EI#34). Nota-se que, nesse caso, custos serão adicionados aos projetos. É evidente que erros operacionais podem danificar materiais gerando refugos na fábrica. No entanto, em casos como a engenharia, por exemplo, os erros ocasionam

apenas tempo extra para execução das atividades. Nesse ponto, é necessário compreender que os custos adicionais ocorrem devido às horas duplicadas pagas para correção do problema. Já o problema do tempo perdido devido aos mesmos erros será naturalmente contabilizado em uma consequência posterior a esse EI, com a variável de retrabalho: “Se erros operacionais ocorrem frequentemente (EI#34), então, há incidência de retrabalhos (EI#55)”.

Na Tabela 8, encontram-se os EIs classificados como causas raízes dos prazos de entrega. A justificativa para solucionar cada um desses problemas é a redução do tempo de atravessamento do projeto. Vê-se que cada uma das variáveis apresentadas se resume ao tempo adicional no atravessamento dos projetos devido às esperas. Trata-se do tempo extra adicionado aos processos enquanto se aguarda que alguma ação aconteça. Tais esperas podem ocorrer tanto no processo de cotação quanto nos processos de engenharia ou produção.

Tabela 8 – Raízes de Prazos

Grupo/Classe: Causas raízes das variáveis de prazos		
EI#	Variável	Justificativa
56	Os suprimentos atrasam frequentemente;	Tempo consumido aguardando chegada de materiais;
57	As compras são acionadas pelos projetos;	Tempo consumido aguardando liberação da engenharia; Tempo consumido aguardando chegada de materiais;
63	O processo de aquisição das especificações não é padronizado;	Tempo consumido aguardando liberação de contrato;
64	Setups de máquina são executados frequentemente;	Tempo consumido aguardando liberação de máquina;
92	As cotações consomem capacidade de engenharia;	Tempo consumido aguardando liberação de contrato;
101	Há uma indefinição na priorização das ordens de produção;	Tempo consumido devido ao sequenciamento inadequado das atividades de engenharia e operações de fábrica;

Fonte: Elaborado pelo autor

Já os EIs do grupo das Causas Consequências são divididos em variáveis que refletem tanto os problemas físicos quanto as variáveis de risco devido às incertezas. A Tabela 9 apresenta a lista dos EIs referentes ao critério de custos. Nesse contexto, verificou-se que conforme os EIs vão se afastando, por intermédio das relações de causa-efeito, das raízes dos problemas, vão deixando de ser um problema físico real para se transformar em incertezas. Por isso, a justificativa apresentada na tabela abaixo para modelagem dessas variáveis de incertezas do modelo é genérica. Todas as variáveis são consequências da falta de precisão do que de fato

deveria ocorrer a partir do planejamento. Observa-se que as variáveis de incertezas são responsáveis pela adição de margens de segurança aos critérios.

Tabela 9 – Consequências de custo

Grupo/Classe: Causas consequências das variáveis de custos		
EI#	Variável	Justificativa
42	Os clientes costumam alterar as especificações dos projetos em execução;	Custo com materiais e componentes danificados; Custo de mão de obra;
43	Os itens fabricados nem sempre são aprovados nos testes;	Custo com materiais e componentes danificados; Custo de mão de obra;
58	As aquisições frequentemente são feitas com erro;	Custo com estoque de materiais desnecessários; Custos logísticos;
103	Há a necessidade de gerenciar componentes terceirizados;	Custo de subcontratação; Custos logísticos;
104	Horas extras são utilizadas frequentemente;	Custos com horas extras;
114	Há incertezas quanto aos custos para desenvolver e produzir os projetos;	Variável de risco: incertezas sobre os custos
123	Existe dificuldade em calcular as margens de contribuição;	Variável de risco: incertezas sobre os custos
124	Os preços são definidos com auxílio de informações de projetos similares;	Variável de risco: incertezas sobre os custos
136	Existe o risco de subestimar os preços ofertados;	Variável de risco: incertezas sobre os custos
147	Margens de segurança excessivas são inseridas aos preços ofertados;	Variável de risco: incertezas sobre os custos

Fonte: Elaborado pelo autor

Por último, representadas na Tabela 10, encontram-se as consequências do universo dos prazos. Da mesma forma, a justificativa é exposta buscando-se o sentido para a permanência de cada uma das variáveis no modelo. Nesse caso, as esperas e as incertezas são os principais motivos para que tais variáveis sejam avaliadas.

Tabela 10 – Consequências de Prazos

Grupo/Classe: Causas consequências das variáveis de prazos		
EI#	Variável	Justificativa
55	Há incidências de retrabalhos;	Tempo consumido aguardando operação duplicada;
65	Há atrasos no processo de montagem nas instalações do cliente;	Tempo consumido aguardando montagem no cliente;
66	Reprogramações muitas vezes são necessárias;	Variável de risco: Incerteza de tempo;
67	Há incidência de atrasos na produção por falta de materiais;	Tempo consumido aguardando a chegada dos materiais;
68	Os tempos de ciclo dos trabalhos flutuam consideravelmente;	Variável de risco: Incerteza de tempo;
71	O tempo para aquisição das especificações com o cliente é demorado e variado;	Tempo consumido aguardando a liberação de contrato;
75	Há variações nos tempos de atravessamento;	Variável de risco: Incertezas de tempo;
76	A acuracidade nas estimativas dos tempos de fábrica é baixa;	Variável de risco: Incertezas de tempo;
81	Os contratos são formalizados com as especificações incompletas;	Tempo consumido aguardando especificações;
91	Há processos e roteiros desconhecidos na formalização dos contratos;	Tempo consumido aguardando soluções de engenharia;
98	Picos de demanda ocorrem nos recursos de produção e engenharia;	Variável de risco: Incertezas de tempo;
102	Há incertezas quanto ao tempo necessário para desenvolver e produzir os projetos;	Variável de risco: Incertezas de tempo;
122	Os prazos são definidos com auxílio de informações de projetos similares;	Variável de risco: Incertezas de tempo;
133	Existe o risco de subestimar os prazos de entrega;	Variável de risco: Incertezas de tempo;
143	Margens de segurança excessivas são inseridas aos prazos de entrega;	Variável de risco: Incertezas de tempo;

Fonte: Elaborado pelo autor

Ao finalizar o processo de definição e classificação das variáveis, iniciou-se a etapa de pontuação e valoração das variáveis como dados de entrada do modelo. Esse processo é apresentado, a seguir, no próximo capítulo deste estudo.

5 CONSTRUÇÃO DO MODELO DE DIAGNÓSTICO

O modelo de diagnóstico, conforme citado na metodologia, foi elaborado utilizando dois artefatos: A ARA da Teoria das Restrições e o método AHPSort. A ARA foi empregada com o objetivo de seleção e ponderação das variáveis, e o AHPSort foi selecionado como método para classificar os EIs. O método AHPSort é composto por uma série de definições que devem ser exploradas para classificação de um número excessivo de alternativas. Trata-se de uma solução encontrada para modelos que possuem muitas alternativas para tomada de decisão.

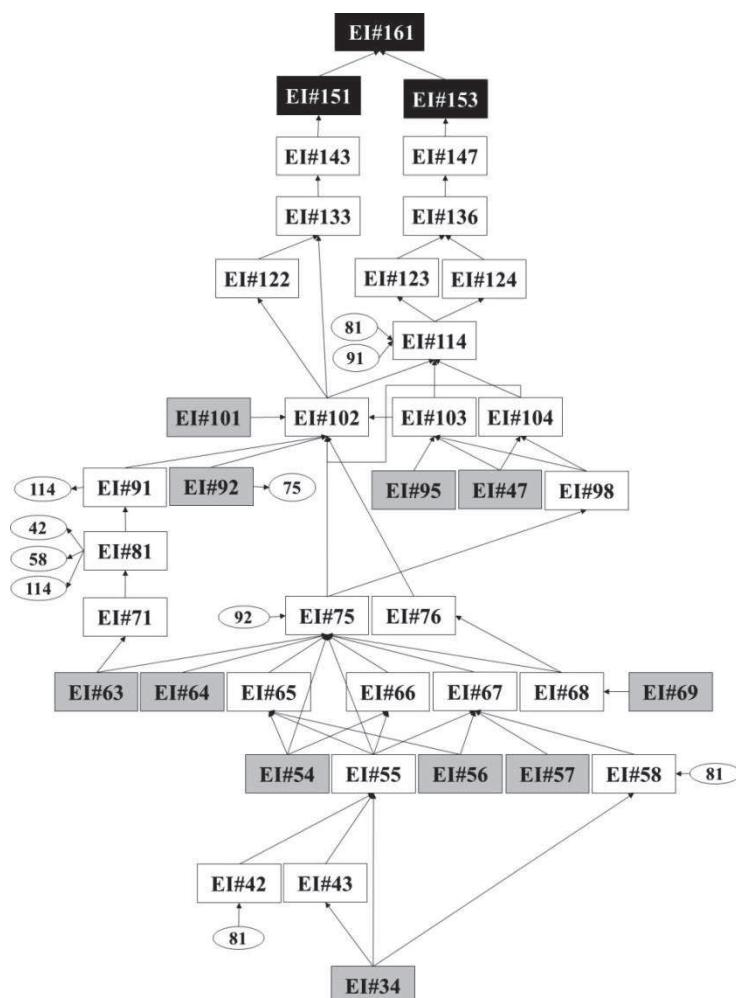
Assim, visando à classificação dos Efeitos Indesejáveis definidos a partir da ARA, neste capítulo são apresentados os passos realizados no tratamento dos dados, nas definições dos coeficientes, na conversão dos vetores de prioridade, na estruturação e na aplicação do modelo. Para alcançar os objetivos desta tese, o primeiro passo foi definir os coeficientes de entrada em busca dos vetores que irão resolver o problema por intermédio da solução de classificação.

5.1 DEFINIÇÃO DOS COEFICIENTES DE ENTRADA

Os coeficientes de entrada são os pesos ponderados correspondentes a cada uma das variáveis do modelo. É por meio desses valores que a classificação deverá ser efetuada. Nesse sentido, visando a estabelecer pesos para cada um dos Efeitos Indesejáveis, o primeiro passo foi compreender as relações existentes no diagrama dos EIs selecionados para o modelo. Conforme visto anteriormente, o diagrama dos EIs encontra-se disponível no ANEXO II. Conquanto, para facilitar a compreensão dos passos efetuados no processo de valoração das variáveis, a Figura 8 expõe uma simplificação desse diagrama. A diferença dessa simplificação para o diagrama completo é que na simplificação são apresentados apenas os códigos das variáveis, o que é suficiente para entender como foram atribuídos os valores aos Efeitos Indesejáveis visando à posterior aplicação.

No diagrama da Figura 8, é possível identificar as variáveis resultantes, as causas raízes e as causas consequências diferenciadas em preto, cinza e branco, respectivamente. As variáveis resultantes não são consideradas como efeito de causa para o resto das variáveis, e as variáveis raízes não são consequências de nenhuma outra variável. Diferenciando-se das demais, as causas consequências sempre serão consideradas “efeito” de algumas variáveis e “causas” para outras.

Figura 8 – Simplificação do diagrama de relações dos EIs



Fonte: Elaborado pelo autor

Ainda em relação ao entendimento do diagrama, as setas representam o sentido do fluxo, enquanto que as formas arredondadas representam os conectores. Tais conectores são imprescindíveis para que o diagrama não se torne ilegível, com setas escondidas pelo desenho. O Efeito Indesejável EI#81, por exemplo, além de causar uma consequência no EI#91, também é considerado causa para os efeitos EI#42, EI#58 e EI#114. Nesse contexto, é importante destacar que as causas raízes representam as variáveis mais importantes nos diagramas de relações de causa-efeito. Isso ocorre porque, na prática, o ideal é encontrar a raiz dos problemas para resolvê-los plenamente na base em que são gerados.

Quando, por exemplo, uma furadeira de bancada persiste em estragar as brocas precocemente, mais de uma solução pode ser avaliada. Uma delas seria a troca imediata da broca para continuar o trabalho o mais rápido possível. Outra solução seria adotar uma estratégia de avançar até a raiz do problema, buscando entender “porque” a máquina está danificando as brocas e não respeitando a vida útil dessas ferramentas.

Nesse exemplo clássico da indústria, normalmente a causa do problema se encontra no sistema automático de refrigeração que, por algum outro motivo, deixa de funcionar adequadamente. Nessa situação, uma solução intermediária seria refrigerar as brocas manualmente. Entretanto, ainda seria possível avançar mais um nível até a causa raiz do problema, verificando a bomba que faz o processo de refrigeração fluir automaticamente ou então apenas desobstruindo o duto que conduz o material refrigerante até a broca.

Seguindo essa lógica, fica claro que as causas raízes possuem, na prática, um peso maior do que as causas consequências em termos de potencial para extinguir problemas. Isso porque as causas raízes são a base para todas as demais consequências em qualquer rede de relações. Logo, é possível afirmar que existe uma “força” que poderia ser mensurada conforme o nível hierárquico em que se encontram os Efeitos Indesejáveis nas redes de relações.

Dessa maneira, ao analisar qualquer diagrama de relações, é possível averiguar que existem dois tipos de relações. As relações de causa, que partem da base e chegam a uma determinada consequência, e as relações de efeito, que partem dessa consequência em direção ao topo, ao encontro das variáveis resultantes. A diferença entre as relações de causa e de efeito é que os EIs, quando solucionados, carregam consequências positivas ou negativas com as relações de efeito que partem de si, porém, tal solução não interfere nas relações anteriores desse mesmo efeito. Isso significa que todas as variáveis de consequência são impactadas por relações de causa, ao mesmo tempo em que causam impactos por intermédio das relações de efeito.

Posto isso, é possível afirmar que as relações de efeito são proporcionais ao grau de importância dos EIs, enquanto as relações de causa são inversamente proporcionais. Isto é, quanto maior for o número de relações de efeito de um EI, maior será o número de variáveis consequências impactadas pelo EI. Opostamente, quanto maior for o número de relações causais, menor será o potencial de um EI para solucionar um determinado problema.

No diagrama da Figura 8, é possível verificar que algumas variáveis possuem mais relações de causa do que outras. O EI#43, por exemplo, é uma consequência direta do EI#34 e de nenhuma outra variável. Já o Efeito Indesejável EI#55 é consequência direta dos efeitos EI#34, EI#42 e EI#43, mas também é uma consequência indireta dos efeitos EI#63, EI#71 e EI#81, pois esses efeitos indesejáveis estão ligados ao EI#42 por meio de um conector. Isso significa que o EI#55 possui um maior número de relações de causa do que o EI#43. No entanto, ao analisar o fluxo a partir das relações de efeito, os valores se invertem, e o EI#43 passa a ter um maior número de relações, visto que essa variável é uma das causas do EI#55.

Assim, analisando as informações descritas neste tópico, foram encontrados dois fatores que podem definir o grau de importância de cada uma das variáveis: o nível de abrangência (Na) e o nível de reação (Nr). Enquanto o nível de abrangência mede a quantidade de variáveis que são impactadas por um EI, o nível de reação determina o potencial de impacto do EI. Em outras palavras, enquanto o Na mensura as relações de efeito, o Nr mede a quantidade de relações causais.

Além disso, uma última observação que deve ser feita diz respeito à quantidade de variáveis impactadas que, por vezes, são consequência de custos e, outras vezes, consequência de prazos. Não é por acaso que a redução do tempo de atravessamento de um projeto também afeta os custos. Na relação de causa-efeito existente entre as variáveis EI#34 e EI#55 – “SE erros operacionais ocorrem frequentemente, ENTÃO, há incidência de retrabalhos” – é notória a existência de uma relação em que um EI responsável por aumentar os custos tem por consequência um EI responsável por aumentar o tempo de atravessamento.

Desse modo, também é possível contabilizar as variáveis pelas categorias de custos e de prazos impactadas por cada um dos EIs. Essa categorização é importante visto que 78% dos EIs selecionados impactam direta ou indiretamente ambas as variáveis resultantes relativas à satisfação por custos e prazos. Apenas oito variáveis de um total de 36 impactam só um dos critérios, no caso, as últimas consequências de incerteza que estão posicionadas no topo do diagrama de relações.

Partindo desse raciocínio, para avaliar o grau de importância de cada um dos EIs, uma matriz foi elaborada com a finalidade de organizar as informações referentes aos dois fatores identificados pelas categorias de custos e prazos. A Figura 9 exibe a matriz das relações com as informações registradas. Na matriz quadrada, o somatório das colunas revela o total de variáveis impactadas pelos EIs por meio das relações de efeito (RE), enquanto o somatório das linhas revela o total de variáveis que impactam os EIs por intermédio das relações de causa (RC).

Nesse ponto, é necessário destacar que a diagonal maior da matriz só é contabilizada no somatório das colunas. O motivo disso é que os EIs, quando são estimulados a melhorias, são impactados ao lado das demais variáveis impactadas pelas relações de efeito. Entretanto, na mesma condição, as variáveis que estão conectadas aos EIs pelas relações de causa não são impactadas.

Figura 9 – Matriz das relações

EI#	34	42	43	47	54	55	56	57	58	63	64	65	66	67	68	69	71	75	76	81	91	92	95	98	101	102	103	104	114	122	123	124	133	136	143	147	RC	
34	C																																				0	
42		C									x						x			x																	3	
43	x		C																																		1	
47				C																																	0	
54					C																																0	
55	x	x	x			P					x						x			x																6		
56							P																														0	
57								P																													0	
58	x								C	x							x			x																	4	
63										P																											0	
64											P																										0	
65	x	x	x		x	x	x			x			P				x			x																	9	
66	x	x	x		x	x				x				P			x			x																	8	
67	x	x	x												P		x			x																	10	
68																P	x																				1	
69																	C																				0	
71											x							P																			1	
75	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		P		x		x													18		
76																					P																2	
81											x											P															2	
91											x												P														3	
92																								P													0	
95																									C												0	
98	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x							P												19	
101																										P											0	
102	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		P	x	x								27		
103	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			C									22		
104	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				C								21		
114	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					C							28		
122	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						P						28		
123	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x							C					29		
124	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x								C				29		
133	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x									x		P	29		
136	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x										x	C	31		
143	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x											x	P	30	
147	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x											x	C	32	
RE	20	18	18	12	16	17	16	15	15	23	14	14	14	14	15	16	22	13	10	21	10	14	11	12	10	9	10	10	10	5	3	3	3	2	2	1	1	Σ

Fonte: Elaborado pelo autor

Outro detalhe da matriz é que as linhas marcadas em cinza revelam as variáveis de custos, e as linhas em branco demonstram as variáveis de prazo. Essa informação também se encontra disponível na diagonal maior da matriz, onde a letra “C” indica que o EI é uma variável da categoria de custos e a letra “P” é uma variável da categoria de prazos. Assim, a partir dessa classificação é possível contabilizar, por meio das informações registradas nas colunas, quantas variáveis impactadas pelas relações de causa-efeito pertencem a cada um dos critérios competitivos.

Na matriz das relações, também é possível identificar quais variáveis são causas raízes e quais são causas conseqüências. Para isso, basta localizar a coluna com os somatórios referente às relações de causa (RC) que se encontram à direita na matriz. Sempre que a soma

dos registros informados nas linhas for igual à zero, significa que a variável em questão é uma causa raiz. Isso ocorre porque as causas raízes não possuem relações de causa, somente de efeito.

5.2 TRATAMENTO DOS COEFICIENTES DE ENTRADA

Nesta seção, é exposta a maneira como os dados foram pensados e tratados para fazer parte da aplicação do modelo de diagnóstico. As informações descritas nessa etapa permitem compreender como os coeficientes foram gerados. Para isso, as variáveis pertencentes ao modelo foram submetidas a um processo de pontuação e a outro de valoração dos EIs.

O processo de pontuação refere-se ao último nível adicionado ao conjunto de fatores utilizado para valorar os EIs. Trata-se da percepção quanto à gravidade dos problemas que devem ser apontados pelos gestores das organizações diagnosticadas. Embora subjetivo, o nível de percepção dos gestores é um fator importante, uma vez que os efeitos indesejáveis variam, de organização para organização, quanto à gravidade de cada problema. Isso significa que cada organização possui a sua própria maneira de “equalizar” os Efeitos Indesejáveis. O que pode ser um problema grave para uma empresa, para outra pode não ser.

Já no processo de valoração, a proposta está na formulação de um coeficiente fixo a partir dos níveis de abrangência e reação observados nas relações de causa-efeito e do nível adicionado pelo processo de pontuação. A ideia é que esse coeficiente possa ser utilizado para avaliar o grau de relevância dos EIs e gerar os vetores de prioridade para futura classificação desses EIs.

Para calcular o nível de abrangência (N_a), primeiramente foi realizada a apuração do número de variáveis impactadas pelas relações de efeito em cada um dos EIs, conforme verificado na matriz da Figura 9. Em segundo lugar, para cada um dos EIs, a razão entre o somatório de variáveis impactadas pelas relações de efeito e o total de variáveis foi calculada. Como exemplo, o somatório da coluna do EI#43 é igual a 18 (17 variáveis impactadas por relações de efeito mais o próprio EI) e o total de variáveis que participam do modelo é igual a 36. Portanto, o nível de abrangência do EI#43 é igual a 0,5 ($N_a = 18/36$). Isso significa, que 50% dos EIs são impactados quando o *status quo* do EI#43 é alterado positiva ou negativamente.

Em relação ao nível de reação (N_r), a lógica partiu da premissa de que as causas raízes possuem maior peso devido ao seu potencial de resolver os problemas, pois as raízes

encontram-se justamente onde os problemas realmente ocorrem. Nesse sentido, o primeiro passo dado foi verificar que o somatório das variáveis que impactam os EIs por meio das relações de causa cresce na medida em que as variáveis se aproximam do topo do diagrama.

Nessa situação, o nível de reação deve ser inversamente proporcional à quantidade de relações causais, visto que o maior peso é atribuído às raízes que não possuem relações de causa. Dessa maneira, a proposta encontra-se na inversão desses valores sem perder a proporção natural hierárquica. Isso significa que, se as causas raízes são as variáveis de maior peso, então, os EIs com maior número de variáveis impactantes por relações, logicamente, são as variáveis que menos contribuem para melhoria do todo.

Destarte, para inversão desses valores, primeiramente estipulou-se que cada uma das variáveis impactantes deveria possuir a mesma proporção de “força” ao impactar um EI, pois o resultado esperado deve ser proporcional ao número de variáveis impactantes por intermédio das relações de causa. Partindo desse princípio, inicialmente, obteve-se o valor correspondente a uma variável impactante isolada, dividindo um inteiro pelo total de variáveis do modelo. O resultado encontrado foi a razão entre 1 e 36, o que é igual a 0,02778. Isso significa que cada uma das variáveis possui um nível de reação de aproximadamente 3%. Depois, esse valor multiplicado pela diferença entre o total de variáveis e o somatório de variáveis impactantes, possibilitou a inversão proporcional desses valores.

No exemplo do EI#34, o somatório de variáveis impactantes é igual à zero por se tratar de uma causa raiz. Logo, o resultado encontrado ao aplicar os valores na fórmula – $Nr = (36 - 0) \times 1/36$ – é igual a um, ou seja, o potencial de impacto dessa variável, que não possui relações de causa, é de 100%. No outro extremo, o EI#147 é o efeito indesejável que se relaciona com o maior número de variáveis impactantes. Ao aplicar a fórmula – $Nr = (36 - 32) \times 1/36$ – o resultado foi igual a 0,111. Isso significa que a capacidade do EI#147 de reagir ao próprio problema é de aproximadamente 11%. Observa-se que a fórmula do nível de reação propõe um desconto nos EIs, à razão de 1:36 avos para cada variável impactante relacionada a eles.

Já o terceiro fator adicionado, relativo ao nível de percepção (Np) dos gestores, foi obtido a partir de um formulário de coleta de dados (ANEXO III). Para isso, uma escala de 10 pontos foi apresentada aos gestores, questionando cada um dos EIs. As respostas obtidas por meio do formulário buscam retratar a relevância de cada um dos efeitos indesejáveis no cotidiano das empresas. Nesse caso, a decisão foi de não converter ou tratar os dados coletados via formulário. A ideia é que o nível de percepção deve ser o principal valor adicionado ao coeficiente.

Uma vez que os três fatores de níveis foram definidos, a última etapa de criação do coeficiente dos EIs foi estudar a maneira como esses níveis poderiam ser integrados em um único coeficiente. Ao compreender a fundo o resultado de cada um dos fatores, foi possível estabelecer uma fórmula que resultasse em um coeficiente capaz de ponderar o grau de relevância dos EIs frente ao todo.

Nesse sentido, inicialmente, percebeu-se que o nível de abrangência multiplicado pelo nível de reação poderia ser efetuado. A ideia é que uma variável raiz que possui o nível de abrangência e de reação ambos iguais a 0,5 fosse capaz de impactar 25% do todo. Em um exemplo prático, os fatores encontrados para o EI#75 foram de: $N_a = 0,36$ e $N_r = 0,5$. Multiplicando esses valores, o resultado final é igual a um potencial de impacto de 18%. Isso significa que, embora 36% das variáveis sejam impactadas pelo EI#75, apenas uma estimativa de 50% do problema pode ser resolvido por esse EI. A outra metade do problema deve ser resolvida a partir das variáveis causais dessa variável. Se as variáveis causais não forem solucionadas, pela lógica, o EI#75 sempre voltará a acontecer.

Uma vez definido o potencial de impacto dos EIs, foi a vez de multiplicar os valores de percepção dos gestores. Para exemplificar, supõe-se que as respostas obtidas pela percepção dos gestores de duas empresas diferentes, em uma escala de 1 a 10, foram 3 e 8 para o EI#75. Isso quer dizer que uma delas não concorda que haja variações significativas no tempo de atravessamento dos projetos (EI#75) e a outra concorda quase que plenamente com essa afirmação. Dessa maneira, ao multiplicar o potencial de impacto de 18% pela percepção dos gestores, os coeficientes encontrados foram 0,54 e 1,44.

O resultado final do coeficiente mostra que, embora o potencial de impacto do EI#75 não seja um valor muito alto, para a segunda empresa tal efeito indesejável é um problema que merece atenção. Uma vez que o EI#75 se encontra em um nível hierárquico elevado relativo às relações de causa, muito provavelmente outras variáveis impactantes do EI#75 seriam selecionadas para solucionar o problema. Em outro exemplo, o potencial de impacto poderia ser relativamente alto, porém se a percepção dos gestores fosse igual a 0, visto que na empresa um determinado problema não existe, a variável seria anulada.

Dito isso, o coeficiente criado atendeu, a princípio, à expectativa de classificação dos problemas, visto que há um equilíbrio entre o potencial de solução das variáveis e o grau de relevância do problema que será revelado na prática. Desse modo, a última etapa de tratamento dos dados foi vincular o coeficiente encontrado aos critérios competitivos, tendo em vista a necessidade de atrelar os impactos das relações de efeito às categorias de custos e prazos.

Com base no pressuposto de que parte das variáveis impactadas pelos EIs promove melhoria nos custos e outra parcela nos prazos, uma nova contagem foi feita na colunas da matriz das relações (Figura 9). Dessa forma, foi possível identificar, para cada um dos EIs, quantas variáveis impactadas por relações de efeito estão vinculadas a cada um dos critérios de prazos e custos. Visto isso, o resultado da contagem, dessa vez segregada pelas categorias, foi submetido à razão desses valores pelo total de variáveis impactadas por relações de efeito nos EIs.

Voltando aos exemplos, o EI#103 possui o somatório de 10 variáveis impactadas, sendo que seis delas são variáveis de custos e quatro de prazos. Nessa situação, a razão entre a soma por critério e o total de variáveis impactadas revela que 60% do impacto causado pelo EI#103 é direcionado à variável resultante de insatisfação por preços, e 40% à variável resultante de insatisfação por prazos.

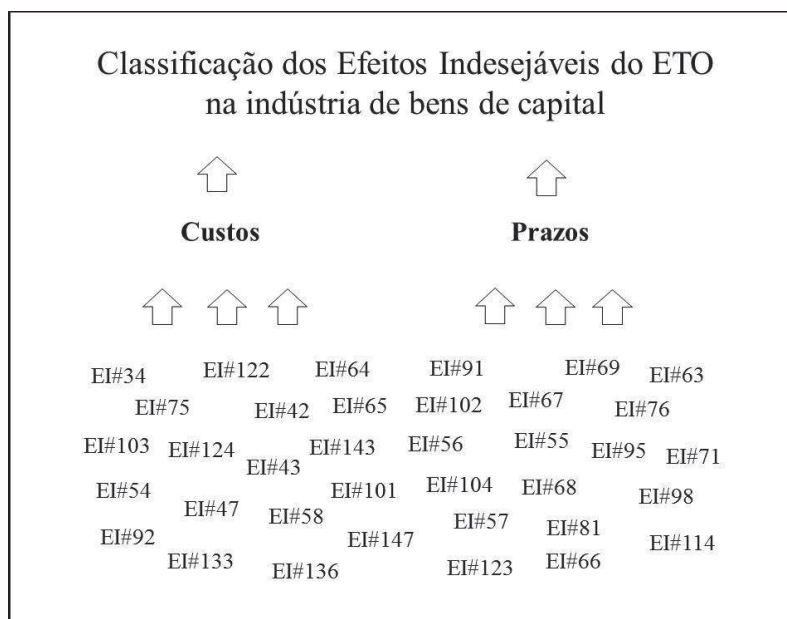
Dessa maneira, os coeficientes encontrados foram multiplicados pelos resultados de participação de cada um dos critérios. No exemplo anterior, o EI#103 apresentou que 60% do impacto causado por essa variável remete aos custos e 40% aos prazos. No caso desse EI, o coeficiente encontrado, multiplicando-se o potencial de impacto ($N_a \times N_r$) ao grau de relevância percebido pelos gestores (N_p), foi igual a um coeficiente de 0,32 de importância. Logo, o coeficiente de custos resultou em 0,19 e o coeficiente de prazos em 0,13. Dessa forma, o grau de relevância do EI#103 para resolução do problema de insatisfação devido a preços ofertados e a prazos de entrega é igual a 0,19 e 0,13, respectivamente.

Finalmente, a partir desses valores computados, foi possível avançar para a próxima fase de construção do modelo, a etapa de conversão dos coeficientes em vetores de prioridade para classificação dos EIs pelo método AHPSort.

5.3 CONVERSÃO DOS COEFICIENTES DE ENTRADA

Depois que os coeficientes foram definidos e atrelados às categorias de prazos e custos, o próximo passo do desenvolvimento do modelo foi seguir as etapas do método AHPSort. Nesse método, a primeira etapa se refere à definição do problema. Tal etapa é dividida em três passos, sendo que o primeiro trata de estabelecer objetivos, critérios e alternativas. A Figura 10 mostra a estrutura de definição do problema, cujo objetivo é classificar as alternativas de efeitos indesejáveis do ETO por meio dos critérios competitivos de custos e prazos.

Figura 10 – Definição do problema de classificação



Fonte: Elaborado pelo autor

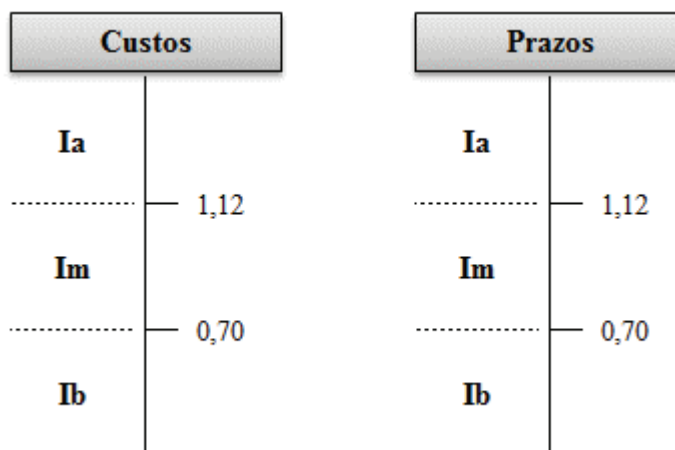
A definição do problema é representada por uma estrutura das relações existentes entre os objetivos, os critérios e as alternativas. No AHPsort, as alternativas são classificadas levando em consideração os critérios. Os EIs são separados por classes, conforme o peso dos critérios de escolha definidos pelos custos e prazos. No entanto, para que a classificação de fato ocorra, o segundo passo é definir o perfil de classes e as classes propriamente ditas.

Para definição do perfil de classes, duas resoluções são necessárias: definir o número de classes e o tipo de perfil desejado. Ambas as definições são simples e arbitrárias. Em relação ao perfil, existem duas opções que são válidas e que produzem praticamente os mesmos resultados. A diferença está na maneira como o modelo irá classificar as variáveis. Essa classificação pode ser feita por meio de perfis limitantes locais ou perfis centrais locais. Já em relação às classes, a escolha diz respeito à quantidade de *clusters* limitados pelo tipo de perfil, sendo que as variáveis serão destinadas à formação dos conjuntos.

O perfil e as classes foram definidos conforme a Figura 11. Com base no objetivo de classificação dos EIs, os critérios foram divididos em três classes de alternativas: Alto impacto (Ia); Médio impacto (Im) e Baixo impacto (Ib). Em relação à escolha do perfil, optou-se pelo perfil limitante local. Diferente dos perfis centrais locais, em que as variáveis são julgadas pela proximidade dos centros, nos perfis limitantes locais os limites são demarcados e as variáveis são julgadas por ultrapassarem ou não as fronteiras desses limites. Nesse sentido, a melhor opção foi o perfil limitante local, devido ao fato de essa modalidade facilitar os julgamentos e

possibilitar a automatização dos resultados em planilha do *software* Excel a partir de uma função simples de condição.

Figura 11 – Limitantes dos critérios



Fonte: Elaborado pelo autor

Os valores fixados como limitantes foram estabelecidos seguindo dois parâmetros. O primeiro se sustenta por uma análise descritiva simples dos coeficientes previamente simulados com dados coletados no estudo piloto (média aritmética e valores máximos). Nota-se que nesse passo da definição do problema é necessário conhecer de antemão os coeficientes reais, pois sem esses valores não é possível ajustar a escala. Logo, a definição das classes e dos perfis, embora pré-concebida antes da aplicação do modelo, só foi realmente realizada posteriormente, quando os dados referentes ao nível de percepção dos gestores foram coletados.

Visto isso, dados do estudo piloto foram utilizados inicialmente para calcular os coeficientes. Assim, no cálculo da limitante maior, verificou-se que havia poucas variáveis maiores do que 1 e, por isso, na definição provisória, esse valor foi concebido. Somente mais tarde, depois da aplicação real dos casos, foi alterado para 1,12. Já na definição do limite inferior, a análise foi feita a partir das médias dos coeficientes. Como a média calculada foi de aproximadamente 0,6 para ambos os critérios, o limite mínimo pré-definido arbitrariamente foi de 0,70, visando a associar o médio impacto a variáveis que se encontram um pouco acima da média.

Na sequência, o limite mínimo não precisou ser alterado para aplicação devido ao segundo parâmetro de escolha das limitantes. O segundo parâmetro diz respeito ao interesse relativo ao número de variáveis que deverão ser classificadas. Isso significa que, se o perfil limitante for muito alto, nenhuma ou poucas variáveis serão selecionadas. Opostamente, perfis

muito baixos podem ocasionar a classificação de todas as variáveis na primeira classe. Sendo assim, é natural que pequenos ajustes sejam feitos depois, quando os dados são definitivos.

Dessa maneira, conforme visto anteriormente, apenas o perfil limitante entre Ia e Im precisou ser ajustado para que os resultados fossem revelados contendo em torno de 10 EIs entre a primeira e segunda classes. Após ajuste, o número de variáveis reportadas para cada uma das classes tornou-se satisfatório.

Mais tarde, concluída a etapa de definição do problema, a segunda etapa do método AHPsort foi iniciada. Tal etapa compreende três passos, a saber: a) comparação dos critérios; b) comparação das alternativas; e c) determinação do vetor de prioridades. O passo de comparação dos critérios serve para verificar par a par, entre os critérios, o grau de importância de cada categoria. Nesse estudo em específico, o grau de importância dos critérios é um valor relativo que depende da realidade das empresas. Uma vez que o modelo proposto possui apenas dois critérios, apenas uma comparação foi necessária. Esta foi retirada diretamente das entrevistas, em valores percentuais.

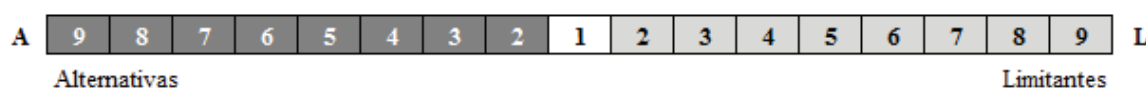
Nesse ponto, é preciso destacar uma pequena adaptação do método AHPsort, em função de o comparativo entre os critérios não ter sido coletado da forma tradicional sugerida pelos passos da ferramenta. No método AHP ou AHPsort, na coleta de dados, utiliza-se normalmente a escala de Saaty para questionar os entrevistados. Nesse contexto, solicita-se que os entrevistados decidam a escala de importância de cada critério. Para isso, emprega-se uma escala de 1 a 9 pontos, em que a resposta origina a discussão sobre quantas vezes um critério é mais importante do que o outro.

No entanto, visando a facilitar até mesmo o entendimento do que se esperava como resposta, e sabendo de antemão que os dados, nesse caso, são coletados tradicionalmente em escala para posteriormente serem convertidos em percentual de importância, decidiu-se fazer o questionamento de forma mais concisa. Sendo assim, a pergunta que foi feita para transcrever o comparativo par a par dos critérios foi: nos últimos anos, do total de pedidos que não foram vendidos devido a problema de custos e prazos, qual o percentual de projetos que não foram vendidos devido a preços e devido a prazos de entrega? Observa-se que tal questão somente ficou clara depois do estudo piloto.

No passo da comparação das alternativas, mais uma vez o processo em si foi adaptado. Dessa vez, em vez de utilizar a escala de importância tradicional, estipulou-se um coeficiente fixo que, multiplicado pelo nível de percepção dos gestores e ponderado pela participação das categorias, resultou em valores passíveis de serem convertidos na escala de nove pontos.

Desse modo, visando à conversão dos coeficientes para escala de 9 pontos, algumas questões devem ser observadas. A primeira é que, diferente do método AHP, o AHPsort não compara alternativas com alternativas, e sim alternativas com suas limitantes. Para isso, é necessário avaliar se as alternativas são melhores ou piores que os limites. Na Figura 12, se uma alternativa é três vezes menos importante do que a limitante, são marcados três pontos à direita para o lado das limitantes. Em outro exemplo, caso uma alternativa seja 7 vezes mais importante do que a limitante, sete pontos à esquerda são marcados na escala para o lado das alternativas.

Figura 12 – Escala de Saaty



Fonte: Adaptado da escala de Saaty (1980).

A escala proposta por Saaty (1980) facilita o processo de quantificar percepções e comparar diferentes critérios ao mesmo tempo. Na compra de um carro, por exemplo, é possível comparar o preço de venda com o desempenho e consumo de combustível, justamente porque tais critérios permitem avaliar o grau de importância a partir do ponto de vista dos interessados pelo assunto. Já no caso das alternativas que serão julgadas pelos critérios, o comprador julgaria os limites para cada variável e, na sequência, indicaria o quanto os valores se afastam desse limite a partir da régua de nove pontos. Logo, essas distâncias devem levar em consideração os valores mínimo e máximo das alternativas, tendo em vista a necessidade de dosar o quanto vale cada um dos pontos na régua.

Seguindo essa lógica, em vez de estabelecer limites para cada uma das alternativas por meio de valores reais e colocar os entrevistados na situação desconfortável de interpretarem a régua para cada um dos EIs, identificou-se a possibilidade de utilizar coeficientes como dados de entrada que pudessem ser posteriormente convertidos em grau de grandeza da escala, necessário para gerar vetores de prioridades. Nesse sentido, as duas escalas para condução do método AHPsort foram construídas. Tais escalas, que podem ser visualizadas na Figura 13, estão vinculadas às classes definidas no problema. Enquanto a primeira régua define, por meio dos perfis de classe, se a alternativa está mais para alto impacto do que para médio impacto, a segunda régua afere as alternativas que não foram classificadas na primeira régua, verificando se elas estão mais para médio ou para baixo impacto. Nota-se que a diferença entre as escalas é que na segunda régua a pontuação foi deslocada três casas para a direita. Esse deslocamento

é necessário para gerar uma nova pontuação que irá, dessa vez, diferenciar as variáveis de médio e baixo impacto.

Figura 13 – Escala de conversão adaptada aos coeficientes do modelo

Ia															Im			
2,25	2,11	1,97	1,83	1,69	1,55	1,41	1,26	1,12	0,98	0,84	0,70	0,56	0,42	0,28	0,14	0,00		
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Im															Ib			
2,25	2,11	1,97	1,83	1,69	1,55	1,41	1,26	1,12	0,98	0,84	0,70	0,56	0,42	0,28	0,14	0,00		
9	9	9	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6		

Fonte: Elaborado pelo autor

Outro fator importante se encontra nos valores adicionado ao topo da escala. Esses valores foram pré-concebidos no estudo piloto e depois ajustados na aplicação dos casos. Os ajustes foram necessários, pois os valores precisam ser proporcionais à régua. O problema é que no estudo piloto o valor máximo encontrado nos coeficientes foi de 1,85. Assim sendo, inicialmente, a primeira régua foi dividida em uma crescente de 0 a 2, em que o ponto central era igual a 1. O valor de 2 foi testado justamente prevendo que valores mais altos poderiam aparecer quando os estudos de caso fossem modelados.

Mais tarde, já com os dados das três empresas coletados, verificou-se a necessidade de aumentar ainda mais a divisão das régua de médio e alto impacto. Isso porque duas das empresas apresentaram valores mais altos do que o previsto. Uma delas trouxe um valor de 3,11, e a outra chegou ao máximo nos coeficientes de 2,72. Desse modo, primeiro testou-se a grandeza de 0 a 3,2, dividindo a régua de 0,2 em 0,2. No entanto, ao posicionar os valores na escala, o ponto central da primeira régua ficou posicionado em 1,6, e o da segunda em 1,0. Isso significa que os perfis limitantes, quando muito altos, podem restringir a classificação em poucas alternativas, e vice versa.

Depois, em busca de uma escala de grandeza ideal que pudesse ser ajustada à escala de Saaty, os valores dos coeficientes foram analisados novamente. Nesse processo, verificou-se que uma empresa que obteve um valor de 3,11 nos coeficientes, teve como segundo maior valor 1,78. Isso significa que uma escala de 0 a 2 serviria, pois qualquer valor acima de 2 receberia 9 pontos. Sendo assim, procurando um meio termo para definir a grandeza das escalas, os valores máximos dos coeficientes das três empresas foram submetidos a uma média aritmética simples. O valor encontrado de 2,25 foi testado na escala e não precisou mais ser ajustado.

Definidas as escalas, o próximo passo da segunda etapa foi a geração dos vetores de prioridades. Para gerar esses vetores, foram necessários três procedimentos: converter os coeficientes de participação dos custos e prazos para escala Saaty; normalizar os valores encontrados e; aplicar a fórmula dos vetores de prioridades nos valores normalizados.

Para melhor compreensão dos procedimentos, a Figura 14 mostra um exemplo da formação de três coeficientes calculados a partir de dados coletados no estudo piloto. O cálculo dos coeficientes de custos (C_c) e prazos (C_p) dos EIs pode ser identificado nas duas últimas colunas. Os valores dos coeficientes foram calculados seguindo a lógica exposta no tópico de tratamento dos coeficientes de entrada apresentado anteriormente. A partir dos dados de contagem (Q_c , Q_p , R_c e R_e) e do levantamento dos dados de campo (N_p), os três fatores de níveis (N_a , N_r e N_p) foram multiplicados para encontrar o coeficiente global (C_g). Após, calculou-se o percentual de participação dos critérios (P_c e P_p) que, multiplicado pelo coeficiente global, possibilitou obter os Coeficientes de custos (C_c) e de prazos (C_p).

Com os coeficientes revelados, o primeiro procedimento de geração dos vetores de prioridade foi converter os coeficientes à escala de Saaty. Para isso, ambos os coeficientes, C_c e C_p , foram comparados aos limitantes e julgados nas régua das escalas de classes alto e médio impacto. O EI#57, por exemplo, possui o $C_c = 1,56$ e o $C_p = 1,78$. Ao comparar esses valores pela escala de alto impacto da Figura 13, o C_c resulta em um grau de importância 4 vezes maior do que a limitante, e o C_p em um grau de importância 5 vezes maior. Isso porque o $C_c = 1,56$ encontra-se entre os valores 1,55 e 1,69, e o $C_p = 1,78$ entre os valores 1,69 e 1,83 e, nesse caso, busca-se na conversão para escala sempre o valor da direita, o último valor limite ultrapassado. Logo, na escala de médio impacto, deslocada em três pontos, os valores encontrados foram, respectivamente, 7 e 8.

Figura 14 – Composição dos coeficientes de custos e prazos

EI#	Contagem				Fatores			Cg	Participação		Coeficientes	
	Qc	Qp	Rc	Re	Na	Nr	Np		Pc	Pp	Cc	Cp
57	7	8	0	15	0,42	1,00	8	3,33	0,47	0,53	1,56	1,78
58	8	7	4	15	0,42	0,89	1	0,37	0,53	0,47	0,20	0,17
63	9	14	0	23	0,64	1,00	4	2,56	0,39	0,61	1,00	1,56

LEGENDA:

EI#	Efeitos indesejáveis	Nr	Nível de reação
Qc	Quantidade de variáveis de custos	Np	Nível de percepção
Qp	Quantidade de variáveis de prazos	Cg	Coeficiente global
Rc	Quantidade de variáveis impactantes	Pc	Participação dos custo
Re	Quantidade de variáveis impactadas	Pp	Participação dos prazos
Na	Nível de abrangência	Pc	Coeficiente dos custos
		Pc	Coeficiente dos prazos

Fonte: Elaborado pelo autor

O segundo procedimento do processo de geração de vetores de prioridades é a normalização dos valores convertidos pelas escalas. Para tanto, os valores convertidos devem ser organizados conforme o Quadro 8. Na primeira linha, deve-se informar quantas vezes o EI#57 é mais importante do que o perfil limitante e, na segunda, o valor deve ser espelhado, descrevendo quantas vezes o perfil limitante é menor do que o EI#57. O valor igual a 1/4 significa que o valor da limitante, nesse caso, é quatro vezes menor do que o efeito indesejável.

Quadro 8 – Conversão dos coeficientes da escala de Saaty

Cc = 1,56	EI#57	Limitante Ia
EI#57	4	1
Limitante Ia	1	1/4

Fonte: Elaborado pelo autor

Os valores espelhados são necessários para os processos de normalização e cálculo dos vetores. Para normalizar os valores alcançados, basta dividir cada célula pelo somatório da coluna. Por exemplo, na primeira coluna, o somatório é igual a 5. A razão entre 4 e 5 é igual a 4/5, e a razão entre 1 e 5 é igual a 1/5. Da mesma forma, calcula-se a segunda coluna, em que o somatório é igual a 5/4, a razão entre 1 e 5/4 é igual a 4/5, e a razão entre 1/4 e 5/4 é igual a 1/5. O quadro 9 mostra os valores do EI#57 normalizados e prontos para o último procedimento.

Quadro 9 – Normalização dos coeficientes convertidos

Cc = 1,56	EI#57	Limitante Ia
EI#57	4/5	4/5
Limitante Ia	1/5	1/5

Fonte: Elaborado pelo autor

Uma vez que o coeficiente é convertido, organizado e normalizado, os valores estão prontos para serem transformados nos vetores de prioridade. Para encontrar o vetor basta calcular o valor médio na primeira linha. Destarte, ao somar os valores da linha EI#57 ($4/5 + 4/5$) e dividir o resultado por dois, obteve-se o vetor de prioridade do coeficiente de custos do EI#57 igual a 0,8.

Embora em um primeiro momento os três procedimentos pareçam um tanto operacionais, na verdade apenas 17 cálculos são necessários. O que precisa ser calculado são apenas as opções apresentadas pelos pontos da escala. Dessa maneira, visando a facilitar o processo de conversão dos coeficientes de custos e prazos nos vetores de prioridade, todos os valores possíveis foram calculados antecipadamente e adicionados à régua de conversão, conforme a Figura 15.

Figura 15 – Escala de conversão dos vetores de prioridade

Alto impacto (Ia)														Im		
2,25	2,11	1,97	1,83	1,69	1,55	1,41	1,26	1,12	0,98	0,84	0,70	0,56	0,42	0,28	0,14	0,00
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,90	0,89	0,88	0,86	0,83	0,80	0,75	0,67	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17	0,14	0,13	0,11	0,10

Médio impacto (Im)														Ib		
2,25	2,11	1,97	1,83	1,69	1,55	1,41	1,26	1,12	0,98	0,84	0,70	0,56	0,42	0,28	0,14	0,00
9	9	9	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6
0,90	0,90	0,90	0,90	0,89	0,88	0,86	0,83	0,80	0,75	0,67	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17	0,14

Fonte: Elaborado pelo autor

Após a conversão dos coeficientes em vetores de prioridade, é possível avançar para a última etapa do método AHPSort. Tal etapa é formada por dois passos: atribuição de classes e classificação final. Esses passos são analisados a seguir na estruturação do modelo e aplicação dos casos.

5.4 ESTRUTURAÇÃO DO MODELO E APLICAÇÃO DOS CASOS

A primeira etapa do processo de aplicação do modelo é a coleta de dados. Nessa etapa, primeiramente é preciso capacitar os gestores responsáveis por preencher os dados do formulário. Essa capacitação é necessária, visto que a pontuação coletada para cada variável parte da percepção subjetiva referente à relevância dos efeitos indesejáveis. Embora o formulário aparente ser autoexplicativo, deve ser conduzido de maneira apropriada. As respostas, no que tange aos EIs, devem revelar o verdadeiro grau de relevância do fenômeno para a empresa. O Quadro 10 mostra como os dados de entrada do modelo foram estruturados. O exemplo foi retirado da planilha de geração dos coeficientes do primeiro caso estudado.

Quadro 10 – Exemplo de estrutura para cálculo dos coeficientes

CASO I												
EI#	Contagem				Fatores			Cg	Participação		Coeficientes	
	Qc	Qp	Rc	Re	Na	Nr	Np		Pc	Pp	Cc	Cp
34	10	10	0	20	0,56	1,00	2	1,11	0,50	0,50	0,56	0,56
42	8	10	3	18	0,50	0,92	1	0,46	0,44	0,56	0,20	0,25
43	8	10	1	18	0,50	0,97	2	0,97	0,44	0,56	0,43	0,54
47	8	4	0	12	0,33	1,00	7	2,33	0,67	0,33	1,56	0,78
54	8	8	0	16	0,44	1,00	8	3,56	0,50	0,50	1,78	1,78
55	7	10	6	17	0,47	0,83	2	0,79	0,41	0,59	0,32	0,46
56	7	9	0	16	0,44	1,00	3	1,33	0,44	0,56	0,58	0,75
57	7	8	0	15	0,42	1,00	8	3,33	0,47	0,53	1,56	1,78
58	8	7	4	15	0,42	0,89	1	0,37	0,53	0,47	0,20	0,17
63	9	14	0	23	0,64	1,00	5	3,19	0,39	0,61	1,25	1,94
64	7	7	0	14	0,39	1,00	7	2,72	0,50	0,50	1,36	1,36
65	7	7	9	14	0,39	0,75	0	0,00	0,50	0,50	0,00	0,00
66	7	7	8	14	0,39	0,78	3	0,91	0,50	0,50	0,45	0,45
67	7	7	10	14	0,39	0,72	2	0,56	0,50	0,50	0,28	0,28
68	7	8	1	15	0,42	0,97	3	1,22	0,47	0,53	0,57	0,65
69	8	8	0	16	0,44	1,00	8	3,56	0,50	0,50	1,78	1,78
71	9	13	1	22	0,61	0,97	4	2,38	0,41	0,59	0,97	1,40
75	7	6	18	13	0,36	0,50	3	0,54	0,54	0,46	0,29	0,25
76	5	5	2	10	0,28	0,94	6	1,57	0,50	0,50	0,79	0,79
81	9	12	2	21	0,58	0,94	1	0,55	0,43	0,57	0,24	0,31
91	5	5	3	10	0,28	0,92	2	0,51	0,50	0,50	0,25	0,25
92	7	7	0	14	0,39	1,00	4	1,56	0,50	0,50	0,78	0,78
95	7	4	0	11	0,31	1,00	4	1,22	0,64	0,36	0,78	0,44
98	7	5	19	12	0,33	0,47	6	0,94	0,58	0,42	0,55	0,39
101	5	5	0	10	0,28	1,00	6	1,67	0,50	0,50	0,83	0,83
102	5	4	27	9	0,25	0,25	4	0,25	0,56	0,44	0,14	0,11
103	6	4	22	10	0,28	0,39	3	0,32	0,60	0,40	0,19	0,13
104	6	4	21	10	0,28	0,42	4	0,46	0,60	0,40	0,28	0,19
114	5	0	28	5	0,14	0,22	6	0,19	1,00	0,00	0,19	0,00
122	0	3	28	3	0,08	0,22	10	0,19	0,00	1,00	0,00	0,19
123	3	0	29	3	0,08	0,19	6	0,10	1,00	0,00	0,10	0,00
124	3	0	29	3	0,08	0,19	10	0,16	1,00	0,00	0,16	0,00
133	0	2	29	2	0,06	0,19	6	0,06	0,00	1,00	0,00	0,06
136	2	0	31	2	0,06	0,14	4	0,03	1,00	0,00	0,03	0,00
143	0	1	30	1	0,03	0,17	1	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
147	1	0	32	1	0,03	0,11	1	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaborado pelo autor

As colunas de contagem e participação, além dos fatores Na e Nr, são contempladas por informações obtidas a partir do diagrama de relações dos EIs. Logo, essas informações só devem ser alteradas caso haja a necessidade de adaptação do diagrama. São informações que

irão se repetir cada vez que um novo caso for estudado. Já as informações expostas nas colunas dos coeficientes (Cg, Cc e Cp), oscilam conforme apontamentos dos gestores na coluna Np. A coluna Np é preenchida com valores adquiridos via formulário. Os fatores calculados a partir dos dados de contagem, quando multiplicados pelo Np, geram o Coeficiente Global (Cg). Ao final, o Cg é ponderado pelos índices de participação das categorias de custos e prazos. Os coeficientes calculados de custos e prazos são apresentados à direita no quadro (Cc e Cp). Os valores encontrados para os coeficientes dos três casos estudados encontram-se resumidos no Quadro 11.

Quadro 11 – Cálculo dos coeficientes

EI#	Caso I				Caso II				Caso III			
	Np	Cg	Cc	Cp	Np	Cg	Cc	Cp	Np	Cg	Cc	Cp
34	2	1,11	0,56	0,56	5	2,78	1,39	1,39	4	2,22	1,11	1,11
42	1	0,46	0,20	0,25	2	0,92	0,41	0,51	0	0,00	0,00	0,00
43	2	0,97	0,43	0,54	2	0,97	0,43	0,54	3	1,46	0,65	0,81
47	7	2,33	1,56	0,78	1	0,33	0,22	0,11	1	0,33	0,22	0,11
54	8	3,56	1,78	1,78	4	1,78	0,89	0,89	2	0,89	0,44	0,44
55	2	0,79	0,32	0,46	6	2,36	0,97	1,39	5	1,97	0,81	1,16
56	3	1,33	0,58	0,75	2	0,89	0,39	0,50	5	2,22	0,97	1,25
57	8	3,33	1,56	1,78	10	4,17	1,94	2,22	8	3,33	1,56	1,78
58	1	0,37	0,20	0,17	1	0,37	0,20	0,17	3	1,11	0,59	0,52
63	5	3,19	1,25	1,94	7	4,47	1,75	2,72	8	5,11	2,00	3,11
64	7	2,72	1,36	1,36	7	2,72	1,36	1,36	1	0,39	0,19	0,19
65	0	0,00	0,00	0,00	1	0,29	0,15	0,15	2	0,58	0,29	0,29
66	3	0,91	0,45	0,45	3	0,91	0,45	0,45	2	0,60	0,30	0,30
67	2	0,56	0,28	0,28	2	0,56	0,28	0,28	8	2,25	1,12	1,12
68	3	1,22	0,57	0,65	8	3,24	1,51	1,73	4	1,62	0,76	0,86
69	8	3,56	1,78	1,78	5	2,22	1,11	1,11	8	3,56	1,78	1,78
71	4	2,38	0,97	1,40	6	3,56	1,46	2,11	1	0,59	0,24	0,35
75	3	0,54	0,29	0,25	8	1,44	0,78	0,67	3	0,54	0,29	0,25
76	6	1,57	0,79	0,79	5	1,31	0,66	0,66	9	2,36	1,18	1,18
81	1	0,55	0,24	0,31	8	4,41	1,89	2,52	1	0,55	0,24	0,31
91	2	0,51	0,25	0,25	2	0,51	0,25	0,25	1	0,25	0,13	0,13
92	4	1,56	0,78	0,78	9	3,50	1,75	1,75	7	2,72	1,36	1,36
95	4	1,22	0,78	0,44	1	0,31	0,19	0,11	3	0,92	0,58	0,33
98	6	0,94	0,55	0,39	9	1,42	0,83	0,59	7	1,10	0,64	0,46
101	6	1,67	0,83	0,83	1	0,28	0,14	0,14	2	0,56	0,28	0,28
102	4	0,25	0,14	0,11	3	0,19	0,10	0,08	7	0,44	0,24	0,19
103	3	0,32	0,19	0,13	3	0,32	0,19	0,13	5	0,54	0,32	0,22
104	4	0,46	0,28	0,19	5	0,58	0,35	0,23	1	0,12	0,07	0,05
114	6	0,19	0,19	0,00	3	0,09	0,09	0,00	1	0,03	0,03	0,00
122	10	0,19	0,00	0,19	9	0,17	0,00	0,17	9	0,17	0,00	0,17
123	6	0,10	0,10	0,00	2	0,03	0,03	0,00	1	0,02	0,02	0,00
124	10	0,16	0,16	0,00	9	0,15	0,15	0,00	7	0,11	0,11	0,00
133	6	0,06	0,00	0,06	6	0,06	0,00	0,06	2	0,02	0,00	0,02
136	4	0,03	0,03	0,00	2	0,02	0,02	0,00	1	0,01	0,01	0,00
143	1	0,00	0,00	0,00	6	0,03	0,00	0,03	3	0,01	0,00	0,01
147	1	0,00	0,00	0,00	3	0,01	0,01	0,00	1	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaborado pelo autor

Por meio dos apontamentos dos gestores, que podem ser visualizados nas colunas do tipo Np, é possível verificar que existe uma opinião diferente dos gestores em relação aos EIs em cada caso. O EI#42, por exemplo, não se aplica ao caso III, bem como o EI#65 não se aplica ao caso I.

Após a formação dos coeficientes Cc e Cp, inicia-se o processo de conversão desses valores a partir das régua de alto e médio impacto, adaptadas à escala de Saaty. Nesse caso, o processo de conversão foi automatizado em planilhas utilizando a função “SE” para buscar, nas escalas, os valores condizentes aos vetores de prioridade calculados previamente. Na função, por exemplo, uma vez que o coeficiente Cc = 1,56 do efeito EI#47 encontra-se na escala entre os valores 1,55 e 1,69, os pontos retornados da escala Saaty são respectivamente 4 e 7 a favor do Ia e do Im, formando os vetores de prioridade 0,8 para Vca e 0,88 para Vcm.

Os vetores de prioridades são gerados para ambas as classes, uma que varia de alto a médio impacto e a outra que varia de médio a baixo impacto. Enquanto os vetores de prioridade Vca e Vpa são utilizados para classificar os EIs de primeira classe, os vetores Vcm e Vpm classificam as variáveis restantes em médio e baixo impacto (Quadro 12).

Quadro 12 – Cálculo dos vetores de prioridades

EI#	Caso I						Caso II						Caso III					
	Cc	Vca	Vcm	Pc	Vpa	Vpm	Cc	Vca	Vcm	Pc	Vpa	Vpm	Cc	Vca	Vcm	Pc	Vpa	Vpm
34	0,56	0,14	0,25	0,56	0,14	0,25	1,39	0,67	0,83	1,39	0,67	0,83	1,11	0,33	0,75	1,11	0,33	0,75
42	0,20	0,11	0,17	0,25	0,11	0,17	0,41	0,13	0,20	0,51	0,14	0,25	0,00	0,10	0,14	0,00	0,10	0,14
43	0,43	0,14	0,25	0,54	0,14	0,25	0,43	0,14	0,25	0,54	0,14	0,25	0,65	0,17	0,33	0,81	0,20	0,50
47	1,56	0,80	0,88	0,78	0,20	0,50	0,22	0,11	0,17	0,11	0,10	0,14	0,22	0,11	0,17	0,11	0,10	0,14
54	1,78	0,83	0,89	1,78	0,83	0,89	0,89	0,25	0,67	0,89	0,25	0,67	0,44	0,14	0,25	0,44	0,14	0,25
55	0,32	0,13	0,20	0,46	0,14	0,25	0,97	0,25	0,67	1,39	0,67	0,83	0,81	0,20	0,50	1,16	0,50	0,80
56	0,58	0,17	0,33	0,75	0,20	0,50	0,39	0,13	0,20	0,50	0,14	0,25	0,97	0,25	0,67	1,25	0,50	0,80
57	1,56	0,80	0,88	1,78	0,83	0,89	1,94	0,86	0,90	2,22	0,89	0,90	1,56	0,80	0,88	1,78	0,83	0,89
58	0,20	0,11	0,17	0,17	0,11	0,17	0,20	0,11	0,17	0,17	0,11	0,17	0,59	0,17	0,33	0,52	0,14	0,25
63	1,25	0,50	0,80	1,94	0,86	0,90	1,75	0,83	0,89	2,72	0,90	0,90	2,00	0,88	0,90	3,11	0,90	0,90
64	1,36	0,67	0,83	1,36	0,67	0,83	1,36	0,67	0,83	1,36	0,67	0,83	0,19	0,11	0,17	0,19	0,11	0,17
65	0,00	0,10	0,14	0,00	0,10	0,14	0,15	0,11	0,17	0,15	0,11	0,17	0,29	0,13	0,20	0,29	0,13	0,20
66	0,45	0,14	0,25	0,45	0,14	0,25	0,45	0,14	0,25	0,45	0,14	0,25	0,30	0,13	0,20	0,30	0,13	0,20
67	0,28	0,13	0,20	0,28	0,13	0,20	0,28	0,13	0,20	0,28	0,13	0,20	1,12	0,33	0,75	1,12	0,33	0,75
68	0,57	0,17	0,33	0,65	0,17	0,33	1,51	0,75	0,86	1,73	0,83	0,89	0,76	0,20	0,50	0,86	0,25	0,67
69	1,78	0,83	0,89	1,78	0,83	0,89	1,11	0,33	0,75	1,11	0,33	0,75	1,78	0,83	0,89	1,78	0,83	0,89
71	0,97	0,25	0,67	1,40	0,67	0,83	1,46	0,75	0,86	2,11	0,88	0,90	0,24	0,11	0,17	0,35	0,13	0,20
75	0,29	0,13	0,20	0,25	0,11	0,17	0,78	0,20	0,50	0,67	0,17	0,33	0,29	0,13	0,20	0,25	0,11	0,17
76	0,79	0,20	0,50	0,79	0,20	0,50	0,66	0,17	0,33	0,66	0,17	0,33	1,18	0,50	0,80	1,18	0,50	0,80
81	0,24	0,11	0,17	0,31	0,13	0,20	1,89	0,86	0,90	2,52	0,90	0,90	0,24	0,11	0,17	0,31	0,13	0,20
91	0,25	0,11	0,17	0,25	0,11	0,17	0,25	0,11	0,17	0,25	0,11	0,17	0,13	0,10	0,14	0,13	0,10	0,14
92	0,78	0,20	0,50	0,78	0,20	0,50	1,75	0,83	0,89	1,75	0,83	0,89	1,36	0,67	0,83	1,36	0,67	0,83
95	0,78	0,20	0,50	0,44	0,14	0,25	0,19	0,11	0,17	0,11	0,10	0,14	0,58	0,17	0,33	0,33	0,13	0,20
98	0,55	0,14	0,25	0,39	0,13	0,20	0,83	0,20	0,50	0,59	0,17	0,33	0,64	0,17	0,33	0,46	0,14	0,25
101	0,83	0,20	0,50	0,83	0,20	0,50	0,14	0,11	0,17	0,14	0,11	0,17	0,28	0,11	0,17	0,28	0,11	0,17
102	0,14	0,11	0,17	0,11	0,10	0,14	0,10	0,10	0,14	0,08	0,10	0,14	0,24	0,11	0,17	0,19	0,11	0,17
103	0,19	0,11	0,17	0,13	0,10	0,14	0,19	0,11	0,17	0,13	0,10	0,14	0,32	0,13	0,20	0,22	0,11	0,17
104	0,28	0,11	0,17	0,19	0,11	0,17	0,35	0,13	0,20	0,23	0,11	0,17	0,07	0,10	0,14	0,05	0,10	0,14
114	0,19	0,11	0,17	0,00	0,10	0,14	0,09	0,10	0,14	0,00	0,10	0,14	0,03	0,10	0,14	0,00	0,10	0,14
122	0,00	0,10	0,14	0,19	0,11	0,17	0,00	0,10	0,14	0,17	0,11	0,17	0,00	0,10	0,14	0,17	0,11	0,17
123	0,10	0,10	0,14	0,00	0,10	0,14	0,03	0,10	0,14	0,00	0,10	0,14	0,02	0,10	0,14	0,00	0,10	0,14
124	0,16	0,11	0,17	0,00	0,10	0,14	0,15	0,11	0,17	0,00	0,10	0,14	0,11	0,10	0,14	0,00	0,10	0,14
133	0,00	0,10	0,14	0,06	0,10	0,14	0,00	0,10	0,14	0,06	0,10	0,14	0,00	0,10	0,14	0,02	0,10	0,14
136	0,03	0,10	0,14	0,00	0,10	0,14	0,02	0,10	0,14	0,00	0,10	0,14	0,01	0,10	0,14	0,00	0,10	0,14
143	0,00	0,10	0,14	0,00	0,10	0,14	0,00	0,10	0,14	0,03	0,10	0,14	0,00	0,10	0,14	0,01	0,10	0,14
147	0,00	0,10	0,14	0,00	0,10	0,14	0,01	0,10	0,14	0,00	0,10	0,14	0,00	0,10	0,14	0,00	0,10	0,14

Fonte: Elaborado pelo autor

Por último, os vetores de prioridade são ponderados pelos critérios de prazos e custos. Para tanto, realiza-se a soma produto dos vetores de prioridade pelo grau de relevância dos critérios. Os valores de ponderação dos critérios são estipulados via formulário, também com base nas percepções dos gestores. O resultado dessa ponderação pode ser visto no Quadro 13.

Quadro 13 – Classificação dos EIs

Caso III											
EI#	Critérios		Alto Impacto (Ia)				Critérios		Médio Impacto (Im)		
	80%	20%	Ia	Lm	Classe		80%	20%	Im	Lb	Classe
	Vca	Vpa	Ia	Lm	Classe		Vcm	Vpm	Im	Lb	Classe
34	0,33	0,33	0,333	0,667	Im		0,75	0,75	0,750	0,250	Im
42	0,10	0,10	0,100	0,900	Im		0,14	0,14	0,143	0,857	Ib
43	0,17	0,20	0,173	0,827	Im		0,33	0,50	0,367	0,633	Ib
47	0,11	0,10	0,109	0,891	Im		0,17	0,14	0,162	0,838	Ib
54	0,14	0,14	0,143	0,857	Im		0,25	0,25	0,250	0,750	Ib
55	0,20	0,50	0,260	0,740	Im		0,50	0,80	0,560	0,440	Im
56	0,25	0,50	0,300	0,700	Im		0,67	0,80	0,693	0,307	Im
57	0,80	0,83	0,807	0,193	Ia	→	0,88	0,89	0,878	0,122	Ia
58	0,17	0,14	0,162	0,838	Im		0,33	0,25	0,317	0,683	Ib
63	0,88	0,90	0,880	0,120	Ia	→	0,90	0,90	0,900	0,100	Ia
64	0,11	0,11	0,111	0,889	Im		0,17	0,17	0,167	0,833	Ib
65	0,13	0,13	0,125	0,875	Im		0,20	0,20	0,200	0,800	Ib
66	0,13	0,13	0,125	0,875	Im		0,20	0,20	0,200	0,800	Ib
67	0,33	0,33	0,333	0,667	Im		0,75	0,75	0,750	0,250	Im
68	0,20	0,25	0,210	0,790	Im		0,50	0,67	0,533	0,467	Im
69	0,83	0,83	0,833	0,167	Ia	→	0,89	0,89	0,889	0,111	Ia
71	0,11	0,13	0,114	0,886	Im		0,17	0,20	0,173	0,827	Ib
75	0,13	0,11	0,122	0,878	Im		0,20	0,17	0,193	0,807	Ib
76	0,50	0,50	0,500	0,500	Im		0,80	0,80	0,800	0,200	Im
81	0,11	0,13	0,114	0,886	Im		0,17	0,20	0,173	0,827	Ib
91	0,10	0,10	0,100	0,900	Im		0,14	0,14	0,143	0,857	Ib
92	0,67	0,67	0,667	0,333	Ia	→	0,83	0,83	0,833	0,167	Ia
95	0,17	0,13	0,158	0,842	Im		0,33	0,20	0,307	0,693	Ib
98	0,17	0,14	0,162	0,838	Im		0,33	0,25	0,317	0,683	Ib
101	0,11	0,11	0,111	0,889	Im		0,17	0,17	0,167	0,833	Ib
102	0,11	0,11	0,111	0,889	Im		0,17	0,17	0,167	0,833	Ib
103	0,13	0,11	0,122	0,878	Im		0,20	0,17	0,193	0,807	Ib
104	0,10	0,10	0,100	0,900	Im		0,14	0,14	0,143	0,857	Ib
114	0,10	0,10	0,100	0,900	Im		0,14	0,14	0,143	0,857	Ib
122	0,10	0,11	0,102	0,898	Im		0,14	0,17	0,148	0,852	Ib
123	0,10	0,10	0,100	0,900	Im		0,14	0,14	0,143	0,857	Ib
124	0,10	0,10	0,100	0,900	Im		0,14	0,14	0,143	0,857	Ib
133	0,10	0,10	0,100	0,900	Im		0,14	0,14	0,143	0,857	Ib
136	0,10	0,10	0,100	0,900	Im		0,14	0,14	0,143	0,857	Ib
143	0,10	0,10	0,100	0,900	Im		0,14	0,14	0,143	0,857	Ib
147	0,10	0,10	0,100	0,900	Im		0,14	0,14	0,143	0,857	Ib

Fonte: Elaborado pelo autor

No Quadro 13, primeiramente os EIs de alto impacto devem ser classificados. Para isso, os resultados da ponderação na planilha de alto impacto são calculados na coluna Ia. Os valores de Ia representam a capacidade que um EI possui de impactar as outras variáveis do sistema. Logo, a coluna Lm representa, no limite, a distância que os EIs estão de causar 100% de impacto

no sistema. O limite médio é igual à diferença entre 100% e Ia. Isso significa que, ao cruzar a fronteira dos perfis limitantes de alto impacto, encontram-se os efeitos indesejáveis de médio impacto.

A classificação na planilha de alto impacto é contemplada pela coluna Classe. Uma formatação condicional foi utilizada, nesse caso, para destacar as variáveis selecionadas pelo modelo. Os EIs são selecionados a partir dos resultados da ponderação. Os valores ponderados de Ia maiores ou iguais a 0,5 são selecionados. Isso quer dizer que o impacto causado pelo EI está mais para alto impacto do que para médio impacto.

Uma vez identificados os EIs pertencentes à classe de alto impacto, o segundo procedimento encontra-se na transferência dos EIs identificados como classe Ia para planilha de médio impacto. Após transferência, uma nova ponderação é feita, agora na coluna Im da planilha de Médio Impacto. A diferença é que o perfil limitante dessa planilha separa as EIs restantes em variáveis de médio e baixo impacto. Para classificar os EIS nessa segunda fase, o mesmo procedimento é utilizado. As variáveis iguais e acima de 0,5 são classificadas como Im, e as demais são classificadas como Ib.

Ao encerrar o processo de classificação, os objetivos do modelo foram alcançados. O modelo proposto foi estruturado em apenas três planilhas: a) cálculo dos coeficientes; b) geração dos vetores de prioridade; e c) classificação dos efeitos indesejáveis. Desse modo, a partir do modelo gerado conforme estrutura apresentada nesse tópico, os três casos foram modelados. Os resultados encontram-se a seguir, no próximo capítulo.

6 AVALIAÇÃO E RESULTADOS DO MODELO PROPOSTO

Neste capítulo, são apresentados os resultados e o diagnóstico dos resultados alcançados pelo modelo proposto a partir de três estudos de casos realizados em empresas do ramo de bens de capital do tipo ETO. Além da apresentação e do comparativo dos casos, neste capítulo também é realizada uma breve resenha a respeito de cada uma das empresas participantes. Antes disso, é contextualizado o estudo de caso piloto utilizado para compreender, definir e ajustar o modelo. Por fim, verifica-se se o conteúdo das entrevistas e do diagnóstico das empresas está de acordo com as classificações reveladas pelo modelo de diagnóstico.

6.1 ESTUDO DE CASO PILOTO

O plano piloto ocorreu na empresa Polo Electro, fabricante de transformadores especiais, localizada na cidade de Santa Maria/RS. Nessa etapa, ocorreram dois encontros. No primeiro buscou-se efetuar o levantamento de dados para o estudo piloto, e no segundo discutir com a empresa os resultados alcançados nesse balão de ensaio. Essa etapa ajudou a sanar inúmeras dúvidas que surgiram durante todo o processo de pesquisa, algumas em relação ao conteúdo da indústria de bens de capital e do ETO, outras a respeito das variáveis do modelo, e, principalmente, acerca da técnica de condução das entrevistas e da definição do formulário de coleta dos dados.

O primeiro encontro, de aproximadamente 3 horas, ocorreu presencialmente na sede da empresa, localizada no distrito industrial de Santa Maria. Observa-se que no estudo piloto as únicas variáveis que não foram pontuadas foram as consideradas como Fatos da Vida. Dessa maneira, nessa fase, o cenário ainda era composto por quase todas as variáveis do diagrama global. A escala utilizada no formulário variava entre “discordo plenamente” e “concordo plenamente”. Além disso, havia a expectativa de trabalhar com outros critérios competitivos – qualidade, flexibilidade e inovação. Nesse ponto, o modelo ainda estava em processo de reflexão e aprofundamento.

De qualquer forma, a entrevista ocorreu conforme o planejado. Já nos primeiros apontamentos, percebeu-se a necessidade de alterar a escala de pontuação. Além do mais, verificou-se a importância de uma etapa de capacitação para que os gestores pudessem compreender como de fato deveria ser respondida cada uma das afirmações do formulário.

A alteração da escala ocorreu devido a dois fatores. O primeiro é o fato de que as variáveis se diferenciaram pouco uma das outras, na escala de 1 a 5, no momento de tratamento dos dados. Com isso, ficou claro a necessidade de aumentar a precisão. O segundo é o fato de que a escala de cinco pontos não foi bem compreendida. O entrevistado não conseguiu responder às questões sem considerar o percentual de ocorrência dos fatos. Na maioria das questões, ele buscou entender o todo para calcular um percentual como resposta.

Dessa maneira, as primeiras respostas não assumiram a percepção de quanto os problemas eram, de fato, impactantes para a empresa, mas seguiram um modelo de respostas automáticas pensadas no formato de indicadores da empresa. Exemplificando, uma variável raiz do modelo é o EI#34, em que a sentença afirma que erros ocorrem frequentemente. Para essa afirmação, considerando a escala de 1 a 5, a resposta foi “menos de 0,1”, no caso, um nível ainda maior para o “discordo plenamente”. A justificativa revelada em entrevista pelo diretor técnico foi: “a cada 100 transformadores produzidos, menos de 5 acarretam erros no laboratório. No caso dessa escala, 1 de 5 é 20%, minha resposta não pode ser maior do que 1%, entende?”.

Nesse ponto, foram observados dois erros na condução da entrevista. Um deles apontou que a escala deveria ser de 10 pontos para facilitar as respostas dos entrevistados, e o outro que era necessário esclarecer dois aspectos com os entrevistados: o primeiro em relação ao número de vezes que os problemas ocorrem, e o segundo em relação ao impacto causado por esses problemas. Esses dois pontos devem ser avaliados conjuntamente para preenchimento das escalas. Enquanto um erro pode representar muito para algumas empresas, mil erros podem ser irrelevantes para outras.

Outro problema encontrado na entrevista diz respeito ao questionamento que envolve a percepção relativa aos critérios. Inicialmente, buscou-se saber qual era o percentual de vendas perdido por causa de preços, de prazos e do escopo do projeto. Contudo, no modelo AHPSort, o somatório dos critérios deve ser igual a 100%, e isso não ocorreu na entrevista. Isso significa que, para testar o modelo, foi necessário fazer uma conversão de valores antes de aproveitar as informações.

Após a entrevista, a fase piloto teve continuidade no processo de adaptação e releitura do modelo. Nesse ponto, a ideia de priorizar as variáveis a partir do modelo tradicional AHP foi descartada por dois motivos: a) o número de variáveis era incompatível com a ferramenta e; b) para alcançar os resultados do modelo multicritério era necessário saber de antemão que variáveis deveriam ser priorizadas. Constatou-se que além de serem incompatíveis, os dados de entrada exigidos pela ferramenta AHP consistiam na resposta que se esperava encontrar com este trabalho.

Dessa maneira, a partir dos dados coletados, o modelo de diagnóstico foi tomando forma. O método AHPSort foi aplicado em todas as suas etapas e apresentado à empresa. Nesse processo, ficou claro que muitas das variáveis, mesmo sendo efeitos indesejáveis, eram inerentes ao sistema produtivo do tipo ETO ou ao tipo de produto ofertado pela indústria de bens de capital não seriada. Isso significa que não era possível alterar as variáveis sem alterar o tipo de sistema produtivo ou o tipo de produto. Sendo assim, no retorno dos resultados piloto à empresa, verificou-se a necessidade de eliminar tais variáveis do modelo. A organização ficou sem reação ao perceber que algumas variáveis escolhidas pelo modelo não podiam ser alteradas sem comprometer o sistema produtivo ou o portfólio de produtos.

Outro ponto que precisa ser destacado é a definição de não se trabalhar com as variáveis de escopo no modelo. Tal assunto foi discutido em entrevista. No caso da empresa piloto, tais variáveis não foram julgadas, visto que a empresa negocia seus produtos com concessionárias e cooperativas de eletrificação. Isso significa que, para participar das licitações ou mesmo de concorrência aberta, em quase 100% dos casos, com exceção de compras particulares para condomínios e empresas, é necessário cadastro. E, para isso, exige-se certificado de qualidade ISO-9000, termos de garantia e relatórios de laboratórios obtidos a partir de amostragem de transformadores produzidos como protótipos, com a única pretensão de medir se as tolerâncias e especificações são atendidas. Se a empresa não atende aos requisitos, ela não participa da licitação.

De qualquer maneira, tendo em vista que a literatura do ETO deixa a desejar, talvez porque as empresas desse tipo ainda sejam novidade na literatura, as variáveis foram adaptadas no diagrama de relações, mas também foram retiradas do modelo. Alguns argumentos para valoração das variáveis não eram suficientes e, no processo de pontuação, em alguns casos, a empresa não soube como responder.

6.2 DESCRIÇÃO DOS MÚLTIPLOS CASOS

Após ajustes e definição do modelo de diagnóstico, os dados para avaliação foram coletados em três empresas. Trata-se de empresas de pequeno/médio porte, integrantes da indústria de bens de capital não seriada. Tais empresas operam com dois tipos de sistemas produtivos: o ETO e o MTO. Devido à dificuldade de operar continuamente apenas com produtos altamente customizados, é natural que essas empresas produzam alguns produtos sob encomenda, a partir de projetos amplamente definidos.

Visando a uma melhor compreensão dos resultados gerados pelo modelo, uma breve descrição de cada um dos casos é apresentada na sequência. Como os problemas enfrentados por essas empresas são os mesmos, a diferença encontra-se na amplitude com que cada um deles acontece. Essa amplitude somente é compreendida a partir do reconhecimento dos processos das empresas, porque parte das explicações referentes aos efeitos indesejáveis é justificada pelo tipo de produto e pelo tipo de sistema produtivo. Logo, para entender os resultados apresentados pelo modelo de diagnóstico, primeiro é preciso conhecer um pouco sobre cada um dos casos em estudo.

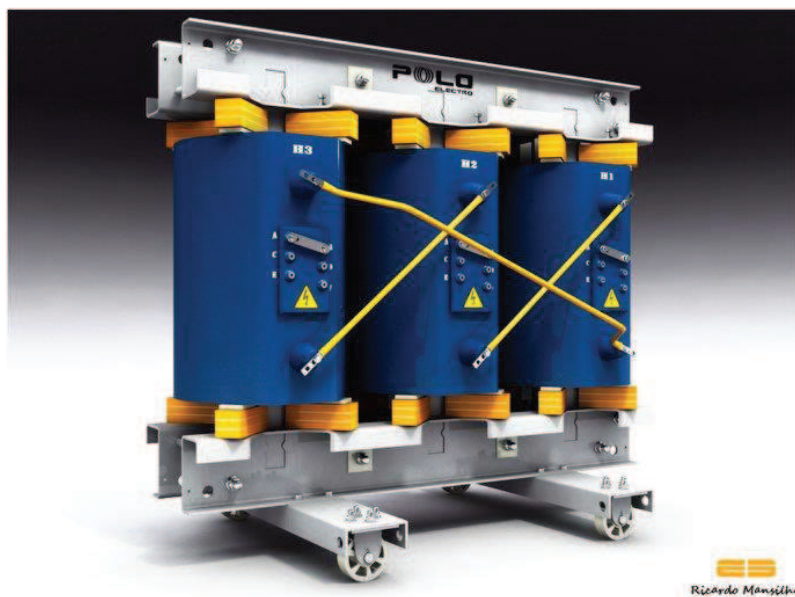
6.2.1 Estudo de caso I: Polo Electro

O primeiro caso explorado em entrevista é o de uma empresa fabricante de transformadores especiais e de distribuição. Fundada em 1996, a empresa tem sede na cidade de Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul. Atua em todo mercado brasileiro por intermédio de negociações com concessionárias de energia elétrica e cooperativas de eletrificação e de atendimentos particulares, principalmente em áreas comerciais e industriais.

As linhas de produção da empresa são confrontadas diariamente com rígidas especificações técnicas exigidas principalmente pelas concessionárias e cooperativas distribuídas pelo país. Cada cliente possui normas e especificações particulares. Transformadores vendidos na orla marítima exigem acabamento especial devido ao problema de ferrugem. Alguns lugares são mais quentes, outros mais úmidos e, por isso, cada região do país possui regras próprias.

A empresa é dividida em mais de um segmento de produto. Em uma linha, são produzidos transformadores de distribuição em médios/pequenos lotes contratados sob encomenda. Em outra linha, encontram-se os transformadores especiais. Estes são maiores do que os de distribuição, porém menores do que os transformadores direcionados às subestações. Os projetos especiais são divididos em transformadores a óleo e a seco. Enquanto os transformadores a óleo possuem o sistema de refrigeração tradicional por radiadores, os transformadores a seco são encapsulados em resina epóxi, a vácuo. Os transformadores especiais variam de 150 kVA a 3000 kVA, nas classes 15 kV e 24.2 kV. A Figura 16 mostra um exemplo de transformador a seco desenhado em CAD. Trata-se de um projeto em 3D.

Figura 16 – Transformador a seco (Desenho 3D)



Fonte: Elaborado pelo autor

A fábrica de transformadores conta com processo bastante artesanal. O processo produtivo dos transformadores a óleo é dividido em três setores: caldeiraria, parte ativa e montagem. Na caldeiraria, são produzidos os tanques dos transformadores. O produto resultante da caldeiraria permeia processos mecânicos por intermédio de operações de corte, calandragem, furação e solda. Ao final do processo, os tanques são submetidos a um processo de estanqueidade para que não haja vazamento de óleo futuramente. Além disso, recebem jato de granalha e pintura eletrostática.

Já no processo da parte ativa, os enrolamentos são produzidos em bobinadeiras específicas para baixa e alta tensão. As bobinas, que podem ser inteiriças ou em “panquecas”, são encolunadas, e no núcleo são feitas as ligações elétricas. Depois, o núcleo é fechado e preso por armaduras. No final, quando a parte ativa é dada como pronta, é encaminhada para estufa para retirar a umidade.

Com os tanques prontos e a parte ativa seca, ambos os componentes são encaminhados à linha de montagem. Nessa linha, a parte ativa é adicionada ao tanque, e o interior é abastecido com óleo isolante. Tal óleo é responsável pela refrigeração dos transformadores pelo princípio físico da troca de calor, quando o óleo quente sobe e passa pelos radiadores que ficam do lado externo e é resfriado naturalmente pelas correntes de vento. Uma vez abastecidos de óleo, os transformadores são fechados, encaminhados ao laboratório de teste e expedidos.

Já os transformadores a seco não possuem tanques. Porém, a caldeiraria é acionada para produzir as armaduras e outros componentes necessários para dar estrutura ao produto. Outra

diferença é que as bobinas sempre são inteiriças e precisam ser encapsuladas com resina. Assim, é necessário um equipamento de uso específico para esse procedimento. Formas que envolvem as bobinas devem ser projetadas e construídas para entrada da resina líquida que, posteriormente, será solidificada.

Focada no conceito de inovação, a empresa integra a pesquisa de mercado ao modelo de gestão. Desse modo, respeitando o compromisso com a satisfação plena dos clientes, a empresa desenvolveu seu próprio sistema de gestão em conformidade às normas NBR ISO 9001:2008 e NBR ISO 14001:2004. Com isso, procura oferecer os melhores produtos e serviços a seus clientes.

6.2.2 Estudo de caso II: SR Engenharia

O segundo caso contempla uma empresa especializada em projeto, fabricação e montagem de estruturas metálicas, equipamentos industriais e elevadores de passageiros. Fundada em 1987, na cidade de Santa Maria/RS, a empresa evoluiu a partir do constante esforço de investimento em tecnologia, maquinários e recursos humanos. A sede da empresa está instalada em uma área de 21.000 m², e uma nova sede, com 50.000 m², encontra-se em fase final de projeto no Distrito Industrial do mesmo município.

Com a preocupação de garantir a qualidade dos produtos, cada uma das três divisões da empresa é tratada imparcialmente. Na divisão de elevadores, os produtos são divididos em projetos comerciais e residenciais, além de um segmento especializado em cargas e hospitais de acordo com as necessidades de cada obra. Na segunda divisão, de equipamentos industriais, são produzidos silos modulados internos, silos e tulhas externas, transportadores helicoidais, elevadores de canecas, sistemas de aspiração de pó e transportadoras de correias. Na última divisão, encontram-se estruturas metálicas especiais para indústria de alimentos e petroquímica (óleo e gás).

Em relação ao cotidiano da empresa, pode se dizer que o parque de máquinas é atualizado constantemente. Dentre os maquinários utilizados, encontram-se equipamentos de corte, furação e dobra por controle numérico computadorizado (CNC). No departamento de engenharia, os projetos são executados a partir da utilização de *softwares* especializados em projetos 3D, o que garante rapidez, qualidade e precisão.

Em 30 anos de história, a empresa já produziu mais de 1.200 obras, todas diferentes umas das outras. Em 2018, a empresa começou o ano com metas arrojadas, visando à ampliação

do quadro funcional e à melhoria da produtividade e dos processos internos de qualidade. Somente no período de maio a julho de 2018, 10 obras foram entregues a indústrias de beneficiamento de arroz no Brasil e na América Latina. Do total de obras entregues no trimestre, seis foram dedicadas a empresas do estado do Rio Grande do Sul, distribuídas nas cidades de Capão do Leão, Formigueiros, São Borja, São Sepé e Uruguaiana, duas obras foram entregues na Argentina e uma no Paraguai. Tais obras dividem-se entre os segmentos de estruturas e de equipamentos industriais.

Em relação à divisão de elevadores, na virada do ano de 2017 a empresa comemorou a marca de 500 elevadores vendidos e instalados em todo o estado do Rio Grande do Sul. A divisão de elevadores foi o último segmento incorporado pela empresa, no ano de 2000. Na época, ao estudar o mercado, a organização optou pelo ramo de elevadores especiais e diferenciados para atender às necessidades dos clientes.

Tal empresa busca oferecer soluções inovadoras em cada uma das divisões, de maneira a proporcionar o melhor custo/benefício do mercado aos clientes. Tem por missão ser reconhecida como empresa de referência pela qualidade dos produtos e serviços e pela maneira de se relacionar com os clientes, fornecedores, colaboradores e com a comunidade em geral.

6.2.3 Estudo de caso III: Tecnopampa

O terceiro caso foi estudado em uma empresa que atua no ramo da indústria de máquinas. Localizada em Santa Maria/RS, tal organização se destaca no cenário nacional como uma das principais empresas fabricantes de maquinários com controle numérico de dados, popularmente conhecidos por equipamentos CNC. Dentre os principais produtos do portfólio da empresa estão equipamentos para corte a plasma e oxicorte, além de dispositivos automatizados para processos de soldagem. Produtos como equipamentos CNC para corte de tubos e madeira também compõem a carteira de produtos da empresa.

Os produtos são divididos em equipamentos semipadronizados e projetos especiais. Muitos deles surgiram da necessidade dos clientes. O produto que deu início ao rol de itens comercializados foi o equipamento de corte a plasma. A partir dessa tecnologia e de uma série de eventos, a empresa evoluiu para um leque significativo de produtos, e encontra-se sempre aberta a inovações. Uma prova disso é um projeto recente administrado pela empresa. O equipamento CNC para corte de tubos foi desenvolvido para atender à demanda específica de um cliente. Trata-se de um equipamento capaz de recortar, em tubos metálicos, espaços para

encaixe e solda de luvas. A solução foi um equipamento único, com 28 metros de extensão, equipado com sistema de descarga, que funciona por etapas controladas por computador.

Dessa maneira, a empresa produz e desenvolve tecnologias próprias com a finalidade de propiciar produtos de qualidade a baixo custo aos clientes. Ela atua no mercado há 13 anos e já instalou mais de 500 equipamentos CNC em todo território brasileiro. Consequentemente, possui uma vasta experiência, desde a pesquisa e o desenvolvimento de produtos, até a fabricação e montagem final nas instalações do cliente.

Uma vez que os produtos fabricados pela empresa apresentam característica de produtos do tipo *turn key*, a equipe que compõe o suporte técnico é treinada na própria fábrica, participando periodicamente de cursos e treinamentos. Ao vender um produto *turn key*, geralmente a empresa entrega o produto instalado em condições de pleno funcionamento. Desse modo, a empresa parte da premissa de que um fator determinante nesse tipo de negócio está na atualização do conhecimento para prestar serviços de melhor qualidade, proporcionando segurança ao cliente.

Nesse contexto, a empresa oferece soluções aos mais variados segmentos da indústria, em especial, à indústria metalomecânica, ofertando produtos já reconhecidos pelo mercado, além de projetos especiais que são produzidos conforme as necessidades dos clientes. Para isso, a responsabilidade da empresa inicia no processo de especificações de produtos e serviços que atendam integralmente aos anseios do cliente considerando sempre a melhor relação custo/benefício. Além disso, após a entrega, a organização também acompanha a vida do produto por meio de assistência e suporte técnico.

Esse ramo de negócio requer aprimoramento constante em linhas de produtos, métodos e processos internos. Portanto, a empresa se sustenta a partir do crescimento intelectual e do processo de melhoria contínua, cultivados pelos sócios e por toda equipe de colaboradores internos e externos. A empresa presa pela responsabilidade no setor industrial ao fornecer equipamentos customizados de alta tecnologia e suporte técnico de qualidade.

6.3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DO MODELO DE DIAGNÓSTICO

Os resultados alcançados a partir dos três casos são abordados nesta seção. Tais resultados foram formalizados em um quadro que resume informações quanto à variável, à categoria de impacto, ao vetor de prioridade e à classificação. Nesse sentido, visando a uma

classificação robusta e precisa, as escalas foram ajustadas para uma classificação de aproximadamente 10 efeitos indesejáveis.

Dentre os casos apresentados, é importante destacar que o primeiro foi modelado na mesma empresa em que foi realizado o estudo piloto, uma vez que o estudo piloto não foi uma aplicação em si, mas uma possibilidade de levantar dados reais para construção e ajuste do modelo. Nesse sentido, a convite da empresa, pôde-se retornar a ela para aplicar o modelo de diagnóstico depois de pronto. Retornar à empresa de transformadores foi importante para a pesquisa, pois possibilitou comparar resultados no tocante ao modelo proposto.

6.3.1 Apresentação dos resultados: Polo Electro

Na empresa fabricante de transformadores especiais, foram classificados 10 efeitos indesejáveis. Desse total, seis EIs foram classificados como variáveis de alto impacto e quatro de médio impacto. Das variáveis de alto impacto, a metade pertence à categoria de custos, e todas as variáveis selecionadas são causas raízes. Já em relação às variáveis de médio impacto selecionadas, todas pertencem à categoria de prazos de entrega, porém dividem-se igualmente em causas raízes e causas consequências. O Quadro 14 mostra os resultados da classificação dos EIs ordenados do maior ao menor impacto (IP).

No conjunto de variáveis de alto impacto, a primeira delas afirma que imprevistos ocorrem frequentemente (EI#54) na empresa. Tal fato ocorre com maior frequência do que o normal, segundo entrevista. Avaliando a situação, três motivos principais se destacaram em relação a esse efeito. Primeiramente, a empresa não possui um planejamento adequado de manutenção. Em segundo lugar, imprevistos ocorrem devido à grande parte dos equipamentos utilizados pela empresa possuir tecnologia própria. Um terceiro ponto diz respeito à mão de obra especializada.

Quadro 14 – Resultados da Polo Electro

Caso I				
EI#	Lista Variáveis	CT	IP	CL
54	Imprevistos ocorrem frequentemente	C	0,889	Ia
69	Os trabalhos não são automatizados	C	0,889	Ia
57	As compras são acionadas por projetos	P	0,878	Ia
64	Setups de máquina são executados frequentemente	P	0,833	Ia
63	O processo de aquisição das especificações não é padronizado	P	0,820	Ia
47	Existem recursos limitados pela capacidade de investimento	C	0,800	Ia
71	O tempo para aquisição das especificações é demorado e variado	P	0,700	Im
76	A acuracidade nas estimativas dos tempos de fábrica é baixa	P	0,500	Im
92	As cotações consomem capacidade de engenharia em pré-projetos	P	0,500	Im
101	Há uma indefinição na priorização das ordens de produção	P	0,500	Im
95	A tecnologia própria para atender determinadas especificações é inexistente	C	0,450	Ib
56	Os suprimentos atrasam frequentemente	P	0,367	Ib
68	O tempo de ciclo dos trabalhos flutuam consideravelmente	P	0,333	Ib
34	Erros operacionais ocorrem frequentemente	C	0,250	Ib
43	Os itens fabricados nem sempre são aprovados nos testes	C	0,250	Ib

Fonte: Elaborado pelo autor

Dentre outros problemas que surgem no dia a dia, há o fato de a fábrica parar quando falta luz, uma vez que a empresa não possui gerador capaz de alimentar a rede elétrica. Embora haja uma equipe de manutenção treinada, esta se envolve intensamente com a resolução de imprevistos. A manutenção dos equipamentos é realizada, normalmente, para corrigir as falhas e não para preveni-las. Logo, muitos imprevistos ocorrem por paradas de máquina, que precisam aguardar peças de reposição para voltar ao funcionamento.

Esse problema se agrava porque as peças, muitas vezes, são produzidas pela própria empresa, já que a maioria dos equipamentos foi desenvolvida pela organização. Nesse caso, é natural que os projetos de novos equipamentos, que iniciam do zero, necessitem de um tempo até não causarem mais imprevistos. O entrevistado relatou um problema que levou muitos meses para ser resolvido, e ainda assim, não foi resolvido completamente. Um dos projetos da empresa foi melhorar o sistema de jateamento de granalha utilizado na produção dos transformadores especiais para retirar a camada de proteção antiferrugem das chapas de aço, buscando uma melhor aderência da pintura.

A partir desse projeto, a empresa ganhou em produtividade, pois o colaborador não precisava mais parar para recarregar o refil da máquina. Entretanto, o sistema passou a ter problemas com umidade. Quando o tempo estava úmido, a granalha empedrava e, com isso, ou o sistema travava na peneira ou todo o sistema de elevação por canecas era travado. Em dias de chuva, muitas vezes o poço enchia de água, e a solução para não parar o processo era voltar

a abastecer manualmente a máquina com granalha nova. Dessa forma, imprevistos passaram a ocorrer a todo o momento até que uma solução fosse encontrada. O problema foi quase extinto, mas chuvas torrenciais ainda causam distúrbios.

Nesse mesmo contexto, outro motivo que seguidamente leva à parada dos equipamentos na fábrica de transformadores é o absenteísmo. Quando o colaborador responsável por um equipamento não comparece, a máquina corre o risco de ficar parada. Assim, caso outro colaborador não esteja capacitado para operar no lugar do colega, o recurso fica ocioso. O risco de parada de máquinas por faltas da mão de obra é significativo, visto que os trabalhos são complexos e não automatizados (EI#69). As operações de fábrica são manuais e, por isso, exigem tempo e experiência dos colaboradores de cada posto de trabalho. Dessa maneira, quando um colaborador falta, muitas vezes a empresa não tem a quem recorrer. De acordo com o diretor, já houve casos em que própria direção foi encontrada na caldeiraria operando a máquina de plasma, ou na expedição dirigindo a empilhadeira devido ao absenteísmo. No caso de operações que exigem conhecimento técnico, como a produção de bobinas, ou aptidão física, como o jato de granalha, quando o colaborador falta, não há o que fazer.

O problema é que o processo de fabricação dos transformadores presume muitas etapas de montagens, soldagem e ligações elétricas. Desse modo, a empresa de transformadores especiais é quase que totalmente manual e artesanal. Com exceção do corte a plasma CNC e do processo de recarga do jateamento, o restante do processo produtivo depende da mão de obra operando os equipamentos 100% do tempo. Além de carregar e descarregar, os colaboradores também precisam controlar as máquinas.

Para amenizar esse tipo de problema, a título de exemplo, no processo produtivo dos transformadores de distribuição produzidos pelo sistema MTO, que também é artesanal, foi implementado um processo de solda automática para o fecho do tanque depois de calandrado. Tal processo reduziu o tempo da operação e o tempo gasto em estanqueidade dos tanques para impedir o vazamento de óleo.

O processo de automação das partes, além de reduzir a dependência da mão de obra, facilita o processo de gestão quando a acuracidade dos tempos de fábrica é baixa (EI#76). Isso acontece porque, em processos automatizados, as variações de tempo são menores, e as estimativas são mais precisas. Nesse contexto, embora grande parte das indefinições de priorização de ordens de produção (EI#101) ocorra devido ao grau de urgência das ordens e à dificuldade de prever o mercado, o fato de conhecer os tempos de fábrica pode auxiliar o processo de sequenciamento das ações. Constatase que, nesse caso, as causas anteriores a tais

indefinições partem de dois fatos do ETO (FE#35 e FE#36). Logo, a única maneira de amenizar esse problema é melhorar a precisão das informações.

Nesse ponto, é necessário destacar que os transformadores especiais disputam capacidade com os transformadores de distribuição na maioria dos recursos. Dessa maneira, o fato de sequenciar adequadamente os projetos especiais e os transformadores de distribuição pode reduzir as esperas dos projetos que aguardam capacidade de máquina.

Além disso, os setups de máquinas são executados frequentemente (EI#64) nos transformadores especiais, pois cada projeto possui suas particularidades, logo cada operação exige ajustes e adaptações nos equipamentos. Nesse caso, é possível manter o número de setups, mas reduzir o tempo de execução deles, visto que a quantidade não pode ser modificada sem alterar as características ou do produto ou do sistema produtivo.

Dito isso, observa-se que os EIs, até esse ponto, consomem capacidade extra dos recursos. Imprevistos, operações manuais, sequenciamento inadequado e setups em excesso podem restringir a capacidade produtiva. Uma vez que os maquinários são caros e possuem capacidade fixa, se mal gerenciados limitam a capacidade de investimento (EI#47). Isso significa que, se os recursos já são gargalos por natureza, o problema torna-se mais grave ainda. Da mesma forma, visto que a mão de obra é onerosa, a empresa evita o excesso de colaboradores operando com um quadro enxuto. Nessa situação, qualquer tempo desperdiçado pode acarretar falta de capacidade para demandas dos projetos, além de custos excedentes.

Outro motivo que pode levar à má gestão dos recursos restritivos é o fato de o ETO não trabalhar com estoques. Uma vez que as compras são acionadas por projetos (EI#57), é normal que os recursos sejam obrigados a aguardar a chegada de materiais ou componentes para serem acionados. Embora na classificação atrasos e erros de suprimentos tenham sido ignorados, o tempo de atravessamento do fornecedor, mesmo que em tempo hábil e sem erros, existe. Logo, quanto mais as compras forem postergadas, mais tarde iniciará a produção, podendo haver atrasos na entrega.

Nesse sentido, a solução seria antecipar as compras, reduzindo o tempo de atravessamento que começa no processo de cotações. Visto que o processo de cotações não é padronizado (EI#63), o tempo para aquisição das especificações é demorado e variado (EI#71). Logo, um tempo valioso é perdido para adquirir todas as informações. Na empresa de transformadores, o processo de cotação é complexo, pois além das questões de dimensionamento e posicionamento dos itens, há as exigências técnicas do produto, tais como potência, classe, número de fases, etc. O somatório de cada uma dessas exigências é revertido em um cálculo de transformador. A partir desse cálculo, que abrange todas as especificações

técnicas do produto, é possível prever o dimensionamento do núcleo, da parte ativa e do tanque no caso dos projetos especiais a óleo. Após esse processo, é necessário verificar se o local de instalação do produto é compatível com as dimensões planejadas.

Além disso, de acordo com a entrevista, no processo de cotações dos transformadores especiais, em cada projeto especial existe uma surpresa. Um exemplo prático é a cotação de um transformador que a empresa fez para uma área em que são comuns abalos sísmicos. Naquela ocasião, o cliente solicitou um sismógrafo adaptado ao projeto. Entretanto, os detalhes extras, caso do sismógrafo, são adaptações realizadas normalmente no final do processo produtivo. Segundo o entrevistado, esse tipo de detalhe não atrapalha a etapa de cotações, mas pode resultar em atrasos na engenharia ou na produção.

De qualquer maneira, mesmo que os produtos sejam semelhantes, os transformadores especiais são formalizados por meio de contratos com descrição de todas as especificações do produto em desenhos, dimensões e direitos de serviços pós-venda. Para tanto, as cotações consomem capacidade de engenharia em pré-projetos (EI#92). Nesse caso em especial, verificou-se que tal variável foi classificada como de médio impacto, tendo em vista que muito do problema já foi resolvido pela empresa. Trata-se de uma variável com nível de abrangência e reação forte, porém no nível de percepção foi atrelado apenas 4 pontos.

Para amenizar esse problema, no passado a empresa desenvolveu um software para calcular o valor das especificações dos transformadores que produzia. Ao informar um conjunto de dados de entrada, informações como números de espiras, bitolas de fio, dimensões do núcleo e do tanque são impressos em um relatório. Esse relatório encontra-se alinhado ao sistema ERP, também produzido internamente, auxiliando o cálculo de custos variáveis do projeto, com base no peso dos materiais necessários e nas quantidades de componentes e fixadores.

6.3.1.1 Diagnóstico apresentado à Polo Electro

Os resultados do modelo em relação à Polo Electro mostraram duas vertentes de problemas, que se direcionam a restrições de capacidade fabril. Uma vertente parte da dificuldade de prever os tempos de fábrica e outra começa no processo de cotação. Nesse caso, à primeira vista, atrasos nos prazos de entrega parecem ser o problema principal. Essa observação pode ser verificada a partir das variáveis classificadas. Nota-se que grande parte delas pertence à categoria que impacta em prazos.

Por um lado, ao analisar o grau de relevância dos critérios pontuados pelo diretor via formulário de coleta, verificou-se que 80% das vendas não ocorrem porque a empresa não consegue atuar com preços mais baixos. Por outro lado, a entrevista com o diretor da empresa e uma análise de pontuação do Np obtida via formulário, mostram que a organização se encontra em um bom patamar referente à categoria custos. Erros operacionais quase não ocorrem e muitos produtos precisam passar pelos testes de laboratório até que algum seja reprovado. Além disso, a maior causa de imprevistos diz respeito a soluções de produtividade da empresa.

Dessa maneira, por intermédio dessas observações, foi possível entender que a empresa está muito próxima ao ponto de equilíbrio. Isso significa que facilmente a empresa vem perdendo dinheiro porque a capacidade produtiva não consegue pagar o preço da estrutura. O fato de as variáveis estarem direcionadas à falta de capacidade mostra que a empresa encontra-se limitada no faturamento. Nesse caso, para conseguir pagar os custos fixos a partir da capacidade instalada, ela precisa aumentar os preços.

De acordo com o diretor, um dos principais problemas que a empresa enfrenta na atualidade é o limite de crédito e a falta de capital de giro. Essa situação decorre, principalmente, da perda de um cliente importante e devido à crise econômica. Em entrevista, o diretor comentou que antigamente, antes de a RGE ser vendida a uma concessionária paulista, os estoques eram financiados pelos fornecedores. A empresa comprava os materiais para pagar em 60 dias, produzia o produto em 30 e recebia em 45 dias.

Outra situação é que os transformadores que eram entregues em Santa Maria ou São Leopoldo passaram a ser levados de caminhão ao estado de São Paulo. Com isso, a margem de lucro dos transformadores de distribuição foi estrangulada. Nesse caso, para melhorar a lucratividade da empresa e para que ela possa concorrer com mais força no mercado, um novo ponto de equilíbrio precisa ser encontrado, com redução da estrutura, ou é necessário melhorar a produtividade, de modo que ela faça mais com os mesmos recursos.

6.3.2 Apresentação dos resultados: SR Engenharia

Na empresa fabricante de estruturas metálicas e equipamentos industriais, 11 variáveis foram selecionadas. Dessas, aproximadamente 73% foram classificadas como efeitos de alto impacto. Nesse grupo, apenas uma variável pertence à categoria de custos, e quase 40% das variáveis selecionadas não são causas raízes. O resultado da classificação pode ser visualizado no Quadro 15.

Quadro 15 – Resultados da SR Engenharia

Caso II				
EI#	Lista Variáveis	CT	IP	CL
57	As compras são acionadas por projetos	P	0,900	Ia
81	Os contratos são formalizados com as especificações incompletas	P	0,900	Ia
63	O processo de aquisição das especificações não é padronizado	P	0,893	Ia
92	As cotações consomem capacidade de engenharia em pré-projetos	P	0,889	Ia
71	O tempo para aquisição das especificações é demorado e variado	P	0,874	Ia
68	O tempo de ciclo dos trabalhos flutuam consideravelmente	P	0,870	Ia
34	Erros operacionais ocorrem frequentemente	C	0,833	Ia
64	Setups de máquina são executados frequentemente	P	0,833	Ia
69	Os trabalhos não são automatizados	C	0,750	Im
55	Há incidências de retrabalhos	P	0,733	Im
54	Imprevistos ocorrem frequentemente	C	0,667	Im
75	Há variações nos tempos de atravessamento	P	0,433	Ib
98	Picos de demanda ocorrem nos recursos de produção e engenharia	P	0,433	Ib
76	A acuracidade nas estimativas dos tempos de fábrica é baixa	P	0,333	Ib
43	Os itens fabricados nem sempre são aprovados nos testes	C	0,250	Ib

Fonte: Elaborado pelo autor

O EI#75 – As compras são acionadas por projetos – representa uma variável de alto impacto, reforçando a ideia de que no ETO as empresas costumam trabalhar com baixos estoques. Em entrevista, o diretor industrial da empresa de estruturas e equipamentos comentou que apenas de 2% a 5% dos custos de um projeto são mantidos em estoque pela empresa (consumíveis, fixadores, etc.). Como esse EI não afeta a produção por falta de materiais, e isso pode ser verificado pela percepção dos gestores aplicada à variável via formulário, o efeito indesejável, nesse caso, está na dilatação dos tempos de atravessamento. É necessário, pois, adicionar ao *lead time* da fábrica os piores casos referentes aos prazos de entrega dos fornecedores.

Na tentativa de amenizar o problema de compras tardias, os contratos são formalizados com as especificações incompletas (EI#81). Isso ocorre porque os projetos da empresa de estruturas e equipamentos são altamente complexos. Dessa maneira, não há tempo hábil para esperar que todas as informações estejam reunidas. Além das especificações corriqueiras encontradas normalmente em empresas não seriadas de bens de capital, nessa empresa existe a necessidade de definir por completo o layout dos projetos. Muito dos projetos, chamados pela empresa de “obras”, são propostas de fábricas inteiras e completas. Trata-se, pois, de uma fábrica de fábricas. Equipamentos que não são produzidos pela empresa são terceirizados, e as “fábricas” são entregues em funcionamento.

Nesses projetos, além do posicionamento dos equipamentos na definição do layout, toda parte de logística interna é pensada. Esteiras transportadoras, elevadores de canecas, silos entre outros equipamentos logísticos são dimensionados para trabalharem em harmonia. Além disso, toda estrutura metálica é desenvolvida para o deslocamento das pessoas na fábrica, bem como pontes, escadas e guarda-corpos. Também é necessário especificar os equipamentos de terceiros que serão reunidos para entrega da obra.

Diante disso, os contratos são formalizados de modo incompleto, tendo em vista que o tempo para aquisição das especificações é demorado e variado (EI#71). Além das necessidades dos clientes, a empresa de estrutura também precisa de informações sobre o local de instalação. Nesse processo, é necessário aferir medições no canteiro de obra e, em caso de adaptações, deve ser feito um levantamento do que já existe, pois é preciso encaixar o novo produto na realidade do cliente.

Isso significa que o processo de aquisição das especificações não é padronizado (EI#63), pois cada obra projetada possui necessidades diferentes. Um dos comentários a respeito, captado nas entrevistas, foi a fala do presidente e sócio fundador da empresa: “nesses trinta anos de existência, já entregamos mais de 1200 obras e nenhuma delas era semelhante”.

Seguindo essa lógica, as cotações consomem capacidade de engenharia em pré-projetos (EI#92) na empresa de estruturas e equipamentos. Para garantir a venda, a engenharia deve ser acionada para reproduzir em CAD uma proposta para o cliente aprovar ou não o pedido. O problema, nesse caso, é que alguns projetos que não são vendidos também consomem horas da capacidade de engenharia. Além disso, projetos consomem horas de capacidade de outros projetos. Nessa situação, posto que para iniciar um projeto é necessária a etapa de pré-projetos e a liberação do quadro de engenharia, as compras costumam atrasar mais ainda.

Por outra vertente de problemas, os tempos de ciclo dos trabalhos flutuam consideravelmente (EI#68). Tal variável é uma consequência direta do EI#69 de médio impacto. O tempo de ciclo não é afetado com todas as forças pela falta de automação e sim porque os produtos e componentes produzidos são muito diferentes uns dos outros. Dessa forma, o fato de a variável “os trabalhos não são automatizados (EI#69)” ter sido classificada como efeito de médio impacto, justifica-se pela evolução da empresa nos últimos anos no que tange ao investimento em automação dos processos sempre que possível. Na entrevista, um dos diretores chegou a comentar que a maioria dos equipamentos da fábrica são CNC. Contudo, o tempo de ciclo continua variando, e uma parcela da resposta encontra-se nos processos de montagem manuais, principalmente devido à característica do sistema produtivo.

Da mesma forma, o tipo de sistema produtivo coloca a empresa de estruturas e equipamentos em uma situação em que os Setups de máquina são executados frequentemente (EI#64). Uma vez que as consequências anteriores a essa variável são características do sistema produtivo, a única solução, nesse caso, seria reduzir o tempo despendido com setups de máquina. A ideia é trabalhar mecanismos que possam reduzir esses tempos. Divisão dos setups em etapas, que podem ser acionadas enquanto a máquina está funcionando, e Padronização dos fixadores utilizados para troca de matrizes evitando busca por ferramentas diferenciadas, são exemplos de soluções que poderiam ser consideradas visto que as características do sistema produtivo são o principal fator que acarreta altos níveis de setup.

Essas características naturais do ETO são responsáveis também por erros operacionais que ocorrem frequentemente (EI#34). O fato de os processos não serem repetitivos reforça esse problema, pois toda operação nova gera aprendizado. Diferente de uma operação padronizada, em que a coordenação motora faz parte do aprendizado, no ETO o aprendizado está no processo em si. Operar uma prensa excêntrica de baixa tonelada para cortar pecinhas padronizadas é bem diferente do que torneiar peões em madeira. O tempo para dominar cada uma das atividades a ponto de chegar ao erro zero é distinto.

Outra observação importante sobre os erros que acontecem com frequência, é que essa foi a única variável de custo diagnosticada como de alto impacto. Isso significa que o problema maior do erro está na repercussão em relação às variáveis de prazo, e não no custo. A justificativa é reforçada porque a variável de médio impacto – há incidência de retrabalho (EI#55) – também é classificada pelo modelo.

Os retrabalhos, de acordo com o diagrama de relações dos EIs, são impulsionados tanto pelos constantes erros que acontecem na fábrica, como pelos Imprevistos que ocorrem frequentemente (EI#54). Entretanto, o fato de os imprevistos serem uma variável raiz que nesse caso foi creditada como uma variável de médio impacto mostra que tal variável não é a principal responsável pelos retrabalhos. Assim, a respeito desse efeito, a resposta do presidente foi: “imprevistos não ocorrem com tanta frequência aqui dentro da fábrica. O problema está lá fora, no canteiro de obras, onde são feitas as montagens. A chuva é a grande vilã nessa história”.

6.3.2.1 Diagnóstico apresentado à SR Engenharia Industrial

Dos problemas apresentados nos resultados da SR Engenharia, oito EIs foram classificados como variáveis de alto impacto. No entanto, o que chamou atenção, é que dentre

os EIs contemplados existem três causas consequências e cinco causas raízes. Além disso, os cinco primeiros EIs selecionados seguiram uma linha de raciocínio próxima ao que pode ser visto no diagrama de relações. Trata-se de efeitos indesejáveis relacionados entre as etapas de cotação e engenharia.

Em outro sentido, as últimas variáveis de alto impacto, em conjunto com as de médio impacto, revelaram uma situação bem diferente da primeira. Todavia, ao triangular os resultados das informações registradas na entrevista e da pontuação dos relatórios, constatou-se que o problema principal está no tempo gasto para formalizar e finalizar um projeto, para só então iniciar as compras e começar a produção.

Logo, o problema das incertezas é revelado. A SR Engenharia apresenta dificuldades para estimar os prazos das obras, visto que os tempos de atravessamento oscilam muito devido a erros, imprevistos e setups. Esse problema se agrava por causa da complexidade para aquisição das especificações, uma vez que, por natureza, boa parte do tempo é utilizada em atividades de engenharia.

Isso fica claro na entrevista quando a percepção dos gestores em relação aos critérios competitivos foi considerada, a princípio, meio a meio. Contudo, ao discutir mais sobre o assunto, chegou-se à conclusão de que os custos impactavam um pouco mais, visto que a empresa se encontra em um patamar de qualidade reconhecido pelo mercado. Assim, o valor agregado adicionado pela percepção de qualidade dos produtos da empresa gera a possibilidade de oferecer produtos um pouco mais caros do que a média do mercado. Nesse contexto, a empresa passou a perder a fatia de mercado mais interessada em economizar em compras do que em pensar na relação custo/benefício futuro. Isso acabou reduzindo o nível de satisfação dos custos, e a pontuação final ficou em 60% custos e 40% prazos.

Visto isso, o diagnóstico revelou que na SR Engenharia a restrição se encontra no mercado. Isso pode ser confirmado no Np do relatório, em que a empresa discorda completamente da afirmação de que existem recursos limitados pela capacidade de investimento. Tal realidade parece não fazer sentido quando há uma avaliação de 5 pontos relativa à frequência de horas extras. Se a empresa não possui gargalos produtivos, o que a leva a ter uma sobrecarga média de horas extras?

A explicação está nas variações que ocorrem nas operações de fábrica que, quando está apta a produzir, já se encontra atrasada, devido ao longo tempo consumido em cotação, pré-projetos e engenharia. Os produtos são complexos em demasia, pois são trabalhados a partir da configuração de muitos produtos diferentes. As obras são extensas, e cada componente do produto é um equipamento completo. Elevadores de caneca e esteiras são exemplos de

componentes absorvidos pelo projeto. Fora isso, é necessário gerenciar todos os equipamentos que não são de responsabilidade da SR, ou seja, é preciso conciliar os equipamentos instalados por terceiros e o projeto global da obra.

Dessa forma, o resultado global desta análise aponta para uma empresa enxuta em busca de maior produtividade nas etapas anteriores à produção, visando tão somente a aumentar a lucratividade. Trata-se de uma empresa que conhece seus tempos de fábrica, mas que segue na luta contra as variações causadas principalmente por erros e imprevistos. Isso fica claro na entrevista, quando o diretor industrial cita o fato de existir um estudo fino dos tempos de produção. Segundo ele, tal estudo possibilita uma previsão bastante precisa dos tempos de fábrica, que são calculados a partir de uma cronoanálise das micro tarefas que podem ser captadas automaticamente dos projetos de CAD.

6.3.3 Apresentação dos resultados: Tecnopampa

A fábrica de equipamentos especiais CNC também apresentou 10 efeitos indesejáveis. Das variáveis selecionadas, apenas quatro foram classificadas como de alto impacto, todas elas causas raízes. Do total de variáveis selecionadas entre Ia e Im, apenas duas pertencem à categoria de custos. O Quadro 16, mostra os resultados da classificação dos EIs na empresa de equipamentos CNC.

Na fábrica de equipamentos especiais, o processo de aquisição das especificações não é padronizado (EI#63). Para a Tecnopampa, a despadrãoção do processo de aquisição das especificações nunca causou impacto direto em elevação de tempo para a coleta de informações. Conforme entrevista com o diretor comercial e de engenharia, as especificações são adquiridas muito rapidamente.

Grande parte dos produtos especiais CNC é vista como adaptação ou variação dos produtos que compõem o portfólio da empresa. A justificativa se encontra no domínio e no tipo de produto produzido pela empresa, visto que não é preciso coletar especificações técnicas porque os clientes não sabem tecnicamente o que precisam. Apenas é necessário saber qual é a função que o equipamento deverá desempenhar e as dimensões do produto.

Quadro 16 – Resultados da Tecnopampa

Caso III				
EI#	Lista Variáveis	CT	IP	CL
63	O processo de aquisição das especificações não é padronizado	P	0,900	Ia
69	Os trabalhos não são automatizados	C	0,889	Ia
57	As compras são acionadas por projetos	P	0,878	Ia
92	As cotações consomem capacidade de engenharia em pré-projetos	P	0,833	Ia
76	A acuracidade nas estimativas dos tempos de fábrica é baixa	P	0,800	Im
34	Erros operacionais ocorrem frequentemente	C	0,750	Im
67	Há incidência de atrasos na produção por falta de materiais	P	0,750	Im
56	Os suprimentos atrasam frequentemente	P	0,693	Im
55	Há incidências de retrabalhos	P	0,560	Im
68	O tempo de ciclo dos trabalhos flutuam consideravelmente	P	0,533	Im
43	Os itens fabricados nem sempre são aprovados nos testes	C	0,367	Ib
58	As aquisições são feitas erradas frequentemente	C	0,317	Ib
98	Picos de demanda ocorrem nos recursos de produção e engenharia	P	0,317	Ib
95	A tecnologia própria para atender determinadas especificações é inexistente	C	0,307	Ib
54	Imprevistos ocorrem frequentemente	C	0,250	Ib

Fonte: Elaborado pelo autor

Na empresa CNC, as especificações técnicas dependem quase que exclusivamente das operações que o cliente almeja realizar com a nova aquisição. Caso o cliente tenha interesse em uma mesa de plasma para chapas finas de 2 mm, o equipamento é predestinado a um conjunto de especificações. Todavia, se a função do produto é cortar chapas grossas de 15 mm, as especificações serão outras. É por meio da função do equipamento que a Tecnopampa define o pré-projeto do produto, pois o cliente sabe o que precisa, mas não conhece as especificações necessárias para atender ao seu próprio desejo.

As exceções se encontram no dimensionamento e em alguns detalhes, como a chegada da tubulação de ar comprimido e de energia elétrica, o posicionamento da torre de controle, entre outros. Contudo, tais informações são levadas em consideração na etapa do pré-projeto. Diante disso, o maior impacto do processo de cotação do produto é o fato de que as cotações consomem capacidade de engenharia em pré-projetos (EI#92). Portanto, é nesse momento que os detalhes do projeto são resolvidos conforme observações do departamento de engenharia.

Como as compras são acionadas por projetos (EI#57), para iniciar esse processo é necessário que os projetos estejam formalizados e prontos para leitura da fábrica. Nessa situação, quando as compras são acionadas, boa parte do tempo de espera do cliente pelo produto foi consumida. O problema é que muitos dos componentes utilizados para confecção dos equipamentos CNC são considerados críticos. Tais componentes não estão disponíveis à

pronta entrega ou são produtos importados cuja entrega depende de um longo tempo logístico. Às vezes, ainda, ocorrem os dois casos ao mesmo tempo.

À vista disso, os suprimentos atrasam frequentemente (EI#56). Posto que a criticidade de muitos componentes é alta, é natural que a confiabilidade de entrega seja afetada. Para que alguns produtos sejam expedidos a tempo, os fornecedores precisam garantir uma boa gestão de seus processos produtivos. Depois, é necessário aguardar na expectativa de que a empresa responsável pela entrega do produto também consiga atender dentro do prazo prometido. Mesmo assim, nem sempre os itens comprados chegam com qualidade.

Por esses e outros motivos, a Tecnopampa tornou-se refém dos prazos dos fornecedores para precisar os tempos de atravessamento da própria fábrica. Assim, é comum a incidência de atrasos na produção por falta de materiais (EI#67). De acordo com o diretor, “Sempre tem uma peça ou outra que é necessário aguardar para continuar a produção. Quando o problema não é logístico é qualidade. Quando não é qualidade é porque erraram ou se enganaram no momento de comprar todas as peças”.

Todavia, o problema tende a aumentar quando erros operacionais danificam os componentes já adquiridos e é preciso comprá-los novamente. Nos produtos especiais CNC, erros operacionais ocorrem frequentemente (EI#34) e, por isso, há incidências de retrabalhos (EI#55). Nesse caso, tendo em vista a criticidade de muitos materiais, o problema dos erros também é direcionado à parada de máquina por falta de materiais.

Como nos demais casos estudados, a justificativa para o excesso de erros se encontra na falta de padronização e na rotatividade de fábrica. Uma vez que a maioria das operações da fábrica CNC ocorre em linha de montagens e, por isso, os trabalhos não são automatizados (EI#69), capacitações e treinamentos precisam ser reconsiderados a todo momento. Mesmo que a empresa detenha tecnologia para construção dos seus próprios equipamentos CNC, o número de montagens necessárias não permite a automação de grande parte do processo. Como consequência, o tempo de ciclo dos trabalhos flutua consideravelmente (EI#68), resultando na falta de acuracidade nas estimativas dos tempos de fábrica (EI#76).

6.3.3.1 Diagnóstico apresentado à Tecnopampa

Os resultados encontrados na Tecnopampa remetem ao problema da criticidade dos materiais. Embora a empresa informe via formulário que os preços são a principal causa de perda de vendas, verificou-se que a maior parte dos problemas apresentados pelo modelo recaiu

sobre as variáveis de prazos. Essas variáveis estão fortemente correlacionadas e apontam para dois EIs principais: paradas de máquina por falta de materiais e falta de acuracidade dos tempos nos recursos. A relação entre as variáveis selecionadas nos resultados pode ser confrontada com o diagrama dos EIs em anexo.

O problema é que a Tecnopampa trabalha com produtos que exigem uma mão de obra altamente capacitada em linhas de montagens totalmente manuais. Isso reduz a precisão quanto aos prazos que devem ser ofertados aos clientes. Esse problema se agrava porque muitos componentes adquiridos são considerados críticos e, por isso, a empresa acaba se submetendo a longos prazos dos fornecedores.

Com a recessão do mercado de máquinas brasileiro, as vendas caíram e a Tecnopampa se viu obrigada a recuar e enxugar a fábrica. Com isso, o capital de giro tornou-se escasso, e a empresa também teve que reduzir estoques. Segundo o diretor, desde 2014 a empresa perdeu mais de 60% do mercado principal na venda de equipamentos de corte CNC.

A partir desse movimento, a organização passou a sentir o problema relativo aos componentes mais críticos. Sem os recursos materiais em mãos quando necessário, a incerteza referente aos prazos de entrega aumentou ainda mais o problema, visto que os trabalhos são, em sua maioria, manuais. Nesse sentido, quanto maior é a incerteza, maiores são as margens de segurança embutidas no processo.

Sendo assim, o diagnóstico final revela que, com a dilatação do tempo de atravessamento, a empresa passou a perder em produtividade. A perda de produtividade somada à necessidade de enxugar o quadro de colaboradores colocou a empresa em outro nível de competitividade, reduzindo as margens e restabelecendo um novo ponto de equilíbrio. Além disso, a incerteza em relação ao mercado e aos tempos necessários para produzir aumentou por dois motivos: a) falta de estoques para absorver as variações e; b) quadro enxuto. Dessa forma, quando a empresa trabalha com as margens ajustadas, correndo o risco de não conseguir pagar o custo da estrutura, é natural que os preços sejam inflacionados.

6.4 AVALIAÇÃO DO MODELO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após avaliação e análise dos resultados do modelo, o diagnóstico foi apresentado aos representantes entrevistados pelas empresas. Os participantes receberam as informações e foram instigados a opinar a respeito dos resultados alcançados, deixando suas impressões em relação ao artefato. Para tanto, o pesquisador procurou estabelecer que as respostas fossem

críticas, independentemente de serem positivas ou negativas. Essa intervenção talvez tenha sido importante para que o *feedback* não tivesse um viés para respostas agradáveis. Buscou-se, com isso, a verdade.

Dito isso, cada uma das empresas foi revisitada, o diagnóstico foi apresentado e as opiniões dos participantes a respeito dos resultados foram anotadas. Felizmente, nesse processo, a percepção dos sócios, proprietários e diretores como um todo foi unânime em relação à relevância dos resultados de cada empresa. Conforme entrevista, os resultados mostraram-se próximos das realidades dessas empresas. Os problemas encontrados ocorrem na realidade, e o diagnóstico global definiu quase precisamente a realidade das empresas.

Nesse processo, apenas um participante relatou uma observação que contrastou com os resultados do diagnóstico: o representante da Polo Electro indicou a dificuldade de a empresa trabalhar próxima ao ponto de equilíbrio. Essa observação considera que um dos problemas de alto impacto apresentados foi a limitação da capacidade. A leitura dos dados instigou a existência de recursos gargalo em maquinário de alto investimento, porque é natural que gargalos sejam encontrados nos recursos mais caros, pois recursos baratos facilmente podem ser resolvidos.

Em crítica a essa inferência, a empresa respondeu que a análise quanto à limitação estava parcialmente correta. Segundo o diretor da Polo, a empresa sofreu com o problema de gargalos de alto investimento no passado. Com a recessão econômica e a venda dos principais clientes para concessionárias paulistas, a realidade da empresa foi abalada. A organização possuía, na época, uma estrutura cara, montada para produzir até 1.200 transformadores de baixa potência, porém estava sem mercado para vender tal capacidade.

Com esses adventos, a empresa foi obrigada a encontrar um novo ponto de equilíbrio, e a primeira iniciativa foi enxugar o quadro de colaboradores, reduzindo-o paulatinamente em um quarto do tamanho original. A capacidade tombou para um número inferior a 200 peças mês, e o gargalo passou a ser a mão de obra à frente dos recursos de bobinadeira. Isso quando o próprio mercado não restringe as vendas, oscilando em picos de demanda.

Esse problema é agravado visto que grande parte dos transformadores distribuídos no Brasil é comprada por licitações que envolvem lotes significativos de peça. Nesse caso, ao reduzir a capacidade da fábrica, a empresa ficou à mercê do mercado particular de transformadores. Nessa situação, sempre que aparece uma boa oportunidade, a organização é restringida por não poder aumentar o quadro de mão de obra.

Quanto à Tecnopampa, o que chamou a atenção foi a existência de uma variável isolada que parecia destoar do principal problema identificado em relação à criticidade dos materiais.

O efeito indesejável da falta de padronização no processo de aquisição das especificações não impactou, como de costume, em demora na execução do projeto. Nesse caso, verificou-se que a falta de padronização estava impactando, indiretamente, a falta de materiais. O fato de trabalhar essa etapa de maneira desorganizada, muitas vezes compromete a qualidade das informações necessárias para as compras, aumentando ainda mais o problema crítico de prazo de entrega de materiais.

Em relação aos equipamentos especiais CNC, o diagnóstico se encaixou perfeitamente à realidade da empresa. O retorno do diretor possibilitou confirmar a precisão dos resultados. Em entrevista, o diretor comentou que a empresa só percebeu a importância dos estoques a partir do ano de 2014. De lá para cá, as vendas caíram mais de 60%. Todos os produtos da empresa foram afetados com essa baixa. Devido à recessão econômica, as empresas deixaram de investir em novas máquinas, e a Tecnopampa foi obrigada, como a Polo Electro, a reduzir o número de colaboradores em busca de um novo ponto de equilíbrio. Nessa situação, o fluxo de caixa foi estrangulado, e os materiais críticos deixaram de existir nos estoques. Por conta disso, a Tecnopampa tem buscado soluções por meio da diversificação da carteira de produtos e da atuação em mercados menos personificados, visando a preencher as lacunas de tempo ocioso devido às particularidades do ETO.

Em relação à SR Engenharia, pode-se dizer que foi a única empresa que se destacou pela estabilidade. O diagnóstico mostra que os problemas enfrentados são principalmente devido a características do produto ou do sistema produtivo ETO. Embora na lista dos casos estudados essa empresa tenha apresentado o maior número de problemas, verificou-se que eles estão conectados. Isso significa que além de selecionar as raízes, as consequências das consequências também foram selecionadas. Dessa forma, pode-se afirmar que, na verdade, os problemas são em maior número, porém em menor intensidade.

É o caso do tempo perdido desde a venda do produto até o momento em que as compras são acionadas. Na empresa de estruturas e equipamentos, a restrição é externa. Contudo, para contornar essa situação, há 18 anos a empresa diversificou o mercado para atender também o ramo de elevadores de passageiros. Como o mercado de elevadores é mais estável, tal produto mantém a fábrica ocupada mesmo em momento de baixas, quando novas obras não são adicionadas na carteira de pedidos.

Nesse sentido, a luta para reduzir os prazos de cotações, pré-projetos e engenharia é constante. Um exemplo citado pelo diretor industrial é a customização do sistema ERP da empresa, que hoje é integrado à área de engenharia. Conforme o diretor, antigamente, cada projeto, contemplado por uma quantidade grande de desenhos, precisava ser cadastrado para

que as compras fossem acionadas via sistema. Nesse processo, muitas vezes se perdia uma semana até que todos os itens novos fossem registrados. Atualmente, a empresa conta com um sistema integrado que possibilita à engenharia, ao criar um novo item com especificações técnicas ditadas em desenho, cadastrá-lo automaticamente no sistema.

Visto isso, observa-se que as empresas, de certa forma, já conhecem os seus problemas, porém não são precisas em identificar as relações de impacto e tampouco cientes das variáveis que melhor alavancam o sistema. Isso faz sentido, principalmente, porque nem sempre as causas raízes são as alavancas principais. Quando isso acontece, é porque o problema maior está na natureza do sistema ou do produto ou em um Fato da Vida. Nessa situação, a solução é subir na hierarquia das consequências, na tentativa de pelo menos amenizar esses problemas.

7 CONCLUSÃO

O modelo de diagnóstico proposto apresentou resultado satisfatório. As avaliações finais reportadas aos estudos comprovaram que o diagnóstico revelado pelo novo artefato fez uma leitura precisa dos problemas vivenciados por cada uma das empresas participantes desta pesquisa. Com isso, os objetivos específicos e gerais foram alcançados, e o problema de pesquisa foi solucionado na íntegra.

Para tanto, o processo de Revisão Sistemática de Literatura mostrou-se imprescindível para identificar as variáveis para construção do diagrama de relações, que posteriormente foram selecionados para construir o modelo. Mais do que isso, a RSL foi crucial para reconhecer os problemas e as soluções já mapeados pela literatura. Isso porque possibilitou encontrar uma lacuna que pudesse contribuir na prática, além de deixar marcas na teoria. Nesse processo, visto que as publicações do ETO ainda são muito recentes (um dos estudos precursores data de 1991), não se pode perder tempo recriando soluções já existentes ou resolvendo problemas já elucidados. Ainda há muito caminho a trilhar perante as delimitações desse tema.

Contudo, os objetivos só foram alcançados devido à sequência metodológica sugerida pela *Design Science Research*. A metodologia utilizada fez toda a diferença na condução desta pesquisa, do processo básico de levantamento e catalogação das publicações ao processo de estruturação e dedução lógica do modelo de diagnóstico. Tal metodologia fez com que as etapas de produção deste trabalho fossem tratadas com o rigor exigido pela academia.

Nesse contexto, a participação dos especialistas para validação da ARA e o interesse dos gestores em participar desse estudo comprovam o quão relevante pode ser esse novo artefato, tanto no ambiente de pesquisa quanto no organizacional. Com o auxílio dos especialistas, a ARA foi avaliada e validada, com variáveis que, a partir de então, podem ser consideradas pertinentes ao ETO.

Já a participação das empresas comprovou, a partir dos diferentes resultados, que o modelo realmente funciona. O grau de relevância do artefato foi definido mediante retorno do diagnóstico às empresas. Segundo os participantes, o diagnóstico apresentado mostrou-se fidedigno à realidade de cada empresa, com algumas observações.

Diante disso, pode-se dizer que o modelo de diagnóstico atendeu às expectativas dos gestores e da própria pesquisa. Além de revelar na classificação dos resultados os efeitos indesejáveis com maior potencial de impacto, foi capaz de mapear a realidade das empresas, diagnosticando os motivos pelos quais elas apresentam esses problemas. Sendo assim, ao facilitar a compreensão dos motivos pelos quais os problemas acontecem e elencar os efeitos

indesejáveis com maior potencial de alavancagem para solução desses problemas, o modelo proposto pode ser considerado como validado para futuras aplicações práticas e como referência para futuras pesquisas que envolvam a indústria de bens de capital inserida em sistemas produtivos do tipo ETO.

7.1 ANÁLISE DO MODELO DESENVOLVIDO

O modelo de diagnóstico apresenta algumas vantagens, dentre elas avaliações que podem ser feitas informalmente e subjetivamente sobre o mesmo assunto nas organizações. Ou, ainda, uma avaliação que pode ser feita levantando pontuações dos efeitos indesejáveis por percepção, sem levar em consideração o potencial de impacto presente em cada uma dessas variáveis.

Isso é importante porque, ao avaliar os problemas, não é possível perceber que alguns efeitos indesejáveis são apenas extensão de outros e que muitos efeitos podem partir de um mesmo princípio. Isso fica claro quando se observa o diagrama geral, disponível em anexo, em que se pode visualizar que quase todos os problemas do ETO ocorrem porque a demanda é instável e os produtos são altamente customizados.

Dito isso, é notório que o modelo proposto não é baseado apenas em percepções e subjetividades frente às alternativas classificadas. Isso se deve ao fato de a análise final levar em consideração as relações existentes entre os EIs de maneira integrada. Quando os resultados são expostos, um conjunto de análise pode ser trabalhado triangulando-se o resultado classificatório, as particularidades de cada variável, a relevância e a frequência de cada problema, a ponderação dos critérios, além do contexto social e econômico em que as organizações se encontram.

Nesse sentido, não é indicada uma aplicação do modelo via questionário fechado, com viés quantitativo, em que as respostas, mesmo que representativas, poderiam ser analisadas sob uma ótica equivocada. A menos que o objetivo seja descobrir algum padrão de comportamento, em tese, isso não deveria ser feito, porque o modelo de diagnóstico proposto mostrou-se útil para auxiliar na compreensão holística dos problemas e para balizar os gestores para os pontos de alavancagem do sistema. Entretanto, para que isso realmente ocorra, é necessário conhecer a cultura organizacional, é preciso sentir a organização.

Sendo assim, o modelo de diagnóstico mostra-se satisfatório, na medida em que proporciona uma visão mais clara em relação à integração dos problemas das organizações de

bens de capital do ETO. Por meio do modelo, é possível identificar os efeitos indesejáveis mais impactantes e diferenciá-los daqueles que se encontram no topo das consequências. Essa percepção é necessária visto que as melhores soluções são sempre as mais próximas das causas raízes do sistema.

Por fim, o modelo de diagnóstico mostra-se dinâmico, pois variáveis podem ser repensadas e coeficientes reformulados. Tudo isso sem perder as propriedades do método e da lógica de construção do modelo em si.

7.2 APLICABILIDADE E LIMITAÇÕES DO MODELO

O modelo de diagnóstico foi construído utilizando apenas três planilhas: Dados de entrada, Vetores de prioridade, e Classificação das alternativas. Assim, o modelo é de fácil configuração e estruturação, além de utilizar planilhas do Excel, de fácil acesso nas organizações. Uma vez estruturado o modelo, com as fórmulas postas, só é necessário entrar com os dados de pontuação do formulário e colher os resultados.

Diferente do método tradicional AHP, que tende a ser confuso devido ao excesso de informações e planilhas necessárias para funcionamento do método (sugere-se a utilização do *software* Expert Choice), a derivação do método de classificação é simples de organizar em planilhas. Além disso, o número de variáveis pode ser amplamente maior, e o número de comparações pode ser reduzido. Em relação ao método AHP, na prática, é comum os gestores decidirem sobre as variáveis definindo o quanto uma variável é mais importante do que a outra. Visto que já é difícil definir, em uma escala de 10 pontos, o quão relevante é uma variável, o fato de decidir par a par uma gama de variáveis torna confuso e pouco amigável o processo de coleta de dados.

Outra facilidade do modelo encontra-se na possibilidade de automação dos cálculos e utilização de funções bastante conhecidas das planilhas do Excel. Além da facilidade de organizar as células de cálculo, é possível utilizar as formatações condicionais para facilitar o processo de leitura. A automação principalmente da etapa de conversão dos coeficientes para vetores de prioridade é a maior vantagem da maneira como foi construído o modelo.

Contudo, o modelo de diagnóstico também apresentou algumas limitações. Embora os coeficientes tenham amenizado o problema da subjetividade do modelo, os resultados ainda possuem um peso considerável de subjetividade. Outra limitação diz respeito ao fato de a escolha dos efeitos indesejáveis não levar em consideração dados reais de fábrica. Informações

financeiras não são atreladas às variáveis, e tampouco é realizado um estudo em relação às esperas. Embora as variáveis possuam oscilações, visto que em alguns casos um mesmo problema pode ser mais ou menos grave, avaliações estatísticas poderiam interceder para resolver esse tipo de situação. Nesse caso, talvez, coeficientes mais realistas poderiam ser adicionados ao modelo.

O fato de se restringir o modelo de diagnóstico a dois critérios competitivos também não deixa de ser uma limitação do modelo. Problemas que envolvem critérios de qualidade, flexibilidade e inovação não participam do modelo. Logo, é importante destacar que a definição do escopo de projeto pode ser um diferencial no momento de formalizar um contrato. Entretanto, pouco se discute sobre esse assunto nas publicações do ETO. Essa realidade foi observada quando no processo de coleta de dados, no tocante à revisão sistemática de literatura, apenas dois fatores competitivos se destacaram, a saber, preços e prazos de entrega. Contudo, na realidade do ETO, mais do que em outros sistemas, o escopo de um projeto pode, em alguns casos, ser o maior diferencial na escolha do cliente.

Por último, os resultados correm o risco de não serem particulares do ETO. Uma vez que as empresas de bens de capital do ETO costumam produzir em suas linhas produtos do tipo MTO, em paralelo, não é possível afirmar que as respostas dos três casos estudados resultaram de informações reservadas aos projetos especiais do ETO. Embora no início da entrevista tenha ficado claro que as afirmações eram relativas aos produtos específicos do ETO, não foi possível controlar esse aspecto no momento de pontuação, uma vez que é natural que os recursos sejam compartilhados.

7.3 CONTRIBUIÇÕES NA ÁREA

Em princípio, qualquer ambiente em que exista um problema poderia ser mapeado com a utilização de um diagrama de relações. A ARA mostrou-se uma solução interessante para melhor compreensão das variáveis que compõem um problema. A utilização do diagrama para selecionar as variáveis, categorizá-las e, por fim, quantificá-las, pode auxiliar outros trabalhos a produzirem soluções que até então não poderiam ser levadas em consideração.

A solução de construir coeficientes a partir da ARA, além de diminuir a subjetividade das soluções por meio de métodos de decisão multicritérios, facilitou o processo de modelagem e o levantamento de dados, eliminando muitas comparações de pares tradicionalmente utilizadas. Uma vez que o processo de pontuação é simplificado, melhorias ocorrem no próprio

levantamento dos dados. O problema é que, à medida que as questões vão sendo apresentadas, o método vai se tornando cansativo. Nesse sentido, a concentração vai diminuindo e o risco de ter variáveis não precisas torna-se alto.

Se por um lado os coeficientes potencializaram a escolha das variáveis mais próximas das causas raízes, por outro diminuíram as chances de que variáveis hierarquicamente com muitas relações de causas fossem selecionadas. Além disso, os coeficientes podem ser considerados de diversas maneiras. Questões como custos e prazos podem ser calculadas em valores reais e ponderadas para construção dos coeficientes, sem contar que o cálculo dos coeficientes dos vetores de prioridade ameniza o problema de tendência infinita. O fato de os valores crescerem em uma curva de potenciação faz com que os valores mais distantes dos limites se aproximem uns dos outros e que os valores próximos aos valores limites se distanciem. Essa ponderação é importante, uma vez que imita a realidade. Quanto mais próximo do limite, mais difícil é fazer melhorias consideráveis.

Fora isso, o diagrama em si é um mapa que permite a compreensão das empresas de bens de capital do tipo ETO. Tal diagrama pode ser melhorado, adaptado, mas, de qualquer maneira, não é necessário partir do zero. A leitura já foi feita e os problemas já foram mapeados, o que pode auxiliar muitas pesquisas sobre o ETO.

Em outro contexto, as empresas tem um ganho quando passam a compreender melhor os seus problemas. Nesse sentido, o modelo de diagnóstico proposto vem contribuir também na prática a partir de diagnósticos acompanhados de variáveis causadoras dos problemas. Acredita-se que com o método seja possível gerar ciclos de melhoria contínua nas empresas. É possível estabelecer um conjunto de rodadas, em que os problemas são resolvidos e novas análises são feitas para classificação de novas variáveis.

7.4 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O modelo de diagnóstico proposto deixa como sugestões para publicações futuras a possibilidade de variações em termos de aplicação, configuração, conteúdo, objetivos e métodos. As variações quanto à aplicação do método dizem respeito à replicação do método em empresas diferentes de bens de capital não seriado do ETO. O modelo ainda pode ser replicado em empresas de portes diferentes. Observa-se que, nesse caso, não seria necessário alterar o modelo, apenas aplicá-lo.

Variações poderiam ser feitas em relação às configurações do modelo, como estudo em profundidade visando a complementar o diagrama desenvolvido, adição de outros fatores ou componentes, avaliações reais de tempos relativos a esperas e desdobramentos financeiros para compor a formulação dos coeficientes ou trabalho de revisão das relações. Quanto ao conteúdo, modelos de diagnósticos poderiam ser desenvolvidos para sistemas produtivos de outras modalidades, tais como Make-To-Stock ou Assembly-To-Order. Também poderiam ser desenvolvidos outros modelos para os efeitos indesejáveis no setor de serviços, como hospitais, restaurantes e comércio em geral. Além disso, haveria possibilidade de manter o ambiente ETO e adaptar o modelo a outro segmento industrial. Nesse caso, a proposta sofreria alterações de conteúdo. Para isso, seria necessário desenvolver um novo diagrama de relações e estudar novas variáveis.

Quanto aos objetivos, a proposta encontra-se nas alterações dos critérios competitivos. Critérios poderiam ser adicionados ou até mesmo alterados. Um novo modelo com adição dos critérios de qualidade e flexibilidade poderia ser criado. Nos serviços, os critérios poderiam ser marcados pela qualidade do atendimento, do ambiente, do produto, etc. No comércio, os critérios poderiam ser acessibilidade, pronta entrega, estacionamento, entre outros.

Para encerrar, o mesmo trabalho poderia ser feito utilizando os demais métodos existentes. Os métodos FlowSort, UTADIS e ELECTRE-Tri podem trazer vantagens ao processo de classificação. Talvez os resultados possam ser mais exatos, mas, para afirmar isso, seria necessário replicar o problema utilizando métodos de classificação diferentes. Ou ainda fosse preciso uma aplicação com viés quantitativo em busca de novos padrões na indústria do ETO.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. C. **Análise de Causa Raiz**: levantamento dos métodos e exemplificação. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2014.
- ALEM, A. C.; PESSOA, R. M. O setor de bens de capital e o desenvolvimento econômico: quais são os desafios? **BNDS Setorial**, v. n.22, p. 71-88, 2005.
- ALFIERI, A.; TOLIO, T.; URGO, M. A two-stage stochastic programming project scheduling approach to production planning. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 62, n. 1-4, p. 279-290, 2012.
- ALP, O.; TAN, T. Tactical capacity management under capacity flexibility. **IIIE Transactions**, v. 40, n. 3, p. 221-237, 2008.
- ALVAREZ, R. DOS R. **Análise comparativa de metodologias para análise, identificação e solução de problemas**. Mestrado em Engenharia de Produção, Porto Alegre: UFRGS, 1996.
- ANTUNES Jr. J. A. V. et al. **Critical issues about the theory of constraints thinking process – a theoretical and practical approach**. In: Production and operation management society - POMS, 15, 2004, Cancun.
- AMARO, G.; HENDRY, L.; KINGSMAN, B. Competitive advantage, customisation and a new taxonomy for non make- to- stock companies. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 19, n. 4, p. 349-371, 1999.
- AMRANI, A. et al. Towards a collaborative approach to sustain engineer-to-order manufacturing. **Proceedings of 16th International Conference On Concurrent Entreprising**, n. September, 2010.
- ANDERY, M. A. . N. M. **Para Compreender a Ciência: Uma Perspectiva Histórica**. Rio de Janeiro: EDUC, 2004.
- ARAÚJO, B. A Indústria de Bens de Capital no Brasil: Diagnóstico e proposta elaboradas pelos metalúrgicos da CUT. **DIEESE CUT**, p. 30, 2009a.
- ARAÚJO, B. **Estudos Setoriais de Inovação**. 2009b. Disponível em: <<http://www.abdi.com.br/Estudo/Indústria de Bens de Capital.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2016.
- ASSAF, S. A.; AL-HEJII, S. Causes of delay in construction. **Journal of Project Management**, v. 24, n. 4, p. 349-357, 2006.
- ATKINSON, L. C. Improving working lives: flexible working and the role of employee control, **Employee Relations**, v.28 n.4, pp.374-386, 2006.
- BACKHOUSE, C. J.; BURNS, N. D.; BROOKES, N. J. The implementation of a control system for a product introduction process. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B (Journal of Engineering Manufacture)**, v. 214, n. B8, p. 645-656, 2000.
- BAYAZIT, O.; KARPAK, B.; YAGCI, A. A purchasing decision: Selecting a supplier for a

construction company. **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, v. 15, n. 2, p. 217-231, maio 2006.

BERKEL, O. V. **Production Planning and Control method in an ETO environment. Case study at Bosch Rexroth**. Thesis of Administration, Tilburg: Faculty of Economics and Business Administration, 2010.

BERTRAND, J. W. M.; MUNTSLAG, D. R. Production control in engineer-to-order firms. **International Journal of Production Economics**, v. 30-31, p. 322, 1993.

BINKS, M.; ENNEW, C.; REED, G. **Small businesses and their banks** Forum of Private Business. **Anais...**Cheshire: 1990.

BLEVINS, P. **Project-oriented manufacturing: how to resolve the critical business issues that impact organizational competitiveness**. Cincinnati: Encompix, 2004.

BOAVENTURA, E. M. **Metodologia da pesquisa**: Monografia Dissertação Tese. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

BONEV, M. **Enabling Mass Customization in Engineer-To-Order Industries**. [s.l.] Technical University of Denmark, 2015.

BOSSSEN, J. et al. An Engineer-To-Order Mass Customization Development Framework. p. 116-123, 2014.

BRUNOE, T. D.; NIELSEN, P. A case of cost estimation in an engineer-to-order company moving towards mass customisation. v. 4, p. 239-254, 2012.

CARON, F.; FIORE, A. “Engineer to order” companies: how to integrate manufacturing and innovative processes. **International Journal of Project Management**, v. 13, n. 5, p. 313-319, 1995.

CARVALHO, A. N.; OLIVEIRA, F.; SCAVARDA, L. F. Tactical capacity planning in a real-world ETO industry case: An action research. **International Journal of Production Economics**, v. 167, p. 187-203, 2015.

CÉSAR, P. et al. Universidade Estadual Paulista Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. p. 1-97, 2008.

CHEN, C. Concurrent Engineer-To-Order operation in the Manufacturing Engineering Contracting industries. v. 1, p. 37-58, 2006.

CHRISTOGIANNIS, A. **Improving Sales and Operations Planning in an Engineer-to-Order Environment**. [s.l.] MIT Sloan School, 2014.

CNI. **Competitividade Brasil 2014**: comparação com países selecionados. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_24/2013/12/12/393/20131212155135254390o.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2016.

COGAN, S. **Contabilidade gerencial**: uma abordagem da teoria das restrições. São Paulo: Saraiva, 2007.

COX III, J. F.; SPENCER, M. S. **Manual da Teoria das Restrições**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

CUTLER, T. R. Special Orders: engineer-to order-challenges for the industrial engineer. **Industrial Engineer**, p. 36-38, 2009.

DAVENPORT, T. H. Putting the enterprise into the enterprise system. **Harvard business review**, v. 76, n. 4, p. 121-131, 1998.

DE PAOLI, F. M.; ANDRADE, V. F. DE S.; LUCATO, W. C. O conceito de Lean Office aplicado a um ambiente industrial com produção ETO – Engineer-to-Order. **Exacta**, v. 12, n. 1, 2014.

DENTON, P. D. Business Strategy Driven IT Systems For Engineer-To-Order and Make-To-Order Manufacturing Enterprises By. **Architecture**, 2002.

DEPEC. **Bens de capital**. 2016. Disponível em:
<https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_bens_de_capital.pdf>. Acesso em: 26 set. 2016.

DIÁRIO DA MANHÃ. **Setor de bens de capital perde força**. 2015. Disponível em:
<<http://www.dm.com.br/economia/2015/07/setor-de-bens-de-capital-perde-forca.html>>. Acesso em: 25 set. 2016.

DO, N.; CHOI, I. J.; JANG, M. K. A Structure-Oriented Product Data Representation of Engineering Changes for Supporting Integrity Constraints. p. 564-570, 2002.

DRESCH, A. **Design Science e Design Science Research como Artefatos Metodológicos para Engenharia de Produção**. São Leopoldo: Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS, 2013.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES, J. A. V. **Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

DUCHI, A. et al. Motivations and Challenges for Engineer-to-Order Companies Moving toward Mass Customization. p. 320-327, 2014.

DURÃO, M. **Brasil deve importar 24,6% menos bens de capital em 2015**. Disponível em:
<<http://exame.abril.com.br/economia/noticias/brasil>>. Acesso em: 26 set. 2016.

EARL, C.; SONG, D. P.; HICKS, C. Planning Complex Engineer-To-Order Products. **Recent Advances in Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering**, p. 463-472, 2003.

ELFVING, J. A. **Exploration of Opportunities to Reduce Lead Times for Engineered-to-Order Products**. [s.l.] University of California, Berkeley, 2003.

ELFVING, J. A.; TOMMELEIN, I. D.; BALLARD, G. Consequences of competitive bidding in project-based production. **Journal of Purchasing and Supply Management**, v. 11, n. 4, p. 173-181, 2005.

ELGH, F. Decision support in the quotation process of engineered-to-order products.

Advanced Engineering Informatics, v. 26, n. 1, p. 66-79, 2012.

ELGH, F.; POORKIANY, M. Supporting Traceability of Design Rationale in an Automated Engineer-To- Order Business Model. p. 1425-1434, 2012.

ELLRAM, L. M. THE USE OF THE CASE STUDY METHOD MISCONCEPTIONS RELATED TO THE USE. **Journal of Business Logistics**, v. 17, n. 2, p. 93-138, 1996.

ERKOC, M.; WU, S. D.; GURNANI, H. Delivery-Date and Capacity Management in a Decentralized Internal Market. **Naval Research Logistics**, v. 55, n. 2008, p. 390-405, 2008.

EXAME. **Faturamento da indústria de máquinas cai 17,4% em agosto de 2016**. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/economia/faturamento-da-industria-de-maquinas-cai-17-4-em-agosto/2016>> 28 setembro 2016. Acesso em: 28 set. 2016.

FERNANDES, F. C. F.; GODINHO, F. M. **Planejamento e Controle da Produção: dos fundamentos ao essencial**. São Paulo: Atlas, 2010.

FISCHER, C.; GREGOR, S. **Forms of Reasoning in the Design Science Research Process** DESRIST 2011. **Anais...Milwaukee**: Springer, 2011

FORSMAN, S. et al. Need for innovation in supplying engineer-to-order joinery products to construction: A case study in Sweden. **Construction Innovation: Information, Process, Management**, v. 12, n. 4, p. 464-491, 2012.

FOX, S. Potential of virtual-social-physical convergence for project manufacturing. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 25, n. 8, p. 1209-1223, 2014.

FREITAS, G. L. S. F. Contribuições do Software ATLAS.ti para análise de conteúdo dos saberes docentes. **Reunição Científica Regional da ANPED**, p. 1-18, 2016.

GADEMANN, N. .; SCHUTTEN, M. . B. Linear-programming-based heuristics for project capacity planning. **IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)**, v. 37, n. 2, p. 153-165, 2005.

GALBRAITH, J. R. **Designing Complex Organizations**. Addison Wesley: Reading, 1973.

GELDERS, F. L. Production Planning & Control : The Management of Production control in an engineer-to-order environment. **Production Planning & Control**, v. 2, n. 3, p. 280-285, 1991.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2008.

GOLDMEYER, Dieter Brackmann. **Construção de uma estrutura de governança para o uso continuado de modelos de simulação computacional por intermédio do processo de pensamento da teoria das restrições**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Unisinos, São Leopoldo, 2012.

GOLDRATT, E. M. **It's Not Luck**. Great Barrington: North River Press, 1994.

GOSLING, J. et al. Principles for the design and operation of engineer-to-order supply chains in the construction sector. **Production Planning & Control**, n. February 2014, p. 1-16, 2014.

GOSLING, J. . et al. **Defining the lean and agile characteristics of engineer-to-order construction projects**. [s.l: s.n.]. v. 1, 2007.

GOSLING, J.; NAIM, M. M. Engineer-to-order supply chain management: A literature review and research agenda. **International Journal of Production Economics**, v. 122, n. 2, p. 741-754, 2009.

GOSLING, J.; NAIM, M.; TOWILL, D. Identifying and Categorizing the Sources of Uncertainty in Construction Supply Chains. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 139, n. 1, p. 102-110, 2013.

GRABENSTETTER, D. H.; USHER, J. M. a Proposed Framework. v. 51, n. 19, p. 5728-5740, 2013.

GRABENSTETTER, D. H.; USHER, J. M. Developing due dates in an engineer-to-order engineering environment. **International Journal of production Research**, n. August, p. 37-41, 2014.

GRABENSTETTER, D. H.; USHER, J. M. Sequencing jobs in an engineer-to-order engineering environment. **Production & Manufacturing Research**, v. 3, n. 1, p. 201-217, 22 jan. 2015.

GUJANSKY, G.; BELDERRAIN, M.C.N. Aplicação do método AHPSort para aquisição de um automóvel. **Revista Gestão em Engenharia**, v.1, n. 1, p. 1-17, jul. 2014.

GUSTAFSSON, E. Improving Process Quality and Efficiency in an Engineer-to-order Company. 2012.

HENDRY, L. C. Applying world class manufacturing to make- to- order companies: problems and solutions. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 18, n. 11, p. 1086-1100, nov. 1998.

HENDRY, L. C. Product customisation: an empirical study of competitive advantage and repeat business. **International Journal of Production Research**, v. 48, n. 13, p. 3845-3865, 2010.

HENDRY, L. C.; KINGSMAN, B. G. Production planning systems and their applicability to make-to-order companies. **European Journal of Operational Research**, v. 40, n. 1, p. 1-15, mai. 1989.

HEVNER, A. R. et al. Design Science in information systems research. **MIS Quarterly**, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004.

HICKS, C.; BRAIDEN, P. M. Computer-aided production management issues in the engineer-to-order production of complex capital goods explored using a simulation approach. **International Journal of Production Research**, n. February 2013, p. 37-41, 2000.

HICKS, C.; MCGOVERN, T.; EARL, C. F. Supply chain management: A strategic issue in engineer to order manufacturing. **International Journal of Production Economics**, v. 65, n. 2, p. 179-190, 2000.

HICKS, C.; MCGOVERN, T.; EARL, C. F. A Typology of UK Engineer-to-Order

Companies. **International Journal of Logistics Research and Applications**, v. 4, n. 1, p. 43-56, 4 abr. 2001.

HICKS, C.; SONG, D. P.; EARL, C. F. Dynamic scheduling for complex engineer-to-order products. **International Journal of Production Research**, v. 45, n. 15, p. 3477-3503, 2007.

HIETALA, J.; PÖTRY, J.; SALMINEN, V. Standard based ICT-service development in Standard based ICT-service development in discrete make-to-order and engineer-to-order industry. **International conference on Concurrent Enterprising**, v. 7, n. Junho, p. 4-6, 2007.

HUSEJNAGIĆ, D.; SLUGA, A. A conceptual framework for a ubiquitous autonomous work system in the Engineer-To-Order environment. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 78, n. 9-12, p. 1971-1988, 21 jun. 2015.

HVAM, L. et al. Reengineering of the quotation process: application of knowledge based systems. **Business Process Management Journal**, v. 10, n. 2, p. 200-213, 2004.

HVAM, L.; PAPE, S.; NIELSEN, M. K. Improving the quotation process with product configuration. **Computers in Industry**, v. 57, n. 7, p. 607-621, 2006.

IBGE. **Índice de base fixa mensal da produção industrial**. Disponível em: <<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=IND10202&t=indice-base-fixa-mensal-producao-industrial>>. Acesso em: 23 set. 2016.

ISHIZAKA, A.; NEMERY, P. Multi-criteria decision analysis: methods and software. Hardcover: Wiley, 2013.

ISHIZAKA, A.; PEARMAN, C.; NEMERY, P. AHPSort: an AHP-based method for sorting problems. **International Journal of Production Research**, London, 50, p. 4767-4784, 2012.

JANSSON, G.; JOHNSON, H.; ENGSTRÖM, D. Platform use in systems building. **Construction Management and Economics**, v. 32, n. 1-2, p. 70-82, 2014.

JOHNSON, H. Production strategies for pre-engineering in house-building: exploring product development platforms. **Construction Management and Economics**, v. 31, n. 9, p. 941-958, 2013.

KIM, S.; MABIN, V. J.; DAVIES, J. The theory of constraints thinking processes: retrospect and prospect. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 28, n. 2, p. 155-184, 2008.

KINGSMAN, B. et al. Responding to customer enquiries in make-to-order companies Problems and solutions. **International Journal of Production Economics**, v. 46-47, p. 219-231, 1996.

KŁOS, S.; TREBIINA, P. Using the AHP Method to Select an ERP System for an SME Manufacturing Company. **Management and Production Engineering Review**, v. 5, n. 3, p. 14-22, 2014.

KONIJNENDIJK, P. A. Coordinating marketing and manufacturing in ET0 companies. **International journal of production economics**, v. 37, p. 19-26, 1994.

KONIJNENDIJK, P. A. Dependence and conflict between production and sales. **Industrial Marketing Management**, v. 22, p. 161-167, 1993.

KRISTIANTO, Y.; HELO, P.; JIAO, R. J. A system level product configurator for engineer-to-order supply chains. **Computers in Industry**, v. 72, p. 82-91, set. 2015.

KUMAR, S.; WELLBROCK, J. Improved new product development through enhanced design architecture for engineer-to-order companies. **International Journal of Production Research**, v. 47, n. 15, p. 4235-4254, 2009.

LACERDA, D. P. et al. Design Science Research: Método de Pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 4, p. 741-761, 2013.

LACERDA, D. P., RODRIGUES, L. H., CORCINI NETO, S. L. H. Processo de pensamento da teoria das restrições: uma abordagem para compreensão, aprendizagem e ação sobre problemas complexos. **Perspectiva em Gestão & Conhecimento**, João Pessoa, v. 1, n. 2, p. 59-76, Jul/Dez. 2011. Disponível em: <<http://periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/pgc/article/view/9571>>. Acesso em: 3 abril 2016.

LI, L. **Capacity Planning Methodology for concurrent Engineer-to-order operations**. [s.l.: s.n.] 2006.

LINGITZ, I. et al. Modelling of flexibility costs in a decision support system for midterm capacity planning. **Procedia CIRP**, v. 7, p. 539-544, 2013.

LITTLE, D. et al. Integrated planning and scheduling in the engineer-to-order sector. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 13, n. 6, p. 545-554, 2000.

LOCH, C.; MIHN, J.; HUCHZERMEIER, A. Concurrent engineering and design oscillations in complex engineering projects. **Concurrent Engineering: Research and Applications**, v. 11, n. 3, p. 187-199, 2003.

LU, Y.; SONG, J.-S.; ZHAO, Y. No-Holdback Allocation Rules for Continuous-Time Assemble-to-Order Systems. **Operations Research**, v. 58, n. 3, p. 691-705, jun. 2010.

MABIN, V. J.; BALDERSTONE, S. J. **The World of the Theory of Constraints: A Review of the International Literature**. Boca Raton: APICS, 2000.

MAGACHO, G. R. **A Indústria de Bens de Capital no Brasil: Restrição Externa e Dependência Tecnológica no Ciclo de Crescimento Recente**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2012.

MANSILHA, R. B. et al. **Primeiros passos para planejar, programar e controlar a produção**. São Leopoldo: UNISINOS, 2013.

MANSON, N. Is operations research really research? **ORiON**, v. 22, n. 2, p. 155-180, 1 dez. 2006.

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. Decision Support Systems. **Decision Support Systems**, v. 15, p. 251-266, 1995.

MARCONI, M.; LAKATOS, E. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2010.

MATT, D. T. Adaptation of the value stream mapping approach to the design of lean engineer-to-order production systems. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 25, n. 3, p. 334-350, abr. 2014.

MATT, D. T.; DALLASEGA, P.; RAUCH, E. Synchronization of the manufacturing process and on-site installation in ETO companies. **Procedia CIRP**, v. 17, p. 457-462, 2014.

MATT, D. T.; DALLASEGA, P.; RAUCH, E. On-site Oriented Capacity Regulation for Fabrication Shops in Engineer-to-Order Companies (ETO). **Procedia CIRP**, v. 33, p. 197-202, 2015.

MCGOVERN, T.; HICKS, C.; EARL, C. Modelling Supply Chain Management Processes in Engineer-to-Order Companies. **International Journal of Logistics Research and Applications**, v. 2, n. 2, p. 147-159, 1999.

MDIC. **Setor bens de capital**. 2015. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/sistemas_web/renai/public/arquivo/arq1273166103.pdf>. Acesso em: 15 out. 2016.

MEGLIORINI, E. **Análise Crítica dos Conceitos de Mensuração Utilizados por Empresas Brasileiras Produtoras de Bens de Capital sob Encomenda**. São Paulo: [s.n.], 2003.

MELLO, M. H.; STRANDHAGEN, J. O.; ALFNES, E. The role of coordination in avoiding project delays in an engineer-to-order supply chain. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 26, n. 3, p. 429-454, 7 abr. 2015a.

MELLO, M. H.; STRANDHAGEN, J. O.; ALFNES, E. Analyzing the factors affecting coordination in engineer-to-order supply chain. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 35, n. 7, p. 1005-1031, 6 jul. 2015b.

MEREDITH, J.; SHAFER, S. **Administração da Produção para MBAs**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

MOLINA, A.; VELANDIA, M.; GALEANO, N. Virtual enterprise brokerage: a structure-driven strategy to achieve build to order supply chains. **International Journal of Production Research**, v. 45, n. October 2014, p. 3853-3880, 2007.

MORANDI, M. I. W. M.; CAMARGO, L. F. R. Revisão Sistemática de literatura. In: **Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015. p. 141-172.

MOURTZIS, D. et al. Knowledge Enriched Short-term Scheduling for Engineer-to-order Products. **Procedia CIRP**, v. 19, n. RoMaC, p. 160-167, 2014.

MUNTSLAG, D. R. Profit and risk evaluation in customer driven engineering and manufacturing. **International Journal of Production Economics**, v. 36, n. 1, p. 97-107, 1994.

NASSIF, A. Estrutura e Competitividade da Indústria de Bens de Capital Brasileira. **BNDES**,

v. 109, 2007.

NEW, C. C. **Managing the Manufacturing of Complex Products-Coordinating Multi-Component Assembly**. London: Business Book/Communica-Europa, 1977.

NI, Q.; YARLAGGADA, P. P. K.; LU, C. U. **Product structure modelling for the made-to-order environment** International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference. **Anais...** Long Beach: ASME, 2005.

NONÅS, S. L.; OLSEN, K. A. Optimal and heuristic solutions for a scheduling problem arising in a foundry. **Computers & Operations Research**, v. 32, n. 9, p. 2351-2382, 2005.

NORREN, E.; SMITH, D.; MACKE, J. T. **A teoria das restrições e suas implicações na contabilidade gerencial: um relatório independente**. São Paulo: Educator, 1996.

OLHAGER, J. Strategic positioning of the order penetration point. **International Journal of Production Economics**, v. 85, n. 3, p. 319-329, 2003.

OLSEN, K. A.; SÆTRE, P. A visual product constructor for engineer-to-order environments. **International Journal of Production Economics**, v. 56, n. 1, 1998.

PACAGNELLA JR., A. C. et al. Gestão de projetos de desenvolvimento de bens de capital em uma empresa com tipologia produtiva “engineering-to-order”. **P&D em Engenharia de Produção, Itajubá**, v. 9, n. 1, p. 35-47, 2011.

PANDIT, A.; ZHU, Y. An ontology-based approach to support decision-making for the design of ETO (Engineer-To-Order) products. **Automation in Construction**, v. 16, n. 6, p. 759-770, 2007.

PERO, M.; STÖSSLEI, M.; CIGOLINI, R. Linking product modularity to supply chain integration in the construction and shipbuilding industries. **International Journal of Production Economics**, n. 2009, p. 1-14, 2015.

PERSSON, G. Logistics Process Redesign: Some Useful Insights. **International Journal of Logistics Management**, v. 6, n. 1, p. 13-26, 22 maio 1995.

POWELL, D. et al. A New Set of Principles for Pursuing the Lean Ideal in Engineer-to-Order Manufacturers. **Procedia CIRP**, v. 17, p. 571-576, 2014.

RANI, D. K.; SAKTHIVEL, S. Analytical Hierarchy Process: Study on its Applicability on Web Based Environment. **International Journal of Software Engineering and Its Application**. V. 9, n. 4, p. 37-46, 2015.

RAHIM, A. R. A.; BAKSH, M. S. N. Case study method for new product development in engineer-to-order organizations. **Work Study**, v. 52, n. 1, p. 25-36, 2003a.

RAHIM, A. R. A.; BAKSH, M. S. N. The need for a new product development framework for engineer-to-order products. **European Journal of Innovation Management**, v. 6, n. 3, p. 182-196, 2003b.

REBOUÇAS, F. **Indústria de bens de capital**. 2014. Disponível em: <<http://agendapesquisa.com.br/industria-de-bens-de-capital/>>. Acesso em: 15 out. 2016.

REYES, P.; RAISINGHANI, M. S. Integrating information technologies and knowledge-based systems: a theoretical approach in action for enhancements in production and inventory control. **Knowledge and Process Management**, v. 9, n. 4, p. 256, 2002.

RODRIGUES, L. H. **A aplicação do processo de pensamento da teoria das restrições no ensino de conceito básicos de administração das operações**. In: ENANPAD, 28. Anais, Curitiba, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132011000200012>. Acesso em: 31 março 2016.

RODRIGUES, P. C. C.; OTÁVIO, O. J. DE. Engineering-To-Order Versus Make-To-Stock Strategy: an Analysis At Two Printing Companies. **Independent Journal of Management & Production**, v. 1, n. 1, p. 1-23, 2010.

SAHIN-SARIISIK, A. et al. A Structured Approach to Platform-Driven Product Planning. **Emj-Engineering Management Journal**, v. 26, n. 2, p. 10-23, 2014.

SAIA, R. **Proposta de classificação para a tipologia de produção Engineer to Order e definição das melhores práticas de manufatura em tais ambientes**. [s.l.] Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo (EESC-USP), 2013.

SANTOS, C. Máquinas e bens de capital. **Revista Conjuntura Econômica**, p. 44-52, 2016.

SAATY, T. 1980. **The analytic hierarchy process** New York: McGraw-Hill.

SAATY, T. **Método de Análise Hierárquica**, Makron, São Paulo, 1991.

SAATY, T. ; OZDEMIR, M. Why the magic number seven plus or minus two. **Mathematical and Computer Modelling**, 38 (3-4), 233-244, 2003.

SCHEINKOPF, L. **Thinking for a change: putting the TOC thinking process to use**. Boca Raton: St. Lucia Press, 1999.

SILVENTOINEN, A. et al. Challenges of information reuse in customer-oriented engineering networks. **International Journal of Information Management**, v. 34, n. 6, p. 720-732, dez. 2014.

SIMON, H. A. **The sciences of the artificial**. Cambridge: MIT Press, 1996.

SJØBAKK, B.; BONDARENKO, O.; KAMRAN, T. A Performance Measurement System to Support Materials Management in Engineer-to-Order Companies. v. 1039, p. 569-576, 2014.

SJØBAKK, B.; THOMASSEN, M. Implications of automation in engineer-to-order production: a case study. **Advances in Manufacturing**, v. 2, n. 2, p. 141-149, 2014.

SMETS, L. P. M.; VAN HOUTUM, G.-J.; LANGERAK, F. Design for availability: A holistic approach to create value for manufacturers and customers of capital goods. **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, v. 21, n. 4, p. 403-421, 2012.

SRIRAM, P. K.; ALFNES, E.; ARICA, E. A Concept for Project Manufacturing Planning and **Control for Engineer-to-Order Companies**. p. 699-706, 2013.

STEFANELLI, P. Modelo de Programação da Produção Nivelada para Produção Enxuta em

- Ambiente ETO com Alta Variedade de Produtos e Alta Variação de Tempos de Ciclo. 2010.
- STEVENSON, M.; HENDRY, L. C.; KINGSMAN, B. G. A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry. **International Journal of Production Research**, v. 43, n. 5, p. 869-898, 2005.
- TAYLOR, L.; NAYAK, S. Goldratt's Theory Applied to the Problems Associated with an Emergency Department at a Hospital. **Administrative Sciences**, v. 2, n. 4, p. 235-249, 2012.
- TORRES, M. S. et al. Os Benefícios Da Manufatura Sincronizada : Uma Aplicação Prática Em Uma Empresa Metal-Mecânica Do Setor De Autopeças. **Produttare**, n. 51, p. 1-27, 2003.
- TOWILL, D. R. Construction and the time compression paradigm. **Construction Management and Economics**, v. 21, n. May, p. 581-591, 2003.
- TREMBLAY, M. C.; HEVNER, A. R.; BERNDT, D. J. Focus groups for artifact reinement and evaluation in design research. **Communications of the association for information systems**, v. 26, p. 599-618, 2010.
- ULONSKA, S.; WELO, T. Product portfolio map: a visual tool for supporting product variant discovery and structuring. **Advances in Manufacturing**, v. 2, n. 2, p. 179-191, 2014.
- VAIDYANATHAN, K. Value of Visibility and Planning in an Engineer-To-Order Environment. **Senior Product Manager**, p. 14, 2003.
- VAN AKEN, J. E. Management Research Based on the Paradigm of the Design Sciences: The Quest for Field- Tested and Grounded Technological Rules. **Journal of Management Studies**, v. 41, n. 2, p. 219-246, 2004.
- VASCONCELOS, F. C.; CYRINO, Á. B. Vantagem competitiva: os modelos teóricos atuais e a convergência entre estratégia e teoria organizacional. **Revista de Administração de Empresas**, v. 40, n. 4, p. 20-37, 2000.
- VERMULM, R. A Indústria de Bens de Capital Seriadados. **CEPAL - Comissão Econômica para América Latina e o Caribe**, p. 48, 2003.
- VETSCHERA, R.; CHEN, Y.; HIPEL, K.; Marc Kilgour, D. Robustness and information levels in case-based multiple criteria sorting. **European Journal of Operational Research**, 202 (3), 841-852, 2010.
- VLACHOU, D. M. M. D. E. A mobile application for knowledge-enriched short-term scheduling of complex products. **Logistics Research**, 2016.
- VOTTO, R. G. **Produção Enxuta e Teoria das Restrições**: Proposta de um Método para Implantação Conjunta na Indústria de Bens de Capital Sob Encomenda. [s.l.] Universidade Federal de São Carlos, 2012.
- VOTTO, R. G.; FERNANDES, F. C. F. Produção enxuta e teoria das restrições: proposta de um método para implantação conjunta na Indústria de Bens de Capital sob Encomenda. **Gestão & Produção**, v. 21, n. 1, p. 45-63, 2014.
- VRABIČ, R.; HUSEJNAGIĆ, D.; BUTALA, P. Discovering autonomous structures within

complex networks of work systems. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 61, n. 1, p. 423-426, 2012.

WAHLERS, J. L.; COX, J. F. I. Competitive factors and performance measurement: Applying the theory of constraints to meet customer needs. **International Journal of Production Economics**, v. 37, p. 229-240, 1994.

WENG, J.; AKASAKA, S.; ONARI, H. Acquiring Orders using Requirement Specifications for Engineer-to-Order Production. **Journal of Japan Industrial Management Association**, v. 64, p. 620-627, 2014.

WILD, R. **Concepts of Operations management**. New York: Wiley, 1977.

WILLNER, O. et al. Globally distributed engineering processes: Making the distinction between engineer-To-order and make-To-order. **Procedia CIRP**, v. 17, p. 663-668, 2014.

WILLNER, O. et al. Exploring the archetypes of engineer-to-order: an empirical analysis. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 36, n. 3, p. 242-264, 2016.

WORTMANN, H. Comparison of information systems for engineer-to-order and make-to-stock situations. **Computers in Industry**, v. 26, n. 3, p. 261-271, 1995.

WORTMANN, J. C. Production management systems for one-of-a-kind products. **Computers in Industry**, v. 19, n. 1, p. 79-88, abr. 1992.

WORTMANN, J. C.; MUNTSLAG, D. R.; TIMMERMANS, P. J. M. **Customer driven manufacturing**. London: Chapman & Hall, 1997.

WULLINK, G.; HANS, E. W.; HARTEN, A. VAN. Robust Resource Loading for Engineer-To-Order manufacturing. p. 1-28, 2004.

YANG, L. Manufacturing Capability to Improve Project / engineer-to-order Manufacturing Performance. v. 630, p. 514-519, 2013a.

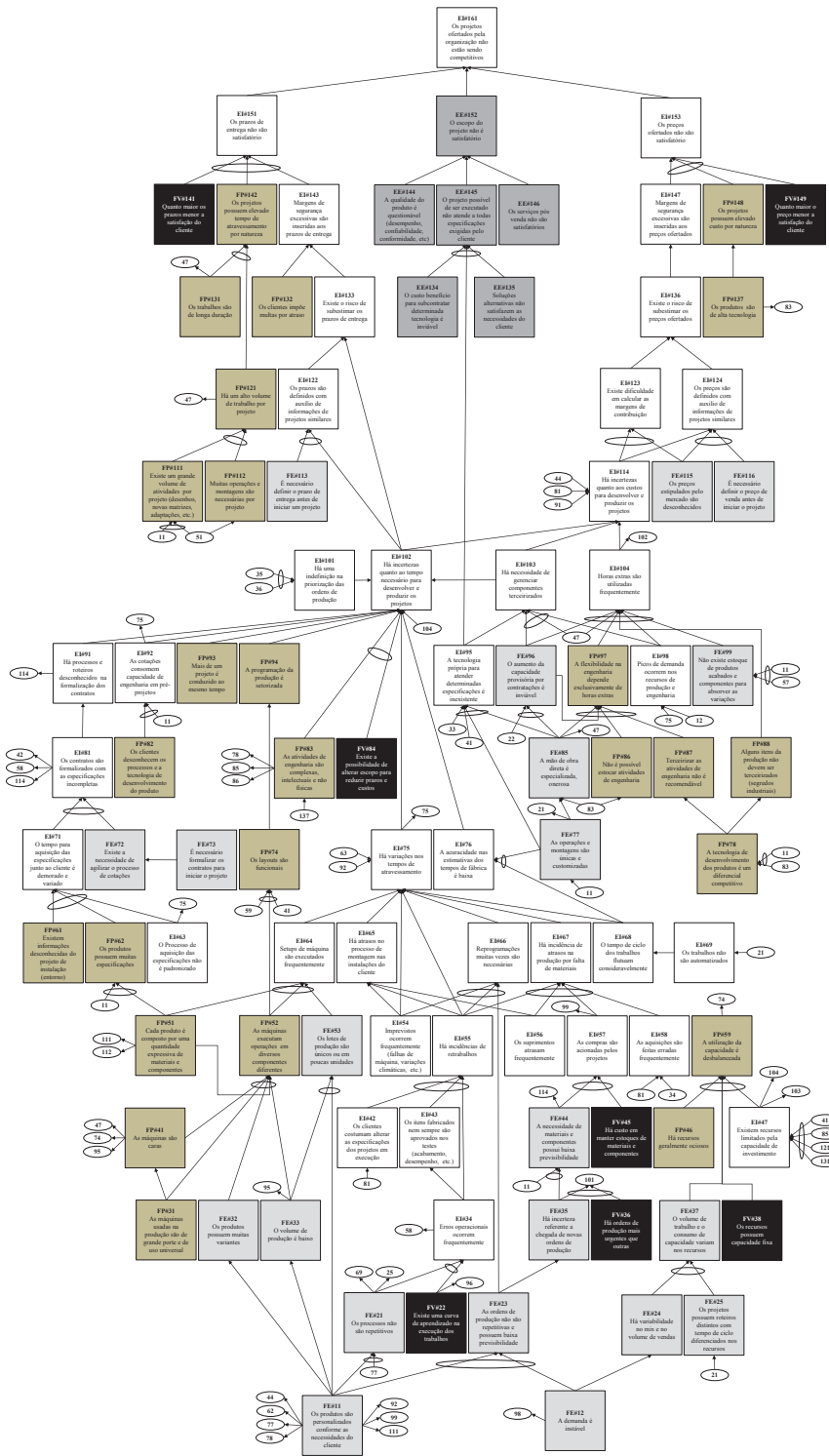
YANG, L.-R. Key practices, manufacturing capability and attainment of manufacturing goals: The perspective of project/engineer-to-order manufacturing. **International Journal of Project Management**, v. 31, n. 1, p. 109-125, 2013b.

ZOPOUNIDIS, C.; DOUMPOS, M. Multicriteria classification and sorting methods: A literature review. **European Journal of Operational Research**, 138 (2), 229-246, 2002.

ZORZINI, M.; CORTI, D.; POZZETTI, A. Due date (DD) quotation and capacity planning in make-to-order companies: Results from an empirical analysis. **International Journal of Production Economics**, v. 112, n. 2, p. 919-933, 2008.

ANEXO I

Relações causais dos Efeitos Indesejáveis do ETO na indústria de bens de capital

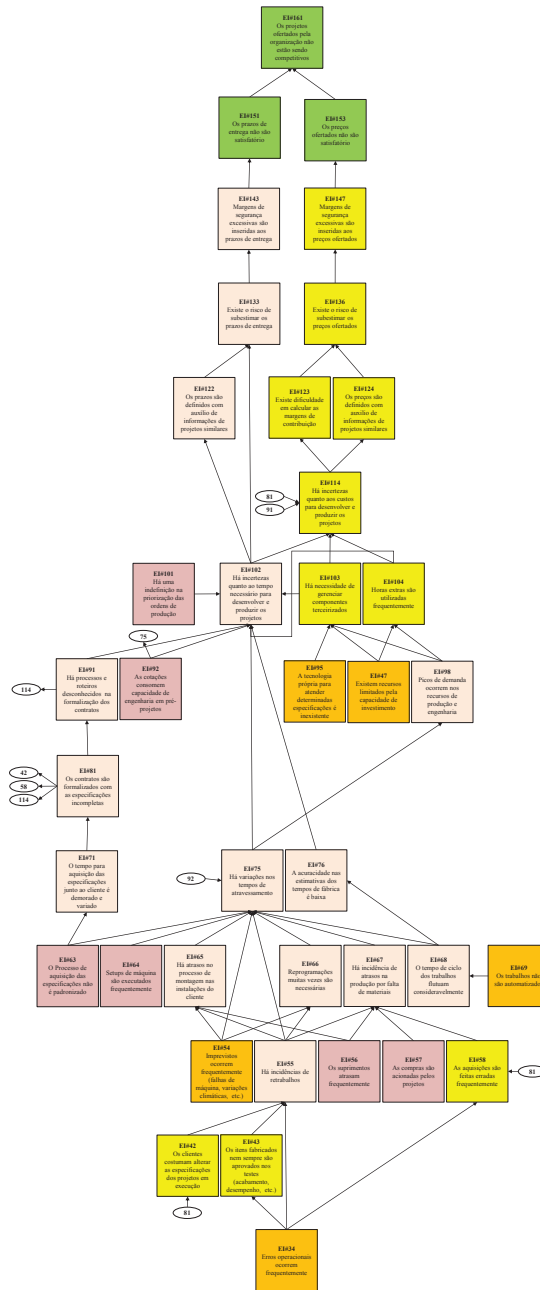


Glossário:

Projetos = Engenharia + produção (global)
 Engenharia = Etapa de desenvolvimento do produto
 Produção = Etapa de execução do produto
 Trabalho = Atividades + Montagem + Operações
 Atividade = relativo aos afazeres da Engenharia
 Operações = relativo aos afazeres da Produção junto aos maquinários
 Montagens = Agrupamento dos componentes necessários para confecção do produto
 Uso universal = máquinas que executam operações distintas (tornos, fresas, solda, etc.)
 Recursos = Mão de obra + Maquinário
 Mão de obra = relativo aos colaboradores da Engenharia + Produção (global)
 Maquinário = relativo aos equipamentos utilizados para produzir

ANEXO II

Relações causais dos EIs selecionados para o modelo de diagnóstico



ANEXO III
Formulário de coleta de dados

Organização: _____

Formação: _____

Cargo: _____

Tempo empresa: _____

Make-to-order: _____

Licitações: _____

% de projetos não vendidos devido a preços ofertados não satisfatório

% de projetos não vendidos devido a prazos de entrega não satisfatório

Variáveis	Lista de Efeitos Indesejáveis	Escala
EI# 34	Erros operacionais ocorrem frequentemente	
EI# 42	Os clientes costumam alterar as especificações dos projetos em execução	
EI# 43	Os itens fabricados nem sempre são aprovados nos testes (acabamento, desempenho, etc.)	
EI# 47	Existem recursos limitados pela capacidade de investimento	
EI# 54	Imprevistos ocorrem frequentemente (falhas de máquina, variações climáticas, etc.)	
EI# 55	Há incidências de retrabalhos	
EI# 56	Os suprimentos atrasam frequentemente	
EI# 57	As compras são acionadas pelos projetos	
EI# 58	As aquisições são feitas erradas frequentemente	
EI# 63	O processo de aquisição das especificações não é padronizado	
EI# 64	Setups de máquina são executados frequentemente	
EI# 65	Há atrasos no processo de montagem nas instalações do cliente	
EI# 66	Reprogramações muitas vezes são necessárias	
EI# 67	Há incidência de atrasos na produção por falta de materiais	
EI# 68	O tempo de ciclo dos trabalhos flutuam consideravelmente	
EI# 69	Os trabalhos não são automatizados	
EI# 71	O tempo para aquisição das especificações junto ao cliente é demorado e variado	
EI# 75	Há variações nos tempos de atravessamento	
EI# 76	A acuracidade nas estimativas dos tempos de fábrica é baixa	
EI# 81	Os contratos são formalizados com as especificações incompletas	
EI# 91	Há processos e roteiros desconhecidos na formalização dos contratos	
EI# 92	As cotações consomem capacidade de engenharia em pré-projetos	
EI# 95	A tecnologia própria para atender determinadas especificações é inexistente	
EI# 98	Picos de demanda ocorrem nos recursos de produção e engenharia	
EI# 99	Não existe estoque de produtos acabados e componentes para absorver as variações	
EI# 101	Há uma indefinição na priorização das ordens de produção	
EI# 102	Há incertezas quanto ao tempo necessário para desenvolver e produzir os projetos	
EI# 103	Há a necessidade de gerenciar componentes terceirizados	
EI# 104	Horas extras são utilizadas frequentemente	
EI# 105	Não há qualidade de inteligência competitiva	
EI# 114	Há incertezas quanto aos custos para desenvolver e produzir os projetos	
EI# 115	Os preços estipulados pelo mercado são desconhecidos	
EI# 122	Os prazos são definidos com auxílio de informações de projetos similares	
EI# 123	Existe dificuldade em calcular as margens de contribuição	
EI# 124	Os preços são definidos com auxílio de informações de projetos similares	
EI# 133	Existe o risco de subestimar os prazos de entrega	
EI# 136	Existe o risco de subestimar os preços ofertados	
EI# 143	Margens de segurança excessivas são inseridas aos prazos de entrega	
EI# 147	Margens de segurança excessivas são inseridas aos preços ofertados	
EI# 151	Os prazos de entrega não são satisfatórios	
EI# 153	Os preços ofertados não são satisfatórios	

