

ANTONIO LUIZ FERNANDES MARINHO

**MODELO E SIMULAÇÃO DE UM AMBIENTE *ENGINEER TO ORDER* E OS
EFEITOS DOS FATORES ENVOLVIDOS NO PLANEJAMENTO DA
PRODUÇÃO SOBRE O TEMPO TOTAL DE ATRAVESSAMENTO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, área de Concentração em Tecnologia e Inovação, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Gechele Cleto

CURITIBA

2017

M338m

Marinho, Antonio Luiz Fernandes

Modelo e simulação de um ambiente engineer to order e os efeitos dos fatores envolvidos no planejamento da produção sobre o tempo total de atravessamento / Antonio Luiz Fernandes Marinho. – Curitiba, 2017.
86 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2017.

Orientador: Marcelo Gechele Cleto.

1. Engenharia de produção. 2. Inovação tecnológica. I. Universidade Federal do Paraná. II. Cleto, Marcelo Gechele. III. Título.

CDD: 620.1

TERMO DE APROVAÇÃO

ANTONIO LUIZ FERNANDES MARINHO

MODELO E SIMULAÇÃO DE UM AMBIENTE *ENGINEER TO ORDER* E OS EFEITOS DOS FATORES ENVOLVIDOS NO PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO SOBRE O TEMPO TOTAL DE ATRAVESSAMENTO

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:



Orientador: Prof. Dr. Marcelo Gechele Cleto

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – UFPR



Profa Dra. Izabel Cristina Zattar

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – UFPR



Prof. Dr. Marcos Augusto Mendes Marques

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – UFPR



Prof. Dr. Sérgio Eduardo Gouvêa da Costa

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas - PUCPR

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas - UTFPR



Prof. Dr Leandro Magatão

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial – CPGEI

Departamento Acadêmico de Mecânica - UTFPR

Curitiba, 26 de Maio de 2017.

Dedico esta dissertação à minha esposa Rosane, que me incentivou e me apoiou, incondicionalmente, neste meu novo caminho pelo mundo acadêmico.

Comprender é saber como seguir adiante.

Ludwig Wittgenstein

RESUMO

Em ambientes *engineer to order* (ETO) o desempenho em prazo tem papel decisivo para a competitividade da organização. Isto significa que o tempo total de atravessamento (TTA) do produto deve coincidir com o tempo disponível para cumprimento do prazo. Entretanto, a capacidade de atendimento dos prazos é influenciada por inúmeros fatores que se tornam variáveis no processo de planejamento da produção. Além disso, a intensidade dos fatores é incerta. Em outras palavras, planejar eventos incertos e entregar no prazo é um grande desafio. Por meio de um estudo de caso, o objetivo deste trabalho é investigar os fatores envolvidos no processo de planejamento da produção de um ambiente ETO, a fim de descrever seus efeitos sobre o TTA dos produtos, por meio do uso de um modelo computacional de simulação de eventos discretos, com os tempos retratados por meio de distribuições de frequências e os resultados tratados por meio de planejamento fatorial de experimentos. Esta abordagem não é muito comum para planejamento da produção de ambientes ETO, principalmente quando está aliada ao uso de variáveis aleatórias. Observou-se que a atividade que mais contribuiu para a variação do TTA é a relacionada com a mobilização de recursos decorrente da liberação de engenharia. O tempo médio de execução da atividade e seu desvio padrão influenciam a variação do TTA. Entretanto, o desvio padrão tem uma influência muito mais significativa. A capacidade do ambiente pesquisado se manteve inalterada e superdimensionada durante os experimentos, mas o seu desempenho para entregas no prazo variou bastante, donde se conclui que a abordagem de capacidade produtiva deveria ter dado lugar à abordagem pelo desvio padrão do tempo de execução das atividades.

Palavras-chave: Engineer to order. Simulação. Modelo. Tempo de atravessamento.

Data de entrega. Variância.

ABSTRACT

In engineer to order (ETO) environments, term performance plays a decisive role in the organization's competitiveness. This means that the total lead time (TLT) of the product must match the time available to meet the deadline. However, the capacity to meet deadlines is influenced by many factors that become variables in the production planning process. In addition, the intensity of the factors is uncertain. In other words, planning uncertain events and delivering on time is a major challenge. Through a case study, the objective of this dissertation is to investigate the factors involved in the process of planning the production of an ETO environment, in order to describe its effects on the TLT of the products, through the use of a computational model of simulation of discrete events with the times portrayed by means of frequency distributions and the results treated through factorial planning of experiments. This approach is not very common for production planning of the ETO environment, especially when it is allied to the use of random variables. It was observed that the activity that contributed the most to the variation of the TLT is related to the mobilization of resources due to the release of engineering. The average time of performance of the activity and its standard deviation influence the variation of the TLT. However, the standard deviation has a much greater influence. The capacity of the surveyed environment remained unchanged and oversized during the experiments, but its performance to deliver on time varied a lot, where it was concluded that the production capacity approach should have given way to the standard deviation for the lead time of the activities approach.

Keywords: Engineer to order. Simulation. Model. Lead time. Due date. Variance.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	9
1.2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	12
1.3 OBJETIVOS.....	12
1.3.1 Objetivo geral	12
1.3.2 Objetivos específicos.....	13
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1 <i>ENGINEER TO ORDER</i>.....	14
2.1.1 Uma visão geral.....	14
2.1.2 Tempo total de atravessamento em ambientes ETO.....	19
2.3 MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS	24
2.4 PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS	30
2.4.1 Variáveis ruídos.....	32
2.5 POTÊNCIA DE UM TESTE ESTATÍSTICO	33
3 PROCEDIMENTOS DE PESQUISA	34
4 A PESQUISA	35
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE PESQUISADO.....	35
4.2 CONSTRUÇÃO DO MODELO CONCEITUAL DO SISTEMA.....	38
4.2.1 Geração dos pedidos.....	40
4.2.2 Recepção dos pedidos	40
4.2.3 Análise técnica	40
4.2.4 Avaliação dos resultados da análise técnica.....	41
4.2.5 Autorização de produção dos pedidos	42
4.2.6 Planejamento dos veículos	42

4.2.7 Programação dos veículos.....	43
4.2.8 Montagem final dos veículos	43
4.2.9 Administração da entrega	43
4.3 COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS.....	43
4.4 CONSTRUÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL DO SISTEMA.....	47
4.5 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL	51
4.6 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS PARA REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS.....	52
4.6.1 Dimensionamento do número de replicações	52
4.6.2 Dimensionamento do tempo de simulação.....	52
4.6.3 Determinação dos fatores e das medidas de desempenho.....	53
4.6.4 Determinação dos níveis dos fatores	56
4.7 REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS E CÁLCULOS DOS EFEITOS DOS FATORES ENVOLVIDOS NO PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO SOBRE O TTA	59
4.8 INDUÇÕES	62
4.8.1 Relação entre efeito e média	62
4.8.2 Relação entre efeito e desvio padrão	64
4.8.3 Relação entre o efeito, o desvio padrão e a média.....	65
4.8.4 Medida de robustez do sistema	66
5 ANÁLISES	68
6 CONCLUSÕES	74
REFERÊNCIAS.....	78
DOCUMENTOS CONSULTADOS.....	81

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O gerenciamento das operações produtivas preocupa-se com a gestão dos recursos, quase sempre escassos, e dos processos que geram os produtos e/ou serviços destinados a atender as necessidades dos clientes. Estas necessidades podem ser traduzidas como qualidade, prazo e custo. Entretanto, essas gestões devem também atender requisitos de eficiência mínimos para que as empresas tornem-se perenes.

A perenidade da organização no mercado exige, em nome da competitividade, inovação, promoção de mudanças evolutivas e adaptação constante aos macro e microambientes (MAGALHÃES, 2007). Devido à velocidade das mudanças tecnológicas e concorrência generalizada, o desenvolvimento efetivo de produtos está surgindo como o maior foco de competição e iniciativa estratégica das empresas (CHEN et al., 2003).

Uma tentativa de ligar o ambiente do tipo *engineer to order* (ETO) ao negócio da organização poderia ser feita por meio dos objetivos-chave de negócio propostos por Highsmith (2012), onde se destaca dois deles. O primeiro refere-se à adaptabilidade do produto que deve ser perseguida como o único modo de sobreviver diante de um ritmo grande de mudanças e do encolhimento do tempo de resposta. A outra trata da melhora do tempo de resposta até o mercado, por meio do gerenciamento de cronogramas reduzidos de entrega, como estratégia de negócio frente ao encolhimento do tempo para desenvolvimento dos produtos. Em ambos os objetivos observa-se que o gerenciamento do tempo, que em termos operacionais poderia ser traduzido como o processo de planejamento, programação e controle da produção (PPCP), tem papel relevante e decisivo para a competitividade organizacional.

Uma importante característica do ambiente do tipo ETO é que o cliente participa do processo de desenvolvimento do produto. Esta interação entre o vendedor e o cliente pode assumir diferentes níveis, dependendo do produto que vai ser desenvolvido e da extensão deste desenvolvimento. Mas, independentemente se há alta ou baixa interação, o cliente faz parte do processo de desenvolvimento do produto que está comprando.

Diante deste cenário, cada vez mais, os clientes têm solicitado personalizações ou customizações dos produtos e este modo de operação é utilizado por uma quantidade significativa de organizações de diversos segmentos. (GRABENSTETTER; USHER, 2015). Esta afirmação, por si só, mostra a dimensão desse tipo de produção, campo fértil para desenvolvimento de pesquisas científicas.

Entretanto, a literatura tem registrado uma série de questões e constatações sobre o ambiente do tipo ETO, começando pela constatação de que os pedidos recebidos por operações produtivas do tipo ETO equivalem a projetos por causa da necessidade de desenvolvimento do produto (STAVRULAKI; DAVIS, 2010). Esta equivalência traz consigo as características encontradas em ambientes projetizados, com destaque para os aspectos relacionados com o tempo de entrega e sua importância para a competitividade da organização. Já os produtos com elevado grau de customização impactam diretamente o *lead time* do projeto e aumentam as chances de atraso e retrabalhos (KONIJNENDIJK, 1994; AMARO et al., 1999). Durante o desenvolvimento do produto, eventualmente, decide-se por liberações parciais da estrutura do mesmo, visando o início da execução das atividades pós-engenharia e isto se transforma em fontes de incertezas (HICKS et al., 2001) porque esta decisão pressupõe que as partes que serão produzidas não serão afetadas pelo desenvolvimento de engenharia das partes que ainda não foram liberadas, mas isto é incerto. Essa incerteza traduz-se em probabilidades de atrasos nas entregas. Desta forma, a coordenação entre as atividades de engenharia e produção assume papel importante porque facilita o atendimento de prazos e, conseqüentemente, melhora o desempenho organizacional (KONIJNENDIJK, 1994; HICKS et al., 2001). Contudo, se durante a produção um produto apresentar problemas funcionais, a engenharia é acionada para avaliar a questão e alterar o que for necessário, dado que, normalmente, a boa funcionalidade do produto também é um fator competitivo. Caron e Fiore (1995) observaram que este processo de readequação do produto aumenta o *lead time* e os custos de produção. O fato de não se conhecer a estrutura do produto definitiva, principalmente na fase de propostas comerciais, aumenta a complexidade do planejamento da produção de ambientes ETO porque o prazo acordado é gerado sem que o planejamento da capacidade tenha sido totalmente realizado (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993). Somando-se a tudo isso, o ambiente ETO, em muitas situações, convive com carteiras de pedidos com múltiplos projetos a serem entregues gerando uma disputa por recursos e, neste caso, planejar a

conciliação entre demanda e recursos torna-se bastante importante que seja feito (GADEMANN; SCHUTTEN, 2005). No entanto, para o ambiente ETO, muitas das técnicas de planejamento da produção têm aplicabilidade prejudicada e ambientes ETO carecem de processos específicos de planejamento da produção (RAHIM; BAKSH, 2003; NAKAYAMA; SPINOLA, 2015; SRIRAM; ALFNES, 2014; LITTLE et al., 2000; STEVENSON et al., 2005; CHEN, 2006). Não é por menos, que deficiências para cumprimento de prazos e baixa eficiência produtiva são características, não raramente, encontradas num ambiente ETO (ASSAF; AL-HEJJI, 2006; GIOVANETTI; CLETO, 2014) e que atrasos nas entregas causam impactos para a organização e para a cadeia produtiva (HICKS et al., 2001; STAVRULAKI; DAVIS, 2010). É por isso que o atendimento dos prazos de entrega é um importante indicador de eficiência, pois espelha com que cuidado os recursos são utilizados (BRETTEL et al., 2011).

Boa parte dos problemas de gerenciamento em ambientes do tipo ETO apresentados, na verdade, discutem um *trade off*¹ onde, (1) por um lado, a organização precisa atender as necessidades de customização solicitadas por seus clientes, incluindo pontualidade na entrega e, (2) por outro lado, a organização precisa cuidar da sua estrutura de custos promovendo eficiência com padronizações de procedimentos e processos (SAIA, 2013). São muitos os fatores envolvidos nesse processo de gerenciamento que impactam o tempo total planejado para a entrega e, conseqüentemente, o prazo desejado pelo cliente. Alguns desses fatores são: grau de customização do produto, níveis da estrutura de produto, grau de terceirização das atividades, *lead times* dos fornecedores e de produção, tamanho do lote demandado pelo cliente e variedade de produtos demandados entre outros.

Estes fatores podem impactar o tempo total para entrega com diferentes intensidades, resultando num tempo total para a entrega que só é conhecido quando o produto é entregue para o cliente. Além disso, algumas pesquisas apontam para a eficácia do uso da variável incerteza para retratar a aleatoriedade dos fatores presentes no mundo real. Considerando isto, surge a seguinte questão de pesquisa: qual o impacto que a intensidade e o comportamento aleatório dos diversos fatores e suas interações, envolvidos no processo de planejamento e controle da produção de ambientes do tipo ETO, tem sobre o tempo total gasto para entrega?

¹ Expressão que significa optar pelo benefício de uma decisão, mas prejudicando outro aspecto do negócio.

1.2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

As observações e constatações feitas pelos autores mencionados até o momento mostram que há o envolvimento de inúmeros fatores inerentes ao processo produtivo dos ambientes ETO. A abordagem destes autores volta-se para a solução de algum problema específico desse tipo de ambiente (e.g. criação de modelos organizacionais, modelos matemáticos e até mesmo estudos sobre taxionomia adotada em ambientes ETO). Entretanto, uma abordagem voltada para o entendimento do fenômeno que rege as relações entre as atividades de uma operação produtiva do tipo ETO e o tempo total gasto para a entrega não foi observada explicitamente nos trabalhos pesquisados por este autor. Além disso, a inclusão da variável incerteza nas pesquisas, retratada pelo uso de variáveis aleatórias, também é algo incomum de se ver. Mais especificamente, o PPCP com a responsabilidade de conciliar demanda e oferta, que lida com inúmeros fatores envolvidos no seu processo e, ao mesmo tempo, precisa planejar o atendimento das necessidades de customização e zelar pela eficiência das operações produtivas, além de não dispor de técnicas eficientes de PPCP que o ajudem a gerenciar seu processo, também não dispõe, ou quase não dispõe, de pesquisas capazes de entender o fenômeno que rege as relações existentes entre os diversos fatores envolvidos no seu processo e o tempo total gasto para a entrega, considerando todas as variáveis do problema comportando-se aleatoriamente.

1.3 OBJETIVOS

Esta seção dedica-se a formalização dos objetivos geral e específicos da proposta de pesquisa.

1.3.1 Objetivo geral

Investigar os fatores envolvidos no processo de planejamento da produção de operações produtivas presentes em um ambiente do tipo *engineer-to-order*, a fim de descrever seus efeitos sobre o tempo total de atravessamento dos produtos, por

meio do uso de um modelo computacional de simulação de eventos discretos e com eventos aleatórios.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos da pesquisa são:

1. Revisar bibliografia sobre *engineer to order*, modelagem e simulação de sistemas e planejamento fatorial de experimentos;
2. Definir os fatores envolvidos no processo de planejamento e controle da produção para as operações produtivas do sistema pesquisado;
3. Construir, verificar, validar e executar um modelo computacional que simule a operação produtiva do sistema pesquisado considerando os tempos como variáveis aleatórias;
4. Utilizar planejamento fatorial de experimentos, para identificar os efeitos dos fatores e de suas respectivas interações sobre o tempo total de atravessamento.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Além deste capítulo, o trabalho compõe-se de mais cinco capítulos. O capítulo 2 apresenta o referencial teórico discutindo-se três grandes temas: (1) *engineer to order*, (2) modelagem e simulação de sistemas e (3) planejamento de experimentos. O capítulo 3 apresenta o procedimento de pesquisa adotado neste trabalho. O capítulo 4 descreve todos os passos percorridos para o desenvolvimento desta pesquisa de acordo com os procedimentos previstos no capítulo 3, incluindo a apresentação dos resultados. O capítulo 5 analisa os resultados do ponto de vista do impacto que o desvio padrão do tempo de execução da atividade tem sobre a variação do tempo total de atravessamento (TTA) e a possível principal fonte deste desvio. Por fim, o capítulo 6 compara os resultados obtidos com os de trabalhos anteriores e concluindo-se que há alinhamento de resultados. Além disso, procura consolidar o procedimento adotado nesta pesquisa como um possível procedimento de identificação de fontes de variação do TTA.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta o referencial teórico deste trabalho, abordando os temas *engineer to order*, modelagem e simulação de sistema e planejamento de experimentos.

2.1 ENGINEER TO ORDER

Esta seção está dividida em duas partes: a primeira apresenta uma recente visão geral dos trabalhos sobre *engineer to order* e a segunda uma visão dos trabalhos sobre *engineer to order*, mas com foco no prazo de entrega.

2.1.1 Uma visão geral

Segundo Chen (2006), basicamente são dois os modos de operação das operações produtivas no mundo: produzir para estoque (*make to stock* - MTS) e produzir sob encomenda (*make to order* - MTO). O modo MTS caracteriza-se por abrigar produções volumosas, ser regido por previsões de vendas e políticas de estoque e por ofertar produtos padronizados. Além disso, o tipo de operação MTS pode gerar ordens de produção específicas para atender determinados produtos quando houver indisponibilidade do estoque. Por outro lado, o tipo de operação MTO só convive com ordens de produção geradas em função de pedidos específicos, e assim, não mantém produtos acabados em estoque. Os produtos produzidos por operações do tipo MTO são customizados para atender necessidades específicas dos clientes e normalmente os custos e os tempos para atendimento dos clientes são maiores.

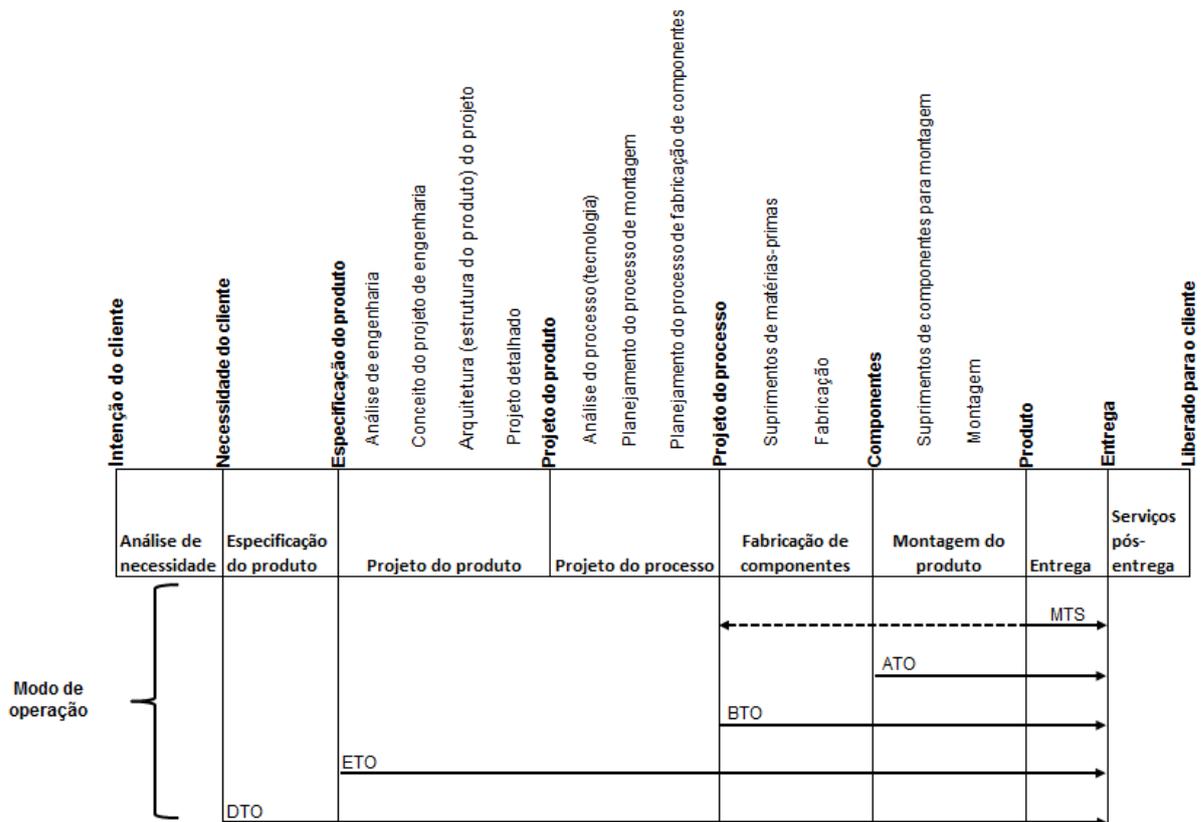
Chen (2006) classifica a operação do tipo MTO em: (1) pedidos para montagem e entrega (*assembly to order* - ATO), (2) pedidos para fabricação, montagem e entrega (*build to order* - BTO), (3) pedidos para desenvolvimento do produto, fabricação, montagem e entrega (*engineer to order* - ETO) e (4) pedidos para especificação e desenvolvimento do produto, fabricação, montagem e entrega (*develop to order* - DTO).

A figura 1 ilustra o dito por Chen (2006) e ele acrescenta que a operação tipo ATO mantém componentes prontos em estoque apenas aguardando o pedido para a

montagem e entrega do produto final na configuração desejada pelo cliente. O mesmo raciocínio aplica-se à operação tipo BTO que mantém matérias-primas em estoque, mas aguarda o pedido para iniciar a produção de componentes e posteriormente montar e entregar o produto final na configuração desejada. Já a operação do tipo ETO aguarda o pedido, juntamente com a especificação do produto desejada pelo cliente, para desenvolver o produto e os processos de fabricação e montagem, comprar matérias-primas e fabricar componentes e montar e entregar o produto final na configuração desejada pelo cliente. E, por fim, a operação do tipo DTO faz tudo que a ETO faz, mas tem uma fase adicional de geração da especificação do produto juntamente com o cliente.

Quando as atividades de desenvolvimento do produto são realizadas em paralelo com as atividades produtivas, tem-se o que Chen (2006) denomina de operação ETO concorrente e a finalidade dessa estratégia produtiva é a de minimizar o tempo total de atravessamento do produto (TTA).

FIGURA 1 - MODOS DE OPERAÇÃO DAS ORGANIZAÇÕES



FONTE: Adaptada de CHEN (2006).

Michael et al. (2015) afirmam que as principais atividades em ambientes ETO são: projeto do produto, manufatura e instalação (e.g. componentes de uma estação de energia são produzidos em diversos locais e depois são transportados para o local onde ela será instalada). Além das estações de energia, plataformas petrolíferas também seriam outro exemplo de produto com este processo. O processo de instalação seria o equivalente à operação de montagem definida por Chen (2006). A instalação normalmente ocorre em um local diferente da manufatura e é lá que é feita a montagem, ou melhor, a instalação. Michael et al. (2015) também mencionam a indústria de bens de capital como sendo também do tipo ETO.

Na cadeia produtiva de operações ETO, para cada pedido feito pelo cliente, a quantidade demandada de produtos é baixa (muitas vezes o pedido do cliente é unitário), mas a variedade de produtos comercializados é alta. Cada pedido equivale a um projeto específico de engenharia para se adaptar às necessidades requeridas pelo cliente e, portanto, essa cadeia produtiva não administra estoque de produtos acabados (STAVRULAKI; DAVIS, 2010). Conseqüentemente, o produto final adquire uma característica de unicidade (DALLASEGA et al., 2015; WORTMANN, 1992) e todo o processo produtivo é desenvolvido para esse particular produto. Mesmo que esse produto contenha componentes padronizados, faz-se necessário a criação de uma estrutura de produtos, de roteiros de fabricação e procedimentos de produção exclusivos para esse particular produto (DALLASEGA et al., 2015) porque a parte customizada é única (KONIJNENDIJK, 1994).

Um grau de customização elevado tem impacto direto no *lead time* do projeto (KONIJNENDIJK, 1994; AMARO et al., 1999) uma vez que mais atividades necessitarão ser realizadas (AMARO et al., 1999). Também, em ambientes com um número elevado de atividades de engenharia é comum observar-se atrasos nas entregas e retrabalhos por causa de intervenções da engenharia (para necessários ajustes) durante a manufatura e a montagem, a fim de entregar o produto com nível de qualidade exigido pelo cliente (CARON; FIORE, 1995). Outro aspecto se dá quando há necessidade de liberação do produto para a produção sem que todas as atividades de engenharia tenham sido finalizadas. Segundo Bertrand e Muntslag (1993), geralmente somente parte da estrutura de produtos é conhecida quando o pedido é aceito e o prazo de entrega é acordado, mas, mesmo assim, é possível iniciar-se a execução das atividades produtivas dividindo-se os pedidos em subpedidos, apesar da avaliação de capacidade não estar totalmente finalizada.

Neste caso, o ambiente ETO convive com o paralelismo das atividades de engenharia e produção e, como já mencionado, torna-se uma das principais fontes de incertezas do projeto (HICKS et al., 2001).

Em ambientes ETO, com múltiplos projetos, em diferentes estágios de produção e com frequentes alterações, pode-se dizer que consagrados métodos de gestão de prazos usados em outros ambientes produtivos não proporcionam os mesmos benefícios (RAHIM; BAKSH, 2003). Nakayama e Spinola (2015) acrescentam que não encontraram evidências de que o MRP (*Material Requirement Planning*) e MRP II (*Manufacturing Resources Planning*) foram implementados com sucesso para ambientes ETO. Sriram e Alfnes (2014) corroboram que, em função das características produtivas do ambiente ETO, técnicas de planejamento e controle, reconhecidamente válidas para ambientes com alto volume e baixa variedade de produção, têm a aplicabilidade prejudicada. Além disso, Little et al. (2000) destacam a inadequação do plano mestre e da falta de programas e monitoramentos das atividades em ambientes ETO. Chen (2006) afirma que um típico sistema ERP não se aplica a ambientes do tipo ETO. Apesar desta dificuldade, o ambiente ETO precisa conviver com o fato de que a programação das operações produtivas é uma das atividades que apresenta uma maior criticidade em gestão da manufatura (MOURTZIS et al., 2014). Ainda, para muitas dessas empresas, o cumprimento de prazo também se torna crucial porque é comum estabelecer-se multas contratuais para situações de não conformidade em relação ao prazo.

O ambiente ETO é complexo e a administração do tempo passa a ser um fator competitivo (GRABENSTETTER; USHER, 2014). A função planejamento, programação e controle da produção (PPCP) gerencia os prazos de entrega dos produtos e, portanto, acaba tendo influência direta no desempenho organizacional e na competitividade da organização. Entretanto, segundo Stevenson et al. (2005) o planejamento e controle da produção carece de um processo específico para ambientes ETO.

Observa-se empenho por parte das pesquisas em encontrar soluções para administrar simultaneidade das atividades de engenharia e produção para poder reduzir o *lead time* de fabricação. Entretanto, com um número maior de atividades paralelas há maior necessidade de coordenação. Além disso, na presença de outros diversos fatores envolvidos no gerenciamento, o esforço de coordenação torna-se ainda maior (MELLO et al., 2015). Sob vários aspectos, o esforço de coordenação

aplicado é menor que o esforço requerido (GERWIN, 2004) e, conseqüentemente, essa lacuna acaba causando retrabalhos e atrasos que aumentam o *lead time* de fabricação (MELLO et al., 2015). Então é necessário adequar mecanismos de coordenação entre engenharia e produção com a necessidade de coordenação exigida pelo projeto (MELLO et al., 2015). Na presença dessa adequação dos mecanismos de coordenação, Mello et al. (2015) afirmam que deve ser possível evitar atrasos e lidar com paralelismo entre as atividades da engenharia e produção.

Outro tema abordado pelos autores é sobre o uso de algoritmos matemáticos para o planejamento da produção, mas a consideração de todos os parâmetros presentes em um ambiente real aumenta a dificuldade de modelagem e, portanto, esses modelos raramente contemplam o ambiente industrial realisticamente (RAMEZANIAN et al., 2012).

Do mesmo modo, os pesquisadores dão um grande destaque para o uso do indicador de prazo porque ele tem relação com o uso eficiente dos recursos e com atendimento eficaz ao cliente (BRETTEL et al., 2011).

Com o intuito de se gerar uma amostra dos temas estudados em ambientes do tipo ETO, no dia 28/10/15, realizou-se uma revisão sistemática da literatura e o método seguido no desenvolvimento dessa pesquisa consistiu dos seguintes passos:

1. Buscaram-se trabalhos (todos os tipos de materiais) na base de dados CAPES usando-se exatamente o termo de busca "*engineer to order*", em qualquer posição dos trabalhos (no título, como autor e no assunto), escrito em qualquer idioma, com expansão de resultados, excluindo-se as duplicidades e no período compreendido entre 01/01/2014 e 28/10/15;
2. Realizou-se, no mínimo, a leitura de todos os títulos e sumários dos trabalhos selecionados;
3. Os trabalhos selecionados foram classificados por temas.

A tabela 1 sintetiza os resultados da pesquisa. A pesquisa trouxe 67 trabalhos envolvendo *engineer to order*. Dos 67 trabalhos, 3 não puderam ser classificados segundo algum tema, porque não foi possível acessar o texto desses trabalhos. Observa-se que, dos 64 trabalhos, 9 tratam de PPCP.

A maioria dos trabalhos (38 casos) ficou concentrada em dois temas: gestão da produção e desenvolvimento do produto.

TABELA 1 - NÚMERO DE TRABALHOS POR ÁREA TEMÁTICA

Temas	Número de trabalhos
Gestão da produção	20
Desenvolvimento do produto	18
Planejamento, programação e controle da produção	9
Organização industrial e arranjo físico	4
Suprimentos	4
Gestão da informação e conhecimento	3
Processos de fabricação	2
Qualidade	1
Organização do trabalho	1
Custos	1
Desempenho organizacional	1
Sem classificação	3
Total	67

FONTE: O autor (2017).

Sobre desenvolvimento do produto, de fato, esperava-se que o tema fosse bastante explorado, pois segundo Dallasega (2013), as pesquisas em ambientes ETO e de construção estão concentradas em desenvolvimento de produto. Entretanto, Dallasega (2013) também afirma que as pesquisas nas áreas organizacionais e de processos têm sido ignoradas. A revisão sistemática mostrou que o tema gestão da produção aparece com um número de trabalhos equivalente ao dos trabalhos de desenvolvimento de produtos e isto apresenta indícios de que tenha havido alteração das proporções dos temas estudados pelos pesquisadores porque Dallasega (2013) publicou em 2013 e a revisão sistemática foi feita considerando-se trabalhos a partir de 2014.

2.1.2 Tempo total de atravessamento em ambientes ETO

Pesquisas sobre o ambiente do tipo ETO têm crescido bastante nos últimos anos e se caracterizam por discutirem uma grande quantidade de diferentes temas como, por exemplo: desenvolvimento do produto, planejamento da produção, gestão da produção, qualidade, custos, arranjo físico, suprimentos, organização do trabalho, desempenho organizacional, gestão da informação, entre outros. Em função disso, optou-se por uma revisão focada no tema voltado para o TTA em ambientes do tipo

ETO, mas que abrangesse um período mais longo. O procedimento adotado foi o seguinte:

- 1- A pesquisa foi realizada na base de dados Scopus, no período compreendido entre 01/01/97 e 02/04/17, para todos os tipos de trabalhos, usando-se os seguintes termos de busca no título, no sumário ou nas palavras chave: (1) “*Engineer to order*” e “*Lead time*”, (2) “*Engineer to order*” e “*Delivery*”, (3) “*Engineer to order*” e “*Capacity planning*”, (4) “*Engineer to order*” e “*Production planning and control*”, (5) “*Engineer to order*” e “*Throughput*”;
- 2- Foi feita uma seleção dos trabalhos correlatos.

A tabela 2 ilustra as quantidades de trabalhos encontrados. Estas quantidades correspondem a 25,8% do total de trabalhos se o termo de busca fosse somente “*engineer to order*”. Além disso, mostra o crescimento das pesquisas nos últimos anos sobre o tema *engineer to order*.

TABELA 2 - NÚMERO DE TRABALHOS ENCONTRADOS NA BASE DE DADOS SCOPUS

Ano	Termo de busca					Totais excluindo-se as repetições
	ETO + <i>Lead time</i>	ETO + <i>Delivery</i>	ETO + <i>Capacity planning</i>	ETO + <i>Production Planning and control</i>	ETO + <i>Throughput</i>	
2017						
2016	6	3	1	1		7
2015	5	5	1	5	1	14
2014	3	2		2		6
2013	6	2		1	2	10
2012	1				1	2
2011						
2010	2	2			1	3
2009		3				3
2008	1	3	1			3
2007	1					1
2006	2	3				5
2005	1					1
2004	1					1
2003	1	1		1		1
2002						
2001						
2000	4	1	1			4
1999						
1998						
1997		1				1
Total	34	26	4	10	5	62

FONTE: O autor (2017).

Uma descrição, em ordem cronológica, dos trabalhos selecionados pode ser vista a seguir.

Hicks e Braiden (2000) descrevem as abordagens de planejamento e controle adotadas por empresas do tipo MTO (*make to order*) e ETO e as dificuldades de implementação de sistemas informatizados para o gerenciamento da produção. Os autores desenvolveram um modelo de simulação computacional de forma a representar um típico ambiente ETO/MTO. Os dados utilizados pelos autores para os processamentos computacionais foram determinísticos. Utilizaram o conceito de planejamento fatorial de experimentos para geração dos resultados, ou seja, (1) definindo uma série fatores relacionados com o planejamento da produção, (2) definindo dois níveis e (3) realizando experimentos com análise fatorial completa. Entretanto, os resultados não foram tratados estatisticamente. As medidas de desempenho utilizadas foram: (1) o atraso médio, (2) o nível de estoques e as (3) filas geradas. Os resultados de cada um dos indicadores de desempenho foram gerados para cada um dos níveis. Os resultados dos experimentos foram apresentados para três cenários: (1) com capacidade infinita e com as três medidas de desempenho, (2) com capacidade finita e também com as três medidas de desempenho, (3) com capacidade finita, com o indicador de desempenho atraso médio, com regra de sequenciação da produção como fator e com oito níveis, sendo que cada um correspondia a uma regra de sequenciação. Quando o cenário 1 foi comparado com o cenário 2, Hicks e Braiden (2000) observaram que o atraso médio gerado pelo cenário 2 (capacidade finita) foi maior que o gerado pelo cenário 1 (capacidade infinita) indicando que o plano de produção era inconsistente com os prazos de entrega acordados e com a capacidade de produção disponível. Com isto, ficou demonstrado que planejamentos de capacidade devem ser levados em consideração para planos de produção. Com relação às regras de sequenciação as duas que obtiveram melhor desempenho com relação ao atraso médio foram: programar primeiro os pedidos com menor folga e os com data de entrega que vencem primeiro.

Bertrand e Van Ooijen (2000) observaram que ambientes *job shop* com configuração complexa² ou em empresas com ambiente do tipo *engineer to order* convivem com a divisão de responsabilidades sobre os *lead times* de atendimento

² Os roteiros de fabricação variam de acordo com as especificações dos produtos

dos clientes administradas por departamentos distintos: o departamento de vendas definindo o *lead time* de atendimento do cliente e a produção controlando o fluxo produtivo. Como não é possível definir *a priori* os roteiros de fabricação para estes tipos de ambientes, o departamento de vendas assume determinadas premissas para definição do *lead time* de atendimento dos clientes causando imprecisão no tempo cotado. Bertrand e Van Ooijen (2000) estudaram a geração de prazos de atendimento economicamente ótimos, determinados por um modelo matemático, e demonstraram o efeito do uso de políticas de *lead times* economicamente ótimos, comparando suas receitas com uma receita produzida por uma política de *lead time* convencional, ou seja, uma política que objetiva conseguir uma data de entrega confiável³. Concluíram que: (1) a distribuição de probabilidades do tempo de fluxo do pedido exerce uma importante influência sobre o *lead time* economicamente ótimo e (2) independentemente dos níveis de custos que a distribuição de probabilidades do tempo de fluxo possa gerar, o tempo economicamente ótimo é o mais curto possível (factível comercialmente), mas que é dissociado da realidade fabril, ou seja, um “*lead time* realista é economicamente ótimo quando conjuga tempos de fluxos curtos com pequena variância”.

Zorzini et al. (2008) investigaram as práticas relacionadas com gestão da capacidade de produção e do prazo de entrega. Perceberam que o processo de aceitação dos termos do pedido e a preparação da proposta têm bastante influência sobre o desempenho da organização especialmente quando há necessidade de prazos de entrega rápidos e confiáveis. Constatam que no ambiente MTO e ETO a definição da data de entrega é uma atividade crítica. Em função disso, o trabalho, por meio de um modelo, propôs um processo de decisão para se determinar o prazo de entrega durante o processo de cotação de um pedido para as empresas estudadas pelos autores. O modelo levou em consideração duas coisas: (1) se o prazo de entrega é inegociável ou se é possível negociá-lo com o cliente e (2) se o prazo de entrega é um critério ganhador de pedido ou não. O modelo procurou preencher a lacuna observada pelos autores de que há uma separação funcional entre quem prepara a proposta para o cliente e quem aceita os termos do pedido.

Carvalho et al. (2015) apresentam resultados da aplicação de um modelo de programação linear mista (*mixed-integer linear programming* - MILP) que auxilia a

³ S.T. Enns, Job shop lead time requirements under conditions of controlled delivery performance, EJOR 77 (1994) 429-439

tomada de decisão sobre a problemática real de planejamento agregado de capacidade de produção em ambientes ETO e, segundo os autores, esses ambientes têm recebido muito pouca atenção por parte dos pesquisadores, principalmente quando se compara com ambientes produtivos do tipo MTO e MTS (*make to stock*). Além do mais, um sistema de planejamento de capacidade que consiga avaliar rapidamente o impacto que novos pedidos causarão no plano de produção é de grande valia para determinação de datas de entregas confiáveis. O modelo foi alimentado com dados reais para a sua validação e, também, cenários foram criados a fim de proporcionar informações para apoiar a fase de proposta comercial. O modelo contemplou (1) ajustes de capacidade produtiva com soluções temporárias, (2) o uso de múltiplos estágios de processamento e (3) uma rede de precedências que representa o fluxo de produção agregado, com o ritmo do progresso das atividades variando e permitindo paralelismos das atividades, mas sem uma política fixa de precedências. A pesquisa contribuiu para o preenchimento da lacuna entre teoria e prática no que diz respeito a ferramentas de apoio a decisão em problemas de planejamento agregado de capacidade de produção em ambientes ETO.

Mello et al. (2015) utilizam o termo coordenação para se referirem à coordenação das atividades de engenharia e de produção quando elas não são executadas pela mesma organização. Por meio de um estudo de caso, os autores se propuseram a analisar as causas dos atrasos e entender de que forma a coordenação entre as atividades pode ajudar a reduzir esses atrasos em ambientes do tipo ETO. Observaram que, com aumento de atividades paralelas, a necessidade de coordenação aumenta. Entretanto, sem o proporcional aumento de coordenação o ambiente fica sujeito a retrabalhos e atrasos que aumentam o *lead time* de fabricação. Concluíram então que é necessário adequar mecanismos de coordenação com a necessidade de coordenação exigida pelo projeto.

Dallasega et al. (2015) propõem um conceito utilizando CONWIP (*constant work in progress*) para conciliar demanda e oferta, com isso, criando uma cadeia de suprimentos sustentável. Os autores apresentaram um estudo de caso do conceito em uma empresa operando em ambiente ETO. Os autores concluem que mantendo baixos os níveis de estoque em processo evitam atividades que não agregam valor. Além disso, a sincronização dos processos de engenharia, produção e instalação, em ambientes ETO, permite a redução dos *lead times* de fabricação. Apontam

também que a utilização do sistema CONWIP é fortemente recomendada para ambientes com alta variabilidade de processos e de produtos.

Carvalho et al. (2016) estenderam o trabalho de Carvalho et al. (2015) incorporando ao modelo a variável incerteza. Observaram que os planos de capacidade gerados pelo modelo original sofriam frequentes ajustes por causa da variabilidade dos tempos de processamento das atividades produtivas. Relatam até uma situação de um atraso significativo de um pedido devido à subestimação dos tempos de processamento. Ainda, viram que a incorporação de incertezas nos modelos matemáticos de planejamento de capacidade é pouco explorada nas pesquisas. Relatam também que o time de planejamento da empresa objeto de estudo considerou que o modelo incorporando incertezas deve minimizar os retrabalhos advindos de processos de replanejamento.

2.3 MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS

Segundo Freitas Filho (2008), a simulação procura reproduzir o comportamento de um sistema real para permitir o desenvolvimento de teorias baseado nos resultados das simulações e ao mesmo tempo projetar situações futuras sem a necessidade de realização de um experimento real. Além disso, ele define sistema como um conjunto de elementos, que se interagem, sujeitos a estímulos e que geram respostas na presença destes estímulos.

Chwif (1999) define modelo como "uma representação das relações dos componentes de um sistema, sendo considerada como uma abstração, no sentido em que tende a se aproximar do verdadeiro comportamento do sistema".

Chwif e Medina (2006) classificam os tipos de simulações em computacional e não computacional. Como o próprio nome diz, a primeira vale-se do uso de um computador e a segunda não. Também, os autores afirmam que por meio do uso de simulação é possível prever, com certa confiança, o comportamento de um sistema submetido a um conjunto de dados específicos e premissas pré-determinadas.

Já os modelos podem ser classificados como: simbólicos, analíticos e modelos de simulação. Os modelos simbólicos ou conceituais descrevem os sistemas mostrando o fluxo do processo descrito e as relações entre os elementos que compõem o sistema. Os modelos analíticos resumem-se a um conjunto de equações que, quando resolvidas, fornecem a solução do problema que fora

modelado (CHWIF, 1999). Diferentemente dos modelos analíticos, os modelos de simulação são executados e não resolvidos; os modelos de simulação normalmente operam de maneira interativa, ou seja, diante de um dado de entrada, geram um dado de saída (FREITAS FILHO, 2008) e são apropriados para representar sistemas reais complexos e que envolvam um grande número de variáveis (CHWIF, 1999). O sistema real, por sua própria natureza, é dinâmico no sentido de que o seu status se altera de tempos em tempos e é aleatório por ser dirigido por variáveis aleatórias. Por esses motivos, os modelos de simulação conseguem representar com mais fidelidade os sistemas reais (CHWIF; MEDINA, 2006).

Freitas Filho (2008) apresenta três razões que justificariam o uso dos modelos de simulação: (1) quando há inexistência do sistema real e, portanto, o modelo de simulação representaria o funcionamento do futuro sistema real, (2) quando a realização de experimentos usando-se o sistema real é inviável do ponto de vista econômico e, portanto, o uso de modelos de simulação viabilizaria os experimentos e (3) quando realizar experimentos com o sistema real é inviável do ponto de vista operacional, ou seja, algumas situações operacionais não são reproduzíveis experimentalmente por serem inapropriadas (e.g. uma enchente numa cidade) e, portanto, o uso de modelos de simulação teria aplicabilidade para estas situações.

Segundo Freitas Filho (2008), há quase consenso entre os autores sobre o procedimento a ser adotado para a resolução de um problema usando-se modelagem e simulação do sistema.

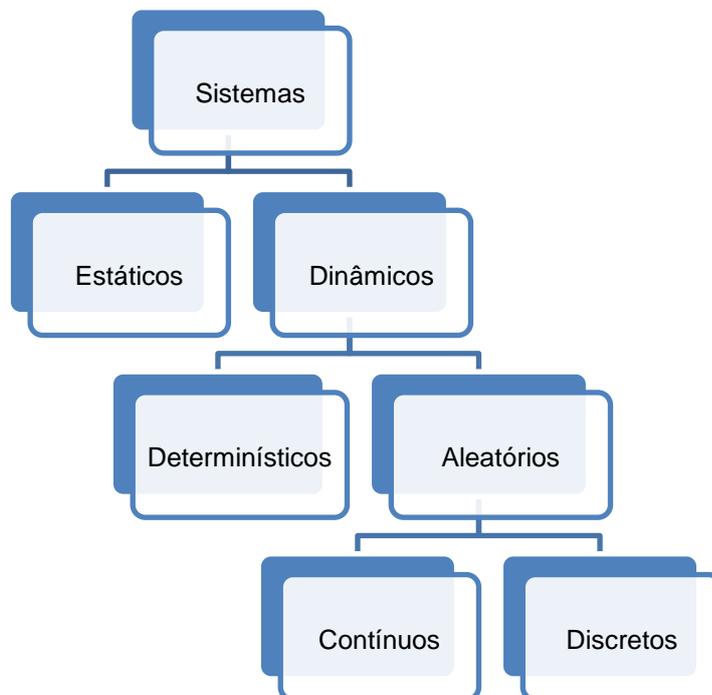
1. O primeiro passo consiste no planejamento que se volta para a formulação do problema, identificação de propósitos e objetivos, avaliação se a infraestrutura disponível é suficiente para desenvolvimento das atividades, elaboração do cronograma das atividades, formulação do modelo conceitual (traçando-se um esboço do sistema e mostrando as interações entre seus elementos) e coleta preliminar de informações e dados.
2. O segundo passo consiste na modelagem onde se realiza a coleta de dados, o desenvolvimento computacional do modelo com a verificação da sua lógica e sintaxe e a sua validação, esta última feita por meio da

comparação entre os resultados obtidos e os resultados que realmente se esperaria que o sistema real gerasse.

3. Este passo trata da experimentação propriamente dita e isso inclui: o planejamento da quantidade de experimentos que será realizada, a execução das simulações e a análise estatística dos resultados.
4. Por fim, tomam-se decisões e geram-se conclusões, incluindo o arquivamento dos documentos gerados ao longo do projeto e apresentação dos resultados e implementação da solução.

Quando se pensa em modelagem e simulação de sistemas, Freitas Filho (2008) propõe a classificação ilustrada pela figura 2. O sistema é classificado como dinâmico porque as variáveis de estado⁴ variam com o tempo, ao contrário do estático. Os sistemas são determinísticos porque os valores que as variáveis assumem são predeterminados (variáveis não probabilísticas), ao contrário dos aleatórios. São discretos porque as mudanças de estado ocorrem num determinado momento no tempo, ao contrário do contínuo onde as mudanças, como o próprio nome diz, ocorrem continuamente.

FIGURA 2 - CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS PARA FINS DE MODELAGEM



FONTE: FREITAS FILHO (2008).

⁴ São informações que proporcionam a compreensão do status do sistema num determinado momento

Introduzidos alguns conceitos fundamentais, passa-se a explorar alguns detalhes do procedimento, quase que consensado, de resolução de um problema usando-se modelagem e simulação de sistema.

Um aspecto importante da primeira fase do procedimento é o desenvolvimento do modelo conceitual, atividade essa que ainda é vista mais como uma arte do que como ciência, mas que, de um modo geral, tem recebido pouca atenção por parte dos pesquisadores (BROOKS, 2007). O modelo conceitual é a representação simbólica do modelo abstrato e é criado para proporcionar aos envolvidos no projeto entendimento do modelo abstrato (CHWIF, 1999). Este, por sua vez, insere nas suas atividades de concepção decisões voltadas para entendimento do que realmente é importante para o projeto e que por sua vez devem estar alinhadas com os propósitos e objetivos do projeto (CHWIF; MEDINA, 2006). Além do desenvolvimento do modelo conceitual, a coleta de dados preliminares também é feita nesta fase e serve para balizar os envolvidos no projeto quanto aos esforços que serão necessários quando a coleta detalhada de dados tiver que ser feita (FREITAS FILHO, 2008).

O segundo passo inicia-se com a coleta detalhada de dados para alimentação do modelo computacional. A coleta é pré-requisito para o processo de modelagem das distribuições de probabilidades das variáveis do modelo (FREITAS FILHO, 2008) e esse processo de modelagem, por vezes negligenciado, é uma importante parte de um projeto de modelagem e simulação de sistemas (LAW, 2013). Law (2013) aponta ainda para dois problemas de escolhas de distribuições de probabilidades que comumente levam os pesquisadores a gerarem resultados das suas simulações com pouca aderência à realidade: o primeiro problema refere-se ao conhecimento que o pesquisador deve ter de que a variabilidade das distribuições, e não apenas as suas médias, tem significativo efeito sobre problemas que envolvem filas, e o segundo problema refere-se ao uso indiscriminado da distribuição normal que raramente é apropriada para modelar uma fonte de aleatoriedade. Ainda dentro deste segundo passo, procede-se a verificação e validação do modelo desenvolvido. Freitas Filho (2008) sugere algumas técnicas de verificação e validação. Primeiramente, as de verificação são as seguintes:

1. Uso de modelos determinísticos: a variabilidade das respostas, provenientes do comportamento das variáveis aleatórias, torna a

verificação dos modelos de simulação mais difícil. A substituição das distribuições de probabilidades por valores determinísticos simplifica a verificação.

2. Variações sobre os dados de entrada: alterar os dados de entrada e verificar as respostas obtidas auxilia o processo de verificação dos modelos de simulação. Os resultados das alterações precisam ser consistentes e adequados.
3. Uso de rotinas de rastreamento (*trace*): módulos específicos usados na maioria das linguagens de simulação disponibilizam as ocorrências durante o processamento.
4. Aplicação de testes de continuidade: alteram-se os parâmetros de entrada a cada rodada observando-se a consistência dos resultados quando comparados com as variações implementadas. Neste caso, prefere-se o uso de valores determinísticos para se excluir a componente de variabilidade.
5. Emprego de testes de degenerescência ou robustez: verifica-se o modelo utilizando-se valores maiores ou menores que os permitidos.
6. Execução de casos simplificados: neste caso executam-se casos simplificados. Entretanto, apesar de simplificado, deve-se garantir representatividade do modelo real.
7. Verificação de consistência: atribuem-se valores equivalentes para diferentes execuções. Neste caso, o modelo deve produzir resultados semelhantes. O uso de distribuições de probabilidades precisa ser levado em conta e isso exige que as simulações dos sistemas considerem um longo intervalo de tempo.
8. Rotinas de verificação: rotinas adicionadas ao programa que verificam determinados tipos de erros. Por exemplo: o número de entidades geradas menos as expedidas, as em processos, as perdidas e etc. deve ser zero.

Quanto às técnicas de validação, Freitas Filho (2008) pondera que a procura de um modelo computacional que retrate a realidade acaba enfrentando alguns problemas de ordem prática. Primeiramente, a quase impossibilidade de se obter um modelo que tenha um comportamento idêntico ao real. Segundo, na maioria das

vezes constroem-se modelos para análise e observação da atuação do sistema em situações diferentes das reais. Terceiro, na maioria das vezes deseja-se verificar diversos resultados possíveis de um novo projeto ou até mesmo simular um sistema real, mas com outras ferramentas gerenciais.

O processo de validação, ainda segundo Freitas Filho (2008), deve abordar três aspectos principais: (1) os relacionados às simplificações e suposições adotadas, (2) os relacionados aos parâmetros de entrada e às distribuições de probabilidades usadas e (3) os relacionados às análises e conclusões dos resultados. Conclui que cada um desses aspectos deve ser submetido a teste de validação e sugere as seguintes técnicas:

1. O conhecimento e a intuição de especialistas: segundo Freitas Filho (2008) vários autores consideram essa técnica a melhor e a mais simples; o processo de validação contempla todos os três aspectos mencionados anteriormente. As simplificações e suposições podem ser avaliadas usando-se a técnica de *brainstorming meeting*. Da mesma forma, os parâmetros de entrada e suas distribuições de probabilidades também podem ser avaliados por meio dessa técnica. Testes de *Turing* também podem ser utilizados; o teste consiste na apresentação dos resultados obtidos por meio da simulação e do sistema real para especialistas. Se eles não conseguirem distinguir os provenientes do sistema real dos provenientes da simulação, então o modelo está validado.
2. Medições obtidas em sistemas reais: comparam-se resultados do modelo com os do sistema real. Os resultados do modelo devem ser perfeitamente compreendidos pelo modelador. Entretanto, os do sistema real dependem da forma de avaliação usada pelo observador. Uma técnica que pode ser usada é a comparação dos resultados do modelo com os resultados do sistema real advindos de situações tipicamente conhecidas para o sistema real.
3. Resultados teóricos: provenientes do uso de técnicas de modelagem analítica.

O terceiro passo prevê a execução do experimento propriamente dito. Neste ponto, o projeto depara-se com a definição dos fatores envolvidos no projeto e a determinação das variações que esses fatores devem sofrer (níveis que cada fator pode assumir) de modo que seja possível avaliar os indicadores de desempenho (FREITAS FILHO, 2008). As combinações entre fatores e níveis geram outro problema relacionado à quantidade de experimentos. Nesta fase, há a necessidade de dimensionamento da quantidade de experimentos que serão realizados e segundo Freitas Filho (2008) o objetivo é o de se "obter mais informações com menos experimentações". Outro ponto ainda relacionado com esta fase trata da quantidade de replicações necessárias para cada experimento. Como cada experimento gera um resultado, e se esse experimento for repetido sob as mesmas condições (mesma combinação de fatores e níveis), por questões de natureza aleatória, pode-se gerar um novo resultado e assim sucessivamente para todas as replicações que forem feitas. O número de replicações é importante porque essa quantidade amostral relaciona-se com o nível de confiança da estatística gerada pelas replicações realizadas (MONTGOMERY, 2012).

A última fase dedica-se à geração de conclusões e tomada de decisões. As conclusões e conseqüentemente as decisões dependem do propósito do projeto e o tipo de processo decisório envolvido. Em função disso, Freitas Filho (2008) classifica os modelos como: (1) voltados à previsão, (2) voltados à investigação e (3) voltados à comparação. O primeiro prevê estados futuros do sistema. O segundo volta-se à investigação no sentido de compreender comportamentos do sistema. O terceiro compara desempenhos do sistema diante de diferentes cenários. Ainda nessa fase, documentos gerados são arquivados para uso futuro e os resultados devem ser apresentados para todos os envolvidos.

2.4 PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS

Segundo Montgomery (2012), os experimentos são inerentes ao processo de pesquisa nas áreas de engenharia e em ciências e as técnicas de planejamento de experimentos resolvem importantes problemas porque levam à descoberta de novos fenômenos que auxiliam no desenvolvimento de novos produtos. Além disso, ele afirma que o uso de experimentos planejados determina como um conjunto de variáveis influencia um determinado comportamento do sistema e que os

experimentos estatisticamente planejados aumentam a eficiência do experimento e fornecem conclusões com objetividade científica.

Para um determinado experimento, uma lista preliminar dos fatores pode ser feita por meio de uma sessão com especialistas e, se a lista gerada for muito grande, então se realiza um experimento exploratório (*screening experiment*) para identificar as variáveis mais importantes, ou seja, aquelas com maior influência sobre as respostas do sistema e depois experimentos subsequentes são realizados com as variáveis selecionadas (MONTGOMERY, 2012).

Num experimento com dois ou mais fatores o uso da técnica de experimento fatorial é fundamental e geralmente um planejamento fatorial de experimentos realiza experimentos com todas as combinações dos níveis dos fatores (MONTGOMERY, 2012).

No caso de um experimento fatorial, quando a ação de um fator faz com que a resposta varie em função do nível diz-se que esse fator provocou um efeito principal. Entretanto, se a variação entre níveis de um determinado fator não for igual às variações dos níveis provocadas por outros fatores, diz-se então que há interação entre fatores e "experimentos fatoriais são a única maneira de descobrir interações entre as variáveis" (MONTGOMERY, 2012).

Freitas Filho (2008) apresenta algumas estratégias que podem ser usadas em planejamento de experimentos e dentre as mencionadas destaca-se três: (1) experimento fatorial completo, (2) experimento fatorial fracionário e (3) experimento fatorial com replicações.

1. O experimento fatorial completo é uma estratégia aplicada a experimentos de tal forma que todas as combinações possíveis entre os fatores e seus diferentes níveis são experimentadas. Esta estratégia apresenta a vantagem de realizar experimentos com todas as combinações possíveis. Entretanto, tem a desvantagem de aumentar o custo e o tempo do experimento quando o número de combinações for muito grande. A solução para esse problema pode passar pela redução do número de fatores e/ou de níveis ou usar a estratégia de experimento fatorial fracionário.
2. O experimento fatorial fracionário é uma estratégia que executa apenas parte dos experimentos previstos no experimento fatorial completo.

Segundo Montgomery (2012), o experimento fatorial fracionário despreza interações de ordens altas e tem boa utilidade para experimentos exploratórios.

3. O experimento fatorial com replicações é uma estratégia para atender experimentos que usem variáveis aleatórias. A realização de apenas um experimento para cada combinação não permite análises estatísticas e, portanto, quando se deseja um determinado nível de significância deve-se pensar na quantidade de repetições que cada combinação deve ter.

2.4.1 Variáveis ruídos

Montgomery (2013) define experimento como um teste ou uma série de testes onde as variáveis de entrada do sistema são propositalmente alteradas e, com isto, torna-se possível observar e identificar as razões de mudanças nas variáveis de saída do sistema (também chamadas variáveis de resposta). Entretanto, existem algumas variáveis que causam variabilidade nas variáveis de resposta (ou desempenho do sistema) sem que se tenha controle sobre elas. Montgomery (2013) refere-se a este tipo de variável como variável ruído ou variável descontrolada.

O estudo de robustez do processo procura níveis das variáveis (ou fatores) envolvidas no sistema, de forma a alcançar dois objetivos: (1) garantir que o valor médio das variáveis de resposta atinjam o resultado desejado e (2) garantir que a variabilidade desejada em torno do resultado desejado seja a menor possível (MONTGOMERY, 2013). O estudo de robustez do processo inclui a identificação das variáveis controláveis e ruídos que afetam o desempenho do sistema e a determinação das configurações adequadas para as variáveis controláveis, de tal forma que a variabilidade transmitida pelas variáveis ruídos seja minimizada (MONTGOMERY, 2013).

O estudo sobre robustez foi desenvolvido por Genichi Taguchi nos anos de 1980 e ele sumarizou os dados por meio de duas estatísticas: a média de cada observação⁵ e a razão sinal ruído que combina informações sobre a média e a variância. A razão sinal ruído proposta por Taguchi tinha a pretensão de informar a

⁵ A média dos resultados dos experimentos quando um nível de um determinado fator é fixado.

variabilidade transmitida pelas variáveis ruídos. Mais especificamente, se o valor desta razão fosse o máximo, a variabilidade seria mínima. Entretanto, a razão sinal ruído provoca confusão nos efeitos provocados pelo posicionamento e dispersão da estatística e muitas vezes não encontra uma solução para o problema de robustez que minimize a variabilidade transmitida (MONTGOMERY, 2013).

Montgomery (2013) propôs - o que ele chamou de uma análise mais apropriada - a criação de modelos para a média e para a variância, ambos em função dos fatores e das suas interações. Além disso, os dois modelos envolvem somente variáveis controláveis, significando que as variáveis podem ser configuradas de forma a atingir o resultado desejado e minimizar a variabilidade transmitida pela variável ruído. Entretanto, o modelo para variância, apesar de envolver somente variáveis controláveis (devido a uma derivação parcial em relação à variável ruído), também envolve coeficientes de regressão das interações entre as variáveis controláveis e ruído. Desta forma, o modelo para variância apresenta a influência da variável ruído sobre a variável resposta. Quando não há interação entre a variável ruído e as variáveis controláveis a influência da variável ruído sobre a variável de resposta é o valor da média quadrática do resíduo.

2.5 POTÊNCIA DE UM TESTE ESTATÍSTICO

“A potência de um teste estatístico é a probabilidade de rejeitar a hipótese nula H_0 , quando a hipótese alternativa H_1 for verdadeira”. Além disso, a potência de teste resume muito bem a capacidade de um teste de detectar diferenças entre médias. Em função da definição da potência de teste, o valor dela pode ser calculado como o complemento do erro tipo II, ou seja, potência de teste pode ser calculada por meio da expressão $1-\beta$. A potência de teste também é uma função do erro tipo I (α), do tamanho da amostra, do desvio padrão e da diferença que se deseja detectar (MONTGOMERY, 2012).

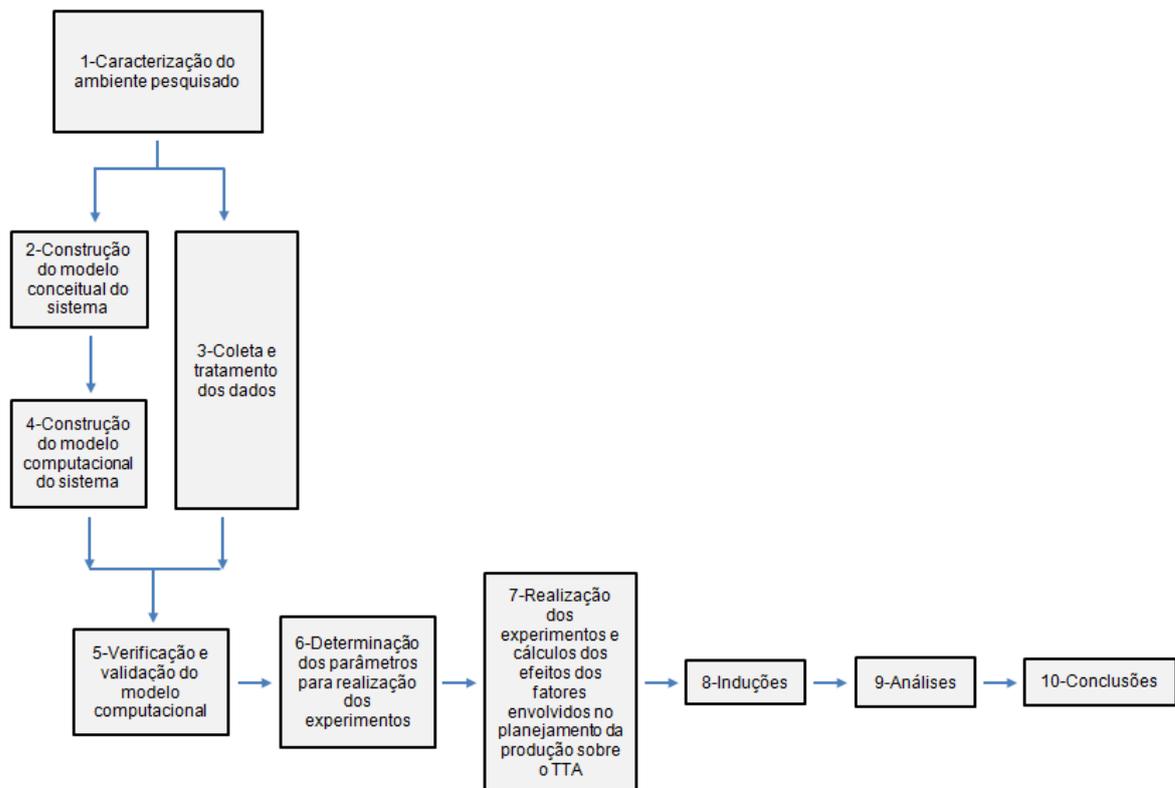
3 PROCEDIMENTOS DE PESQUISA

As etapas do procedimento adotado para se alcançar o objetivo deste trabalho podem ser vistas na figura 3.

O método científico utilizado foi o indutivo e a pesquisa baseou-se fundamentalmente na coleta de dados de um ambiente real, na realização de experimentos, na realização de induções estatísticas acerca dos resultados dos experimentos e nas análises desses resultados.

O método que proporcionou os meios técnicos para a investigação foi o método experimental. Com o ambiente real modelado computacionalmente foi possível submetê-lo a ação de certas variáveis, condicionado a certos parâmetros, que produziram uma série de resultados que não seriam possíveis de serem obtidos usando-se o ambiente real.

FIGURA 3 – PROCEDIMENTOS DE PESQUISA



FONTE: O autor (2017).

4 A PESQUISA

Este capítulo é composto por oito seções. Cada uma destas oito seções detalha os oito primeiros passos do procedimento de pesquisa apresentado na figura 3.

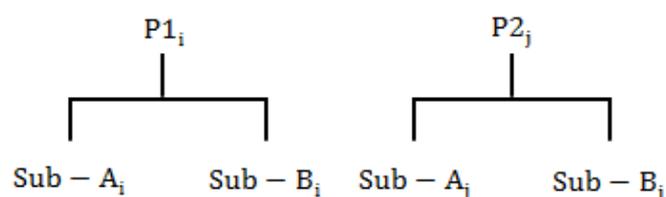
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE PESQUISADO

A pesquisa de campo foi realizada na filial brasileira de uma empresa multinacional, com matriz sediada na Europa e cujo grupo, no mundo, é um dos líderes de mercado no seu segmento. O segmento de atuação é o de produção de veículos automotores. O período de estada do autor nas instalações da empresa foi de 01 de janeiro de 2016 a 10 de março de 2017.

Basicamente, a filial brasileira produz três tipos de produtos. Entretanto, dois deles se destacam em termos de volume e faturamento. Estes dois produtos estão sujeitos a solicitações de customização feitas pelos clientes e o interesse da pesquisa voltou-se para fluxo produtivo destas customizações. A partir deste momento estes dois produtos, quando customizados, passam a ser denominados de P1 e P2. Além dos produtos P1 e P2, a organização produz dois subconjuntos que a partir deste momento passam a ser chamados de Sub-A e Sub-B. Estes subconjuntos são montados em áreas distintas e depois são movimentados para a área de montagem final do veículo para comporem a montagem final dos produtos P1 e P2.

A denominação genérica de P1 e P2 não significa que cada um tenha apenas uma única característica técnica. Na verdade, cada um desses produtos pode sofrer inúmeras customizações diferentes. Este mesmo raciocínio também vale para os subconjuntos. A figura 4 ilustra o dito.

FIGURA 4 – A I-ÉSIMA E A J-ÉSIMA CUSTOMIZAÇÕES DOS PRODUTOS P1 E P2



FONTE: O autor (2017).

O primeiro questionamento feito foi se a parte do processo produtivo responsável pelo processo de customização, do recebimento do pedido até a sua entrega para o cliente, possuía características semelhantes às encontradas em ambientes ETO relatadas na literatura. Se sim, o autor poderia afirmar que o ambiente pesquisado é do tipo ETO. Assim, Marinho et al. (2016), compararam as características de produção dos produtos customizados dessa filial com as características dos ambientes ETO encontrados na literatura. Primeiramente, identificaram as características mais marcantes dos ambientes ETO e criaram um questionário Likert de 5 níveis contendo 15 afirmações baseadas nestas características levantadas. Depois, a empresa objeto de estudo selecionou 55 profissionais responsáveis pelo processo de customização, profissionais estes de todas as áreas, de vendas a expedição, para participarem respondendo o questionário. Nem todos puderam participar, mas 43 atenderam ao chamado e responderam o questionário. Os respondentes poderiam atribuir pontuação 5 à afirmação, caso eles a considerassem totalmente verdadeira. Num outro extremo, poderiam atribuir pontuação 1, se a considerassem totalmente falsa. A pontuação 5 significa um desempenho excelente e desejável. O oposto, pontuação 1, significa uma situação negativa e indesejável. Os autores calcularam as pontuações médias de cada afirmação e testaram a hipótese de a média populacional ser igual a 4 ($H_0 : \mu = 4$), afirmação verdadeira, contra a hipótese de a média ser menor que 4 ($H_1 : \mu < 4$).

A tabela 3 mostra que 11 afirmações comparam-se com afirmações encontradas na literatura porque a literatura cita o oposto dessas afirmações e a hipótese H_0 foi rejeitada, ou seja, é muito improvável que estas afirmações sejam verdadeiras ou totalmente verdadeiras. A não rejeição da afirmação 10 também significa que as percepções dos respondentes também se alinham com a literatura porque a literatura vai ao encontro com esta afirmação. Sobre as 3 afirmações restantes, as interpretações são as seguintes: (1) as afirmações 2 e 3, que estão relacionadas com indicadores de desempenho e uso eficiente dos recursos, foram consideradas pelos respondentes como no mínimo verdadeiras, contradizendo a literatura e (2) para os respondentes, a afirmação 15 também é no mínimo verdadeira, significando que há um esforço no sentido de se planejar para cumprir o prazo. Entretanto, os próprios respondentes suspeitam da confiabilidade dos prazos de entrega (resultado da afirmação 1) e isto se alinha com a literatura onde se

constatam esforços no sentido de se planejar para atingir prazo, mas as falhas em ambientes ETO são recorrentes.

Em função de tudo isso, os autores concluíram que o ambiente pesquisado tem características semelhantes aos dos ambientes ETO relatados pela literatura.

TABELA 3 – QUESTIONÁRIO E OS RESULTADOS DA PESQUISA

(continua)

Afirmações do questionário	Quantidade amostral	Média amostral	Limite superior para μ	Resultados dos testes ($H_1: \mu < 4$)
1- Os produtos customizados são entregues no prazo acordado com o cliente.	41	3,54	3,67	Rejeita $H_0: \mu = 4$
2- As atividades da sua área, referentes ao processo de customização, são entregues no prazo requerido pelo seu cliente (interno ou externo).	42	3,95	4,05	Não rejeita $H_0: \mu = 4$
3- Quando o pedido de customização chega à sua área ele é imediatamente processado e, na sequência, encaminhando para a área seguinte.	42	3,86	4,02	Não rejeita $H_0: \mu = 4$
4- O processo de customização, na sua área, é mais eficiente do que o processo de um produto padrão.	41	2,66	2,83	Rejeita $H_0: \mu = 4$
5- As atividades produtivas, relacionadas aos pedidos customizados, não são interrompidas por falta de material.	38	2,55	2,73	Rejeita $H_0: \mu = 4$
6- Os processos de customização, na sua área, dispõem de ferramentas de trabalho (softwares, procedimentos e outras) que facilitam o tratamento do pedido de customização.	43	3,56	3,75	Rejeita $H_0: \mu = 4$
7- Um pedido com uma customização simples não impacta negativamente o seu prazo de entrega e os seus custos.	43	3,53	3,71	Rejeita $H_0: \mu = 4$
8- Um pedido com uma customização complexa não impacta negativamente o seu prazo de entrega e os seus custos.	42	2,48	2,64	Rejeita $H_0: \mu = 4$
9- As necessidades de customizações dos pedidos não são fontes de incertezas.	39	2,79	2,96	Rejeita $H_0: \mu = 4$
10- Uma boa coordenação entre as atividades de engenharia (do produto e industrial) e produção (inclui atividades dos fornecedores) impacta positivamente os desempenhos em prazo e custos dos pedidos customizados.	42	4,43	4,54	Não rejeita $H_0: \mu = 4$

TABELA 3 – QUESTIONÁRIO E OS RESULTADOS DA PESQUISA

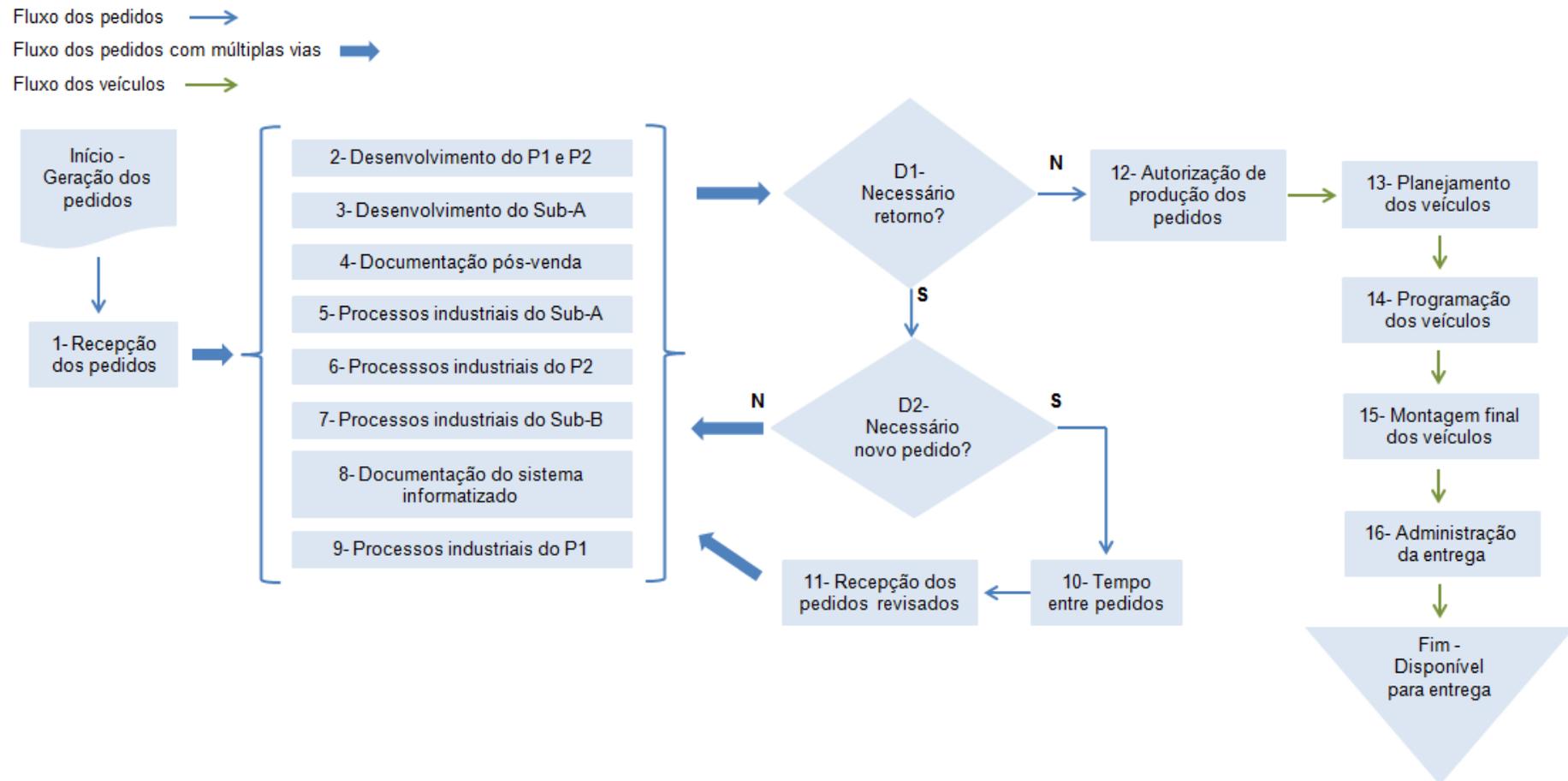
Afirmações do questionário	Quantidade amostral	Média amostral	Limite superior para μ	(conclusão)
				Resultados dos testes ($H_1: \mu < 4$)
11- A solução de engenharia, quando liberada, é implementada nas fases posteriores sem necessidade de retrabalho.	39	3,00	3,14	Rejeita $H_0: \mu = 4$
12- O processo de planejamento do prazo de entrega de um pedido customizado gera um prazo confiável.	42	3,14	3,31	Rejeita $H_0: \mu = 4$
13- O processo de planejamento da produção de um pedido customizado é realizado por meio de softwares dedicados.	35	3,26	3,46	Rejeita $H_0: \mu = 4$
14- Os softwares dedicados usados para o planejamento da produção atendem aos requisitos sem necessidade de uso de sistemas paralelos.	34	2,59	2,76	Rejeita $H_0: \mu = 4$
15- Na sua área, o pedido customizado é priorizado em função do prazo requerido pelo cliente (interno ou externo).	43	4,12	4,25	Não rejeita $H_0: \mu = 4$

FONTE: O autor (2017).

4.2 CONSTRUÇÃO DO MODELO CONCEITUAL DO SISTEMA

O modelo conceitual do sistema, construído a partir do modelo mental que representa o sistema visto do ponto de vista do TTA, é mostrado na figura 5 e na sequência é feita uma descrição detalhada de cada uma das etapas deste modelo.

FIGURA 5 – MODELO CONCEITUAL DO SISTEMA



FONTE: O autor (2017).

4.2.1 Geração dos pedidos

A empresa tem um plano anual de montagem dos veículos indicando quantos veículos serão montados por dia. Este plano é totalmente preenchido por veículos padrões.

O processo de geração dos pedidos de customização é realizado pelo setor de vendas e, no momento da geração deste pedido, o setor de vendas substitui um veículo padrão do plano pelo veículo customizado do pedido que está sendo gerado. Desta forma, o pedido de customização de um veículo já nasce com um prazo previsto de início da montagem final. A escolha da posição que o veículo customizado deve ocupar no plano é feita pelo pessoal de vendas de forma a refletir a necessidade do cliente. Também, um pedido pode conter mais de um veículo e, neste caso, a quantidade de veículos padrões retirada do plano será igual a da quantidade de veículos customizados que entrarão no plano.

4.2.2 Recepção dos pedidos

Os pedidos são recebidos pelo pessoal de planejamento da produção (atividade 1) que, depois de uma análise administrativa, encaminha os pedidos para a análise técnica (atividades de 2 a 9) realizada por oito áreas distintas. Entretanto, um pedido de customização não necessariamente passa por todas estas oito áreas. Isto depende do tipo de customização desejada pelo cliente. No modelo conceitual, (figura 5) o fluxo entre a recepção do pedido e as áreas técnicas é indicado por meio de uma seta larga justamente para enfatizar que as áreas técnicas envolvidas na análise desta customização terão acesso ao pedido como se “cópias” do pedido fossem encaminhadas simultaneamente para cada uma destas áreas. Esta observação é relevante para a construção do sistema computacional porque um mesmo pedido necessita ser reproduzido computacionalmente em um número de vias igual ao número de áreas envolvidas nas análises técnicas.

4.2.3 Análise técnica

Basicamente as áreas técnicas dividem-se em: áreas relacionadas com o desenvolvimento do produto (atividades 2 e 3), com o desenvolvimento dos

processos de fabricação (atividades 5, 6, 7, e 9), com o desenvolvimento da documentação pós-venda (atividade 4) que, por exemplo, produz o manual do veículo e com o desenvolvimento da documentação do sistema informatizado (atividade 8) que, por exemplo, produz a nova estrutura do produto e gera as solicitações de compras.

4.2.4 Avaliação dos resultados da análise técnica

O primeiro processo decisório (D1) está relacionado com o atendimento ou não dos requisitos solicitados pelo cliente, podendo indicar a necessidade de retorno do pedido para que as áreas técnicas o revisem. Quando este retorno é feito, eventualmente uma nova área pode ser envolvida e áreas que participaram da primeira análise podem ser liberadas desta nova análise. O tempo gasto com este processo decisório pode ser zero ou maior que zero e para a construção do modelo computacional esta distinção é importante. Por questões de simplificação do modelo computacional os tempos maiores que zero, gastos neste processo decisório, foram adicionados aos tempos das análises técnicas como se esta análise ainda não tivesse sido concluída. Cabe aqui salientar que os pedidos podem ter uma ou mais revisões. Entretanto, o retorno para uma segunda análise pode passar pela necessidade de revisão do documento do pedido (processo decisório D2). Isto ocorre quando a necessidade de revisão do pedido original é causada por uma mudança significativa do escopo da customização solicitada originalmente. Neste caso, o setor de vendas revisa o documento do pedido original e o encaminha para o pessoal de planejamento. Para efeito de construção do modelo computacional, as atividades 10 e 11 guardam os tempos necessários para a execução do processo quando há necessidade de emissão de um novo pedido de vendas. Da mesma forma, a revisão do documento do pedido não necessariamente é feita uma única vez e esta informação também é relevante para a construção do modelo computacional, especialmente para a programação das lógicas de retorno.

Resumindo: a análise técnica de um pedido pode ser feita várias vezes com a necessidade ou não de emissão, por parte de vendas, de novos documentos para os pedidos.

4.2.5 Autorização de produção dos pedidos

Uma vez finalizados os eventuais retornos para as áreas técnicas, o pedido volta para o pessoal de planejamento concluir o processo e autorizar a produção do veículo customizado.

Algumas customizações extremamente simples podem ser repetidas, ou seja, o setor de vendas pode vender uma mesma customização para outro cliente. As estatísticas mostram que estes casos correspondem a 7% dos pedidos. Assim sendo, o tempo despendido com a análise técnica é zero, pois ela já foi realizada com pedidos anteriores. Apesar de tudo isso, os veículos destes casos não são considerados como veículos padrões porque, além desta repetição precisar de autorização, há implicações em termos de suprimentos de materiais e de produção. Para estes casos, do ponto de vista da construção do modelo computacional, as atividades 1 e 12 tornam-se interligadas.

4.2.6 Planejamento dos veículos

A atividade de planejamento dos veículos (atividade 13) guarda o tempo entre a autorização de produção dos pedidos e o chamado *picking* do veículo. O *picking* é um marco no fluxo produtivo que registra o momento da criação do número do chassi do veículo. O tempo da atividade de planejamento é basicamente o tempo calculado para permitir que a montagem final do veículo (atividade 15) se inicie na data prevista do pedido emitido por vendas.

A atividade de planejamento também compreende a atividade de compras de peças exclusivas para atender a customização, incluindo as atividades de mobilização do setor de compras, identificação de fornecedores, cotações, emissão dos pedidos de compras e fabricação e entrega pelos fornecedores. No entanto, os fornecedores têm até o dia de início da montagem final para efetuarem as entregas, quando os materiais forem destinados para a montagem final, e até o início das montagens dos componentes Sub-A e Sub-B, quando os materiais forem para estes componentes.

Outros recursos para a produção também são planejados e até mesmo iniciam suas execuções nesta fase. Por exemplo: eventuais dispositivos necessários para atender a produção do veículo que está sendo customizado, elaboração das

instruções de trabalho de fabricação para atender uma customização específica, aquisições de outros materiais específicos, entre outros.

4.2.7 Programação dos veículos

A atividade de programação dos veículos (atividade 14) é executada entre o *picking* e o início da montagem final. Com a criação do número do chassi a empresa e os fornecedores direcionaram seus materiais para aquele chassi específico acionando o sistema de rastreabilidade e reservando os estoques.

A montagem dos componentes Sub-A e Sub-B é feita durante esta atividade e precisa ser concluída até o início da montagem final do veículo.

4.2.8 Montagem final dos veículos

A atividade de montagem final dos veículos (atividade 15), como o próprio nome diz, compreende a montagem do veículo. Entretanto, além da montagem propriamente dita, esta atividade também abriga a atividade de liberação técnica do veículo, que atesta a sua conformidade após a montagem final.

4.2.9 Administração da entrega

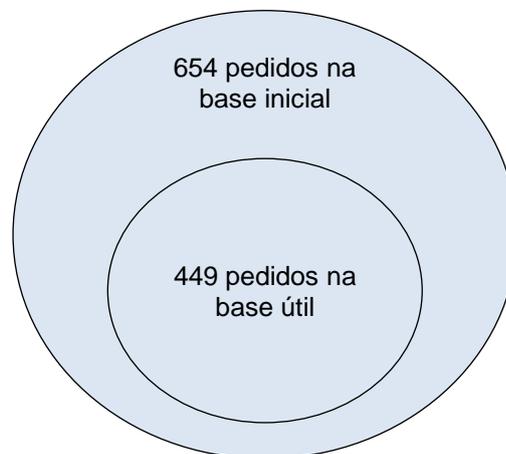
Por fim, a atividade de administração da entrega (atividade 16) compõe-se de atividades que são executadas para disponibilizar o veículo para a entrega. Por exemplo: a entrega técnica para o cliente, documentações diversas, faturamento, entre outras. Esta atividade também pode absorver a atividade de formação de lote de entrega, ou seja, quando o pedido tem mais de um veículo e, por questões logísticas, precisam ser expedidos todos ao mesmo tempo.

4.3 COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS

Para a coleta e tratamento dos dados, foram identificados os pedidos de veículos customizados remanescentes de 2015, ainda não concluídos, que estavam em carteira no dia 01/01/16 (data de corte inicial) e mais os que chegaram entre o dia 01/01/16 e o dia 16/09/16 (data de corte final), formando então a denominada

base inicial. A data de corte final foi definida em função da data de encerramento da estada (10/03/17) do autor no ambiente pesquisado para que houvesse tempo para tratamento dos dados, verificação de inconsistências e realização dos experimentos. Subtraindo-se da base inicial os pedidos que não interessavam para a pesquisa, isto é, os pedidos cancelados, os exclusivos para cotação e os pedidos de customizações realizadas em veículos padrões que já haviam sido produzidos (customizações feitas fora da linha de montagem), chega-se à chamada base útil, que serviu de referência para toda a pesquisa. A figura 6 apresenta as quantidades amostrais das bases inicial e útil.

FIGURA 6 – QUANTIDADE AMOSTRAL DE PEDIDOS ENVOLVIDOS NA PESQUISA



FONTE: O autor (2017).

A coleta de dados durante o período de estada aproximou o autor da ocorrência do evento, minimizando perdas de informações que normalmente ocorrem com o passar do tempo.

A movimentação do pedido, desde a sua chegada até a disponibilização do veículo para entrega, flui de acordo com o apresentado no modelo conceitual. Entretanto, como já dito, os roteiros dos pedidos diferirão entre si, pois depende de quais serão as áreas técnicas por onde eles precisam passar ou se haverá necessidade de retorno para as áreas técnicas para alguma revisão ou até mesmo se não irão passar por nenhuma das áreas técnicas. A análise da base útil acusou a existência de 44 tipos de roteiros diferentes, lembrando que dois pedidos podem ter um mesmo roteiro, mas não a mesma customização.

Foram realizados quatro grandes tipos de coletas de dados: (1) a dos tempos de execução das 16 atividades, (2) a dos intervalos de tempo entre as chegadas dos pedidos, (3) a da quantidade de veículos por pedido e (4) a da distribuição de frequências relativas dos roteiros.

A tabela 4 apresenta as estatísticas usuais dos tempos de execução das 16 atividades juntamente com uma análise da potência do teste considerando-se uma variação em torno da média de 20% e com nível de confiança de 95%.

TABELA 4 – ESTATÍSTICAS DAS ATIVIDADES

Atividades	Média (dias)	Desvio padrão (dias)	Coefficiente de variação	Quantidade amostral	Potência do teste (média ± 20%) (%)
1- Recepção dos pedidos	1,90	3,16	1,66	286	52,5
2- Desenvolvimento do P1 e P2	3,48	6,87	1,97	279	39,1
3- Desenvolvimento do Sub-A	7,39	8,82	1,19	193	63,7
4- Documentação pós-venda	5,66	7,58	1,34	226	60,8
5- Processos industriais do Sub-A	11,32	10,19	0,90	76	47,5
6- Processos industriais do P2	9,59	8,12	0,85	32	24,0
7- Processos industriais do Sub-B	3,56	5,35	1,51	54	15,3
8- Documentação do sistema informatizado	7,45	8,17	1,10	276	85,4
9- Processos industriais do P1	6,90	8,34	1,21	202	64,7
10- Tempo entre pedidos	11,27	10,93	0,97	30	18
11- Recepção dos pedidos revisados	2,10	3,74	1,78	30	8
12- Autorização de produção dos pedidos	0,87	2,29	2,64	286	24,7
13- Planejamento dos veículos	42,09	22,68	0,54	261	> 99,99
14- Programação dos veículos	19,23	5,81	0,30	804	> 99,99
15- Montagem final dos veículos	4,38	5,14	1,17	765	99,7
16- Administração da entrega	11,83	19,48	1,65	716	90,1

FONTE: O autor (2017).

Chama à atenção o fato de a média da potência do teste para as atividades que precedem o planejamento dos veículos ser de 42% e para as atividades de planejamento e suas sucessoras ser de 97,4%. Este valor relativamente baixo para a potência do teste das atividades que antecedem a atividade de planejamento indica uma dificuldade maior em se detectar a média populacional caso ela seja 20% maior ou 20% menor que a média amostral. Adicionalmente, a quantidade amostral,

além de ter sido gerada em função do tempo de estada do autor, é uma função da frequência com que a atividade é realizada. Por exemplo: a atividade de processos industriais do P2 (atividade 6) tem uma amostra de 32 elementos porque são poucas as customizações do produto P2.

A tabela 5 apresenta as estatísticas do intervalo de tempo entre as chegadas dos pedidos.

TABELA 5 – ESTATÍSTICAS DO INTERVALO DE TEMPO ENTRE AS CHEGADAS DOS PEDIDOS

Média do intervalo de tempo entre pedidos (dias)	Desvio padrão (dias)	Coefficiente de variação	Quantidade amostral	Potência do teste (média \pm 20%) (%)
0,84	1,61	1,92	277	40,6

FONTE: O autor (2017).

A tabela 6 mostra as estatísticas da distribuição de frequências relativas dos roteiros e da quantidade de veículos por pedido e por roteiro.

TABELA 6 – FREQUÊNCIAS DOS ROTEIROS E SEUS NÚMEROS DE VEÍCULOS POR PEDIDO (continua)

Roteiro	Distribuição de frequências relativas (%)	Número de pedidos por roteiro	Número médio de veículos por pedido e por roteiro	Desvio padrão do número de veículos por pedido e por roteiro	Coefficiente de variação
1	1,7483	5	5,20	4,76	0,92
2 (*)	0,3497	1	1,00	-	-
3	12,9371	37	4,49	7,58	1,69
4	3,1469	9	1,00	0,00	0,00
5	1,0490	3	1,67	1,15	0,69
6	31,1189	89	4,36	6,81	1,56
7 (*)	0,3497	1	2,00	-	-
8 (*)	0,3497	1	1,00	-	-
9 (*)	0,3497	1	2,00	-	-
10	5,2448	15	4,87	7,37	1,51
11 (*)	0,3497	1	1,00	-	-
12 (*)	0,3497	1	1,00	-	-
13 (*)	0,3497	1	1,00	-	-
14	14,6853	42	1,36	0,98	0,72
15	1,3986	4	1,75	0,50	0,29
16 (*)	0,3497	1	1,00	-	-
17 (*)	0,3497	1	1,00	-	-
18 (*)	0,3497	1	1,00	-	-
19 (**)	-	-	-	-	-
20 (*)	0,3497	1	1,00	-	-
21	6,9930	20	2,25	2,38	1,06
22	1,3986	4	4,50	2,89	0,64
23	3,8462	11	5,64	7,57	1,34
24	0,6993	2	1,00	-	-
25 (*)	0,3497	1	2,00	-	-

TABELA 6 – FREQUÊNCIAS DOS ROTEIROS E SEUS NÚMEROS DE VEÍCULOS POR PEDIDO
(conclusão)

Roteiro	Distribuição de frequências relativas (%)	Número de pedidos por roteiro	Número médio de veículos por pedido e por roteiro	Desvio padrão do número de veículos por pedido e por roteiro	Coefficiente de variação
26 (*)	1,7483	5	4,20	1,79	0,43
27 (*)	0,3497	1	14,00	-	-
28	0,6993	2	1,00	-	-
29 (*)	0,3497	1	1,00	-	-
30	1,3986	4	14,75	8,62	0,58
31	1,3986	4	2,50	1,73	0,69
32 (*)	0,3497	1	4,00	-	-
33 (*)	0,3497	1	1,00	-	-
34	1,0490	3	1,67	0,58	0,35
35 (*)	0,3497	1	1,00	-	-
36	0,6993	2	1,00	-	-
37 (*)	0,3497	1	2,00	-	-
38 (*)	0,3497	1	1,00	-	-
39 (*)	0,3497	1	3,00	-	-
40 (*)	0,3497	1	1,00	-	-
41 (*)	0,3497	1	5,00	-	-
42 (*)	0,3497	1	3,00	-	-
43 (*)	0,3497	1	5,00	-	-
44 (*)	0,3497	1	2,00	-	-
Total	100	286	-	-	-

FONTE: O autor (2017).

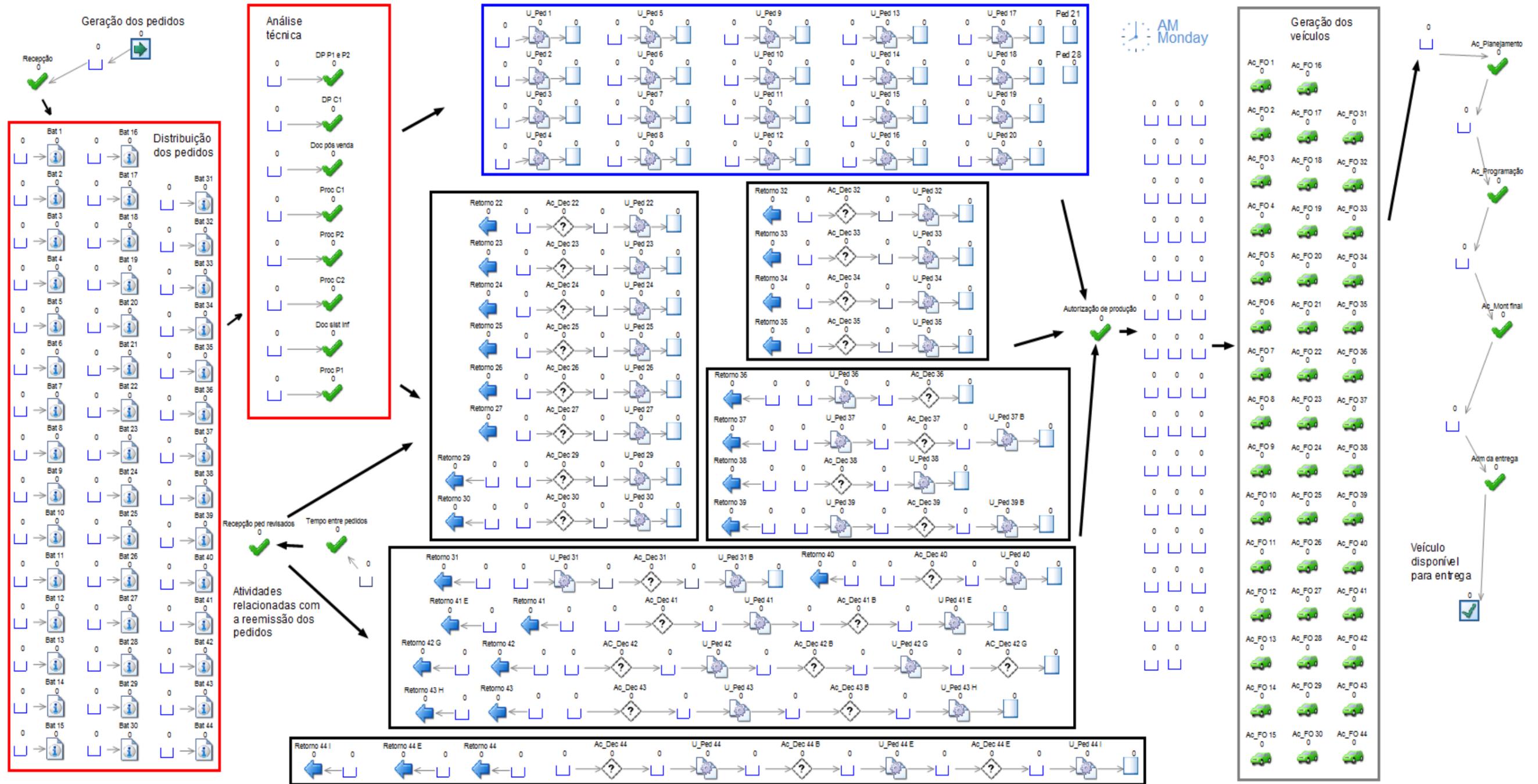
NOTA: (*) Roteiro com apenas um pedido; (**) Roteiro igual ao roteiro 14.

4.4 CONSTRUÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL DO SISTEMA

A construção do modelo computacional espelhou-se no modelo conceitual. O software utilizado foi o Simul8[®]. A figura 7 mostra o modelo computacional que reproduz o fluxo do modelo conceitual. A geração dos pedidos é o ponto de partida do modelo computacional. Ela gera os pedidos de acordo com a distribuição de frequências de chegada dos pedidos. Todas as 16 atividades formadoras do TTA estão representadas por um símbolo do tipo *check* em verde. O primeiro box, com linhas vermelhas, intitulado distribuição dos pedidos, tem a função de gerar os 44 tipos de roteiros dos pedidos. O segundo box, também com linhas vermelhas, contém todas as atividades realizadas pelas 8 áreas técnicas. O box azul contém os 22 tipos de roteiros que não retornam para as áreas técnicas. Os outros 22 roteiros, que retornam para as áreas técnicas, pelo menos uma vez, estão nos boxes com linhas pretas. As atividades de tempo entre pedidos e recepção de pedidos revisados traduzem este processo de retorno para o setor de vendas. Uma vez encerrado o processo de análise técnica, que culmina com a geração da solução de

engenharia para a customização solicitada, o pedido segue para a atividade de aprovação para produção. Uma vez aprovado, os 44 tipos de roteiros chegam ao box com linhas verdes que tem a função de transformar os pedidos em veículos porque, como já dito, um pedido pode conter mais de um veículo. As distribuições de frequências dos números de veículos por pedido foram determinadas para cada um dos 44 tipos de roteiros e configuradas nas atividades (representada pelos carrinhos) desse box. Finalizando, os veículos passam pelas atividades de planejamento, programação, montagem final e administração da entrega, tornando-se então disponíveis para entrega.

FIGURA 7 – MODELO COMPUTACIONAL DO SISTEMA



FONTE: O autor (2017).

As estatísticas dos tempos das 16 atividades, do número de veículos por pedido e do intervalo de tempo entre pedidos foram usadas diretamente no Simul8[®] como distribuições de frequências. Optou-se por este procedimento, ao invés de se tentar ajustar os dados por meio de distribuições de probabilidades, para que o processamento do Simul8[®] reproduzisse o mais fielmente possível a realidade do ambiente pesquisado.

No período observado, os recursos do ambiente pesquisado permaneceram inalterados. Com isso, o tempo coletado de execução das atividades, para efeitos de simulação, passou a não ser mais uma função desses recursos e, portanto, a configuração de capacidade, de cada atividade feita no Simul8[®], foi feita de tal forma a permitir a execução ilimitada de pedidos e/ou veículos simultaneamente.

Outro aspecto relevante refere-se à distribuição de frequências relativas dos 44 tipos de roteiros que, também para efeitos de simulação, foi mantida constante. Esta premissa admite implicitamente que as demandas dos clientes não variarão em relação aos tipos de roteiros identificados na base útil. A admissão de variações implicaria em análises comerciais que, propositalmente, foram excluídas do escopo deste trabalho.

O modelo computacional foi carregado com todas as informações necessárias para seu processamento, a saber:

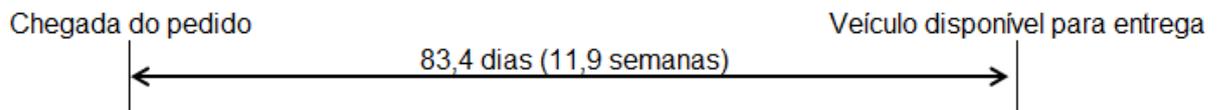
1. O ponto de partida, denominado de geração dos pedidos, foi configurado para ler a distribuição de frequências de chegada dos pedidos numa planilha Excel;
2. As atividades formadoras do TTA (16 ao todo) foram configuradas para lerem as suas respectivas distribuições de frequências numa planilha Excel;
3. O Simul8[®] foi configurado com os diferentes possíveis roteiros que o pedido pode seguir;
4. O Simul8[®] foi configurado para ler numa planilha Excel as distribuições de frequências que transformam pedidos em veículos;
5. Quando os comandos do Simul8[®] eram insuficientes para geração de uma lógica desejada, o modelo foi programado para executar o desejado por meio da linguagem *Visual Logic* disponível no próprio software.

4.5 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL

A técnica utilizada para verificação do modelo foi a de uso de modelos determinísticos (Freitas Filho, 2008), ou seja, foram usados dados fixos para cada uma das variáveis envolvidas na simulação. Com isto, foi possível calcular antecipadamente quais seriam os resultados que o processamento deveria gerar e compará-los com os realmente gerados. Estas comparações foram realizadas a cada passo da construção do modelo computacional de forma que no final da construção o modelo encontrava-se livre de erros de lógica e sintaxe.

A técnica utilizada para a validação do modelo computacional foi a de medições em sistemas reais (Freitas Filho, 2008; Law 2008), ou seja, comparando-se resultados gerados pelo modelo com dados reais do ambiente pesquisado. Para isto foi necessária à geração de uma amostra com veículos cujos dados abrangessem o ciclo completo do veículo, ou seja, da chegada do pedido até a disponibilização para a entrega. O procedimento de geração desta amostra obedeceu os seguintes passos: (1) identificação dos veículos com ciclo completo e (2) a escolha de apenas um veículo por pedido (a do veículo com o menor número de chassi porque em tese, para um mesmo pedido, entra primeiro na produção o chassi que nasceu primeiro) para maximizar o número de pedidos diferentes na amostra. Este procedimento resultou numa amostra com 214 veículos, conseqüentemente provenientes de 214 pedidos diferentes. A figura 8 mostra o valor médio do TTA destes 214 veículos. A configuração dos tempos de execução de cada atividade no Simul8[®] foi feita com os valores dos tempos médios de execução de cada uma das atividades realizadas para a produção destes 214 veículos. Por exemplo: entre estes 214 veículos, 141 tinham roteiros passando pela atividade 9 (processos industriais do P1), cujo tempo médio de execução apurado foi de 6,80 dias; então a configuração do tempo da atividade 9, no Simul8[®], foi fixada com este valor médio. O mesmo procedimento foi adotado para a configuração dos tempos das demais atividades. Analogamente, utilizou-se a distribuição de frequências dos tipos de roteiros destes 214 veículos para a configuração dos roteiros no Simul8[®]. O uso de valores determinísticos para os tempos teve como objetivo excluir as variações aleatórias que dificultariam a comparação dos resultados reais com os resultados provenientes da simulação. A Tabela 7 mostra o resultado encontrado dos TTA real e simulado.

FIGURA 8 – TEMPO MÉDIO DE ATRAVESSAMENTO DOS 214 VEÍCULOS COM CICLO COMPLETO



FONTE: O autor (2017).

TABELA 7 – TEMPO TOTAL DE ATRAVESSAMENTO REAL E SIMULADO

Atividades	Média (dias)
Tempo médio real de atravessamento dos 214 veículos	83,4
Tempo médio simulado de atravessamento dos 214 veículos	83,1

FONTE: O autor (2017).

Considerando a irrelevância da diferença encontrada, o modelo computacional foi considerado válido, ou seja, capaz de reproduzir com fidelidade o tempo total das atividades de customização dos veículos.

4.6 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS PARA REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Esta seção detalha como foram determinados os parâmetros necessários para o processamento computacional e para o tratamento estatístico dos resultados deste processamento.

4.6.1 Dimensionamento do número de replicações

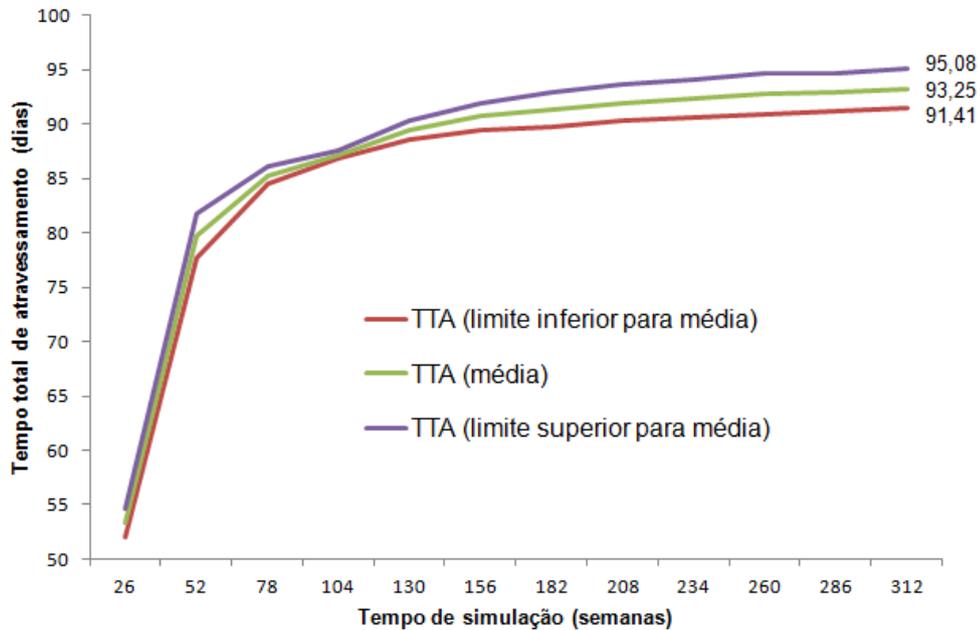
O próprio Simul8[®] dispõe de um comando que determina o número de replicações necessárias para se gerar um intervalo de confiança para a média com 95% de probabilidade. O processamento do software indicou que o número mínimo de replicações deveria ser de 4. Optou-se então por 5 replicações por garantia.

4.6.2 Dimensionamento do tempo de simulação

O gráfico 1 exibe a evolução do intervalo de confiança para a média em função do tempo de simulação. Torna-se evidente que a partir de 208 semanas o

regime permanente é atingido. Adotou-se então o tempo de simulação de 312 semanas, também por segurança.

GRÁFICO 1 – INTERVALO DE CONFIANÇA DO TEMPO TOTAL DE ATRAVESSAMENTO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE SIMULAÇÃO



FONTE: O autor (2017).

4.6.3 Determinação dos fatores e das medidas de desempenho

De modo genérico o interesse do planejamento de experimentos volta-se para a identificação de determinados fatores, avaliação das suas influências e com que intensidade impactam determinados indicadores de desempenho.

No caso pesquisado, a busca pela identificação dos fatores que impactam negativamente o desempenho da produção de produtos customizados foi tratada primeiramente de modo mais genérico. O procedimento utilizado para a identificação destes fatores foi o da entrevista com especialistas das diversas áreas relacionadas com o ciclo completo de customização. A pergunta genérica posta à mesa foi a seguinte: que fatores podem prejudicar o desempenho do ciclo de customização?

O quadro 1 apresenta a lista dos fatores resultantes dessas entrevistas.

QUADRO 1 - FATORES E SEUS LOCAIS DE OCORRÊNCIA AO LONGO DO PROCESSO DE CUSTOMIZAÇÃO

Local de ocorrência do fator	Fatores
Análise técnica	1. Complexidade técnica do desenvolvimento do produto.
	2. Complexidade da documentação da engenharia de produto traduzida pelo número de linhas da estrutura de produto que devem ser alteradas e a eventual existência de subconjuntos customizados que precisarão ser montados por terceiros.
	3. Complexidade do projeto do processo industrial dada pelo ineditismo da solução de engenharia, a necessidade de alteração de duas ou mais estações de montagem e a inexistência de recursos produtivos para atender a customização.
Produção dos produtos P1, P2, Sub-A e Sub-B	4. <i>Lead time</i> de fabricação dos componentes Sub-A e Sub-B. 5. <i>Lead time</i> de montagem dos produtos P1 e P2. 6. Complexidade de montagem da solução dada em função do ineditismo da solução de engenharia. 7. Tempo disponível para a entrega do produto final.
Suprimentos	8. Tamanho do lote de compras. 9. <i>Lead time</i> do fornecedor. 10. Materiais comprados pela primeira vez. 11. Tempo de desenvolvimento do fornecedor.
Em todas as fases	12. Nível de ocupação da capacidade dado pela razão de chegada dos pedidos. 13. Quantidade do pedido do cliente.

FONTE: O autor (2017).

Todos os fatores listados respondem à pergunta e parecem ter correlação com a capacidade de impactar negativamente indicadores de desempenho.

Entretanto, os três primeiros fatores parecem carregar um problema relativo à mensuração dos níveis. Percebe-se com facilidade a dicotomia apresentada pelos fatores, mas há uma dificuldade de se atribuir valores a esses extremos e, para piorar, a diferença entre estes extremos poderia se aproximar de uma simples arbitrariedade. Juntam-se, em termos de características, aos três primeiros fatores, os fatores 6, 8 e 10.

Já os fatores 4, 5, 7, 9 e 11 possuem relação direta com tempo envolvido no processo, sendo possível investigar num *continuum* níveis alto e baixo e estudar o impacto destes níveis nos indicadores de desempenho.

Por fim, os fatores 12 e 13, relacionados à capacidade de produção, possuem relação indireta com o tempo e também seria possível estabelecerem-se níveis alto e baixo e relacioná-los com o impacto sobre indicadores de desempenho.

O procedimento utilizado para a geração dos indicadores de desempenho foi o mesmo utilizado para geração da lista dos fatores e do ponto de vista dos entrevistados os indicadores de desempenho poderiam ser os seguintes:

1. Pontualidade da entrega - calculado como sendo a diferença entre a data solicitada pelo cliente e a data real de entrega;
2. Tempo de espera para processamento - tempo médio que os pedidos esperam para serem processados por uma atividade qualquer;
3. Custo da falta de pontualidade - como sendo o custeio do desempenho da entrega;
4. Custo do tempo de espera para processamento - como sendo o custeio do tempo de espera para processamento por uma atividade qualquer.

Os dois últimos, que se relacionam com custos, demandariam investigações financeiras nem sempre de fácil acesso em ambientes organizacionais, principalmente por causa da sensibilidade da informação. Além do que é apenas o custeio dos dois primeiros indicadores.

A estatística sobre a pontualidade da entrega estava disponível. Ela é bem interessante porque promove uma visão de conjunto do sistema. Entretanto, usar esta estatística para efeitos de simulação pressuporia a repetição dos prazos desejados e esta suposição poderia levantar questionamentos sobre o trabalho, já que não se poderia afirmar que os prazos desejados pelos clientes possuem sempre o mesmo comportamento histórico.

Por fim, o tempo de espera para o processamento, que também é uma medida de desempenho importante, mensura somente o desempenho interno, não tendo, portanto, relação direta com o atendimento ao cliente, diminuindo um pouco a sua importância estratégica.

Tendo em vista o exposto e levando-se em consideração que o uso do planejamento fatorial de experimentos é uma ferramenta que se torna eficaz na medida em que os fatores e as medidas de desempenho são definidos objetivamente e que podem ser mensuráveis, optou-se por usar o TTA como a medida de desempenho a ser investigada, ao invés dos quatro indicadores identificados nas entrevistas. De qualquer maneira, o TTA mantém estreita relação com o indicador pontualidade da entrega porque o TTA planejado visa atender o prazo de entrega. Com relação aos fatores que podem afetar o desempenho, similarmente, a ideia do uso dos 13 fatores identificados também foi abandonada por causa da falta de objetividade e das dificuldades de mensuração de alguns deles e, para não perder a visão de conjunto de todo o processo de customização, optou-se

TABELA 8 – ESTATÍSTICAS DOS NÍVEIS ALTO E BAIXO DOS FATORES

Fatores	Ponto de corte da distribuição de frequências (%)	Nível baixo (-1)				Nível alto (1)			
		Médias para o nível baixo (dias)	Desvio padrão para o nível baixo (dias)	Coefficiente de variação do nível baixo	Quantidade amostral do nível baixo	Médias para o nível alto (dias)	Desvio padrão para o nível alto (dias)	Coefficiente de variação do nível alto	Quantidade amostral do nível alto
1- Recepção dos pedidos	24,8	0,6	0,68	1,13	215	5,8	4,27	0,74	71
2- Desenvolvimento do P1 e P2	23,7	1,1	0,34	0,31	213	11,1	11,18	1,01	66
3- Desenvolvimento do Sub-A	25,4	3,8	2,36	0,62	144	18,1	11,72	0,65	49
4 -Documentação pós-venda	26,1	2,6	1,56	0,60	167	14,4	10,49	0,73	59
5 -Processos industriais do Sub-A	22,4	7,5	2,47	0,33	59	24,6	14,94	0,61	17
6- Processos industriais do P2	21,9	6,4	1,96	0,31	25	21	11,45	0,55	7
7- Processos industriais do Sub-B	25,9	1,1	0,33	0,30	40	10,5	6,81	0,65	14
8- Documentação do sistema informatizado	25,4	4	2,32	0,58	206	17,5	10,65	0,61	70
9- Processos industriais do P1	28,2	3,4	1,81	0,53	145	15,7	11,44	0,73	57
10- Tempo entre pedidos	26,7	6	5,79	0,97	22	25,8	8,22	0,32	8
11- Recepção dos pedidos revisados	26,7	0,7	0,48	0,69	22	6	5,81	0,97	8
12- Autorização de produção dos pedidos	12,9	0,3	0,44	1,47	249	4,9	4,58	0,93	37
13- Planejamento dos veículos	24,9	32,5	16,7	0,51	196	70,9	10,93	0,15	65
14- Programação dos veículos	26,4	16,8	2,15	0,13	592	26,1	7,15	0,27	212
15- Montagem final dos veículos	25,2	2,6	1,03	0,40	572	9,8	7,92	0,81	193
16- Administração da entrega	24,4	3,2	2,75	0,86	541	38,4	24,36	0,63	175

FONTE: O autor (2017).

desta razão de forma que o corte caísse num ponto onde o valor do tempo que antecederesse o ponto de corte fosse diferente do valor do tempo posterior ao ponto de corte. A tabela 8 apresenta este ponto de corte e as estatísticas de cada uma das atividades para os níveis baixo e alto.

A divisão das distribuições de frequências para geração das distribuições de frequências para os níveis baixo e alto permitiram a comparação das médias populacionais destas duas novas distribuições. A comparação das duas médias foi feita para cada uma das atividades considerando que as populações geradoras destes dois níveis tinham desvios padrões diferentes e desconhecidos. Os resultados das comparações das médias, usando-se o método de Aspin-Welch (COSTA NETO, 1977), com nível de confiança de 95%, podem ser vistos na tabela 9. Se t calculado for maior que t tabelado então se rejeita a hipótese H_0 .

TABELA 9 – COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS DOS NÍVEIS BAIXO (-1) E ALTO (1) PARA CADA UMA DAS ATIVIDADES

Atividades	t calculado	t tabelado	$H_0, \mu_{(1)} - \mu_{(-1)} = 0$ $H_1, \mu_{(1)} - \mu_{(-1)} \neq 0$
1- Recepção dos pedidos	10,3	1,996	H_0 rejeitada
2- Desenvolvimento do P1 e P2	7,22	1,998	H_0 rejeitada
3- Desenvolvimento do Sub-A	8,51	2,012	H_0 rejeitada
4- Documentação pós-venda	8,65	2,002	H_0 rejeitada
5- Processos industriais do Sub-A	4,70	2,120	H_0 rejeitada
6- Processos industriais do P2	3,36	2,447	H_0 rejeitada
7- Processos industriais do Sub-B	5,15	2,160	H_0 rejeitada
8- Documentação do sistema informatizado	10,46	1,996	H_0 rejeitada
9- Processos industriais do P1	8,07	2,003	H_0 rejeitada
10- Tempo entre pedidos	6,25	2,228	H_0 rejeitada
11- Recepção dos pedidos revisados	2,59	2,365	H_0 rejeitada
12- Autorização de produção dos pedidos	6,14	2,029	H_0 rejeitada
13- Planejamento dos veículos	21,23	1,979	H_0 rejeitada
14- Programação dos veículos	18,72	1,978	H_0 rejeitada
15- Montagem final dos veículos	12,64	1,979	H_0 rejeitada
16- Administração da entrega	19,09	1,979	H_0 rejeitada

FONTE: O autor (2017).

NOTA: t tabelado indisponível na tabela t-student obtido por interpolação linear.

Aplicando-se o teste da igualdade das duas variâncias, de cada uma das atividades, observa-se que a hipótese $H_0 (\sigma_{(-1)}^2 = \sigma_{(1)}^2)$ é rejeitada para todas as atividades com nível de confiança de 95%, exceto para a atividade 10, onde a rejeição ocorre com nível de confiança de aproximadamente 80%. Com isto, pode-se concluir que as variâncias de cada um dos níveis, de cada atividade, são diferentes.

4.7 REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS E CÁLCULOS DOS EFEITOS DOS FATORES ENVOLVIDOS NO PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO SOBRE O TTA

Os experimentos foram então conduzidos com 16 fatores, 2 níveis e utilizando-se a matriz ortogonal L32. Como já dito, cada experimento contou com 5 replicações e o tempo de simulação de 312 semanas.

A análise de variância (ANOVA) dos resultados dos experimentos pode ser vista na tabela 10. As atividades de planejamento dos veículos, programação dos veículos, montagem dos veículos e administração da entrega explicam 94,726% da variabilidade do TTA. Em especial, as atividades de planejamento dos veículos e administração da entrega são responsáveis por 89,383%.

Os resíduos de um planejamento fatorial de experimentos desempenham um importante papel na verificação da adequação do modelo gerado. O uso da ANOVA pressupõe que: (1) os resíduos gerados provêm de uma distribuição normal e (2) há homocedasticidade entre fatores (MONTGOMERY, 2012, 2013). No caso estudado, não se pôde rejeitar a hipótese de que os resíduos provêm de uma distribuição normal visto que o valor de p encontrado foi igual a 0,828⁶. Também, não se pôde rejeitar a homocedasticidade entre os fatores⁷, pois o valor de p encontrado foi igual a 0,672. Outro resultado importante mostrado pela ANOVA é que o erro residual é quase desprezível e isto significa que os efeitos das interações entre os fatores também é desprezível.

O valor de p da razão F mostra que não há evidência estatística de que a variação do fator 7 exerça influência sobre o TTA. O fato de não existir evidência estatística não prejudica as análises, pois o efeito desta atividade é extremamente baixo (0,001%).

Com isto, o modelo regressão linear (com R-quadrado ajustado igual a 99,83%) que explica a influência que cada fator (incluindo o fator 7) tem sobre o TTA é:

$$\hat{y} = 130,165 + 3,322 x_1 + 0,987 x_2 + 1,952 x_3 + 1,513 x_4 + 1,327 x_5 + 0,762 x_6 + 0,092 x_7 + 2,655 x_8 + 1,932 x_9 + 1,444 x_{10} + 0,374 x_{11} + 2,490 x_{12} + 19,258 x_{13} + 5,312 x_{14} + 3,631 x_{15} + 17,933 x_{16} \quad (1)$$

⁶ Para o teste de normalidade.

⁷ Para o teste de Levene dos 9 fatores com maior percentual de contribuição.

TABELA 10 – ANOVA DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Média quadrática	Razão F	Valor de p da razão F	Percentual de contribuição
1- Recepção dos pedidos	1	1766	1765,5	1333,86	0,000	1,425%
2- Desenvolvimento do P1 e P2	1	156	156	117,83	0,000	0,126%
3- Desenvolvimento do Sub-A	1	610	609,5	460,51	0,000	0,492%
4- Documentação pós-venda	1	366	366,2	276,7	0,000	0,295%
5- Processos industriais do Sub-A	1	282	281,8	212,92	0,000	0,228%
6- Processos industriais do P2	1	93	93	70,25	0,000	0,075%
7- Processos industriais do Sub-B	1	1	1,3	1,02	0,315	0,001%
8- Documentação do sistema informatizado	1	1128	1127,8	852,06	0,000	0,910%
9- Processos industriais do P1	1	597	597,3	451,29	0,000	0,482%
10- Tempo entre pedidos	1	334	333,8	252,16	0,000	0,269%
11- Recepção dos pedidos revisados	1	22	22,4	16,89	0,000	0,018%
12- Autorização de produção dos pedidos	1	992	992,3	749,67	0,000	0,800%
13- Planejamento dos veículos	1	59341	59341,2	44833,01	0,000	47,873%
14- Programação dos veículos	1	4514	4514,5	3410,73	0,000	3,642%
15- Montagem final dos veículos	1	2109	2109,4	1593,67	0,000	1,701%
16- Administração da entrega	1	51453	51453	38873,37	0,000	41,510%
Erro residual	143	189	1,3	-	-	0,152%
Total	159	123954	-	-	-	100,00%

FONTE: O autor (2017).

NOTA: Cálculos realizados usando-se o software Minitab®.

Onde:

x_i assume valores denotados por -1 se a atividade i estiver no nível baixo e 1 se estiver no nível alto

\hat{y} é a estimativa da média populacional do tempo total de atravessamento

Para exemplificar o uso da equação 1, a tabela 11 apresenta a previsão do TTA médio para 4 cenários diferentes. O primeiro e o segundo, com todas as atividades no nível baixo e alto, respectivamente. O terceiro, com as atividades de 1 a 12 no nível baixo e as restantes no nível alto. O quarto, com as atividades de 1 a 12 no nível alto e as restantes no nível baixo. A última linha da tabela 11 mostra qual seria o valor de \hat{y} para os quatro cenários. Entre se trabalhar com todas as atividades no nível baixo (cenário 1) e com todas as atividades no nível alto (cenário 2) há uma relação de, aproximadamente, 1 para 3, ou seja, o TTA do cenário 2 é, aproximadamente, 3 vezes maior que o tempo do cenário 1. Isto pode resultar numa perda de capacidade de aproximadamente 66% se o TTA tiver comportamento igual ao cenário 2, quando comparado com o cenário 1.

TABELA 11 – ESTIMATIVAS DOS TTA MÉDIOS PARA QUATRO CENÁRIOS DIFERENTES

Cenários Atividades	1	2	3	4
	Níveis	Níveis	Níveis	Níveis
1- Recepção dos pedidos	-1	1	-1	1
2- Desenvolvimento do P1 e P2	-1	1	-1	1
3- Desenvolvimento do Sub-A	-1	1	-1	1
4- Documentação pós-venda	-1	1	-1	1
5- Processos industriais do Sub-A	-1	1	-1	1
6- Processos industriais do P2	-1	1	-1	1
7- Processos industriais do Sub-B	-1	1	-1	1
8- Documentação do sistema informatizado	-1	1	-1	1
9- Processos industriais do P1	-1	1	-1	1
10- Tempo entre pedidos	-1	1	-1	1
11- Recepção dos pedidos revisados	-1	1	-1	1
12- Autorização de produção dos pedidos	-1	1	-1	1
13- Planejamento dos veículos	-1	1	1	-1
14- Programação dos veículos	-1	1	1	-1
15- Montagem final dos veículos	-1	1	1	-1
16- Administração da entrega	-1	1	1	-1
Estimativa do TTA médio (dias)	65,2	195,1	157,4	102,9

FONTE: O autor (2017).

Como cada coeficiente de regressão da equação 1 é metade da estimativa do efeito da respectiva atividade (MONTGOMERY, 2012, 2013), pôde-se calcular o efeito⁸ que a atividade exerce sobre o TTA. A tabela 12 expõe os valores dos efeitos.

TABELA 12 – EFEITOS SOBRE O TEMPO DE ATRAVESSAMENTO TOTAL

Atividades	Efeito (dias)
1- Recepção dos pedidos	6,644
2- Desenvolvimento do P1 e P2	1,975
3- Desenvolvimento do Sub-A	3,904
4- Documentação pós-venda	3,026
5 -Processos industriais do Sub-A	2,654
6- Processos industriais do P2	1,525
7- Processos industriais do Sub-B	0,183
8- Documentação do sistema informatizado	5,310
9- Processos industriais do P1	3,864
10- Tempo entre pedidos	2,889
11- Recepção dos pedidos revisados	0,748
12- Autorização de produção dos pedidos	4,981
13- Planejamento dos veículos	38,517
14- Programação dos veículos	10,624
15- Montagem final dos veículos	7,262
16- Administração da entrega	35,865

FONTE: O autor (2017).

4.8 INDUÇÕES

Cada uma das subseções a seguir apresenta as relações entre as três principais variáveis deste trabalho: o tempo médio de cada atividade, o desvio padrão deste tempo médio e o efeito que cada atividade exerce sobre o TTA.

4.8.1 Relação entre efeito e média

A primeira análise a ser feita consiste em verificar se existe alguma relação entre as médias de cada atividade e os efeitos que cada uma delas proporciona. Mais especificamente, a ideia consiste na geração de um modelo de regressão destas duas variáveis. Os dados das atividades 7 foram excluídos para a geração deste modelo por não apresentarem evidências estatísticas de que seus efeitos exerçam influência sobre o TTA. A tabela 13 mostra os valores envolvidos nesta regressão.

⁸ A partir deste momento, ao se mencionar a palavra efeito, subentende-se que é sobre o TTA.

TABELA 13 – TEMPO MÉDIO PARA EXECUÇÃO DAS ATIVIDADES E OS EFEITOS QUE CADA ATIVIDADE PROPORCIONA

Atividades	Tempo médio para execução das atividades (dias)	Efeito (dias)
1- Recepção dos pedidos	1,90	6,644
2- Desenvolvimento do P1 e P2	3,48	1,975
3- Desenvolvimento do Sub-A	7,39	3,904
4- Documentação pós-venda	5,66	3,026
5- Processos industriais do Sub-A	11,32	2,654
6- Processos industriais do P2	9,59	1,525
7- Processos industriais do Sub-B (excluído da regressão)	3,56	0,183
8- Documentação do sistema informatizado	7,45	5,310
9- Processos industriais do P1	6,90	3,864
10- Tempo entre pedidos	11,27	2,889
11- Recepção dos pedidos revisados	2,10	0,748
12- Autorização de produção dos pedidos	0,87	4,981
13- Planejamento dos veículos	42,09	38,517
14- Programação dos veículos	19,23	10,624
15- Montagem final dos veículos	4,38	7,262
16- Administração da entrega	11,83	35,865

FONTE: O autor (2017).

O modelo de regressão escolhido está dentre as opções fornecidas pelo software Statgraphics® e, além disso, optou-se por gerar um modelo somente com a inclinação da curva porque não há interesse nos valores absolutos dos resultados, mas sim na variação dada pela inclinação da curva.

Dentre as opções disponíveis, o melhor modelo de regressão relacionando o efeito e o tempo médio de uma determinada atividade é dado pela equação (2)⁹.

$$\text{Efeito } (\bar{x}_i) = (0,8681 \sqrt{\bar{x}_i})^2 \quad (2)$$

Onde:

\bar{x}_i é o tempo médio de uma i-ésima atividade

A Tabela 14 mostra o teste de significância do coeficiente do modelo de regressão proposto e, como pode se observar pela indicação do valor de p, o coeficiente é estatisticamente significativo.

TABELA 14 – TESTE DO COEFICIENTE DO MODELO DE REGRESSÃO PARA A MÉDIA

Parâmetro	Ajuste por mínimos quadrados	Erro padrão	t calculado	valor de p
Inclinação	0,8681	0,0995	8,7245	0,0000

FONTE: O autor (2017).

NOTA: Cálculos realizados usando-se o software Statgraphics®.

⁹ O R quadrado deste modelo foi o maior de todos os disponíveis no Statgraphics® (84,46%)

A soma dos quadrados da análise de variância do modelo indica que o modelo explica 84,46% da variabilidade do efeito. A tabela 15 mostra a análise de variância do modelo, ilustrando que o modelo é significativo estatisticamente.

TABELA 15 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MODELO DE REGRESSÃO PARA A MÉDIA

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Média quadrática	Razão F	Valor de p da razão F	Percentual de contribuição
Modelo	109,62	1	109,62	76,12	0,0000	84,46%
Resíduo	20,16	14	1,44	-	-	-
Total	129,78	15	-	-	-	-

FONTE: O autor (2017).

NOTA: Cálculos realizados usando-se o software Statgraphics®.

4.8.2 Relação entre efeito e desvio padrão

De modo análogo, gerou-se um modelo de regressão entre as variáveis desvio padrão do tempo de execução da atividade e o efeito que ela proporciona. Também foi adotada uma regressão somente da inclinação pelos mesmos motivos do caso anterior. A tabela 16 apresenta os dados usados para esta regressão.

TABELA 16 – DESVIO PADRÃO DO TEMPO PARA EXECUÇÃO DAS ATIVIDADES E OS EFEITOS QUE CADA ATIVIDADE PROPORCIONA

Atividades	Desvio padrão do tempo de execução das atividades (dias)	Efeito (dias)
1- Recepção dos pedidos	3,16	6,644
2- Desenvolvimento do P1 e P2	6,87	1,975
3- Desenvolvimento do Sub-A	8,82	3,904
4- Documentação pós-venda	7,58	3,026
5- Processos industriais do Sub-A	10,19	2,654
6- Processos industriais do P2	8,12	1,525
7- Processos industriais do Sub-B (excluído da regressão)	5,35	0,183
8- Documentação do sistema informatizado	8,17	5,310
9- Processos industriais do P1	8,34	3,864
10- Tempo entre pedidos	10,93	2,889
11- Recepção dos pedidos revisados	3,74	0,748
12- Autorização de produção dos pedidos	2,29	4,981
13- Planejamento dos veículos	22,68	38,517
14- Programação dos veículos	5,81	10,624
15- Montagem final dos veículos	5,14	7,262
16- Administração da entrega	19,48	35,865

FONTE: O autor (2017).

Dentre as opções disponíveis no Statgraphics®, o melhor modelo de regressão relacionando o efeito e o desvio padrão do tempo de uma determinada atividade é dado pela equação (3)¹⁰.

$$\text{Efeito } (S_i) = 0,0781 S_i^2 \quad (3)$$

Onde:

S_i é o desvio padrão do tempo da i-ésima atividade

O Coeficiente da equação (3) também é estatisticamente significativo para o modelo de regressão proposto em (3), pois o valor de p é menor que o nível de significância de 5%. A tabela 17 apresenta os resultados do teste do coeficiente.

TABELA 17 – TESTE DO COEFICIENTE DO MODELO DE REGRESSÃO PARA O DESVIO PADRÃO

Parâmetro	Ajuste por mínimos quadrados	Erro padrão	t calculado	valor de p
Inclinação	0,0781	0,0066	11,7598	0,0000

FONTE: O autor (2017).

NOTA: Cálculos realizados usando-se o software Statgraphics®.

Por fim, a tabela 18 mostra que o modelo explica 90,81% da variabilidade do efeito, ilustrando que o modelo é significativo estatisticamente.

TABELA 18 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MODELO DE REGRESSÃO PARA O DESVIO PADRÃO

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Média quadrática	Razão F	Valor de p da razão F	Percentual de contribuição
Modelo	2809,65	1	2809,65	138,29	0,0000	90,81%
Resíduo	284,44	14	20,32	-	-	-
Total	3090,09	15	-	-	-	-

FONTE: O autor (2017).

NOTA: Cálculos realizados usando-se o software Statgraphics®.

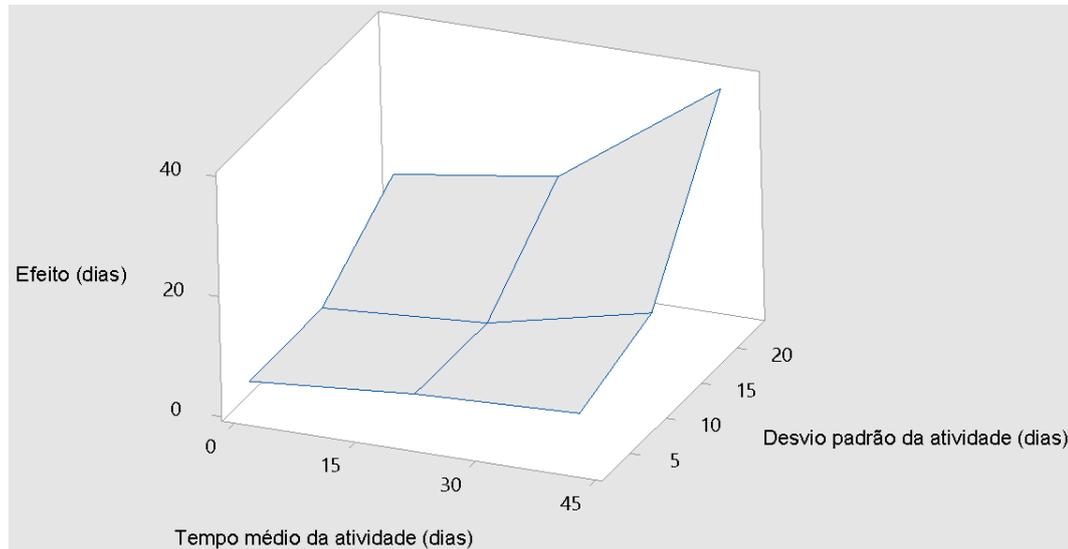
4.8.3 Relação entre o efeito, o desvio padrão e a média

O gráfico 2 permite uma visão simultânea das três variáveis estudadas: o efeito, o tempo médio da atividade e o desvio padrão da atividade. O gráfico deixa clara a diferença entre as influências exercidas pela média e pelo desvio padrão

¹⁰ O R quadrado deste modelo foi o maior de todos os disponíveis no Statgraphics® (90,81%)

sobre o efeito. O efeito é bem mais sensível a variações do desvio padrão do que a variações da média.

GRÁFICO 2 – VARIACÃO DO EFEITO EM FUNÇÃO DO TEMPO MÉDIO E DO DESVIO PADRÃO DA ATIVIDADE



FONTE: O autor (2017).

NOTA: Gráfico plotado usando-se o software Minitab®.

4.8.4 Medida de robustez do sistema

Tomando-se, por hipótese, a atividade de planejamento dos veículos como sendo uma atividade ruído, poderia questionar-se qual a variação que ela provocaria no TTA em função da variação das demais atividades, ou seja, a influência das interações da suposta atividade ruído com as demais atividades sobre o TTA.

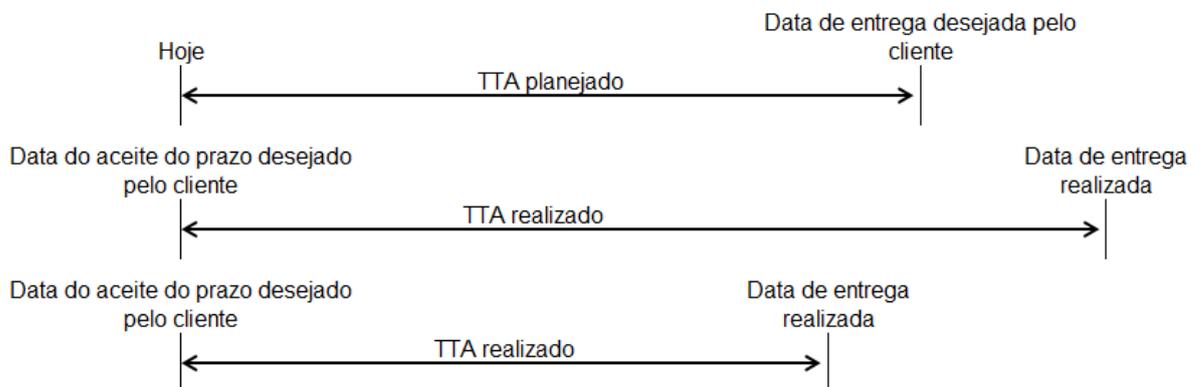
No caso estudado, a influência das interações é praticamente nula. A ANOVA (tabela 10) mostra que os efeitos principais estatisticamente significativos são responsáveis por 99,847% da variabilidade do TTA. Logo, a variabilidade do TTA causada por uma hipotética atividade ruído em função da variação das demais atividades permanece constante. Em outras palavras, a influência de supostos ruídos sobre o TTA é o valor da média quadrática do resíduo, que explica 0,152% da variabilidade do TTA. Com isto, a hipótese inicial de que a atividade de planejamento dos veículos fosse uma atividade ruído pode ser descartada. Aliás, nenhuma atividade tem comportamento de uma variável ruído.

Dessa forma, o sistema, do ponto de vista do TTA, é robusto, ou seja, para o caso estudado, a variabilidade do TTA causada pela variação de uma determinada atividade não é influenciada pela variação de qualquer outra atividade.

5 ANÁLISES

Em última análise, o que o planejamento da produção pretende é destinar uma parte da capacidade produtiva para atender um determinado produto. O estudo de caso revelou que, num extremo, se todos os prazos acordados com os clientes forem cumpridos o planejamento terá tido sucesso. Os problemas do planejamento crescem à medida que o planejamento se aproxima do outro extremo, ou seja, pedidos sendo concluídos antes do prazo e pedidos sendo concluídos depois do prazo. Quanto maior esta variação em torno da data planejada, maiores serão os problemas de gestão da capacidade da organização como um todo. Em outras palavras, as variações do TTA planejado para atender o cliente em relação ao TTA realizado são altamente indesejadas para o planejamento da produção e consequentemente para a organização. A figura 10 ilustra as possibilidades de variação do TTA realizado em relação ao TTA planejado.

FIGURA 10 – VARIAÇÕES DO TEMPO TOTAL DE ATRAVESSAMENTO



FONTE: O autor (2017).

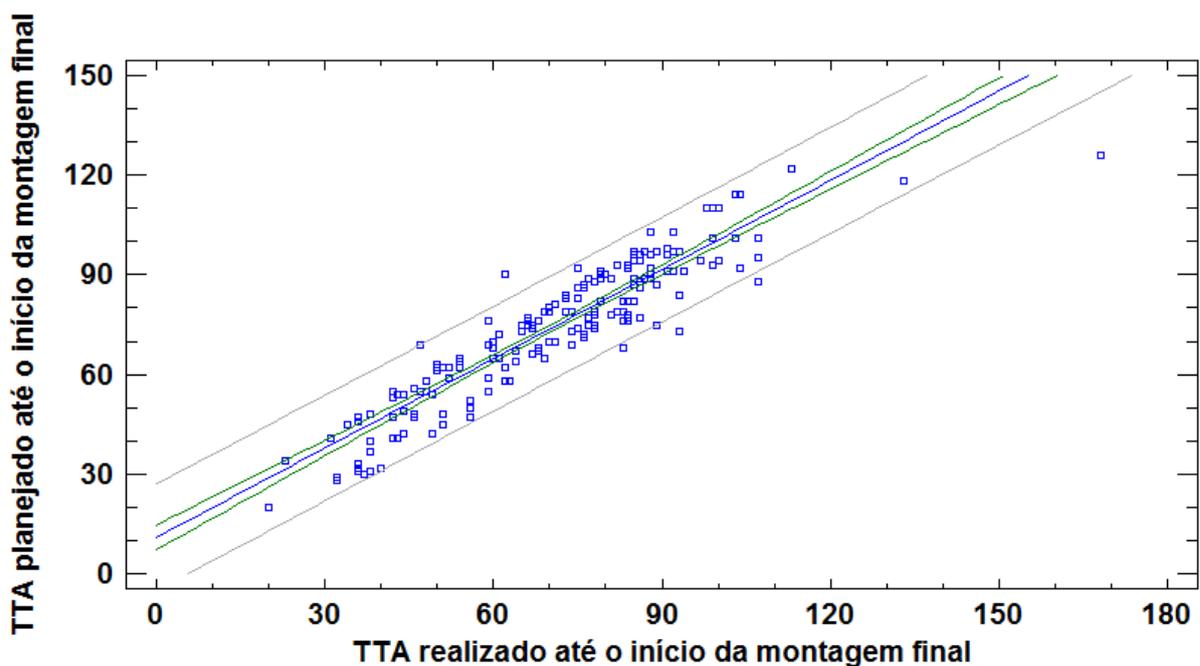
Os resultados relacionando o tempo médio de execução das atividades, os desvios padrões das atividades e os efeitos deixam claro que, para o ambiente pesquisado, o desvio padrão tem um impacto alto e positivamente correlacionado com o efeito.

Como ilustração, um dos indicadores de desempenho usados pelo ambiente pesquisado é a data de início da montagem final, lembrando que além do tempo gasto para a execução desta montagem ainda há a atividade de administração da entrega. Pois bem, o setor de vendas quando substitui um veículo padrão por um

veículo customizado já determina a data de início da montagem final, ou seja, o TTA planejado até o início da montagem final. O gráfico 3 compara o TTA planejado até o início da montagem final com o TTA realmente gasto, também até o início da montagem final. A correlação destas duas variáveis tem R-quadrado ajustado de 85,9% e o modelo de regressão foi ajustado com os dados de 208 veículos e com significância estatística com 95% de confiança.

Analisando-se o gráfico 3, é fácil perceber que há um esforço no sentido de se iniciar a montagem no dia planejado. Notadamente, na indústria automobilística a linha de montagem final é tratada com enorme importância e no caso estudado o *takt time*¹¹ é de 13 minutos por veículo e sincronismo é a palavra chave.

GRÁFICO 3 – ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE OS TEMPOS TOTAIS PLANEJADO E REALIZADO DE ATRAVESSAMENTO ATÉ A MONTAGEM FINAL



FONTE: O autor (2017).

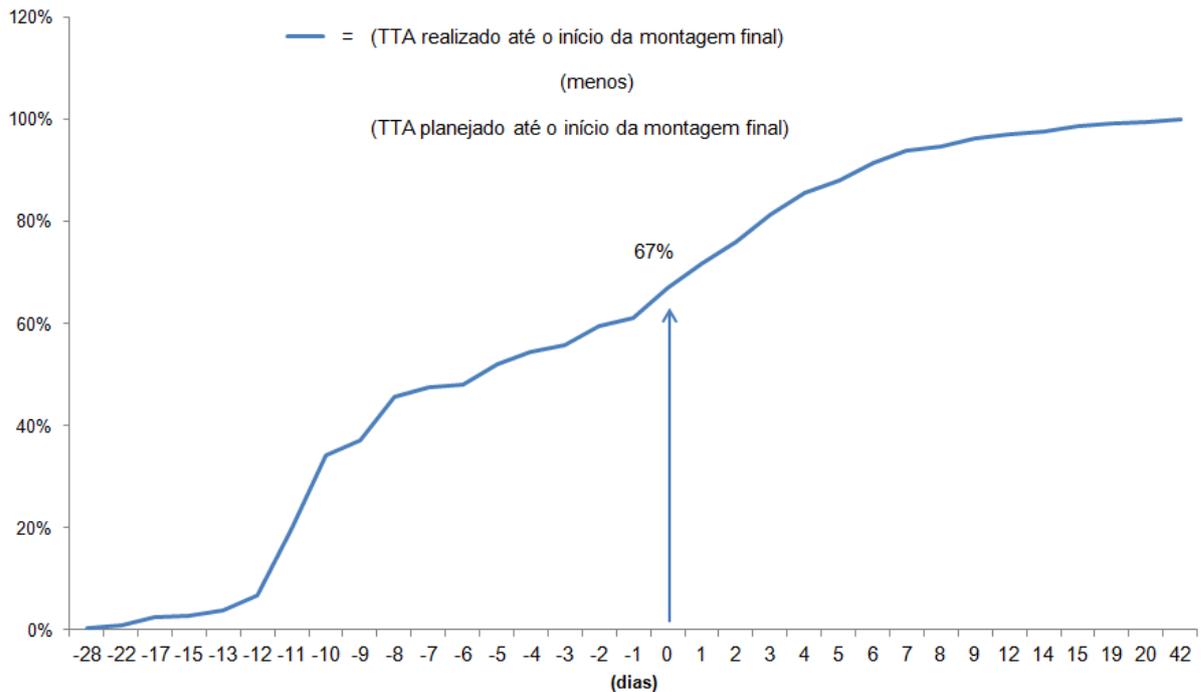
NOTA: Gráfico plotado usando-se o software Statgraphics®.

Entretanto, uma observação mais detalhada nos dados destes 208 veículos pode ser vista no gráfico 4, que aponta para um problema: 67% dos veículos iniciaram a montagem final no dia ou antes da data planejada. O restante iniciou depois. Observando de outra forma, apenas 12 veículos iniciaram a montagem no dia planejado (5,8%). Os outros 94,2% variaram entre iniciar a produção com 28 dias de antecedência e iniciar com 42 dias de atraso. Considerando que o tempo médio

¹¹ Corresponde ao ritmo de produção necessário para atender a demanda.

total de atravessamento realizado até o início da montagem destes 208 veículos foi de 70,9 dias e a amplitude da variação em torno do prazo planejado foi 70 dias, fica claro que esta variação é relativamente muito alta e coincidentemente igual ao tempo médio total de atravessamento realizado.

GRÁFICO 4 – PERCENTUAL ACUMULADO DE VEÍCULOS QUE INICIARAM A MONTAGEM FINAL EM FUNÇÃO DO DESEMPENHO EM RELAÇÃO AO PRAZO



FONTE: O autor (2017).

Relacionam-se alguns exemplos das consequências geradas por causa da variação em relação ao planejado:

- 1- Antecipações não significam necessariamente antecipação de faturamento, pois podem ser apenas geração de estoque;
- 2- Antecipações que formam estoques postergam faturamento;
- 3- Antecipações que formam estoques consomem capacidade que poderia ter sido eventualmente mais útil para outros pedidos. Por exemplo: poderia ter sido atendido uma solicitação de antecipação solicitada por um cliente e isto traria benefício para a imagem da organização;
- 4- Atrasos podem ferir a imagem da organização;

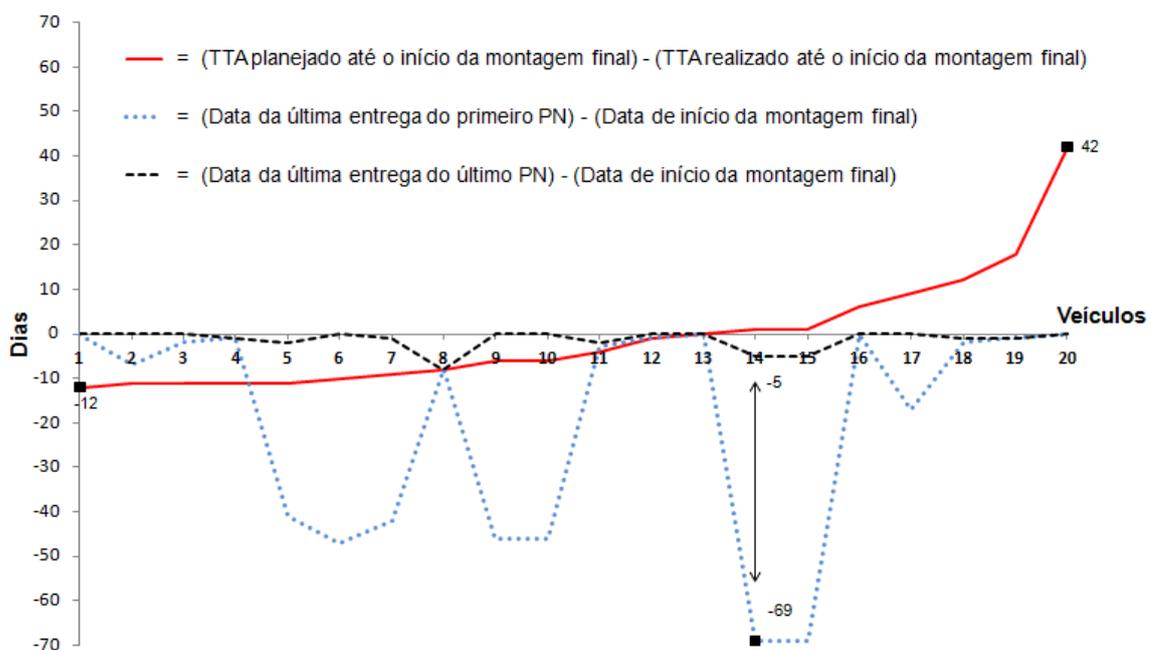
- 5- Atrasos, principalmente em organizações que tem montagem final, podem gerar aumento do estoque médio. Por exemplo: o caso de uma montagem final postergada por causa da falta de apenas um material significa que todos os outros materiais que já chegaram ficarão estocados até o dia que o material faltante chegue;
- 6- Atrasos podem significar ociosidade produtiva por alguma falha no fluxo, mas também podem significar horas extras do pessoal (e todos os outros custos relacionados) para minimizar o atraso.

Outra análise que pode ser travada é com relação à robustez do sistema analisado. Como já dito, o sistema analisado é robusto porque os efeitos principais das atividades praticamente são responsáveis por 99,847% da variabilidade do TTA. Particularmente, a atividade de planejamento dos veículos responde 47,873% do efeito e a influência que sua variação exerce sobre a variabilidade do TTA não é influenciada por nenhuma outra atividade geradora de efeitos principais, ou seja, os efeitos das interações são desprezíveis. O tempo da atividade de planejamento dos veículos encerra, basicamente, os tempos de duas subatividades importantes: (1) o tempo de compra de materiais exclusivos que passaram a figurar na estrutura de produtos por causa da customização e (2) o prazo desejado pelo cliente. Estes dois tempos formadores do tempo da atividade de planejamento dos veículos poderiam ser analisados visando estudos de melhorias. Entretanto, pensando no prazo desejado pelo cliente como um desafio de desempenho, estudaram-se apenas questões relativas aos prazos de fornecimento de materiais com compras exclusivas para atender uma determinada customização. Esta investigação preliminar sobre as compras de materiais envolveu 20 veículos, com 124 entradas de materiais e 29 pedidos de compras, envolvendo 38 *part numbers* (PN) diferentes. O gráfico 5 exibe o desempenho das entregas em relação aos prazos desejados pelos clientes para estes 20 veículos. Quando se compara o TTA planejado (o desejado pelo cliente) com o TTA realizado observa-se que os veículos ou iniciaram a montagem final no dia desejado, ou antes, (ponto extremo com 12 dias de antecipação) ou iniciaram a montagem final depois do prazo desejado (ponto extremo com 42 dias de atraso). Entretanto, com relação aos materiais destinados para estes veículos observa-se que em alguns casos as primeiras entregas chegaram bem antes do início da montagem final. Por exemplo: as primeiras entregas do veículo 14 ocorreram 69 dias

antes do início da montagem final. Sendo mais específico, estes 69 dias referem-se à última data de entrega do primeiro PN destinado ao veículo 14. No entanto, o último PN deste veículo só chegou 5 dias antes do início da montagem final. Interessante notar que os desempenhos das entregas não têm correlação com o desempenho do prazo, como pode ser visto na matriz de correlações na tabela 19. A tabela 19 também mostra que não existe correlação entre as diferenças de datas dos primeiros PN e o início da montagem final e as diferenças de datas dos últimos PN e o início da montagem final.

Por outro lado, a curva de chegada do último material para cada um dos 20 veículos mostra que estes materiais chegaram em datas próximas ou até mesmo no dia de início da montagem final. O teste de potência dos dados desta curva mostra que se o valor populacional desta diferença fosse maior que 3 dias, esta amostra de 20 veículos detectaria esta diferença com 94% de probabilidade. Isto mostra que o início da montagem final é orientado pela chegada dos materiais e não pelo prazo desejado pelo cliente. Como a variação do TTA causada pela atividade de planejamento dos veículos não depende de nenhuma outra atividade, pode-se cogitar que a principal causa de variação do TTA seja consequência do comportamento das entregas de materiais.

GRÁFICO 5 – DESEMPENHO DAS ENTREGAS DE MATERIAIS VERSUS PRAZOS DESEJADOS PELOS CLIENTES



FONTE: O autor (2017).

TABELA 19 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO GRÁFICO 5

Atividades	Diferença entre TTA planejado e realizado	Diferença entre datas de chegada dos primeiros PN e o início da montagem final
Diferença entre datas de chegada dos primeiros PN e o início da montagem final	0,2381 (*)	-
	0,3122 (**)	-
Diferença entre datas de chegada dos últimos PN e o início da montagem final	0,1081 (*)	0,3511 (*)
	0,6500 (**)	0,1291 (**)

FONTE: O autor (2017).

NOTA: A hipótese de inexistência de correlação não pôde ser rejeitada (valor de $p > 0,05$).

LEGENDA: (*) Correlação (**) valor de p .

6 CONCLUSÕES

Considerando-se os tempos de execução das atividades do processo de produção dos veículos customizados do ambiente pesquisado como sendo os fatores que influenciam o TTA dos veículos, o presente trabalho apresentou uma descrição dos efeitos destes fatores (tabela 10) sobre o TTA dos veículos produzidos pela empresa pesquisada, valendo-se de um modelo computacional de simulação de eventos discretos e com eventos ocorrendo aleatoriamente. Estes efeitos podem ser traduzidos como a variação do TTA produzida pela mudança nos níveis das atividades. Além disso, identificou-se que a atividade de planejamento dos veículos (atividade 13) é a atividade que exerce maior efeito sobre o TTA, contribuindo com 47,873% da variação do TTA.

Chamando a capacidade de um sistema produtivo de entregar na data prevista de HTT (*hit to target*), pode-se concluir que o ambiente pesquisado tem um índice baixo de HTT, admitindo que um índice baixo signifique uma alta variação em relação ao prazo planejado. Uma das conclusões de Bertrand e Van Ooijen (2000) é que um *lead time* realista e capaz de atender requisitos dos clientes tem seu ponto economicamente ótimo quando o TTA é curto e com baixa variância e isto se alinha com o observado neste trabalho ou, em outras palavras, usando a terminologia recém-adotada, o ponto economicamente ótimo de Bertrand e Van Ooijen (2000) seria o com alto índice de HTT. Além disso, estes autores demonstraram que a distribuição de probabilidades do tempo de fluxo exerce influência sobre o *lead time* economicamente ótimo e falar sobre distribuições de probabilidades é o mesmo que falar sobre incertezas, que, por sua vez, é o mesmo que falar sobre variações, enfaticamente ressaltadas neste trabalho.

A capacidade de produção do ambiente pesquisado, durante a estada do autor, permaneceu inalterada e, portanto, o “gargalo” da produção, entendendo como “gargalo” a incapacidade de entregar no prazo, é o desvio padrão dos tempos das atividades. Quanto maior o desvio, mais baixo será o índice HTT e maior será o “gargalo”. No dia a dia das empresas, alterações de capacidade significativas não são realizadas tão facilmente e, portanto, o estudo sugere que a abordagem em termos de capacidade seja substituída por uma abordagem em termos de desvio padrão quando a capacidade (administrativa e fabril) permanecer inalterada por um determinado tempo. Hicks e Braiden (2000) observaram que dentre as regras de

sequenciação pesquisadas por eles, programar primeiro os pedidos com menor folga e os com data de entrega que vencem primeiro tiveram os melhores desempenhos com relação ao atraso médio. Considerando-as como regras com poucas possibilidades de variação em relação ao prazo, os pedidos prioritários definidos por elas seriam os que estariam mais próximos do prazo limite e, portanto, admitiriam pouca variação para atender o prazo planejado. Neste caso, diante da incerteza ou variação, opta-se por programar primeiro os pedidos com menor margem de manobra para diminuir os riscos de atraso. Isto também parece se aproximar dos resultados obtidos no ambiente pesquisado deste trabalho onde a variação foi identificada como um perturbador do desempenho em prazo.

O setor de vendas do ambiente pesquisado determina o prazo de início da montagem final de um veículo customizado, de acordo com as necessidades do cliente. Entretanto, o pedido customizado adiciona outras variáveis (e.g. compra de materiais específicos) ao problema de planejamento da produção que, por sua vez, incorporam incertezas não totalmente avaliadas pelo pessoal de planejamento. Isto parece alinhado com Zorzini et al. (2008), Dallasega et al. (2015) e Konijnendijk (1994) que em seus trabalhos apontam para o problema de coordenação entre vendas e produção como um problema capaz de afetar os desempenhos das entregas. Além disso, Carvalho et al. (2016) apontam para questões relacionadas com a necessidade de se considerar incertezas nos processos de planejamento de capacidade observando que o modelo proposto por Carvalho et al. (2015) não considerou esta variável e isto gerou recorrentes replanejamentos por causa da variabilidade dos tempos de processamento das atividades produtivas.

O uso de um modelo computacional capaz de simular o ambiente pesquisado juntamente com o tratamento estatístico via planejamento fatorial de experimentos contribuiu decisivamente para o entendimento das fontes que influenciam a variação do TTA, com destaque para o desvio padrão dos tempos das atividades formadoras do TTA.

O procedimento de pesquisa usado neste trabalho gerou uma oportunidade de aplicação prática para o processo de melhoria contínua da empresa pesquisada. Para a realização deste trabalho, optou-se por uma visão mais agregada para se identificar onde esforços de melhoria seriam eficazes, mas no ambiente pesquisado, o trabalho poderia prosseguir, primeiramente, com a aplicação deste procedimento para a atividade de planejamento dos veículos (atividade 13), por ser a atividade que

mais contribui para explicar a variação do TTA. Com isto, o procedimento seria replicado para um universo menor, mas significativo, e poderia conter as seguintes etapas:

- 1- Criação de um modelo computacional para simular as subatividades que ocorrem dentro da atividade de planejamento dos veículos;
- 2- Obtenção de estatísticas destas subatividades;
- 3- Verificação e validação do modelo computacional;
- 4- Determinação dos parâmetros para realização dos experimentos;
- 5- Realização dos experimentos e cálculo dos efeitos das subatividades sobre o tempo de execução da atividade de planejamento dos veículos;
- 6- Criação de modelos matemáticos para elucidação dos fenômenos que regem os efeitos, as médias e os desvios padrões das subatividades;
- 7- Baseado nos resultados dos efeitos calculados no item 5 pode-se identificar as subatividades que tem comportamento igual à de uma variável ruído. Esta identificação é importante porque o fenômeno que rege a variação do tempo de atravessamento da atividade de planejamento dos veículos pode estar sujeito a uma subatividade descontrolada.
- 8- Análise dos resultados;
- 9- Criação de planos de ação para redução da variabilidade da atividade de planejamento dos veículos.

Depois, o procedimento poderia ser aplicado para a atividade de administração da entrega (atividade 16) e assim sucessivamente, obedecendo à hierarquia gerada pela tabela 10.

A aplicação do procedimento de pesquisa utilizado neste trabalho exigiu quantidades estatisticamente significativas de dados e, portanto, este método limita os casos onde ele pode ser aplicado. A abundância de dados encontrados no ambiente pesquisado tem origem nos baixos tempos de ciclos dos projetos (TTA médio de aproximadamente 3 meses), em especial pela contribuição do baixo tempo gasto para desenvolvimento de produtos (aproximadamente 10% do TTA médio) por usar o conceito de modularização, diferentemente de outros casos relatados pela literatura onde o desenvolvimento do produto consome tempos relativos bem

maiores que 10% (Willner et al, 2016; Grabenstetter e Usher, 2015). Além disso, a grande quantidade de pedidos recebidos, apesar de a organização ter convivido com uma baixa das vendas durante a estada do autor, também contribuiu para uma coleta significativa de dados.

REFERÊNCIAS

- AMARO, G.; HENDRY, L.; KINGSMAN, B. **Competitive advantage, customisation and a new taxonomy for non make-to-stock companies**. International Journal of Operations & Production Management, v. 19, n. 4, p. 349-371, 1999.
- ASSAF, S. A.; AL-HEJJI, S. **Causes of delay in large construction projects**. International Journal of Project Management, v. 24, p. 349-357, 2006.
- BERTRAND, J. W. M.; MUNTSLAG, D. R. **Production control in engineer to order firms**. International Journal of Production Economics, v. 30, p. 3-22, 1993.
- BERTRAND, J. W. M.; VAN OOIJEN, H. P. G. **Customer order lead times for production based on lead time and tardiness costs**. International Journal of Production Economics, v. 64, Issue 1 p. 257-265, 2000.
- BRETTEL, M.; HEINEMANN, F.; ENGELEN, A.; NEUBAUER, S. **Cross-functional integration of R&D, marketing, and manufacturing in radical and incremental product innovations and its effects on project effectiveness and efficiency**. Journal of Product Innovation Management, v. 28, n. 2, p. 251-269, 2011.
- BROOKS, R. **Conceptual modelling: framework, principles, and future research**. Lancaster University Management School, Working Paper, 2007/011, 2007.
- CARON, F.; FIORI, A. **Engineer to order companies: how to integrate manufacturing and innovative processes**. International Journal of Project Management, v. 13, n. 5, p. 313-319, 1995
- CARVALHO, A. N.; OLIVEIRA, F.; SCAVARDA, L. F. **Tactical capacity planning in a real-world ETO industry case: An action research**. International Journal of Production Economics, v. 167, n. 17, p. 187, 2015.
- _____. **Tactical capacity planning in a real-world ETO industry case: A robust optimization approach**. International Journal of Production Economics, v. 180, p. 158-171, 2016.
- CHEN, C-S. **Concurrent engineer-to-order operation in the manufacturing engineering contracting industries**. International Journal Industrial and Systems Engineering, v. 1, n. 1/2, p. 37-58, 2006.
- CHEN, C. H.; LING, S. F.; CHEN, W. **Project scheduling for collaborative product development using DSM**. International Journal of Project Management, v. 21, n. 4, p. 291-299, 2003.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo : Ed do Autores, 2006.
- CHWIF, L. **Redução de modelos de simulação de eventos discretos na sua concepção: uma abordagem causal**. 1999. 136 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- COSTA NETO, P.L.O. **Estatística**. 1. ed. São Paulo : Edgard Blucher, 1977.
- DALLASEGA, P.; MATT, D. T.; KRAUSE, D. **Design of the Building Execution Process in SME Construction Networks**. In: Thompson MK, editor. Proceedings of the 2nd International Workshop on Design in Civil and Environmental Engineering. Worcester, MA: DCEE 2013, p. 7-15, 2013.
- DALLASEGA, P.; RAUCH, E.; MATT, D. T. **Sustainability in the Supply Chain through Synchronization of Demand and Supply in ETO-Companies**. Procedia CIRP, v. 29, p. 215-220, 2015.

FREITAS FILHO, J. P. de. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em Arena**. 2. ed.. Florianópolis: Visual Books, 2008.

GADEMANN, N.; SCHUTTEN, M. **Linear-programming-based heuristics for project capacity planning**. IIE Trans, v. 37, p. 153–165, 2005.

GERWIN, D. **Coordinating new product development in strategic alliances**. Academy of Management Review, v. 29(2), p. 241(17), 2004.

GIOVANETTI, J.; CLETO, M.G. **Production planning and control in engineer-to-order companies: a case study in Brazil**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRODUCTION RESEARCH, 7., Lima. Anais. 2014.

GRABENSTETTER, D.H.; USHER, J.M. **Developing due dates in an engineer-to-order engineering environment**. International Journal of Production Research, v. 52(21), p. 6349-6361, 2014.

_____. **Sequencing jobs in an engineer-to-order engineering environment**. Production & Manufacturing Research, v. 3, n. 1, p. 201-217, 2015.

HICKS, C.; BRAIDEN, P. M. **Computer-aided production management issues in the engineer-to-order production of complex capital goods explored using a simulation approach**. International Journal of Production Research, v. 38(18), p. 4783-4810, 2000.

HICKS, C.; MCGOVERN, T.; EARL, C. F. **A typology of UK engineer-to-order companies**. International Journal of Logistics: Research and Applications, v. 4, n. 1, p. 43-56, 2001.

HIGHSMITH, J. **Gerenciamento ágil de projeto**. 2. ed. Rio de Janeiro : Alta Books, 2012. p. 10-11.

KONIJNENDIJK, P. A. **Coordinating marketing and manufacturing in ETO companies**. International Journal of Production Economics, v. 37, p. 19-26, 1994.

LAW, A. M. **How to build valid and credible simulation models**. Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference, 2008.

_____. **A tutorial on how select simulation input probability distributions**. Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference, 2013.

LITTLE, D.; ROLLINS R.; PECK M.; PORTER, J. K. **Integrated Planning and Scheduling in the Engineer-to-Order Sector**. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, v. 13 (6), p. 545-554, 2000.

MAGALHÃES, Marcos Felipe. Inovando para durar. In: TERRA, José Cláudio Cyrineu, organizador; BARROSO, Antonio Carlos de Oliveira et al. **Inovação: quebrando paradigmas para vencer**. 1. ed.. São Paulo: Saraiva, 2007. p. 41-54.

MARINHO, A.L.F.; MARQUES, M.A.M.; ZATTAR, I.C.; CLETO, M.G. **Caracterização de um ambiente empresarial do tipo ETO: um estudo de caso**. In: 8th International conference on Production Research – Americas 2016, Valparaíso. Anais. 2016.

MELLO, M. H.; STRANDHAGEN, J. O.; ALFNES, E. **The role of coordination in avoiding project delays in an engineer-to-order supply chain**. Journal of Manufacturing Technology Management, v. 26(3), p. 454-429, 2015.

MICHAEL, G.; MATTHIAS, F.; VOLLMAR, J.; SCHERTI, A.; SCHAEFFLER, T. **System integration in modularization and standardization programs**. Annual IEEE Systems Conference, April 2015, p. 847-852, 2015.

MONTGOMERY, D. C. **Estatística aplicada e probabilidades para engenheiros**. 5. ed. Rio de Janeiro : LTC, 2012.

_____. **Design and analysis of experiments**. 8. ed. New Jersey : John Wiley & Sons, 2013.

MOURTZIS, D.; DOUKAS, M.; VLACHOU, K.; FRAGOU, K.; VANDERA, C. **Knowledge enriched short-term scheduling for engineer-to-order products**. *Procedia CIRP*, v. 19, n. 160-167, p. , 2014.

NAKAYAMA, R. S.; SPINOLA, M. M. **Production planning and control in small engineer-to-order companies: Understanding difficulties and pragmatic approach**. *Portland International Conference on Management of Engineering and Technology*, p. 1449-1460, 2015.

RAHIM, R. A.; BAKSH, S. N. **The Need For a New Product Development Framework For Engineer-to-Order Products**. *European Journal of Management*, v. 6(3), p. 182-196, 2003.

RAMEZANIAN, R.; RAHMANI, D.; BARZINPOUR, F. **An aggregate production planning model for two phase production systems: Solving with genetic algorithm and tabu search**. *Expert Systems with Applications*, v. 39(1), p. 1256-1263, 2012.

SAIA, R. **Proposta de classificação para a tipologia de produção Engineer to Order e definição das melhores práticas de manufatura em tais ambientes**. Dissertação. 2013, 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos, Programa de Pós Graduação de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, São Carlos. p. 24-25.

SRIRAM, P. K.; ALFNES, E. **Taxonomy of Engineer-To-Order Companies**. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, v. 440(3), Part 3, p. 579-587, 2014.

STAVRULAKI, E.; DAVIS, M. **Aligning products with supply chain processes and strategy**. *International Journal of Logistics Management*, v. 21 n. 1, p. 127-151, 2010.

STEVENSON, M.; CHENDRY, L. C.; KINGSMAN, B. G. **A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry**. *International Journal of Production Research*, v. 43 (5), p. 869-898, 2005.

WILLNER, O.; GOSLING, J.; SCHÖNSLEBEN, P. **Establishing a maturity model for design automation in sales-delivery processes of ETO products**. *Computers in Industry*, v. 82, p. 57-68, 2016.

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

ZORZINI, M.; CORTI, D.; POZZETTI, A. **Due date (DD) quotation and capacity planning in make-to-order companies: Results from an empirical analysis**. *International Journal of Production Economics*, v. 112, Issue 2, p.919–833, 2008.

DOCUMENTOS CONSULTADOS

- ADRODEGARI, F.; BACCHETTI, A.; SICCO, A.; PIROLA, F.; PINTO, R. **One-of-a-Kind Production (OKP) planning and control: An empirical framework for the special purpose machines industry**. IFIP Advances in Information and Communication Technology, 398 (PART 2), pp. 630-637, 2013.
- ADRODEGARI, F.; BACCHETTI, A.; PINTO, R.; PIROLA, F. ZANARDINI, M. **Engineer-to-order (ETO) production planning and control: an empirical framework for machinery-building companies**. Production Planning & Control, v. 26(11), Part 3, p. 910-932, 2015.
- AKASAKA, S.; WENG, J.; OHTA, S.; FUKUMURA, R.; ONARI, H. **A study of the product functional structure model for engineer-to-order production**. Journal of Japan Industrial Management Association, v. 66(1), p.59-66, 2015.
- AMRANI-ZOUGGAR, A.; ZOLGHADRI, M. **Analysing the shift of product management strategies concerning ETO products**. Journal of Design Research, v. 12, Issue 1/2, p. 10–31, 2014.
- AMRANI, A., ZOUGGAR, S., ZOLGHADRI, M., GIRARD, P. **Supporting framework to improve Engineer-to-Order product lead-times**. IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline), p. 102-107, 2010.
- BERTOLINI, M., ROMAGNOLI, G. **Lean manufacturing in the valve pre-assembly area of a bottling lines production plant: An Italian case study**. In: International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, art. no. 6761378, 2013.
- BÖHME, T.; DEAKINS, E.; PEPPER, M.; TOWILL, D. **Systems engineering effective supply chain innovations**. International Journal of Production Research, v. 52(21), p.6518, 2014.
- BONEV, M.; HVAM, L.; WÖRÖSCH, M. **Utilizing platforms in industrialized construction: A case study of a precast manufacturer**. Construction Innovation, v. 15(1), p.84-106, 2015.
- BOSSSEN, J.; HANSSON, M.N.; MADSEN, O.; NIELSEN, K.; BRUNØ, T.D. **An Engineer-To-Order mass customization development framework**. IFIP Advances in Information and Communication Technology, v. 440(3), Part 3, p.116-123, 2014.
- BOZORGMEHR, M.; TAVAKOLI, L. **An EFQM-based supplier evaluation and verification methodology based on product's manufacturing policy and technology intensity: industrial gas turbine industry as a case study**. International Journal of Integrated Supply Management, 0, v. 9(4), p. 276-306, 2015.
- BRIÈRE-CÔTÉ, A., RIVEST, L., DESROCHERS, A. **Adaptive generic product structure modelling for design reuse in engineer-to-order products**. Computers in Industry, 61 (1), p. 53-65, 2010.
- CAMERON, N.S., BRAIDEN, P.M. **Using business process re-engineering for the development of production efficiency in companies making engineered to order products**. International Journal of Production Economics, 89 (3), p. 261-273, 2004.
- CENTOBELLI, P., MURINO, T., D'ADDONA, D., NAVIGLIO, G. **Simulation and optimization of production system based on fuzzy logic and quick response manufacturing**. In: 25th European Modeling and Simulation Symposium, EMSS 2013, pp. 60-66, 2013.
- CLARKE, C. **Leaner times**. Engineer, 293 (7687), p. 45-49, 2005.
- CUTLER, T.R. **Special orders**. Industrial Engineer, 41 (5), p. 36-38, 2009.
- DALLASEGA, P.; RAUCH, E.; MATT, D. T.; FRONK, A. **Increasing productivity in ETO construction projects through a lean methodology for demand predictability**. International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, p. 1-11, 2015.

- DALLASEGA, P.; MARCHER, C.; MARENGO, E.; RAUCH, E.; MATT, D.T.; NUTT, W. **A decentralized and pull-based control loop for on-demand delivery in eto construction supply chains**. In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, p. 33-42, 2016.
- DOMINIK, T.; DALLASEGA, P.; RAUCH, E. **On-site oriented capacity regulation for fabrication shops in Engineer-to-Order companies (ETO)**. Procedia CIRP, v. 33, p. 197-202, 2015.
- DUCHI, A.; SCHÖNSLEBEN, P.; POURABDOLLAHIAN, G.; SILI, D.; CIOFFI, M.; TAISCH, M. **Motivations and Challenges for Engineer-to-Order Companies Moving toward Mass Customization**. IFIP Advances in Information and Communication Technology, v. 440(3), Part 3, p.320-327, 2014.
- ELGH, F. **Automated engineer-to-order systems - a task-oriented approach to enable traceability of design rationale**. International Journal of Agile Systems and Management, v. 7(3-4), p.324-347, 2014.
- ERKOC, M., DAVID WU, S., GURNANI, H. **Delivery-date and capacity management in a decentralized internal market**. Naval Research Logistics, 55 (5), p. 390-405, 2008.
- FATODU, O. O.; FEIZABADI, J. **Implications of customer roles in engineer-to-order service supply chain**. International Journal of Logistics Systems and Management, v. 22 Issue 3, p. 350 – 375, 2015.
- FORSMAN, S.; LAITILA, L. **Three-dimensional, as-built site verification in supplying engineer-to-order joinery products to construction**. Wood Material Science & Engineering, v. 10(4), p.353-367, 2015.
- FORSMAN, S. **Real-World Three-Dimensional Measuring of Built Environment with a Portable Wire-Based Coordinate-Measuring Machine**. Forest Products Journal, v. 65(5/6), p. 247-262, 2015.
- FOX, S. **Potential of virtual-social-physical convergence for project manufacturing**. Journal of Manufacturing Technology Management, v. 25(8), p.1209-1223, 2014.
- GOSLING, J., NAIM, M., TOWILL, D. **Identifying and categorizing the sources of uncertainty in construction supply chains**. Journal of Construction Engineering and Management, 139 (1), p. 102-110, 2013.
- GRABENSTETTER, D.H., USHER, J.M. **Determining job complexity in an engineer to order environment for due date estimation using a proposed framework**. International Journal of Production Research, 51 (19), p. 5728-5740, 2013.
- _____. **Defining job complexity for the Engineer to Order environment**. IIE Annual Conference and Expo 2013, p. 2404-2413, 2013.
- HAUG, A., HVAM, L., MORTENSEN, N.H. **Reducing variety in product solution spaces of engineer-to-order companies: The case of Novenco A/S**. International Journal of Product Development, 18 (6), p. 531-547, 2013.
- HAUG, A. **Work instruction quality in industrial management**. International Journal of Industrial Ergonomics, v.50, p.170-177, 2015.
- HICKS, C., POWELL, D. **Integrating lean and ERP in engineer/make-to-order subsea companies**. In: 22nd International Conference on Production Research, Paraná, 2013.
- HUSEJNAGIĆ, D.; SLUGA, A. **A conceptual framework for a ubiquitous autonomous work system in the Engineer-To-Order environment**. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 78(9), p.1971-1988, 2015.
- ISON, K. **Smarter tailoring**. Engineering, 247 (9), pp. 44-45, 2006.

- IVORY, C., ALDERMAN, N. **Who is the customer? Maintaining a customer orientation in long-term service-focused projects.** International Journal of Technology Management, 48 (2), p. 140-152, 2009.
- JANSSON, G.; JOHNSON, H.; ENGSTRÖM, D. **Platform use in systems building.** Construction Management and Economics, v. 32(1-2), p.70-82, 2014.
- JENSEN, P.; OLOFSSON, T.; SMIDING, E.; GERTH, R. **Developing Products in Product Platforms in the AEC Industry.** Computing in Civil and Building Engineering, p. 1062-1069, 2014.
- JENSEN, P.; LIDELÖW, H.; OLOFSSON, T. **Product configuration in construction.** International Journal of Mass Customisation, v. 5 Issue 1, p. 73 – 92, 2015.
- KINGSMAN, B.G., DE SOUZA, A.A. **A knowledge-based decision support system for cost estimation and pricing decisions in versatile manufacturing companies.** International Journal of Production Economics, 53 (2), p. 119-139, 1997.
- KLOS, S.; TREBIINA, P. **Using the AHP Method to Select an ERP System for an SME Manufacturing Company.** Management and Production Engineering Review, v. 5(3), p.14-22, 2014.
- KRISTIANO, Y.; HELO, P.; JIAO, R. J. **A system level product configurator for engineer-to-order supply chains.** Computers in Industry, v. 72, p. 82(10), 2015.
- KRISTOFFERSEN, S. **Lead time reduction in an interactive value chain: Call-request-respond time reduction using a distributed information space.** IFAC-PapersOnLine, 28 (3), p. 1276-1283, 2015.
- KUMAR, S., WELLBROCK, J. **Improved new product development through enhanced design architecture for engineer-to-order companies.** International Journal of Production Research, 47 (15), p. 4235-4254, 2009.
- LUAN, S.-C., JIA, G.-Z., KONG, W. **A mathematical programming formulation approach to the number of POLCA cards.** In: International Conference on Management Science and Engineering - Annual Conference Proceedings, art. no. 6414186, p. 218-222, 2012.
- MAGNY, J. **5 Essential ERP Needs Custom ETO Manufacturers Should Consider.** Manufacturing Business Technology, Jan 12, 2015.
- MATT, D.T. **Adaptation of the value stream mapping approach to the design of lean engineer-to-order production systems: a case study.** Journal of Manufacturing Technology Management, v. 25(3), p.334-350, 2014.
- MATT, D. T.; DALLASEGA, P.; RAUCH, E. **Synchronization of the Manufacturing Process and On-site Installation in ETO Companies.** Procedia CIRP, v. 17, p.457-462, 2014.
- _____. **On-site Oriented Capacity Regulation for Fabrication Shops in Engineer-to-Order Companies (ETO).** Procedia CIRP, v.33, p.197-202, 2015.
- MELLO, M. H.; STRANDHAGEN, J. O.; ALFNES, E. **Analyzing the factors affecting coordination in engineer-to-order supply chain.** International Journal of Operations & Production Management, v. 35(7), p.1005-1031, 2015.
- OLHAGER, J. **Strategic positioning of the order penetration point.** International Journal of Production Economics, 85 (3), p. 319-329, 2003.
- ORNSTEIN, E.; JOSEFSSON, K.T.H.C. **An adaptation of the WLC approach for a make-to-order company with long lead times.** Thesis. 2014, 59 f. Thesis (Degree of Master of Science) - School of Industrial Engineering and Management, Royal Institute of Technology, Sweden.

PANDIT, A., ZHU, Y. **An ontology-based approach to support decision-making for the design of ETO (Engineer-To-Order) products.** Automation in Construction, 16 (6), p. 759-770, 2007.

PAOLI, F. M. de.; ANDRADE, V. F. de. S.; LUCATO, W. C. **O conceito de Lean Office aplicado a um ambiente industrial com produção ETO – Engineer-to-Order.** Exacta, v. 12(1), p. 43-53, 2014.

PELLEGRINELLI, S.; PEDROCCHI, N.; TOSATTI, L. M.; FISCHER, A.; TOLIO, T. **Design and motion planning of body-in-white assembly cells.** International Conference on Intelligent Robots and Systems, p. 4489-4496, 2014.

PEÑALOZA, G.A.; VIANA, D.D.; BATAGLIN, F.S.; FORMOSO, C.T.; BULHÕES, I.R. **Guidelines for integrated production control in engineer-to-order prefabricated concrete building systems: Preliminary results.** In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, p. 103-112, 2016.

PERO, M.; ROSSI, T. **RFID technology for increasing visibility in ETO supply chains: A case study.** Production Planning and Control, v. 25(11), p.892-901, 2014.

PERO, M.; STÖßLEIN, M.; CIGOLINI, R. **Linking product modularity to supply chain integration in the construction and shipbuilding industries.** International Journal of Production Economics, v. 170, part B, n. 602-615, p., 2015.

POPOVIC, D., WINROTH, M. **Industrial timber house building - Levels of automation.** In: 33rd International Symposium on Automation and Robotics in Construction, p. 470-477, 2016.

PORTIOLI-STAUDACHER, A., TANTARDINI, M. **A lean-based ORR system for non-repetitive manufacturing.** International Journal of Production Research, 50 (12), p. 3257-3273, 2012.

POWELL, D.; STRANDHAGEN, J. O.; TOMMELEIN, I.; BALLARD, G.; ROSSI, M. **A New Set of Principles for Pursuing the Lean Ideal in Engineer-to-order Manufacturers.** Procedia CIRP, v. 17, p.571-576, 2014.

PRASAD, B. **On Knowledge-based Enterprising Strategy for Lean Product Development.** In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 65, p. 3, 2014.

RICONDO IRIONDO, I.; SERRANO LASA, I.; DE CASTRO VILA, R. **Takt time as a lever to introduce lean production in mixed engineer-to-order/make-to-order machine tool manufacturing companies.** International Journal of Industrial Engineering: Theory Applications and Practice, 23 (2), pp. 94-107, 2016.

RIEZEBOS, J. **Design of POLCA material control systems.** International Journal of Production Research, 48 (5), p. 1455-1477, 2010.

SAHIN-SARIISIK, A.; TERPENNY, J.; VAN AKEN, E.M.; ORFI, N. **A structured approach to platform-driven product planning.** Engineering Management Journal, v. 26(2), p.10-23, 2014.

SHAFIEE, S.; BONEV, M.; HVAM, L. **Scoping a product configuration project for engineer-to-order companies.** International Journal of Industrial Engineering and Management, v. 5(4), p.207-220, 2014.

SHAFIEE, S., HVAM, L., KRISTJANSDOTTIR, K. **How to analyze and quantify similarities between configured engineer-to-order products by comparing the highlighted features utilizing the configuration system abilities.** CEUR Workshop Proceedings, 1453, pp. 139-145, 2015.

SILVENTOINEN, A.; DINGER, A.; LAMPELA, H.; PAPINNIEMI, J. **Challenges of information reuse in customer-oriented engineering networks.** International Journal of Information Management, v. 34(6), p. 720-732, 2014.

- SJØBAKK, B.; BONDARENKO, O.; KAMRAN, T. **A performance measurement system to support materials management in engineer-to-order companies.** *Advanced Materials Research*, v. 1039, p.569-576, 2014.
- SJØBAKK, B.; BAKÅS, O. **Designing an Engineer-To-Order Performance Measurement System: A Case Study.** *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, v. 440(3), Part 3, p.473-480, 2014.
- SJØBAKK, B.; THOMASSEN, M.; ALFNES, E. **Implications of automation in engineer-to-order production: a case study.** *Advances in Manufacturing*, v. 2(2), pp.141-149, 2014
- SJØBAKK, B.; BAKÅS, O.; BONDARENKO, O.; KAMRAN, T. **Designing a performance measurement system to support materials management in engineer-to-order: a case study.** *Advances in Manufacturing*, v. 3(2), p. 111-122, 2015.
- SKIPWORTH, H., HARRISON, A. **Implications of form postponement to manufacturing a customized product.** *International Journal of Production Research*, 44 (8), p. 1627-1652, 2006.
- SRIRAM, P. K.; ALFNES, E.; KRISTOFFERSEN, S. **Collaborative engineering: A framework for engineering-to-order companies.** *International Conference on Collaboration Technologies and Systems*, p. 252-258, 2014.
- SRIRAM, P.K., DREYER, H.C., ALFNES, E. **Understanding key engineering changes for materials management in ETO environment.** *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 460, p. 256-262, 2015.
- SRIRAM, P.K., ANDERSEN, B., ALFNES, E. **Designing a performance measurement system for materials management under engineering change situations in ETO environment.** *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 460, p. 263-270, 2015.
- TINHAM, B. **Estimating software speeds up engineer-to-order.** *Manufacturing Computer Solutions*, 6 (8), p. 33-34, 2000.
- TREVISAN, G.; VIANA, D.; FORMOSO, C. **Role of loading plans in the control of work in progress for engineer-To-order prefabricated building systems.** In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Boston, p. 83-92, 2016.
- ULONSKA, S.; WELO, T. **Product portfolio map: a visual tool for supporting product variant discovery and structuring.** *Advances in Manufacturing*, v. 2(2), pp.179-191, 2014.
- UUSITALO, P.; LIDELÖW, H. **The Struggle of Multiple Supply Chain Structures: Theoretical Overview.** *Procedia Economics and Finance*, v.21, p.185-192, 2015.
- VIANA, D.; FORMOSO, C.; WESZ, J.; TZORTZOPOULOS, P. **The role of visual management in collaborative integrated planning and control for engineer-to-order building systems.** In: 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Understanding and Improving Project Based Production, p.775-786, Oslo, 2014.
- VIANA, D., TILLMANN, P., SARGENT, Z., TOMMELEIN, I., FORMOSO, C. **Analysis of HVAC subcontractor mechanisms for jit materials supply to a construction site.** In: *Proceedings of IGLC 23 - 23rd Annual Conference of the International Group for Lean*, 2015.
- VOLLMAR, J.; GEPP, M. **Framework for standardization programs in the Engineer-To-Order industry.** *Portland International Conference on Management of Engineering and Technology*, p.13-20, 2015.
- VOTTO, R. G.; FERNANDES, F. C. F. **Produção enxuta e teoria das restrições: Proposta de um método para implantação conjunta na Indústria de Bens de Capital sob Encomenda.** *Gestão e Produção*, v. 21(1), p.45-63, 2014.

WENG, J.; AKASAKA, S.; HOSHINO, A.; ONARI, H. **A study on value setting of product functional specifications with consideration of parts and inventory costs for engineer-to-order production.** Asian J. of Management Science and Applications, v. 2 Issue 1, p. 33 – 47, 2015.

WENG, J.; ONARI, H.; AKASAKA, S. **Acquiring orders using requirement specifications for engineer-to-order production.** Journal of Japan Industrial Management Association, v. 64(4), part E p. 620–627, 2014.

WILLNER, O., RIPPEL, M., WANDFLUH, M., SCHÖNSLEBEN, P. **Development of a business process matrix for structuring the implications of using configurators in an engineer-to-order environment.** IFIP Advances in Information and Communication Technology, 397 (PART 1), p. 278-285, 2013.

WILLNER, O.; POWELL, D.; DUCHI, A.; SCHÖNSLEBEN, P. **Globally Distributed Engineering Processes: Making the Distinction between Engineer-to-order and Make-to-order.** Procedia CIRP, v. 17, p.663-668, 2014.

YANG, L.R.; CHEN, J.H.; HSU, W.W. **Testing a model for evaluating influence of PM practices on ETO manufacturing performance.** Journal of Testing and Evaluation, v. 42(5), 2014.

ZHOU, J.; XIAO, H. F.; WANG, X. H. **Pull system design based on value stream mapping for ETO products.** Dongbei Daxue Xuebao/Journal of Northeastern University, v. 36(10), p.1501-1505, 2015.

ZORZINI, M., HENDRY, L., STEVENSON, M., POZZETTI, A. **Customer enquiry management and product customization: An empirical multi-case study analysis in the Italian capital goods sector.** International Journal of Operations and Production Management, 28 (12), p. 1186-1218, 2008.