UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

RAFAEL ALVES FERREIRA

**Proposta de um modelo quantitativo com base em lógica *fuzzy* para
caracterização de cadeias de suprimentos em empresas**

SÃO CARLOS

2017

RAFAEL ALVES FERREIRA

Proposta de um modelo quantitativo com base em lógica *fuzzy* para caracterização de cadeias de suprimentos em empresas

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Processos e Gestão de Operações

Orientador: Prof. Dr. Kleber Francisco Espôsto

SÃO CARLOS

2017

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Alves Ferreira, Rafael

AA474p Proposta de um modelo quantitativo com base em
lógica fuzzy para caracterização de cadeias de
suprimentos em empresas. / Rafael Alves Ferreira;
orientador Kleber Francisco Espôsto . São Carlos, 2017.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Produção e Área de Concentração em
Processos e Gestão de Operações -- Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2017.

1. Segmentação da cadeia de suprimentos. 2. Gestão
da cadeia de suprimentos. 3. Sistema de Inferência
Fuzzy. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **RAFAEL ALVES FERREIRA.**

Título da dissertação: "Proposta de um modelo quantitativo com base em lógica fuzzy para caracterização de cadeias de suprimentos em empresas".

Data da defesa: 27/10/2017.

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Dr. **Kleber Francisco Espôsto**
(Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Aprovado

Prof. Dr. **Gilberto Miller Devós Ganga**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

APROVADO

Prof. Dr. **Luís Antonio de Santa Eulalia**
(Université de Sherbrook)

Aprovado

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção:
Prof. Associado **Aldo Roberto Ometto**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Luís Fernando Costa Alberto**

DEDICATÓRIA

Dedico à minha querida esposa Glaucia, com muito amor, admiração e gratidão por seu incentivo, compreensão, inspiração e incansável apoio durante a elaboração deste trabalho.

Dedico também aos meus pais Nilo e Márcia, que tanto fizeram por mim ao longo de minha vida, sempre estando presentes ajudando a trilhar meu caminho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao **Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção** da EESC-USP por possibilitar e amparar o desenvolvimento desta pesquisa dentro de suas estruturas físicas e organizacionais.

Agradeço aos **membros da banca de qualificação e defesa** pelo tempo dedicado a leitura do texto, pela presença e pelas importantes considerações que contribuíram para o enriquecimento e amadurecimento desta pesquisa. Muito obrigado Prof. Dr. Gilberto Miller Devós Ganga e Prof. Dr. Luis Antônio de Santa-Eulalia.

Agradeço ao **Prof. Kleber Francisco Espôsto** por me aceitar como aluno de mestrado e confiar em meu trabalho e pelas orientações e direcionamentos pertinentes ao desenvolvimento do estudo.

Agradeço aos colegas **Antonio Carlos Cunha e Marcos Antônio Buda** pelo suporte oferecido a este trabalho. Agradeço também a **Raphael Câmara, Fernando Martins e Fábio Machado** pelo apoio.

Agradeço especialmente ao meu querido amigo **Aron Rebelatto** que tanto colaborou com o trabalho e com a coleta de dados.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.”

Albert Einstein

RESUMO

FERREIRA, R. A. **Proposta de um modelo quantitativo com base em lógica *fuzzy* para caracterização de cadeias de suprimentos em empresas.** 2017. 89 f. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

As empresas lidam com grupos de clientes distintos, com requisitos que os diferem entre si, portanto é importante aperfeiçoar o atendimento destes clientes por meio de estratégias da cadeia de suprimentos que sejam diferenciadas para cada grupo. A escola enxuta-ágil, apesar de sugerir formas práticas de avaliação da cadeia de suprimento para a tomada de decisão, não oferece muitas opções para sua segmentação. Por outro lado, a proposta de segmentação da escola do alinhamento dinâmico é mais robusta, entretanto esta escola sofre com excessiva normatização, além da imprecisão inerente a seu processo de avaliação primordialmente qualitativo e de difícil aplicação. Uma alternativa para lidar com a imprecisão relativa ao processo de segmentação é a aplicação da teoria dos conjuntos *fuzzy*. Nesse contexto, este trabalho tem por objetivo desenvolver um modelo quantitativo que utilize a teoria dos conjuntos *fuzzy* e, com base em dados de vendas, avalie a(s) cadeia(s) de suprimentos da empresa facilitando esta alcançar o alinhamento dinâmico. Os procedimentos de pesquisa utilizados no trabalho podem ser agrupados em três partes: pesquisa bibliográfica, desenvolvimento do modelo quantitativo axiomático descritivo e ilustração por meio de aplicação prática. O modelo computacional desenvolvido colaborou com a busca do alinhamento dinâmico. Obteve-se a identificação das cadeias de suprimentos que atendem aos grupos de clientes avaliados, fornecendo respostas de forma muito mais rápida que a análise proposta pelos modelos encontrados na literatura. A aplicação em caso real validou o modelo, uma vez que os resultados obtidos mostraram-se coerentes com a realidade apontada pelos especialistas da empresa estudada, indicando possíveis ações para o realinhamento da cadeia de suprimentos.

Palavras-chave: Segmentação da cadeia de suprimentos. Gestão da cadeia de suprimentos. Sistema de Inferência Fuzzy.

ABSTRACT

FERREIRA, R. A. Proposal of a quantitative model based on fuzzy logic for the assessment of supply chains in companies. 2017. 89 f. Master Dissertation - Engineering School of São Carlos – University of São Paulo, 2017.

Companies deal with different customer groups, with requirements that differ between them, so it is important to improve customer service through different supply chain strategies for each group. The Leagile School, while suggesting practical ways of assessing the supply chain for decision-making, does not offer many options for its segmentation. The segmentation proposal of Dynamic Alignment School is more robust, however, this school is excessively normative, besides the vagueness inherent in its evaluation process that is primarily qualitative and difficult to apply. An alternative to deal with imprecision related to the segmentation process is the application of fuzzy set theory. In this context, the objective of this work is to develop a quantitative model that uses the fuzzy set theory and, based on sales data, assess the company's supply chain(s), facilitating the achievement of the dynamic alignment. The research procedures applied in the work can be grouped into three parts: bibliographic research, development of the descriptive axiomatic quantitative model, and illustration through practical application. The computational model developed collaborated with the search for dynamic alignment. It was possible to identify the supply chains that serve the client groups evaluated, providing answers faster than the analysis proposed by the models found in the literature. The application in real situation validated the model, since the results obtained were consistent with the reality pointed out by the experts of the company studied, indicating possible actions for the realignment of the supply chain.

Key-words: Supply chain segmentation. Supply chain management. Fuzzy Inference System

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Disciplinas centrais da SCM e componentes.	27
Figura 2 - Ciclo de melhoria do paradigma enxuto.	29
Figura 3 - Os fundamentos para agilidade na cadeia de suprimentos.....	32
Figura 4 – Representação em blocos das estratégias da cadeia de suprimentos enxuta, ágil e enxuta-ágil.	33
Figura 5 - Determinação das tipologias de produção pelo posicionamento do CODP.....	35
Figura 6 - Ajustando a cadeia de suprimentos aos produtos	36
Figura 7 - Modelo de segmentação utilizando-se variáveis DWV ³	39
Figura 8 – Elementos da estrutura de alinhamento dinâmico	40
Figura 9 – Os comportamentos dominantes de compra mas comumente observados.....	42
Figura 10 - Os cinco tipos genéricos de cadeia de suprimentos.....	43
Figura 11 - Alinhamento das proposições de valor das cadeias de suprimentos.....	44
Figura 12 - Função de pertinência para o conjunto de tempos de entrega longos.....	48
Figura 13 - Função de pertinência fuzzy para o conjunto de prazo de entrega longos.....	49
Figura 14 - Hierarquia da variável linguística idade.....	50
Figura 15 - Função triangular	51
Figura 16 - Função Trapezoidal.....	52
Figura 17 - Diagrama de blocos para sistema de inferência fuzzy (FIS)	56
Figura 18 - Funções de pertinência das variáveis de entrada.....	71
Figura 19 - Comparação entre CVs de 0,15 a 2.....	72
Figura 20 - Representação do tipo da cadeia segundo as características	74
Figura 21 - Modelo para avaliação do alinhamento da cadeia de suprimentos.....	76
Figura 22 - Processo de vendas da empresa	77
Figura 23 - Função de pertinência da variável de entrada volume.....	78
Figura 24 - Função de pertinência da variável de entrada tempo de entrega	78
Figura 25 - Função de pertinência da variável de entrada variabilidade	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fatores chave para uso das variáveis DWV ³ para classificar os tipos de cadeia...	38
Quadro 2 - Características da cadeia de suprimentos colaborativa	64
Quadro 3 - Características da cadeia de suprimentos enxuta	65
Quadro 4 - Características da cadeia de suprimentos ágil.....	65
Quadro 5 - Características da cadeia de suprimentos de campanha	66
Quadro 6 - Características da cadeia de suprimentos totalmente flexível	66
Quadro 7 - Classificação do tipo de pesquisa baseado em modelos quantitativos.....	67
Quadro 8 - Explicação para inclusão ou exclusão das variáveis DWV ³	70
Quadro 9 - Bloco de regras do sistema de inferência	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APICS - *American Production and Inventory Control Society*

ATO - *Assembly-to-order*

COA - *Center-of-area*

COG - *Center-of-gravity*

COM - *Center-of-maximum*

CODP - *Customer Order Decoupling Point*

ERP - *Enterprise Resource Planning*

ETO - *Engineer-to-order*

FIS - *Fuzzy Inference System*

FLC - *Fuzzy Logic Control*

LOM - *Left-of-maximum*

MTO - *Make-to-order*

MTS - *Make-to-stock*

PSS - *Product Service System*

ROM - *Right-of-maximum*

SCM - *Supply Chain Management*

SCOR - *Supply Chain Operations Reference Model*

SKU - *Stock Keeping Unit*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	23
1.1	CONTEXTO.....	23
1.2	JUSTIFICATIVA DA PESQUISA.....	24
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	25
2	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....	27
2.1	GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS	27
2.1.1	Escola enxuta-ágil de gestão da cadeia de suprimentos	28
2.1.1.1	<i>Cadeia de suprimentos enxuta.....</i>	29
2.1.1.2	<i>Cadeia de suprimentos ágil.....</i>	30
2.1.1.3	<i>Cadeia de suprimentos enxuta-ágil</i>	32
2.1.1.4	<i>As variáveis DWV³ na segmentação da cadeia de suprimentos.....</i>	36
2.1.2	A escola do alinhamento dinâmico	40
2.1.2.1	<i>Os cinco tipos de cadeia de suprimentos</i>	43
2.2	TEORIA DOS CONJUNTOS <i>FUZZY</i>	46
2.2.1	Conjuntos <i>fuzzy</i>	47
2.2.2	Variáveis linguísticas e funções de pertinência	49
2.2.3	Operações com conjuntos <i>fuzzy</i>	52
2.2.4	Relações <i>fuzzy</i>	55
2.2.5	Composição de relações <i>fuzzy</i>	55
2.3	SISTEMAS DE INFERÊNCIA <i>FUZZY</i>	56
2.3.1	Regras de inferência.....	57
2.3.2	Controlador Lógico <i>Fuzzy</i> do tipo Mamdani	57
2.3.3	Defuzzificação	59
2.4	APLICAÇÃO DA TEORIA DOS CONJUNTOS <i>FUZZY</i> AO PROCESSO DE SEGMENTAÇÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	60
3	MÉTODO DE PESQUISA	63
4	MODELO PROPOSTO.....	69
4.1	O PROCEDIMENTO DE INFERÊNCIA.....	69
4.2	IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA	70
4.3	IDENTIFICAÇÃO DA VARIÁVEL DE SAÍDA.....	72
4.4	DEFINIÇÃO DA BASE DE REGRAS DO SISTEMA DE INFERÊNCIA	73
4.5	O MODELO DE ANÁLISE.....	73

5	APLICAÇÃO DO MODELO	77
5.1	PARAMETRIZAÇÃO DO MODELO	78
5.2	LEVANTAMENTO DE DADOS E AVALIAÇÃO DO ATENDIMENTO DAS CADEIAS DE SUPRIMENTOS	79
5.2.1	Avaliação do atendimento da cadeia de suprimentos de fabricação de máquinas	79
5.2.2	Avaliação do atendimento da cadeia de suprimentos de venda de peças de reposição	80
5.2.3	Avaliação do atendimento da cadeia de suprimentos de máquinas alugadas ..	81
5.3	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	82
6	CONCLUSÃO	87
	REFERÊNCIAS	89

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO

A gestão da cadeia de suprimentos tem sido utilizada como uma arma estratégica para atingir vantagens competitivas e desempenho empresarial superior em indústrias ao redor do mundo. A importância da gestão da cadeia de suprimentos aumentou devido à quebra de fronteiras nacionais e internacionais, o que ampliou a movimentação global de produtos e serviços (ROUTROY; SHANKAR, 2015). O conjunto de relacionamentos que tipificam as conexões entre organizações em uma cadeia habilitam o desenvolvimento de vantagens competitivas por meio da redução de custos e por uma diferenciação do mercado (CHRISTOPHER; TOWILL, 2002).

Os gestores das cadeias de suprimentos devem buscar o ajuste entre requisitos dos clientes e características dos produtos, além de garantir o atendimento das demandas na velocidade imposta pelo mercado (AITKEN; CHILDHOUSE; TOWILL, 2003; HOLWEG, 2005). É importante alinhar a estratégia da cadeia de suprimentos às inúmeras demandas dos mercados. O conceito “*one size fits all*” (SHEWCHUK, 1998), ou seja, uma estratégia única para toda a cadeia de suprimentos, não se aplica ao ambiente competitivo da atualidade.

As empresas lidam com grupos de clientes distintos, com requisitos que os diferem entre eles, portanto é importante aperfeiçoar o atendimento destes clientes por meio de estratégias da cadeia de suprimentos que sejam diferenciadas para cada grupo (CHRISTOPHER; TOWILL, 2000a; GATTORNA; WALTERS, 1996).

Existem duas escolas de pensamento para a segmentação da cadeia de suprimentos (GODSELL et al., 2011). A primeira escola, denominada enxuta-ágil, baseia-se principalmente nas características dos produtos. Nesta escola, Christopher e Towill (2000) introduzem um modelo de segmentação da cadeia de suprimentos baseando-se na combinação de cinco características de mercado: duração do ciclo de vida, tempo de entrega, volume, variedade e variabilidade da demanda. Com base nessas características são sugeridas as estratégias para a cadeia de suprimento. Os autores sugerem a existência das cadeias enxutas, ágeis e a combinação das duas denominada enxuta-ágil.

Para os autores da primeira escola, as cadeias de suprimentos enxutas são aquelas que visam atender o cliente de forma eficiente e com baixo custo, por meio da remoção de todos os desperdícios dos processos (MASON-JONES; NAYLOR; TOWILL, 2000a). As cadeias de suprimentos ágeis buscam integrar recursos reconfiguráveis em um ambiente de

intensa troca de informações, de forma a atender às necessidades de clientes em mercados incertos (YUSUF et al., 2014). As cadeias enxutas-ágeis são a combinação das duas opções anteriores.

A segunda escola de pensamento, denominada alinhamento dinâmico, visa formalizar a conexão entre marketing e estratégia da cadeia de suprimentos, com uma abordagem mais estratégica. Para esta escola, a segmentação da cadeia de suprimentos é o resultado da compreensão do cliente que ela atende. Consequentemente, o método de segmentação sugerido é baseado no comportamento dos clientes (CHRISTOPHER; GATTORNA, 2005; GATTORNA, 2015; GATTORNA; WALTERS, 1996). Integrante desta escola, Gattorna (2015) propôs um modelo denominado Alinhamento Dinâmico, o qual sugere cinco tipos de cadeias de suprimentos que atuam concomitantemente nas empresas, criando um ambiente de múltiplas cadeias de suprimentos.

Apesar das duas escolas de pensamento estarem consolidadas no meio científico e possuírem um vasto conteúdo teórico, elas ainda tem uma grande defasagem com relação a modelos que não sejam abstratos e normativos, com poucas evidências empíricas (GODSELL et al., 2011).

Nesse contexto, o presente trabalho busca desenvolver um modelo quantitativo que, com base em dados de vendas, avalie a(s) cadeia(s) de suprimentos da empresa e, dessa forma, facilite a ela alcançar o alinhamento dinâmico de sua cadeia de suprimentos.

1.2 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Muitos estudos têm destacado a importância da cadeia de suprimentos e sua gestão (GORANE; KANT, 2015; SHUKLA; GARG; AGARWAL, 2011; SWEENEY; GRANT; MANGAN, 2015). Atualmente é amplamente aceito que a abordagem “*one size fits all*”, ou seja uma estratégia única para todos os clientes, não é mais válida para o projeto da cadeia de suprimentos (CHRISTOPHER; PECK; TOWILL, 2006; GATTORNA, 2015; GODSELL et al., 2011). Entretanto, ainda é possível encontrar exemplos de empresas trabalhando em mercados competitivos e diversificados que assumem que as demandas e os comportamentos de compras são homogêneos (HJORT et al., 2013).

Gattorna (2015) propõe um modelo de segmentação da cadeia de suprimentos com base no comportamento de compras dos clientes, levantando informações de natureza

qualitativa. O modelo proposto pelo autor, apesar de muito detalhado, mostra-se abstrato do ponto de vista da aplicação prática.

Os sistemas ERP (Enterprise Resource Planning), por outro lado, são fontes de informações quantitativas. Tornaram-se uma ferramenta crucial para a gestão dos processos relativos à cadeia de suprimentos das empresas ao identificar, capturar, integrar e armazenar o fluxo de informações criado por suas transações comerciais (ACAR et al., 2017). Entretanto, os sistemas ERP não realizam o processo de transformação de dados quantitativos em decisões qualitativas, como proposto pelos sistemas especialistas que utilizam a lógica *fuzzy*.

A teoria dos conjuntos *fuzzy*, proposta por Zadeh (1965), tem sido aplicada no processo de tomada de decisão, pois é capaz de extrair resultados relevantes mesmo baseando-se em dados de entrada incertos ou imprecisos, tais quais os julgamentos de gestores ou tomadores de decisão (BANAEIAN et al., 2016; LIMA JUNIOR; OSIRO; CARPINETTI, 2014). De acordo com Renganath (2016), as técnicas de tomada de decisão baseadas na lógica *fuzzy* são consideradas uma das melhores formas de trabalhar com problemas imprecisos ou vagos. As técnicas que utilizam a lógica *fuzzy* fornecem processos eficientes de tomada de decisão, no qual a seleção das alternativas é abstrata (RENGANATH, 2016).

Assim, este trabalho visa aprimorar a abordagem da segmentação proposta por Gattorna (2015), ao viabilizar a aplicação da segmentação das cadeias de suprimentos a partir de dados que possam ser obtidos de forma mais simples e direta nas empresas, por exemplo, sistemas ERP, ao aplicar técnicas de tomada de decisão baseadas em lógica *fuzzy*.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho foi estruturado em sete capítulos. O primeiro capítulo apresenta a introdução sobre o tema de pesquisa; o segundo capítulo apresenta o referencial bibliográfico utilizado no trabalho; o terceiro capítulo apresenta o método que será utilizada no trabalho; no quarto capítulo apresenta-se o modelo proposto por este estudo; o quinto capítulo descreve a aplicação do modelo; no sexto capítulo apresenta-se a conclusão; e no sétimo capítulo encontram-se as referências bibliográficas.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

2.1 GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

O conceito de Gestão da Cadeia de Suprimentos pode ser rastreado em publicações anteriores a 1960. O termo Supply Chain Management (SCM), ou gestão da cadeia de suprimentos, é amplamente difundido na literatura e tem sua possível origem datada em 1982 (JONES; COPE; BUDDEN, 2009). Um crescente interesse de pesquisas neste tema iniciou-se em 1980, com um aumento considerável no volume de publicações a partir de 1990 (HUAN; SHEORAN; WANG, 2004).

A definição de SCM, no entanto, ainda permanece como um problema no mundo acadêmico, dada a ausência de consenso e ao escopo multidisciplinar que possui. A definição mais recente de SCM da APICS é:

o projeto, planejamento, execução, controle e monitoramento das atividades da cadeia de suprimentos com o objetivo de criar valor líquido, construindo uma infraestrutura competitiva, alavancando a logística mundial, sincronizando suprimento e demanda e medindo globalmente o desempenho (APICS, 2016).

Considerando que a SCM contempla não só operações, mas também as disciplinas de marketing e informação, a gestão da cadeia de suprimentos também pode ser definida como a gestão integrada, de ponta a ponta, dos processos de negócio de toda a cadeia (HARRISON; VAN HOEK; SKIPWORTH, 2014) e de todos os relacionamentos que nela existem, com o objetivo de entregar o valor desejado pelo cliente final (JONES; COPE; BUDDEN, 2009) (Figura 1).

Figura 1 - Disciplinas centrais da SCM e componentes.

Fonte: Adaptado de Jones, Cope, Budden (2009).

Para alguns autores, no entanto, a definição de SCM é baseada na integração de *drivers* (direcionadores) relacionados à gestão de operações como fornecedores, fabricantes, depósitos, armazéns (SIMCHI-LEVI; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2010), produção, estoques, localização e transporte (CHOPRA; MEINDL, 2006); enquanto outros acadêmicos especificam que o objetivo da SCM deva ser o aumento de eficiência operacional (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2007) ou a entrega de valor sob o menor custo possível da cadeia (CHRISTOPHER, 2016). Entretanto, Walters (2006) sugere que uma abordagem puramente mecanicista da cadeia de suprimentos, totalmente impulsionada por eficiência e custo, precisa ser substituída por uma visão mais ampla da eficácia global.

Assim, como não há consenso na literatura sobre a definição de gestão da cadeia de suprimentos, diferentes abordagens para configuração e elaboração da estratégia de SCM também podem ser encontradas. Apesar do foco em custo ser um objetivo comumente utilizado no desenho da estratégia da cadeia, abordagens tradicionais também sugerem a segmentação do mercado e da cadeia com base em características demográficas de demanda ou critérios vencedores e qualificadores de pedidos (HILL, 2000). Outras estratégias utilizam-se do padrão de comportamento dos clientes como estratégia de segmentação (GATTORNA; WALTERS, 1996).

De acordo com Godsell et al. (2011), há tradicionalmente duas escolas de pensamento sobre o projeto da cadeia de suprimentos. A primeira escola é chamada enxuta-ágil, na qual os critérios de Hill (2000) evoluíram como forma de mecanismo para posicionamento dessas cadeias e a estratégia é orientada pelas características do produto. Nesta escola, Fisher (1997) e Christopher e Towill (2001, 2002) são os principais precursores. Na segunda escola, Godsell et al. (2011) consideram o alinhamento estratégico e a conexão entre marketing e estratégia da cadeia de suprimentos, na qual Gattorna, Chorn e Day (2001) e Gattorna e Walters (1996) são os principais autores. Cada uma delas será mais detalhadamente apresentada nos tópicos a seguir.

2.1.1 Escola enxuta-ágil de gestão da cadeia de suprimentos

Os princípios da escola enxuta-ágil são bem estabelecidos no pensamento moderno da gestão da cadeia de suprimentos (BEZUIDENHOUT, 2016). Os conceitos enxutos e ágeis são duas estratégias de gestão que foram primeiramente aplicadas como sistemas produtivos. Entretanto essas teorias foram além do limite dos silos funcionais para serem aplicadas na

forma de fazer negócios e, conseqüentemente, aplicadas no nível estratégico, para toda a cadeia de suprimentos (ELTAWY; GALLEAR, 2017).

A gestão da cadeia de suprimentos tornou-se uma das áreas-chave para a determinação do sucesso ou fracasso da organização com relação a seus clientes (CHRISTOPHER; TOWILL, 2001). Fisher (1997) identificou duas diferentes estratégias para uma empresa que opera em um ambiente de cadeia de suprimentos: a primeira, enxuta, tem foco na redução de custos, atendendo a produtos na fase madura do ciclo de vida; a segunda, ágil, tem como objetivo responder rapidamente a mudanças na demanda, atendendo a mercados complexos ou produtos em estágios iniciais do ciclo de vida.

Uma terceira opção desta escola é a cadeia de suprimentos enxuta-ágil. Nesta estratégia de gestão procura-se combinar as características de redução de custos da estratégia enxuta com a responsividade da estratégia ágil (MASON-JONES; NAYLOR; TOWILL, 2000a; NAYLOR; NAIM; BERRY, 1999).

Cada uma dessas opções é apresentada em mais detalhe nos sub-tópicos a seguir.

2.1.1.1 Cadeia de suprimentos enxuta

O conceito do *lean thinking* (pensamento enxuto) foi definido por Womack e Jones (1996) como foco na redução ou eliminação de desperdícios, ou “*muda*”. A origem da abordagem enxuta está relacionada com o Sistema Toyota de Produção, que visava garantir o uso eficiente dos recursos via nivelamento de produção (OHNO, 1988). Womack e Jones (1996) definiram cinco princípios enxutos: especificar precisamente o conceito de valor para cada produto; identificar o fluxo de valor de cada produto; criar um fluxo contínuo; deixar o cliente puxar o valor do fabricante e perseguir a perfeição; ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Ciclo de melhoria do paradigma enxuto.

Fonte: Adaptado de Womack e Jones (1996)

Para Lamming (1996), o princípio fundamental da cadeia de suprimentos enxuta é que o efeito dos custos associado com a execução imperfeita de um subprocesso não está limitado ao local da execução, impactando toda a cadeia. Reichhart e Holweg (2007), similarmente, estendem o conceito de produção enxuta para jusante da cadeia de suprimentos, definindo a distribuição enxuta como a redução de desperdício a jusante na cadeia de forma a disponibilizar o produto correto para o cliente final, no momento e local correto. Para Vonderemse et al. (2006), uma cadeia de suprimentos enxuta é aquela que emprega esforços de melhoria contínua focados na eliminação do desperdício ou atividades que não agregam valor ao longo de toda a cadeia.

Uma cadeia de suprimentos enxuta busca alcançar uma produção com índice zero de defeitos, eliminar a superprodução e capacidade de produção desnecessária por meio do nivelamento de carga, com índice zero de estoques e sem excesso de movimentação, tanto de pessoas quanto de materiais (GOLDSBY; GRIFFIS; ROATH, 2006; MASON-JONES; NAYLOR; TOWILL, 2000a; NAYLOR; NAIM; BERRY, 1999). Embora as cadeias de suprimento enxutas busquem um fluxo consistente de produto, é necessário manter algum grau de capacidade ociosa para lidar com alterações repentinas na demanda ou algum evento não esperado, como quebras de equipamentos, que podem exigir aumento da velocidade de produção (BEZUIDENHOUT, 2016).

A busca da redução de desperdício é suportada pelos esforços de atingir eficiências internas na manufatura e na redução do tempo de *setup*, o qual habilita a produção econômica de pequenos lotes, aumentando a redução de custos, a lucratividade e flexibilidade de fabricação até algum grau; entretanto, a cadeia de suprimentos enxuta pode não alcançar a responsividade externa para as demandas dos clientes, que podem exigir flexibilidade no projeto do produto, no planejamento e na distribuição (VONDEREMBSE et al., 2006).

2.1.1.2 Cadeia de suprimentos ágil

A agilidade é considerada como a habilidade de uma empresa ser flexível e rápida concomitantemente com a capacidade de estar apta a mudanças (RAMASESH; KULKARNI; JAYAKUMAR, 2001). Inicialmente, o conceito de agilidade foi introduzido na manufatura (ELTAWY; GALLEAR, 2017) e, subsequentemente, aplicado para toda a organização, de forma a melhorar o desempenho e a capacidade de reagir a condições impostas pelo mercado (SHEREHIY; KARWOWSKI; LAYER, 2007). De acordo com Yusuf et al. (2014), a

agilidade pode ser definida como a adoção bem sucedida de fatores que geram ganho de competitividade como velocidade, flexibilidade, inovação, qualidade e lucratividade por meio da integração de recursos reconfiguráveis em um ambiente rico em conhecimento para prover produtos direcionados às necessidades dos clientes inseridos em um ambiente de mercado incerto.

Para Naylor, Naim e Berry (1999), o conceito de agilidade significa utilizar conhecimento e corporações virtuais para explorar oportunidades em mercados consumidores voláteis. Para os autores, a agilidade maximiza os lucros por meio do fornecimento exato do que o cliente deseja, reduzindo custos enquanto não forem um impedimento para a habilidade de atender aos requisitos de serviço do cliente.

Christopher e Towill (2000b) argumentam que a aplicação do conceito de agilidade na gestão da cadeia de suprimentos enfatiza a importância da responsividade. Gaudenzi e Christopher (2016) sugerem que a cadeia de suprimentos ágil depende da aplicação do modelo mental da agilidade a todas as funções da cadeia, habilitando a empresa a ser orientada ao mercado e capaz de redesenhar processos de forma a ser responsiva e flexível.

Uma cadeia de suprimentos ágil possui a capacidade de focar suas competências em velocidade de atendimento às demandas do mercado; por exemplo, responsividade ao mercado, redução do tempo de ciclo de desenvolvimento de produtos, redução do tempo de entrega, altos níveis de customização de serviço e frequência de introdução de novos produtos (SWAFFORD; GHOSH; MURTHY, 2008).

Harrison, Christopher e van Hoek (1999) sugerem que as cadeias de suprimentos ágeis são:

- a) sensíveis ao mercado: cadeias de suprimentos que estão muito próximas aos seus clientes finais, visando entender suas necessidades e tendências;
- b) virtuais: as informações necessárias estão compartilhadas por todos os elos da cadeia. Essa cadeia virtual integra os parceiros de modo que todos os participantes estejam a par da demanda real. A informação compartilhada alinha os objetivos de cada elo, diminuindo os resultados nocivos do “efeito chicote”;
- c) baseadas em redes: as cadeias de suprimentos ágeis possuem arranjos flexíveis com a base de fornecedores. O princípio por trás de uma cadeia ágil, de certa forma, vai contra a ideia predominante de que as organizações devem trabalhar com um menor número de fornecedores por um longo prazo. Em uma rede ágil, há

- uma tendência de uma empresa focal agir como o “maestro” da rede e a participação dos outros membros dependerá dos requisitos do processo em curso;
- d) alinhadas por processos: as cadeias de suprimentos ágeis possuem um alto grau de interconectividade entre os membros da rede. Os processos devem estar desenhados de uma forma que consigam fluir de um elo ao outro de forma suave, criando conexões sem fronteiras.

Figura 3 - Os fundamentos para agilidade na cadeia de suprimentos.

Fonte: Adaptado de Harrison, Christopher, van Hoek (1999)

Em suma, a gestão da cadeia de suprimentos ágil é vista como uma capacidade competitiva de uma organização (NGAI; CHAU; CHAN, 2011) para transformar incertezas do mercado em oportunidades por meio de respostas rápidas, especialmente em ambientes com alto nível de customização (UM, 2016).

2.1.1.3 Cadeia de suprimentos enxuta-ágil

A integração dos conceitos enxutos e ágeis em uma cadeia de suprimentos, aplicando-se a estratégia do ponto de dissociação do pedido, ou Customer Order Decoupling Point – CODP, é denominada como enxuta-ágil (SHAHIN; JABERI, 2011). A cadeia de suprimentos enxuta-ágil é aquela que utiliza os conceitos da cadeia de suprimentos enxuta

desde início da cadeia até o CODP, ponto em que os processos de diversificação se iniciam, e, posteriormente ao CODP, são aplicados os conceitos da cadeia de suprimentos ágil (NAYLOR; NAIM; BERRY, 1999), conforme ilustrado na Figura 4. O objetivo da parte enxuta da cadeia é alcançar a eficiência da produção em massa, enquanto o objetivo da parte ágil é abordar as possibilidades da customização em massa e melhorar a responsividade (SHAHIN et al., 2016).

Figura 4 – Representação em blocos das estratégias da cadeia de suprimentos enxuta, ágil e enxuta-ágil.

Fonte: Adaptado de Mason-Jones, Naylor e Towill (2000b)

Wortmann (1992) introduz o conceito do ponto de dissociação do pedido, CODP. Também conhecido como ponto de penetração do pedido, o CODP refere-se ao ponto no fluxo de agregação de valor ao material a partir do qual as atividades passam a ser realizadas com base no pedido firme do cliente. As atividades a montante do CODP são baseadas em uma previsão, que basicamente é uma especulação sobre o mercado. No outro lado, um planejamento preciso baseado no pedido de compras dos clientes é que define as atividades a jusante do CODP (WORTMANN, 1992).

Os CODPs são utilizados para classificar atividades que agregam valor de acordo com a informação de demanda dos clientes, destacando a necessidade de abordagens gerenciais diferentes dependendo se a atividade está a montante ou a jusante do ponto de dissociação do pedido (RUDBERG; WIKNER, 2004). Portanto, o CODP divide o fluxo de

material que é conduzido por previsões a montante do CODP e o fluxo que é conduzido pelos pedidos firmes, a jusante (OLHAGER, 2010).

Rudberg e Wikner (2004) afirmam ainda que há quatro tipos de CODP que são mais frequentemente utilizados: *engineer-to-order* - ETO (engenharia sob encomenda); *make-to-order* - MTO (fabricação sob encomenda); *assemble-to-order* - ATO (montagem sob encomenda); e *make-to-stock* - MTS (fabricação para estoque). Os autores também destacam uma abordagem sequencial para o conceito do CODP. Quanto mais à jusante o CODP é posicionado, mais atividades que agregam valor devem ser efetuadas com incertezas e, quanto mais a montante, mais atividades são realizadas com base em pedidos firmes.

De acordo com o modelo SCOR (SUPPLY-CHAIN COUNCIL, 2012) as tipologias de produção podem ser descritas como:

- a) *Engineer-to-order*: o processo de desenvolver, projetar, validar e por fim utilizar processos de manufatura para fabricar produtos ou serviços baseados nos requisitos de um cliente específico. Em geral, o processo ETO requer que instruções de trabalho sejam redefinidas e materiais sejam adicionados ou modificados. Pires (1995) afirma que dado o alto nível de customização do produto, custos adicionais são gerados em decorrência da dificuldade de padronização dos processos;
- b) *Make-to-order*: o processo de fabricação que adiciona valor aos produtos através da mistura, separação, conformação, usinagem e de processos químicos para um pedido de compras específico. Os produtos são completados, montados ou configurados somente em resposta a um pedido de compras. No modelo SCOR a tipologia *Assembly-to-order* – ATO – é uma variante do MTO.
- c) *Make-to-stock*: o processo de fabricação que adiciona valor aos produtos através da mistura, separação, conformação, usinagem e de processos químicos. Na tipologia MTS, a intenção é enviar produtos acabados da prateleira. Os produtos podem ser terminados antes do recebimento de um pedido de compras, geralmente sendo produzidos de acordo com um plano mestre de fabricação baseado em previsões de vendas. De acordo com Hill (2000), a principal vantagem é a agilidade na entrega, por outro lado os custos de estoque são consideravelmente altos. Para trabalhar neste sistema, o ciclo de vida do produto não pode ser muito curto, caso contrário corre-se o risco de perda por obsolescência.

De acordo com Olhager (2010), como regra, o CODP coincide com o ponto em o que pedido de compras do cliente é recebido. Na maioria das vezes o CODP é o ponto no qual as especificações do produto são definidas e é o último ponto em que o estoque é mantido.

A partir de uma comparação com o modelo de Fisher (1997), Olhager (2010) concluiu que as características de cadeias de suprimentos fisicamente eficientes são aplicáveis a operações a montante do CODP, enquanto que as características de cadeias responsivas ao mercado são úteis para operações a jusante do CODP.

Harrison, Van Hoek e Skipworth (2014) apresentam o conceito da razão P/D, no qual P, conhecido por tempo de produção, representa o tempo necessário para que o produto ou serviço passe inteiramente pela cadeia de suprimentos. Isto inclui tempos de fornecimento, fabricação e entrega ao cliente. D, conhecido por tempo de entrega, é o tempo no qual o cliente está disposto a esperar pelo produto e ter sua demanda atendida. Esta proporção define o posicionamento do CODP, uma vez que avalia se o tempo de produção, P, é suficiente para atender a necessidade do cliente, D. Quando a razão P/D é maior que 1 faz-se necessário produzir antes do pedido, por meio de previsões (MTS). Quando é igual a 1, após o pedido (MTO), quando a razão é menor que 1 deve-se utilizar a estratégia ETO.

Figura 5 - Determinação das tipologias de produção pelo posicionamento do CODP.

Fonte: Adaptado de Rudberg e Wikner (2004)

Uma contribuição significativa da escola enxuta-ágil foi a introdução dos critérios de classificação de mercado DWV³ por Christopher e Towill (2000a), uma vez que os cinco critérios - duração do ciclo de vida do produto, tempo de entrega, volume, variedade e variabilidade - podem ser aplicados para direcionar a estratégia da cadeia de suprimentos (GODSELL et al., 2011).

2.1.1.4 As variáveis DWV^3 na segmentação da cadeia de suprimentos

Um dos primeiros autores a propor um modelo de segmentação da cadeia de suprimentos, Fisher (1997), sugere que os gestores da cadeia de suprimentos devem aplicar modelos que sejam capazes de entender a natureza da demanda de seus produtos e aplicar a estratégia que melhor satisfaça a esta demanda. Para o autor, a causa-raiz de muitos problemas enfrentados pelas cadeias de suprimentos é o desalinhamento entre o tipo de produto e o tipo de cadeia de suprimentos. Como resultado, Fisher (1997) propõe um modelo que divide os produtos em funcionais, de demanda previsível, e em produtos inovadores, de demanda imprevisível, conforme a Figura 6.

Figura 6 - Ajustando a cadeia de suprimentos aos produtos

	Produtos Funcionais	Produtos Inovadores
Cadeia de Suprimentos Eficiente (Enxuta)	Alinhamento	Desalinhamento
Cadeia de Suprimentos Responsiva (Ágil)	Desalinhamento	Alinhamento

Fonte: Adaptado de Fisher (1997)

Para Payne e Peters (2004), ao segmentar a gama de produtos e ajustar a cadeia de suprimentos para as necessidades específicas de um segmento de produtos, o desempenho da cadeia de suprimentos pode ser melhorado. De acordo com os autores, falhar nesta segmentação resulta na aplicação do conceito “*one-size-fits-all*”, criando o fardo da deterioração do valor ao cliente. Atendendo a todos com um desempenho médio, logo, superatendendo clientes com perfil funcional, ideais para cadeias enxutas, e não atendendo clientes com perfil inovador, ideais para cadeias ágeis.

Christopher e Towill (2000a) propuseram uma abordagem de classificação que considera cinco características de mercado que influenciam a decisão do tipo de cadeia de suprimentos que deve ser implementada, considerando-se cada segmento de produto. Essas características são a Duração do Ciclo de Vida do Produto, Tempo de Entrega (*Time Window*

for Delivery), Volume, Variedade e Variabilidade. Essas características ficaram conhecidas como DWV³.

Christopher e Towill (2000) afirmam que o mercado consumidor evoluiu em termos de nível de serviço requerido pelos consumidores. A demanda tornou-se muito mais volátil, enquanto os clientes tornaram-se cada vez mais insistentes em ter o produto exatamente de acordo com seus requisitos e com tempos de entrega mais curtos. Enquanto mercados satisfeitos pelo paradigma enxuto são determinados por custo, os novos mercados consumidores respondem a disponibilidade como um critério ganhador de pedido, com custo e qualidade tornando-se importantes critérios qualificadores servidos pelo paradigma ágil (MASON-JONES; NAYLOR; TOWILL, 2000a).

Entretanto, de acordo com Christopher e Towill (2000), ser competitivo na cadeia de suprimentos não é uma questão de ser enxuto, ágil ou até enxuto-ágil, mas ajustar o projeto e operação para as necessidades do mercado consumidor. Isto requer o correto balanceamento entre os paradigmas enxuto e ágil para melhor satisfazer os consumidores.

As cinco variáveis propostas por Christopher e Towill (2000a) são discutidas a seguir.

O tempo total do ciclo-de-vida do produto é um fator importante na adoção de estratégias específicas para a cadeia de suprimentos. Ciclos-de-vida curtos requerem tanto um *time-to-market* quanto um curto tempo entre a chegada do pedido de compras e a entrega para o cliente final, de forma a possibilitar uma reposição contínua do produto dentro do intervalo de tempo do ciclo-de-vida.

Uma característica das últimas décadas foi uma redução dos ciclos-de-vida. O tempo disponível para desenvolver novos produtos, lança-los no mercado e atender a demanda foi reduzido. Portanto, a habilidade de acelerar o desenvolvimento de produtos, a manufatura e a logística tornou-se um importante elemento para a estratégia competitiva. Uma vez que o produto está sendo comercializado, a habilidade de responder rapidamente a demanda é importante. O tempo de ressuprimento de um mercado determina a capacidade de uma cadeia de explorar a demanda durante o ciclo-de-vida. Além disso, um longo tempo de ressuprimento para um produto na fase de declínio pode representar a perda de lucratividade pela obsolescência.

O tempo de entrega influencia a cadeia de suprimentos, uma vez que, para produtos que tem um curto ciclo-de-vida, ou que tem como característica a necessidade do cliente em receber o produto em um intervalo de tempo curto, demandam uma cadeia de suprimentos

ágil. Já para produtos com longo ciclo-de-vida ou boa previsibilidade da demanda, a cadeia de suprimentos adequada seria a enxuta.

O volume influencia a estratégia da cadeia de suprimentos, uma vez que, quando estratégia está focada em mercados de produção em massa, com um prospecto de altos níveis de demanda, a empresa tem condições de optar pela cadeia de suprimento enxuta, com o objetivo de maximizar a economia de escala. Por outro lado, quando o volume tende a ser menor, os benefícios da agilidade na cadeia de suprimentos são claros.

Com relação à variedade, em geral, quanto maior o nível requerido pelo mercado consumidor menor será o volume médio de cada variante, uma vez que a demanda total está distribuída por um grande número de itens diferentes mantidos em estoque (SKUs - *Stock Keeping Unit*). Entretanto, é importante reconhecer o impacto da distribuição de Pareto ou regra do 80-20. Em um ponto particular do tempo, 20% dos itens da gama total terão um volume substancial, enquanto os 80% restantes terão uma movimentação muito mais lenta. Desta forma, deve ser apropriado adotar estratégias enxutas para estes 20% e estratégia ágil para os 80% restantes. Todavia, a empresa deve manter em mente que as curvas de Pareto são dinâmicas e devem ser analisadas com certa frequência.

A variabilidade está relacionada com a imprevisibilidade da demanda. Para mercados nos quais a previsão da demanda não tem uma boa acuracidade, sugere-se que ser ágil é um fator crítico. Os autores propõem Coeficiente de Variação como medida da variabilidade da demanda, dada pela variância dividida pela média.

O Quadro 1 sumariza as razões chave de cada uma destas variáveis.

Quadro 1 - Fatores chave para uso das variáveis DWV³ para classificar os tipos de cadeia

Variáveis	Razões chaves para o uso na classificação dos tipos de cadeia
Duração do Ciclo de Vida do Produto	Ciclo-de-vida curto exige: rápido <i>time-to-market</i> curto tempo de processo para reposição contínua da demanda redução no tempo de desenvolvimento do produto tempo de reposição curto para evitar obsolescência
Tempo de entrega	Resposta rápida é necessária para itens inovadores que vendem rápido Pressão competitiva está diminuindo tempos de resposta
Volume	Produtos para mercados de massa permitem estratégia enxuta Produtos de baixo volume requerem estratégia ágil

Variiedade	<p>Uma grande variedade resulta em um grande número de SKUs</p> <p>A análise da distribuição deve ser constante para definir a estratégia adequada para cada item</p>
Variabilidade	<p>A variabilidade está relacionada com picos de demanda e imprevisibilidade</p> <p>Os picos de demanda afetam drasticamente a utilização dos recursos</p> <p>A imprevisibilidade aumenta o risco de obsolescência</p>

Fonte: Adaptado de Childerhouse, Aitken e Towill (2002)

Childerhouse, Aitken e Towill (2002) sugerem a utilização das variáveis DWV³ para a classificação dos produtos em grupos com características similares. A principal saída deste agrupamento é a definição clara dos requisitos de cada canal de demanda, juntamente com os objetivos específicos para maximizar a competitividade em cada segmento.

Godsell et al. (2011) sugerem um modelo que utiliza as variáveis volume e variabilidade para definir qual estratégia de cadeia de suprimentos seria ideal para os produtos, a enxuta ou a ágil. Com estas variáveis, juntamente com a aplicação de filtros, os autores afirmam ser possível definir o perfil da demanda. O modelo proposto é mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Modelo de segmentação utilizando-se variáveis DWV³

Fonte: Adaptado de Godsell et al. (2011)

2.1.2 A escola do alinhamento dinâmico

Gattorna (2015) define a cadeia de suprimentos como qualquer combinação de processos, funções, atividades, relacionamentos e percursos com quais produtos, serviços, informações e transações financeiras fluem dentro e entre as empresas, em ambos os sentidos, de ponta a ponta. A partir desta definição, o autor sugere o conceito de alinhamento dinâmico, ou seja, que as cadeias de suprimentos estão em constante mudança e exigem dinamismo para que se mantenham alinhadas com as necessidades dos clientes.

De acordo com Gattorna (2015), as cadeias de suprimentos são sistemas impulsionados por seres humanos e seus comportamentos. Portanto, a gestão do fator humano nas cadeias de suprimentos é essencial para garantir um desempenho melhor no futuro. Os comportamentos e a cultura da organização estão ligados ao sucesso na execução da estratégia.

Gattorna (2015) estudou os tipos de liderança combinados com tipos de personalidade, propondo então um modelo de alinhamento dinâmico multidisciplinar, que liga mercado e estratégia com habilidade cultural interna e estilos de liderança na empresa.

Figura 8 – Elementos da estrutura de alinhamento dinâmico

Fonte: Adaptado de Christopher e Gattorna (2005)

O sistema de codificação proposto por Gattorna (2015) é baseado no sistema proposto por Adizes (1985), que desenvolveu a codificação “P-A-D-I” para categorizar diferentes estilos de gestão, representados como dois pares de forças compensadoras.

No contexto da cadeia de suprimentos, com ênfase específica em relações de compra e venda, Gattorna (2015) adaptou os conceitos de Adizes (1985), resultando nas seguintes forças comportamentais:

- a) P (Produtor): força voltada para ação, resultados, velocidade e foco;
- b) A (Administrador): representa estabilidade, controle, confiabilidade, medição, lógica e eficiência;
- c) D (Desenvolvedor): representa criatividade, mudança, inovação e flexibilidade;
- d) I (Integrador): representa cooperação, coesão, participação e harmonia.

Os quatro elementos juntam-se em pares de forma a produzir 16 combinações possíveis, em equilíbrio dinâmico, cada qual com um “centro de gravidade” diferente. Os clientes têm hierarquias de valor e, em última instância, orientam o comportamento, portanto são os direcionadores para o alinhamento dinâmico.

A segmentação por clientes tem como objetivo agrupá-los de acordo com características comuns de forma a combinar as estratégias às necessidades particulares. Cada segmento deve ser distinto, acessível e economicamente viável em tamanho.

Em geral, as funções de vendas e marketing desenvolvem inúmeras formas de segmentar os mercados e alocar recursos e forças de vendas sem levar em conta o impacto que estas decisões causam nas operações.

Gattorna (2015) afirma que a segmentação dos clientes pelo comportamento de compras dominante é uma maneira eficiente para agrupá-los. Os clientes têm um conjunto holístico de expectativas que se manifestam em atributos hierarquicamente organizados.

Gattorna (2015) contrasta o conceito de segmentação proposto por Fisher (1997), argumentando que há dificuldades em se segmentar as cadeias pelas características dos produtos. O modelo de Fisher (1997) presume padrões de demanda estáveis, que não representam o atual dinamismo e complexidade dos mercados consumidores. A alteração dos padrões de demanda pode mudar a classificação de um produto considerado essencialmente inovador para funcional e vice e versa.

Para Christopher e Gattorna (2005), indícios apontam que clientes exibem um número pequeno de comportamentos de compra dominantes para qualquer categoria de serviço ou produto. Entretanto os autores ressaltam que estes comportamentos podem mudar temporariamente caso pressionados por circunstâncias específicas. Posteriormente, tendem a retornar a posição inicial após o retorno das condições usuais.

Gattorna (2015) propõe cinco comportamentos de compras mais frequentes em situações de compra ou prestação de serviços. O comportamento de compra “Colaborativo” é mais direcionado a relações de confiança e previsibilidade do que ao preço. O comportamento de compras “Transacional” é focado em serviços previsíveis e de baixo custo, com grande sensibilidade ao preço. Já o comportamento de compras “Dinâmico” é sensível ao preço, entretanto, clientes que exibem este comportamento estarão dispostos a arcar com um aumento de preço para suprir de forma rápida demandas imprevisíveis. O comportamento de compra “Acumulação de Projetos” deseja que projetos sejam entregues completos e no prazo acordado. O último comportamento sugerido pelo autor é o de “Soluções Inovadoras” que necessita de respostas rápidas e criativas independente do preço.

Figura 9 – Os comportamentos dominantes de compra mas comumente observados

Colaborativo	Transacional	Dinâmico	Acumulação de Projetos	Soluções Inovadoras
Comportamento de compra dominante: Primário: Integrador Secundário: Administrador	Comportamento de compra dominante: Primário: Administrador	Comportamento de compra dominante: Primário: Produtor Secundário: Administrador	Comportamento de compra dominante: Primário: Produtor Primário: Administrador	Comportamento de compra dominante: Primário: Desenvolvedor Secundário: Produtor
Relacionamento próximo para ganhos mútuos	Resposta de baixo custo consistente para demandas altamente previsíveis	Resposta rápida para condições imprevisíveis de suprimento e demanda	Entrega para projetos na planta do cliente no tempo acordado e completo	Desenvolvimentos liderados pelo fornecedor e geração de novas ideias
<ul style="list-style-type: none"> - Previsível na maioria das vezes - Entrega regular - Produtos desenvolvidos ou melhorados - Principal fonte de suprimentos - Relacionamento de confiança - Trabalho em equipe/parceria - Compartilhamento de informações - Desenvolvimento em conjunto - Complacente - Preço não é um problema 	<ul style="list-style-type: none"> - Demanda previsível dentro de contrato - Entrega regular - Foco em eficiência de baixo custo - Múltiplas fontes de suprimento - Pouco compartilhamento de informações - Mais antagônico - Processos padronizados - Poder imposto - Transacional - Muito sensível ao preço 	<ul style="list-style-type: none"> - Demanda imprevisível - Relacionamento pouco personalizado ou não customizado - Prioridade para o tempo/urgência - Foco na oportunidade - Fonte de suprimento pulverizada - Baixa lealdade, impessoal - Menos processos - Orientado pelo resultado - Transações comerciais baseadas no pragmatismo - Consciência de preço 	<ul style="list-style-type: none"> - Entrega com prazo específico - Sistemas de reserva de estoque - Entregas completas - Acelerar se necessário - Processos padrão - Embalagens especiais - Transportes especiais se necessário - Preço fixo - Evitar atrasos - Mitigação de riscos - Supervisão sistemática e detalhada 	<ul style="list-style-type: none"> - Demanda muito imprevisível - Risco mais alto - Resposta flexível - Foco na inovação - Mudança rápida - Tomada de decisão individual - Orientado para solução - Gerenciamento da propriedade intelectual - Incentivos/ego - Nenhuma sensibilidade ao preço

Fonte: Adaptado de Gattorna (2015)

O ponto chave para o desenvolvimento de uma cadeia de suprimentos que atenda às necessidades dos clientes de forma satisfatória é entender o *mix* destes segmentos comportamentais para um dado mercado (GATTORNA, 2015). Esta tarefa, uma vez realizada, proporciona a possibilidade de segmentar os clientes de forma que as proposições de valor apropriadas sejam feitas para atender este cenário de múltiplas cadeias de suprimentos (CHRISTOPHER; GATTORNA, 2005). A partir destes cinco comportamentos de compra, Gattorna (2015) propôs um modelo com cinco tipos de cadeia: Reabastecimento Contínuo, Enxuta, Ágil, Campanha e Totalmente Flexível. Cada uma com características específicas para atender cada tipo de comportamento de compras, conforme a Figura 10.

Figura 10 - Os cinco tipos genéricos de cadeia de suprimentos

Fonte: Adaptada de Gattorna (2015)

Para Gattorna (2015) a complexidade da gestão pode ser reduzida se a segmentação pelo comportamento de compras for adotada. Para o autor, a flexibilidade pode ser atingida por meio de múltiplos alinhamentos, desenvolvendo uma estrutura organizacional híbrida capaz de lidar com os vários comportamentos de compras. Assim, caso algum cliente mude seu comportamento de compras sob a pressão de novas condições operacionais, torna-se simples movê-lo para outro segmento. A Figura 11 mostra os detalhes de cada combinação de cadeia de suprimentos, a proposta de valor e o comportamento de compra do cliente.

2.1.2.1 Os cinco tipos de cadeia de suprimentos

As cadeias de suprimento do tipo colaborativas têm como característica a cooperação entre clientes e fornecedores e é baseada em confiança mútua. A cadeia enxuta tem foco no aumento da eficiência e redução de custos e desperdícios onde for possível. A cadeia de suprimentos ágil visa manter alta responsividade em situações de imprevisibilidade da demanda. A cadeia de suprimentos do tipo campanha é projetada para atender a demanda de produtos e serviços gerada por projetos. Por fim a cadeia de suprimentos totalmente flexível é aquela em que os clientes contam com soluções inovadoras por parte dos fornecedores (GATTORNA, 2015).

Figura 11 - Alinhamento das proposições de valor das cadeias de suprimentos

Fonte: Adaptada de Gattorna (2015)

Nas cadeias colaborativas, os clientes são leais e esperam um alto nível de comprometimento com o nível de serviço prestado pelo fornecedor. O comportamento de compras predominante é o colaborativo. Este é um comportamento altamente previsível, no qual os clientes demandam entregas regulares e os produtos em geral já são maduros. Estes clientes estão em um mercado que prefere não correr riscos e no qual a confiança é prioritária no relacionamento.

Neste tipo de cadeia todos os participantes contribuem para a redução dos custos de operação e o atendimento da demanda, aperfeiçoando continuamente seus tempos de entrega e serviços.

A cadeia de suprimentos enxuta, apesar de ter foco em redução de custos e desperdícios, diferencia-se da cadeia de suprimentos colaborativa no que se refere à cooperação, uma vez que nem todas as partes da cadeia enxuta serão colaborativas (GATTORNA, 2015). O baixo custo é alcançado ao assegurar que os clientes não sejam super-atendidos. Busca-se também redução de custo por intermédio da busca da perfeição dos

processos e da melhoria contínua (LAMMING, 1996). Neste tipo de cadeia há um baixo nível de compartilhamento de informações entre a empresa e o cliente. Entretanto, para serem eficientes, as cadeias de suprimentos enxutas precisam da colaboração dos fornecedores (GATTORNA, 2015).

Os clientes da cadeia de suprimentos enxuta, diferentemente dos clientes da cadeia colaborativa, são muito sensíveis ao preço e tendem a buscar a opção mais barata, tornando este tipo de cadeia de suprimentos muito transacional. Pouca informação é compartilhada, o que limita a possibilidade de outras propostas de valor. Uma proposição de valor para esta cadeia é oferecer aos clientes um serviço padrão e confiável, buscando a padronização de componentes de forma a reduzir custos (GATTORNA, 2015).

Cadeias de suprimentos ágeis estão presentes em ambientes de negócios nos quais os ciclos de vida do produto são curtos, a variedade de opções dos produtos é grande e há uma intensa movimentação, exigindo uma alta responsividade (GATTORNA, 2015). O comportamento de compras dominante é o de resposta rápida. Os clientes segmentados nesta cadeia de suprimentos buscam respostas rápidas para condições de demanda e suprimentos imprevisíveis, que, com frequência, é uma resposta para compensar a falta de planejamento dos clientes.

A cadeia de suprimentos ágil pode ser definida como uma cadeia de fluxo oscilante. Portanto a capacidade de se produzir utilizando a estratégia MTO ou ATO é crítica para manter a responsividade e atender às exigências dos clientes. A proposta de valor da cadeia ágil é estar pronta para ser responsiva em condições imprevisíveis. Tal condição leva a necessidade de manutenção de capacidade ociosa para atender picos de demanda, entretanto, este nível de capacidade faz parte do custo de operação (GATTORNA, 2015).

A cadeia de suprimentos do tipo campanha é indicada para atender as exigentes condições de serviço que cercam os projetos. Os fornecedores devem gerenciar a entrega do projeto em fases e em tempo hábil. Nesta cadeia, a logística dos materiais, produtos e montagens sendo movimentadas é diferente para cada projeto individual, o que é o oposto da logística típica de produtos movimentados através de canais usuais (GATTORNA, 2015).

Esses projetos em geral tem um intervalo de entrega longo. O processo desta cadeia inicia-se com a fase de desenvolvimento do cronograma do projeto que, tem como saída, o processo de desenvolvimento do projeto do produto, compras e fabricação. A grande dificuldade enfrentada é garantir a entrega do produto em uma única entrega ou atender as entregas das fases do projeto de acordo com o cronograma estabelecido.

Como os equipamentos projetados tem um prazo de entrega longo e uma data específica para a entrega, a cadeia do tipo campanha lida com necessidades imprevistas em momentos próximos à entrega, necessitando que atividades com características ágeis ou totalmente flexíveis sejam desempenhadas (GATTORNA, 2015).

As cadeias de suprimentos totalmente flexíveis são aquelas que se estruturam para atender necessidades imprevisíveis e impossíveis de serem planejadas. É uma cadeia de suprimentos que busca soluções definitivas e criativas para situações incomuns, evitando, assim, rupturas e prejuízos à própria competitividade (GATTORNA, 2015).

Estas cadeias de suprimentos geram um alto custo se configuradas para o fornecimento de rotina, entretanto possuem habilidades para mitigar o risco e assegurar a continuidade do negócio, fornecendo soluções para eventos transitórios e não correntes. Os clientes desta cadeia de suprimentos demonstram, em geral, comportamentos de compras colaborativos e baixo custo, entretanto, em momentos de crise buscam soluções inovadoras, em um curto espaço de tempo.

Para responder a circunstâncias extremas, as cadeias de suprimentos totalmente flexíveis são configuradas em torno de princípios como a diminuição de risco e mobilização para alcançar a maior responsividade possível por períodos curtos.

O modelo proposto por Gattorna (2015), apesar de muito normativo, mostra-se impreciso no contexto da tomada de decisão. Os fatores que são avaliados para a escolha da melhor estratégia para uma dada cadeia de suprimentos são baseados em opiniões, portanto carregados de incertezas e imprecisão. A teoria dos conjuntos *fuzzy* é um método efetivo para lidar com variáveis linguísticas e lidar com tomada de decisão em situações complexas (CELIK et al., 2015) e será descrita no tópico seguinte.

2.2 TEORIA DOS CONJUNTOS FUZZY

A teoria dos conjuntos *fuzzy* (ZADEH, 1965) tem sido utilizada para modelar o processo de tomada de decisão baseado em informações incertas ou imprecisas, tais quais os julgamentos de gestores ou tomadores de decisão (BANAEIAN et al., 2016; LIMA JUNIOR; OSIRO; CARPINETTI, 2014).

Von Altrock (1997) define sistemas especialistas como sistemas que contém um conjunto de regras que consegue analisar e responder casos. Muitas aplicações podem ser encontradas na literatura nos campos de Gestão da Cadeia de Suprimentos, incluindo gestão

da produção, qualidade e análise de custo benefício, nas quais a indisponibilidade de informações completas, referências precisas e dados confiáveis as tornam ainda mais interessantes (KUMAR et al., 2013).

De acordo com Zadeh (1973), as técnicas de análise de sistemas convencionais são intrinsicamente inadequadas para lidar com sistemas humanísticos ou qualquer sistema no qual a complexidade pode ser comparada a um sistema humanístico. A abordagem proposta pelo autor é baseada na premissa de que elementos chave do pensamento humano não são números, mas sim rótulos de conjuntos *fuzzy*, ou seja, classes de objetos nos quais a transição entre as funções de pertencimento são graduais ao invés de abruptas.

De acordo com Zimemermann (2001) há três razões principais para a utilização da teoria dos conjuntos *fuzzy* para sistemas especialistas:

- a) a utilização de variáveis linguísticas tornam mais naturais as interfaces dos sistemas tanto com os especialistas quanto com o usuário;
- b) a base de conhecimento de um sistema especialista tem como característica principal ser um repositório do conhecimento humano, o qual é impreciso por natureza. Em geral, a base de conhecimento de um sistema especialista é uma coleção de regras e fatos que, em sua maioria, não são nem totalmente certas nem consistentes. O armazenamento deste conhecimento utilizando-se conjuntos *fuzzy* parece ser muito mais apropriado que o uso de conceitos *crisp* e simbolismo;
- c) a incerteza armazenada na base de conhecimento induz a conclusões incertas. Portanto, a máquina de inferência deve estar equipada de capacidade computacional para analisar a transferência de incerteza das premissas para as conclusões, além de associar as conclusões com alguma medida que possa ser compreendida e interpretada propriamente pelo usuário.

2.2.1 Conjuntos *fuzzy*

O conceito de conjunto ou coleção de objetos são comuns ao dia-a-dia. O pertencimento de um objeto a um dado conjunto depende de uma propriedade que permita considerar os objetos como um todo. Os objetos em um conjunto são denominados elementos ou membros do conjunto (BOJADZIEV; BOJADZIEV, 2007). Conjuntos também são conhecidos por ordinários ou *crisp*, de forma a serem distintos de conjuntos *fuzzy*. Por *crisp* denota-se um tipo de conjunto no qual o pertencimento segue a lógica booleana, com

alternativas do tipo pertencente ou não pertencente (ZIMMERMANN, 2001). Os conjuntos *fuzzy*, ao invés de utilizar este tipo de definição de pertencimento rígida, considera a possibilidade de diferentes graus de pertencimento ao conjunto, aceitando membro “mais-ou-menos” pertencentes (VON ALTROCK, 1997).

De acordo com Bojadziev e Bojadziev (2007), um conjunto *crisp* $A \subset U$, pode ser estabelecido pelo conceito da função de pertinência $\mu_A(x)$, tomando somente dois valores, 1 e 0, indicando se $x \in U$.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } x \in A, \\ 0 & \text{se } x \notin A. \end{cases} \quad (1)$$

Um exemplo pode ser a determinação do prazo de entrega de um produto. Se considerarmos uma semana como um prazo de entrega curto, a lógica *crisp* determina que prazos de entrega superiores a 7 dias são longos. Portanto, caso a entrega do produto ocorra em um prazo $P_1 = 14$ dias, o prazo de entrega será considerado longo, tal qual se a entrega fosse realizada em um prazo $P_2 = 8$ dias, uma vez que em ambos os casos a função de pertinência é $\mu_1 = \mu_2 = 1$, observado na Figura 12.

Figura 12 - Função de pertinência para o conjunto de tempos de entrega longos

Fonte: Adaptado de Bojadziev e Bojadziev (2007)

Para descrever transições graduais, Zadeh (1965) introduziu graduações entre 0 e 1 e o conceito de pertencimento graduado. Na teoria dos conjuntos *fuzzy*, considerando-se um conjunto *crisp* A do universo U , um conjunto *fuzzy* $\mathcal{A}$ é definido como uma coleção de pares ordenados:

$$\mathcal{A} = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in A, \mu_A(x) \in [0,1]\} \quad (2)$$

onde $\mu_A(x)$ é uma função chamada função de pertinência, a qual especifica o grau que um dado elemento em x pertence ao conjunto *fuzzy* $\mathcal{A}$, onde x é um número real (BOJADZIEV; BOJADZIEV, 2007; ZIMMERMANN, 2001).

Utilizando-se a teoria dos conjuntos *fuzzy*, poderíamos considerar uma função de pertinência ao conjunto de prazos de entrega longos. O prazo de entrega $P_1 = 14$ dias continuaria sendo considerado um prazo de entrega alto, entretanto, o prazo de entrega $P_2 = 8$ dias teria pertinência menor ao conjunto dos prazos de entrega altos.

Figura 13 - Função de pertinência fuzzy para o conjunto de prazo de entrega longos

Fonte: Adaptado de Von Altrock (1997)

2.2.2 Variáveis linguísticas e funções de pertinência

As variáveis linguísticas são o “vocabulário” de um sistema de lógica *fuzzy*. Elas são capazes de representar a forma que o raciocínio humano avalia situações numéricas (VON ALTROCK, 1997). Uma variável linguística é caracterizada por uma quintupla $(x, T(x), U, G, \tilde{M})$, na qual x é o nome da variável, $T(x)$ ou simplesmente T representam o conjunto de nomes dos valores linguísticos de x (rótulos), com cada valor sendo uma variável *fuzzy* denotada genericamente por X e variando em um universo de discurso U que está associado com uma base de variáveis u . G é uma regra sintática, usualmente na forma gramática, para a geração do nome, X , das variáveis de x . $\tilde{M}$ é uma regra semântica para associação de X com seu significado, $\tilde{M}(X)$, que é um subconjunto *fuzzy* de U (ZIMMERMANN, 2001).

Zadeh (1973) exemplifica a utilização de uma variável linguística a seguir. Considerando X uma variável linguística com rótulo “Idade”, no qual $U = [0, 100]$. Como termos da variável linguística, que são conjuntos *fuzzy*, “velho”, “jovem”, “muito velho” e

assim por diante. A variável base u representa a idade em anos de vida. $\tilde{M}(X)$ é a regra que define um sentido, ou seja, ou conjunto *fuzzy* para os temos:

$$\tilde{M}(\text{velho}) = \{(u, \mu_{\text{velho}}(u)) | u \in [0, 100]\} \quad (3)$$

onde:

$$\mu_{\text{velho}}(u) = \begin{cases} 0 & u \in [0, 50] \\ \left(1 + \left(\frac{u-50}{5}\right)^{-2}\right)^{-1} & u \in (50, 100] \end{cases} \quad (4)$$

$T(x)$ define o conjunto de termos da variável (x), podendo definir-se para o caso exemplificado como:

$$T(\text{Idade}) = \{\text{muito velho}, \text{velho}, \text{jovem}, \text{muito jovem}\} \quad (5)$$

onde $G(x)$ é uma regra que gera os rótulos dos termos no conjunto de termos.

Figura 14 - Hierarquia da variável linguística idade

Uma função triangular com função de pertinência $\mu_A(x)$ é definida em R pela equação 6, sendo m o valor de x para o máximo grau de pertencimento, em geral $\mu_A(x) = 1$; a e b os limites do intervalo, respectivamente inferior e superior, onde $\mu_A(x) = 0$.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x < a \\ \frac{x-a}{m-a}, & \text{se } x \in [a, m) \\ \frac{b-x}{b-m}, & \text{se } x \in [m, b] \\ 0, & \text{se } x > b \end{cases} \quad (6)$$

Funções triangulares são utilizadas frequentemente em aplicações nas áreas de tomada de decisão, finanças e ciências sociais. Ela possui uma função de pertinência que consiste em dois segmentos lineares unidos em um pico, o que torna fácil a operação e representação gráfica, além de poderem ser construídas com base em poucas informações (BOJADZIEV; BOJADZIEV, 2007).

Figura 15 - Função triangular

Fonte: Adaptado de Osiro, Lima-Junior e Carpinetti (2014)

Uma função trapezoidal com função de pertinência $\mu_A(x)$ é definida em R pela Equação 7, sendo m e n o intervalo no qual o grau de pertencimento é máximo, em geral $\mu_A(x) = 1$; a e b são os limites do intervalo, respectivamente inferior e superior, com $\mu_A(x) = 0$.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x < a \\ \frac{x-a}{m-a}, & \text{se } x \in [a, m) \\ 1, & \text{se } x \in [m, n] \\ \frac{b-x}{b-n}, & \text{se } x \in [n, b] \\ 0, & \text{se } x > b \end{cases} \quad (7)$$

Figura 16 - Função Trapezoidal

Fonte: Adaptado de Osiro, Lima-Junior e Carpinetti (2014)

Uma grande variedade de funções de pertinência foram propostas na literatura científica. Entretanto, a maioria das aplicações práticas se atém a utilizar funções de pertencimento padrão, como as descritas anteriormente. A utilização da função padrão tem inúmeras vantagens, por exemplo, são funções simples e precisas o suficiente para representar a maioria dos sistemas de decisão. São fáceis de interpretar e são computacionalmente mais eficientes para a maioria das plataformas de hardware (VON ALTROCK, 1997).

Von Altrock (1997) denomina as funções triangulares e trapezoidais como funções lineares e sugere quatro passos para a definição de uma função linear:

Passo 1: para cada termo, defina o valor que melhor representa o significado linguístico do termo. O valor mais típico de cada termo recebe o grau de pertencimento $\mu = 1$.

Passo 2: para cada termo onde o termo adjacente a ele tenha seu maior valor típico, defina o grau de pertencimento $\mu = 0$.

Passo 3: conecte o ponto $\mu = 1$ com os pontos $\mu = 0$ com linhas retas. O resultado é uma função triangular.

Passo 4: para os termos mais a direita e mais a esquerda não há termos externos, portanto todo valor além dele deve possuir total pertencimento, ou seja $\mu = 1$.

2.2.3 Operações com conjuntos *fuzzy*

As funções de pertinência são um componente crucial de um conjunto *fuzzy*. As operações com conjuntos *fuzzy* são definidas através de suas funções de pertinência (ZIMMERMANN, 2001).

Na interseção, o grau de pertencimento $\mu_C(x)$ de uma interseção $C = A \cap B$ é definido pelos valores mínimos entre $\mu_A(x)$ e $\mu_B(x)$, de acordo com a Expressão 8:

$$\mu_C(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad , x \in X \quad (8)$$

Na união, o grau de pertencimento $\mu_D(x)$ de uma interseção $D = A \cup B$ é definido pelos valores máximos entre $\mu_A(x)$ e $\mu_B(x)$, de acordo com a Expressão 9:

$$\mu_D(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad , x \in X \quad (9)$$

No complemento, o grau de pertencimento $\mu_{\bar{A}}(x)$ de um conjunto *fuzzy* normalizado A é definido pela subtração de $\mu_A(x)$ de 1, de acordo com a expressão 10:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad , x \in X \quad (10)$$

Para Zimmermann (2001), outros operadores podem ser utilizados como o operador lógico de “e” e “ou” e essas aplicações podem variar em relação a generalidade ou adaptabilidade dos operadores. Os operadores utilizados para interseção são chamados de t-norma e os operadores utilizados para a união são chamados de t-conorma ou s-norma.

t-normas são operações binárias $[0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ que satisfazem as seguintes condições:

1. $t(0,0) = 0; t(\mu_{\bar{A}}(x), 1) = t(1, \mu_{\bar{A}}(x)) = \mu_{\bar{A}}(x), \quad x \in X$
2. $t(\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(x)) \leq t(\mu_{\bar{C}}(x), \mu_{\bar{D}}(x))$ se $\mu_{\bar{A}}(x) \leq \mu_{\bar{C}}(x)$ e $\mu_{\bar{B}}(x) \leq \mu_{\bar{D}}(x)$ (monotonicidade)
3. $t(\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(x)) = t(\mu_{\bar{B}}(x), \mu_{\bar{A}}(x))$ (comutatividade)
4. $t(\mu_{\bar{A}}(x), t(\mu_{\bar{B}}(x), \mu_{\bar{C}}(x))) = t(t(\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(x)), \mu_{\bar{C}}(x))$ (associatividade)

As funções t definem uma classe geral de operadores de interseção para conjuntos *fuzzy*. Os operadores pertencentes a essa classe t-norma são, em particular, associativos e, portanto, é possível computar os valores de pertencimento a partir de uma interseção de mais de dois conjuntos *fuzzy* ao aplicar recursivamente um operador t-norma. O produto algébrico e o produto limitado são exemplos de t-norma.

Produto algébrico:

$$\mu_C(x) = \mu_A(x) * \mu_B(x) \quad (11)$$

Produto limitado:

$$\mu_C(x) = \max(0; \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1) \quad (12)$$

Zimmermann e Zysno (1980) propuseram um operador do tipo “e” compensatório nomeado como Operador Gama que se coloca entre os operadores do tipo “e” e “ou” com o parâmetro γ indicando o grau de compensação entre o operador *max* e *min*.

Operador Gama:

$$\mu = \left(\prod_{i=1}^m \mu_i \right)^{(1-\gamma)} \cdot \left(1 - \prod_{i=1}^m (1 - \mu_i) \right)^{\gamma} \quad (13)$$

S-normas são operações binárias $[0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ que satisfazem as seguintes condições:

1. $s(1,1) = 1$; $s(\mu_{\bar{A}}(x), 0) = s(0, \mu_{\bar{A}}(x)) = \mu_{\bar{A}}(x)$, $x \in X$
2. $s(\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(x)) \leq s(\mu_{\bar{C}}(x), \mu_{\bar{D}}(x))$ se $\mu_{\bar{A}}(x) \leq \mu_{\bar{C}}(x)$ e $\mu_{\bar{B}}(x) \leq \mu_{\bar{D}}(x)$ (monotonicidade)
3. $s(\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(x)) = s(\mu_{\bar{B}}(x), \mu_{\bar{A}}(x))$ (comutatividade)
4. $s(\mu_{\bar{A}}(x), s(\mu_{\bar{B}}(x), \mu_{\bar{C}}(x))) = s(s(\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(x)), \mu_{\bar{C}}(x))$ (associatividade)

São exemplos de s-norma a soma algébrica e a soma limitada.

Soma algébrica:

$$\mu_C(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) * \mu_B(x) \quad (14)$$

Soma limitada:

$$\mu_C(x) = \min(1; \mu_A(x) + \mu_B(x)) \quad (15)$$

2.2.4 Relações *fuzzy*

As relações *fuzzy* são subconjuntos *fuzzy* de $X \times Y$, denotado por $\mathcal{R}$, representando o mapeamento de $X \rightarrow Y$. Podem ser definidas como o conjunto:

$$\mathcal{R} = \{((x, y), \mu_{\mathcal{R}}(x, y)) \mid (x, y) \in X \times Y, \mu_{\mathcal{R}}(x, y) \in [0, 1]\} \quad (16)$$

onde $\mu_{\mathcal{R}}(x, y)$ é a função de pertinência. Esta função fornece o grau de pertencimento do par ordenado (x, y) em $\mathcal{R}$, associando a cada par (x, y) em $X \times Y$ um número real no intervalo $[0, 1]$. O grau de pertencimento indica o grau no qual x está em relação a y (BOJADZIEV; BOJADZIEV, 2007; ZIMMERMANN, 2001).

As relações *fuzzy* em comparação com as relações clássicas possuem expressivo poder enquanto relacionam x e y devido a função de pertencimento $\mu_{\mathcal{R}}(x, y)$, a qual designa valores específicos (graus) para cada par (x, y) . Relações linguísticas comuns que podem ser descritas por relações *fuzzy* apropriadas são: x é muito maior que y , x é muito perto de y , x é relevante para y , x é quase igual a y , e assim por diante (BOJADZIEV; BOJADZIEV, 2007).

2.2.5 Composição de relações *fuzzy*

As relações *fuzzy* podem ser combinadas utilizando-se a operação de composição. Diferentes versões de composição foram sugeridas, as quais podem diferir nos resultados e também nas propriedades matemáticas. A composição *max-min* tornou-se a mais conhecida e utilizada, entretanto as composições *max-product* ou *max-average* levam a resultados mais relevantes (ZIMMERMANN, 2001).

Considerando $\tilde{R}_1(x, y), (x, y) \in X \times Y$ e $\tilde{R}_2(y, z), (y, z) \in Y \times Z$ como duas relações *fuzzy*:

Composição *max-min*:

$$\tilde{R}_1 \circ \tilde{R}_2 = \left\{ \left[(x, z), \max_y \left\{ \min \{ \mu_{\tilde{R}_1}(x, y), \mu_{\tilde{R}_2}(y, z) \} \right\} \right] \mid x \in X, y \in Y, z \in Z \right\} \quad (17)$$

Composição *max-prod*:

$$\tilde{R}_1 \cdot \tilde{R}_2(x, z) = \left\{ \max_y [\mu_{\tilde{R}_1}(x, y) \cdot \mu_{\tilde{R}_2}(y, z)] \mid x \in X, y \in Y, z \in Z \right\} \quad (18)$$

Composição *max-average*:

$$\tilde{R}_1 \circ_{av} \tilde{R}_2(x, z) = \frac{1}{2} \cdot \max_y [\mu_{\tilde{R}_1}(x, y) \cdot \mu_{\tilde{R}_2}(y, z) | x \in X, y \in Y, z \in Z] \quad (19)$$

2.3 SISTEMAS DE INFERÊNCIA FUZZY

O objetivo dos sistemas de inferência *fuzzy* – Fuzzy Inference System (FIS) ou Fuzzy Logic Control (FLC) – é controlar processos complexos através da experiência humana (ZIMMERMANN, 2001). Sistemas complexos envolvem vários tipos de imprecisão e, sem dúvidas, representam um desafio enorme para o desenvolvimento dos modelos. Isto é especialmente válido para as áreas de negócios, finanças e sistemas de gestão, as quais envolvem uma grande quantidade de fatores, alguns de natureza sócio-psicológica (BOJADZIEV; BOJADZIEV, 2007).

Para simular o julgamento humano, os FIS utilizam valores linguísticos organizados em regras do tipo “se... então”. A implementação do FIS requer o desenvolvimento de uma base de conhecimento que possibilite a estipulação de regras utilizando-se os conjuntos *fuzzy* (BOJADZIEV; BOJADZIEV, 2007).

Os FIS são efetivos quando boas soluções são suficientes, não sendo indicado para encontrar soluções ótimas. A Figura 17 apresenta um diagrama de blocos de um FIS. Percebe-se que a entrada do diagrama é um número do tipo *crisp*, vindo dos dados reais que após de serem tratados na ferramenta tem a possibilidade de sair novamente como números *crisp*.

Figura 17 - Diagrama de blocos para sistema de inferência fuzzy (FIS)

Fonte: Bojadziev e Bojadziev (2007)

2.3.1 Regras de inferência

Todo o conhecimento do projetista do FIS sobre o processo a ser controlado é armazenado no formato de regras de inferência, ou regras de controle, da base de conhecimento. Portanto, as regras tem grande influência no comportamento do sistema, logo devem ser modeladas cuidadosamente (ZIMMERMANN, 2001).

O número de variáveis linguísticas combinados com o número de termos de cada variável linguística determina a quantidade de regras de controle possíveis.

As regras de controle conectam as variáveis de entrada com as variáveis de saída e são baseadas na descrição dos termos da variável linguística *fuzzy*. As variáveis de entrada representam as m condições e as variáveis de saída representam os consequentes da regra de controle (BOJADZIEV; BOJADZIEV, 2007; ZIMMERMANN, 2001).

Considerando como variáveis linguísticas de entrada que contém certa quantidade de termos $\mathcal{A}$ e $\mathcal{B}$, e considerando $\mathcal{C}$ como variável linguística de saída com certa quantidade de termos, definimos:

$$\mathcal{A} = \{\mathcal{A}_1, \dots, \mathcal{A}_i, \mathcal{A}_{i+1}, \dots, \mathcal{A}_n\} \quad (20)$$

$$\mathcal{B} = \{\mathcal{B}_1, \dots, \mathcal{B}_i, \mathcal{B}_{i+1}, \dots, \mathcal{B}_n\} \quad (21)$$

$$\mathcal{C} = \{\mathcal{C}_1, \dots, \mathcal{C}_i, \mathcal{C}_{i+1}, \dots, \mathcal{C}_n\} \quad (22)$$

e os termos $\mathcal{A}_i$, $\mathcal{B}_i$ e $\mathcal{C}_i$ como conjuntos *fuzzy* definidos como:

$$\mathcal{A}_i = \{(x, \mu_{\mathcal{A}_i}(x)) | x \in \mathcal{A}_i \subset U_1\}, \quad i = 1, \dots, n \quad (23)$$

$$\mathcal{B}_j = \{(x, \mu_{\mathcal{B}_j}(x)) | x \in \mathcal{B}_j \subset U_2\}, \quad j = 1, \dots, n \quad (24)$$

$$\mathcal{C}_k = \{(x, \mu_{\mathcal{C}_k}(x)) | x \in \mathcal{C}_k \subset U_3\}, \quad k = 1, \dots, n \quad (25)$$

podemos definir regras de inferência com o formato:

$$\text{Se } x \text{ é } \mathcal{A}_i \text{ e } y \text{ é } \mathcal{B}_j \text{ então } k \text{ é } \mathcal{C}_k \quad (26)$$

2.3.2 Controlador Lógico Fuzzy do tipo Mamdani

Mamdani e Assilian (1975) propuseram um sistema capaz de flexibilizar a lógica booleana ao descrever os estados dos processos por meio de variáveis linguísticas e utilizar estas variáveis como entradas para as regras de inferência.

O Controlador Lógico *Fuzzy* do tipo Mamdani pode ser utilizado como um sistema de suporte à decisão (GARCÍA et al., 2013) e vem sendo utilizado em uma variedade de problemas como análise de ciclo de vida ou análise de riscos (JUNIOR; OSIRO; CARPINETTI, 2013).

O processo de inferência inicia-se com a atribuição de termos para as variáveis de entrada. Em um sistema de avaliação da satisfação dos clientes, por exemplo, possíveis variáveis base são: o tempo de entrega do produto, porcentagem de desconto e a satisfação. A variável “tempo de entrega” poderia consistir nos termos “baixo”, “médio” e “alto”. As regras conectam as variáveis de entrada com as variáveis de saída e são baseadas na descrição do estado da variável, obtidos pela definição dos termos das variáveis linguísticas.

Um exemplo das regras do FIS seria:

Se o “tempo de entrega” é “alto” e o “desconto” é “baixo” então a “satisfação” é “baixa”.

De acordo com Zimmermann (2001), a definição das variáveis linguísticas e regras são os passos principais para a implementação de um controlador Mamdani. Já o núcleo computacional pode ser descrito em um processo de três passos, que consistem em:

1. Determinação do grau de pertencimento nos antecedentes da regra;
2. Determinação dos consequentes das regras;
3. Agregação dos consequentes das regras em um conjunto *fuzzy*.

O primeiro passo é calcular os graus de pertencimento dos valores de entrada nos antecedentes das regras. O controlador de Mamdani aplica o operador *min* para o operador lógico “e” para o cálculo, conforme a Equação 27 onde i indica a variável linguística e j representa o termo da variável linguística i .

$$\mu_r^{conseq}(u) = \min_{i=1,\dots,n} \{ \mu_i^{j_i}(x_i^{entrada}) \} \quad (27)$$

Este conceito habilita o segundo passo, ou seja, a obtenção da validade dos consequentes das regras. Assume-se que regras com um baixo grau de pertencimento no antecedente, também possui pouca validade e, portanto, coloquem os conjuntos *fuzzy* consequentes a altura do grau de pertencimento do antecedente, formalmente:

$$\mu_r^{conseq}(u) = \min \{ \alpha_r, \mu^j(u) \} \quad (28)$$

O resultado deste processo de avaliação é obtido pelo terceiro passo, agregação de todos os consequentes, utilizando-se o operador *max*. O conjunto *fuzzy* da ação de saída é calculado através da Equação 29.

$$\mu_r^{conseq}(u) = \max \{ \mu_r^{conseq}(u) \} \quad (29)$$

2.3.3 Defuzzificação

Em termos específicos, o processo de *defuzzificação* se resume ao uso de métodos apropriados que permitem traduzir o conjunto *fuzzy* resultante em um único valor *crisp* (DOBROSIELSKI; SZCZEPA; ZARZYCKI, 2016). Este passo se faz necessário em sistemas nos quais a resposta esperada precisa ser numérica em vez de linguística (VON ALTROCK, 1997). Os principais métodos de *defuzzificação* envolvem ou operações de máximo ou de área (DOBROSIELSKI; SZCZEPA; ZARZYCKI, 2016).

São exemplos de métodos de *defuzzificação* que utilizam operações de máximo as estratégias LOM – esquerda do máximo, ROM – direita do máximo e COM – centro do máximo (ZIMMERMANN, 2001). Estes métodos oferecem boa eficiência computacional (VON ALTROCK, 1997).

São exemplos de métodos de *defuzzificação* que utilizam operações de área o COA – centro de área e o COG – centro de gravidade (H.J. ZIMMERMANN, 2001). De acordo com Von Altrock (1997), são métodos com baixa eficiência computacional, uma vez que utilizam integração numérica das áreas das funções de pertencimento.

Para Von Altrock (1997), para selecionar o método de *defuzzificação* adequado, é necessário entender o significado linguístico que fundamenta o processo. O autor divide os métodos de *defuzzificação* em dois grupos: melhor compromisso e resultado mais plausível.

O grupo de métodos de melhor compromisso inclui o COA, COG e o COM. Estes métodos são os mais indicados para a maioria dos casos, uma vez que todos os termos ativados contribuem para o resultado *crisp* encontrado. Este tipo de método é mais indicado para decisões quantitativas, uma vez que, por ser contínuo, uma pequena alteração em uma variável de entrada não causa mudança abrupta na variável da saída. São exemplos de

possíveis aplicações: alocação orçamentária, avaliação da capacidade de crédito de um cliente ou priorização de projetos (SIMÕES; SHAW, 2007; VON ALTROCK, 1997).

O grupo de métodos do tipo resultado mais plausível, apesar de não ser recomendado para a maioria dos casos, é muito eficaz em situações onde um resultado médio pode levar a decisões incoerentes. Von Altrock (1997) sugere um exemplo de um motorista dirigindo um carro que se depara com uma bifurcação, como opções ele pode tomar a direita ou à esquerda, entretanto, ao combinar estas duas regras com mesmo peso, o resultado final seria seguir em frente, ou seja, uma decisão imprópria. Os métodos do tipo resultado mais plausível consideram somente o valor mais típico do termo mais válido, ou seja, com maior grau de pertinência. Estes métodos são mais adequados para aplicações qualitativas como detecção de fraudes de cartão de crédito ou segmentação de clientes.

Matematicamente, a *defuzzificação* é o mapeamento de um vetor dos valores da variável linguística para um número real. Portanto o processo de *defuzzificação* envolve a redução de informação. Em algumas aplicações de reconhecimento de padrões a *defuzzificação* não é necessária. O vetor dos graus de pertencimento para a variável linguística é o resultado da classificação, uma vez que define a similaridade do sinal de entrada com o objeto comparado (SIMÕES; SHAW, 2007; VON ALTROCK, 1997).

2.4 APLICAÇÃO DA TEORIA DOS CONJUNTOS *FUZZY* AO PROCESSO DE SEGMENTAÇÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Através do referencial bibliográfico percebe-se que a tarefa de segmentar a cadeia de suprimentos não é trivial. Encontram-se muitos modelos normativos e poucos estudos com aplicação em ambientes reais (GODSELL et al., 2011). A escola enxuta-ágil apresenta três possibilidades de configuração da cadeia de suprimentos, propondo variáveis relacionadas aos produtos como fonte de informação para a segmentação da cadeia de suprimentos. A escola do alinhamento dinâmico propõe um modelo de segmentação da cadeia de suprimentos mais robusto, entretanto, a aplicação do modelo à realidade das empresas mostra-se complexo, principalmente pelo fato de basear-se em questões que resultam em respostas vagas e imprecisas.

Este trabalho buscou combinar as melhores características das duas escolas de segmentação da cadeia de suprimentos. Buscou-se na literatura uma opção viável para lidar com a imprecisão, aplicando-se a teoria dos conjuntos *fuzzy* às variáveis DWV³ e

aproveitando-se da qualidade das caracterizações das cadeias propostas pela escola do alinhamento dinâmico. No capítulo seguinte apresenta-se o método de pesquisa aplicado.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Os métodos de pesquisa utilizados no trabalho podem ser agrupados em dois conjuntos: pesquisa bibliográfica e desenvolvimento de modelo quantitativo.

Anteriormente ao desenvolvimento da proposta do trabalho, que é um modelo quantitativo, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre os temas relevantes ao desenvolvimento do modelo. A pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já publicado, constituído em sua maioria por livros e artigos científicos (GIL, 2010). Para a realização deste trabalho foram analisados livros, artigos científicos de periódicos, anais de eventos científicos, teses e documentos disponibilizados na internet. Utilizou-se as bases de periódicos *Scopus* e *Web of Science*. Os temas buscados foram estratégias e segmentação da cadeia de suprimentos utilizando palavras-chave como “*Supply Chain Management*”, “*Supply Chain Segmentation*”, “*Market Segmentation*”, e também lógica *fuzzy* através de palavras-chave como “*fuzzy logic*”, “*fuzzy methods*” e “*Multi-criteria decision making*”.

Na segunda fase do trabalho foi desenvolvido um modelo quantitativo baseado na lógica *fuzzy* para, a partir de variáveis de entrada selecionadas, possibilitar a segmentação da cadeia de suprimentos. Para Meredith et al. (1989), a pesquisa baseada em modelos quantitativos pode ser classificada como uma abordagem para criação de conhecimento racional. Bertrand e Fransoo (2002) definem que modelos quantitativos baseiam-se em um conjunto de variáveis que variam num domínio específico, ao passo que relações quantitativas e causais são definidas entre estas variáveis. Os autores afirmam que a pesquisa baseada em modelos quantitativos pode ser dividida em axiomática ou empírica.

Nas pesquisas axiomáticas a principal preocupação do pesquisador é obter soluções dentro de um modelo definido e certificar-se que essas soluções são capazes de fornecer maior compreensão sobre a estrutura do problema, tal qual definido no modelo. A pesquisa axiomática produz conhecimento sobre o comportamento das variáveis do modelo e também é capaz de produzir conhecimento de como manipulá-las (BERTRAND; FRANSOO, 2002). A pesquisa axiomática pode ser classificada em descritiva ou normativa. A pesquisa normativa (AN) visa desenvolver políticas, estratégias e ações para melhorar os resultados na literatura existente, encontrar uma solução ótima para um problema recentemente definido ou comparar várias estratégias que abordam um problema específico. A pesquisa axiomática descritiva (AD) visa analisar um modelo que leve a um entendimento e explicação do modelo.

Já as pesquisas empíricas, segundo Bertrand e Fransoo (2002), são impulsionadas por descobertas e medições. Nesta classe, o pesquisador tem como principal preocupação

garantir que exista um modelo que se ajuste às observações e ações no ambiente escolhido. Os autores também dividem esta classe em descritivas e normativas. As pesquisas empíricas descritivas (ED) têm como foco a criação de modelos que descrevam adequadamente as relações causais que possam existir na realidade, levando ao entendimento do processo analisado. As pesquisas empíricas normativas (EN) buscam desenvolver políticas, estratégias e ações para melhorar a situação atual.

Para o desenvolvimento do trabalho, foi necessário adaptar os modelos conceituais DWV³, proposto por Christopher e Towill (2000a), e o modelo de alinhamento dinâmico, proposto por Gattorna (2015). A junção destes modelos serviram como referência para a modelagem da base de regras do sistema de inferência *fuzzy*.

A seguir, são propostos cinco quadros que mostram a relação das características das variáveis tempo de entrega, volume e variabilidade, baseadas no DWV³, aplicadas a cada uma dos cinco tipos de cadeia de suprimentos do modelo do alinhamento dinâmico.

Considerou-se as variáveis linguísticas baixo, médio e alto na análise.

Quadro 2 - Características da cadeia de suprimentos colaborativa

Dimensão estratégica	Característica	Fonte
Tempo de entrega	De médio a alto, o principal valor do cliente é a entrega na data combinada e não especificamente a duração do tempo de entrega	Gattorna (2015, p. 204)
Volume	De médio a baixo, uma vez que produtos maduros tendem ter queda de consumo	Gattorna (2015, p. 203)
Variabilidade	Baixa, altamente previsível através do canal de comunicação entre fornecedor e cliente. O <i>mix</i> de produtos tende ser composto por produtos maduros	Gattorna (2015, p. 203)

Fonte: Proposto pelo autor.

Quadro 3 - Características da cadeia de suprimentos enxuta

Dimensão estratégica	Característica	Fonte
Tempo de entrega	De médio a alto, o cliente busca um prazo de entrega pré-estabelecido, apesar de não compartilhar informações sobre a demanda	Gattorna (2015, p. 243)
Volume	De médio a alto, uma vez que clientes que buscam o menor custo tendem a buscar ganhos de escala	Gattorna (2015, p. 243)
Variabilidade	Baixa, clientes com a mentalidade transacional tendem a comprar produtos maduros e estabelecidos	Gattorna (2015, p. 241)

Fonte: Proposto pelo autor.

Quadro 4 - Características da cadeia de suprimentos ágil

Dimensão estratégica	Característica	Fonte
Tempo de entrega	Baixo, a natureza da demanda requer uma resposta rápida	Gattorna (2015, p. 281)
Volume	Baixo, a falta de planejamento encolhe os tempos de entrega necessários para atendimento da demanda e também encolhe o tamanho dos lotes	Gattorna (2015, p. 283)
Variabilidade	Alta, clientes com mentalidade dinâmica tendem a aumentar a gama de possibilidades de escolha. Esta grande gama gera uma alta variabilidade	Gattorna (2015, p. 283)

Fonte: Proposto pelo autor

Quadro 5 - Características da cadeia de suprimentos de campanha

Dimensão estratégica	Característica	Fonte
Tempo de entrega	Alto, uma vez que há todo o processo de projeto de produto, compras e fabricação, impossibilitando a antecipação de atividades	Gattorna (2015, p. 324)
Volume	Baixo, uma vez que a venda de projetos, em geral, ocupa grande parte da capacidade de fabricação para cada único projeto.	Gattorna (2015, p. 322)
Variabilidade	Alta, cada projeto tem um cliente específico e um projeto de produto diferente.	Gattorna (2015, p. 322)

Fonte: Proposto pelo autor

Quadro 6 - Características da cadeia de suprimentos totalmente flexível

Dimensão estratégica	Característica	Fonte
Tempo de entrega	Baixo, para solução de crise o quanto antes a demanda for suprida, melhor	Gattorna (2015, p. 355)
Volume	Baixo, uma vez que a demanda será suprida uma única vez. Em alguns casos o protótipo é a entrega esperada	Gattorna (2015, p. 354)
Variabilidade	Alta, é impossível prever o que será necessário para solucionar uma possível situação de crise	Gattorna (2015, p. 355)

Fonte: Proposto pelo autor

Com base no exposto, o presente trabalho enquadra-se como uma pesquisa quantitativa axiomática descritiva, conforme ilustrado do Quadro 7. A pesquisa pode ser considerada axiomática, pois o modelo conceitual está apoiado em uma revisão da literatura. O desenvolvimento do modelo utilizou a base teórica, combinando conceitos encontrados tanto na escola enxuta-ágil quanto na escola do alinhamento dinâmico. As variáveis do modelo foram definidas com base nos modelos de segmentação da cadeia de suprimentos existentes e as relações analisadas por meio da lógica *fuzzy*.

O trabalho tem caráter descritivo, uma vez que o modelo desenvolvido utiliza-se das segmentações propostas já desenvolvidas, buscando entender o processo sendo modelado.

Quadro 7 - Classificação do tipo de pesquisa baseado em modelos quantitativos

	Descritiva	Normativa
Empírica	ED	EN
Axiomática	AD	AN

Fonte: Adaptado de Bertrand e Fransoo (2002)

A terceira parte do trabalho consistiu na aplicação prática do modelo de forma a avaliar o desempenho da ferramenta em um ambiente real.

O modelo desenvolvido utiliza os dados de vendas para cada cliente, disponíveis nos sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*), como variáveis de entrada e tem como saída o tipo de cadeia de suprimentos mais adequada para aquele cliente. Para testá-lo, buscou-se no mercado uma empresa que, a partir de suas características de ramo e mercado consumidor, evidenciasse a existências de múltiplas cadeias de suprimentos. A empresa escolhida adequou-se nesse sentido, dado que é clara a sua atuação em mercados distintos: o de fabricação de equipamentos para venda, utilizando a estratégia de fabricação (ETO); o de fabricação de peças de reposição a partir de pedidos de clientes (MTO); a revenda de peças de estoque (MTS) e de fabricação de equipamentos para aluguel, prestando serviços no modelo *Product Service System* (PSS).

Os dados de volume, variabilidade e tempo de entrega foram coletados em uma consulta ao ERP da empresa, obtendo-se o histórico de vendas de um ano.

Para obtenção do volume de vendas, a busca no sistema considerou todos os pedidos de vendas emitidos durante o intervalo pesquisado. O tempo de entrega foi definido pelo intervalo do recebimento do pedido de vendas e o faturamento para o cliente. A variabilidade foi verificada ao analisar a variabilidade de cada item considerando quantidade de vendas a cada mês do ano analisado.

4 MODELO PROPOSTO

O objetivo deste capítulo é apresentar a sistemática para a avaliação da configuração da cadeia de suprimentos que está atendendo a cada cliente. Esse modelo utiliza um sistema de inferência *fuzzy* para o tratamento das variáveis quantitativas e obtenção de informações qualitativas.

A proposta está fundamentada nas duas escolas de pensamento sobre o projeto da cadeia de suprimentos, a enxuta-ágil e a do alinhamento dinâmico, uma vez que, se combinadas, podem proporcionar uma abordagem holística para o desenvolvimento de estratégias da cadeia de suprimentos (GODSELL et al., 2011).

O modelo utiliza como entrada de dados as variáveis DWV³ da escola enxuta-ágil, propostas por Christopher e Towill (2000a), e a variável de saída é o tipo de cadeia de suprimentos que está sendo aplicada para o cliente avaliado, sendo as opções Colaborativa, Enxuta, Ágil, Campanha e Totalmente Flexível, definidas por Gattorna (2015) na escola do alinhamento dinâmico.

O processo de desenvolvimento do modelo foi dividido em quatro passos. Primeiramente fez-se a escolha do procedimento de inferência a ser utilizado. O segundo passo foi identificar quais das variáveis DWV³ possuíam características predominantes para o sistema, seus termos e suas respectivas funções de pertinência. O terceiro passo foi a identificação das variáveis de saída do sistema e os seus termos. O quarto e último passo foi a criação da base de regras do sistema de inferência. Os passos serão detalhados a seguir.

4.1 O PROCEDIMENTO DE INFERÊNCIA

O sistema de inferência adotado no modelo é o tipo Mamdani, uma vez que é amplamente utilizado e testado na literatura, de acordo com Zimmermann (2001) e Bojadziev e Bojadziev (2007).

Escolheu-se o operador Gama na relação de implicação pois ele possibilita um efeito compensatório na implicação, aproximando-se mais o resultado encontrado pelo sistema das decisões humanas. Para a agregação o modelo Mamdani utiliza o operador máximo na agregação.

Utilizou-se o Controlador Lógico Fuzzy do tipo Mamdani pois é indicado para sistemas de suporte à decisão (GARCÍA et al., 2013) e vem sendo aplicado em uma infinidade de casos em empresas (JUNIOR; OSIRO; CARPINETTI, 2013).

Para a implementação do sistema de inferência do modelo foi utilizado o *software* FuzzyTECH 8.30c, em versão de demonstração. Este *software* possui recursos vantajosos como o processo de depuração do sistema de inferência, tanto nas funções de pertencimento quando da base de regras.

4.2 IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA

O primeiro passo para a seleção das variáveis de entrada foi identificar quais das variáveis seriam predominantes para a avaliação da configuração da cadeia de suprimentos para cada cliente.

Os critérios selecionados para a avaliação da cadeia de suprimentos foram: o volume individual de cada SKU vendido a cada cliente, a variabilidade da demanda de cada SKU por cliente e o tempo de entrega médio para o cliente a ser avaliado.

Os outros critérios, ainda que tenham impacto na estratégia da cadeia de suprimentos, não foram considerados de importância primordial. O estágio do ciclo-de-vida de um produto particular não influencia diretamente no planejamento da demanda, entretanto o volume e a variabilidade que o produto apresenta em um determinado ponto do ciclo-de-vida, sim (GODSELL et al., 2011). Para o modelo, a variedade dos itens também é de importância secundária, visto que o sistema de inferência avalia a demanda de cada item individualmente.

A identificação das variáveis pode ser vista no Quadro 8 a seguir.

Quadro 8 - Explicação para inclusão ou exclusão das variáveis DWV³

Variável	Incluída (Sim/Não)	Explicação
Duração do Ciclo de Vida do Produto	Não	Por questões de simplificação do modelo, a duração do ciclo de vida do produto não foi incluída.
Tempo de entrega	Sim	O tempo de entrega do produto é relevante quanto à necessidade de utilização de recursos para o cumprimento do prazo estabelecido.
Volume	Sim	Tem impacto direto na estratégia da cadeia de suprimentos.
Variedade	Não	O modelo proposto mede ao nível dos SKUs, portanto não é relevante.
Variabilidade da demanda	Sim	Tem impacto direto na estratégia da cadeia de suprimentos.

Fonte: Adaptado de Godsell et al. (2011).

Os termos das variáveis *fuzzy* de entrada no sistema de inferência foram representados por funções de pertencimento triangulares e trapezoidais, uma vez que são funções com grande eficiência computacional e são mais simples para serem parametrizadas (ZIMMERMANN, 2001). A quantidade de termos para cada variável é três, seguindo a sugestão de Von Altrock (1997), que afirma que três termos são capazes de simular o pensamento humano sem gerar a necessidade de um número excessivo de regras na base de conhecimento do sistema de inferência.

Os termos utilizados selecionados foram “Baixo”, “Médio” e “Alto”, com parâmetros representados pelo padrão definido na Seção 2.2.2, sendo (a, m, n, b) para as funções trapezoidais e (a, m, b) para as funções triangulares conforme a Figura 18 a seguir. A parametrização do sistema de inferência deve ser realizada com base na análise dos dados de entrada e da experiência de especialistas selecionados na empresa.

Figura 18 - Funções de pertinência das variáveis de entrada

Fonte: Proposto pelo autor.

A variável tempo de entrega médio é representada pelo tempo médio de entrega de um determinado item para o cliente a ser avaliado. Utiliza-se como o tempo de entrega a diferença entre a data de faturamento do item e a data de recebimento do pedido do cliente. A variável volume é representada pelo total de itens comprados pelo cliente durante o intervalo de tempo a ser avaliado. A variabilidade foi representada pelo coeficiente de variação de cada item comprado pelo cliente a ser avaliado. O coeficiente de variação é representado pela equação 31, onde σ representa o desvio padrão da população e μ representa a média.

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \quad (31)$$

Apesar do coeficiente de variação não ser a medida perfeita da previsibilidade da demanda, ela é capaz de mostrar bons indícios para processo de planejamento. A Figura 19 mostra no mesmo gráfico a representação de diferentes CV, para uma média dada por 10.

Figura 19 - Comparação entre CVs de 0,15 a 2

Fonte: Singh (2015)

Percebe-se no gráfico que um CV de 0,15 concentra a maioria dos dados no entorno da média, sendo, portanto, altamente previsível. Por outro lado, o gráfico do CV de 2 é praticamente plano, mostrando a impossibilidade de fazer previsão da demanda.

4.3 IDENTIFICAÇÃO DA VARIÁVEL DE SAÍDA

O sistema de inferência foi desenvolvido para o reconhecimento dos padrões de atendimento ao cliente que foram e estão sendo executados. Portanto, a variável de saída dos sistemas de inferência *fuzzy* selecionada foi o tipo da cadeia de suprimentos que está atendendo a um cliente específico ou a um grupo de clientes selecionados. Os termos utilizados foram os nomes das cadeias de suprimentos propostas por Gattorna (2015): Colaborativa, Enxuta, Ágil, Campanha e Totalmente Flexível.

Considerando a característica de reconhecimento de padrões, optou-se pela não *defuzzificação* dos resultados. Considerou-se como resultado o maior grau de pertencimento

encontrado no vetor de saída, definindo a maior similaridade com um determinado tipo de cadeia (SIMÕES; SHAW, 2007; VON ALTROCK, 1997).

4.4 DEFINIÇÃO DA BASE DE REGRAS DO SISTEMA DE INFERÊNCIA

A base de regras do sistema de inferência foi baseada nas proposições de características de volume, variabilidade e tempo de entrega de cada tipo de cadeia de suprimentos proposta por Gattorna (2015). Utilizou-se os Quadros 2, 3, 4 e 5 como suporte para a definição da base de conhecimentos, representada na Figura 20.

Segundo Zimmermann (2001), os sistemas baseados em regras são úteis para modelar o conhecimento para sistemas especialistas. A combinação das três variáveis de entrada com três termos linguísticos cada proporciona um total de 27 regras para modelar o universo de possibilidades, que podem ser vistas no Quadro 9.

4.5 O MODELO DE ANÁLISE

O modelo proposto pode ser representado de forma analítica pela Figura 21. No primeiro passo seleciona-se o cliente ou grupo de clientes que se deseja avaliar qual tipo de cadeia de suprimento estão atualmente submetidos. É necessário obter as informações de vendas de todos os itens fornecidos no período avaliado, gerando uma tabela com os itens e seus respectivos dados de volume, variabilidade e tempo de entrega médios.

No segundo passo do modelo, a lista é processada pelo sistema de inferência *fuzzy* e tem como saída o tipo predominante de cadeia de suprimentos que atualmente atende o cliente selecionado.

O terceiro passo do modelo proposto é análise dos resultados obtidos. Neste momento, os tomadores de decisão devem avaliar o tipo de cadeia de suprimentos que seria desejada para o atendimento do cliente e identificar o *gap* entre a cadeia de suprimentos atual do cliente e o tipo de cadeia mais alinhada com a estratégia da empresa. Neste passo é possível reconhecer clientes que estão sendo super-atendidos e clientes que não estão tendo o atendimento esperado. As variáveis de entrada podem ser utilizadas como indicativo de ações a serem tomadas para realinhar os clientes com a estratégia de atendimento.

Figura 20 - Representação do tipo da cadeia segundo as características

Fonte: Proposto pelo autor.

Quadro 9 - Bloco de regras do sistema de inferência

Regra	Antecedentes			Consequentes
	Volume	Variabilidade	Tempo de Entrega	Cadeia
1	Baixo	Baixo	Baixo	Colaborativa
2	Baixo	Baixo	Médio	Colaborativa
3	Baixo	Baixo	Alto	Colaborativa
4	Baixo	Média	Baixo	Ágil
5	Baixo	Média	Médio	Ágil
6	Baixo	Média	Alto	Enxuta
7	Baixo	Alto	Baixo	Totalmente Flexível
8	Baixo	Alto	Médio	Ágil
9	Baixo	Alto	Alto	Campanha
10	Médio	Baixo	Baixo	Enxuta
11	Médio	Baixo	Médio	Enxuta
12	Médio	Baixo	Alto	Enxuta
13	Médio	Média	Baixo	Ágil
14	Médio	Média	Médio	Ágil
15	Médio	Média	Alto	Enxuta
16	Médio	Alto	Baixo	Ágil
17	Médio	Alto	Médio	Ágil
18	Médio	Alto	Alto	Campanha
19	Alto	Baixo	Baixo	Enxuta
20	Alto	Baixo	Médio	Enxuta
21	Alto	Baixo	Alto	Enxuta
22	Alto	Média	Baixo	Ágil
23	Alto	Média	Médio	Enxuta
24	Alto	Média	Alto	Enxuta
25	Alto	Alto	Baixo	Ágil
26	Alto	Alto	Médio	Ágil
27	Alto	Alto	Alto	Campanha

Fonte: Proposto pelo autor

Figura 21 - Modelo para avaliação do alinhamento da cadeia de suprimentos

Fonte: Proposto pelo autor

5 APLICAÇÃO DO MODELO

O modelo foi aplicado em uma empresa multinacional do ramo de fabricação de máquinas e equipamentos industriais. A empresa atua em vários modelos de negócios, um deles é a fabricação de equipamentos para venda, desenvolvendo e adaptando projetos de acordo com a necessidade dos clientes, utilizando a estratégia ETO. Ela também atende a pedidos de manutenção de equipamentos que já estão em funcionamento nos clientes utilizando a tipologia MTO. A empresa atende a pedidos de vendas de peças de reposição vendidos a partir de estoque utilizando a tipologia MTS e também possui uma linha de negócios de aluguel de máquinas, prestando serviços no modelo PSS.

A empresa possui um sistema ERP de um fornecedor reconhecido mundialmente, implantado há 11 anos, com uma base de dados consolidada e confiável. O sistema é capaz de controlar todos os pedidos de vendas, armazenando dados sobre o cliente atendido, o prazo de entrega e o volume negociado.

O processo de vendas inicia-se em dois grupos de vendas: um focado na venda de equipamentos e negócios de aluguel de máquinas; e outro grupo focado na venda de peças de reposição e serviços de manutenção.

A partir da captura do pedido de vendas o processo passa para o time de planejamento, que toma as ações necessárias para atender os requisitos solicitados pelo time de vendas, conforme exemplificado na Figura 22 a seguir.

Figura 22 - Processo de vendas da empresa

Fonte: Proposto pelo autor.

5.1 PARAMETRIZAÇÃO DO MODELO

Para a parametrização das funções de pertencimento das variáveis de entrada foram escolhidos dois especialistas das áreas de vendas e dois da área de planejamento. Os selecionados são colaboradores experientes e possuem amplo conhecimento sobre os processos e clientes da empresa.

Inicialmente foi apresentado para os especialistas o modelo de avaliação do alinhamento da cadeia de suprimentos proposto no trabalho. Também foram apresentados brevemente os conceitos da lógica *fuzzy* de forma a habilitá-los a colaborar na parametrização das funções de pertinência. Durante este processo, os dados de vendas dos dois últimos anos foram consultados no sistema ERP da empresa e tabulados em uma planilha. Após a análise dos dados levantados no sistema, abriu-se um fórum para discussão e definição consensual dos parâmetros das funções de pertencimento.

As funções de pertencimento parametrizadas estão nas Figuras 23, 24 e 25 a seguir.

Figura 23 - Função de pertinência da variável de entrada volume

Figura 24 - Função de pertinência da variável de entrada tempo de entrega

Figura 25 - Função de pertinência da variável de entrada variabilidade

Fonte: Proposto pelo autor.

No caso da variável de entrada variabilidade, o grupo chegou ao consenso que os parâmetros sugeridos por Singh (2015), com um coeficiente de variabilidade menor que 0,3 sendo considerado baixo, um coeficiente por volta de 0,5 como médio e maior que 0,7 sendo alto eram adequados para o caso da empresa.

5.2 LEVANTAMENTO DE DADOS E AVALIAÇÃO DO ATENDIMENTO DAS CADEIAS DE SUPRIMENTOS

O grupo de especialistas sugeriu que fossem analisadas três cadeias de suprimentos, considerando os dados do último ano. A primeira cadeia de suprimentos analisada foi a que atende clientes que compraram máquinas no último ano. A segunda, a cadeia que atende os clientes que consomem peças de reposição e, por fim, a cadeia que atende os clientes da linha de aluguel de máquinas.

Todos os dados obtidos foram pré-validados pelos especialistas da empresa. Fez-se uma busca por possíveis campos incompletos ou com grande discrepância de resultados. Os *outliers* foram removidos de forma a evitar a distorção da base de dados.

5.2.1 Avaliação do atendimento da cadeia de suprimentos de fabricação de máquinas

A avaliação do atendimento da cadeia de suprimentos de fabricação de máquinas iniciou-se com a aplicação de filtros nos pedidos de vendas para levantar todos os pedidos de máquinas faturados no ano anterior. Obteve-se uma lista com todas as unidades comercializadas, com complexidades construtivas variadas.

A partir da lista de máquinas comercializadas criou-se a tabela com dados de tempo médio de entrega, volume e variabilidade para servirem como dados de entrada no sistema de inferência *fuzzy*. O resultado obtido pelo sistema está demonstrado no Gráfico 1 a seguir.

Gráfico 1 - Resultado obtido no FIS para máquinas

Fonte: Proposto pelo autor

Para a definição da estratégia ideal para a cadeia de suprimentos da fabricação de máquinas, os especialistas concluíram que se pode realizar uma segunda segmentação, entre máquinas complexas e máquinas simples. Para os especialistas, equipamentos que demandam muitas semanas de desenvolvimento do projeto do equipamento teriam como estratégia da cadeia de suprimentos ideal a do tipo campanha, dado que o projeto do equipamento e as atividades para a fabricação são concomitantes por muitas semanas. Já os equipamentos mais simples tem um curto tempo de projeto, portanto teriam como estratégia ideal a cadeia de suprimentos ágil. Neste caso, por ter um tempo de projeto de engenharia mais curto, possibilita-se que ações sejam tomadas de forma mais organizada. As decisões relativas aos processos de fabricação são tomadas com base em um projeto já concluído.

5.2.2 Avaliação do atendimento da cadeia de suprimentos de venda de peças de reposição

Na avaliação do atendimento da cadeia de suprimentos de venda de peças de reposição, os especialistas selecionaram um grupo com os cinco principais clientes desta

cadeia de suprimentos. Filtrou-se todos os pedidos de peças faturados no ano anterior, obtendo-se uma lista com 108 itens comercializados. Fez-se então o processamento dos dados de vendas de forma a obter uma tabela com as variáveis de entrada propostas no modelo. Os resultados obtidos ao processar os dados no FIS estão demonstrados no Gráfico 2 a seguir.

Fonte: Proposto pelo autor

Na avaliação dos especialistas, a estratégia de cadeia de suprimentos ideal para este grupo de clientes é a cadeia de suprimentos ágil, uma vez que a variabilidade dos pedidos dos itens é alta. De acordo com os especialistas, a demanda dos clientes por peças de reposição específicas é intermitente, inviabilizando a manutenção de grandes estoques de segurança, tanto pelo alto custo quanto pelo risco da obsolescência.

5.2.3 Avaliação do atendimento da cadeia de suprimentos de máquinas alugadas

Na avaliação do atendimento da cadeia de suprimentos de máquinas alugadas, filtrou-se todos os pedidos de peças faturados como itens de manutenção do ano anterior, obtendo-se uma lista com 1122 itens diferentes enviados. Fez-se então o processamento dos dados de vendas de forma a obter uma tabela com as variáveis de entrada propostas no modelo. Os resultados obtidos ao processar os dados no FIS estão demonstrados no Gráfico 3.

A cadeia de suprimentos que atende as peças de reposição das máquinas alugadas mostrou um perfil de atendimento predominantemente ágil. Este resultado se mostra coerente, dado que há uma grande base instalada de máquinas em clientes com muitas variações de

modelos dos equipamentos, consequentemente peças de reposição diferentes. A empresa tem como vantagem competitiva a eficiência global do equipamento (OEE) próxima a 97% e, para atingir estes valores, há um esforço em repor peças nos clientes de forma rápida.

Gráfico 3 - Resultado obtido no FIS para máquinas alugadas

Fonte: Proposto pelo autor

5.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A estruturação do modelo para avaliação do alinhamento da cadeia de suprimentos foi baseada nos conceitos do alinhamento dinâmico proposto por Gattorna (2015), que afirma que as cadeias de suprimentos devem estar ajustadas às demandas dos clientes. Entretanto, apesar de uma detalhada descrição de cinco possíveis cadeias de suprimentos, o modelo do autor mostra-se abstrato do ponto de vista da aplicação prática. O modelo de aplicação não é claro e considera uma quantidade grande de variáveis de entrada do tipo qualitativas para a tomada de decisão.

Para solucionar estas dificuldades, o modelo proposto neste trabalho fundamentou-se também em outra escola de pensamento sobre o projeto e gestão da cadeia de suprimentos, a escola enxuta-ágil. Nesta escola, a estratégia da cadeia de suprimentos é orientada pelas características do produto. Christopher e Towill (2000a) propuseram uma abordagem de classificação que considera cinco características de mercado que influenciam na tomada de decisão do tipo de cadeia, conhecidas como DWV³, variáveis quantitativas.

De acordo com Godsell et al. (2011), a fundamentação do modelo nas duas escolas de pensamento sobre o projeto da cadeia de suprimentos, a enxuta-ágil e a do alinhamento dinâmico, proporciona uma abordagem holística para o desenvolvimento de estratégias da cadeia de suprimentos.

O modelo proposto neste trabalho visa avaliar o tipo de cadeia de suprimentos que atualmente está atendendo um cliente ou um grupo de clientes e compará-lo com a estratégia de cadeia de suprimentos considerada ideal. A partir dos resultados é possível observar se a estratégia da cadeia de suprimentos está alinhada com a proposta para o cliente e, em caso negativo, sugerir ações para adequar a cadeia de suprimentos à proposta de atendimento do cliente.

Para o tratamento das variáveis de entrada quantitativas e obtenção dos padrões de atendimento das cadeias de suprimentos avaliadas utilizou-se a lógica *fuzzy*. Esta lógica utiliza a percepção de especialistas para a criação de um banco de conhecimento que é utilizado no processamento dos dados. Como o sistema visa buscar padrões de atendimento, a utilização de um sistema de inferência *fuzzy* mostrou-se adequado.

O processo de apresentação do modelo para os especialistas da empresa foi um fator importante para a parametrização do sistema de inferência *fuzzy*. Foi necessário realizar um treinamento para que os resultados obtidos na parametrização fossem assertivos. A desvantagem deste processo é que a falta do treinamento para os especialistas poderia comprometer os resultados. O levantamento dos dados no sistema ERP, tabulação e análise prévia favoreceram o consenso sobre a parametrização do FIS. Apesar da aparente complexidade da lógica *fuzzy*, os especialistas sentiram-se confortáveis com a definição dos parâmetros, utilizando-se os passos propostos por Von Altrock (1997) para a escolha dos valores da função de pertencimento.

A qualidade e confiabilidade do banco de dados do ERP mostrou-se um fator importante para a coerência dos resultados obtidos. A princípio os especialistas da empresa não sentiram-se seguros quanto à confiabilidade dos dados, entretanto, a partir de uma série de testes e verificações percebeu-se que os dados estavam íntegros.

De acordo com os especialistas da empresa, os resultados obtidos pelo FIS mostraram-se coerentes. Na cadeia de suprimentos das máquinas fabricadas pela empresa foram encontrados dois tipos predominantes de atendimento: a cadeia de suprimentos ágil e a cadeia de suprimentos campanha. Levantou-se os dados das máquinas produzidas em cada tipo de cadeia de suprimentos, encontrando-se características marcantes para cada uma. As

máquinas atendidas pela cadeia de suprimentos do tipo campanha são máquinas com maior complexidade e com tempo de entrega longo. O desenvolvimento do projeto é realizado concomitantemente com as atividades de fabricação e compras, gerando a necessidade de redefinições nas instruções de trabalho e adição ou modificação nos materiais utilizados no equipamento. Os especialistas da empresa relataram que, conforme o andamento do projeto avança, a velocidade de reação a problemas precisa ser aumentada, chegando ao ápice na entrega e instalação do equipamento, similarmente ao proposto por Gattorna (2015).

As máquinas atendidas pela cadeia de suprimentos ágil são menos complexas. Os processos de engenharia a que elas são submetidas são pequenas adaptações para adequá-las às necessidades dos clientes. Assim que há o recebimento de um pedido de compras, o time de engenharia realiza a adaptação do projeto e envia para o time de planejamento que, neste caso, está apto a realizar todos os processos necessários para disparar as ações de compra e fabricação por completo. De acordo com os especialistas da empresa, esse tipo de equipamento, por ter um grau de padronização maior que o das máquinas complexas, favorece a negociação de prazos de entrega mais curtos com fornecedores, uma vez que a maioria das peças compradas já foi produzida anteriormente. Este fenômeno ocorre similarmente nas peças e componentes fabricados internamente, uma vez que a repetição da fabricação de uma peça favorece a eficiência dos processos. Apesar de grande variabilidade, esse tipo de produto tem um tempo de entrega de médio a baixo, encaixando-se na proposição de cadeia de suprimentos ágil de Gattorna (2015).

A cadeia de suprimentos que atende os pedidos de compras de peças de reposição mostrou-se predominantemente do tipo ágil. Willemain, Smart e Schwarz (2004) afirmam que peças de reposição de máquinas e equipamentos demonstram alta variabilidade de demanda. Os resultados do FIS para os cinco clientes considerados mais relevantes pelos especialistas da empresa evidenciou que a cadeia de suprimentos que atende as peças de reposição está alinhada com a proposta de cadeia adequada. De acordo com os especialistas da empresa, a intermitência dos pedidos e o grande risco de obsolescência de um item de reposição inviabilizam a manutenção de itens em estoque.

Percebeu-se que alguns itens de reposição foram atendidos por uma cadeia de suprimentos do tipo totalmente flexível. Ao analisar o item, percebeu-se que este era um movimento temporário no tipo de cadeia de suprimentos, pois eram itens usuais que, em um determinado momento, tornaram-se críticos para a manutenção do equipamento do cliente.

Para os especialistas da empresa, a estratégia ideal da cadeia de suprimentos é a do tipo ágil. Apesar do processo de manutenção dos equipamentos em funcionamento nos clientes estar sobre o controle da empresa, o processo de planejamento de demanda é complexo. A base instalada de máquinas nos clientes tem inúmeras variantes de componentes de reposição e demanda intermitente, assemelhando-se aos processos de vendas de peças de reposição. Esta cadeia tem como vantagem a fabricação interna da maioria dos componentes enviados, aumentando o controle sobre o tempo de entrega das peças.

A empresa tem como compromisso contratual e vantagem competitiva no mercado a garantia de funcionamento de seus equipamentos com uma eficiência global do equipamento (OEE) próxima a 97%. Para isso, de acordo com os especialistas da empresa, algumas vezes é necessário alterar o atendimento do cliente para uma configuração de cadeia totalmente flexível. Esta configuração ocorre pela solicitação do serviço de manutenção de campo ao planejamento, que passa a difundir a informação e atender prioritariamente os processos relativos à peça solicitada.

Encontrou-se também alguns itens que foram atendidos por uma cadeia de suprimentos do tipo campanha. Analisando os itens percebeu-se que foram itens utilizados em reformas de máquinas, para realizar a manutenção em componentes primordiais das máquinas. De acordo com os especialistas da empresa, este tipo de reforma tem um perfil de projeto, dado que a fabricação das peças principais das máquinas tem um longo tempo de entrega e, em geral, as reformas ocorrem antes do envio de máquinas para novos clientes.

Ao analisar os resultados do processamento de dados pelo FIS, percebeu-se que 8 itens, aproximadamente 1%, apresentaram características de cadeia enxuta. A partir de investigação da natureza destes itens percebeu-se que são itens de consumo dos equipamentos, como óleo lubrificante e molas que sofrem desgaste, que representam um custo considerável para a empresa. De acordo com os especialistas da empresa, apesar de ter um perfil de atendimento de cadeia enxuta, não há uma estratégia definida para reduzir custos aplicando-se práticas do pensamento enxuto.

6 CONCLUSÃO

A proposta deste trabalho foi preencher o *gap* relativo à complexidade de aplicação de modelos de segmentação da cadeia suprimentos. A escola enxuta-ágil, apesar de sugerir formas práticas de avaliação da cadeia de suprimento para a tomada de decisão, somente sugere três possibilidades de cadeia de suprimentos: enxuta; ágil; ou a combinação enxuta ágil. Esta característica simplifica a visão da cadeia de suprimentos a ponto de não segmentá-la suficientemente, condensando tipos de cadeias com características diferentes dentro de um mesmo segmento.

Por outro lado, a proposta de segmentação da cadeia de suprimentos da escola do alinhamento dinâmico é mais robusta, com mais possibilidades de segmentação. Entretanto, esta escola sofre com excessiva normatização, além da imprecisão inerente a seu processo de avaliação primordialmente qualitativo e de difícil aplicação.

O modelo proposto neste trabalho visou agrupar os pontos fortes das duas escolas de segmentação da cadeia de suprimentos e buscou, como alternativa para lidar com a imprecisão relativa ao processo de segmentação, a aplicação da teoria dos conjuntos *fuzzy* por meio da utilização de um Sistema de Inferência *Fuzzy* e do desenvolvimento de um sistema especialista.

Neste trabalho foi desenvolvido um modelo que avalia o alinhamento da cadeia de suprimentos em busca da estratégia ideal para o atendimento de grupos de clientes. Contemplando a proposta deste estudo, o modelo foi capaz de avaliar os padrões de atendimento atuais de um grupo selecionado de clientes, a partir de um conjunto de dados quantitativos. As variáveis tempo de entrega, volume e variabilidade foram obtidas por meio de uma busca no banco de dados do ERP da empresa.

A avaliação do padrão de atendimento atual de um cliente por meio de um modelo computacional colabora com a busca do alinhamento dinâmico. Com o modelo obteve-se a identificação das cadeias de suprimentos que atendem os grupos de clientes avaliados, fornecendo respostas de forma muito mais rápida que a análise proposta pelo modelo de Gattorna (2015). O modelo indicou possíveis ações para o realinhamento da cadeia de suprimentos, por exemplo, a identificação de dois segmentos de fabricação de equipamentos: um utilizando-se a cadeia de suprimentos do tipo campanha e o outro utilizando-se a cadeia de suprimentos ágil. Além disso, a aplicação em caso real validou o modelo, uma vez que os resultados obtidos mostraram-se coerentes com a realidade apontada pelos especialistas da empresa estudada.

A necessidade de um treinamento sobre lógica *fuzzy* e sobre o processo de parametrização do modelo para os especialistas envolvidos retardou o processo. O que poderia ser melhorado a partir da aplicação de técnicas capazes de realizar este processo automaticamente, por exemplo, a técnica *Neurofuzzy*, que dinamizaria o processo. Futuros estudos poderiam investigar a inclusão da técnica implantando o processo de automatização.

REFERÊNCIAS

- ACAR, M. F. et al. International Journal of Information Management Knowledge management and ERP : Complementary or contradictory ? v. 37, n. May, p. 703–712, 2017.
- ADIZES, I. **How to Solve the Mismanagement Crisis**. 5th. ed. Santa Barbara, CA: The Adizes Institute Publishing, 1985.
- AITKEN, J.; CHILDHOUSE, P.; TOWILL, D. The impact of product life cycle on supply chain strategy. **International Journal of Production Economics**, v. 85, n. 2, p. 127–140, 2003.
- APICS. **APICS Dictionary**. 15th. ed. [s.l: s.n.].
- BANAEIAN, N. et al. Green Supplier Selection Using Fuzzy Group Decision Making Methods: A Case Study from the Agri-Food Industry. **Computers & Operations Research**, p. 1–11, 2016.
- BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. **Operations management research methodologies using quantitative modeling**. [s.l: s.n.]. v. 22
- BEZUIDENHOUT, C. N. Quantifying the degree of leanness and agility at any point within a supply chain. **British Food Journal**, v. 118, n. 1, p. 60–69, 2016.
- BOJADZIEV, G; BOJADZIEV, M. **Fuzzy logic for business, finance, and management**. 2 ed. ed. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2007.
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B. **Supply Chain Logistics Management**. 2nd editio ed. Boston: McGrawHill Irwin, 2007.
- CELIK, E. et al. A comprehensive review of multi criteria decision making approaches based on interval type-2 fuzzy sets. **Knowledge-Based Systems**, v. 85, p. 329–341, 2015.
- CHILDHOUSE, P.; AITKEN, J.; TOWILL, D. R. Analysis and design of focused demand chains. **Journal of Operations Management**, v. 20, n. 6, p. 675–689, 2002.
- CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Supply Chain Management: strategy, planning and operation**. 3rd editio ed. New Jersey: Prentice Hall, 2006.
- CHRISTOPHER, M. **Logistics & Supply Chain Management**. 5th. ed. Edingurgh Gate: PEARSON EDUCATION LIMITED, 2016.
- CHRISTOPHER, M.; GATTORNA, J. Supply chain cost management and value-based pricing. **Industrial Marketing Management**, v. 34, n. 2 SPEC. ISS., p. 115–121, 2005.
- CHRISTOPHER, M.; PECK, H.; TOWILL, D. R. A taxonomy for selecting global supply chain strategies. **The**, v. 17, n. 2, p. 277–287, 2006.
- CHRISTOPHER, M.; TOWILL, D. R. Marrying the lean and agile paradigms. **Proceedings of the EUROMA 2000 Conference**, p. 114–121, 2000a.
- CHRISTOPHER, M.; TOWILL, D. R. Supply chain migration from lean and functional to agile and customised. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 5, n. 4, p. 206–213, 2000b.

CHRISTOPHER, M.; TOWILL, D. R. An integrated model for the design of agile supply chains. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 31, n. 4, p. 235–246, 2001.

CHRISTOPHER, M.; TOWILL, D. R. Developing Market Specific Supply Chain Strategies. **The International Journal of Logistics Management**, v. 13, n. 1, p. 1–14, jan. 2002.

DOBROSIELSKI, W. T.; SZCZEPA, J.; ZARZYCKI, H. Novel Developments in Uncertainty Representation and Processing. v. 401, p. 75–84, 2016.

ELTAWY, N.; GALLEAR, D. Leanness and agility: a comparative theoretical view. **Industrial Management & Data Systems**, v. 117, n. 1, p. 149–165, 2017.

FISHER, M. L. What Is the Right Supply Chain for Your Products. **Harvard Business Review**, v. 75(2), p. 105–116, 1997.

GARCÍA, N. et al. Supplier selection model for commodities procurement. Optimised assessment using a fuzzy decision support system. **Applied Soft Computing Journal**, v. 13, n. 4, p. 1939–1951, 2013.

GATTORNA, J. **Dynamic Supply Chains: How to design, build and manage people-centric value networks**. 3rd. ed. Harlow: Pearson Education Limited, 2015.

GATTORNA, J. L.; CHORN, N. H.; DAY, A. Pathways to Customers : p. 4–12, 2001.

GATTORNA, J.; WALTERS, D. W. **Managing the Supply Chain: A Strategic Perspective**. 1st editio ed. New York: Palgrave, 1996.

GAUDENZI, B.; CHRISTOPHER, M. Achieving supply chain “Leagility” through a project management orientation. **International Journal of Logistics Research and Applications**, v. 19, n. 1, p. 3–18, 2016.

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

GODSELL, J. et al. Enabling supply chain segmentation through demand profiling. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 41, n. 3, p. 296–314, 2011.

GOLDSBY, T.; GRIFFIS, S.; ROATH, A. Modeling lean, agile and leagile supply chain strategies. **Journal of Business Logistics**, v. 27, n. 1, p. 57–80, 2006.

GORANE, S. J.; KANT, R. Supply chain practices. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 64, n. 5, p. 657–685, 2015.

H.J. ZIMMERMANN. **Fuzzy Set Theory and Its Applications**. 4th. ed. Boston, MA: Kluwer Academic, 2001.

HARRISON, A.; CHRISTOPHER, M.; HOEK, R. VAN. Creating the agile supply chain. **School of Management Working Paper**, 1999.

HARRISON, A.; VAN HOEK, R.; SKIPWORTH, H. **Logistics management and strategy**. Fifth edi ed. Harlow, England: Pearson Education Limited, 2014. v. 1

- HILL, T. **Manufacturing Strategy**. Second Edition ed. [s.l: s.n.].
- HJORT, K. et al. Customer segmentation based on buying and returning behaviour. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 43, n. 10, p. 852–865, 2013.
- HOLWEG, M. The three dimensions of responsiveness. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 25, n. 7, p. 603–622, 2005.
- HUAN, S. H.; SHEORAN, S. K.; WANG, G. A review and analysis of supply chain operations reference (SCOR) model. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 9, n. 1, p. 23–29, 2004.
- JONES, M. A.; COPE, R.; BUDDEN, M. C. The Multidisciplinary Nature Of Supply Chain Management: Where Does It Fit In Business Education? **American Journal of Business Education**, v. 2, n. 1, p. 17–24, 2009.
- JUNIOR, F. R. L.; OSIRO, L.; CARPINETTI, L. C. R. A fuzzy inference and categorization approach for supplier selection using compensatory and non-compensatory decision rules. **Applied Soft Computing Journal**, v. 13, n. 10, p. 4133–4147, 2013.
- KUMAR, D. et al. A fuzzy logic based decision support system for evaluation of suppliers in supply chain management practices. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 57, n. 11–12, p. 2945–2960, 2013.
- LAMMING, R. Squaring lean supply with supply chain management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 16, n. 2, p. 183–196, 1996.
- LIMA JUNIOR, F. R.; OSIRO, L.; CARPINETTI, L. C. R. A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. **Applied Soft Computing Journal**, v. 21, p. 194–209, 2014.
- MAMDANI, E. H.; ASSILIAN, S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. **International Journal of Man-Machine Studies**, v. 7, n. 1, p. 1–13, 1975.
- MASON-JONES, R.; NAYLOR, B.; TOWILL, D. R. Engineering the leagile supply chain. **International Journal of Agile Management Systems**, v. 2, p. 54–61, 2000a.
- MASON-JONES, R.; NAYLOR, B.; TOWILL, D. R. Lean, agile or leagile? Matching your supply chain to the marketplace. **International Journal of Production Research**, v. 38, n. 17, p. 4061–4070, 2000b.
- MEREDITH, J. R. et al. Alternative research paradigms in operations. **Journal of Operations Management**, v. 8, p. 297–326, 1989.
- NAYLOR, J. BEN; NAIM, M.; BERRY, D. Leagility: integrating the lean and agile manufacturing in the total supply chain. **International Journal of Production Economics**, v. 62, p. 107–118, 1999.
- NGAI, E. W. T.; CHAU, D. C. K.; CHAN, T. L. A. Information technology, operational, and management competencies for supply chain agility: Findings from case studies. **Journal of Strategic Information Systems**, v. 20, n. 3, p. 232–249, 2011.

OHNO, T. **The Toyota Production System: Beyond Large Scale Production**. Portland: Productivity Press, 1988.

OLHAGER, J. The role of the customer order decoupling point in production and supply chain management. **Computers in Industry**, v. 61, n. 9, p. 863–868, 2010.

OSIRO, L.; LIMA-JUNIOR, F. R.; CARPINETTI, L. C. R. A fuzzy logic approach to supplier evaluation for development. **International Journal of Production Economics**, v. 153, p. 95–112, 2014.

PAYNE, T.; PETERS, M. J. What Is the Right Supply Chain For Your Products? **The International Journal of Logistics Management**, v. 15, n. 2, p. 77–92, jul. 2004.

PIRES, S. R. I. **Gestão Estratégica da Manufatura**. [s.l.] Editora UNIMEP, 1995.

RAMASESH, R.; KULKARNI, S.; JAYAKUMAR, M. Agility in manufacturing systems: an exploratory modeling framework and simulation. **Integrated Manufacturing Systems**, v. 12, n. 7, p. 534–548, 2001.

REICHHART, A.; HOLWEG, M. Lean distribution: concepts, contributions, conflicts. **International Journal of Production Research**, v. 45, n. 16, p. 3699–722, 2007.

RENGANATH, K. Supplier Selection Using Fuzzy MCDM Techniques : A Literature Review. 2016.

ROUTROY, S. .; SHANKAR, A. . Performance analysis of agile supply chain. **International Journal of Manufacturing Technology and Management**, v. 29, n. 3–4, p. 180–210, 2015.

RUDBERG, M.; WIKNER, J. Mass customization in terms of the customer order decoupling point. **Production Planning & Control**, v. 15, n. 4, p. 445–458, 2004.

SHAHIN, A. et al. A new approach for estimating leagile decoupling point using data envelopment analysis. **Assembly Automation**, v. 36, n. 3, p. 233–245, 2016.

SHAHIN, A.; JABERI, R. Designing an integrative model of leagile production and analyzing its influence on the quality if auto part based on Six Sigma approach with a case study in a manufacturing company. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 2, n. 3, p. 215–240, 2011.

SHEREHIY, B.; KARWOWSKI, W.; LAYER, J. K. A review of enterprise agility: concepts, frameworks, and attributes. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 37, n. 5, p. 445–460, 2007.

SHEWCHUK, J. P. J. Agile manufacturing: one size does not fit all. **Proceedings of the International Conference on Manufacturing Value Chains Troon**, p. 143–150, 1998.

SHUKLA, R.; GARG, D.; AGARWAL, A. Understanding of supply chain: a literature review. **International Journal of Engineering Science and Technology**, v. 3, n. 3, p. 2059–2072, 2011.

SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P.; SIMCHI-LEVI, E. **Cadeia de Suprimentos Projeto e Gestão**. 3a edição ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

SIMÕES, M. G.; SHAW, I. S. **Controle e modelagem fuzzy**. 2 ed. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2007.

SUPPLY-CHAIN COUNCIL. **Supply-Chain Operations Reference-model SCOR Version 11.0**. [s.l: s.n.].

SWAFFORD, P. M.; GHOSH, S.; MURTHY, N. N. Achieving supply chain agility through IT integration and flexibility. **International Journal of Production Economics**, v. 116, n. 2, p. 288–297, 2008.

SWEENEY, E.; GRANT, D. B.; MANGAN, D. J. The implementation of supply chain management theory in practice: an empirical investigation. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 20, n. 1, p. 56–70, 2015.

UM, J. The impact of supply chain agility on business performance in a high level customization environment. **Operations Management Research**, n. 2010, p. 1–10, 2016.

VON ALTROCK, C. **Fuzzy Logic & Neurofuzzy Applications in Business & Finance**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1997.

VONDEREMBSE, M. A. et al. Designing supply chains: Towards theory development. **International Journal of Production Economics**, v. 100, n. 2, p. 223–238, 2006.

WALTERS, D. Demand chain effectiveness – supply chain efficiencies: A role for enterprise information management. **Journal of Enterprise Information Management**, v. 19, n. 3, p. 246–261, 2006.

WILLEMAIN, T. R.; SMART, C. N.; SCHWARZ, H. F. A new approach to forecasting intermittent demand for service parts inventories. **International Journal of Forecasting**, v. 20, n. 3, p. 375–387, 2004.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Lean Thinking**. 1st. ed. New York: Simon & Schuster, 1996.

WORTMANN, J. C. Production management systems for one-of-a-kind products. **Computers in Industry**, v. 19, n. 1, p. 79–88, 1992.

YUSUF, Y. Y. et al. A relational study of supply chain agility, competitiveness and business performance in the oil and gas industry. **International Journal of Production Economics**, v. 147, n. Part B, p. 531–543, 2014.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, n. 3, p. 338–353, 1965.

ZADEH, L. A. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. **IEEE Trans. Syst.**, v. 3, p. 28–44, 1973.

ZIMMERMANN, H.-J.; ZYSNO, P. Latent Connectives in Human Decision Making. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 4, p. 37–51, 1980.