A CAPACIDADE NA MANUFATURA ORIENTADA A SERVIÇOS: UMA VISÃO SISTÊMICA

Rafael Ariento Neto

EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Rafael Ariento Neto

A capacidade na Manufatura Orientada a Serviços: Uma visão sistêmica

1ª ed.

Piracanjuba-GO
Editora Conhecimento Livre
Piracanjuba-GO

1ª ed.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Ariente Neto, Rafael

A689A A capacidade na Manufatura Orientada a Serviços: Uma visão sistêmica
/ Rafael Ariente Neto. – Piracanjuba-GO

Editora Conhecimento Livre, 2022

131 f.: il

DOI: 10.37423/2022.edcl415

ISBN: 978-65-5367-034-1

Modo de acesso: World Wide Web

Incluir Bibliografia

1. manufatura-orientada-a-serviços 2. dinâmica-de-sistemas 3. serviços-industriais 4. capacidade 5.
gestão I. Ariente Neto, Rafael II. Título

CDU: 620

<https://doi.org/10.37423/2022.edcl415>

O conteúdo dos artigos e sua correção ortográfica são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Corpo Editorial

Dr. João Luís Ribeiro Ulhôa

Dra. Eyde Cristianne Saraiva-Bonatto

MSc. Frederico Celestino Barbosa

MSc. Carlos Eduardo de Oliveira Gontijo

MSc. Plínio Ferreira Pires

Editora Conhecimento Livre

Piracanjuba-GO

2022

10.37423/2022.edcl415

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus.

Agradeço ao professor Dr. Fernando Antônio Forcellini com quem aprendi muito.

Sempre será uma de minhas referências de conduta. Estendo ainda esse agradecimento e referência ao professor Dr. Mauricio Uriona Maldonado com o qual tive o privilégio de interagir.

Sou grato à minha mãe e minha irmã pelo apoio, compreensão, e tudo mais que caracteriza o pleno exercício do que se propõe a instituição da família.

Sou imensamente grato aos meus colegas da equipe GEPPS pela vasta troca de experiências.

Agradeço também à CNPq pelo apoio financeiro e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina por todo o suporte à realização da pesquisa base desse livro.

PREFÁCIO

Este livro tem base na tese de doutorado do autor, realizado no Programa de Pós- Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina.

Na ocasião, quando buscávamos definir o tema da pesquisa nos deparamos com dados que evidenciavam condições indesejadas, e muitas vezes críticas, vivenciadas pelos fabricantes da área metal-mecânica. Uma das quais nos chamou muito a atenção consistia na baixa utilização da capacidade instalada desses fabricantes. Na prática isso significa uma capacidade que não gera receita e, ainda, continua a incidir nos custos fixos.

Por outro lado, vimos também que os serviços industriais ganhavam relevância no cenário nacional. Relevância essa demonstrada de forma clara pela representatividade do segmento no PIB do país. Surgiam iniciativas que associam produtos e serviços, denominadas genericamente na literatura especializada como Sistemas Produto-Serviço (Product-Service System – PSS) ou, mais especificamente, Sistemas Produto-Serviço Industriais (Industrial Product-Service System - IPS2).

Então, nos questionamos se a agregação de serviços por parte dos fabricantes, constituindo o que se denomina de Manufatura Orientada a Serviços – MOS (Service- Oriented Manufacturing – SOM), poderia resignificar os fluxos de valor do fabricante conduzindo a uma elevação da utilização da sua capacidade. Assim, esse passou a ser nosso objeto de estudo.

Para analisarmos a situação utilizamos uma atividade recorrente na engenharia, a construção de modelos. Optamos por uma técnica que não apenas nos permitiu ter uma visão sistêmica de como a MOS funciona, mas também nos viabilizou a realização de simulações computacionais como forma de experimentar algumas situações.

Com isso, neste livro apresentamos toda a base teórica relacionada ao objeto de estudo, os fundamentos da técnica de modelagem e toda a explicação das etapas dessa atividade, os cenários que prospectamos utilizando o modelo e as análises que realizamos a partir desses cenários. Disponibilizamos, portanto, um modelo que pode ser replicado e utilizado por fabricantes da indústria da manufatura tanto para a tomada de decisão para a adoção de serviços, quanto para a orientação de ações de controle do sistema.

Sinceramente desejo que este livro seja útil a todos que o consultarem. Boa leitura.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estrutura sistemática de criação de valor	13
Figura 2- Fluxo de valor da realização de produtos no fabricante	14
Figura 3- Abrangência da aplicação dos serviços	15
Figura 4- Inserção de serviços industriais no fluxo de valor	16
Figura 5- Utilização da capacidade instalada (percentual médio)	18
Figura 6 - Processo decisório (a) sem aprendizagem e (b) apoiado pela DS	22
Figura 7 - Paradigma da Dinâmica de Sistemas	23
Figura 8 - Representação gráfica do ciclo de realimentação positivo	26
Figura 9 - Representação gráfica do ciclo de realimentação negativo	26
Figura 10 - Estrutura de fluxo e estoque para a modelagem estrutural	28
Figura 11 -Cone de níveis sistêmicos	30
Figura 12 - Elementos que compõem o sistema serviço	33
Figura 13- Matriz de classificação dos serviços	36
Figura 14 - Contexto macro da adoção de serviços de manufatura	43
Figura 15 - Visão geral do arranjo entre prestador, fabricante e consumidor	44
Figura 16 - Demandas externas ao sistema MOS	45
Figura 17 - Principais requisitos do valor no sistema MOS	46
Figura 18 - Subsistemas considerados na dinâmica	48
Figura 19 - Representação do caso de referência	55
Figura 20 - Contexto da utilização da capacidade pela produção de bens	58
Figura 21 - Contexto do compartilhamento da capacidade	59
Figura 22 - Contexto com a influência do valor concorrente no sistema	60
Figura 23 - Contexto ampliando os efeitos da desistência dos consumidores.....	62
Figura 24 - Estrutura de fluxos e estoques referente ao mercado	64
Figura 25 - Estrutura de fluxo e estoques referente à produção	65
Figura 26 - Estrutura de fluxo e estoques referente à produção	67
Figura 27 - Estrutura de fluxo e estoques referente à capacidade	68
Figura 28 - Estrutura de fluxo e estoques referente ao preço	69
Figura 29 - Estrutura de fluxo e estoques referente ao tempo de fila	70
Figura 30 - Estrutura de fluxo e estoques referente à qualidade	71
Figura 31 - Estrutura de fluxo e estoques referente à confiabilidade	72
Figura 32 - Teste de comportamento: bens para atendimento dos pedidos	84

Figura 33 - Teste de comportamento: taxas de produção	85
Figura 34 - Teste de comportamento: taxas de início, de produção e de expedição	85
Figura 35 - Teste de comportamento: percepção do tempo de espera	87
Figura 36 - Teste de comportamento: percepção do preço	87
Figura 37 - Teste de comportamento: confiabilidade	88
Figura 38 - Teste de comportamento: percepção da qualidade	89
Figura 39 - Reprodução do comportamento referente ao problema	90
Figura 40 - Teste de condições extremas: trabalho em processo e bens concluídos	91
Figura 41 - Teste de condições extremas: taxas do subsistema de produção	92
Figura 42 - Teste de cond. extremas: consumidores no subsistema de prestação	93
Figura 43 - Teste de cond. extremas: taxas do subsistema de prestação	93
Figura 44 - Teste de erro em estado estacionário: subsistema de prestação.....	94
Figura 45 - Teste de erro em regime permanente: subsistema de prestação	95
Figura 46- Capacidade - Indicadores gerais (recursos suficientes)	96
Figura 47 - Capacidade - Indicadores da produção - (recursos suficientes)	97
Figura 48- Capacidade - Indicadores da prestação - (recursos suficientes)	97
Figura 49 - Capacidade - Indicadores gerais (recursos insuficiente).....	98
Figura 50 - Capacidade - Indicadores da produção (recursos insuficiente)	99
Figura 51 - Capacidade - Indicadores da prestação (recursos insuficiente)	99
Figura 52 - Protocolo de simulação	101
Figura 53 - Potenciais consumidores no sistema	103
Figura 54 – Comportamento do (a) custo e (b) do índice de influência na adesão	104
Figura 55 - Comportamento da taxa de adesão	104
Figura 56 - Indicador de consumidores para processamento	105
Figura 57 - Consumo dos consumidores em espera (a) pela taxa de prestação, (b) pela taxa de desistência.	106
Figura 58 - (a) índice de confiabilidade, (b) taxa de reincidência	106
Figura 59 - Recursos utilizados no sistema	107
Figura 60 - Índice de utilização da capacidade.....	160
Figura 61 - (a) influência do preço na taxa de adesão, (b) taxa de adesão	109
Figura 62 - (a) fila de consumidores para processamento, (b) taxa de prestação.	110
Figura 63 - (a) Índice de confiabilidade, (b) taxa de reincidência no mercado de serviços.....	110
Figura 64 - (a) Fila de consumidores para processamento, (b) taxa de prestação.	112

Figura 65 - (a) índice de desistência, (b) taxa de desistência	112
Figura 66 - (a) índice de confiabilidade, (b) taxa de reincidência no mercado de serviços.	113
Figura 67 - (a) taxa de adesão, (b) taxa de desistência	114
Figura 68 - (a) fila de consumidores para processamento, (b) taxa de prestação.	114
Figura 69 - (a) índice de confiabilidade, (b) taxa de reincidência no mercado de serviços.	115
Figura 70 - Utilização da capacidade no contexto MOS	117
Figura 71 - Recursos usados para a fabricação com e sem a adoção da MOS	118
Figura 72 – Pontos favoráveis e desfavoráveis da adoção da MOS	124

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relações de causalidade.....	25
Quadro 2 - Descrição dos elementos do sistema serviço.....	34
Quadro 3 - Principais contribuições dos artigos para a abordagem.....	39
Quadro 4 - Principais fatores de influência.....	50
Quadro 5- Modelos gráficos de referência.....	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Bt	Bens tangíveis
Bt/se	Bens tangíveis por semana
Co	Consumidores
Co/h	Consumidores por hora
DS	Dinâmica de sistemas
h	Horas
MOS	Manufatura Orientada a Serviços
Pe	Pessoas
Pe/se	Pessoas por semanas
Se	Semanas
Ser	Serviços

Sumário

1 CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.1 A QUESTÃO DA CAPACIDADE	17
1.2 A MODELAGEM E SUAS CONTRIBUIÇÕES	20
2 DINÂMICA DE SISTEMAS	23
2.1 DIAGRAMA DE CAUSALIDADE	24
2.2 DIAGRAMA DE FLUXOS E ESTOQUES	27
2.3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	28
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	28
3.1 A PERSPECTIVA SISTÊMICA APLICADA À GESTÃO.....	29
3.2 A PERSPECTIVA DOS SERVIÇOS	31
3.2.1 O SISTEMA SERVIÇO.....	32
3.2.2 OS “SERVIÇOS INDUSTRIAIS”	35
3.2.3 A MANUFATURA ORIENTADA A SERVIÇOS.....	37
3.3 CARACTERIZAÇÃO DA MANUFATURA ORIENTADA A SERVIÇOS	38
3.3.1 CARACTERIZAÇÃO DA AGREGAÇÃO DE SERVIÇOS EM MANUFATURA.....	41
3.3.2 SUBSISTEMAS E PRINCIPAIS FATORES ENVOLVIDOS NO COMPORTAMENTO DO SISTEMA	47
3.3.3 RELAÇÃO ENTRE OS PRINCIPAIS FATORES	51
3.4 CASO DE REFERÊNCIA.....	53
4 CONSTRUÇÃO DO MODELO	56
4.1 MODELAGEM CONCEITUAL	56
4.2 MODELAGEM ESTRUTURAL.....	63
4.3 MODELAGEM MATEMÁTICA	73
5 TESTES, PROSPECÇÃO E DISCUSSÃO.....	80
5.1 TESTES APLICADOS AO MODELO	80
5.1.1 TESTE DE VERIFICAÇÃO DE ESTRUTURA	81
5.1.2 TESTE DE VERIFICAÇÃO DE PARÂMETROS	81
5.1.3 TESTES DE COMPORTAMENTO.....	82

5.2 PROSPECÇÃO DOS CENÁRIOS.....	100
5.3 DISCUSSÃO (AVANÇOS NO CONHECIMENTO)	118
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	124
REFERÊNCIAS	125

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Toda oferta de produtos¹ ao mercado pode ser interpretada como um determinado valor agregado orientado a um grupo de consumidores. Tal valor refere-se à avaliação do consumidor, conforme a sua percepção, do conjunto de atributos que constituem um bem tangível ou um serviço (KOTLER, 1998) ou das consequências proporcionadas pela sua utilização ou consumo (WOODRUFF, 1997). Essa visão de valor possibilita tratar de um modo comum as ofertas ao mercado, mesmo com diferentes características. Essa visão também provê uma forma de interpretação, primeiramente do que o consumidor demanda para a satisfação de suas necessidades e, com isso, de como a indústria, como a indústria da manufatura, atua para a criação desse valor. No ponto de vista da indústria é necessário um conhecimento do que é demandado e para quem, além do conhecimento de como atender a essa demanda em termos tecnológicos e operacionais (STANKE; MURMAN, 2001). Uma estrutura em uma perspectiva sistêmica que representa como a indústria pode atuar para criar o valor aos consumidores é apresentada na Figura 1, sendo constituída por três etapas básicas: identificação, proposição e entrega de valor.

Na criação de valor pela indústria de manufatura pelas etapas de identificação, proposição e entrega do valor muitos processos são executados. Na etapa de identificação de valor podem ser situados os processos de pesquisa, enquanto que a proposição engloba os processos de desenvolvimento dos produtos e processos. A entrega do valor engloba os vários processos de fabricação, que no contexto da manufatura do segmento metal mecânico podem incluir a fundição, conformação, usinagem, montagem, entre outros, até o acesso ao valor pelo consumidor imediato. Esses processos transformam uma entrada de material, energia ou informação em uma saída. Nesse sentido também devem ser considerados os vários processos administrativos que suportam os processos primários do fabricante. São as transformações de material, energia ou informação realizadas pelos processos que adicionam atributos aos produtos (como atributos de funcionalidades, desempenho, geometria e dimensões, entre outros). Com isso, os processos adicionam uma parcela do valor e como a saída de um processo constitui a entrada do processo subsequente, ao término se compõe o valor final de interesse do consumidor.

Figura 1- Estrutura sistemática de criação de valor

Fonte: Stanke e Murman (2001), traduzido pelo autor.

A execução de um processo corresponde à realização de ações. A realização de uma sequência de ações como, por exemplo, da compra da matéria prima à expedição do produto determina uma “cadeia de valor”. O desempenho de cada atividade e, conseqüentemente da cadeia de valor, caracteriza o “fluxo de valor”. Ou seja, enquanto a cadeia de valor considera a configuração das atividades nos processos, o fluxo de valor agrega uma característica dinâmica, o “fluir” do material, energia ou informações pelos processos em sucessivas transformações.

Três principais fluxos de valor são determinantes para o desempenho de uma empresa no mercado. O fluxo de valor do desenvolvimento de novos produtos que inclui as áreas de marketing, projetos, desenvolvimento de produto e engenharia de processo. Também o fluxo de valor da realização de vendas e marketing que foca no fornecimento dos produtos atuais e novos. E, o fluxo de valor da realização do pedido do cliente que inclui o recebimento, movimentação e transformação dos materiais. A Figura 2 representa o fluxo de valor da realização dos bens em um fabricante industrial. Nessa representação o fabricante possui um portfólio de dois produtos e, com isso, fluxos de valor distintos para cada produto. A capacidade do fabricante de atender a demanda depende da gestão dos seus fluxos de valor.

Figura 2- Fluxo de valor da realização de produtos no fabricante

Fonte: autor.

Ademais, geralmente o valor entregue na manufatura é complementado por uma parcela intangível que contribui na satisfação das necessidades do consumidor. Esse é o caso das atividades de logística demandadas para entregar muitos produtos manufaturados nas instalações do consumidor em tempo, quantidade e qualidade requeridos. Então, sistemicamente o valor entregue na manufatura é composto do bem tangível e de certos serviços.

Os serviços, de modo geral, referem-se às atividades ou a uma satisfação que é ofertada mediante a compra de um serviço ou vinculadas com a venda de algum bem tangível (LAS CASAS, 1991). Os serviços (como produtos de uma série de atividades) são essencialmente (i) intangíveis, ou seja, não podem ser possuídos pelos consumidores. Portanto, em contraste com os bens tangíveis, os serviços englobam ações, esforços ou desempenho (HOFFMAN; BATESON, 2003). Além da sua intangibilidade, (ii) os serviços não podem ser estocados, sendo consumidos à medida que são entregues (AURICH; FUCHS; WAGENKNECHT, 2006). Com a prestação ocorrendo ao mesmo tempo em que ocorre o consumo, eventuais erros na realização dos serviços podem ser imediatamente percebidos pelos consumidores. Ainda, (iii) os serviços podem ocorrer com interações entre o consumidor do serviço e os atores responsáveis pela prestação. Nesse sentido, o consumidor participa do processo passiva ou ativamente estabelecendo, de toda forma, um maior grau de contato entre a empresa e o cliente comparado a produção de bens.

Em uma visão sistêmica, os sistemas que associam bens tangíveis e serviços como, por exemplo, o Sistema Produto-Serviço (PSS), o elemento serviço influencia diretamente o bem tangível, assim como também influencia a percepção de valor do consumidor (KIMITA; SHIMOMURA; ARAI, 2009). O mesmo é válido para as abordagens em Sistema Produto-Serviço Industrial (IPS2) que, de encontro a essa,

ainda agregam os aspectos industriais na consideração de sistemas compostos por bens tangíveis e serviços. Adentrando ainda mais no fenômeno se tem a Manufatura Orientada a Serviços (MOS) que faz uso dos recursos e da infraestrutura do sistema de manufatura para entregar valor tangível e intangível (WANG et al., 2013). Como tal, na MOS as influências entre o bem-tangível e o serviço também se fazem presentes. Essas influências ocorrem de diversas formas e níveis de consideração. Em um nível operacional as variáveis de processo tanto do sistema de produção de bens quanto de prestação dos serviços, ou seja, o modo como o bem é produzido e o modo como o serviço é prestado precisam estabelecer uma correta relação para que o valor possa influenciar positivamente a percepção do consumidor. Com isso o fluxo de criação de valor dependerá dessas variáveis de processo da produção e da prestação, o quão bem e alinhados o produto e o serviço são produzidos e prestados.

Para representar e categorizar a aplicabilidade dos serviços Tan et al. (2010) utiliza uma distribuição que abrange do serviço orientado ao produto até o serviço orientado ao consumidor. Nessa representação ilustrada pela Figura 3 são dispostas cinco categorias de serviços demonstrando a abrangência da aplicação dos serviços como parte do valor entregue ao consumidor. Então, os serviços podem suportar questões administrativas (serviços de suporte a negócios), auxiliar o consumidor (serviços de atividades do consumidor) ou suportar atividades que até então seriam de sua responsabilidade (serviços de vida do produto). Ainda, os serviços podem atuar junto ao fabricante diretamente no fluxo de valor de realização do pedido com serviços de suporte aos seus ativos (serviços de uso do produto) ou inseridos nos próprios processos de fabricação (serviços no produto).

Figura 3- Abrangência da aplicação dos serviços

Fonte: Tan et al. (2010), traduzido e adaptado pelo autor.

Esses conceitos de valor, cadeia e fluxo de valor, e da ocorrência e características dos serviços são fundamentais para esta análise. O fenômeno abordado aplica o conceito de serviços em um contexto

industrial da manufatura. Uma relação B2B também pode influenciar o fluxo de valor do consumidor do serviço. Nesse sentido, existem muitas possibilidades de inserção dos serviços de manufatura em um fluxo de valor de um fabricante, por exemplo, de bens de consumo duráveis. Esse contexto é representado ilustrativamente pela Figura 4. Nessa figura são ressaltados alguns serviços podendo ser inseridos no início do fluxo de valor (com processos de planejamento, publicidade, gestão de recursos), ao longo do fluxo de realização do pedido (como serviços de manufatura, de manutenção dos equipamentos ou de otimização do processo) ou na entrega ou distribuição (serviços de logística e transporte).

Figura 4- Inserção de serviços industriais no fluxo de valor

Fonte: o autor

Ainda, como característica adicional, os serviços e, consequentemente, as influências do serviço para quem o consome ocorrem em uma condição dinâmica do mercado. De acordo com a abordagem sistêmica (SENGE; STERMAN, 1992; BUI; BARUCH, 2010), tal condição dinâmica resulta em um comportamento complexo do fluxo na manufatura. Isso pode ser percebido pelos indicadores como níveis de produção, tempo de entrega, entre outros. Essa complexidade se deve, entre outras causas, às defasagens da informação para a tomada de decisão de ajuste do sistema, e dos acúmulos desse efeito ao longo do tempo. Um exemplo que ilustra esse efeito consistiria na situação em que um

fabricante ao não conseguir acompanhar a sua demanda atual aumenta a quantidade de material em produção. Contudo, essa ação poderia resultar em uma grande quantidade de estoque de materiais acabados não prevista (uma condição não correspondente a intuição inicial). Isso porque, quando a demanda passaria a ser atendida, mesmo com a contra ação de reduzir a produção, o material já em processo (o efeito acumulado da ação tomada) é progressivamente finalizado resultando na grande quantidade de estoques acabados. Ou seja, a condição dinâmica mostra-se complexa porque é caracterizada por comportamentos não lineares dos sistemas (CAO; JIANG; WANG, 2016).

Essa primeira parte da contextualização expõe de forma ampla os principais conceitos levando a uma compreensão dos aspectos gerais a serem abordados. Todos os conceitos apresentados até então, da consideração do valor aos reflexos não lineares do comportamento do sistema, nos auxiliam a visualizar como uma empresa funciona. Contudo, a seção seguinte vai além, adentrando na questão da capacidade do fabricante, a importância e as implicações de sua gestão.

1.1 A QUESTÃO DA CAPACIDADE

A capacidade é um fator que implica diretamente no desempenho do sistema de produção ou prestação, determinando o volume do valor entregue, seja ele, portanto, um valor tangível ou volume de experiência intangível. Ou seja, a capacidade do sistema está associada ao fluxo de valor do sistema. Ainda, a importância científica das questões relacionadas à capacidade para a Manufatura Orientada a Serviços é evidenciada por Cheng et al. (2017). Para este autor a correspondência entre a demanda e a oferta do valor pela alocação dos recursos e, como tal, a utilização da capacidade do sistema é uma das principais questões a serem abordadas e um objetivo comum a ser buscado para este tipo específico de sistema.

Referente à condição atual da utilização da capacidade no segmento específico para a indústria da transformação em termos de comportamento se pode verificar uma tendência de oscilação junto a um decréscimo. Essa tendência é demonstrada pela série histórica de utilização da capacidade (que se refere especificamente à capacidade instalada) da indústria apresentada pela Confederação Nacional da Indústria (2017) e representada na Figura 5. O padrão de comportamento dessa utilização pode ser descrito como uma oscilação associada ao decréscimo. Como resultado o progresso do comportamento no horizonte temporal em que está representado culmina em um gap entre a capacidade disponível e a capacidade utilizada. Abordagens como o Lean preconizam a não utilização de 100% da capacidade do sistema reservando certa margem para imprevistos. Contudo, essa

comparação não se refere às decisões estratégicas de cada empresa, mas sim a um cenário de aproveitamento da capacidade disponível e um cenário atual.

Figura 5- Utilização da capacidade instalada (percentual médio)

Fonte: Confederação Nacional da Indústrias (2017)

Esse comportamento é um reflexo de forças externas associadas a fatores econômicos nacionais e seus reflexos no poder de consumo da população que nesse mesmo período demonstrou análogo comportamento de decréscimo. Ainda, as implicações do decréscimo da utilização da capacidade instalada recaem em maiores custos fixos. Um desses custos está no custo de manutenção dessa capacidade, mesmo não sendo utilizada. Essa breve explanação salienta que a capacidade não é um aspecto isolado em um sistema, estando associado a outros aspectos, como foi indicado aos fatores externos e aos custos. Mas também se salienta que em uma interpretação sistêmica todos os fatores estão associados de algum modo. Também se deixa claro o gap de capacidade entre o estado atual (a utilização reduzida da capacidade demonstrando capacidade disponível no sistema) e o estado desejado (a utilização plena da capacidade do sistema). Assim, os demais fatores como os custos citados são tratados como consequências ou efeitos deste gap.

Ainda, um argumento que poderia ser levantado frente ao descrito seria quanto a uma possível inexistência do gap frente a uma retomada da economia. Essa situação foi fundamentada com base no contexto econômico por este ser relevante e estar em evidência no momento dessa análise. Contudo, sob outros pontos de vista duas circunstâncias merecem ser salientadas. A primeira está na consideração de que demandas industriais se sustentam apenas quando os fabricantes dispõem de

produtos maduros e devidamente padronizados. Isso aliado aos incrementos tecnológicos com periodicidade cada vez mais reduzida faz com que os ciclos de vida dos produtos se reduzam e se torne mais difícil chegar à condição de produtos maduros e altamente padronizados. A segunda circunstância está na consideração de que alguns mercados são marcados pela competição por fatias restritas onde os preços praticados são de extrema relevância. Nesses mercados as empresas com sistemas mais enrijecidos terão menor capacidade de competição por preços e arcarão com uma menor demanda. Assim, mesmo em um contexto econômico favorável em que a Figura 5 não representa o comportamento da média das empresas alguns atores atuantes na indústria da manufatura podem constatar um comportamento da utilização da capacidade (de decréscimo) como o representado.

Em termos da obtenção da condição desejada ao sistema isso é devido à maior demanda, utilizando a capacidade instalada. Contudo, essa maior utilização da capacidade não pode ser confundida com a estratégia de produção para estoque que, inclusive, detém muitas críticas. Essa distinção será claramente evidenciada ao longo da caracterização do fenômeno. Por isso, ressalta-se a importância do fator de impulsão da utilização da capacidade como sendo o aumento da demanda. A maior utilização da capacidade instalada da indústria de manufatura acarreta a melhoria da relação custo/receita desta indústria.

Um meio para o aumento da demanda quando o mercado específico de atuação apresenta uma redução de consumo dos bens tangíveis está na oferta de serviços. Ou seja, além da demanda por bens tangíveis o sistema também passa a atender uma nova demanda por serviços. No segmento da manufatura a oferta de serviços utiliza a capacidade do sistema conduzindo a um compartilhamento da capacidade. Diferentes abordagens consideram o compartilhamento da capacidade especificamente para o segmento de manufatura como a abordagem de Manufatura Orientada a Serviços e a manufatura em nuvem (Cloud Manufacturing). O conceito de Indústria 4.0 também segue uma linha de integração de sistemas de modo global impactando na capacidade dos envolvidos. E, como as abordagens de serviços orientados a manufatura requerem uma quantidade de capacidade disponível (FRY; STEELE; SALADIN, 1994), aqui se aborda a estratégia da MOS como um recurso para aumentar a demanda ao sistema de manufatura justamente quando essa capacidade disponível resulta de efeitos externos.

Contudo, o compartilhamento da capacidade entre a fabricação de bens tangíveis e a prestação de serviços não garante o bom desempenho da utilização da capacidade. Isso porque o comportamento

não linear que pode desencadear reflexos contra-intuitivos também é evidenciado nos serviços industriais por Kohtamäki et al. (2013). Esse autor mostra em específico o comportamento não linear das vendas com a oferta de certos serviços industriais. Esse comportamento não linear pode ser atribuído a diferentes fatores, como à percepção do consumidor frente aos reflexos da não adequação da capacidade de prestação dos serviços (DELGADO-ALVAREZ et al., 2017). Os fatores externos, como os atribuídos ao consumidor, exercem estímulos externos e condicionam o comportamento do sistema como um todo, tornando sua compreensão relevante para o planejamento e controle do sistema.

1.2 A MODELAGEM E SUAS CONTRIBUIÇÕES

No que se referem à manufatura os métodos de prognóstico podem ser classificados em três grupos; os baseados na observação e conhecimento empírico (physics-based), baseados em modelos (model-based) e os orientados a dados (data-driven) (GAO et al., 2015). Os métodos baseados no conhecimento empírico fornecem estimativas precisas, mas requerem o acesso ao sistema real e um conhecimento detalhado do seu comportamento. Os métodos orientados a modelos ainda requerem a observação, mas têm nos modelos certas facilidades (como um tempo de análise reduzido) para fornecer estimativas. Mas ainda, os modelos podem ser usados em métodos orientados a dados utilizando informações extraídas de históricos para estabelecer a relação entre o estado corrente e o estado futuro do sistema. São exemplos de métodos orientados a dados as redes neurais (neural networks) que se aplicam a modelagem de sistemas complexos e não lineares, e também a teoria Fuzzy (Fuzzy theory). As abordagens que utilizam modelos se diferenciam por serem formulados usando princípios específicos de modelagem. Porém, de modo geral esses modelos são desenvolvidos para uma aplicação específica respeitando certas condições (GAO et al., 2015).

Os enfoques para a utilização de modelos para a análise de sistemas podem ser muitos. Esse é um dos fatores que implica na seleção de técnicas e ferramentas de modelagem. Nesse sentido a investigação conduzida por Phumbua e Tjahjono (2012) relaciona 22 trabalhos que utilizam técnicas de modelagem e ferramentas em diferentes aspectos de sistemas de produção de bens e serviços no contexto do PSS.

Nessa perspectiva da aplicação da simulação em sistemas de produção Musa; Greasley e Albores (2017) apontam uma tendência do uso da simulação de eventos discretos seguida pela Dinâmica de Sistemas e pela a simulação baseada em agentes. Contudo esses mesmos autores salientam que a escolha do método de simulação específico depende dos objetivos pretendidos. Nesses objetivos é

salientado a otimização da configuração durante a fase de projeto, avaliação do desempenho e otimização da utilização de recursos durante a produção e prestação (MUSA; GREASLEY; ALBORES, 2017).

Em termos de características o contexto em análise engloba diferentes ações de controle. Essas ações são fundamentadas na informação, ação e consequência. Portanto, os caminhos dessa informação descrevem os ciclos da informação no contexto sistêmico. O contexto também engloba variáveis referentes aos processos cognitivos da ação humana em sistemas sócio técnicos. Esses processos, bem como processos de outras naturezas, resultam em defasagens na condução da informação que governa o comportamento do sistema. Por esses motivos o comportamento do sistema apresenta característica não linear e padrões de comportamento variados.

Nesse sentido os modelos construídos pelo método Dinâmica de Sistemas (DS) (System Dynamics) permitem reproduzir comportamentos não lineares de sistemas sócio técnicos complexos. A DS compreende ferramentas iconográficas direcionadas a descrever o contexto de modo que (associado à projeção gráfica do comportamento pela simulação computacional) podem ser feitos apontamentos de como o sistema funciona. Então, a modelagem e simulação apresentadas nesse livro foram orientadas pelas diretrizes e ferramentas do método Dinâmica de Sistemas (DS).

De modo geral a contribuição da aplicação do processo de modelagem da Dinâmica de Sistemas, do modelo conceitual ao detalhado e sua utilização na projeção de cenários, recai sobre a adequação dos modelos mentais² estabelecidos sobre o contexto. A desconsideração da complexidade do sistema (suas inter-relações) faz com que tais modelos mentais não sejam atualizados, ou seja, a não ocorrência da aprendizagem sobre como o contexto de fato se apresenta. De modo gráfico a Figura 6a representa essa condição. Já o trabalho interativo proporcionado pela aplicação da Dinâmica de Sistemas resulta em um “mundo virtual” (o ambiente de simulação) no qual as decisões podem ser testadas antes de serem aplicadas à situação real viabilizando a aprendizagem sobre o funcionamento do sistema. Essa segunda situação é ilustrada pela Figura 6b.

Figura 6 - Processo decisório (a) sem aprendizagem e (b) apoiado pela DS

Fonte: Sterman (2000), traduzido pelo autor.

De um modo prático e aplicado, portanto, a modelagem apresenta duas principais contribuições. O primeiro um mapeamento conceitual e o segundo um modelo que permite a simulação computacional para análise de cenários.

O primeiro resultado contribuirá ao descrever o contexto sistêmico de fatores dinâmicos atuantes para o fabricante como reflexos desencadeados considerando o contexto da MOS. Conceitualmente os serviços são representados por tais fatores dinâmicos. Esses fatores são descrições de forças que agem favorecendo ou dificultando a dinâmica do sistema. Além de construir o conhecimento sobre como o sistema funciona, conforme apontado por Senge et al. (1999), mesmo nesse estágio conceitual é possível presumir como as forças atuarão e se ter uma ideia do funcionamento do sistema. De forma efetiva a descrição do contexto fomenta as discussões relacionadas às influências sistêmicas dos serviços (pelas suas características e pelas próprias características do arranjo entre produção e prestação na MOS).

Já a grande vantagem da simulação computacional é que essa permite a projeção de cenários para uma análise quantitativa do fenômeno. Com isso a projeção do comportamento expande a compreensão criada na etapa conceitual. O modelo pode ser construído utilizando métricas de acompanhamento do estado do sistema já conhecidas, facilitando também a compreensão e comunicação entre os profissionais. Assim, a simulação computacional poderá indicar, conforme as informações inseridas no software, como a inserção de serviços no contexto da MOS afeta o

comportamento do sistema em termos de utilização da capacidade. Juntamente, os experimentos conduzidos no ambiente de experimentação controlada (o ambiente de simulação) podem indicar qual aspecto da percepção do consumidor mais afeta a utilização de recursos na MOS e como isso ocorre.

A aplicação da Dinâmica de Sistemas também contribui com a academia ao descrever o emprego do método em um tema em particular. Essa aplicação explora a flexibilidade do instrumento, esclarecendo sobre as possibilidades de aplicação e possibilitando a comparação dos resultados obtidos aos resultados de outros autores acerca do mesmo fenômeno que eventualmente sejam realizadas utilizando-se de outros instrumentos de intervenção.

2 DINÂMICA DE SISTEMAS

A DS é definida por Coyle (1996) como uma metodologia que “trabalha com o comportamento dos sistemas em dependência do tempo e emprega modelos qualitativos e quantitativos objetivando a descrição dos sistemas e o entendimento sobre qual ciclo de realimentação³ de informação governa seu comportamento”. O paradigma da DS está no ciclo informação/ação/consequência. Considera que o “estado do sistema” produz uma “informação” por meio de fatores percebidos que caracterizam o estado. Essa informação leva o “conhecimento” do estado atual do sistema que, frente ao estado desejado, acarreta “ações” na tentativa de minimização da discrepância entre esses dois estados. Da “escolha” tomada na readaptação do sistema um novo estado é gerado. A Figura 7 representa esse paradigma, sendo essa sequência que atribui o comportamento dinâmico dos sistemas.

Figura 7 - Paradigma da Dinâmica de Sistemas

Fonte: Coyle (1996, pg. 4).

No entanto, como também está denotado na Figura 7, defasagens de tempo podem estar atuando na sequência dos componentes de informação/ação/consequência (D_K , D_C e D_S , respectivamente).

Dessa maneira, o padrão de comportamento⁴ da mudança do estado ao longo do tempo de um sistema particular depende do quão bem a informação e as ações estão ajustadas, considerando as defasagens existentes, e ao modo como as consequências surgem nesse sistema (COYLE, 1996).

Uma estrutura de orientação para a aplicação da DS (em uma diagramação mais linear) é descrita por Coyle (1996), além da estrutura de referência (diagramada em uma configuração mais interativa) apresentada por Sterman (2000). A DS possui duas ferramentas principais, o diagrama de causalidade (ou diagrama de enlace causal) e o diagrama de fluxos e estoques.

2.1 DIAGRAMA DE CAUSALIDADE

O diagrama de causalidade consiste na representação gráfica das relações entre os fatores dinâmicos do sistema utilizando termos verbais, linhas, setas e uma iconografia de sinais. As linhas formalizam as relações de causalidade enquanto as setas indicam a direção dessas relações. Sinais de “positivo” e “negativo” denotam o sentido da variação na relação entre dois fatores (direta ou inversamente proporcionais, respectivamente). Ainda, são utilizados sinais de indicação de defasagem da informação no sistema e de evidenciação e discriminação dos ciclos de realimentação. Esses ciclos podem ser estruturas de amplificação ou balanço.

As “relações causais” (ou relações de causa e efeito) constituem a representação da relação entre duas variáveis, a causa e seu efeito. São representadas graficamente por uma seta e um sinal. Há dois tipos de relações de causalidade: as relações positivas e as negativas. A relação causal positiva é identificada por uma seta e um sinal positivo. Esta indica que “se ocorrer um aumento na causa o efeito também aumentará acima do que aumentaria caso tal aumento não ocorresse e vice-versa” (STERMAN, 2000). A relação causal negativa é identificada por uma seta e um sinal negativo. Por sua vez, indica que “se ocorrer um aumento na causa o efeito diminuirá abaixo do que diminuiria caso tal aumento não ocorresse e vice-versa” (STERMAN, 2000). O Quadro 1 ilustra as possíveis relações causais entre dois fatores. As relações causais são os elementos básicos dos ciclos de realimentação.

Quadro 1 - Relações de causalidade

Relação causal	Interpretação
<p>Relação causal positiva</p>	<p>Representa proporcionalidade direta. Logo, se o “número de tarefas” aumentar, o “trabalho a realizar” também aumentará. Caso o “número de tarefas” diminuir, o mesmo ocorrerá com o “trabalho a realizar”.</p>
<p>Relação causal negativa</p>	<p>Representa proporcionalidade inversa. Assim, se os “recursos disponíveis” para a execução de uma tarefa aumentar, o “tempo para conclusão” da mesma diminuirá. Porém, se os “recursos disponíveis” tornarem-se escassos, o “tempo para conclusão” da tarefa irá aumentar.</p>

Fonte: autor

Já os ciclos de realimentação são os elementos básicos dos diagramas de causalidade. As estruturas dos sistemas apresentam, no entanto, apenas dois tipos de ciclos de realimentação atuando para gerar os diversos padrões de comportamento observados. Esses são: **o ciclo de realimentação positivo** (ou ciclo de reforço) e **o ciclo de realimentação negativo** (ou ciclo de balanço). O ciclo de realimentação positivo é caracterizado pelo fato que quando um fator qualquer deste ciclo tem uma variação (de aumento, por exemplo) as relações causais envolvidas no ciclo fazem com que esta mesma variável seja realimentada com uma variação no mesmo sentido (neste exemplo, uma variação de aumento novamente). Ou seja, este ciclo representa a estrutura sistêmica responsável pelo crescimento exponencial, no qual o “estado atual” de um sistema é amplificado com uma “taxa de mudança” determinada por “parâmetros de mudança”. A constituição básica desse tipo do ciclo é mostrada na Figura 8. Já o ciclo de realimentação negativo representa ações que levam à estabilização de um sistema, conhecido como o padrão de comportamento “busca pela meta”. Neste ciclo, quando um fator qualquer tem uma variação, as relações causais envolvidas no ciclo fazem com que essa mesma variável seja realimentada com uma variação no mesmo sentido oposto. Para tal, como mostra a constituição básica do ciclo de realimentação negativo mostrado na Figura 9, o sistema compara o “estado atual”, sujeito a “implicações externas”, ao “estado desejado” e aplica “ações” para diminuir a “diferença entre estes estados”.

Figura 8 - Representação gráfica do ciclo de realimentação positivo

Fonte: Coyle (1996, pg. 7), adaptado pelo autor.

Figura 9 - Representação gráfica do ciclo de realimentação negativo

Fonte: Coyle (1996, pg. 7), adaptado pelo autor.

Na representação da Figura 8 e da Figura 9 o elemento de “consequência” do paradigma informação/ação/consequência, ou seja, o que flui no sistema é representado com a ligação entre os fatores deste elemento feita por linha contínua. Os fatores relativos aos elementos de “informação” e “ação” que geram e são geradas pelas mudanças de estado do sistema são interligados por linha tracejada. Em um diagrama de influência o fluxo do sistema é o aspecto de mudança e nele são ligados os vários ciclos de realimentação formados pelas variáveis associadas (os principais fatores considerados pertinentes ao sistema dentro dos limites estabelecidos). O ciclo de realimentação positivo em um diagrama de influência é identificado com um semicírculo contendo o sinal “+” que é explicitado interno ao ciclo. O ciclo de realimentação negativo, por sua vez, é identificado com um semicírculo contendo o sinal “-”. Ainda as variáveis exógenas (cujas influências são externas aos limites do sistema) são representadas em uma caixa para diferenciá-las das demais.

2.2 DIAGRAMA DE FLUXOS E ESTOQUES

Com base no diagrama de causalidade o detalhamento do sistema agregando todos os fatores e variáveis considerados necessários dentro de um limite é realizado pelo diagrama de fluxos e estoques. Esse diagrama também viabiliza a simulação computacional, sendo que a inclusão das equações matemáticas que representam as relações é simplificada, abordando relações diretas. A linguagem utilizada pelo diagrama é uma analogia a linhas de fluxos que são controlados por válvulas e tanques que armazenam esses fluxos.

A representação básica de um diagrama de fluxos e estoque é mostrada na Figura 10. Nesta, as “**variáveis**”, que também estão no diagrama de influência já abordado, representam da mesma forma os fatores de influência, direta ou indireta, nos estoques e nos fluxos. As variáveis representam os componentes de “informação” e “ação” do paradigma da Dinâmica de Sistemas atuantes no sistema. Em uma analogia com um circuito formado por tubos interligados a um tanque de forma que água possa fluir pelos tubos enchendo o tanque, como também escoando e fazendo o tanque esvaziar (analogia muito utilizada pelos autores), o “**estoque**” representa a quantidade de água acumulada no tanque. Já os “**fluxos**” consistem na taxa de alteração do estoque. Logo, em qualquer ponto no tempo a quantidade de água no tanque reflete o acúmulo do fluxo de entrada, menos o que está fluindo para fora do tanque. Os estoques e os fluxos representam as “consequências” no paradigma informação/ação/consequência. Apresentam-se quando, por exemplo, dinheiro é transferido, bens são manufaturados, pessoas são recrutadas, sendo que, mesmo em casos psicológicos, sentimentos crescem e decrescem em um sistema particular. Assim, a Dinâmica de Sistemas pode ser empregada tanto em sistemas em que o fluxo identificado é concreto e facilmente mensurável, até sistemas em que o fluxo é abstrato (COYLE, 1996). Os conectores consistem em segmentos de curvas terminados em setas que transmitem informações entre variáveis e variáveis, variáveis e estoques, variáveis e fluxos, e estoques e fluxos. As entradas e saídas são representadas por “nuvens” e determinam os limites do modelo. Considera-se que a origem, assim como o destino do fluxo desse fluxo não são pertinentes ao propósito de análise do sistema.

Figura 10 - Estrutura de fluxo e estoque para a modelagem estrutural

Fonte: Sterman (2000).

Assim, os estoques acarretam em níveis, assim como os fluxos estão relacionados às taxas. Estes, níveis e taxas, são fundamentais para a subestrutura de ciclo e são os componentes primários da estrutura do sistema. Os níveis e taxas não são distinguíveis pelas suas unidades de mensuração, visto que, por exemplo, a “velocidade” em um determinado sistema pode ser exposta como uma taxa que aumenta a “distância” (sendo então à distância o nível do sistema) ou a velocidade, em outro sistema, pode ser exposta como o acúmulo (nesse caso um nível) da aceleração (neste caso a taxa). Portanto, um componente particular do sistema analisado não tem sua função (níveis ou taxas) no modelo definido pela sua unidade de mensuração. Isto atribui a Dinâmica de Sistemas flexibilidade na abordagem dos problemas frente às possíveis interpretações e pontos de vista para análise.

2.3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A simulação computacional consiste no uso do cálculo numérico em rotinas computacionais para estimar o estado das variáveis de saída de um sistema em função das alterações nas variáveis de entrada. Com a simulação podem ser conduzidos experimentos em um ambiente virtual e seus resultados apresentados em projeções gráficas. Portanto, é pela inserção de diferentes valores para as constantes e seu controle ao longo da simulação que os experimentos são conduzidos de modo a responder as perguntas do pesquisador sobre o objeto em análise. É dessa forma que a análise proposta pretende comparar cenários distintos e estabelecer uma análise para que se complemente a lacuna identificada na literatura, atingido o objetivo proposto. São softwares aplicáveis à Dinâmica de Sistemas o Vensim® (marca registrada de Ventana Systems Inc.), STELLA, Powersim e DYNAMO.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para o completo entendimento do tema e dos conceitos mais relacionados a ele é de suma importância a fundamentação de três aspectos. O primeiro consiste na aplicação da perspectiva

sistêmica relacionada à atividade de gestão. O segundo é a perspectiva estabelecida na consideração dos serviços, suas definições, os elementos que os constituem e sua aplicação na indústria. E, finalmente, a própria MOS é caracterizada de forma específica para seu tratamento ao longo da modelagem.

3.1 A PERSPECTIVA SISTÊMICA APLICADA À GESTÃO

A abordagem sistêmica empregada à gestão aplica as considerações da teoria dos sistemas na unidade empresarial. Tem a empresa como um sistema aberto, cujo funcionamento depende, além de suas partes (os elementos do sistema: as filiais, departamentos e setores, tecnologias e recursos, entre tantos outros) e das interações entre elas, também depende das condições do mercado em que se insere, o seu meio. A interação entre essas partes, os fluxos de informações ou materiais, formam estruturas de ciclos de realimentação sob duas perspectivas: as estruturas em níveis e as estruturas em redes.

Nesse sentido, a organização sendo entendida como composta por diferentes níveis sistêmicos, cada um destes são responsáveis por estabelecer determinados controles no sistema. Por essa consideração, utilizando a representação de Coyle (1996) mostrada na Figura 11, em um primeiro nível sistêmico poderia ser situado o domínio da operação (1) cuja função consiste em garantir o aproveitamento permanente dos fatores do sistema físico (que realiza as tarefas fins da empresa ou de parte desta, onde situa os produtos, meios técnicos, meios comerciais e meios humanos) para realizar as tarefas determinadas pela gestão. Como característica, o sistema de operação (que, como exemplo poderia ser citado o planejamento diário da produção, alocação de uma equipe de trabalho, suprimentos, entre outros) age no mesmo ritmo dos fenômenos que controla. Acima deste, a gestão (2), por sua vez engloba o nível precedente e tem como função fixar os objetivos da operação de uma forma condizente com os meios que dispõe para o controle da execução. O funcionamento da gestão se dá a um horizonte mais longo que a operação onde, poderiam ser citadas atividades como o planejamento mensal da produção, ajuste de orçamentos, ajuste de cronogramas, dentre outros. Ainda acima deste nível (3) estaria a fixação dos objetivos em longo prazo da gestão. São exemplos: o estudo de novos produtos, os planos de investimentos, a procura por novos mercados, etc. Por fim, um nível superior a este (4) realiza a ligação da empresa, como unidade microeconômica, e o mercado no qual se insere. Neste nível encontram-se as decisões mais macros possíveis como sobre a própria existência da empresa, absorções, fusões, ou seja, decisões que podem transformar radicalmente todo o sistema.

Figura 11 -Cone de níveis sistêmicos

Fonte: Coyle (1996, pg. 44), traduzido pelo autor.

A interação de redes de ciclos de realimentação na organização (e também de uma forma geral) forma-se sob duas perspectivas: a estrutura em rede e a estrutura em níveis. A estrutura em rede representa a interligação dos elementos que compõem o sistema. Estes elementos também são denominados por subsistemas ou blocos. A interação entre os subsistemas podem se manifestar sob a forma material (fluxos de trocas de materiais, capitais, ordens, recursos humanos) ou de informação (pedidos, instruções, informações de qualquer natureza) (MÉLÈSE, 1973). Já a estrutura em níveis representa a hierarquia dos sistemas. Nesse caso, o termo “hierarquia” não se refere à ordem de importância, mas ao “grau de decomposição do sistema”. Isto porque em um sistema maior, um subsistema pode ser decomposto em sua própria estrutura de blocos e subsistema e suas interações, ou seja, em sua própria estrutura em rede como sistema completo.

Na perspectiva sistêmica em que a abordagem é desenvolvida a consideração dos serviços conforme tal perspectiva é necessária. Nesse sentido a próxima seção trata dos serviços com tal perspectiva.

3.2 A PERSPECTIVA DOS SERVIÇOS

A utilização da perspectiva que engloba serviços na elaboração desse livro que tem como foco principal a manufatura pode acarretar questionamentos básicos. A primeira questão a ser esclarecida é: por que utilizar uma perspectiva de análise que atribui ênfase aos serviços? Nesse sentido, vale ressaltar que mesmo na indústria tradicional com foco no bem tangível estão envolvidas muitas atividades de suporte que caracterizam atividades de serviços. A aquisição de materiais, emissão de notas, composição do balanço, por exemplo, são atividades administrativas e financeiras que viabilizam a fabricação e comercialização dos bens. Mesmo conjuntamente com as atividades de manufatura do bem estão envolvidos outros “produtos” de atividades ou esforços, como as o controle de qualidade do trabalho em processo. Ou seja, os serviços sempre estiveram presentes também na indústria manufatureira. O que está ocorrendo consiste em uma maior preocupação com a formalização do fenômeno que contribui em vários aspectos, inclusive do controle desses serviços.

Então, a consideração de que mesmo na indústria da manufatura as atividades de serviços estão naturalmente presentes e de que em uma abordagem sistêmica os serviços e produtos integram um mesmo sistema, isto conduz a um novo questionamento. Essa perspectiva de serviços não poderia ser aplicada a tudo, ou seja, nessa abordagem todas as relações entre empresas ou mesmo nas relações entre departamentos em uma empresa são, de algum modo, serviços sendo prestados? A perspectiva de análise é somente um posicionamento do pesquisador ao considerar e trabalhar o fenômeno. Nessa perspectiva todas as relações apontadas podem sim serem “vistas” como a prestação de um serviço que envolve, entre outros elementos, o bem tangível. Mas essa perspectiva não muda o modo como tais relações ocorrem, apenas muda a forma como são consideradas. A utilização de uma nova perspectiva pode conduzir a novas percepções do fenômeno e, com isso, a resultados inovadores.

Por fim, outro importante questionamento que pode estar latente consiste em: essa agregação de serviços pelo fabricante não se refere à terceirização de uma etapa? Nesse sentido, a principal consideração da literatura que diferencia essa estratégia de agregação de serviços de uma terceirização de etapas do processo consiste na integração estabelecida entre o bem tangível e o serviço prestado. A agregação dos serviços em um sistema que envolve também os produtos precisa ocorrer de modo associado desde o planejamento (AURICH; FUCHS; WAGENKNECHT, 2006). Nesse tipo de associação entre produtos e serviços, diferentemente de uma terceirização, o valor total é resultante do valor referente a um bem tangível (X) adicionado do valor referente a um serviço (Y). Com isso, nessas associações faz mais sentido descrever o valor entregue como: a existência de X,

quantidade de X, acesso à X, condição de X, direitos de uso de X, sendo a existência, quantidade, acesso, condições e direitos de uso provenientes dos serviços associados (Y) (KIM et al., 2009).

Os serviços abrangem um amplo espectro. Dentre os quais estão fortemente alinhados com essa abordagem e são tratados na sequência (i) o serviço pela abordagem sistêmica, (ii) os serviços industriais (sua definição e tratamento) e (iii) as características gerais da própria a Manufatura Orientada a Serviços.

3.2.1 O SISTEMA SERVIÇO

A compreensão do serviço como um sistema converge com a própria perspectiva da construção da análise. Essa compreensão está vinculada a visualização do fenômeno como um conjunto de elementos com funções específicas para cada etapa da entrega de valor. Esses elementos geram o conteúdo e estabelecem os meios complementando-se ou trocando informações e/ou materiais de modo orientado para que o valor possa ser consumido pelo consumidor direto. Um exemplo simples consiste na relação entre as pessoas que operacionalizam a produção do valor e os processos que concentram as informações necessárias para que o valor seja produzido. Os produtos resultam, portanto, da execução das ações planejadas e descritas nos processos por profissionais específicos. Porém, para que esses processos sejam operacionalizados nas instalações do fabricante ainda precisam ser suportados por outros processos administrativos e por tecnologias específicas. Nesse sentido, se percebe que elementos como os processos podem se subdividir formando cadeias de processos, além de dependerem de aspectos das instalações (como capacidade de processamento) e das tecnologias disponíveis para o processamento, movimentação, registro, entre outros. Ainda nessa consideração do sistema serviço como um sistema sócio técnico, as decisões associadas aos processos formam cadeias de informações. Muitas dessas cadeias de informações formam ciclos como, por exemplo, a correção da quantidade de um determinado produto em processamento depende da cíclica verificação no nível atual de processamento e emissão de ordens de produção. Visto a dependência dessa informação com o estado anterior do sistema (o nível de processamento no instante da verificação) efeitos diversos dos ciclos de informação são acumulativos. Esses efeitos acumulados podem se manifestar na utilização da capacidade. Portanto, na interpretação dos serviços industriais em uma perspectiva sistêmica, conduz enfim, à compreensão dos acúmulos de informações e suas implicações, além de como e onde esses acúmulos se manifestam em uma visão abrangente do serviço. Com essa interpretação orientada pelo método (que é apresentado no próximo capítulo) se

torna possível compreender como os efeitos acumulados surgem nos sistemas de produção e de prestação.

Uma abordagem que expõe a composição do sistema serviço é apresentada pela Figura 12 relacionando oito elementos. Um desses é o próprio produto (como bem tangível). Assim, se na perspectiva do produto dominante considera a existência de serviços (mesmo serviços de apoio administrativos) a perspectiva do serviço dominante também considera que um produto componha o sistema para entregar o pacote de valor final. Por exemplo, mesmo em uma relação comercial em que o valor seja basicamente intangível, como na prestação de uma consultoria, estariam envolvidos laudos ou certificações, que constituiriam os bens tangíveis e complementariam o serviço. Além dos produtos também constituem o sistema serviço os bens facilitadores (como instrumentos de diagnósticos para o exemplo da consultoria), informações (como relatórios) e instalações de apoio. Complementam o sistema serviço, como citado anteriormente, os processos e as pessoas. Mas ainda, e não menos importante, o sistema serviço está sujeito as influências do ambiente em que ocorre. O ambiente industrial exerce influências específicas que em outros ambientes podem não se apresentar, ou se apresentar em diferentes amplitudes de influência.

Figura 12 - Elementos que compõem o sistema serviço

Fonte: Forcellini (2014).

A apresentação do sistema serviço pela Figura 12 sugere, em convergência com a perspectiva sistêmica, a relação mútua entre todos os elementos. Para complementar a compreensão dos oito elementos que compõem o sistema serviço conforme essa representação, esses são brevemente descritos no Quadro 2.

Quadro 2 - Descrição dos elementos do sistema serviço

Elemento	Descrição
Processos	Conjunto de comportamentos, atividades ou tarefas logicamente inter-relacionadas, realizadas no <i>front</i> e <i>back office</i> e que suportam a realização do serviço.
Ambiente	O meio ou ambiente externo influencia e é influenciado pelo sistema. Inclui as dimensões social, econômica e ambiental.
Informações	Dados e informações gerados e fornecidos pelos clientes ou pelas empresas, vitais para a execução do serviço.
Bens facilitadores	Materiais que são consumidos, adquiridos ou fornecidos no <i>back</i> e <i>front office</i> , para a realização do serviço.
Instal. de apoio	Recursos físicos e instalações necessárias à prestação dos serviços.
Produtos	Equipamentos, máquinas e dispositivos necessários e/ou associados à prestação dos serviços.
Produtos	Equipamentos, máquinas e dispositivos necessários e/ou associados à prestação dos serviços.
Pessoas	Clientes, funcionários do <i>front</i> e <i>back office</i> , fornecedores, e outros envolvidos direta ou indiretamente com a prestação do serviço.
Serviços	Benefícios que são percebidos pelos clientes e considerados as características do serviço.

Fonte: Forcellini (2014)

Conforme essa composição os serviços industriais podem ser considerados uma especificação do fenômeno dos abrangentes sistemas serviços. Os elementos atribuídos aos serviços industriais também podem ser relacionados aos elementos do sistema serviço de modo genérico.

3.2.2 OS “SERVIÇOS INDUSTRIAIS”

Primeiramente vale evidenciar como os serviços industriais são entendidos pela literatura, verificando alinhamentos ou divergências conceituais que podem condicionar as análises. Nesse sentido, Schmitz et al. (2015) segmentam as definições atribuídas ao fenômeno “industrial service” em uma classificação com definições focadas em quatro diferentes aspectos: (i) definição focada na indústria, (ii) definição focada no processo,

(iii) definição focada nos ativos e (iv) definição focada nas características dos serviços.

- Definição focada na indústria: nessa categoria Schmitz et al. (2015) enquadra as definições com base no “indivíduo ou organização para o qual sejam comercializados os serviços ou em relação à entidade que presta tais serviços”. São exemplos definições como: serviços industriais são comercializados para clientes industriais ou clientes com produção industrial. Também são enquadradas nessa categoria definições em que os serviços industriais: são todos os serviços desenvolvidos e prestados por fornecedores industriais, por fabricantes de equipamentos industriais ou por companhias especializadas em serviços. Essas definições variam em relação à perspectiva pela qual os serviços são considerados, ou seja, pela perspectiva do consumidor ou do prestador.
- Definição focada no processo: conforme Schmitz et al. (2015) essa categoria engloba as definições do fenômeno que enfatizam a visão de processo associando os serviços industriais a todos os serviços relacionados ao processo organizacional. Ou seja, o serviço industrial é definido como o tipo de serviço que dá suporte às operações industriais, como os processos de produção.
- Definição focada nos ativos: nessa categoria Schmitz et al. (2015) segmentam as definições cuja declaração está relacionada ao ciclo de vida dos bens industriais assumindo um inter-relacionamento entre ambos. São exemplos definições declarando etapas de manutenção, atualização, pós-vendas e demais etapas consideradas no ciclo de vida.
- Definição focada nas características dos serviços: focam nas características de intangibilidade, heterogeneidade, inseparabilidade e sua característica de perecível, ou ainda, especialização e tecnologia, entre outros conforme os pontos de vista ressaltados pelos autores. Ou seja, conforme Schmitz et al. (2015) essas são definições que focam nos aspectos que diferenciam os serviços dos bens tangíveis.

Outros autores ainda podem apresentar diferentes definições. Por exemplo, Kohtamäki et al. (2013) concentram as perspectivas do consumidor e do prestador focados na indústria e define o serviço industrial como a dimensão central ou uma manifestação de uma estratégia industrial. Porém, o entendimento dos serviços industriais está associada ao entendimento do ambiente “industrial”. Uma definição ou destinação exata do que seja o ambiente industrial, contudo, é difícil de ser estabelecida. No entanto, Gebauer (2008) explora as forças (ou fatores) que caracterizam o ambiente no qual os serviços industriais atuam. O autor ressalta como forças desse ambiente a (i) competitividade

intensificada no campo do produto, (ii) a competitividade intensificada no campo do serviço, (iii) crescimento do mercado, (iv) sensibilidade do consumidor ao preço e (v) opção estratégica do consumidor para operação do produto. Esses fatores auxiliam a posicionar os serviços em relação ao ambiente para uma melhor classificação e compreensão.

A indústria da manufatura é abordada na literatura como um dos domínios de atuação dos serviços industriais. Ressaltando esse aspecto Schmitz et al. (2015) apresenta uma matriz classificando alguns tipos de serviços industriais. Nessa matriz, apresentada na Figura 13, a indústria da manufatura é relacionada nos domínios de aplicação dos serviços industriais junto à indústria de processos. Outras indústrias que podem ser citadas são: a indústria automotiva (WILLIAMS, 2007; WANG et al., 2011), energética (MÜLLER et al., 2009) e alimentícia (EVANS; PARTIDÁRIO; LAMBERT, 2007). Ainda a atuação dos serviços está relacionada às áreas funcionais, como a área de nível estratégico, desenvolvimento, suporte e a área em nível de operação. Em convergência com essa abordagem, a engenharia está relacionada às disciplinas necessárias para desenvolver a atuação dos serviços industriais de modo à melhor contribuir com novos modelos de negócio, objetos de serviço inteligentes e conectados, e operações de serviço suportadas por tecnologia.

Figura 13- Matriz de classificação dos serviços

Fonte: Schmitz et al. (2015), traduzido e adaptado pelo autor.

Outra abordagem da literatura em relação aos serviços industriais consiste no Sistema Produto-Serviço Industrial. Conforme ressaltam Meier; Völker e Funke (2011) esse sistema é caracterizado por ter base

em relações industriais do tipo Business to Business, e considerar o produto e o serviço integrados desde o planejamento, desenvolvimento, entrega e uso. Nesse sentido os autores seguem a definição do IPS2 como um sistema sócio-técnico que integra produtos e serviços (do planejamento ao uso) e elementos de tecnologia em aplicações Business to Business. É importante salientar a perspectiva sistêmica dessa definição. Nessa perspectiva, um sistema cumpre seu objetivo com a entrega de valor contando com a interação mútua e dinâmica dos elementos que compõem o sistema. A definição apresentada ainda salienta esses principais elementos na consideração dos autores. Assim, em específico para o IPS2 é considerados além dos elementos de produto e serviço também o conjunto de tecnologias e softwares específicos que viabilizam a integração do sistema e toda a rede de pessoas envolvidas nas etapas de identificação, proposição e entrega do valor.

Mas também, de modo alinhado a classificação de Schmitz et al. (2015) dos serviços industriais quanto aos domínios a indústria da manufatura está envolvida no emprego dos serviços. É nesse âmbito que o fenômeno recebe o rótulo de Manufatura Orientada a Serviços. Assim, na próxima seção essa fundamentação teórica geral chega a MOS.

3.2.3 A MANUFATURA ORIENTADA A SERVIÇOS

Sendo a manufatura um segmento industrial a abordagem a MOS dá sequência a essa fundamentação geral. Esse segmento também transita do paradigma da fabricação de bens tangíveis puros para a agregação de serviços. Nesse sentido, a MOS pode ser considerada como uma classe específica de IPS2 que, de um modo muito amplo, consiste na oferta de bens associados a serviços (um PSS) em um contexto industrial.

É importante ressaltar antes de estreitar o conceito da MOS que além do termo “Manufatura Orientada a Serviços” para discriminar os elementos de serviços fornecidos pelas empresas de fabricação também são usados outros rótulos como: estratégia de serviço na manufatura (Service Strategy in Manufacturing), serviços relacionados a produtos (Product-Related Services), serviços de produtos (Product- Services) ou serviços de pós-venda (After-Sales Services) (OLIVA; KALLENBERG, 2003). Também são encontrados os termos: serviços técnicos (Technical Services) (AURICH; FUCHS; WAGENKNECHT, 2006) e servitização (Servitization) dos produtos (BIANCHI et al., 2009). Além desses, outros dois termos apontados pela literatura com sentido mais equivalente a MOS são a manufatura baseada em serviços (Service-Based Manufacturing) e a manufatura focada em serviços (Service-Enhanced Manufacturing) (CAO; JIANG; WANG, 2016).

Contudo, a simples discriminação dos elementos de serviços ainda é uma distinção muito genérica. A MOS consiste em um conceito peculiar frente aos demais, visto que é estruturado em princípios específicos. Esses princípios convergem com as proposições fundamentais referentes às características dos serviços, mas tendo como principal argumento o uso dos recursos da manufatura para sua realização. A MOS é definida por Gao et al. (2011) como um novo padrão de produto e paradigma de fabricação que incorpora serviços ao consumidor, serviços de fabricantes e a indústria de manufatura.

Apesar de ser relativamente emergente a MOS ainda é uma das bases com as quais são formados novos conceitos de compartilhamento de recursos como a manufatura em nuvem (ADAMSON et al., 2017). Na manufatura em nuvem são usados os princípios da MOS, porém com um forte aparato tecnológico em redes de comunicação.

Detalhes específicos e aprofundados desse tema serão providos na fundamentação teórica específica exposta na sequência. Tal fundamentação teórica específica também estabelece as bases para o processo de modelagem.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA MANUFATURA ORIENTADA A SERVIÇOS

A fundamentação teórica específica reflete o estado atual do conhecimento acerca do tema e é utilizada para a composição da estrutura conceitual para o processo de modelagem. A caracterização da MOS tem base na literatura especializada vigente. Os artigos considerados necessários para caracterizar os serviços industriais foram selecionados seguindo um processo estruturado de busca bibliográfica sistematizada. Os artigos identificados pelo processo e considerados no portfólio de artigos de referência contribuem para responder questões de pesquisa específicas para a composição da estrutura conceitual. Todos os detalhes da aplicação do processo estruturado e a busca bibliográfica sistematizada podem ser vistos com Ariento Neto (2018). Contudo, o portfólio bibliográfico resultante é apresentado por completo no Quadro 3. Neste também se salienta a principal contribuição de cada artigo para a interpretação do tema.

Quadro 3 - Principais contribuições dos artigos para a abordagem.

Artigo	Síntese do artigo e contribuições
Adamson <i>et al.</i> (2017)	Estabelecem uma análise acerca tecnologias de utilização da capacidade em sistemas de manufatura que contribuiu para a descrição do panorama considerado nessa análise.
Cao; Jiang e Wang (2016)	Ao trabalhar a previsão da demanda em MOS os autores inserem a satisfação do consumidor na avaliação. Com isso, mesmo utilizando método de análise diferente deste muitos fatores são relacionados e usados como referência.
Cheng <i>et al.</i> (2017)	Neste artigo os autores abordam um problema de alocação de capacidade, contudo relativa à rede de suprimentos no complexo arranjo da MOS. O artigo é referência na conceitualização da amplitude que recursos abrangem nesse tema. Além disso, esse artigo também contribuiu por evidenciar dimensões das quais derivam fatores de influência no sistema.
Chou (2014)	O trabalho do autor explora as dimensões de percepção e satisfação dos consumidores de serviços. Contribuiu com essa abordagem no sentido da compreensão dos requisitos do valor e, principalmente no inserção das características dos serviços.
Delgado-Alvarez <i>et al.</i> (2017)	Neste trabalho é explorada a tomada de decisão do gestor em relação à capacidade do sistema serviço e como isso gera filas para o consumo do valor. Portanto, o trabalho contribuiu com fatores de influência na dinâmica do sistema. Mas, como o fenômeno é abordado utilizando a Dinâmica de Sistemas, então esse trabalho também contribuiu com a etapa de modelagem estrutural por descrever uma estrutura para o sistema serviço.
Fry; Steele e Saladin (1994)	Esse trabalho expõe as principais considerações que guiaram a fundamentação teórica específica quanto ao aspecto da capacidade em sistemas de produção que agregam serviços. Especificamente fundamentam a abordagem no que se refere à caracterização da agregação de serviços em manufatura.

Gao <i>et al.</i> (2011)	Aborda conceitualmente a MOS e contribuiu para a descrição do panorama em que essa análise foi desenvolvida.
Lin <i>et al.</i> (2012)	O artigo trabalha a capacidade no sentido da otimização dos recursos de produção no contexto da MOS. São abordadas questões relativas ao ERP. O artigo contribuiu atribuindo uma perspectiva do tratamento dos recursos nesse contexto.
Oliva e Kallenberg (2003)	Abordando a transição dos produtos para os serviços na indústria da manufatura a pesquisa dos autores evidencia as dimensões necessárias para essa transição, além de fatores de sucesso que, nesta abordagem são utilizados como fatores de influência na dinâmica do sistema.
Theorin <i>et al.</i> (2017)	Estabelece uma análise acerca de tecnologias de utilização da capacidade em sistemas de manufatura que contribuiu para a descrição do panorama.
Zhang <i>et al.</i> (2012)	Ao trabalhar as redes de colaboração em arranjos na MOS esse artigo contribuiu por abordar alguns dos principais requisitos do valor na MOS frente à percepção do consumidor direto desse valor.
Zhen (2012)	O autor conduz uma análise englobando mercados competitivos e a dimensão de custos, contribuindo nesse aspecto especificamente.
Zhang <i>et al.</i> (2014)	Estabelecem uma análise acerca tecnologias de utilização da capacidade em sistemas de manufatura que contribuiu para a descrição do panorama.
Wang <i>et al.</i> (2013)	Os autores utilizam um método de simulação estocástica, contudo exploram o reflexo da demanda por bens tangíveis e por serviços ao prestador MOS. Essa pesquisa é utilizada na fundamentação teórica específica, bem como em aspectos da construção do modelo de simulação.

Fonte: autor

Com isto está formada a base para a fundamentação específica conduzida na sequência. Ressalta-se que ao longo dessa seção e nos próximos capítulos é adotado o termo prestador MOS para se referir

ao fabricante de bens manufaturados que adota a Manufatura Orientada a Serviços para compor o valor final entregue.

3.3.1 CARACTERIZAÇÃO DA AGREGAÇÃO DE SERVIÇOS EM MANUFATURA

As primeiras considerações apontadas nessa fundamentação teórica específica dizem respeito especificamente às características dos serviços, que estão igualmente presentes nos serviços orientados a manufatura. Com o objetivo de construir um modelo que englobe o aspecto de serviços essas considerações atribuem rigidez conceitual ao modelo.

Portanto, a primeira consideração formalizada nessa fundamentação diz respeito a uma das características dos serviços. O serviço, por ser intangível (CHOU, 2014), resulta do desempenho de uma ou mais atividades de prestação. Ou seja, a agregação de serviços requer o empenho de pessoas para desempenharem as atividades correspondentes ao valor entregue pelo serviço. Essa consideração dos serviços também está presente nos conceitos dos autores clássicos já apresentados. Os processos de desenvolvimento de serviços produzem o detalhamento das atividades com seus requisitos. Entre as especificações das atividades de serviço estão: a quantidade de pessoas necessárias ao longo das etapas do serviço, as competências específicas, entre outras. Então, pelo desempenho das pessoas se obtêm certa capacidade na prestação dos serviços. E, essa capacidade pode ser mensurada por diferentes grandezas referentes à natureza dos serviços em questão (o que pode resultar em uma ambiguidade de compreensão). Se, por exemplo, o serviço em questão se refere a um serviço de estacionamento sua capacidade pode ser medida em quantidade de vagas por mês, sendo que essas dependem dos fatores referentes às pessoas para alocação e manutenção dessas vagas (DELGADO-ALVAREZ et al., 2017). Do mesmo modo a atribuição e garantia de horas de manufatura em um sistema de produção depende dos fatores referentes aos recursos humanos que administram esse serviço.

Alinhado à consideração anterior Chou (2014) também salienta que os serviços são heterogêneos. Atividades desempenhadas têm mais graus de liberdade em relação a bens tangíveis justamente por serem intangíveis. Isso implica no fato da qualidade do serviço ser mais difícil de ser entregue de forma consistente (CHOU, 2014). Enquanto que para o bem tangível a qualidade pode ser mensurada antecipadamente, no serviço ela é percebida à medida que é entregue, sendo, muitas vezes, necessários ajustes.

A terceira consideração fundamental da revisão bibliográfica descreve outro aspecto do contexto também relacionado a uma característica inerente dos serviços, sua simultaneidade. Um serviço não pode ser satisfeito com um estoque, pois como ele é consumidor à medida que é fornecido (CHOU, 2014). Em função disto os sistemas produtivos que entregam serviços precisam dispor da capacidade necessária para a realização dos serviços (FRY; STEELE; SALADIN, 1994) e, também, da organização e do controle do sistema referente a esse contexto. Esse aspecto da adoção de serviços em sistemas de manufatura vai de encontro à utilização da capacidade disponível. Nesse sentido estabelece um meio para o aumento da demanda quando o mercado específico de atuação apresenta uma redução de consumo pelo compartilhamento da capacidade entre a produção dos bens e as atividades de prestação. Diferentes abordagens consideram esse compartilhamento da capacidade especificamente para o segmento de manufatura como a abordagem de serviços orientados a manufatura já ressaltada (FRY; STEELE; SALADIN, 1994) e a manufatura em nuvem (Cloud Manufacturing) (ZHANG et al., 2014; ADAMSON et al., 2017). Mais recentemente o conceito de Indústria 4.0 (THEORIN et al., 2017) também segue uma linha de integração de sistemas de modo global impactando na capacidade dos envolvidos.

Ainda em relação às características dos serviços, além de simultâneos eles são perecíveis. A rigor os serviços não são perecíveis, mas essa característica expressa que uma capacidade alocada para a satisfação de uma necessidade pela prestação de um serviço que não é utilizada é perdida (FRY; STEELE; SALADIN, 1994; CHOU, 2014).

A Figura 14 concatena as informações apresentadas ilustrando de modo pictórico como os fatores externos (a produção) influenciam no sistema produtivo. Nesse sentido dois fatores principais são determinantes para a mudança do contexto do sistema. Um destes continua sendo a demanda do mercado. Essa demanda utiliza parte da capacidade do sistema e representa, até então, é a principal fator que determina os fluxos de valor ao longo dos processos de manufatura. Por consequência as ações de controle desse fluxo estão relacionadas com as características da demanda do mercado. Nesse sentido, a adoção estratégica de serviços industriais é inserida como um evento adverso a condução normal do sistema. Essa estratégia implica principalmente em fatores relacionados à prestação e em fatores relacionados à capacidade do sistema, uma vez que se utiliza dessa capacidade (disponível). E, portanto, é nesse contexto que a capacidade do sistema produtivo passa a ser compartilhada, sendo influenciada pela demanda ao sistema.

Figura 14 - Contexto macro da adoção de serviços de manufatura

Fonte: o autor.

Após essas considerações iniciais referentes às características inerentes aos serviços e totalmente necessárias para a rigidez conceitual dessa abordagem, o foco é estreitado para a demanda aos serviços orientados a manufatura. Nesse contexto, portanto, a prestação de serviços associa ao sistema de produção uma segunda demanda (além da demanda por bens tangíveis) específica. Prosseguindo nessa caracterização da agregação de serviços em manufatura foram retratadas particularidades de como essa demanda aos serviços prestados ocorre. Nesse sentido, a literatura ilustra cenários em que esses serviços podem ser entregues para um consumidor final, denominada de relação *Business to Customers* (B2C) ou ainda para fabricantes de produtos que atendem esses consumidores finais, ou relação *Business to Business* (B2B). Ainda, os serviços podem aproveitar competências específicas de diversos prestadores e, com isso, serem associados para compor o valor final entregue. Por consequência podem ser configurados diferentes fluxos de valor, inclusive com redes complexas interligando os atores participantes. Na MOS redes são denominadas como redes de colaboração em serviço orientado (*service-oriented collaboration network*) (ZHANG *et al.*, 2012), ou, simplesmente cadeias de suprimentos (*supply chain*), sendo, portanto, arranjos característicos de cadeias⁵. Então, entre os principais atores envolvidos nestes fluxos estão o consumidor do valor (o consumidor final ou o consumidor direto no contexto industrial) e o prestador dos serviços. Mas, em contextos mais específicos outros atores podem estar envolvidos, como os operadores do sistema no contexto da manufatura em nuvem (ZHANG *et al.*, 2014; ADAMSON *et al.*, 2017).

A Figura 15 ilustra em uma visão geral como a prestação de serviços industriais e a fabricação de produtos podem ser associadas e entregues ao consumidor sob a forma de valor. Como salientado podem ser apontados diferentes arranjos entre os fabricantes e prestadores como atores da rede e, como tal, diferentes fluxos de valor. Nessa figura, portanto, está representado um fluxo de valor diretamente do prestador do serviço (P_3) ao consumidor (C_3) e diretamente do fabricante (F_1 e F_2) ao consumidor em um determinado mercado. Também, é representado um fluxo de valor entre prestadores industriais.

Figura 15 - Visão geral do arranjo entre prestador, fabricante e consumidor

Fonte: o autor

Observada a demanda por serviços e considerado como o ambiente em que o prestador MOS está sujeito, essa perspectiva é restringida no sentido de abordar quais as influências que os fatores do ambiente estabelecem no sistema. Isto visto que sempre há interações entre o prestador e o consumidor do serviço impactando em sua percepção do valor, e essa percepção, por sua vez, influencia significativamente a demanda (CAO; JIANG; WANG, 2016). A condição da demanda se

reflete na dinâmica do contexto interno do sistema. Por um lado a demanda por serviços se assemelha à demanda do mercado tradicional por bens tangíveis, pois possui critérios de aceitação do valor pela percepção frente às outras ofertas do mercado. Essa percepção condiciona a aceitação do produto e/ou do serviço à obtenção de um estado de satisfação⁶ desse consumidor. Portanto a interação com o consumidor tem na passagem de um estado inicial do receptor para um determinado estado desejado (o estado de satisfação) para que os serviços sejam considerados aceitos (CAO; JIANG; WANG, 2016). Nessa perspectiva a satisfação do consumidor pode ser representada por um parâmetro de estado do consumidor que estão relacionados com os requisitos (funcionais e não funcionais) do serviço frente às preferências do próprio consumidor.

Portanto, a percepção é um aspecto fundamental na condição da demanda, sendo que é nesse caso que o desempenho da prestação dos serviços se reflete no desempenho das atividades originais da fabricação (OLIVA; KALLENBERG, 2003). Em um ponto de vista mais específico a Figura 16 ilustra o contexto da análise salientando que esse prestador de MOS passa a ter duas demandas, uma pelos bens tangíveis (já anteriormente existente) e uma nova demanda por serviços associada à primeira. Essa consideração está apoiada no alinhamento fundamental da MOS como um tipo de PSS (ZHEN, 2012) em que além do bem tangível fornecido são necessários os serviços complementares para a composição do valor proposto. Portanto, passa a ser um sistema de produção com ações direcionadas à manufatura dos bens físicos e também ações direcionadas às atividades de prestação dos serviços.

Figura 16 - Demandas externas ao sistema MOS

Fonte: o autor.

Contudo, em relação a tais requisitos do serviço, para uma relação de prestação em serviços orientados a manufatura, a percepção do consumidor pode ser generalizada em certos fatores. Fry; Steele e Saladin (1994) apontam quatro requisitos básicos para os serviços orientados a manufatura

sendo: a qualidade, a confiabilidade de entrega, o preço e o tempo de entrega. A qualidade implica no valor percebido por estar associada às expectativas do consumidor em diferentes aspectos (FRY; STEELE; SALADIN, 1994) sendo recorrente nos artigos que abordam o serviço orientado a manufatura como em Cao; Jiang e Wang (2016), Chou (2014), Zhang *et al.* (2012), e ainda de forma mais indireta em Oliva e Kallenberg (2003). O tempo de entrega (FRY; STEELE; SALADIN, 1994; OLIVA; KALLENBERG, 2003; ZHANG *et al.*, 2012) é apontado como outro fator que determina a permanência do consumidor do valor no sistema. Além destes, o preço (FRY; STEELE; SALADIN, 1994), tendo relação com o fator “custo” como trabalhado em Zhen (2012), ou então, somente seu conexo “custo” apontado em artigos que abordam o sistema pelo aspecto operacional como em Zhang *et al.* (2012) também integra esse conjunto. Por fim, a confiabilidade de entrega (FRY; STEELE; SALADIN, 1994) complementa a relação de requisitos considerados nessa análise frente ao disposto pela literatura. Dos requisitos a confiabilidade exerce um reflexo mais em longo prazo no sistema.

Conforme o conceito de valor apresentado anteriormente na contextualização o valor entregue pelo sistema se deve a um conjunto de atributos (referentes a cada requisito). Também em conformidade com a perspectiva sistêmica esses atributos não são isolados, havendo relações que os interconectam. Como tal, esses requisitos também estão associados por relações. Figura 17 expõe graficamente o conjunto de requisitos citados como uma formalização das principais fatores atuantes no contexto do valor entregue em uma estratégia de MOS.

Figura 17 - Principais requisitos do valor no sistema MOS

Fonte: Autor.

É necessário salientar que o termo “tempo de prestação” foi utilizado em substituição ao termo “tempo de entrega” usado originalmente por Fry; Steele e Saladin (1994) por conveniência a descrição conceitual do contexto que está exposta mais adiante. Também, a explanação apresentada partiu de um ponto de vista amplo do fenômeno e convergiu a uma compreensão mais específica, ressaltando

as considerações que balizaram alguns aspectos dos processos de modelagem. Contudo, ainda se faz necessário identificar os fatores específicos responsáveis pela dinâmica.

3.3.2 SUBSISTEMAS E PRINCIPAIS FATORES ENVOLVIDOS NO COMPORTAMENTO DO SISTEMA

A identificação e relação dos principais fatores fornecem a base para a posterior modelagem conceitual, pois aborda como o sistema é governado. Esses fatores correspondem às forças que influenciam o comportamento do sistema estando alinhados às considerações apresentadas na seção anterior. Como esse contexto é específico os fatores envolvidos também são, já que a transição da fabricação de produtos puramente para a prestação de serviços requer princípios, estruturas e processos organizacionais novos (OLIVA; KALLENBERG, 2003). Porém, poderia ser identificada uma vasta quantidade de fatores se vistos de uma ótica ampla, sem restrições. Com o objetivo de construir um modelo de fato útil de modo a explorar o sistema em um nível operacional pretendido nessa análise foi determinado um recorte quanto a essas influências. Para tal, primeiramente foram estabelecidos subsistema. Esses subsistemas, que como os sistemas são formados por um conjunto de elementos (nesse caso os fatores de influência), estabelecem uma orientação mais clara para uma seleção de fatores em um grupo amostral amplo. Com isso, em uma segunda análise orientada os fatores de influência são identificados e relacionados.

Os subsistemas foram estabelecidos a partir da análise dos artigos do portfólio. De modo geral as abordagens conduzidas nesses artigos podem ser segmentadas em três principais subsistemas: consumo, mercado e o subsistema MOS. Esses subsistemas são representados pictoricamente na Figura 18 iniciando um maior estreitamento na composição do contexto.

Figura 18 - Subsistemas considerados na dinâmica

Fonte: autor

Essas dimensões são muito importantes para a abordagem. Por isso, são comentadas na sequência.

O subsistema MOS recebe essa denominação em convergência com o foco da análise. É no subsistema da MOS onde ocorre a produção e a prestação. Ou seja, onde se concentram os fluxos de criação de valor do prestador MOS. Portanto, é nesse subsistema que o desempenho é observado e a gestão de operações ocorre. Como tal, engloba todos os recursos (a capacidade do sistema) necessários para a realização dos bens e prestação dos serviços.

Em uma perspectiva ampla, conforme o fundamentado, alguns dos recursos são devidos a toda a cadeia logística interligado ao prestador de MOS. Especificamente em arranjos complexos formados na MOS o tratamento dos recursos advindos dessa rede ganham uma amplitude tal que se pode adentrar em níveis de decomposição e associação de tarefas para alocação ótima e em grande escala de serviços de fabricação como em Cheng et al. (2017).

Já de modo alinhado a gestão de operações internas do prestador de MOS retratada nessa análise Adamson et al. (2017) e Zhang et al. (2014) segmentam tais recursos em dois tipos: recursos materiais (originalmente o termo utilizado é *hard resources*) e recursos de imateriais (*soft resources*). Conforme os autores os recursos materiais correspondem às instalações, equipamentos, equipes, dispositivos, materiais, entre outros, necessários para a produção dos bens e para a prestação dos serviços. Enquanto que os recursos imateriais são recursos de aporte e correspondem softwares,

modelos de análises, dados, habilidades, conhecimentos, experiências dos profissionais, entre outros. Mas também, em outra perspectiva mais focada, mas ainda associado à gestão dos recursos, Lin et al. (2012) trabalha a programação da produção otimizando a capacidade do sistema. Assim, a análise adentra a questões específicas de ERP da produção em sistema de MOS.

Nesse sentido, para a continuidade dessa análise se faz necessário estabelecer um posicionamento em relação à característica da capacidade que será abordada. Frente a isso, se aborda diretamente a alocação de pessoas como os principais recursos responsáveis pela fabricação dos bens ou prestação dos serviços, atendendo a esses dois aspectos da MOS.

O **subsistema de consumo** está associado ao valor que é entregue pelo sistema e, como tal, caracteriza a oferta. Engloba três principais características do contexto abordado: a percepção, a satisfação e a demanda. A essas três características estão associados fatores específicos e correlacionados representados na Figura 17: confiabilidade de entrega, qualidade percebida, preço e tempo de entrega.

A percepção está relacionada aos processos cognitivos do consumidor do serviço na experiência propiciada pelo consumo do valor (CHOU, 2014). Já a satisfação em B2B, conforme apontado por Chou (2014) ocorre uma vez que a percepção do consumidor é comparada a outras percepções do mercado. No caso de uma percepção apropriada essa resultaria em um comportamento de aceitação do valor por parte do consumidor. E é justamente essa aceitação do valor que, em uma grande escala de consumidores, determina a demanda ao sistema.

Já o **subsistema de mercado** corresponde ao ambiente específico do contexto. Conforme a perspectiva sistêmica todo sistema recebe influências e reage aos estímulos do meio em que está inserido.

O subsistema do mercado engloba os competidores sendo inserida na modelagem de Zhen (2012), mas também Cao; Jiang e Wang (2016) utilizam o fator “preço da concorrência”. Já Delgado-Alvarez et al. (2017) não organiza a pesquisa segmentando o sistema em subsistemas, porém insere fatores referentes à competitividade na modelagem. Portanto, o subsistema de mercado insere os fatores análogos percebidos pelo consumidor e que influenciam em seu estado de satisfação.

Com base nesses três subsistemas são identificados os fatores de influência no comportamento do sistema. Os fatores foram atribuídos a algum dos subsistemas, contudo em uma perspectiva sistêmica

seria normal interpretá-los como sendo de algum outro subsistema. Esses fatores estão relacionados no Quadro 4 onde também são correlaciona os autores que consideram tais fatores em seus artigos.

Quadro 4 - Principais fatores de influência

Subsistema	Fator de influência	Referência
MOS	Capacidade disponível	Fry; Steele e Saladin (1994), Wang <i>et al.</i> (2013)
	Utilização da capacidade	Oliva e Kallenberg (2003)
	Capacidade perdida	Delgado-Alvarez <i>et al.</i> (2017)
	Formação de filas	Delgado-Alvarez <i>et al.</i> (2017), Wang <i>et al.</i> (2013)
	Recursos	Cheng <i>et al.</i> (2017)
	Conhecimento requerido	Oliva e Kallenberg (2003)
	Custo	Fry; Steele e Saladin (1994), Zhen (2012), Oliva e Kallenberg (2003)
	Competência tecnológica	Fry; Steele e Saladin (1994), Cao; Jiang e Wang (2016)
Mercado	Valor concorrente	Delgado-Alvarez <i>et al.</i> (2017), Zhen (2012)
	Demanda	Delgado-Alvarez <i>et al.</i> (2017), Zhen (2012), WANG <i>et al.</i> (2013), Cheng <i>et al.</i> (2017), Lin <i>et al.</i> (2012), Cao; Jiang e Wang (2016)
Consumo	Preço	Oliva e Kallenberg (2003), Zhen (2012)
	Qualidade	Cao; Jiang e Wang (2016), Chou (2014), Fry; Steele e Saladin (1994), Oliva e Kallenberg (2003)
	Tempo de espera	Delgado-Alvarez <i>et al.</i> (2017)
	Confiabilidade	Fry; Steele e Saladin (1994)

Fonte: o autor

Dos fatores relacionados anteriormente, especificamente relacionados à demanda, alguns artigos consideram frente ao recorte a que se propõe apenas a demanda por bens (LIN et al., 2012), e apenas pelos serviços (CHENG et al., 2017; DELGADO- ALVAREZ et al., 2017). Mas também em análises mais abrangentes em termos de sistema é considerada a demanda por ambos os elementos de bens e serviços (ZHEN, 2012; WANG et al., 2013). Também o “valor concorrente” é expresso por Delgado-Alvarez et al. (2017) como o tempo de espera praticado por sistemas concorrentes no mercado. Enquanto que Zhen (2012) expressam esse valor concorrente em termos de preços. Em vista disso esses fatores são desmembrados na descrição conceitual do sistema e situados em um contexto sistêmico. Mas, vale também salientar que outros fatores também são evidenciados pelos mesmos artigos adotados como referência para esta análise, contudo, não estão incluídos nessa relação. Isso porque não foram considerados os principais fatores frente ao foco e ao nível sistêmico dessa investigação. Nessa perspectiva, a restrição a alguns fatores estabelece os limites (as bordas) do sistema em análise. Isso é feito tanto em termos dos fatores endógenos, quanto dos fatores exógenos. Por outro lado dentre as várias relações sistêmicas, outros fatores ainda podem ser adicionados para complementar o contexto.

A expectativa e a percepção e satisfação são consideradas aspectos da interpretação do consumidor e por isso não relacionado entre os demais fatores. Esses aspectos são úteis na modelagem conceitual e estrutural do sistema e insere os aspectos de comportamento.

Para a devida formalização e compreensão os fatores relatados no Quadro 4 são explicados na sequência. De modo geral esses fatores relacionados já foram contextualizados na seção anterior dessa fundamentação teórica específica, sendo que aqui passam a ser formalizados como os fatores a serem utilizados no processo de modelagem. Então, ainda voltarão a ser abordados ao longo do processo de modelagem, contudo, antes de iniciar tal processo de modelagem é necessário salientar os aspectos referentes à relação entre esses fatores.

3.3.3 RELAÇÃO ENTRE OS PRINCIPAIS FATORES

Encerrando a revisão bibliográfica específica que orienta a atividade de modelagem esse tópico visa ressaltar os aspectos conhecidos sobre a relação entre os fatores ou variáveis do sistema. Com isso se tem condições de estabelecer uma estrutura que represente em um contexto sistêmico como o sistema funciona. Além disso, conforme Sterman (2000), o comportamento do sistema ou de suas

partes está relacionado com tal estrutura sistêmica. Portanto, essas relações fornecem a base para a composição do contexto sistêmico com o diagrama de causalidade.

Para tanto, os principais fatores relacionados no tópico anterior são comentados ressaltando as considerações dos autores de referência sobre as relações estabelecidas. Nessa seção essas relações são apresentadas textualmente, contudo já na modelagem conceitual as figuras referentes ao contexto representam tais relações e, portanto, complementam essa explicação.

Propriamente a capacidade do sistema, tema central dessa análise, é o fator responsável por viabilizar a correspondência entre a oferta do sistema e a demanda pelo produto deste sistema (CHENG et al., 2017). Essa forte relação entre a demanda e a capacidade resulta da combinação funcional entre essa oferta e a demanda. Tal correspondência ainda ocorre em um dinâmico de atuação do prestador MOS (CHENG et al., 2017). Para viabilizar a correta utilização da capacidade do sistema, como salienta Cheng et al. (2017), um fator fundamental é a alocação dos recursos necessários para a execução das tarefas relativas à oferta.

Conforme já salientado na MOS a demanda ocorre tanto para a produção de bens, quanto para a prestação de serviços. Porém essas demandas não são isoladas. Segundo Wang et al. (2013) em uma perspectiva temporal, tendo um mesmo consumidor como referência, as atividades de produção precedem as atividades de prestação. Nessa perspectiva a MOS tem característica de um sistema serial e ambas as demandas estão relacionadas sequencialmente (WANG et al., 2013).

Referente à resposta do sistema à demanda por serviços um fator que caracteriza a prestação dos serviços é a formação de filas. A rigor as filas ocorrem pela incapacidade de geração de estoques vista as características inerentes aos serviços. Esse fator é considerado em contextos de serviços tradicionais como em Delgado-Alvarez et al. (2017). Mas, mesmo havendo a aplicação de recursos avançados relacionados à manufatura em nuvem as filas são apontadas entre as questões a serem consideradas na programação dos serviços e dos recursos para tal (ADAMSON et al., 2017). No contexto específico da MOS o serviço também é modelado envolvendo um processo de formação de filas por Wang et al. (2013). Esse fator é relacionado por Delgado-Alvarez et al. (2017) à expectativa do consumidor do serviço. Mais especificamente esse autor aborda a expectativa do consumidor quanto ao tempo de espera em fila. Consumidores ao demandarem um serviço podem se submeter a uma fila física ou virtual, conforme a natureza do serviço. O demasiado tamanho da fila, e com isso, o tempo de espera (correlacionados) implicam na própria desistência do consumidor do consumo do valor. Portanto, para um sistema serviço o tempo de espera é um fator operacional relevante.

Além do reflexo direto do uso da capacidade para o processamento, conforme o explanado por Fry; Steele e Saladin (1994) esse uso ainda tem um segundo reflexo na percepção do consumidor. Conforme o autor com a utilização da capacidade disponível reduz o tempo de execução, o que implica em um aumento da percepção de valor do consumidor. Assim, com o acréscimo do valor percebido pelo consumidor a demanda ao sistema também tende a aumentar. Esse aumento da demanda, por sua vez, caracteriza um ciclo de realimentação da informação, visto que a maior demanda leva à utilização da capacidade do sistema.

Mas ainda, para o contexto da MOS o fator qualidade também está associada à percepção do consumidor devendo atender ou superar uma determinada expectativa deste (FRY; STEELE; SALADIN, 1994). A qualidade é um conceito amplo e pode ser atribuída a diferentes requisitos. Nesse sentido a qualidade pode não se dever somente a adequação do produto do sistema com a expectativa do consumidor em termos funcionais. Aplicada a MOS a qualidade também se refere à atualização tecnológica dos serviços prestados (FRY; STEELE; SALADIN, 1994). A inovação tecnológica também é um fator apontado por Cao; Jiang e Wang (2016). Atributos relacionados à tecnologia, como a qualidade da atualização tecnológica de um produto no contexto da MOS, tem sua base no conhecimento aplicado. É nesse sentido que o fator qualidade é associado ao conhecimento da realização e prestação de um produto atualizado tecnologicamente pelo prestador MOS.

As relações referentes aos custos podem tomar uma grande amplitude de análise, devido à variedade de fontes geradoras de custos e a complexidade dos sistemas de contabilidade. Contudo, nessa abordagem as relações consideradas visam ser suficientes para explorar os efeitos desse aspecto frente aos demais requisitos genéricos referidos a MOS (a qualidade, confiabilidade e tempo de entrega). Essas relações são expostas e comentadas na modelagem conceitual que é conduzida no próximo capítulo.

3.4 CASO DE REFERÊNCIA

Essa seção apresenta um caso referenciado pela literatura especializada que pode ser tomado como referência por enquadrar-se nessa perspectiva de análise. Esse caso é brevemente explanado salientando a correspondência com essa análise e, em específico, com os aspectos ressaltados ao longo da fundamentação teórica específica. O objetivo da consideração de um caso consiste em exemplificar como tais aspectos encontram correspondências reais e também prover suporte a melhor compreensão e interpretação das próximas etapas do processo de modelagem. Para tal é tomado

como referência o caso envolvendo o fabricante Caterpillar (LOVELOCK; WIRTZ; HEMZO, 2011) por englobar um produto manufaturado em um conjunto de serviços conjuntamente.

A Caterpillar é fabricante de equipamentos manufaturados. São equipamentos pesados utilizados em atividades de terraplanagem e construção. A empresa se originou e por um longo período concentrou a entrega do valor no bem tangível manufaturado. Sob uma nova proposta a Caterpillar passa a investir também em sistemas que englobam também os serviços. Para complemento de seu negócio fabril este fabricante desenvolveu um portfólio de serviços que configura diferentes conteúdos. Conforme Lovelock; Wirtz e Hemzo (2011) esses conteúdos consistem em:

- Cat Financial – serviço de crédito;
- Cat Insurance – serviço de proteção do equipamento contra danos;
- Cat Rental Stores – estabelece uma rede de revendedores com uma diversidade de soluções periódicas;
- Cat Logistics – serviço de planejamento e gestão de cadeias de suprimentos;
- Equipment Training Solutions Group – serviços cujo conteúdo engloba cursos de treinamento para o uso do produto focado na produtividade;
- Maintenance and Support – esses serviços englobam tanto o fornecimento de kits de manutenção quanto soluções com garantia de desempenho otimizado e custos reduzidos;
- Remanufacturing – serviços de recuperação, limpeza e reforma.

Em todos os casos a relação entre o bem tangível e o conteúdo específico do serviço associado constituem elementos de um sistema. De acordo com a literatura relacionada à associação do bem tangível com esses diferentes conteúdos de serviços classificariam o sistema. Por coerência com a descrição do contexto, a Figura 19 ilustra a associação do bem tangível deste fabricante com o conteúdo de serviço de “manutenção”, um serviço de ordem técnica. Portanto a adição de valor ao bem tangível manufaturado ocorre com a aplicação das atividades de manutenção. Essa figura

representa um contexto que engloba os fluxos físicos, como a entrega das máquinas (os bens tangíveis) e das pessoas (os recursos do sistema) para a prestação dos serviços, e fluxos de informação. A coleta de dados referentes à entrega e consumo do valor pode orientar o aperfeiçoamento dos próprios procedimentos de serviços.

Figura 19 - Representação do caso de referência

Fonte: autor

Nesse sentido o prestador MOS é representado disponibilizando o valor referente ao bem tangível no sistema enquanto que um módulo de serviço, nesse caso referente a serviços técnicos de manutenção, é agregado na extensão da rede de criação de valor. Com isso, a extensão do valor é caracterizada pela solicitação dos serviços em um dado tempo após a aquisição do bem tangível. Conforme o fundamentado, portanto, o sistema passa a ter uma segunda demanda por uma parcela de valor, dessa vez intangível.

Também conforme o fundamentado os serviços precisam ser executados por uma equipe de serviços, demandando a alocação desses funcionários para o atendimento do consumidor. Como o serviço é entregue junto ao consumidor vários aspectos desse serviço podem ser verificados pelo consumidor que aprovam ou reprovam o resultado.

Esse julgamento por parte do consumidor é feito por critérios específicos frente às expectativas e, conseqüentemente, às percepções do consumidor. Nesse sentido, a prestação dos serviços apresenta suas características de simultaneidade e perecibilidade, já que se o serviço não for aprovado precisará ser novamente executado. Então, o pacote de valor nesse caso corresponde aos benefícios proporcionados pelo equipamento adicionados dos benefícios resultantes das atividades de manutenção como, por exemplo, o aprimoramento do desempenho desse equipamento.

Esse exemplo está alinhado com o caso de estudo de Aurich; Fuchs e Wagenknecht (2006) que também considera o segmento de construção de máquinas pesadas e a extensão da entrega do valor pela prestação de serviços técnicos. Além desses outro exemplo totalmente alinhado com o apresentado consiste no sistema denominado "Total-Care Package" (BAINES et al., 2007), que também é referenciado na literatura por "Power By The Hour", englobando o fabricante Rolls-Royce

responsável pela produção de turbinas para o segmento aeronáutico. Ainda, outro exemplo envolve o fabricante de máquinas de lavar roupas Electrolux (BAINES et al., 2007) que com a agregação de serviços passa a comercializar “soluções em lavagem”.

No próximo capítulo as informações da fundamentação teórica específica são levada para uma linguagem utilizada pelo método de Dinâmica de Sistemas. Então, no próximo capítulo ainda poderá ser útil estabelecer analogias entre as etapas da modelagem e o caso de referência apresentado.

4 CONSTRUÇÃO DO MODELO

Neste capítulo é desenvolvida a modelagem do contexto da MOS conforme fundamentado no capítulo anterior. A compreensão em termos sistêmicos é gerada pela descrição lógica do contexto. Nessa descrição os fatores de influência entre os subsistemas e suas interações são expandidos e explorados de maneira a evidenciar e associar os ciclos de realimentação que conferem as não linearidades do comportamento do sistema e resultando em um diagrama (ou modelo) conceitual. Esse diagrama é convertido para a linguagem de fluxos e estoques para o detalhamento dos fatores de influência no sistema em termos de unidades de mensuração, sua associação para a formação da estrutura responsável pelo comportamento dinâmico e para a inserção das equações referentes à integração matemática entre esses fatores. Então, justamente essa estrutura matemática encerra esse capítulo.

4.1 MODELAGEM CONCEITUAL

O diagrama conceitual de enlace causal (ou diagrama de causalidade) formaliza a modelagem conceitual. Na estruturação do diagrama de causalidade os ciclos de realimentação da informação são os elementos básicos da modelagem. Esses ciclos são os responsáveis pela aplicação do paradigma da Dinâmica de Sistemas referente à informação/ação/consequência e, em função disto, são também os responsáveis pela característica de não linearidade do comportamento do sistema. Os ciclos de realimentação que compõem o modelo representam os fluxos físicos e de informações de interesse para a análise. Eles podem corresponder a um subsistema em específico, ou mesmo, atuar na interação entre os subsistemas.

Portanto, na sequência é exposto o contexto sistêmico, primeiramente em partes, sendo expandido à medida que seus aspectos são expostos e comentados. As considerações feitas na seção anterior integram esse contexto, porém, não são expostas exatamente na mesma sequência para viabilizar uma melhor apresentação da sequência de construção do modelo. Também, todos os fatores de influência listados são inseridos no contexto e é informado como esses fatores são relacionados e

organizados sistemicamente. Os ciclos de realimentação extraídos da literatura ou resultante das relações fundamentadas também são evidenciados e discutidos. Ainda, são discutidas as defasagens temporais da informação (os delays) relevantes para caracterizar o comportamento dinâmico do sistema.

O primeiro aspecto do diagrama diz respeito à contextualização que caracteriza a condição problema descrita para o fabricante. A consideração dos fatores que geram o problema apontado vai justamente de encontro à construção de um modelo que, primeiramente, reproduza o comportamento apontado. Nesse sentido um dos fatores de influência usado na descrição do contexto é a “retração do mercado”. No contexto do mercado a retração do mercado leva a diminuição dos “consumidores potenciais de bens tangíveis” e, conseqüentemente, a “demanda por bens tangíveis”. Essa menor demanda também diminui a quantidade de “alocação de recursos para a produção”. Essa condição de redução da alocação de recursos estabelece um reflexo operacional no sistema produtivo visto que reduz a “taxa de produção”, influenciando diretamente a “taxa de adesão” ao sistema. Essa menor taxa de adesão, por sua vez, influencia de modo inverso a quantidade de consumidores potenciais de bens tangíveis, fechando e caracterizando um ciclo de informação de balanço. No diagrama conceitual esse ciclo foi denominado de “atendimento ao mercado de bens”. Nessa cadeia de relações a retração se refere ao mercado e, como tal, se caracteriza como exógenos ao sistema e gera o estímulo para suas reações.

Associado a esse ciclo de realimentação há um segundo ciclo (de reforço), que complementa o primeiro. Descrevendo esse ciclo, é a menor taxa de adesão que reduz também os “consumidores efetivos de bens”. Isso reduz a “taxa de reincidência” no mercado de bens levando a menos consumidores potenciais. Com isso a informação percorre a mesma cadeia de relações descrita anteriormente encerrando o ciclo. Esse ciclo foi denominado de “fidelização do mercado”. Essas relações estão expostas graficamente na Figura 20. A redução da demanda pode ser ocasionada por outros fatores. Mas, para o adequado alinhamento do contexto sistêmico descrito com os fundamentos que motivam a análise, e também para viabilizar a reprodução do comportamento do problema a partir de dados existentes, então a redução da demanda foi representada associada à retração do mercado.

natureza leva o sistema a restrições quanto a este recurso. Essas restrições são representadas no modelo por dois ciclos de controle que nesse contexto concorrem pelos recursos disponíveis.

Figura 21 - Contexto do compartilhamento da capacidade

Fonte: autor

A continuidade da descrição do contexto insere o aspecto referente à simultaneidade dos serviços. Nesse sentido, os serviços precisam ser consumidos à medida que são produzidos. Contudo, como o tempo de prestação está associado à formação de filas esse tempo é interpretado frente ao julgamento do próprio consumidor levando em consideração um “tempo limite aceitável” para o consumo do valor. Portanto, nesse contexto os atributos do valor percebido pelo consumidor são comparados cognitivamente com os atributos de valor esperado. Esse valor esperado é concebido frente às outras opções de valor do mercado. Assim, em um mercado com um alto valor sendo entregue pelos concorrentes a percepção do consumidor do valor entregue tem base em uma expectativa maior. Esse julgamento pode conduzir a “desistência dos consumidores”. Complementando essa lógica e formalizando um ciclo de realimentação da informação (de controle) denominado “tolerância dos consumidores” a desistência dos consumidores acaba por influenciar de modo inversamente proporcional a própria formação de filas. Essas relações são expressas na Figura 22. Além de inserir as considerações referentes à percepção do consumidor essas relações inserem o fator referente à competitividade estabelecendo a conexão com o subsistema referente ao mercado. E, também, complementando o fator qualidade é estabelecida sua conexão com os fatores referentes

ao conhecimento na composição do contexto. A inserção no modelo de fatores referentes ao conhecimento formaliza a utilização de um segundo tipo de recurso, os recursos imateriais. A relação entre o conhecimento e a qualidade é descrita na fundamentação teórica específica e estabelece que quanto maior o “conhecimento acumulado” pelos prestadores de serviço maior será a “qualidade percebida” pelo consumidor. O conhecimento acumulado aumenta à medida que mais pessoas são alocadas para a prestação e ocorre o “compartilhamento de experiências”. Por outro lado a percepção da qualidade diminui com a “atualização tecnológica” vinda do mercado. Como resultante no contexto do sistema a percepção da qualidade implica na “formação de filas” de consumidores. Além disso, a Figura 22 também inclui alguns fatores relacionados ao custo, especificamente ao “custo da aquisição do conhecimento” e o “custo operacional dos serviços” para a formação do preço.

Figura 22 - Contexto com a influência do valor concorrente no sistema

Fonte: autor

Ainda associado à cadeia de fatores que estabelece o uso da capacidade e a formação de filas, e alinhado com as considerações de Fry; Steele e Saladin (1994), é caracterizado um novo ciclo de realimentação da informação com impacto na percepção do consumidor. Nesse ciclo a percepção satisfatória do valor referente ao tempo de prestação leva ao aumento da demanda ao sistema de

prestação. Isso é estabelecido nesse contexto em termos da confiabilidade da entrega do valor. Nesse sentido, o maior processamento dos consumidores (menor quantidade de desistências) conduz a uma maior “confiabilidade de entrega”, fator responsável pela “reincidência de consumidores” no sistema serviço e o consequente aumento da demanda. Em contrapartida, quando ocorre desistência a capacidade alocada para o serviço não pode ser aproveitada, comprometendo a utilização da capacidade com atividades de “produção parcial do serviço” que não resultam no valor final proposto. Isso é ressaltado na descrição conceitual do modelo por inserir (para esse contexto) a característica de perecibilidade dos serviços. E, ainda, como a desistência dos consumidores ainda assim utiliza parte da capacidade do sistema que não poderá ser reutilizada, isso também implica em um novo custo, o custo referente à capacidade perdida que também compõe os “custos relativos à prestação”. Portanto, nesse contexto tanto a capacidade utilizada quanto os custos relativos à prestação são influenciados pela “capacidade perdida”. Por isso, no diagrama apresentado na Figura 23, podem ser observadas todas as relações de custos e preço que complementam os requisitos de valor na MOS e que, nesse contexto, foram inseridas como uma resultante do trabalho do sistema em produzir os demais requisitos do valor. A Figura 23 complementa as figuras anteriores. Mas ainda, para uma visualização completa do contexto o Apêndice A apresenta o diagrama de causalidade completa que embasa essa análise. Nesse apêndice todos os 13 ciclos de realimentação da informação, sendo 11 de controle e dois ciclo de reforço, são devidamente apresentados e caracterizados pelos sinais de cada relação causal entre os fatores. Uma grande quantidade de ciclos de controle foram configurados e isso pode ser justificado justamente porque o sistema é explorado quanto aos aspectos que controlam a utilização da capacidade nos quais incidem as diferentes expectativas e percepções do consumidor.

Figura 23 - Contexto ampliando os efeitos da desistência dos consumidores

Fonte: autor.

Além das interações entre os fatores do sistema as figuras que representam as relações de causalidade (Figura 20, Figura 21, Figura 22e Figura 23) também indicam as defasagens⁷ temporais consideradas relevantes na dinâmica abordada. Essas defasagens correspondentes ao tempo decorrido do início de uma ação e até seu reflexo no sistema e, portanto, determinam o quão bem a informação e as ações estão ajustadas, influenciando diretamente no comportamento do sistema. As defasagens estão identificadas nas figuras como D1, D2, D3e D4, e correspondem à:

- D1 – Essa primeira defasagem tem fundamento na consideração da condição de retração do mercado e como essa retração influencia a quantidade de consumidores potenciais de bens tangíveis. Essa retração ocorre em um escala de tempo superior à constante temporal que determina a demanda por bens ao sistema. Por esse motivo é relacionada como uma defasagem considerável ao comportamento do sistema.
- D2 – Essa defasagem corresponde ao tempo decorrido da aquisição do bem tangível até a agregação dos serviços associados. Esse tempo é um fator que pode apresentar muita variação. Para alguns sistemas o serviço associado pode ocorrer em um tempo relativamente curto após a aquisição como, por exemplo, serviços de montagem/instalação. Enquanto para outros esse tempo pode ser maior como serviços técnicos de manutenção programada.

- D3 – Conforme as considerações de Delgado-Alvarez et al. (2017) uma defasagem temporal relevante que condiciona a própria tomada de decisão dos gestores consiste no tempo para a alocação dos serviços. Essa defasagem incide tanto na alocação de recursos (referente especificamente às pessoas) para a prestação quanto para a fabricação. Como essa alocação se dá por diferentes influências na produção e na prestação essa defasagem foi representada duas vezes no diagrama de causalidade, contudo, se refere ao mesmo delay.
- D4 – Esse contexto descrito considera que os consumidores que aderiram ao sistema e consumiram o serviço, o fazem novamente caso certa confiabilidade tenha sido estabelecida. Então, subsequente à defasagem referente à incidência dos serviços há uma defasagem adicional para a nova incidência dos serviços aos consumidores já processados, passando esses a compor novamente a demanda ao sistema de prestação. Como tal, esse defasagem temporal foi identificada como relevante ao comportamento do sistema.

Além destas outras defasagens poderiam ser apontados. No entanto, essas são as defasagens consideradas mais significantes para esta análise e voltarão a ser abordadas, logo na sequência, de maneira aplicada a modelagem por fluxos e estoques e equações do modelo.

4.2 MODELAGEM ESTRUTURAL

A estrutura do modelo é construída com o uso dos princípios e iconografia do diagrama de fluxos e estoques. Na construção desse diagrama de fluxos e estoque houve a preocupação de manter absolutamente inalterados os conceitos expressos pelo diagrama de enlace causal. No entanto, o diagrama de fluxos e estoques expande o exposto pelo diagrama de enlace causal já que relaciona as diversas constantes e variáveis consideradas na análise explorando as estruturas operacionais do prestador MOS que influenciam a criação e entrega do valor nesse contexto. Com isso, esse diagrama também permite a implementação matemática e a definição dos principais indicadores que representam o estado do sistema.

Cada parte apresenta seus estoques e fluxos nomeados de forma a melhor definir sua representação para o modelo. Da mesma maneira as constantes e variáveis são nomeadas buscando o melhor entendimento de sua função no contexto específico desta análise. Devido a essa adequação, por exemplo, as variáveis “estoque” e “estoque desejado” utilizadas por Sterman (2000) correspondem às variáveis de “bens para atendimento dos pedidos” e “bens para atendimento dos pedidos desejados”, respectivamente.

O comportamento do mercado (nesse caso relacionado à demanda por bens tangíveis) pode ser inserido no modelo em diferentes níveis de detalhamento (ainda assim alinhados com as considerações do diagrama de enlaces causais). Por exemplo, especificamente utilizando a modelagem pela DS, Kazemi; Eshlaghy e Tavasoli (2011) modelam um contexto de mercado referente

à comercialização de bens tangíveis que considera a taxa de expansão da população. Referente ao mesmo contexto Delgado- Alvarez et al. (2017) modela uma evolução do consumo sem a consideração desse fator. Para este contexto é considerada uma estrutura conforme Delgado-Alvarez et al. (2017), visto que é suficiente para reproduzir o comportamento. Portanto, não foi considerada uma evolução da população na influência dos consumidores potenciais. Porém, uma taxa adicional referente à retração do mercado foi usado para inserir a perda de consumidores potenciais e retratar o problema. Essa estrutura é mostrada na Figura 24. A taxa de adesão é influenciada pela “taxa de expedição” referente ao subsistema de fabricação. Na taxa de redução do mercado incide o tempo médio de saída dos consumidores responsável por inserir no modelo a defasagem temporal D1.

Figura 24 - Estrutura de fluxos e estoques referente ao mercado

Fonte: autor.

No modelo proposto o diagrama de fluxo e estoque que representa o subsistema de produção tem base na estrutura estabelecida para o sistema de gestão da produção de Sterman (2000), utilizado em análises que abordam o sistema produtivo⁸. Nessa estrutura a produção é representada como um processo de transformação de uma entrada em uma saída. Representa, portanto, um fluxo de material pelo processo que se apresenta em diferentes condições. O material aguardando o início da produção

pode se constituir de perfis metálicos adquiridos e aguardando a manufatura, ou componentes comerciais aguardando a montagem. O trabalho em processo representa justamente esse processamento característica da indústria da manufatura e correspondente às ordens de produção abertas, mas não concluídas. A taxa de produção estabelece o ritmo em que a produção é concluída. Assim, no modelo o nível do estoque “trabalho em processo” influencia a “taxa de início da produção” que controla o nível deste estoque, correspondendo a um ciclo de realimentação negativo. Essa influência, como é visto na seção referente às equações do modelo, confere ao modelo a não linearidade uma vez que relacionam os estoques com as taxas que os controlam. Esse primeiro estoque alimenta o estoque de “bens para atendimento dos pedidos”. A saída dos bens é dada pela “taxa de expedição desejada” que é influenciada pela “taxa de pedidos do consumidor”, diferentemente da estrutura original de Sterman (2000), sendo específica desse contexto. Também, como pode ser visto no diagrama detalhado completo do sistema a taxa de início de produção é influenciada pelos “recursos (pessoas) usados para fabricação” e pela “produtividade individual”. Essa estrutura é mostrada na Figura 25 e reflete a busca do controle pelo sistema pela composição do estoque de bens.

A associação entre essas duas estruturas, de mercado e de produção estabelece no modelo detalhado o feedback de informação denominado no diagrama conceitual de “atendimento ao mercado de bens”. Esse ciclo fica evidente na representação completa do modelo.

Figura 25 - Estrutura de fluxo e estoques referente à produção

Fonte: o autor.

O subsistema de prestação é construído observando a lógica expressa pela bibliografia. Conforme apresentado por Wang et al. (2013) a fabricação de produtos é seguida da prestação dos serviços em um segundo momento. Essa relação já constante no diagrama conceitual é transcrita no diagrama detalhado pela relação de demandas. A demanda ao sistema de prestação é determinada pela taxa de consumidores que adquiriram bens após um tempo característico da incidência dos serviços (com no diagrama conceitual é identificado como delay D2). Como nesse subsistema o que flui são pessoas foi inserido um estoque inicial que concentra os consumidores potenciais, um estoque intermediário que concentra os consumidores já no sistema e um estoque final de consumidores processados. Com isso, enquanto o mercado de bens é compreendido por um subsistema externo ao subsistema de produção, na prestação a evolução dos indicadores referentes aos consumidores pode ser compreendida no próprio subsistema de prestação. Como abordado na descrição conceitual, os consumidores que compõe o estoque de consumidores processados retornam a condição de consumidores potenciais. Esse retorno se dá conforme uma defasagem temporal inserida como o “tempo médio de reincidência no mercado de serviços” que insere a defasagem D3 da modelagem conceitual. A cadeia de fatores que determinam a estrutura de controle do sistema de prestação operacionaliza as observações conceituais do diagrama de causalidade. Entre essas, também conforme Wang et al. (2013), pela própria natureza de intangibilidade dos serviços, esses só podem ser prestados com consumidores no sistema. Portanto a ação dos recursos alocados se dá na taxa de prestação e é a condição para que o serviço seja prestado (salientando sua característica de simultaneidade). Contudo, mesmo que a estrutura de decisão determine uma alocação de recursos com base na quantidade de consumidores que realizam a adesão ao sistema, uma parte desses consumidores ainda pode abandonar o sistema sem que o serviço seja prestado. Isso, para esse contexto, representa a perecibilidade dos serviços. Mas, além disso, a estrutura de fatores foi definida para que a correção dos estoques de consumidores desse subsistema desempenhe um comportamento lógico de referência (que é exposto e discutido na seção referente aos testes do modelo). Também nesse subsistema incidem as novas influências do mercado. Nessa abordagem o mercado ainda é caracterizado pela utilização dos fatores de expectativa do consumidor que são afetados por concorrentes no mercado, ou mesmo por mercados caracterizados pela ênfase em algum dos requisitos da MOS. Essas expectativas (abordadas logo a seguir) acabam por influenciar o subsistema de prestação pelas suas taxas de adesão, prestação e reincidência. O subsistema de prestação é apresentado pela Figura 26.

Figura 27 - Estrutura de fluxo e estoques referente à capacidade

Fonte: autor

Os subsistemas que seguem têm base na percepção (e satisfação) do consumidor. A percepção do preço é modelada com um único estoque e uma taxa para mudança do nível desse estoque. O comportamento não linear que segue o padrão de um feedback de primeira ordem inserido na modelagem para a percepção do preço referente ao bem tangível representa que um novo preço praticado não é percebido instantaneamente pelo consumidor. Ao invés disso, essa percepção é disseminada ao longo de um tempo. Essa estrutura que define o feedback de primeira ordem também foi utilizada por Kazemi; Eshlaghy e Tavasoli (2011) na modelagem do mesmo aspecto e é mostrada na Figura 28. Essa consideração é utilizada em sistemas que envolvem o elemento humano e atribui ao modelo uma defasagem temporal associada aos processos cognitivos. Pelo processo de percepção o preço percebido se aproxima da expectativa de preço (que estabelece o valor de referência ao

sistema) definindo um “índice de percepção do preço do serviço”. Como tal, esse índice varia entre o valor zero (percepção nula) e um (percepção igual ao preço de referência). É esse mesmo índice que estabelece a influência do custo dos recursos na taxa de adesão do subsistema de prestação. Os índices foram usados para todos os aspectos relacionados à percepção do consumidor, podendo ser visualizados em outros subsistemas desse modelo. No caso específico da percepção dos preços o influencia ocorre na ordem inversa, ou seja, quanto maior esse índice menor será a taxa de adesão. Essa inversão é estabelecida na descrição matemática da relação entre os fatores.

Figura 28 - Estrutura de fluxo e estoques referente ao preço

Fonte: autor

Diferente da taxa de adesão que concentra a influência de um único índice (o de percepção do preço) a taxa de prestação é influenciada (indiretamente) pelo índice de percepção do tempo de espera e (diretamente) pelo índice de percepção da qualidade. Novamente a modelagem insere o reflexo dos processos cognitivos atribuídos ao elemento humano. Quanto ao índice de percepção do tempo de espera (denominado de índice de desistência), sua atuação ocorre na taxa de desistência dos consumidores do sistema. Quanto maior esse índice de desistência mais desistência são observadas,

que acabam por reduzir a fila de consumidores aguardando processamento. Como a taxa de prestação leva em consideração a correção desse montante, sua redução influencia a taxa de prestação também em um sentido de redução. O subsistema de percepção do tempo de espera em fila também descreve uma curva exponencial de primeira ordem e está apresentado na Figura 29.

Figura 29 - Estrutura de fluxo e estoques referente ao tempo de fila

Fonte: autor

A estrutura referente à representação da qualidade reflete as considerações da relação entre a qualidade e a percepção desse aspecto pelo consumidor conforme as considerações de Fry; Steele e Saladin (1994). Para tal, também foi utilizado um feedback de primeira ordem em uma estrutura padrão também já utilizada por Kazemi; Eshlaghy e Tavasoli (2011). Essa estrutura é mostrada na Figura 30 e, a exemplo da anterior, faz uso de um “índice de satisfação com a qualidade” que determina a intensidade da sua influência na taxa de prestação. Esse fator incide na própria taxa de prestação do sistema, visto que o serviço é aceito quando a qualidade desse serviço é avaliada e aceita pelo consumidor. Assim, em uma relação diretamente proporcional, quanto maior a percepção do consumidor sobre a qualidade do serviço mais a taxa de prestação se aproxima da taxa máxima determinada pela estrutura de decisão do sistema de prestação.

Incluso no subsistema de percepção da qualidade está à relação entre a qualidade e o conhecimento quando atribuída ao aspecto tecnológico. A variação do conhecimento pode ser representada por uma “curva de aprendizado”. A literatura aborda diferentes curvas de aprendizado quando o conhecimento é associado a diferentes fatores (ARGOTE; EPPLE, 1990). Nessa abordagem a variação do

conhecimento da tarefa é definida por uma curva de aprendizado em que o conhecimento aumenta à medida que a tarefa é repetida (ou seja, à medida que um consumidor é processado pelo sistema) em uma razão exponencial de primeira ordem.

Então, esse subsistema é formado por dois ciclos que representam, um o acúmulo da qualidade percebida e outro o conhecimento adquirido para a realização das tarefas.

A estrutura de fatores indica como essas percepções evoluem. O acúmulo de conhecimento é determinado pela quantidade de pessoas na prestação de serviços (disseminando o conhecimento das tarefas relacionadas aos serviços) e do tempo necessário para que esse conhecimento seja assimilado. Entre esses dois loops de controle se configura no contexto do sistema um ciclo de reforço que caracteriza essa relação.

Figura 30 - Estrutura de fluxo e estoques referente à qualidade

Fonte: autor

Por fim, assim como no subsistema de produção, no subsistema de prestação os consumidores (ou parte desses) também retornam ao sistema por uma taxa de reincidência. É neste aspecto que,

alinhado à descrição conceitual, ocorre à influência do índice de confiabilidade. A confiabilidade adquirida é reduzida se houverem demasiadas desistências do sistema. Porém, como mostra a Figura 31, é aumentada por um tempo médio de aquisição da confiabilidade.

Figura 31 - Estrutura de fluxo e estoques referente à confiabilidade

Fonte: autor

Em relação à modelagem das relações referentes ao aspecto de custos é extremamente importante ressaltar que várias considerações poderiam ser realizadas. Como já ressaltado a amplitude de uma análise desse aspecto isolado, justamente pela variedade de fontes de custos e pela complexidade dos sistemas de contabilidade, por si só justificariam uma modelagem específica e aprofundada do sistema. Contudo, o modelo estabelece relações suficientes para explorar os efeitos desse aspecto frente aos demais requisitos genéricos referidos a MOS (a qualidade, confiabilidade e tempo de entrega). Por exemplo, uma questão que poderia ser levantada é o fato do modelo não considerar o custo dos recursos disponíveis não utilizados para a prestação ou para a produção. Frente a isto, como Fry; Steele e Saladin (1994) salientam, esses recursos não necessariamente implicam em custos já que podem ser utilizados para a resolução de problemas de produção ou outros problemas do sistema. Mas, ao invés disso, o modelo proposto analisa o reflexo do custo da maior ou menor utilização dos recursos frente ao maior ou menor tempo de prestação praticado.

Além disso, como estratégia de modelagem as relações referentes aos custos foram estabelecidas no sentido de representar uma tendência de comportamento em relação a um custo de referência. Isso permite que o modelo possa ser calibrado para diferentes situações de custos e diferentes preços praticados. Também foi considerado que as variações de preço são repassadas para o consumidor, contudo, os modelos de negócios podem adotar estratégias diferentes. Portanto, todas essas considerações condicionam a forma de análise desse indicador quanto à influência desse aspecto na capacidade utilizada pelo sistema no contexto de MOS descrito.

Ainda, nas partes do diagrama estrutural apresentadas nessa seção a grande maioria dos ciclos de realimentação citados no diagrama conceitual não pode ser visualizada por abrangerem cadeias de relações entre os subsistemas. Portanto o Apêndice B apresenta o diagrama de fluxos e estoques por completo evidenciando tais ciclos.

4.3 MODELAGEM MATEMÁTICA

Junto da construção da estrutura do diagrama de fluxo e estoques (que como ferramenta da DS facilita a modelagem matemática) as equações que definem as interações entre as constantes e variáveis complementam o modelo e viabilizam a implementação computacional. A explanação seguinte visa vincular a linguagem matemática à estrutura do modelo (apresentando as equações de forma a ressaltar os fatores de influência diretos para cada variável) das principais equações que caracterizam o modelo. O foco da apresentação das equações, então, recai na analogia entre a linguagem da modelagem matemática e a função e implicações no sistema contextualizado.

Por coerência aos princípios da Dinâmica de Sistemas as equações nesta seção são expostas conforme a notação do cálculo integral. Nestas, de forma geral, o termo “ T_0 ” corresponde ao período de tempo inicial da análise de interesse, enquanto o termo “ T ” corresponde ao período final. O termo subscrito “0” é utilizado para designar o estado inicial da variável, enquanto o termo subscrito “ t ” descrimina as variáveis nos instantes específicos de interesse.

Adicionalmente no Apêndice C são pautadas as variáveis do modelo com suas respectivas equações (sendo para os estoques sua integral e a equivalente diferencial correspondente à taxa líquida de mudança do estoque no tempo). Também são relacionadas suas unidades de mensuração e informados os intervalos para os quais as equações correspondem. Em conjunto o Apêndice D segmenta as constantes do modelo também expondo suas respectivas unidades.

O subsistema do mercado estabelece o estímulo externo ao subsistema de produção. O estoque de “consumidores potenciais de bens” (CPB) é específico para esta análise, pois além da saída de consumidores definida pela “taxa de adesão” (TxAP) ainda apresenta a saída referente à retração do mercado dada pela “taxa de redução do mercado” (TxRM). A definição desse estoque é apresentada na Equação 1 e engloba ainda a “taxa de reincidência no mercado de bens” (TxRB).

$$CPB_T = \int_{T_0}^T [TxRB_{(t)} - TxAP_{(t)} - TxRM_{(t)}] dt + CPB_{T_0} \quad (1)$$

Das taxas que compõem o subsistema de mercado a taxa de adesão é definida como igual à taxa de expedição, porém condicionada a existência de um mercado potencial de consumidores de bens. Portanto essa só age quando da disponibilidade de bens para atendimento dos pedidos e quando existem consumidores para tal. Com isso se estabelece uma conexão entre o subsistema de produção e o subsistema de mercado. Já a taxa de redução do mercado direciona o montante de consumidores potenciais para um “mínimo de mercado reduzido” (NR) ao longo de um “tempo médio de saída” (TeS), sendo sua definição apresentada na Equação 2. Essa notação estabelece para essa análise como o mercado é reduzido ao longo do tempo, inserindo o fator referente à retração do mercado.

$$TxRM_{(t)} = \frac{CPB_{(t)} - NR}{TeS} \quad (2)$$

Ao que se refere ao subsistema de fabricação⁹ o controle do estoque de “bens para atendimento dos pedidos” representa a tarefa de gestão que consiste em ajustar o fluxo de entrada ao fluxo de saída deste estoque. A variação deste estoque (como para quaisquer estoques conforme a modelagem quantitativa da metodologia DS) é dada pela área abaixo da “curva” que descreve a variação da diferença entre a taxa de entrada e a taxa de saída em um determinado intervalo de tempo. Como o estoque de “bens para atendimento dos pedidos” (BPT) está sujeito à “taxa de produção” (TxP) como controle do aumento deste estoque e a “taxa de expedição” (TxE) responsável pela sua redução, a variação do nível de “bens para atendimento dos pedidos” é definida pelo processo de integração destas variáveis. O nível de “bens para atendimento dos pedidos” em um determinado instante corresponde, então, à variação desse nível no intervalo de análise adicionado do valor dos “bens para atendimento dos pedidos iniciais” (BPT₀), conforme mostrada a Equação 3.

$$BP_T = \int_{T_0}^T [TxP_{(t)} - TxE_{(t)}]dt + BP_{T_0} \quad (3)$$

Da mesma forma que para o estoque anterior, a quantidade de “trabalho em processo” (TPT) corresponde à integração da variação da diferença entre “taxa de início de produção” (TxI) e a “taxa de produção” no intervalo de tempo, adicionado do valor do “trabalho em processo inicial” (TPT₀). Isto é representado pela Equação 4.

$$TP_T = \int_{T_0}^T [TxI_{(t)} - TxP_{(t)}]dt + TP_{T_0} \quad (4)$$

A simplificação adotada para o subsistema de produção ao ser modelado detém implicações matemáticas e, como tal, a implicação no controle do sistema. A simplificação é realizada para manter o foco da análise na interação entre a fabricação de produtos e a prestação de serviços, e, com isso, resulta em uma principal implicação. O conhecimento da interação entre o prestador MOS e a cadeia de suprimento que origina o fluxo de material para o subsistema de fabricação representado no modelo e alimenta o trabalho em processo seja tal que a gestão do estoque do almoxarifado permite uma ampla capacidade de abastecimento do sistema produtivo, contando com os recursos financeiros e técnicos para tal. Com isso, o tempo para abastecimento destes materiais é curto o suficiente em relação ao fluxo de materiais no sistema produtivo que pode ser desconsiderado. Contudo, como essa análise aborda os recursos em termos de pessoas a essa formulação são ainda acrescentados os parâmetros de “produtividade individual (na produção)” (PIP), “recursos (pessoas) usados na fabricação” (RF) e “jornada de trabalho semanal (na produção)” (JTF) como mostra a Equação 5, sendo válida para $f(x) \geq 0$.

$$TxI_{(t)} = PIF_{(t)} * RF_{(t)} * JTF_{(t)} \quad (5)$$

Estabelecendo a relação entre a consideração matemática apresentada na equação anterior e sua representação para o sistema de produção, essa consideração assume que eventuais “devoluções” de unidades de materiais já ingressadas ao trabalho em processo para o almoxarifado seguem processos, regras e critérios de decisões específicas, não sendo consideradas apenas um valor negativo da

variável T_{xI} . Caso a consideração da devolução de material precise ser implementada computacionalmente a estrutura do modelo pode ser ampliada para casos específicos.

Os fatores e taxas envolvidos no controle desses estoques seguem o que é definido em Sterman (2000). Esse subsistema é adaptado a essa abordagem quando a “taxa de pedidos do consumidor” (definida pela razão entre a quantidade de consumidores potenciais de bens, do subsistema do mercado, e o tempo médio de adesão) define a taxa de expedição desejada. Portanto, a taxa de pedidos do consumidor estabelece outra conexão entre os subsistemas. Todas essas taxas têm suas definições matemáticas apresentadas no apêndice indicado.

As equações referentes ao subsistema de prestação são específicas dessa análise. A construção desse subsistema foi explanada na seção anterior. A estrutura de fatores foi estabelecida com base na lógica encontrada na literatura e para reproduzir um comportamento considerado adequado a esse subsistema. Dos fatores envolvidos o estoque de “potenciais consumidores de serviços” (CPS) é alimentado por uma “taxa de incidência de serviços” (T_{xIS}) e pela “taxa de reincidência no mercado de serviços” (T_{xRS}), enquanto é reduzida pela “taxa de adesão ao sistema serviço” (T_{xAS}). O segundo estoque referente à “fila de consumidores para processamento” (FC), ao contrário do primeiro, possui uma única entrada dada justamente pela taxa de adesão ao sistema. Já a saída do estoque é dada pela “taxa de prestação” (T_{xPS}) e a “taxa de desistência” (T_{xD}). Já no terceiro estoque desse subsistema o montante de “consumidores processados” (CP) é aumentado conforme a taxa de prestação e reduzido conforme a taxa de reincidência no mercado de serviços. As equações para esses estoques seguem a notação da integração entre as taxas e são apresentadas no apêndice correspondente.

Contudo, uma explanação sobre as relações desse subsistema que mais agregue a sua compreensão conceitual e sua implicação no modelo é conduzida tendo foco nos fatores e taxas que compõem a estrutura de decisão. É justamente nesse aspecto que uma pode ser realizada uma possível adaptação da estrutura adotada para essa análise e uma aplicação prática do modelo para alguma empresa, adaptando-se então as equações que regem a estrutura. Nesse sentido vale destacar que dois principais fatores indicam o nível de exigência ao sistema de prestação, a “taxa de adesão desejada” (T_{xASd}) e a “taxa de prestação desejada” (T_{xPSd}). A taxa de adesão desejada considera a “correção dos potenciais consumidores de serviços” ($CrCPS$) que indica a necessidade de redução da discrepância entre o montante de potenciais consumidores de serviços e seu nível desejado e, também, a “demanda por serviços desejada” (DSd). O fator “potenciais consumidores de serviços desejados” ($CPSd$) estabelece o nível objetivo para o montante de potenciais consumidores por considerar a

demanda ao sistema e o “tempo para incidência dos serviços” (TelS) que funciona como uma restrição operacional do sistema. A equação referente à taxa de adesão desejada (diferentemente da taxa de produção desejada que estabelece função correlata no subsistema de fabricação) é definida como a subtração entre os dois fatores que relaciona. Isso porque a estrutura de decisão atua no sentido de reduzir os estoques, enquanto que os fatores de demanda os aumentam, exatamente o oposto do subsistema de fabricação. Dada a discussão sobre esse fator sua formalização matemática é apresentada na Equação 6.

$$TxASd_{(t)} = DSd_{(t)} - CrCPS_{(t)} \quad (6)$$

Na sequência a taxa de prestação desejada considera tanto a taxa de adesão desejada como a uma nova correção no sistema, dessa vez a “correção da fila de consumidores para processamento” (CrFC). Essa correção, a exemplo da anteriormente discutida, busca (num dado intervalo) o equilíbrio do sistema prestação estabelecendo o ciclo de realimentação da informação responsável pelo controle da fila de consumidores. Esse equilíbrio ocorre quando a prestação se iguala às entradas de consumidores. Nessa equação é considerada a taxa de adesão desejada e não a taxa de adesão (real) visto que os dados que podem ser coletados do sistema permitem a obtenção de taxas médias referentes a algum intervalo finito, e não taxas instantâneas. Pelo mesmo motivo citado em relação à taxa de adesão desejada, a taxa de prestação desejada exerce a subtração entre os fatores conforme apresentado na Equação 7.

$$TxPSd_{(t)} = TxASd_{(t)} - CrCF_{(t)} \quad (7)$$

As influências atribuídas às taxas de prestação, desistência e reincidência são resultantes do produto dessas taxas (da associação matemática dos fatores referentes à estrutura do subsistema de produção) com os índices de percepção referentes a cada aspecto. Apenas para a taxa de adesão essa influência se dá por um fator intermediário após o índice visto que essa influência é inversamente proporcional, sendo o produto dessa taxa de adesão desejada com a “influência do custo dos recursos na taxa de adesão” (IfC), conforme mostra a Equação 8. A taxa de prestação engloba os fatores de quantidade de “recursos (pessoas) usados para prestação” (RP), produtividade individual (PI), jornada de trabalho (JT) (formalizando a influência do subsistema de recursos no subsistema de prestação) e o “índice de satisfação com a qualidade” (InQ) (também formalizando a influência do subsistema de

qualidade) conforme mostra a Equação 9. A taxa de desistência e a taxa de reincidência possuem a mesma formulação, resguardados os fatores respectivos fatores de influência. As taxas são definidas pela razão entre valor do montante do estoque que as precede e o tempo médio de ação dessas taxas, multiplicado pelo índice de influência; o “índice de desistência” (IdD) para a taxa de desistência e o “índice de confiabilidade” (IdC) para a taxa de reincidência no mercado de serviços. Portanto a equação referente à taxa de desistência é apresentada na Equação 10, enquanto que a taxa de reincidência é apresentada na Equação 11.

$$TxAS_{(t)} = TxASd_{(t)} * IfC_{(t)} \quad (8)$$

$$TxPS_{(t)} = RP_{(t)} * PI * JT * InQ_{(t)} \quad (9)$$

$$TxD_{(t)} = \left(\frac{FC_{(t)}}{TeT} \right) * IdD_{(t)} \quad (10)$$

$$TxRS_{(t)} = \left(\frac{CP_{(t)}}{TeRS} \right) * IdC_{(t)} \quad (11)$$

Vale salientar que, como é ressaltado no Apêndice C, sendo a taxa de adesão, a taxa de prestação, a de desistência e de reincidência uma $f(x)$, então essas taxas atuam no modelo somente no intervalo $f(x) \geq 0$. Isso porque, por exemplo, para a taxa de adesão um valor negativo poderia ser interpretado como uma tentativa de retirada dos consumidores que aderiram ao sistema antes que fossem formadas filas e houvesse a desistência. Incoerência conceitual equivalente pode ser atribuída às demais taxas citas.

A equação desses fatores se apresenta diferente do que conceitualmente resultariam suas equivalentes no subsistema de fabricação. Isso porque a estrutura de fatores que estabelecem os caminhos de decisão são diferentes em função da própria natureza do que é processado ser diferente. Pode-se apontar que essa modelagem diferenciada resulta da consideração das características de simultaneidade e intangibilidade dos serviços.

Já relacionado ao subsistema de preço, qualidade, confiabilidade e percepção do tempo em fila suas modelagens basicamente estão relacionadas à como esses aspectos influenciam o subsistema de prestação. Como tal, a associação dos fatores dessas estruturas resulta em um índice de influência. Todos os índices utilizados no modelo são definidos matematicamente como a razão entre a percepção do atributo (preço, tempo, qualidade e confiabilidade) e o valor de referência estipulado pela expectativa correspondente. Assim, a satisfação é uma medida progressiva entre dois estados, sendo que o índice de satisfação determina o quanto esse estado de satisfação é obtido conforme também é adotado por Cao; Jiang e Wang (2016). Apenas para o índice de percepção do preço é inserido um fator intermediário (a influência do custo dos recursos na taxa de adesão). Isso porque a influência desse índice ocorre inversamente proporcional a razão entre a percepção e a expectativa. É definido matematicamente como:

Para o subsistema de confiabilidade o “gap de confiabilidade” (GaC) é estabelecido pela diferença entre a “expectativa de confiabilidade” (ExC) e a “confiabilidade adquirida” (CA). O montante da confiabilidade adquirida é reduzido por uma taxa influenciada pela taxa de desistência, enquanto que se não houver desistências o montante de confiabilidade é aumentado pela própria ação do “tempo médio para a aquisição da confiabilidade” (TeC).

Para o subsistema de percepção do tempo de espera o “gap de percepção do tempo de espera” (GaT) tem influência do próprio “tempo de espera” (TeE) estabelecido pelas condições do subsistema de prestação, especificamente pelo nível de consumidores em fila e da taxa de prestação, conforme formaliza a Equação 12. O gap de percepção, portanto, é a diferença entre o tempo de espera e a “percepção do tempo de espera em fila” (PeT). Essa percepção é alterada pela “taxa de percepção do tempo de espera” (TxT) como a razão entre o gap citado e a constante de “tempo de percepção da condição da fila” (TePT), estabelecendo o feedback de primeiro grau.

$$TeE_{(t)} = \frac{FC_{(t)}}{TxPS_{(t)}} \quad (12)$$

Ainda vale salientar que nessa modelagem, em relação ao subsistema de custo, o “preço” (PR) é definido pela somatória do “custo médio referente aos recursos” (CuR), “custo referente ao conhecimento” (CuC) e “custo referente à capacidade perdida” (CuCP), multiplicados por um fator denominado “política de preços” (PP). Esse fator estabelece a margem para a definição do preço. Essa relação é apresentada na Equação 13.

$$PR_{(t)} = (CuR_{(t)} + CuC_{(t)} + CuCP_{(t)}) * PP \quad (13)$$

Além das equações apresentadas nessa seção os apêndices mencionados relacionam todas as demais equações. Com isso se estabelece condições para que o modelo construído nesta análise seja replicado e os resultados verificados. Já no próximo capítulo o modelo construído é utilizado na prospecção de cenários. Inicialmente são expostos os cenários referentes aos testes aplicados ao modelo e posteriormente são apresentados os cenários que embasam as discussões e conclusões.

Nas descrições anteriores é estabelecida a relação entre a linguagem matemática que integra as constantes e variáveis (definindo os estoque e suas taxas) e seu significado para o sistema. Porém, a confiança de que o modelo pode produzir cenários válidos é construída à medida que o modelo é testado. Esse é o foco do próximo capítulo.

5 TESTES, PROSPECÇÃO E DISCUSSÃO

Esse capítulo aborda três pontos fortemente interligados. Inicia-se pela aplicação dos testes qualitativos e quantitativos ao modelo como um processo de criação de confiança no modelo, tal que seja considerado coerente, útil e válido para a análise. No âmbito da DS os modelos podem ser validados dessa maneira. Feito isto o ponto seguinte consiste na prospecção dos cenários usados como referência para a análise do fenômeno. Nessa prospecção são geradas as representações gráficas dos comportamentos dos indicadores do modelo. Conjuntamente, como ponto complementar, é conduzida a análise e discussão.

5.1 TESTES APLICADOS AO MODELO

Os testes, basicamente, podem ser divididos em (i) teste de verificação de estrutura, (ii) teste de verificação de parâmetros e (iii) testes de comportamento. Ainda, nesse capítulo e mais especificamente na seção referente aos testes de comportamento são usadas referências não constantes no portfólio bibliográfico. Referências estas que abordam os aspectos de comportamento, os padrões de comportamento de referência. Portanto, esses trabalhos fornecem os modelos gráficos de referência para a comparação das respostas do modelo na realização dos testes de reprodução de comportamento.

5.1.1 TESTE DE VERIFICAÇÃO DE ESTRUTURA

O teste de verificação de estrutura é um teste qualitativo. Consiste em comparar a estrutura do modelo com a estrutura do sistema de referência com o objetivo de verificar se a estrutura do modelo contradiz o conhecimento acerca de tal sistema (FORRESTER; SENGE, 1980).

Como essa análise utiliza referências teóricas à condução do teste de verificação de estrutura teve por objetivo, conforme recomendado por Coyle (1996), verificar no modelo conceitual a atuação sistêmica dos ciclos de realimentação que controlam o sistema descrito. Indo um pouco mais além cada um dos ciclos de realimentação do diagrama causa foi confrontado com os ciclos do modelo de fluxos e estoques a fim de ter-se certeza da manutenção dos conceitos expressos no modelo conceitual para uma prospecção de cenários que agregue com a compreensão de como o sistema funciona.

5.1.2 TESTE DE VERIFICAÇÃO DE PARÂMETROS

Também de ordem qualitativa este teste tem relação com o teste de verificação da estrutura, contudo vai ainda além. É realizado com a comparação entre o modelo proposto e o sistema de referência real e tem por objetivo verificar se os parâmetros condizem e aos processos de decisão de referência adotados por gestores na prática (FORRESTER; SENGE, 1980). Contudo, na inexistência de um sistema real idêntico ao modelado (visto que se trata da análise de uma condição teórica) foram buscados equivalentes às partes específicas do sistema. Ainda, essa busca se deu com referência à literatura.

Então, ao que refere ao sistema de produção foram consultados trabalhos específicos que abordam tal sistema. O decorrer da modelagem relaciona os artigos de referência (nesse caso fora do portfólio) e justifica o emprego dos parâmetros específicos a este modelo. Nesse sentido essa análise mantém sua base em dados secundários, mesmo assim atribuindo confiança a essa parte do modelo por ter seu uso prévio evidenciado em outras análises. O mesmo ocorre com os subsistemas de preço, qualidade, e capacidade. Este último apenas é adaptado a condição específica estudada nessa análise. Já o subsistema de prestação foi criado com analogia ao sistema de produção. Emprega, portanto, os mesmos mecanismos de controle aplicados, contudo, a um fluxo de pessoas submetidas a atividades de serviços ao invés de material submetidos aos processos de manufatura. Mesmo para as questões mais abstratas como a percepção do consumidor as pesquisas consideram que os fatores funcionais referentes a cada requisito do consumidor podem ser diferenciados e abordados separadamente possibilitando a mensuração da importância de cada elemento para o valor na MOS.

5.1.3 TESTES DE COMPORTAMENTO

Os testes de comportamento são testes quantitativos. Incluem principalmente o teste de reprodução de comportamento, de condições extremas, de robustez, de erro de estado estacionário e de erro em regime permanente e o teste de comportamento anômalo.

Os **testes de comportamento** que se seguem são realizados no ambiente de experimentação controlada viabilizado pelo software. Por isso a análise é feita pelos comportamentos gráficos de indicadores prospectados pelo software. Contudo, a preparação e a configuração do modelo diferem essa etapa da efetiva simulação do comportamento do sistema. Para os testes o se aguarda o modelo atingir a condição de equilíbrio¹⁰ tornando mais fácil a identificação dos “desvios” no comportamento em função da indução dos valores de entrada escolhidos em função do tipo de teste (STERMAN, 2000).

Os testes de reprodução do comportamento usam como referência padrões gráficos tipicamente observados em determinados sistemas em um horizonte de tempo. Esses padrões de comportamento são apresentados no Quadro 5 utilizando os mesmos termos empregados no modelo construído nessa análise. Desses, o padrão (i) descreve o comportamento da variável de “bens para atendimento dos pedidos desejados”, juntamente com propriamente tais “bens para atendimento dos pedidos”. Já o padrão de comportamento (ii) descreve graficamente como ocorre a “taxa de produção desejada” frente à “taxa de produção” efetiva. O comportamento descrito no modelo (iii) compreende as variáveis de “taxa de início da produção”, “taxa de produção” e “taxa de expedição”. Neste caso a “taxa de início da produção” é representada com um aumento gradativo (mesmo que acentuando) em resposta ao estímulo ao sistema. Isso ocorre em função do modelo agregar aspectos relacionados ao trabalho com influência nesta taxa, semelhante ao apresentado por Sterman (2000, pg. 770). Como o trabalho é inserido nesse contexto de modo diferente em amplitude e consideração, portanto a taxa de produção mantém seu comportamento fortemente relacionado ao apresentado por Sterman (2000, pg. 707) sem a agregação dos aspectos do trabalho. Por fim, como essa análise agrega aspectos específicos da percepção do consumidor, a percepção é modelada por análises que empregam a DS como (iv) um feedback de primeira ordem (KAZEMI; ESHLAGHY; TAVASOLI, 2011). Esse padrão de comportamento da percepção é verificado por análises que utilizam dados empíricos em relação à prestação de serviços (KIMITA; SHIMOMURA; ARAI, 2009).

Quadro 5- Modelos gráficos de referência

Descrição e referência	Modelos gráficos de referência para o comportamento
(i) Comportamento da variável de “bens para atendimento da carteira desejados” e do estoque de “bens para atendimento da carteira”.	<p>Fonte: Sterman (2000), adaptado pelo autor.</p>
(ii) Comportamento das variáveis “taxa de produção desejada” e “taxa de produção”	<p>Fonte: Sterman (2000), adaptado pelo autor.</p>
(iii) Comportamento das variáveis “taxa de início da produção”, “taxa de produção” e “taxa de expedição”.	<p>Fonte: Sterman (2000), adaptado pelo autor.</p>
(iv) Comportamento das variáveis relacionadas à percepção do consumidor (percepção da qualidade, preço, tempo de espera e confiabilidade).	<p>Fonte: Kazemi; Eshlaghy e Tavasoli (2011), adaptado pelo autor.</p>

Fonte: autor

Os testes de reprodução de comportamento foram conduzidos segmentando o modelo nas partes específicas referentes aos padrões previamente conhecidos. Com isso algumas relações entre variáveis foram retiradas e os valores foram estipulados de forma conveniente para induzir os estímulos externos.

Nesse sentido, a parte do diagrama de fluxos e estoques referente ao sistema de produção foi isolada, contudo manteve-se sua conexão com os fluxos e estoques referentes aos recursos do sistema. Para a verificação do comportamento a variável “consumidores potenciais de bens” foi configurada para o valor de 30 bens tangíveis/dia até o instante de simulação de 22 dias, passando então para 50 bens tangíveis/dia. Dessa forma do instante “0” ao instante 22 (dias) o sistema obtém o equilíbrio e a partir daí o comportamento apresentado pelo modelo é comparado aos modelos gráficos. Como a análise é realizada pela interpretação do comportamento apresentado pelo sistema os valores das constantes do modelo são arbitrados em conveniência à análise. O “tempo de ciclo” foi definido para 1 dia, o “tempo de correção do trabalho em processo” para 1,5 dias e o “tempo para alocação de recursos” para 1 dias. A Figura 32 mostra o comportamento gráfico das variáveis “bens para atendimento dos pedidos desejados” e efetivamente os “bens para atendimento dos pedidos” existentes. A Figura 33 se refere à “taxa de produção” e à “taxa de produção desejada”. Já a Figura 34 concatena a representação gráfica da evolução das variáveis de “taxa de início da produção”, “taxa de produção” e “taxa de expedição”.

Figura 32 - Teste de comportamento: bens para atendimento dos pedidos

Fonte: o autor

Figura 33 - Teste de comportamento: taxas de produção

Fonte: o autor

Figura 34 - Teste de comportamento: taxas de início, de produção e de expedição

Fonte: o autor

Referente a esses fatores pertencentes ao sistema de produção de bens e mais especificamente aos “bens para atendimento dos pedidos desejados” pode ser percebido que o comportamento apresentado está conforme ao descrito como referência. Já para os “bens para atendimento dos pedidos” o comportamento prospectado é correlato ao esperado com uma oscilação adicional resultante de um feedback de primeira ordem a mais constante na estrutura referente aos recursos do sistema. Essa oscilação também se reflete também nas taxas de início da produção, produção e expedição. Com a atuação dos ciclos de realimentação que integram o modelo ao longo do horizonte de simulação a “correção dos bens para atendimento da carteira” e a “correção do trabalho em processo” aproximam-se novamente do valor nulo. A “taxa de produção desejada” e a “taxa de início de produção” estabelecem gradativamente um novo patamar. Dessa maneira os ciclos de realimentação que integram a estrutura de fluxos e estoques do subsistema de produção reproduzem os aspectos do comportamento gráfico de referência para a busca deste subsistema pelo equilíbrio igualando a produção com a utilização.

Para a simulação dos aspectos referentes à percepção os valores referentes às expectativas do consumidor foram configurados como 1. Como a percepção é acumulativa é implementada pela utilização de estoques. Então o valor inicial dos estoques foi definido como 0,1. Primeiramente é apresentado, na Figura 35, o comportamento da percepção do tempo de espera. Nesta configuração o tempo de espera foi inserido como 10 semanas até o instante 21, passando para 30 semanas. Na sequência a Figura 36 apresenta o comportamento da percepção do preço praticado. Para o mesmo horizonte temporal se induziu um valor inicial de preço de 1000, passando para 2000 também no instante de simulação de 21 semanas. De forma totalmente análoga se procedeu com a confiabilidade adquirida (a percepção de confiabilidade no sistema). Ainda, na sequência, a confiabilidade foi testada sem a “influência da taxa de desistência na taxa de perda de confiabilidade”. A Figura 37 apresenta o comportamento prospectado para o indicador de confiabilidade que se enquadra para no padrão de referência.

Figura 35 - Teste de comportamento: percepção do tempo de espera

Fonte: autor

Figura 36 - Teste de comportamento: percepção do preço

Fonte: autor

Figura 37 - Teste de comportamento: confiabilidade

Fonte: autor

Já o que se refere à qualidade o subsistema que a representa tem correlação com o conhecimento adquirido, e como tal com o aprendizado. Então o subsistema de qualidade é isolado do restante do modelo, porém ainda associado ao que se refere à aprendizagem. Isso porque essas duas partes têm uma dinâmica associada para compor o comportamento geral do modelo. Portanto, tanto o valor inicial do estoque referente à percepção da qualidade, quanto o estoque referente ao “índice de conhecimento atual das tarefas” foram configurados para 0.1. Nesse caso o estímulo externo foi induzido pela variável “recursos (pessoas) usados para prestação” da mesma forma que ocorre com o modelo em sua íntegra. Essa variável foi configurada para o valor 10 pessoas até o instante 6 semanas de simulação, passando então para 30 pessoas. A Figura 38 mostra o comportamento do subsistema onde se observa um aumento gradativo do conhecimento, mas que se intensifica no instante 6 semanas pelo incremento de pessoas. Conforme o esperado o aumento de pessoas alocadas para a prestação também aumenta a taxa de aprendizagem que resulta na intensificação do ganho de conhecimento observado no comportamento prospectado.

Figura 38 - Teste de comportamento: percepção da qualidade

Fonte: autor

Um caso particular do teste de reprodução do comportamento se refere à reprodução do comportamento que caracteriza o problema representado logo no início pela Figura 5. O teste de reprodução de comportamento utilizou as partes do modelo que constituem de modo detalhado os ciclos “atendimento ao mercado de bens” e “fidelização do mercado” e que, portanto, representa de modo simplificado a atuação do fabricante no contexto anterior a adoção da estratégia de prestação de serviços. Essas partes foram simuladas integradas entre si conforme está representado no diagrama conceitual e isoladas do restante do modelo como objetivo verificar se o modelo é capaz de reproduzir o comportamento relacionado ao problema descrito. Conforme foi descrito na abordagem do problema a série histórica ilustra um comportamento de oscilação juntamente com uma tendência de decréscimo. Ainda, vale ressaltar que mais importante que os valores absolutos retornados pela simulação são os padrões de comportamento. Porém, mesmo assim se atentou para que o padrão de comportamento retornado por essa parte integrada do modelo apresentasse correspondência também em termos dos limites numéricos observados na série histórica que caracteriza o problema.

Nesse sentido a Figura 39 apresenta a prospecção do comportamento retornada pelo modelo. Observa-se além do padrão de comportamento descrito (oscilação e tendência de redução) a proximidade aos valores específicos de tal série.

Figura 39 - Reprodução do comportamento referente ao problema

Fonte: o autor.

Por fim é fundamental salientar que esse comportamento de referência corresponde especificamente à capacidade instalada na indústria da manufatura. Como foi estabelecido em função das informações coletadas na fundamentação teórica dessa abordagem o aspecto da capacidade abordado na análise se refere à capacidade em termos de pessoas. Isso poderia conduzir a uma interpretação ambígua, contudo uma discussão mais abrangente sobre a manutenção da referência como o comportamento da capacidade instalada será exposto nas discussões.

Uma vez que os padrões de comportamento são verificados se passa aos demais testes. Esses testes verificam questões ainda mais específicas da reprodução de um comportamento coerente.

O teste de condições extremas consiste em ajustar o modelo capacidade de com parâmetros próximos a limites. Dessa maneira o comportamento produzido é comparado ao que seria apresentado pelo sistema de referência em uma condição normal (com bens ou consumidores no sistema), sendo que esses passassem a ser reduzidos em um dado instante.

Para este teste o subsistema de produção continuou ajustado como na realização do teste de comportamento, inclusive isolado do restante do modelo mantendo apenas a estrutura referente aos recursos. A variável "consumidores potenciais de bens" com um valor inicial de 30 bens tangíveis/h foi

configurada para assumir o valor “0” no instante 20 de simulação. Os valores das constantes permanecem configurados como na realização do teste de reprodução do comportamento.

A prospecção do comportamento das variáveis de “trabalho em processo” e “bens para atendimento da carteira” pelo modelo são apresentadas na Figura 40. Ambos os estoques evoluem gradativamente para o valor nulo sem, no entanto, assumirem valores negativos que corresponderiam a uma inconsistência. Além desta, a Figura 41 apresenta a projeção do comportamento para as taxas do sistema, de início de produção, de produção e de expedição. Da mesma forma essas variáveis evoluem até assumirem o valor nulo correlatamente a um sistema real. Caso, por exemplo, a taxa de produção assumisse um valor negativo isso corresponderia em termos práticos à ação de um gestor retirar trabalho em processo já iniciado do sistema produtivo; algo que não seria praticado.

Figura 40 - Teste de condições extremas: trabalho em processo e bens concluídos

Fonte: o autor.

Figura 41 - Teste de condições extremas: taxas do subsistema de produção

Fonte: o autor.

Uma configuração análoga foi inserida ao subsistema de prestação. A demanda, nesse caso dada pelos “consumidores de produtos” foi configurada para 50 consumidores até o instante 50 de simulação, passando então para o valor nulo. A Figura 42 apresenta o comportamento dos “potenciais consumidores de serviços” e da variável “potenciais consumidores de serviços desejados”. O comportamento dessas variáveis segue o mesmo padrão observado para o subsistema de produção, não apresentando valores negativos. Já a Figura 43 apresenta o comportamento das taxas do subsistema.

Figura 42 - Teste de cond. extremas: consumidores no subsistema de prestação

Fonte: autor

Figura 43 - Teste de cond. extremas: taxas do subsistema de prestação

Fonte: autor

Os demais subsistemas também foram testados quanto às condições extremas de funcionamento. Isso atribui confiança de que não haveria incoerências próximas a valores extremos de funcionamento, mas sendo ainda necessária a aplicação dos testes posteriores.

No erro de **estado estacionário**, a saída do sistema nunca assume um valor igual à entrada, mesmo após o equilíbrio. Quanto a este aspecto, o sistema de produção como já mostrado na Figura 34 os ciclos de realimentação de controle são eficazes em convergir a “taxa de expedição” (saída do fluxo do subsistema de produção) à “taxa de início da produção” (entrada do fluxo deste subsistema).

Esse teste também foi aplicado ao subsistema de prestação. Para tal a demanda por serviços foi ajustada para 40 consumidores/semana até o instante de 50 semanas, passando então para 50 consumidores/semana. Com isso, após uma redução inicial provocada pela correção da quantidade de potenciais consumidores, a “taxa de processamento” (saída) e a “taxa de adesão” (entrada) no subsistema de prestação atingem a convergência e o equilíbrio, conforme mostra a Figura 44.

Figura 44 - Teste de erro em estado estacionário: subsistema de prestação

Fonte: autor

O erro em **regime permanente** correspondente à lacuna entre os estados desejados e efetivos que persiste com o sistema em estado de equilíbrio. Neste sentido, referente ao subsistema de produção, pela Figura 32 é possível verificar que essa condição é obtida para os bens para atendimento dos

pedidos. Também, pela Figura 33 o mesmo ocorre para a taxa de produção e a taxa de produção desejada. Adicionalmente a Figura 45 ainda apresenta as taxas de prestação desejada e de prestação. Assim, o mesmo comparativo pode ser realizado com o subsistema de prestação.

Figura 45 - Teste de erro em regime permanente: subsistema de prestação

Fonte: o autor.

Em todos os casos a estrutura do modelo para o subsistema de produção se mostra isenta do erro em regime permanente. Do mesmo modo se observam que a estrutura de ciclos do subsistema de prestação também é eficaz em eliminar a lacuna entre ambas as taxas desejada e real, com isso, convergindo ambas quando o equilíbrio é obtido.

O **teste de comportamento anômalo** visa certificar se partes do modelo não apresentam inconsistências de comportamento. Esse teste focou na parte do modelo referente à alocação dos recursos. Buscou-se verificar, além do comportamento da alocação dos recursos em condições adequadas em relação à quantidade de recursos disponíveis, também se explorou o comportamento para condições que excedem tal quantidade. Para tal, essa parte do modelo foi isolada e os estímulos foram induzidos nas variáveis “recursos desejados para a produção” e “recursos desejados para a prestação”.

Então, como os “recursos (pessoas) disponíveis configurados para 50 pessoas, primeiramente se induziu para a variável “recursos desejados para a produção” o valor nulo até o instante 10 de simulação, passando para 20 pessoas e retornando ao valor nulo após o instante 30 de simulação. Conjuntamente a variável “recursos desejados para a prestação” foi induzida para assumir o valor nulo até o instante 10, passando para 10 pessoas e retornando ao valor nulo após o instante 30 de simulação. A Figura 46 mostra o comportamento dos estoques de recursos para a condição induzida. Já a Figura 47 e a Figura 48 mostram para os subsistemas de produção e de prestação respectivamente o comportamento dos indicadores específicos de recursos desejados, correção dos recursos e recursos efetivamente alocados. Por essas figuras se percebe que, mesmo a correção dos recursos assumindo um valor negativo para corrigir as quantidades necessárias e existentes de recursos em cada subsistema a quantidade de recursos tende progressivamente ao valor nulo, sem assumir valores negativos.

Figura 46- Capacidade - Indicadores gerais (recursos suficientes)

Fonte: autor

Figura 47 - Capacidade - Indicadores da produção - (recursos suficientes)

Fonte: autor

Figura 48- Capacidade - Indicadores da prestação - (recursos suficientes)

Fonte: autor

Na sequência, ainda como os “recursos (pessoas) disponíveis configurados para 50 pessoas, se induziu para a variável “recursos desejados para a produção” o valor nulo até o instante 10 de simulação, passando para 30 pessoas e retornando ao valor nulo após o instante 30 de simulação. Conjuntamente a variável “recursos desejados para a prestação” foi induzida para assumir o valor nulo até o instante 10, passando para 40 pessoas e retornando ao valor nulo após o instante 30 de simulação. A Figura 49 mostra o comportamento dos estoques de recursos em que, mesmo com uma requisição acima da disponível o estoque de recursos disponíveis não assume valores negativos. Como consequência a somatória dos recursos atribuídos aos sistemas de produção e prestação é igual à quantidade de recursos disponíveis. Já a Figura 50 e a Figura 51 mostram o comportamento dos indicadores do sistema de produção e de prestação respectivamente. Por essas figuras se percebe um valor remanescente para a correção de recursos já que a quantidade de recursos atribuídos não é suficiente para atingir os recursos desejados.

Figura 49 - Capacidade - Indicadores gerais (recursos insuficiente)

Fonte: o autor

Com isso a etapa de teste é encerrada. Pelos resultados obtidos há suficiente confiança de que o modelo integrado irá reproduzir um comportamento coerente, útil e válido para a análise do fenômeno abordado desde que resguardadas as devidas considerações e limitações. Portanto, os tópicos seguintes prospectam os cenários utilizados como referência para a análise da utilização da capacidade do prestador MOS no contexto específico do problema.

5.2 PROSPECÇÃO DOS CENÁRIOS

De modo geral para realização destes testes o Vensim PLE foi configurado para integrar pelo método de Euler. Também, o intervalo de integração (dt) foi mantido entre 1/4 e 1/10 do valor da menor constante de tempo para cada simulação realizada, conforme o recomendado por Forrester (1961).

Foram realizadas considerações específicas da prospecção dos cenários. Dentre essas o horizonte de simulação foi estipulado como será salientado na sequência. Além disso, o nível inicial dos estoques do subsistema de produção (bens para atendimento dos pedidos e trabalho em processo) e de prestação (potenciais consumidores de serviços e fila de consumidores para processamento) foi definido como seus valores desejados. O mesmo foi feito com o subsistema referente à capacidade. Com isso o modelo é iniciado com menores perturbações, passando a reagir conforme a variação dada pelo subsistema de mercado.

Contudo, mesmo com essas considerações específicas o modelo ainda dispõe de constantes que não puderam ser verificados por dados históricos (como os fatores temporais e de preço), ou mesmo, constantes subjetivas como as expectativas do consumidor. Por isso um protocolo de simulação foi adotado para orientar o processo. Esse mesmo protocolo também é usado por Mattos, et al. (2018) que também relaciona variáveis abstratas e subjetivas (como a sobrecarga física humana) na simulação do sistema produtivo. De acordo com esse protocolo, apresentado na Figura 52, primeiramente o modelo é calibrado para reproduzir o problema. Nessa etapa as constantes citadas recebem valores arbitrados e são ajustadas para que sua correlação possibilite que o modelo reproduza o comportamento do problema. Contudo são respeitadas as lógicas expostas pela bibliografia como que o tempo para correção dos pedidos é sempre maior que o tempo de ciclo que é maior que o tempo necessário para a correção do trabalho em processo, conforme exposto por Sterman (2000). Como a calibração do modelo se destina a reprodução do comportamento que caracteriza o problema, então se refere a uma condição envolvendo somente a produção de bens na indústria da manufatura. Portanto, nessa etapa o restante do modelo ainda não é utilizado na geração

do comportamento. Na sequência, estando o comportamento do problema reproduzido, então se associa o restante do modelo representando a agregação de serviços no contexto da MOS. Com isso são prospectados novos cenários para comparação. A partir dessa comparação são construídas as considerações tendo em vista as contribuições esperadas para essa análise. Uma vez constatada a melhoria do desempenho do sistema em termos de uma maior utilização da capacidade instalada se tem a possibilidade de estabelecer o diagnóstico comparativo entre o cenário inicial e o melhorado. Esse diagnóstico é conduzido no sentido de constatar como a configuração das constantes (principalmente as constantes referentes à percepção do consumidor) influencia em tal melhoria.

Figura 52 - Protocolo de simulação

Fonte: autor

Com a execução do protocolo o modelo foi capaz de retornar um comportamento que associa um padrão de oscilação com uma tendência de decréscimo como resultado da ação dos ciclos de

realimentação “atendimento ao mercado de bens” e “fidelização do mercado”. Esse padrão de comportamento é o mesmo apresentado pela representação gráfica do problema destacado inicialmente. O comportamento prospectado pelo modelo é anteriormente apresentado pela Figura 39. Com isso o modelo tem suas variáveis configuradas como: tempo para correção do trabalho em processo em 4 semanas, tempo para correção dos pedidos em 4,8 semanas, tempo de ciclo em 4,5 semanas, tempo para alocação dos recursos em 15 semanas e tempo de entrega objetivo em 6,6 semanas. Ainda, foram ajustados os fatores: tempo médio de adesão em 22,5 semanas, tempo de vida do produto em 100 semanas, tempo médio de saída dos consumidores em 45 semanas, consumidores iniciais em 90.000 consumidores.

Vale salientar que a Figura 39 apresenta o comportamento extraído do modelo no horizonte de tempo de 90 semanas (instante em que as informações acumuladas passam a ter seu efeito no sistema) até o instante de 324 semanas (para condizer com o gráfico modelo indicado na descrição do problema). Partindo desse cenário a simulação é conduzida no modelo em sua íntegra correspondendo a uma condição de adoção dos serviços. Nos cenários seguintes o tempo para incidência dos serviços foi definido como 120 semanas para que os efeitos dos serviços ocorram ao longo do cenário. Então, os cenários serão mostrados no horizonte temporal de 90 a 324 semanas com exceção da Figura 53 em função desta ilustrar a evolução da quantidade de consumidores nos sistemas de produção e prestação.

Iniciando essa discussão salienta-se que a primeira informação que o modelo retornou foi o aumento da quantidade de consumidores acessando o subsistema de prestação em contraste com a redução da quantidade de consumidores potenciais de bens. São dois os motivos que podem ser verificados para tal. Um desses consiste na própria taxa de redução do mercado inserida na demanda ao sistema produtivo por alinhamento ao problema descrito. Essa taxa incide diretamente no montante de consumidores potenciais de bens tal como a taxa de adesão. Mas, ao contrário do montante que deixa esse estoque pela taxa de adesão (que alimenta o estoque de consumidores efetivos de bens e retorna por uma taxa de reincidência no mercado de bens) o montante que segue pela taxa de redução do mercado não retorna ao sistema. Já o outro motivo analisado se deve a natureza reativa (contendo atrasos temporais) do sistema de prestação. Conforme a modelagem que representa o sistema de prestação a taxa de adesão ao sistema serviço varia conforme a variação do estoque de potenciais consumidores de serviços e está condicionada à percepção do consumidor quanto ao preço do serviço. Com isso, o montante de potenciais consumidores de serviços aumenta até que o sistema passa a

consumir tal montante. A Figura 53 apresenta os dois estoques de consumidores (referente ao mercado de bens e de serviços).

Figura 53 - Potenciais consumidores no sistema

Fonte: autor

Nessa perspectiva se observa que o custo sofre uma elevação no início do funcionamento do sistema. Isso se deve a atuação de três ciclos de realimentação que coordenam o funcionamento do sistema nos instantes iniciais da agregação dos serviços. Primeiramente há a ação do ciclo “dualidade conhecimento/qualidade” visto que é necessária a aquisição do conhecimento para a execução dos serviços pelos recursos humanos alocados. A ação desse ciclo tem um reflexo no custo de aquisição desse conhecimento. Junto a isso, também em função da alocação dos recursos, ocorre a ação do ciclo “encarecimento pela eficiência” incidindo no custo dos recursos. Como resultado se tem uma taxa de adesão ao sistema menor nos instantes iniciais, porém elevando-se de modo a consumir o acúmulo de potenciais consumidores de serviços em função da rápida redução dos custos referentes ao conhecimento (ou seja, a ação da aprendizagem). Ainda referente a esse estágio inicial do sistema de prestação a taxa de adesão tem uma grande retração, pois uma vez os consumidores no sistema de prestação, ocorrem à formação de filas para o processamento. Essas filas e o atraso da alocação de recursos ocasionam uma elevada percepção de tempo de espera e, com isso, uma taxa de desistência dos consumidores. Então, devido à taxa de desistência o custo referente à capacidade perdida gera a retração (momentânea) da taxa de adesão ao sistema. A atuação desses fatores representa a ação do

ciclo “encarecimento pela perda da capacidade”. Como esses três ciclos são ciclos de controle o sistema busca o equilíbrio nesses três aspectos gerando uma estabilização dos custos e propriamente da taxa de adesão. Ilustrando o exposto a Figura 54a apresenta o comportamento dos custos citados, quanto à Figura 54b apresenta a influência (pelo índice de percepção do preço) do preço na taxa de adesão. Ainda, a Figura 55 mostra o reflexo dessa influência no comportamento da taxa de adesão que tende a um equilíbrio indicando uma entrada contínua de consumidores no sistema de prestação.

Figura 54 – Comportamento do (a) custo e (b) do índice de influência na adesão

Fonte: autor

Figura 55 - Comportamento da taxa de adesão

Fonte: autor

Desse modo, prosseguindo com a análise do comportamento apresentado, o estoque de fila de consumidores para processamento também apresenta o esperado aumento. O comportamento desse

estoque acompanha o padrão apresentado pela taxa de adesão ao sistema. Contudo, apresenta um atraso inerente a necessidade da alocação de recursos para o processamento desses consumidores. A existência de consumidores em fila é um dos fatores que leva a alocação de recursos para a prestação, conforme a estrutura de decisão modelada para o sistema. Com a alocação de recursos a taxa de prestação atua reduzindo a fila de consumidores para processamento. O indicador de tempo de espera também reflete o estado do sistema, uma vez que quanto mais consumidores acumulam-se aguardando processamento o tempo em espera também apresenta um aumento. Portanto, o tempo de espera predominantemente segue o comportamento do indicador de consumidores para processamento, contudo ainda é influenciado pela quantidade de recursos alocados para a prestação. Mas, principalmente, o tempo de espera também influencia a quantidade de consumidores para processamento. É por esse aspecto que a expectativa quanto ao tempo de espera em fila tem sua influência no comportamento do sistema. Isto ocorre pela comparação entre a percepção e a expectativa do tempo de espera atuando na taxa de desistência. Os consumidores que saem do sistema pela taxa de desistência não retornam ao sistema, contudo, como pode ser observado pela Figura 56 mesmo com a atuação da taxa de desistência o comportamento do estoque de consumidores aguardando processamento apresenta uma elevação inicial e uma tendência de estabilização. A taxa de processamento (limitada quanto à quantidade de recursos e também quanto à percepção da qualidade), é apresentada na Figura 57a, cujo crescimento se mostra aquém do necessário para o completo consumo dos consumidores em espera. Já a taxa de desistência é apresentada na Figura 57b. Nessa configuração o tempo de espera em torno de 135 semanas.

Figura 56 - Indicador de consumidores para processamento

Fonte: autor

Figura 57 - Consumo dos consumidores em espera (a) pela taxa de prestação, (b) pela taxa de desistência.

Fonte: autor.

Ainda sobre o comportamento geral cabe salientar o papel da reincidência de consumidores no sistema por englobar o aspecto relacionado à expectativa de confiabilidade do consumidor. Nesse contexto além da taxa de desistência influenciar a quantidade de consumidores em espera (como salientado anteriormente) essa taxa também tem relevância em termos da confiabilidade dos consumidores em relação à entrega do sistema. Com uma maior taxa de desistência a confiabilidade adquirida é reduzida (o que pode ser observado no instante inicial de prospecção do indicador de índice de confiabilidade mostrado na Figura 58a. Seguindo esse padrão a confiabilidade se eleva novamente tendendo a um equilíbrio. Já a taxa de reincidência no mercado de serviços apresenta uma elevação ocasionada pelo crescente nível de consumidores processados. A Figura 58b apresenta o comportamento da taxa de reincidência no mercado de serviços.

Figura 58 - (a) índice de confiabilidade, (b) taxa de reincidência

Fonte: autor

Concluindo essa explanação sobre o funcionamento geral do sistema ressalta-se com foco nos recursos utilizados que, em comparação ao cenário de reprodução do problema, o sistema de prestação passa a concorrer pelos recursos à medida que os consumidores passam a entrar nesse sistema. Como mostra a Figura 59 os recursos disponíveis são imediatamente utilizados para a prestação dos serviços. E ainda, se pode observar que ao longo do horizonte de simulação a elevação dos recursos utilizados pelos serviços acarreta a redução dos recursos utilizados para a produção. Essa constatação é relevante para a construção de um parecer salientando os prós e contras da adoção de serviços conforme o contexto da MOS.

Figura 59 - Recursos utilizados no sistema

Fonte: autor

Como resultado da completa utilização dos recursos disponíveis o índice de utilização da capacidade eleva-se a 100% no instante em que o tempo para agregação dos serviços conduz a uma grande incidência de consumidores. Esse é o indicador foco dessa análise e de antemão se pode inferir que, conforme o contexto modelado e condicionado a configuração utilizada a adoção da MOS se mostra capaz de cumprir com a expectativa de utilização dos recursos inicialmente disponíveis. Contudo, essa utilização plena da capacidade se estendeu por um horizonte de 249 semanas. Após esse período pode ser observada uma nova redução da utilização da capacidade disponível no sistema. A Figura 60 apresenta o índice de utilização da capacidade no sistema para o cenário de referência da MOS.

Figura 60 - Índice de utilização da capacidade

Fonte: autor

Com isso, vista essa explanação geral sobre o funcionamento observado do sistema algumas considerações podem ser realizadas com foco específico na ação da expectativa do consumidor no sistema. As induções de diferentes expectativas visam simular o efeito da atuação em mercados com ênfase no (i) preço, (ii) na agilidade da entrega dos serviços, (iii) na qualidade e (iv) na confiabilidade; os requisitos apontados. Ou também, essa indução de diferentes expectativas ainda simula a entrada no mercado da MOS de concorrentes com diferenciais em um desses quatro requisitos. A seguir as expectativas são induzidas de modo separado. A sequência segue a ordem a qual o consumidor de serviço avaliaria o sistema, então iniciando pelo preço, tempo de prestação e qualidade e, por fim, a confiabilidade.

O reflexo da atuação em mercados com ênfase no preço dos serviços consiste em uma expectativa do consumidor de um preço reduzido. Portanto, o modelo foi rodado novamente com tal expectativa reduzida em 50%. Esse fator de redução é arbitrado e tem como intenção evidenciar os contrastes de comportamento dos cenários. Desse modo a comparação entre a expectativa e a percepção do preço resulta em uma redução do índice de influência do preço na taxa de adesão, chegando próximo a 0,4, como apresenta a Figura 61a. A consequência imediata é a restrição inicial da taxa de adesão ao sistema que, na Figura 61b, é apresentada em comparação a taxa de adesão do cenário de referência

da MOS. Além da redução a taxa de adesão ainda apresenta um padrão oscilatório tendendo a um equilíbrio.

Figura 61 - (a) influência do preço na taxa de adesão, (b) taxa de adesão

Fonte: autor

Nesse cenário, como consequência do comportamento da taxa de adesão, o montante de consumidores em fila para processamento é reduzido nos instantes iniciais (até o instante 188 semanas), quando passa a ser superior ao cenário de referência como é mostrado na Figura 62a. Essa inversão também é observada na taxa de prestação, porém próximo ao instante 262 semanas em função do tempo necessário para a correção dos consumidores em fila. Portanto, com o decréscimo da quantidade de consumidores para processamento a taxa de processamento apresenta um valor reduzido, porém se mantém em um horizonte de tempo em relação ao cenário de referência. O comportamento da taxa de prestação é apresentado na Figura 62b.

Figura 62- (a) fila de consumidores para processamento, (b) taxa de prestação.

Fonte: autor

Também colaboraram para o comportamento apresentado tanto pelo montante de consumidores para processamento, quanto para a taxa de processamento uma ligeira variação do tempo de espera e, por consequência, da taxa de desistência. A taxa de desistência, por sua vez, também impacta no índice de confiabilidade e, consequentemente, na taxa de reincidência no sistema serviço. Enquanto a Figura 63a apresenta o índice de confiabilidade ligeiramente defasado em relação ao cenário de referência, a Figura 63b apresenta como essa defasagem reduz a taxa de reincidência no sistema.

Figura 63 - (a) Índice de confiabilidade, (b) taxa de reincidência no mercado de serviços

Fonte: autor

Concluindo a análise desse primeiro cenário é fundamental salientar que, mesmo o comportamento do sistema sendo afetado pelo impacto da redução da expectativa quanto ao preço o índice de utilização da capacidade manteve seu valor máximo assim como no cenário de referência. Mas ainda, essa utilização da capacidade plena se estendeu em um horizonte de tempo maior (em 19,5%) que o próprio cenário de referência. Isso pode ser explicado pelo fato que nesse cenário a redução da taxa de adesão provocada justamente pela indução de uma expectativa reduzida de preço provoca um ingresso no sistema mais lento dos consumidores. Isso e o fato dessa modelagem não considerar fatores de saída dos consumidores potenciais de serviços (que se acumularam em um montante maior que o cenário de referência) estendeu o horizonte de utilização plena da capacidade. O índice de utilização da capacidade correspondente a este cenário é apresentado posteriormente (na Figura 70) comparado aos demais cenários.

Partindo para o próximo cenário a ser analisado o valor induzido para a expectativa do consumidor quanto ao preço é retornado ao valor original e, então, a mesma indução de redução em 50% é aplicada a expectativa do consumidor quanto ao tempo de espera para a prestação dos serviços.

Com isso, mesmo nesse cenário de competição em tempo de prestação, em que essa expectativa do consumidor tem impacto nos fatores relacionados ao processamento, a taxa de adesão também sofre alterações em relação ao seu comportamento para o cenário de referência da MOS. Essa taxa se apresenta muito semelhante ao cenário de expectativa de preço reduzida. Isso porque o aumento da taxa de desistência, abordada logo na sequência, eleva o custo referente à capacidade perdida que influencia a percepção de preço do consumidor.

Nesse cenário se constata uma formação de filas no sistema de prestação consideravelmente reduzida em comparação ao cenário de referência (devido a desistência dos consumidores), porém com o mesmo padrão de comportamento (conforme mostra a Figura 64a). Com a variação do índice de desistência ocorre um pequeno aumento da taxa de desistência, suficiente para diferenciar o cenário tanto na formação de filas quanto na taxa de processamento, essa última em um médio intervalo de tempo. Isso porque mesmo com uma menor quantidade de consumidores para processamento a taxa de processamento não apresentou alteração até o instante 195 semanas devido a prevalência da atuação do ciclo “restrição de alocação à prestação” que governa o comportamento do sistema também para esse cenário. Após esse instante uma quantidade menor de recursos é alocada e o sistema passou a operar processando menos consumidores. O comportamento da taxa de prestação é apresentado na Figura 64b.

Figura 64 - (a) Fila de consumidores para processamento, (b) taxa de prestação.

Fonte: autor

Como característica desse cenário dado o montante de filas e a taxa de prestação tal como se apresenta o tempo de espera se mostra reduzido em relação ao demais cenários. Com isso o índice de desistência, mostrado na Figura 65a, atua na taxa de desistência conduzindo-a a um valor superior ao cenário de referência. Inclusive essa taxa de desistência, mostrada na Figura 65b, não se mostra ainda maior justamente em função do reduzido montante de consumidores para processamento no sistema.

Figura 65 - (a) índice de desistência, (b) taxa de desistência

Fonte: autor

O impacto da expectativa do consumidor quanto ao tempo de prestação ainda impacta na própria taxa de reincidência no mercado de serviços. Isso visto a influência da taxa de desistência na taxa de perda de confiabilidade, que é apresentada na Figura 66a. Já a Figura 66b mostra o decréscimo da taxa de reincidência no mercado de serviços, concluindo a análise também desse cenário. Assim como para o cenário anterior o índice de utilização da capacidade quando a expectativa quanto ao tempo de prestação é reduzida é mostrada na Figura 70 junto aos demais cenários. Fundamentalmente por esses comportamentos o índice de utilização da capacidade apresenta uma condição desfavorável em relação ao cenário de referência que se apresenta como um horizonte de utilização plena da capacidade reduzido.

Figura 67 - (a) taxa de adesão, (b) taxa de desistência

Fonte: autor

A fila de consumidores em espera para prestação é menor que o cenário de referência até o instante logo além de 200 semanas. Nesse sentido os efeitos acumulados para a taxa de processamento passam a ter efeito na compensação do tempo de espera nesse período. A Figura 68a apresenta o montante de consumidores para processamento. Já a Figura 68b apresenta a taxa de reincidência no sistema, que também apresenta um diferença em relação ao cenário de referência. Ao longo de todo o horizonte essa taxa se apresenta com valor inferior ao cenário de referência.

Figura 68 - (a) fila de consumidores para processamento, (b) taxa de prestação.

Fonte: autor

Portanto, o impacto da expectativa do consumidor quanto à qualidade, no comportamento geral do sistema, também influencia o índice de utilização da capacidade, e o faz desfavoravelmente. Do mesmo modo que para os cenários anteriores essa condição influência se dá no horizonte temporal

em que a capacidade plana é utilizada. Nesse caso, então, ocorre uma redução desse horizonte. Isso é representado na Figura 70 junto aos demais cenários.

Por fim, o modelo é configurado retornando o valor da constante referente a expectativa da qualidade para seu valor original e atribuindo a indução à expectativa de confiabilidade de entrega do valor pelo incremento adicional de 50%. Neste cenário a taxa de adesão também não apresenta significativas alterações. É observado um valor pouco maior de pico nos instantes iniciais e um pouco menor quando essa taxa passa ao comportamento oscilatório. Também o montante de consumidores em fila para processamento se mostra extremamente próximo ao cenário referente à expectativa da qualidade. O mesmo ocorre com as taxa de processamento e de desistência. Os fatores que de fato diferenciam esse cenário dos demais estão relacionados a confiabilidade, visto a influência dessa expectativa no contexto sistêmico. A Figura 69a apresenta o índice de influência na confiabilidade que, em quase totalidade do horizonte temporal, apresenta seu valor mais elevado. Por consequência, um contraste referente a taxa de reincidência de consumidores no mercado de serviços também pode ser observada. O comportamento dessa taxa, que segue o comportamento da referência, porém com um valor reduzido, é mostrado na Figura 69b.

Figura 69 - (a) índice de confiabilidade, (b) taxa de reincidência no mercado de serviços.

Fonte: autor

A utilização da capacidade resultante desse cenário, tal qual o comportamento dessa variável frente a indução das expectativas desfavoráveis ao longo dessa seção de prospecção é, enfim, apresentada na Figura 70. Como já ressaltado previamente, pela constatação na prospecção do cenário de referência para a MOS se pode inferir que frente a situação problema de redução da demanda ao sistema de produção de bens se pode inferir que a adoção da estratégia da MOS é capaz de utilizar os recursos

disponíveis no sistema. Sendo que a estratégia de simulação considerou a inserção dos serviços em um determinado instante de simulação, nesse instante a utilização da capacidade passa a aumentar a uma taxa determinada pelas constantes temporais envolvidas até atingir seu patamar máximo de utilização plena da capacidade. Por essa figura, de modo geral, como também já ressaltado, os reflexos da variação das expectativas do consumidor no indicador de utilização da capacidade ocorre em termos da extensão da utilização plena da capacidade. Especificamente o cenário mais desfavorável se deve à influência na expectativa do consumidor quanto o sistema atua em um mercado com ênfase na expectativa de tempo de prestação. Nesse cenário houve uma redução de 8,47% da extensão do horizonte de tempo em que toda a capacidade é utilizada. Por outro lado, os cenários referentes a atuação em mercados com ênfase na qualidade, confiabilidade e preço, de modo que influenciem a expectativa do consumidor nesses aspectos apresentaram uma implicação que poderia ser considerada favorável ao estender o horizonte de utilização plena da capacidade. O cenário referente à qualidade retornou um horizonte superior em 8,23% enquanto a confiabilidade retornaram um horizonte superior em 8,55%. Já o cenário referente à expectativa de preço esse horizonte temporal de utilização da capacidade total se estende em 19,5% em relação ao cenário de referência.

Aprofundando ainda a análise com foco nas causas da extensão do horizonte temporal, no que se refere aos cenários que consideram a confiabilidade, qualidade e também o preço, essa extensão é atribuída ao comportamento da taxa de prestação. Para ambos os aspectos a taxa de prestação se apresenta em um valor inferior comparada ao cenário de referência. Porém é por esse valor inferior que os consumidores em fila aguardando a prestação do serviço são processados em um volume menor e, com isso, é utilizado um tempo maior para o processamento de tal montante. Nesse sentido ressalta-se que com a calibração do modelo para um contexto específico do mercado as constantes referentes à desistência dos consumidores quando em fila podem compensar esse ação da taxa de prestação, então, podendo reduzir o tempo de utilização da capacidade.

Figura 70 - Utilização da capacidade no contexto MOS

Fonte: autor

Como apresentado anteriormente com a Figura 59 é possível compreender a utilização dos recursos em termos absolutos tanto pelo subsistema de prestação quanto de produção. Contudo, os comportamento prospectados nessa seção concentram-se em cenários já englobando a agregação de serviços conforme o contexto modelado para a MOS. Então, para a comparação entre uma condição já de atuação na MOS e uma condição anterior a esta (com somente a produção de bens tangíveis) a Figura 71 apresenta o comportamento do indicador de recursos utilizados. Por esse comportamento se pode observar que, mesmo o sistema utilizando todos os seus recursos quanto atua no contexto da MOS, os recursos passam a ser compartilhados entre a produção de bens e a prestação dos serviços. Com isso, de forma geral o subsistema de produção opera com um nível de recursos inferior. Isso pode ser atribuído principalmente a atuação do ciclo de realimentação "influência da prestação na produção" que passa a ter uma grande influência no comportamento do sistema após a adesão dos consumidores no sistema de prestação.

Figura 71 - Recursos usados para a fabricação com e sem a adoção da MOS

Fonte: autor

Além de apresentar os resultados do processo de prospecção nessa seção também foram realizados comentários sobre tais resultados. Com base nisso a seção seguinte apresenta uma discussão, dessa vez com foco nos avanços do conhecimento obtidos.

5.3 DISCUSSÃO (AVANÇOS NO CONHECIMENTO)

Esses comentários relacionam as particularidades consideradas nessa análise que conduziram à obtenção dos resultados pela atividade de modelagem, além dos próprios cenários prospectados, com o estado atual do conhecimento representado pelo portfólio bibliográfico. Nesse sentido vale ressaltar que cada artigo relacionado como base para esta análise aborda a MOS em diferentes aspectos e formas. Considerações da própria modelagem como, por exemplo, a consideração das demandas por bens e serviços como associadas, contrasta com a consideração de Wang et al. (2013) que analisa as demandas como separadas. Ainda, o principal aspecto analisado (a utilização da capacidade) é abordado de diferentes formas pelos artigos que apresentam implicações conceituais e analíticas, indiretas e diretas, como já apresentado.

O comportamento de referência adotado corresponde especificamente à capacidade instalada na indústria da manufatura. Como foi estabelecido em função das informações coletadas na

fundamentação teórica dessa abordagem o aspecto da capacidade abordado na análise se refere à capacidade em termos de pessoas. Enfatiza-se que mesmo podendo haver uma discrepância entre esses dois tipos de capacidade, (i) não havia informações específicas referentes à capacidade em termos de pessoas para a indústria da manufatura. Também, (ii) como todos os casos análogos ressaltados, inclusive o caso de referência descrito, na indústria da manufatura, sobretudo com a agregação de serviços técnicos como é o caso dos serviços de manutenção mesmo o foco principal da capacidade estando em termos de pessoas os equipamentos e maquinários se fazem necessários para efetivar a prestação dos serviços. Isso inclusive vai de encontro (ii) a consideração do fenômeno como um sistema em que todos os elementos estabelecem relação para o cumprimento de uma função. Portanto, mesmo tratando-se de pessoas, se manteve o comportamento de referência da utilização da capacidade no sistema em função da capacidade instalada.

Primeiramente, ao configurar as constantes do modelo as observações dos artigos de referência alinhadas com essa análise foram inseridas para resultar em um comportamento coeso. Por exemplo, as considerações conceituais de Oliva e Kallenberg (2003) quanto ao custo do conhecimento para sistemas que produzem o bem e os serviços associados (o menor custo em relação aos sistemas convencionais) são inseridas numericamente nessa análise. Mesmo não sendo adotada uma referência prática quanto a tal valor o custo de conhecimento foi configurado como o menor dos custos considerados nessa análise para explorar em termos quantitativos sua relação com os demais custos. Então, como complemento específico às considerações de Oliva e Kallenberg (2003) a prospecção do comportamento pelo modelo construído permitiu visualizar que a incidência dos custos quanto ao conhecimento, mesmo sendo reduzidos frente aos demais, são os primeiros custos a incidirem quando do funcionamento do sistema de prestação. Essa constatação pode contribuir com um dos três principais obstáculos para que as empresas passem a atuar também com serviços relacionados por Oliva e Kallenberg (2003), a implantação de uma estratégia de serviços bem sucedida.

Indo um pouco além nesse mesmo aspecto o custo total dos serviços foi calculado do mesmo modo que por Zhen (2012), salvas as diferenças inerentes a linguagem matemática relacionadas aos métodos de cada análise. Existindo poucos trabalhos que abordam os custos aplicados no sistema MOS de modo analítico quando Zhen (2012) o faz contribui bastante com suas implicações gerenciais no sistema. Pelas diferenças em termos de método o artigo de Zhen (2012) busca um ponto ótimo que indique a viabilidade da empresa adotar a MOS, sendo específico em indicar tal ponto em termos da relação entre o custo e o preço (a parte fixa do custo unitário inferior a um terço do preço de equilíbrio).

Resguardadas as características da Dinâmica de Sistemas usada para essa análise os apontamentos são realizados em termos de comparações de padrões de comportamento, tal como também é feito por Delgado-Alvarez et al. (2017) por usarem o mesmo método. Só por essa característica já se pode afirmar que a contribuição dessa análise se dá pela possibilidade de análise ao longo de um horizonte temporal. Nesse sentido os cenários evoluem a compreensão do comportamento do sistema em apontar que o impacto da redução das expectativas do consumidor ocorrem não na redução do montante dos recursos utilizados, visto que o sistema continua operando a 100% dos seus recursos. Essa influência ocorre pelo tempo em que o sistema opera utilizando todos os seus recursos. A operação em um mercado com influência na expectativa quanto ao tempo de prestação apresentou uma redução desse horizonte em 8,47%. Já o cenário que considera a expectativa de qualidade o horizonte de utilização plena da capacidade se estendeu em 8,23%, enquanto que para a confiabilidade esse aumento foi de 8,55%. O maior aumento observado do horizonte de utilização da capacidade disponível do sistema se deve ao cenário com inferência na expectativa do preço, sendo o aumento de 19,5%.

Nesse sentido em que a influência da expectativa atua de modo contrário ao esperado, aumentando o tempo em que a capacidade total é utilizada, não se deve propriamente a um efeito contra intuitivo. Analisando-se o comportamento das variáveis envolvidas é possível atribuir esse efeito a correlação das constantes relacionadas à atribuição dos recursos para a prestação dos serviços (processamento dos consumidores) e as constantes relacionadas à desistência dos consumidores antes desse processamento. Assim, em contextos específicos, em que o modelo seja calibrado para um caso prático, uma tolerância em fila inferior pode provocar uma maior saída de consumidores e os efeitos de aumento do horizonte temporal de utilização da capacidade plena do sistema podem se apresentar como uma redução. Portanto, fundamentalmente o que o comportamento prospectado referente à utilização da capacidade indica nesta análise é justamente o reflexo das influências sobre as expectativas do consumidor atuando no horizonte de tempo em que o sistema utiliza sua capacidade.

Outro aspecto que essa análise contribui frente às necessidades apontadas pela literatura consiste na exploração dos atrasos de informação referentes à geração e acumulação do conhecimento no sistema, seu comportamento e implicação no comportamento geral do sistema. Conforme Oliva e Kallenberg (2003) esse é um fator operacional relevante para a gestão da rede. Justamente nesse sentido essa abordagem avançou no conhecimento específico de como a acumulação do conhecimento pode ser considerada (de modo analítico) a nível operacional da MOS. A relevância da

expectativa do consumidor que, para esse aspecto, é dado pela expectativa quanto à qualidade é inversamente proporcional ao conhecimento acumulado. Assim, essa análise demonstrou nos cenários prospectados que o acúmulo do conhecimento atua no atendimento a expectativa de qualidade do consumidor que pode, conforme o modelo, acarretar uma restrição operacional quanto à taxa de prestação.

A lógica adotada na modelagem, com a fabricação de produtos seguida da prestação dos serviços em um segundo momento é perfeitamente alinhada ao exemplo da literatura dado por Wang et al. (2013), constante no portfólio bibliográfico. Como tal, assim como no artigo de Wang et al. (2013) o sistema modelado responde a duas demandas. Ainda, conforme observam Wang et al. (2013) operacionalmente a gestão dos sistemas de produção e prestação são diferentes pela própria natureza destes, sendo que o serviço intangível só pode ser preparado com consumidores no sistema. Isso também está representado na modelagem conduzida por essa análise. Nessa análise, contudo, o mercado ainda é caracterizado pela utilização dos fatores de expectativa do consumidor que são afetados por concorrentes no mercado, ou mesmo por mercados caracterizados pela ênfase em algum dos requisitos da MOS. Nesse aspecto essa abordagem pode ser considerada complementar ao conhecimento na busca de novos parâmetros que, inseridos nos modelos computacionais, conduzem a novas interpretações sobre o sistema. O modelo utilizado nessa análise, como já comentado, não buscou uma condição ótima como com Wang et al. (2013) ou Cheng et al.(2017), mas sim uma interpretação do comportamento como com Delgado-Alvarez et al.(2017). Então, o avanço dessa análise nesse aspecto, como resultado da simulação, indica que ao inferir uma discrepância de 50% na expectativa quanto ao preço a maior implicação ao sistema correspondeu à redução da taxa de admissão em até 6,66% nos instantes iniciais, passando o comportamento a oscilar e tender para um equilíbrio.

A utilização de fatores que implicam na percepção do consumidor é convergente com a análise demonstrada pelo artigo de Chou (2014). A capacidade de adequação dos serviços é um fator gerencial importante apontado por Chou (2014). Nesse sentido os fatores de ordem operacional utilizados no modelo desta análise puderam auxiliar na exploração desses aspectos. No modelo proposto, a capacidade de adequação a uma nova condição induzida pelas constantes de expectativa é determinada pelas constantes temporais que caracterizam a estrutura de decisão do sistema serviço. Logo no processo de testes do modelo e, posteriormente na primeira etapa da modelagem, as variáveis temporais foram ajustadas para o modelo reproduzir o comportamento do problema como

referência. Como tal, o maior tempo e que mais pode restringir o sistema para uma adequação a novas condições externas consiste no tempo de análise do consumidor (configurado para 12 semanas) seguido do tempo para correção da fila de consumidores aguardando processamento (configurado para seis semanas). Como o sistema possui ciclos de balanço, o comportamento das taxas de adesão e prestação tende ao equilíbrio representando sua adequação a nova condição.

Além disso, Chou (2014) também indica em uma abordagem com modelagem estatística que além das características naturais do serviço (por exemplo, um serviço de relacionamento ou de processo) ainda devem levar em consideração as características regionais. Nesse sentido, a estrutura de fatores correlacionados no modelo proposto estabelece uma estrutura que pode ser expandida para explorar as características específicas dos serviços e suas particularidades regionais. Assim, o modelo disponibilizado por essa análise pode ser útil para vários estudos expandindo ainda mais o conhecimento acerca da MOS.

Buscando enriquecer essa discussão, além de confrontar os resultados obtidos com as considerações dos artigos que retratam o conhecimento atual sobre o tema, a seguir são ressaltados aspectos práticos relacionados a adoção da MOS. Esses aspectos podem contribuir diretamente com os atores da indústria da manufatura, sendo expostos, portanto, pontos favoráveis e desfavoráveis dessa adoção sumarizados no Figura 72.

O primeiro ponto favorável levantado ressalta que mesmo com a redução do mercado de produtos que se reflete diretamente na quantidade de consumidores de serviços o índice de utilização da capacidade se elevou ao nível máximo ao longo de certo período do horizonte de simulação. Isso representa o cenário desejável mostrando-se passível de ser obtido pela prestação de serviços conforme o contexto da MOS. E, mesmo o modelo não estar estendido ao ponto de demonstrar se a estratégia MOS é capaz de retornar lucro frente aos custos abordados foi capaz de demonstrar que a MOS pode utilizar a capacidade instalada e, conforme Oliva e Kallenberg (2003), a lucratividade nesse sistema se origina justamente desta utilização.

Como segundo ponto: os fabricantes de bens que também decidem prestar os serviços associados a tais bens possuem vantagens específicas. Uma dessas, englobada por essa análise, está na melhor previsão da demanda. Sendo que os serviços são aplicados aos bens dado o tempo para a sua incidência, então o comportamento da adesão de consumidores no sistema de prestação pode ser previsto como foi demonstrado nos cenários prospectados.

Outra vantagem relacionada ao longo dessa análise é que tem base nas considerações da literatura consiste no domínio da tecnologia do produto. Isso se reflete diretamente no custo do conhecimento necessário para a prestação de tais serviços e, também, no tempo de prestação. Como a simulação demonstrou que justamente a expectativa do consumidor quanto ao tempo de espera para o consumo do serviço pode retornar um reflexo indesejável ao comportamento do sistema essa vantagem pode ser decisiva para a sustentabilidade da estratégia MOS em mercados competitivos.

Também, como aspecto favorável salientado nos cenários prospectados e comentados na seção anterior se pode apontar que a estrutura de decisão (conforme o modelo) é capaz de readequar o comportamento do sistema em função de um distúrbio externo. Ou seja, os ciclos de controle que representam as ações de controle dos gestores em uma organização industrial foram capazes de conduzir o comportamento do sistema para um estado de equilíbrio frente a mudanças no ambiente do mercado.

Já em termos de pontos desfavoráveis, na configuração trabalhada se observou uma maior taxa de desistência de consumidores do que a taxa de processamento. Portanto, em um horizonte de tempo excepcionalmente longo, não considerado nessa análise, essa grande desistência de consumidores poderia retornar reflexos (como novos ciclos de realimentação) negativos ao sistema. Esse é o principal ponto destacado como limitante e como fonte de atenção para a agregação de serviços no contexto da MOS.

Outro importante fator desfavorável a ser ressaltado consiste em um dos reflexos da alocação de recursos para os serviços. Nessa modelagem no instante em que os serviços incidem o subsistema de prestação passa a compartilhar os recursos com o subsistema de produção. Com isso, mesmo com o índice de utilização da capacidade, como já ressaltado, atingindo o seu nível máximo, pela comparação entre os cenários se observou que o nível de produção de bens no sistema de produção também foi reduzido em relação à condição sem a agregação de serviços. Esse fator ressalta a necessidade dos gestores conduzirem o controle da produção considerando que mesmo níveis de produção mais baixos podem levar ao melhor aproveitamento da capacidade.

Por fim, com base no aporte conceitual se pode apontar que a adoção da estratégia de integração de serviços na MOS leva a um mercado mais competitivo, visto que os requisitos específicos do consumidor se referem também aos serviços. Mesmo ressaltada a capacidade do sistema em se adequar em relação a alterações no ambiente essa maior competitividade pode indicar uma necessidade de acompanhamento de diferentes indicadores externos.

Figura 72 – Pontos favoráveis e desfavoráveis da adoção da MOS

Fonte: o autor

Toda essa explanação ilustra, como o uso de técnicas empregadas na engenharia, como a modelagem computacional, pode embasar a análise e fomentar a discussão acerca de um fenômeno. Também representa como a complexidade dos contextos em que se inserem as ações humanas de gestão requer a utilização de ferramentas para facilitar o processo de interpretação e tomada de decisão. Em seu fim essa abordagem tem sua principal contribuição como ferramenta de um processo decisório a ser utilizada nos estágios iniciais do planejamento para a adoção da MOS. Uma longa abordagem foi conduzida, sendo que aqui se considera concluída a explanação a que esse livro se propôs. Portanto, o capítulo seguinte destinado a breves considerações finais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

E é nesse ponto, olhando para trás se percebe o quão instigada pode ser a mente humana por um questionamento. Foi com vistas a um problema que assola empresas de manufatura que mergulhamos e tentamos expandir o conhecimento de como as tais empresas poderiam se beneficiar de algo aparentemente fora de seus domínios.

No âmago de tudo que foi trabalhado nesse livro está a ilustração, com um tema específico, do quanto a engenharia pode expandir sua extensão de atuação, bem como sua amplitude de exploração. Explorar novas possibilidades para algo já instituído é uma ação que representa a ânsia pela evolução.

Espero que o apresentado ajude no entendimento do contexto que determina o funcionamento do sistema serviço, principalmente no que se refere aos serviços industriais. Espero também que essa publicação dissemine a utilização da Dinâmica de Sistemas, dadas suas características que lhe atribuem a capacidade de auxiliar o homem na tarefa de explorar e compreender tais contextos.

REFERÊNCIAS

ADAMSON, G.; WANG, L.; HOLM, M.. MOORE, P. Cloud manufacturing – a critical review of recent development and future trends. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, v. 30, n. 4/5, p. 347-380, 2017.

ARIENTE NETO, R. Modelo de dinâmica de sistemas para avaliar capacidade na manufatura orientada a serviços. 2018. 217 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/205280>. Acesso em: 23 jan. 2022.

ARIENTE NETO, R.; SILVA, S. L.; FORCELLINI, F.; FERREIRA, M. G. G.. MIGUEL, P. A. C.

Elementos integrantes de um sistema produto-serviço como potencial para alcançar um desenvolvimento sustentável: bibliometria e análise de conteúdo. *Produção Online*, v. 14, n. 3, p. 914-938, 2014.

ARGOTE, L.; EPPLE, D. Learning curves in manufacturing. *Science*, v. 247, n. 4945, p. 920-924, 1990.

AURICH, J. C.; FUCHS, C.. WAGENKNECHT, C. Life cycle oriented design of technical Product- Service Systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 14, n. 17, p. 1480-1494, 2006.

BAINES, T. S.; LIGHTFOOT, H. W.; EVANS, S.; NEELY, A.; GREENOUGH, R.; PEPPARD, J.; ROY,

R.; SHEHAB, E.; BRAGANZA, A.. TIWARI, A. State-of-the-art in product-service systems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: journal of engineering manufacture*, v. 221, n. 10, p. 1543-1552, 2007.

BIANCHI, N. P.; EVANS, S.; REVETRIA, R.; TONELLI, F. Influencing factors of successful transitions towards product-service systems: a simulation approach. *International Journal of mathematics and computers in simulation*, v. 3, n. 1, p. 30-43, 2009.

BRASIL. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. . Indicadores industriais CNI. 2017.

Disponível em:

<<http://www6.sistemaindustria.org.br/gpc/externo/estatisticaAcessoSistemaExterno.faces>>. Acesso em: 01 mar. 2017.

BUI, H.; BARUCH, Y. Creating learning organizations: a systems perspective. *The Learning Organization*, v. 17, n. 3, p. 208-227, 2010.

CAO, J.; JIANG, Z.; WANG, K. Customer demand prediction of service-oriented manufacturing incorporating customer satisfaction. *International Journal of Production Research*, v. 54, n. 5, p. 1303-1321, 2016.

CHENG, Y.; TAO, F.; ZHAO, D.; ZHANG, L. Modeling of manufacturing service supply-demand matching hypernetwork in service-oriented manufacturing systems. *Robotics & Computer-Integrated Manufacturing*, v. 45, p. 59-72, 2017.

- CHOU, C.-M. How does manufacturing service perceived value influence customer satisfaction? An investigation of global semiconductor industry. *International Journal of Production Research*, v. 52, n. 17, p. 5041-5054, 2014.
- COYLE, R. G. *System Dynamics Modelling: A Practical Approach*. Chapman & Hall, 1996. 432 p.
- DELGADO-ALVAREZ, C. A.; VAN ACKERE, A.; LARSEN, E. R.; ARANGO-ARAMBURO, S. Managing capacity at a service facility: An experimental approach. *European Journal of Operational Research*, v. 259, n. 1, p. 216-228, 2017.
- EVANS, S.; PARTIDÁRIO, P. J.; LAMBERT, J. Industrialization as a key element of sustainable product-service solutions. *International Journal of Production Research*, v. 45, n. 18-19, p. 4225-4246, 2007.
- FORCELLINI, F. A. *Desenvolvimento de Serviços (2014). Notas de Aula, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção*. Universidade Federal de Santa Catarina: 2014.
- FORRESTER, J. W. *Industrial Dynamics*. Massachusetts Institute of Technology Press, 1961. 464 p.
- FORRESTER, J. W.; SENGE, P. M. Test for Building Confidence in System Dynamics Models. *TIMS studies in the Management Sciences*, n. 14, p. 209-228, 1980.
- FRY, T. D.; STEELE, D. C.; SALADIN, B. A. A service-oriented manufacturing strategy. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 14, n. 10, p. 17-29, 1994.
- GAO, J.; YAO, Y. L.; ZHU, V. C. Y.; SUN, L. Y. LIN, L. Service-oriented manufacturing: a new product pattern and manufacturing paradigm. *Journal of Intelligent Manufacturing*, v. 22, n. 3, p. 435-446, 2011.
- GAO, R.; WANG, L.; TETI, R.; DORNFELD, D.; KUMARA, S.; MORI, M.; HELU, M. Cloud-enabled prognosis for manufacturing. *CIRP annals*, v. 64, n. 2, p. 749-772, 2015.
- GEBAUER, H. Identifying service strategies in product manufacturing companies by exploring environment–strategy configurations. *Industrial marketing management*, v. 37, n. 3, p. 278-291, 2008.
- HOFFMAN, K. D.; BATESON, J. E. G. *Princípios de marketing de serviços: conceitos, estratégias e casos*. São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2003. 628 p.
- JACKSON, M. C. *Systems Thinking: creative holism for managers*. Chichester: John Wiley & Sons, 2007.
- KAZEMI, M.-A. A.; ESHLAGHY, A. T.; TAVASOLI, S. Developing the product strategy via product life cycle simulation according to the system dynamics approach. *Applied Mathematical Sciences*, v. 5, n. 17, p. 845-862, 2011.
- KIM, Y.; WANG, E.; LEE, S.; CHO, Y. A product-service system representation and its application in a concept design scenario. *Proceedings of the 1st CIRP Industrial Product-Service Systems (IPS2) Conference*, 2009. Cranfield University Press, 2009.
- KIMITA, K.; SHIMOMURA, Y.; ARAI, T. Evaluation of customer satisfaction for PSS design. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 20, n. 5, p. 654-673, 2009.

- KOHTAMÄKI, M.; PARTANEN, J.; PARIDA, V.; WINCENT, J. Non-linear relationship between industrial service offering and sales growth: The moderating role of network capabilities. *Industrial Marketing Management*, v. 42, n. 8, p. 1374-1385, 2013.
- KOTLER, P. Administração de marketing: análise, planejamento, implementação e controle. 5 ed. São Paulo: Atlas, 1998. 725 p.
- LAI, C.; LEE, W.; IP, W. A study of system dynamics in just-in-time logistics. *Journal of materials processing technology*, v. 138, n. 1-3, p. 265-269, 2003.
- LAS CASAS, A. L. Marketing de serviços. São Paulo: Atlas, 1991. 163 p.
- LIN, L.; HAO, X.-C.; GEN, M.; JO, J.-B. Network modeling and evolutionary optimization for scheduling in manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, v. 23, n. 6, p. 2237-2253, 2012.
- LOVELOCK, C.; WIRTZ, J.; HEMZO, M. A. Marketing de serviços: pessoas, tecnologia e estratégia. 7 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011. 530 p.
- MEIER, H.; VÖLKER, O.; FUNKE, B. Industrial product-service systems (IPS 2). *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 52, n. 9-12, p. 1175-1191, 2011.
- MÉLÈSE, J. A gestão pelos sistemas. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1973. 260 p.
- MATTOS, D. L.; ARIENTE NETO, R.; MERINO, E. A. D.; FORCELLINI, F. A. Simulating the influence of physical overload on assembly line performance: A case study in an automotive electrical component plant. *Applied Ergonomics*. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.08.001>
- MUSA, E. O.; GREASLEY, A.; ALBORES, P. The application of simulation to product service systems: a review (wip). *Proceedings of the Summer Simulation Multi-Conference*, 2017. Society for Computer Simulation International. p. 40, 2017.
- OLIVA, R.; KALLENBERG, R. Managing the transition from products to services. *International journal of service industry management*, v. 14, n. 2, p. 160-172, 2003.
- OLIVER, R. L. Satisfaction: A behavioral perspective on the consumer. Routledge, 2014.
- PHUMBUA, S.; TIAHJONO, B. Towards product-service systems modelling: a quest for dynamic behaviour and model parameters. *International Journal of Production Research*, p. 1-18, 2011.
- SCHMITZ, B.; GITZEL, R.; FROMM, H.; SETZER, T.; ISAKSSON, A. What is "Industrial Service"? A Discussion Paper. *Proceedings of the First Karlsruhe Service Summit Workshop-Advances in Service Research*, 2015. Karlsruhe, Germany. KIT Scientific Publishing. p. 113, 2015.
- SENGE, P. M.; ROSS, R.; ROBERTS, C.; KLEINER, A.; SMITH, B. A quinta disciplina: caderno de campo: estratégias e ferramentas para construir uma organização que aprende. Qualitymark, 1999. 544 p.
- SENGE, P. M.; STERMAN, J. D. Systems thinking and organizational learning: Acting locally and thinking globally in the organization of the future. *European Journal of Operational Research*, v. 59, n. 1, p. 137-150, 1992.
- STANKE, A.; MURMAN, E. A framework for achieving lifecycle value in aerospace product development: *International Council of Aeronautical Sciences*: 10 p. 2002. Disponível em:

<<http://hdl.handle.net/1721.1/7317>>.

STERMAN, J. D. Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. McGraw-Hill, 2000. 982 p.

SUN, H.; WANG, Z.; ZHANG, Y.; CHANG, Z.; MO, R.; LIU, Y. Evaluation method of product– service performance. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, v. 25, n. 2, p. 150- 157, 2012.

TAN, A. R.; MATZEN, D.; MCALOONE, T. C. EVANS, S. Strategies for designing and developing services for manufacturing firms. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, v. 3, n. 2, p. 90-97, 2010.

THEORIN, A.; BENGTSSON, K.; PROVOST, J.; LIEDER, M.; JOHNSON, C.; LUNDHOLM, T.;

LENNARTSON, B. An event-driven manufacturing information system architecture for Industry

4.0. International Journal of Production Research, v. 55, n. 5, p. 1297-1311, 2017.

WANG, K.; JIANG, Z.; LI, N.; GENG, N. Optimal production and admission control for a stochastic SOM system with demands for product and PSS. International Journal of Production Research, v. 51, n. 23-24, p. 7270-7288, 2013.

WANG, P.; MING, X. G.; LI, D.; KONG, F.; WANG, L.; WU, Z. Modular development of product service systems. Concurrent engineering, v. 19, n. 1, p. 85-96, 2011.

WILLIAMS, A. Product service systems in the automobile industry: contribution to system innovation? Journal of cleaner Production, v. 15, n. 11-12, p. 1093-1103, 2007.

WOODRUFF, R. B. Customer value: the next source for competitive advantage. Journal of the academy of marketing science, v. 25, n. 2, p. 139, 1997.

ZHAI, L. A system dynamics approach to supplier partnership management in supply chain. 2004. (Master). Engineering Systems Division, Massachusetts Institute of Technology.

ZHANG, F.; JIANG, P.; ZHU, Q.; CAO, W. Modeling and analyzing of an enterprise collaboration network supported by service-oriented manufacturing. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, v. 226, n. 9, p. 1579-1593, 2012.

ZHANG, L.; LUO, Y.; TAO, F.; LI, B. H.; REN, L.; ZHANG, X.; GUO, H.; CHENG, Y.; HU, A.; LIU, Y.

Cloud manufacturing: a new manufacturing paradigm. Enterprise Information Systems, v. 8, n. 2, p. 167-187, 2014.

ZHANG, Y.. DILTS, D. System dynamics of supply chain network organization structure. Information Systems and E-Business Management, v. 2, n. 2-3, p. 187-206, 2004.

ZHEN, L. An analytical study on service-oriented manufacturing strategies. International Journal of Production Economics, v. 139, n. 1, p. 220-228, 2012.