

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**Marcelo Machado Mendonça**

**USO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E  
DELINEAMENTO DE EXPERIMENTOS NO  
DIMENSIONAMENTO DE UM NOVO PROCESSO  
FABRIL E SEU PLANEJAMENTO: UM CASO  
PRÁTICO NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia de Produção.

**Área de Concentração:** Engenharia de Produção

**Orientador:** Prof. Dr. José Arnaldo Barra Montevechi

**Novembro de 2015**

**Itajubá - MG**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**Marcelo Machado Mendonça**

**USO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E  
DELINEAMENTO DE EXPERIMENTOS NO  
DIMENSIONAMENTO DE UM NOVO PROCESSO  
FABRIL E SEU PLANEJAMENTO: UM CASO  
PRÁTICO NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA**

Dissertação aprovada por banca examinadora em 30 de novembro de 2015, conferindo ao autor o título de Mestre em Ciências em Engenharia de Produção.

**Banca examinadora:**

Prof. Dr. João José de Assis Rangel (UCAM)

Prof. Dr. Rafael de Carvalho Miranda (UNIFEI)

Prof. Dr. José Arnaldo Barra Montevechi (Orientador)

**Novembro de 2015**

**Itajubá - MG**

# DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aos meus pais que sempre me apoiaram e frisaram a importância do estudo e conhecimento. E a minha esposa pelos incentivos e compreensão.*

# AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelas oportunidades colocadas em meu caminho, pela persistência doada para finalizar este trabalho apesar dos contratemplos e pela saúde concedida para que pudesse atravessar esse percurso sem dificuldades.

Agradeço aos meus pais pela educação dada nesses anos, pelos exemplos, conselhos e tempo expendido para muitas vezes me ajudar e facilitar várias coisas do dia a dia para que pudesse me dedicar.

A todos familiares que oraram, torceram e me descontraíram, pois não só de pão e trabalho vive o homem.

À minha esposa, que brinco ao dizer que comecei o mestrado solteiro e terminei casado, pelos incentivos e tentativas de ajuda bem-intencionadas, mesmo sem nenhum conhecimento sobre os assuntos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Arnaldo, que apesar de todos os percalços enfrentados durante esses anos, trocas de tema e períodos de orientação à distância, teve paciência, compreensão e amizade para me guiar até o final desta fase.

Aos Professores Dr. Fabiano Leal, Dr. Carlos Mello, Dr. Alexandre Pinho, Dr. Carlos Sanches, Dr. Edson Pamplona, Dr. José Henrique, Dr. Pedro Paulo, Dr. João Turrioni, pelos conhecimentos transmitidos e conversas jogadas fora no período acadêmico.

Agradeço aos colegas e amigos, que não citarei nomes pela injustiça que por ventura poderia cometer ao me esquecer de algum deles, da pós-graduação pelos estudos, pelas conversas e todos os momentos dentro e fora da universidade.

Aos colegas Elisa Melo e Daniel Gueratto, que auxiliaram na revisão do texto e tiveram um olhar extremamente crítico e minucioso, contribuindo muito para o resultado final.

Agradeço também aos gestores que tive neste período na empresa e que me permitiram continuar o mestrado em paralelo ao serviço e aos amigos de trabalho que incentivaram a continuidade dos estudos e que não me deixaram desistir após o trancamento da matrícula por um período.

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a conclusão desta dissertação, muito obrigado.

Por fim, à CAPES, CNPq e à FAPEMIG pelo apoio e incentivo a esta pesquisa.

# EPÍGRAFE

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”*

Arthur Schopenhauer.

*“Aqueles que se sentem satisfeitos sentam-se e nada fazem. Os insatisfeitos são os únicos benfeitores do mundo.”*

Walter S. Landor.

# RESUMO

Esta dissertação apresenta um projeto de simulação a eventos discretos combinado à técnica de planejamento de experimentos (DOE) aplicada em uma empresa brasileira do setor da indústria aeronáutica. O projeto em questão faz parte do planejamento estratégico da empresa e trata-se de uma expansão de sua capacidade para viabilizar a demanda futura de programas existentes e a absorção de novos programas ao seu portfólio. O principal objetivo foi dimensionar os recursos transelevador, AGV e máquinas para a demanda inicialmente esperada para quatro produtos específicos e verificar como esses recursos se comportam com o aumento dessas demandas. Este estudo possibilitará a mitigação dos gargalos e a procura do melhor balanceamento da linha e utilização dos recursos. A metodologia utilizada foi modelagem e simulação e a contribuição acadêmica da pesquisa visa preencher uma lacuna encontrada na literatura, uma vez que não foram encontrados artigos publicados no setor da indústria aeronáutica com as técnicas de simulação e DOE juntas. Para a simulação computacional foi utilizado o *software* SIMUL8®, não só pela sua facilidade, abrangência e capacidade, como também pelos diversos relatórios de análise e possibilidade de criação de cenários, os quais foram de grande valia na hora da integração com o DOE. Um diferencial desta dissertação foi devido ao sistema analisado ainda não estar criado, o que despendeu grande esforço e atenção durante a verificação do modelo e participação da equipe responsável pelo projeto, como engenheiros e analistas, para validação do modelo computacional. Os resultados gerados ao final desta dissertação mostram que, mesmo não tendo um modelo real como base para comparação, as análises proporcionadas pela combinação de ambas às técnicas foram extremamente úteis para o dimensionamento e planejamento em longo prazo desta nova área, possibilitando alcançar um aumento de 30% de produtividade para alguns produtos e até 45% para outros.

**Palavras-chaves:** Simulação a eventos discretos, planejamento de experimentos, indústria aeronáutica.

# ABSTRACT

This master's thesis presents a discrete event simulation project combined with design of experiments (DOE) technique applied in a Brazilian aerospace industry company. The project in matter is part of the company's strategic planning and it is a growth of its ability to achieve the future demand for existing programs and the absorption of new ones to its portfolio. The main objective was the resources sizing, as the stacker crane, the AGV and the machines for four specific products initially expected demand and checks the behavior of these resources with the increase of these demands, reducing bottlenecks and looking for the best line balancing and resource utilization. The methodology used was modeling and simulation and the academic contribution of the research aims to fill a gap in the literature, once cannot found articles published in the aerospace industry sector with simulation and DOE technique together. SIMUL8® software was used for computer simulation, not only it's user-friendly, a range of possibilities and capacity, as well as the various analysis reports and ability to create scenarios, which was very useful at the time with the DOE integration. A differential of this master's thesis is because the analyzed system has not been created yet, what expended huge effort and attention during model verification step and participation of the team responsible for the project, such as engineers and analysts, to validate the computational model. The results generated at the end of this master's thesis show that, despite not having an actual model as a basis for comparison, the analysis provided by the combination of both techniques were extremely useful for sizing and long-term planning of the new area. Making possible reach a 30% increase in productivity for some products and up to 45% for other.

**Keywords:** Discrete event simulation, design of experiments, aerospace industry.

# LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 EMBRAER - RECEITA POR SEGMENTO FONTE: WWW.EMBRAER.COM.BR .....	13
FIGURA 1.2 EVOLUÇÃO DO <i>MARKET SHARE</i> - PEDIDOS FIRMES E ENTREGUES FONTE: HTTP://RI.EMBRAER.COM.BR/ (RELAÇÕES COM INVESTIDORES).....	17
FIGURA 1.3 ARTIGOS PUBLICADOS COM AS PALAVRAS-CHAVES DESDE 2000. FONTE: ADAPTADO DE HTTP://WWW.SCOPUS.COM/HOME.URL. ....	18
FIGURA 1.4 ARTIGOS PUBLICADOS COM AS PALAVRAS-CHAVES COMBINADAS DESDE 2000 POR PAÍS. FONTE: ADAPTADO DE HTTP://WWW.SCOPUS.COM/HOME.URL. ....	18
FIGURA 1.5 ARTIGOS PUBLICADOS COM AS PALAVRAS-CHAVES COMBINADAS DESDE 2000. FONTE: ADAPTADO DE HTTP://WWW.SCOPUS.COM/HOME.URL.....	19
FIGURA 1.6 ARTIGOS PUBLICADOS COM AS PALAVRAS-CHAVES COMBINADAS DESDE 2000 POR PAÍS. FONTE: ADAPTADO DE HTTP://WWW.SCOPUS.COM/HOME.URL. ....	19
FIGURA 1.7 ARTIGOS PESQUISADOS QUE COMBINAM DOE E SED.....	20
FIGURA 2.1 ETAPAS DE UM PROJETO DE SIMULAÇÃO FONTE: CHWIF E MEDINA (2015) .....	24
FIGURA 2.2 METODOLOGIA PARA PROJETO DE SIMULAÇÃO FONTE: MONTEVECHI <i>ET AL.</i> (2010) .....	25
FIGURA 2.3 METODOLOGIA PARA PROJETO DE SIMULAÇÃO, IDEF-SIM, DOE E SIMUL8®. (ADAPTADO DE MONTEVECHI <i>ET AL.</i> , 2010) .....	28
FIGURA 3.1 MODELOS DETERMINÍSTICOS (A) E ESTOCÁSTICOS (B). FONTE: ADAPTADO DE HARRELL, GHOSH E BOWDEN, 2004.....	32
FIGURA 3.2 EVOLUÇÃO DOS ESTADOS DE MUDANÇA DE UMA SIMULAÇÃO. FONTE: CHWIF E MEDINA, 2015 .....	33
FIGURA 4.1 REPRESENTAÇÃO SIMPLES DO MODELO CONCEITUAL. ....	45
FIGURA 4.2 IDEF-SIM DO MODELO. ....	46
FIGURA 4.3 MODELO COMPUTACIONAL DESENVOLVIDO NO SIMUL8®.....	50
FIGURA 4.4 MENU DE ALTERAÇÃO DA DEMANDA (INTERFACE COM USUÁRIO). ....	51
FIGURA 4.5 VERIFICAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL COM A FERRAMENTA TIME VIEW. ....	52
FIGURA 4.6 VERIFICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LÓGICA POR MEIO DO DEPURADOR PARA UM DOS PRODUTOS. ....	52
FIGURA 4.7 VALIDAÇÃO DO MODELO – <i>TOKEN</i> . ....	54
FIGURA 4.8 DEFINIÇÃO DA QUANTIDADE DE RÉPLICAS (FERRAMENTA <i>TRIAL CALCULATOR</i> ). ....	56

FIGURA 4.9 COMPORTAMENTO DA FILA COM TRÊS REPLICAÇÕES PARA DEFINIÇÃO DO PERÍODO DE <i>WARMUP</i> . .....	57
FIGURA 4.10 ANÁLISE PARA DEMANDA DO CENÁRIO 1.....	58
FIGURA 4.11 ANÁLISE DOS RECURSOS MÁQUINA, TRANSELEVADOR E AGV PARA DEMANDA DO CENÁRIO 1. ....	59
FIGURA 4.12 ANÁLISE DA FILA PARA DEMANDA DO CENÁRIO 1.....	60
FIGURA 4.13 ANÁLISE PARA DEMANDA DO CENÁRIO 2.....	61
FIGURA 4.14 ANÁLISE DOS RECURSOS MÁQUINA, TRANSELEVADOR E AGV PARA DEMANDA DOS CENÁRIOS 1 E 2. ....	61
FIGURA 4.15 ANÁLISE DA FILA PARA DEMANDA DO CENÁRIO 2.....	62
FIGURA 4.16 COMPARAÇÃO DA DEMANDA PLANEJADA E EXECUTADA PARA OS CENÁRIOS 1 E 2. ....	63
FIGURA 4.17 GRÁFICO DE PROBABILIDADE NORMAL PARA RESÍDUOS PADRONIZADOS (“PROD A OUT”)......	66
FIGURA 4.18 CARTA DE CONTROLE PARA RESÍDUOS PADRONIZADOS VS VALORES AJUSTADOS (“PROD A OUT”). .....	66
FIGURA 4.19 EFEITOS PRINCIPAIS PARA O TOTAL DE PRODUTOS A, B, C E D CONCLUÍDOS EM UM ANO. ....	67
FIGURA 4.20 EFEITOS PRINCIPAIS PARA A) UTILIZAÇÃO TRANSELEVADOR, B) TEMPO TRABALHADO MÁQUINA TIPO 2 E C) TEMPO NÃO TRABALHADO TOTAL.....	68
FIGURA 4.21 GRÁFICO DE PARETO DOS EFEITOS PADRONIZADOS PARA A) PRODUÇÃO DE B, B) UTILIZAÇÃO TRANSELEVADOR, C) TEMPO NÃO TRABALHADO TOTAL E D) UTILIZAÇÃO AGV. ....	69
FIGURA 4.22 GRÁFICO DAS INTERAÇÕES DE SEGUNDA ORDEM ENTRE OS FATORES PARA A) PRODUÇÃO DE A, B) UTILIZAÇÃO TRANSELEVADOR, C) TEMPO NÃO TRABALHADO TOTAL E D) TEMPO TRABALHADO MÁQUINA 2.....	70
FIGURA 4.23 ANÁLISE PARA DEMANDA DO CENÁRIO 2 APÓS ALTERAÇÕES.....	71
FIGURA 4.24 ANÁLISE DOS RECURSOS MÁQUINAS PARA DEMANDA DO CENÁRIO 1, 2 ANTES E CENÁRIO 2 APÓS ALTERAÇÕES. ....	72
FIGURA 4.25 ANÁLISE DOS RECURSOS AGV E TRANSELEVADOR PARA DEMANDA DO CENÁRIO 1, 2 ANTES E CENÁRIO 2 APÓS ALTERAÇÕES.....	73
FIGURA 4.26 ANÁLISE DA FILA PARA DEMANDA DO CENÁRIO 1, 2 ANTES E CENÁRIO 2 APÓS ALTERAÇÕES.....	73

FIGURA 4.27 COMPARAÇÃO DA DEMANDA PLANEJADA E EXECUTADA PARA O CENÁRIO 1, CENÁRIO 2 ANTES E CENÁRIO 2 APÓS ALTERAÇÕES.....	74
FIGURA 4.28 RESUMO DAS CONCLUSÕES PARA O CENÁRIO 1, CENÁRIO 2 ANTES E CENÁRIO 2 APÓS DOE.....	75
FIGURA B.1 GRÁFICO PROBABILIDADE NORMAL PARA RESÍDUOS PADRONIZADOS (PRODUTO B) .....	89
FIGURA B.2 GRÁFICO PROBABILIDADE NORMAL PARA RESÍDUOS PADRONIZADOS (UTILIZAÇÃO TRANSELEVADOR).....	89
FIGURA C.1 CARTA DE CONTROLE PARA RESÍDUOS PADRONIZADOS VS VALORES AJUSTADOS (UTILIZAÇÃO TRANSELEVADOR).....	90
FIGURA C.2 CARTA DE CONTROLE PARA RESÍDUOS PADRONIZADOS VS VALORES AJUSTADOS (TEMPO TRABALHADO MÁQUINA 1).....	90
FIGURA C.3 CARTA DE CONTROLE PARA RESÍDUOS PADRONIZADOS VS VALORES AJUSTADOS (TEMPO EM ESPERA MÁQUINA 2).....	91
FIGURA C.4 CARTA DE CONTROLE PARA RESÍDUOS PADRONIZADOS VS VALORES AJUSTADOS (TEMPO TOTAL NÃO TRABALHADO DAS MÁQUINAS).....	91
FIGURA D.1 GRÁFICO DE PARETO DOS EFEITOS PADRONIZADOS (PRODUTO A).....	92
FIGURA D.2 GRÁFICO DE PARETO DOS EFEITOS PADRONIZADOS (PRODUTO B).....	92
FIGURA D.3 GRÁFICO DE PARETO DOS EFEITOS PADRONIZADOS (PRODUTO C).....	93
FIGURA D.4 GRÁFICO DE PARETO DOS EFEITOS PADRONIZADOS (PRODUTO D).....	93
FIGURA D.5 GRÁFICO DE PARETO DOS EFEITOS PADRONIZADOS (UTILIZAÇÃO DO TRANSELEVADOR). ....	94
FIGURA D.6 GRÁFICO DE PARETO DOS EFEITOS PADRONIZADOS (UTILIZAÇÃO DO AGV). ....	94

# LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 CLASSIFICAÇÃO DAS METODOLOGIAS DE PESQUISA QUANTITATIVA MODELAGEM E SIMULAÇÃO .....	23
TABELA 3.2 SIMBOLOGIA UTILIZADA NA TÉCNICA IDEF-SIM. FONTE: LEAL, ALMEIDA E MONTEVECHI (2008) .....	36
TABELA 3.1 CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTAIS DAS PRINCIPAIS TÉCNICAS DE DOE. FONTE: GOMES (2010) .....	41
TABELA 4.1 INFORMAÇÕES SOBRE DEMANDA E CAPACIDADE DO SISTEMA. ....	44
TABELA 4.2 DADOS DE ENTRADA DO MODELO. ....	45
TABELA 4.3 PARÂMETROS DOS DADOS DE ENTRADA. ....	49
TABELA 4.4 DEFINIÇÃO DO PROJETO – CENÁRIOS A SEREM SIMULADOS. ....	55
TABELA 4.5 DADOS DE SAÍDA.....	55
TABELA 4.6 FATORES ESCOLHIDOS.....	63
TABELA 4.7 MATRIZ EXPERIMENTAL PARA UMA REPLICAÇÃO.....	65
TABELA 4.8 ANÁLISE DE VARIÂNCIA. ....	69
TABELA 4.9 CARGA DE HORAS MODIFICADA ENTRE AS MÁQUINAS.....	71
TABELA A.1 MATRIZ EXPERIMENTAL COMPLETA. ANEXO A – MATRIZ EXPERIMENTAL .....	83

# LISTA DE ABREVIATURAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
DOE	Planejamento de Experimentos ( <i>Design of experiments</i> )
EMBRAER	Empresa Brasileira de Aeronáutica
PIB	Produto Interno Bruto
SED	Simulação a eventos discretos
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO .....	13
1.2. PROBLEMA .....	15
1.3. OBJETIVOS E RESULTADOS ESPERADOS .....	15
1.4. JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO DA PESQUISA .....	15
1.5. CONDIÇÕES DE CONTORNO DA PESQUISA.....	20
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	21
<b>2. MÉTODO DE PESQUISA .....</b>	<b>22</b>
2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	22
2.2. MÉTODO DE PESQUISA QUANTITATIVO: MODELAGEM E SIMULAÇÃO .....	22
2.3. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA .....	23
2.4. ETAPAS DE UMA PESQUISA DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO.....	24
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>29</b>
3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	29
3.2. SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS .....	29
3.2.1. Histórico .....	29
3.2.2. Introdução à simulação .....	30
3.2.3. Vantagens e desvantagens.....	33
3.2.4. Concepção .....	35
3.2.4.1. IDEF-SIM.....	35
3.2.5. Implementação .....	38
3.2.6. Análise.....	40
3.3. PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS (DOE).....	40
<b>4. APLICAÇÃO DO MÉTODO .....</b>	<b>43</b>
4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	43
4.2. CONCEPÇÃO .....	43
4.2.1. Objetivos e definição do sistema.....	43
4.2.2. Construção do modelo conceitual .....	43
4.2.3. Validação do modelo conceitual .....	47

4.2.4. Documentação do modelo conceitual .....	47
4.2.5. Modelagem dos dados de entrada .....	48
4.3. IMPLEMENTAÇÃO .....	49
4.3.1. Construção do modelo computacional .....	49
4.3.2. Verificação do modelo computacional.....	51
4.3.3. Validação do modelo computacional .....	53
4.4. ANÁLISE.....	54
4.4.1. Definição do projeto experimental.....	54
4.4.2. Execução dos experimentos .....	55
4.4.3. Análises estatísticas.....	57
4.4.4. Conclusões e recomendações .....	75
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>76</b>
5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	76
5.2. CONCLUSÕES GERAIS E CONTRIBUIÇÕES.....	76
5.3. VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS ORIGINAIS .....	77
5.4. SUGESTÕES DE PROJETOS FUTUROS .....	77
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>79</b>
<b>TABELA A.1 MATRIZ EXPERIMENTAL COMPLETA. ANEXO A – MATRIZ EXPERIMENTAL .....</b>	<b>83</b>
<b>ANEXO B - GRÁFICO DE PROBABILIDADE NORMAL PARA RESÍDUOS PADRONIZADOS.....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO C – CARTA DE CONTROLE PARA RESÍDUOS PADRONIZADOS VS VALORES AJUSTADOS .....</b>	<b>90</b>
<b>ANEXO D – GRÁFICO DE PARETO DOS EFEITOS PADRONIZADOS.....</b>	<b>92</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Contextualização

De acordo com o Anuário do Transporte Aéreo de 2013 da ANAC, a demanda doméstica nos últimos dez anos do transporte aéreo de passageiros mais que triplicou, sendo que entre os anos de 2004 e 2013 o aumento foi de 203%, ou seja, um crescimento médio de 13,1% ao ano nesse período. Isso representa 3,7 vezes o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro (3,5% ao ano no mesmo período).

O mesmo anuário menciona que desde 2010 o avião tem sido o meio de transporte mais utilizado pelos brasileiros, quando comparado com o ônibus, nas viagens interestaduais com distâncias superiores a 75 km.

Dentro deste cenário da aviação comercial, em 2013 a Embraer foi a terceira fabricante com mais aeronaves em operação no Brasil, com 14,6% de participação. Ela também ocupa o terceiro lugar no mundo como fabricante de jatos comerciais. Porém, ela é uma empresa que além da aviação comercial, também contempla fabricação e montagem de aeronaves para aviação executiva e militar.

Até 2014, a empresa já havia entregado mais de 850 jatos executivos, possuía jatos comerciais em mais de 90 companhias aéreas em 61 países diferentes e mais de 50 forças armadas possuíam avião com sua marca, o que lhe conferiu uma receita líquida em 2014 de quase quinze bilhões de reais, onde a participação de cada segmento pode ser vista na Figura 1.1.



Figura 1.1 Embraer - receita por segmento  
Fonte: [www.embraer.com.br](http://www.embraer.com.br)

E para manter-se entre as primeiras neste mercado há a preocupação constante em manter sua frota atualizada e competitiva. Hwang, Gao e Jang (2010) ressaltam que em um mercado competitivo, um atendimento rápido e com qualidade são fatores determinantes para a sustentabilidade da empresa.

Reforçando a sentença, Grönroos (2009) diz que para o cliente receber o que está esperando, no tempo certo e com qualidade, é preciso que haja uma gestão da capacidade eficiente ao ponto do planejamento das operações estarem alinhadas com o planejamento das demandas.

Nesse contexto, a empresa referida pretende expandir uma parte de sua produção para atender futuras demandas e novos projetos. Porém, antes dos investimentos, precisa tomar algumas decisões quanto ao dimensionamento dos recursos para esta expansão, e para isso, neste trabalho, a simulação a eventos discretos (SED) será utilizada combinada com o planejamento de experimentos (DOE) auxiliando no planejamento e exploração de possíveis cenários e suportando as escolhas dos cenários.

Conforme mencionado por Sargent (2013), crescente é o uso da SED com o intuito de avaliar um determinado sistema identificando como suas variáveis as afetam, melhorando as tomadas de decisões. Não à toa ela é apontada, principalmente por sua flexibilidade, versatilidade e capacidade de análise, como uma das técnicas de pesquisa mais utilizadas em vários setores (JAHANGIRIAN *et al.*, 2010)

Apesar de inicialmente ter sido concebida para experimentos físicos, o DOE também pode ser utilizado, com relativa facilidade, em experimentos simulados (KELTON, 2003). Leal (2008) reforça dizendo que o emprego do DOE na simulação tem se mostrado de grande ajuda nas tomadas de decisões.

A metodologia DOE tem o intuito de auxiliar a identificar num processo as variáveis de maior importância e se há interações entre elas (MONTGOMERY e RUNGER, 2011).

A presente dissertação tem como foco demonstrar de que forma o uso da SED, criando sistemas simulados e demonstrando o comportamento de suas variáveis, integrada ao DOE, sustentando estatisticamente as escolhas das variáveis para tomada de decisão, podem ajudar no planejamento do dimensionamento de uma nova área fabril.

Por questões de confidencialidade não será mencionado neste trabalho: a localização desta área, quais produtos esta expansão atenderá, se é uma área de fabricação de peças ditas primárias ou secundárias, nem se é uma área de metálicos ou compósitos.

## 1.2. Problema

A empresa fará um alto investimento para expansão de uma área para garantir as futuras demandas e assegurar a entrada de novos projetos no mercado, ampliando e renovando seu portfólio de produtos. O essencial é que esses investimentos para expansão garantam que esta nova área atenda a demanda planejada sem que haja um retrabalho no projeto e novos investimentos por cenários de gargalos não planejados.

Já houve a decisão prévia de compra de alguns itens e definição do escopo da estrutura desta expansão, porém é preciso avaliar se os recursos de máquinas e equipamentos estimados inicialmente realmente irão atender. Lembrando que é uma área ainda em fase de construção e que, caso esses recursos não atendam, este é o momento de repensá-los de forma a evitar os gargalos e gastos futuros por mal planejamento.

## 1.3. Objetivos e resultados esperados

O objetivo prático desta dissertação é combinar as ferramentas de simulação computacional e planejamento de experimentos para que seja possível planejar da melhor forma o dimensionamento desta nova área, analisando as variáveis com maior impacto na adequação dos recursos e equipamentos, e que, ao final, o simulador tenha uma interface com o usuário para que possa testar e avaliar quantos cenários for necessário.

Academicamente a contribuição da dissertação será acrescentar à literatura um exemplo de aplicação das técnicas SED e DOE em um projeto cujo sistema real ainda não existe, observando quais serão as ações e contramedidas para que seja possível a construção do modelo, definições dos parâmetros de dados de entrada e análise para auxiliar no planejamento de expansão da empresa.

## 1.4. Justificativa e motivação da pesquisa

Do ponto de vista de mercado, dois pontos valem ser mencionados: a preocupação das fabricantes de aeronaves em reduzir o tempo de resposta às demandas, ou seja, o período desde a confirmação do pedido até a entrega da aeronave; e a capacidade das fabricantes em entregarem projetos novos e renovar seu portfólio, oferecendo produtos que exijam menores custos de manutenção, menor consumo de combustível e melhor desempenho em voo.

Corroborando esta questão dos custos, o Anuário do Transporte Aéreo de 2013 da ANAC aponta aumento de 6% de 2012 para 2013, destacando os principais itens que afetam esta alta nos custos como sendo, o combustível e manutenção de aeronaves, primeiro e segundo itens desta lista consecutivamente. Custo com tripulação vem apenas em terceiro lugar. Ou seja, o fabricante que entregar mais rapidamente às operadoras aéreas uma aeronave com melhor desempenho e que fique o menor tempo possível em solo devido à manutenção, estará um passo à frente de seus concorrentes.

Do ponto de vista industrial, a empresa tem a oportunidade de reduzir drasticamente os custos de desenvolvimento de um sistema ainda não existente quando utiliza a simulação (BLOOMFIELD *et al.*, 2012).

Dombrowskia e Ernst (2013) apontam que a adoção da simulação pode reduzir em até 30% o tempo para o mercado (*time to market*), ou seja, grifando novamente um dos pontos mencionados no primeiro parágrafo desta seção. Outro benefício mostrado pelos mesmos autores é a redução de 15% na média dos custos relacionados às mudanças e alterações do processo ou *layout*.

Vale lembrar a importância deste projeto de ampliação para a competitividade e sustentabilidade da empresa, além do alto valor investido. Ressaltando que este trabalho focará em uma parte desta ampliação, não no projeto todo. Outro fator que motiva este trabalho é o fato da Embraer ser a terceira maior fabricante no seu ramo e que concluiu 2014 com uma receita líquida superior a seis bilhões de dólares, de acordo com o seu site institucional. Não à toa ela fechou o ano de 2014 como a empresa líder em *market share*, considerando os pedidos firmes e entregues, no mercado de jatos comerciais de 70 a 130 assentos, como mostra a Figura 1.2.

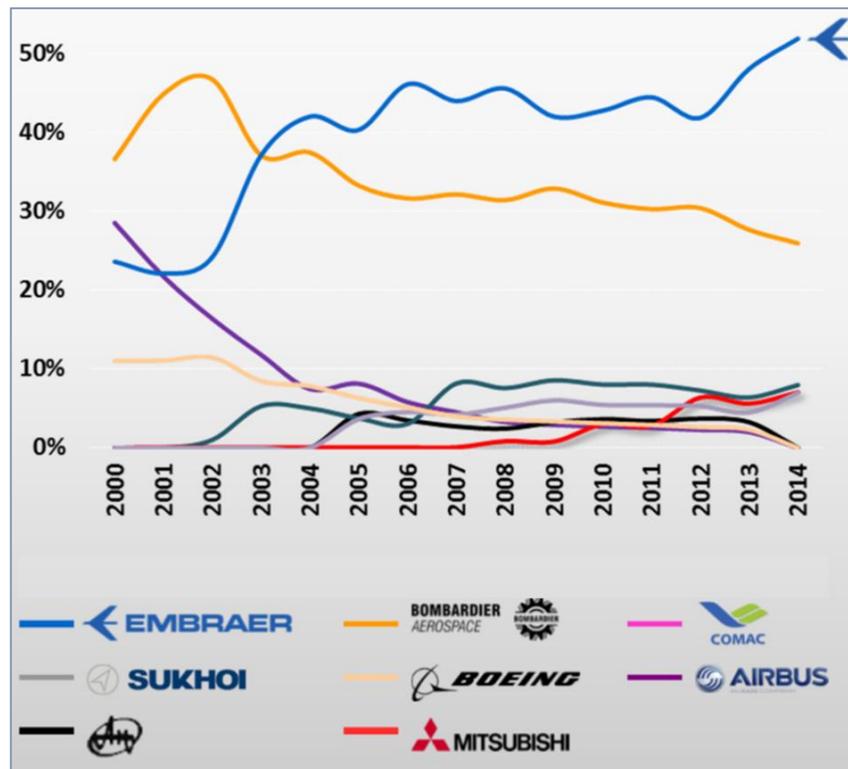


Figura 1.2 Evolução do *market share* - pedidos firmes e entregas  
 Fonte: <http://ri.embraer.com.br/> (relações com investidores)

Uma análise bibliométrica feita em maio de 2015 na página da *Scopus* considerando o que foi publicado nos últimos 15 anos revela mais sobre os principais termos presentes neste trabalho: simulação a eventos discretos, planejamento de experimentos e indústria aeroespacial. Os três termos foram pesquisados isoladamente em um primeiro momento, depois combinados entre si (em pares) e, por último, combinados os três. Nesta última análise, nenhum artigo foi encontrado nesta base de dados.

Percebe-se na Figura 1.3 que houve um aumento significativo na quantidade de artigos produzidos e publicados desde 2000 com essas palavras chaves. Essa informação está representada pela linha azul e seus valores pelas caixas cinzas acima do gráfico de barras. Algumas conclusões a partir da análise do gráfico:

- Em abril de 2015 já haviam mais artigos publicados que os três primeiros anos de análise;
- Desde 2012 a quantidade de artigos ultrapassa três mil;
- Salvo um pico aos arredores do ano 2005 nas publicações com palavra-chave “*aerospace industry*”, DOE foi o tema mais publicado;
- “*Discrete event simulation*” mantém uma porcentagem próxima de 30% do total de publicações com os termos buscados.

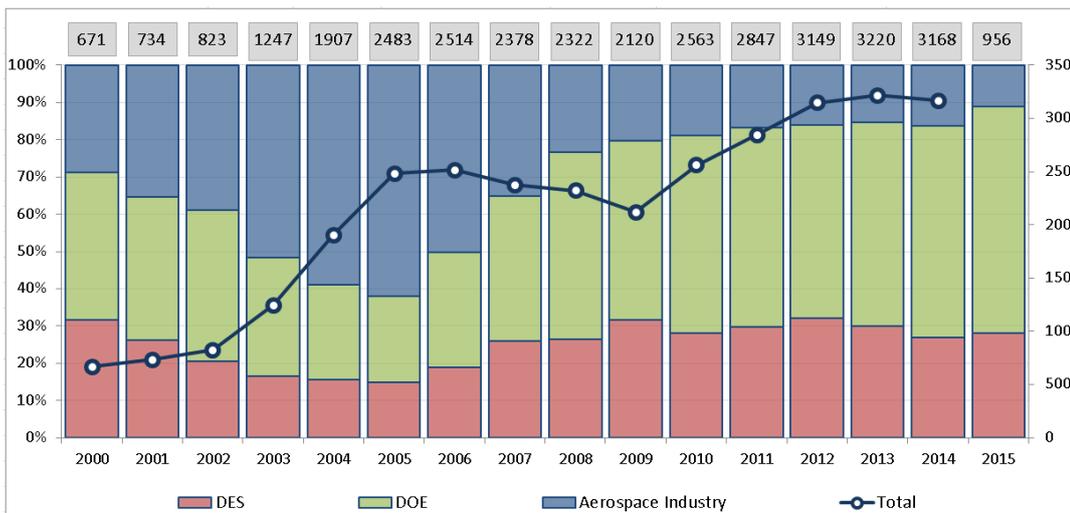


Figura 1.3 Artigos publicados com as palavras-chaves desde 2000.

Fonte: Adaptado de <http://www.scopus.com/home.url>.

A Figura 1.4 apresenta os mesmos artigos analisados no gráfico acima, porém relacionando-os com o seu país. A seguir, algumas conclusões a partir da análise do gráfico:

- 20 países são responsáveis por 84% de toda publicação com esses termos neste período pesquisado;
- Só os Estados Unidos representam 25%, ou seja, 8.264 artigos;
- O Brasil está em 12º colocado, com 658 publicações onde, um pouco mais da metade é com o termo “*design of experiments*”;
- 16% dos artigos estão distribuídos entre outros 116 países.

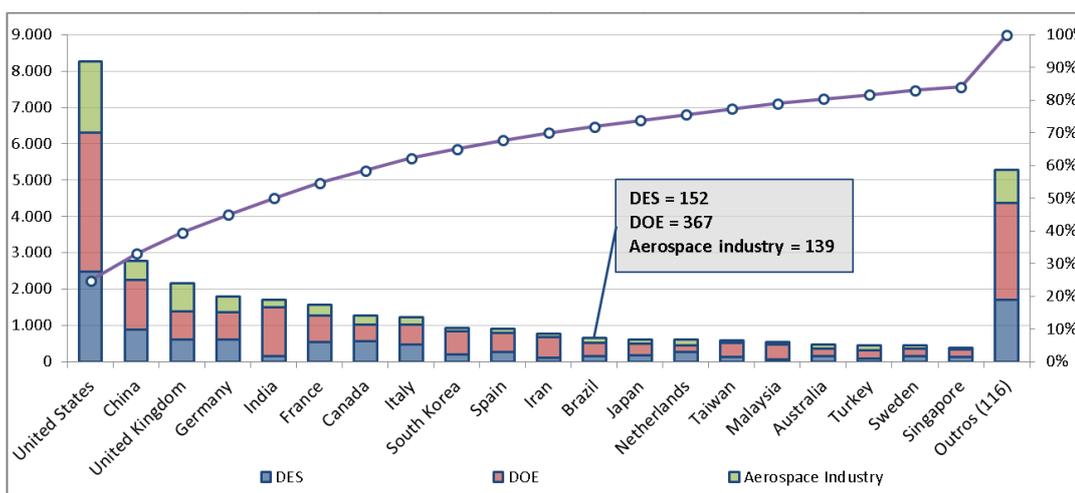


Figura 1.4 Artigos publicados com as palavras-chaves combinadas desde 2000 por país.

Fonte: Adaptado de <http://www.scopus.com/home.url>.

As duas próximas figuras apresentam uma mesma análise dos artigos, porém com os termos combinados entre si.

- Quando analisados individualmente, os termos apresentam um aumento na quantidade de publicações (caixa cinza acima do gráfico de barras), porém para os termos combinados em pares o cenário é o oposto, observe a linha azul em ambos os gráficos;
- DOE e SED são termos que possuem publicações todos os anos, independente da combinação dos termos;
- Há dois anos que não são publicados artigos com as combinações que apresentam “aerospace industry” na busca, 2007 e 2011;
- Há um crescimento na representatividade dos Estados Unidos, chegando a 33% das publicações totais;
- O Brasil salta para 6ª posição, com 6 artigos.

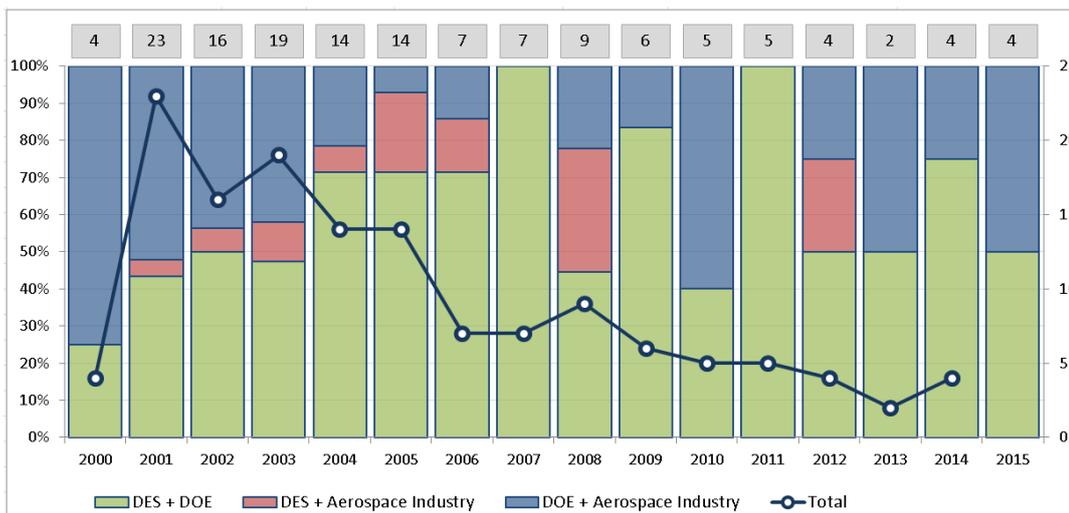


Figura 1.5 Artigos publicados com as palavras-chave combinadas desde 2000.

Fonte: Adaptado de <http://www.scopus.com/home.url>.

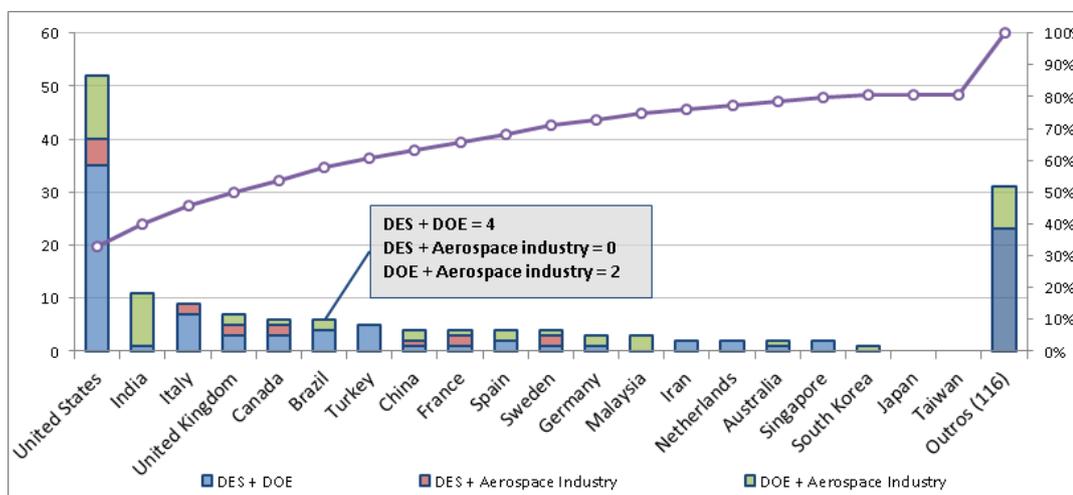


Figura 1.6 Artigos publicados com as palavras-chave combinadas desde 2000 por país.

Fonte: Adaptado de <http://www.scopus.com/home.url>.

Uma outra análise bibliométrica foi feita apenas com artigos que combinavam a aplicação das técnicas SED e DOE no período de 2001 a 2015 (Figura 1.7). Dos 24 artigos selecionados, nos quais foram possíveis identificar as informações necessárias:

- Nenhum utilizou o software SIMUL8® para construção do modelo computacional;
- Nenhum aplicou na área de indústria aeronáutica;
- Todos possuíam o sistema real fisicamente para poder fazer a validação estatística do modelo.

Referências	Software	Área de aplicação
Dabbas et al. (2001)	ManSim/X	Manufatura de semicondutores
Dessouky e Bayer (2002)	ProModel	Construtora
Tsai (2002)	Arena	Laminadora de aço
Cabrera-Rios, Mount-Campbell e Irani (2002)	Arena	Indústria de transporte
Yang, Kuo e Chou (2005)	Arena	Encapsulamento de circuitos integrados
Kleijnen et al. (2005)	MANA	Operações de ações humanitárias
Meade, Kumar e Houshyar (2006)	ProModel	Planejamento de produção e sistema de rastreamento de inventário.
Wan, Ankenman e Nelson (2006)	Simlib	Manufatura de semicondutores
Abdulmalek e Rajgopal (2007)	Arena	Usina siderúrgica
Sandanayake, Oduoza e Proverbs (2008)	Promodel	Manufatura de componentes automotivos
Ekren e Ornek (2008)	Arena	Modelo teórico
Gharbi, Pellerin e Sadr (2008)	SLAM	Manutenção e reparos
Longo e Mirabelli (2008)	eM-Plant	Cadeia de suprimentos
Mattila, Virtanen e Raivio (2008)	Arena	Força aérea finlandesa
Longo (2010)	Anylogic	Terminal de container em portos
Mahfouz, Hassan e Arisha (2010)	Java + XML	Manufatura de cabo de par trançado
Ekren et al. (2010)	Arena	Armazém de veículos
Can e Heavey (2011)	Plant Simulation	Manufatura de semicondutores
Amiri e Mohtashami (2012)	Matlab	Dimensionamento de buffer
Miranda (2012)	Promodel	Setor automobilístico, hospital e telecomunicações
Bevilacqua et al. (2013)	Arena	Indústria têxtil
Longo, Huerta e Nicoletti (2013)	Anylogic	Porto marítimo
Elleuch, Hachicha e Chabchoub (2014)	Arena	Farmácia hospitalar
Baril, Gascon e Cartier (2014)	Arena	Clínica ortopédica

Figura 1.7 Artigos pesquisados que combinam DOE e SED.

## 1.5. Condições de contorno da pesquisa

O presente trabalho não pretende apresentar ou desenvolver uma metodologia para aplicação de simulação a eventos discretos combinada com planejamento de experimentos para planejamento de uma área nova, mas mostrar a importância da aplicação dessas duas ferramentas consagradas nos problemas práticos enfrentados por uma empresa. Seja pela SED e sua facilidade para modelar e explicar os sistemas nos momentos de reuniões e discussões com responsáveis pelo projeto seja pela solidez na seleção das melhores alternativas pelas análises estatísticas do DOE.

## 1.6. Estrutura do trabalho

Ao todo, esta dissertação é composta por cinco capítulos, cujo primeiro finda nesta seção tendo apresentado uma breve contextualização do tema do ponto de vista de mercado e das ferramentas que foram utilizadas durante sua elaboração. A motivação e o problema também foram expostos, bem como os objetivos e resultados esperados na conclusão.

No capítulo dois é explicado o método de pesquisa escolhido para conduzir este trabalho, a justificativa da classificação desta pesquisa como quantitativa empírica descritiva e também as etapas propostas por uma metodologia de projeto em simulação a eventos discretos.

O capítulo seguinte apresenta a base teórica fundamentada em periódicos, livros e artigos de congresso nos principais conceitos aqui utilizados: a simulação a eventos discretos, como principal foco da dissertação; planejamento de experimentos; e o IDEF-SIM, técnica usada para elaboração do modelo conceitual do sistema. Aqui é apresentado um breve histórico sobre a SED, é detalhada a explicação sobre as etapas que um projeto de SED deve ter, bem como suas vantagens e desvantagens.

No quarto capítulo é desenvolvida toda a aplicação da metodologia (proposta no capítulo dois) no problema contextualizado neste primeiro capítulo. O escopo do projeto é descrito de tal forma a deixar claro quais são seus limites e objetivos, apontando quais dados de entrada devem ser considerados para construção do modelo computacional. Um trabalho extenso de verificação do modelo computacional também é mostrado, já que, por não existir ainda o modelo real, não é possível validar estatisticamente o modelo, sendo esta validação feita apenas de forma subjetiva.

Ainda no capítulo quatro são executados os experimentos e, de acordo com as análises das respostas da primeira e segunda rodada, são definidos os níveis com que os fatores devem ter, conduzido o planejamento de experimentos e gerado, após alterações, as recomendações para o projeto.

O quinto e último capítulo fecha-se após as conclusões da dissertação e sugestões para trabalhos futuros. São retomados os objetivos propostos no capítulo inicial, verificando se os objetivos encontrados são condizentes.

## 2. MÉTODO DE PESQUISA

### 2.1. Considerações iniciais

Este capítulo começa tratando do método quantitativo escolhido nesta dissertação. Dando sequência, a classificação da pesquisa é apresentada e o capítulo é concluído demonstrando as etapas propostas da metodologia para modelagem e simulação.

### 2.2. Método de pesquisa quantitativo: modelagem e simulação

Existem quatro tipos de métodos de pesquisa mais adequados para condução de pesquisas quantitativas na engenharia de produção (MARTINS, 2010), sendo elas:

- Pesquisa Levantamento (*Survey*);
- Experimentação;
- Quase-Experimento;
- Modelagem e Simulação.

Segundo os autores Morabito e Pureza (2010), o fato das funções estudadas durante a pesquisa modificarem de forma específica quando há alterações nas suas variáveis é o que determina o uso e referência do termo quantitativo.

O grande objetivo de uma pesquisa quantitativa é, justamente, construir modelos inteligíveis que descrevam parte ou por completo o modelo encontrado na vida real e seu comportamento (BERTRAND e FRANSOO, 2002).

Os autores Morabito e Pureza (2010) são mais específicos em sua sentença e dizem que modelos com linguagem computacional, como a simulação, são um exemplo de modelos quantitativos e utilizados para avaliar a influência das diferentes possibilidades no sistema.

De acordo com Martins (2010), no método de pesquisa modelagem e simulação “o pesquisador manipula as variáveis e seus níveis, mas não na realidade”.

Greasley (2008), por exemplo, utiliza a simulação a eventos discretos na sua pesquisa para estimar a área de estoque para uma fábrica de manufatura têxtil e complementa que ela é mais do que uma ferramenta de análise quantitativa de resultados e se mostrou importante também como ferramenta de discussão entre os gerentes do projeto, facilitando discussões acerca do funcionamento do modelo, suas premissas e hipóteses.

Dombrowskia e Ernst (2013) apresenta uma aplicação da simulação na geração de diferentes cenários de *layout* fabril antes que essa planta esteja construída, ou seja, ainda no momento de seu planejamento, e aponta vantagens como: redução de até 30% do *time-to-market* (tempo que o produto demora a chegar ao mercado desde sua concepção); redução média de 15% nos custos relacionados com mudanças e alterações; além de economia nos investimentos e da maturidade ao final do projeto.

### 2.3. Classificação da pesquisa

Assim como Martins (2010) enumerou os tipos de pesquisa quantitativa para a engenharia de produção, Bertrand e Fransoo (2002) classificaram em quatro diferentes tipos o método quantitativo modelagem e simulação, vistos abaixo na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 Classificação das metodologias de pesquisa quantitativa modelagem e simulação

	Normativa	Descritiva
Axiomática	Preocupada em desenvolver políticas, estratégias e ações para melhorar os resultados disponíveis na literatura existente.	Primariamente interessadas em analisar o modelo, que conduz ao entendimento e explicação das características do mesmo.
Empírica	Há o interesse em desenvolver políticas, estratégias ou ações para melhorar um sistema real corrente.	Pesquisadores estão interessados em criar um modelo que adequadamente descreve relações causais que podem existir na realidade, conduz ao entendimento dos processos atuais.

Enquanto pesquisas axiomáticas partem de suposições (axiomas) sobre o comportamento de algumas variáveis para gerar conhecimento sobre outras dentro do mesmo modelo, as pesquisas empíricas são orientadas por resultados e medidas empíricas, onde os resultados teóricos são aplicados em modelos reais.

Nesta dissertação a pesquisa é classificada como empírica descritiva. Empírica porque testam hipóteses que dizem respeito a relações de causa e efeito, há manipulação de variáveis independentes e há interesse em melhorar um sistema que será real. E descritiva porque busca resolução de problemas melhorando as práticas por meio da observação, análise e descrições objetivas com participação de peritos que também validam o conteúdo (THOMAS, NELSON, SILVERMAN, 2007).

## 2.4. Etapas de uma pesquisa de modelagem e simulação

Em um ponto os autores Chwif e Medina (2015) e Montevechi *et al.* (2010) concordam, há três etapas principais em um projeto de simulação a eventos discretos: concepção, implementação e análise.

Os primeiros autores mencionados apresentam uma proposta em que a sequência é não linear, mas como auto alimentação onde a Figura 2.1 deve ser vista como um espiral, até que entre uma interação e outra não haja mais diferenças.

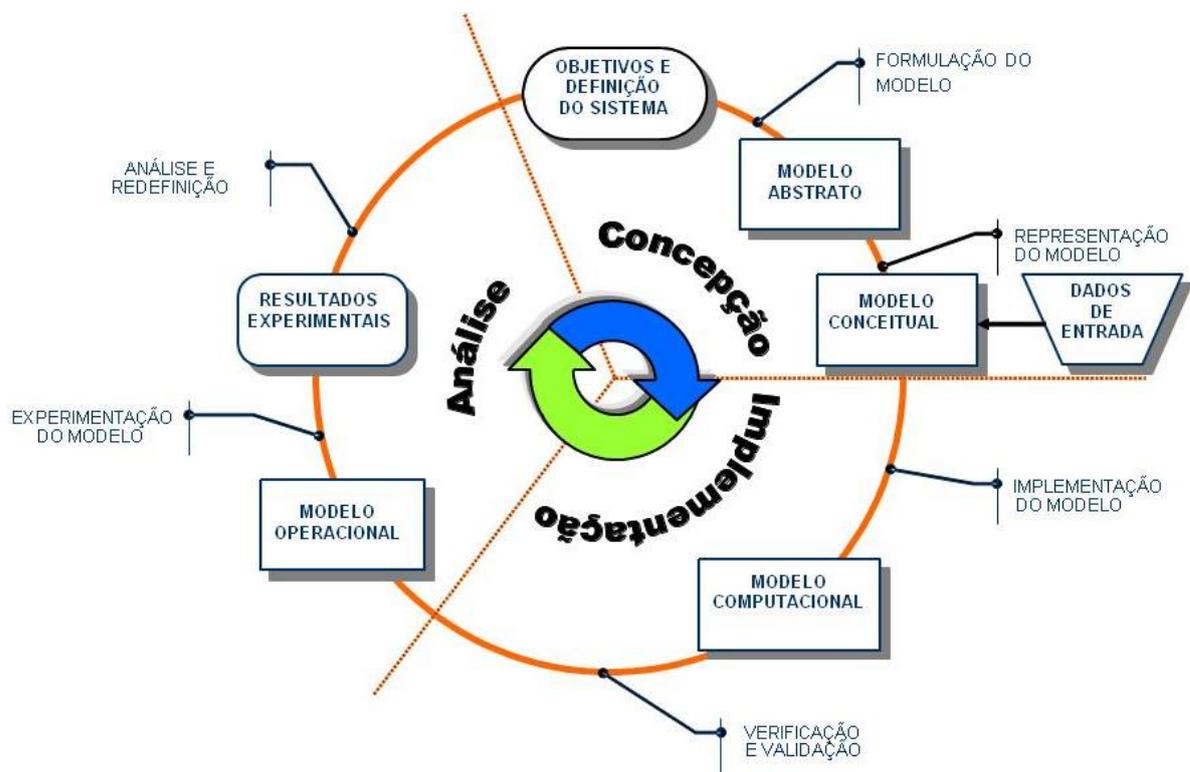


Figura 2.1 Etapas de um projeto de simulação  
Fonte: Chwif e Medina (2015)

Já Montevechi *et al.* (2010) propõem um fluxograma (Figura 2.2) descrevendo passo a passo toda lógica que deve ser conduzida para um projeto de simulação, incluindo as informações que são geradas e os modelos que são criados.

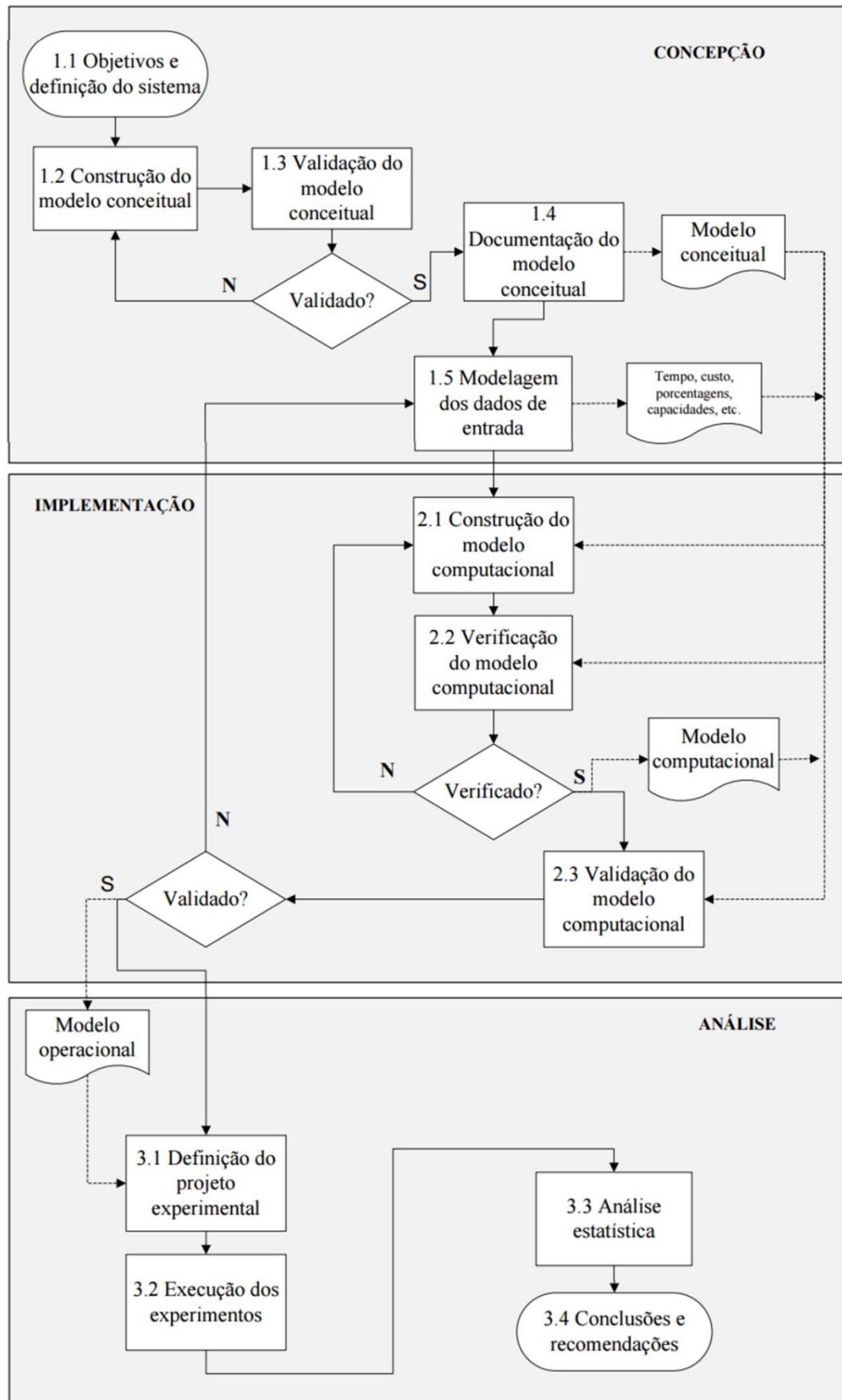


Figura 2.2 Metodologia para projeto de simulação  
 Fonte: Montevechi *et al.* (2010)

O projeto deve iniciar com a elaboração do seu escopo, respondendo às questões como: objetivos da criação deste modelo; o nível de detalhamento que o modelo deve ter; as hipóteses que serão consideradas; os limites do projeto, ou seja, a partir de onde e até que ponto do sistema real deve ser criado um modelo a ser analisado. As respostas dessas questões indicarão quais as variáveis que deverão ser consideradas para a coleta de dados. É importante lembrar que não há uma resposta certa, nem padrão, para essas questões, valendo-se de uma atenção especial do analista e responsável do projeto (CHWIF e MEDINA, 2015).

Os mesmos autores fazem uma observação perspicaz dizendo que o segredo para fazer um projeto bem-sucedido, ou um grande fracasso, não está nos *softwares* ou *hardwares* selecionados, mas sim no “*humanware*”, ou seja, o responsável do projeto e as pessoas envolvidas.

Após o modelo conceitual criado ele deve ser validado junto aos especialistas do processo. Neste ponto já estão definidas as variáveis e então a coleta de dados deve ser feita e posteriormente os dados ajustados a uma distribuição de probabilidade que os representem. No caso do projeto desta dissertação há uma peculiaridade: o projeto de simulação será justamente para auxiliar na elaboração do sistema real, ou seja, ele ainda não existe, portanto não há dados a serem coletados. Nesta situação as bases para os dados de entrada serão:

- Informações dos responsáveis da área de Planejamento e Controle de Produção (PCP) da empresa;
- Informações dos engenheiros responsáveis pelo projeto de expansão;
- Dados dos fabricantes dos equipamentos que serão utilizados no projeto.

Com o modelo computacional criado, dados coletados e ambos validados, deve-se prosseguir para a fase de implementação, onde o modelo conceitual será traduzido para uma linguagem de programação por meio de um *software* comercial e o produto final desta fase deverá ser um modelo computacional validado e verificado que atenda o que foi determinado na etapa anterior, a concepção. Importante que seja esclarecido a diferença entre os dois termos e para isso basta interpretar as seguintes perguntas:

- 1) “Será que estamos desenvolvendo corretamente o modelo?”
- 2) “Será que estamos desenvolvendo o modelo correto?”

A primeira pergunta está ligada à verificação do modelo e consiste em comprovar que o modelo conceitual foi traduzido corretamente para o modelo computacional. Já a segunda está ligada à validação e questiona se o modelo é ou não uma boa representação do modelo real (CHWIF e MEDINA, 2015). Percebe-se que, é possível ter um modelo verificado, ou seja, que

o modelo computacional represente com fidelidade o modelo conceitual, porém que não seja validado, em outras palavras, o modelo computacional não representa satisfatoriamente o modelo real. Até por isso, no fluxograma sugerido por Montevechi *et al.* (2010) o passo da validação (2.3) vem depois da verificação (2.2), e é sugerido justamente voltar à concepção do projeto quando não ocorre a validação do modelo computacional, pois uma vez que ele não representa o modelo real, foi algum erro ou na coleta e modelagem dos dados ou na definição do processo.

Na última etapa, o modelo já está pronto para realização de experimentos e o modelo computacional torna-se modelo operacional. Várias rodadas são executadas e os resultados comparados, analisados e documentados, podendo desta forma tirar conclusões e gerar sugestões para os objetivos traçados na concepção. É nesta fase que a técnica DOE será aplicada no projeto, enriquecendo a análise, os resultados e conclusões do modelo.

Com o intuito de facilitar e enriquecer o desenvolvimento do projeto de simulação, serão empregadas outras duas técnicas em momentos distintos do fluxograma. Durante a construção do modelo conceitual será utilizada a técnica IDEF-SIM proposta por Leal, Almeida e Montevechi (2008) que auxiliará na “tradução” do modelo conceitual para o computacional, por utilizar elementos que facilitam a identidade lógica, e contribuirá também no entendimento do fluxo do sistema estudado. Outra técnica que agregará valor ao estudo será o planejamento de experimentos, ou como é conhecida: DOE (*Design of Experiments*), porém na fase de análise auxiliando as escolhas das variáveis que mais impactam as saídas escolhidas do sistema. Ambas as técnicas serão revisitadas mais à frente no próximo capítulo, fundamentação teórica.

O software de simulação escolhido para a construção do modelo computacional será o SIMUL8®, cuja lógica, como apresentada por Mendonça *et al.* (2013), adaptou-se muito bem à técnica IDEF-SIM no momento de conversão do modelo conceitual para o computacional. Além desse motivo, o *software* também possui uma boa interface com planilhas do Excel, de onde veio boa parte da informação; possibilita inclusão de informações de custos e receitas; permite utilização de várias distribuições estatísticas e biblioteca gráfica bem ampla. Uma outra vantagem presente a partir da versão 2012 do SIMUL8® é a ferramenta de construção de cenários, onde é possível parametrizar os níveis de variáveis para diferentes cenários e processar tudo de uma vez, facilitando, por exemplo, a interação com a técnica DOE.

Para deixar mais claro e visual, veja na Figura 2.3 Metodologia para projeto de simulação, IDEF-SIM, DOE e SIMUL8® abaixo a metodologia de projeto de simulação com as técnicas mencionadas anteriormente.

Kelton, Sadowski e Sturrock (2007) afirmam que “a simulação é muito mais que apenas construir um modelo e conduzir experimentos estatísticos. Há muito mais a ser aprendido em cada passo de um projeto de simulação e as decisões que são tomadas ao longo do projeto podem afetar a significância dos resultados”.

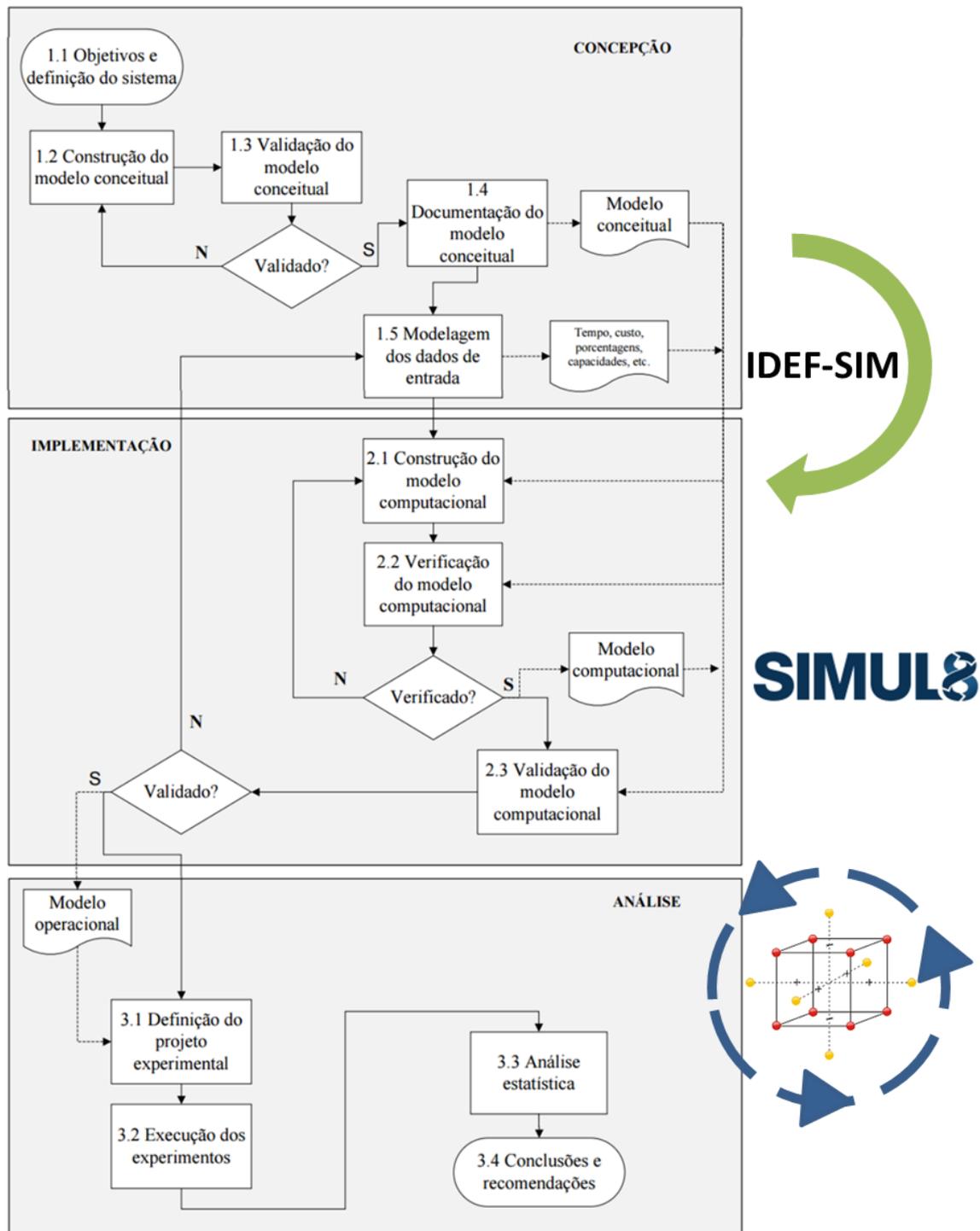


Figura 2.3 Metodologia para projeto de simulação, IDEF-SIM, DOE e SIMUL8®.  
(Adaptado de Montevechi *et al.*, 2010)

## 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 3.1. Considerações iniciais

A proposta deste capítulo é esclarecer sobre as principais ferramentas que serão utilizadas nesta dissertação, embasando os conceitos em artigos e livros das respectivas áreas. Os temas aqui abordados serão: a técnica de modelagem conceitual IDEF-SIM; a técnica de planejamento de experimentos (DOE) para determinar quais variáveis exercem maior influência no desempenho do processo e simulação a eventos discretos.

O último tema, simulação, como apresentado no capítulo anterior é o tema que está ligado tanto ao método de pesquisa quanto à metodologia escolhidos, portanto será a técnica mais explorada neste capítulo contemplando brevemente seu histórico, conceitos, classificações, vantagens, desvantagens e principais etapas.

### 3.2. Simulação a eventos discretos

#### 3.2.1. Histórico

De acordo com Akera (2002), a partir da década de 40, impulsionada pelas necessidades de um período marcado pela guerra, a necessidade por modelagem e simulação motivou o desenvolvimento da computação. Assim como, em geral, a disciplina de pesquisa operacional, que tem este nome não à toa, pois deriva de comandos operacionais militares, grupo este que estava responsável para as resoluções de problemas de natureza logística e tática e era composta por cientistas multidisciplinares.

Desde então, a cada evolução da computação, novos avanços na simulação podiam ser percebidos, atraindo o interesse de mais pesquisadores (JENKINS e RICE, 2009).

Nance (1995) apresenta uma classificação da história da simulação do ponto de vista da tecnologia e linguagem de programação considerando os anos de 1955 até 1986 e dividindo-os em cinco períodos. Mais recentemente, Banks *et al.* (2009) incluem mais dois períodos, abrangendo até os dias atuais. A seguir podem ser vistas essas classificações históricas:

- **O período da busca - de 1955 até 1960:** a simulação utilizava linguagens que não possuíam rotinas específicas e tinham propósitos gerais de aplicação, dentre elas *FORTRAN*<sup>®</sup>. O grande esforço neste período foi no desenvolvimento de rotinas que pudessem ser reutilizadas em vários tipos de aplicações (GAVIRA, 2003). A primeira linguagem que se assemelhava a um fluxograma, baseada em diagramas de blocos, e considerada como primeiro simulador foi a *General Simulation*

*Program*<sup>®</sup> (GSP) (JENKINS e RICE, 2009). Mas ainda era de uso muito restrito devido aos altos custos envolvidos (BANKS, 2001);

- **O advento - de 1961 até 1965:** pacotes baseados em *FORTRAN*<sup>®</sup> já possuíam rotinas específicas e símbolos de diagrama de fluxo, facilitando a elaboração dos modelos computacionais (PIDD, 2004);
- **O período da formação - de 1966 até 1970:** conceitos foram revistos e começam a se aproximar dos objetos reais. Além disso, as linguagens de programação também ganham mais maturidade, fazendo com que esses *softwares* sejam cada vez mais utilizados (BANKS, 2001);
- **O período da expansão - de 1971 até 1978:** as linguagens de programação tornam-se mais amplas e passam a abranger diversas possibilidades, sendo, desta forma, exploradas pelas indústrias de grande porte (BANKS, 2001);
- **O período da consolidação e da regeneração - de 1979 até 1986:** é neste período que as linguagens de programação foram adaptadas para que pudessem ser utilizadas nos microcomputadores e adquirem a capacidade de serem executadas em vários computadores simultaneamente, ganhando desempenho (SCHNEIDER, 2004);
- **O período de integração de ambientes - de 1987 até 2008:** as interfaces gráficas são aprimoradas, animações e ferramentas de visualização são incorporadas aos *softwares* e há crescimento na utilização em computadores pessoais (SCHNEIDER, 2004);
- **O futuro - de 2009 até hoje:** novas possibilidades para simulação são exploradas, os gráficos ficam cada vez mais próximos à realidade e a interface cada vez mais intuitiva e amigável. As análises estatísticas e integração com outros sistemas facilitam as interpretações do modelo e tomadas de decisão.

### 3.2.2. Introdução à simulação

A simulação é a imitação de um processo ou sistema real, onde se cria uma história artificial para ser observada e tirar conclusões de sua operação do sistema a qual representa (BANKS, 1998).

Para Chwif e Medina (2015), existem três tipos de modelos de simulação: Monte Carlo, contínua e de eventos discretos; e ressaltam que a simulação a eventos discretos é capaz de

capturar a natureza dinâmica e aleatória de um modelo real com mais precisão e reproduzir em um computador o mesmo comportamento.

Enquanto na simulação de Monte Carlo o tempo não é uma variável levada em consideração (MOONEY, 1997), na simulação contínua e de eventos discretos já o consideram, porém de formas distintas: como o próprio nome sugere na contínua o estado do modelo muda continuamente com o passar do tempo; e na de eventos discretos o modelo altera-se em períodos determinados no tempo (LAW, 2007). Essas definições serão vistas novamente e melhores exemplificadas mais a frente ao abordar as formas de classificação de uma simulação.

Law e Kelton (2000) descrevem a simulação a eventos discretos como sendo uma modelagem de um sistema por meio de uma representação cujas variáveis alteram seu estado instantaneamente em pontos distintos no tempo a partir da ocorrência de eventos. Os mesmos autores complementam dizendo que é um modelo desenvolvido em computador que imita um sistema real, tornando possível a realização de experimentos para avaliação e melhoria do desempenho do sistema estudado sem interferir no modelo real.

De acordo com Harrel, Gosh e Bowden (2004), um modelo de simulação é composto por basicamente quatro elementos:

- **Entidades:** itens processados ao longo do sistema, como produtos, clientes e documentos;
- **Atividades:** tarefas que são executadas no sistema envolvidas direta ou indiretamente no processamento de entidades;
- **Recursos:** meios pelos quais as atividades são realizadas, como instalações, equipamentos e pessoas;
- **Controle:** parâmetros que ditam como, quando e onde as atividades são realizadas. São as regras do sistema.

Além desses quatro elementos, Chwif e Medina (2015) ainda incluem mais três: filas, entradas e saídas; e exemplificam suas aplicações dizendo que “**entidades chegam** ao sistema, esperam ou ficam armazenadas em **filas**, são processadas em **atividades** (que podem utilizar **recursos**) e depois **saem** do sistema”.

Quanto suas áreas de aplicação, esses mesmos autores as dividem em dois grandes setores:

- **Manufatura:** linhas de montagem, sistemas de movimentação e armazenagem de materiais, problemas de programação da produção, análise de estoques, etc.;

- **Serviços:** portos e aeroportos, bancos, *call centers*, hospitais, parque de diversões, restaurantes, supermercados, etc.

Um modelo de simulação pode ser classificado:

a) **Quanto ao tempo**

- **Estático:** o tempo não é considerado (simulação de Monte Carlo);
- **Dinâmico:** sistemas que alteram seu estado ao longo do tempo.

b) **Quanto ao tempo de execução**

- **Terminal:** a simulação possui um período exato de funcionamento e deseja considerar essa influência de início e término do sistema. Por exemplo: restaurantes e bancos;
- **Não terminal:** não possui um tempo exato para terminar e só há interesse em estudar o sistema em regime permanente. Por exemplo: uma montagem que opera 24 horas por dia, 7 dias por semana.

c) **Quanto a sua aleatoriedade**

- **Determinístico:** os valores considerados são constantes;
- **Estocástico:** os valores de entrada do modelo são aleatórios e seguem uma distribuição de probabilidade. Veja na Figura 3.1.

d) **Quanto ao estado de mudança**

- **Contínuo:** quando o estado do sistema muda continuamente no tempo, veja na Figura 3.2;
- **Eventos discretos:** o estado se altera a partir da ocorrência de um evento no decorrer do tempo.

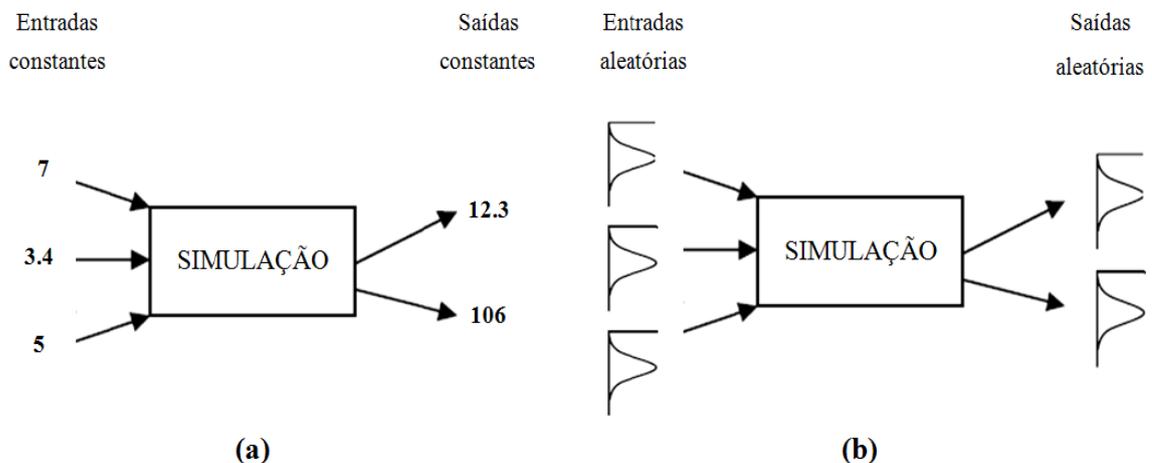


Figura 3.1 Modelos determinísticos (a) e estocásticos (b).  
Fonte: Adaptado de Harrell, Ghosh e Bowden, 2004.

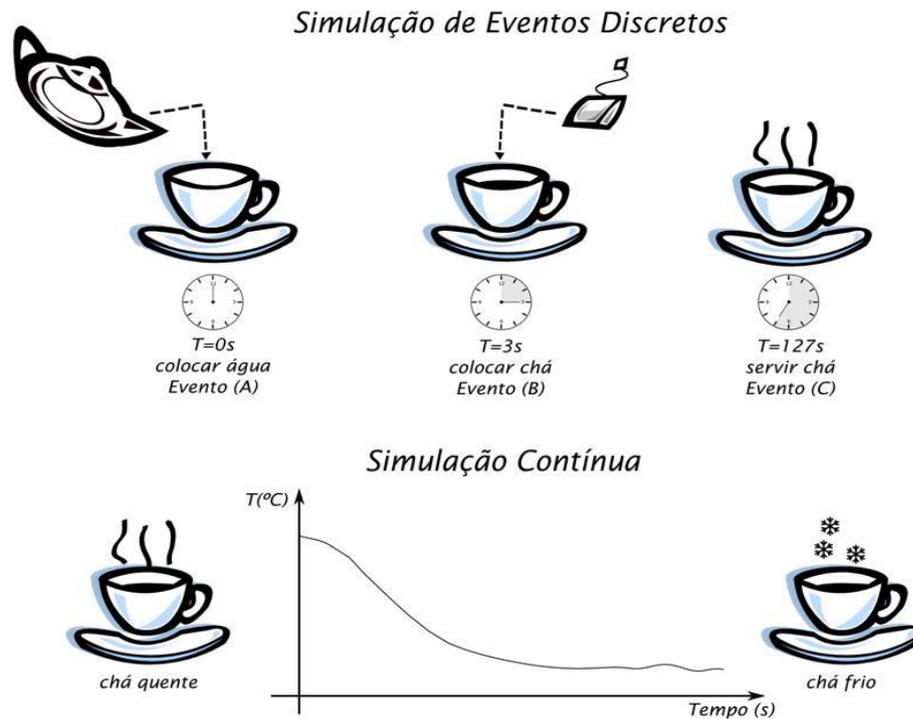


Figura 3.2 Evolução dos estados de mudança de uma simulação.

Fonte: Chwif e Medina, 2015

O modelo analisado nesta dissertação pode ser classificado como dinâmico, a eventos discretos, não terminal e estocástico.

Apesar da capacidade de trabalhar com grande quantidade de dados e complexidade, não se deve pôr de lado o fato de que todo modelo é uma abstração da realidade e que não há uma resposta quanto ao nível “ideal” de simplificação de um modelo. Para Banks *et al.* (2005), “a construção de modelos envolve tanto arte quanto ciência”.

Antoine de Saint-Exupéry, autor do livro “O pequeno príncipe”, diz que “a perfeição é alcançada, não quando não há mais nada para acrescentar, mas quando não há mais nada para retirar”.

### 3.2.3. Vantagens e desvantagens

Segundo Law e Kelton (2000) as vantagens ao utilizar a simulação a eventos discretos são as seguintes:

- Permite replicar de forma precisa os experimentos e testar diferentes alternativas para o sistema;
- Os controles sobre as condições experimentais são melhores que no sistema real, possibilitando várias replicações;
- Capaz de simular longos períodos com rapidez;

- É mais econômica que testar no sistema real, pois evita gastos desnecessários com equipamentos superdimensionados.

Ainda sobre as vantagens, Shannon (1998) acrescenta:

- Possibilidade de testar diferentes leiautes sem a necessidade de interferir no processo e comprometer tempo e recursos;
- Possibilita explorar políticas de alocação de recursos, políticas de estoque, procedimentos operacionais, fluxo de informação, procedimentos, sem interrupção do sistema real;
- Permite identificar gargalos nos fluxos de material e produto;
- A animação ajuda a comunicar aos clientes as mudanças ocorridas da implementação de um novo projeto.

Métodos tradicionais, como modelos matemáticos e analíticos, não são adequados para entendimento de sistemas com diversas operações discretas, com comportamentos não lineares, ocorrendo aleatoriamente, como uma manufatura.

Outra vantagem, como já mencionado na justificativa (seção 1.4) deste trabalho, simular o comportamento de sistemas que ainda não existem reduz o custo do seu desenvolvimento.

Law e Kelton (2000), porém, alertam também para alguns pontos de atenção e limitações ao escolher este caminho:

- A construção do modelo computacional requer treinamento específico em um *software* e linguagem de programação;
- Os resultados podem ser difíceis de serem interpretados;
- A modelagem e análise por simulação, por vezes, podem ser demoradas e caras;
- A validação do modelo é obrigatória, por mais realista que a animação seja;
- Para cada simulação de um modelo estocástico são produzidas somente estimativas das verdadeiras características do modelo para um conjunto de dados de entrada específico.

Carson (2004) acrescenta:

- Algumas vezes não há tempo suficiente para executar um projeto preciso e seguro antes do momento da tomada de decisão;
- A possibilidade dos dados não estarem disponíveis ou serem caros para obter.

### 3.2.4. Concepção

Como visto na seção 2.4, há três principais etapas em um projeto de simulação: concepção, implementação e análise.

A conceituação do projeto, delimitação da abrangência do sistema, definição do(s) objetivo(s) da pesquisa, profundidade do seu escopo e seu nível de detalhamento, tudo faz parte deste primeiro passo, a concepção (ROBINSON, 2008). Leal (2008) afirma que esta é uma etapa vital para o sucesso do projeto.

Chwif e Medina (2015) afirmam que modelagem conceitual é a parte mais difícil do processo de desenvolvimento e uso de modelos de simulação. Robinson (2006) complementa ressaltando a importância desta fase no decorrer do restante do projeto, pois ela influenciará na:

- Definição dos dados de entrada do modelo;
- Velocidade do desenvolvimento do modelo computacional;
- Validação do modelo;
- Confiança que será colocada nos resultados do modelo.

Tendo construído todo o escopo do projeto e validado junto aos responsáveis, o próprio modelo conceitual guiará na determinação das variáveis de entrada e saída do modelo. Lembrando que a essência da arte de modelar é a abstração e a simplificação (SHANNON, 1998).

Definida as variáveis de entrada, é necessário coletá-las e ajustá-las à uma distribuição de probabilidade que será usada pelo modelo computacional para reproduzir o comportamento aleatório do fenômeno. Montevechi, Miranda e Friend (2012) segregam em quatro etapas a fase de modelagem dos dados de entrada:

- Retirar da amostra as observações incomuns (*outliers*);
- Identificar uma família de distribuições que descrevem o processo;
- Estimar os parâmetros do fenômeno;
- Realizar testes de hipóteses para determinar o ajuste da distribuição e seus parâmetros.

#### 3.2.4.1. IDEF-SIM

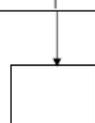
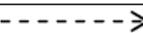
Utilizando da combinação de elementos de outras duas técnicas em modelagem de processos, o IDEF0 e IDEF3, os autores Leal, Almeida e Montevechi (2008) propuseram uma técnica de modelagem conceitual com os seguintes propósitos como benefícios:

- Redução no tempo gasto na modelagem computacional, pois facilita a “tradução” do modelo conceitual para computacional ao utilizar elementos que possuem uma identidade próxima à lógica de programação;
- Ajuda no processo de validação do modelo conceitual junto aos especialistas;
- Contribui para documentação do projeto de simulação, deixando registradas as lógicas utilizadas;
- Permite um maior entendimento do modelo por parte dos futuros leitores do projeto.

Para melhor entendimento das simbologias utilizadas nesta técnica para mapeamento do processo e sua relação com os elementos da programação computacional, veja a relação entre elas na Tabela 3.1 e, logo em seguida, a descrição de cada um.

Tabela 3.1 Simbologia utilizada na técnica IDEF-SIM.

Fonte: Leal, Almeida e Montevechi (2008)

Elementos	Simbologia	Técnica de origem
Entidade		IDEF3 (modo descrição das transições)
Funções		IDEF0
Fluxo da entidade		IDEF0 e IDEF3
Recursos		IDEF0
Controles		IDEF0
Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos	 Regra E	IDEF3
	 Regra OU	
	 Regra E/OU	
Movimentação		Fluxograma
Informação explicativa		IDEF0 e IDEF3
Fluxo de entrada no sistema modelado		
Ponto final do sistema		
Conexão com outra figura		

- Entidade: itens a serem processados pelo sistema, representando matéria-prima, produtos, pessoas, documentos, entre outros. Elas podem ser agrupadas ou divididas ao longo do processo produtivo e são movimentadas por meios próprios ou por meio de recursos. Uma vez representada, o símbolo somente aparecerá no

- momento em que uma nova entidade for criada. Desta forma, torna-se claro o número de entidades a ser utilizada e em que pontos do modelo a entidade sofrerá uma transformação;
- ii. Funções: locais onde a entidade sofrerá alguma ação. Entendem-se como funções os postos de trabalho, esteiras de movimentação, filas, estoques e postos de atendimento. Estas funções podem modificar uma entidade, como no caso de postos de trabalho, ou mesmo alterar o ritmo de tempo desta entidade no fluxo, como uma espera, por exemplo, em uma fila ou estoque;
  - iii. Fluxo da entidade: direcionamento da entidade dentro do modelo, caracterizando os momentos de entrada e saída da entidade nas funções;
  - iv. Elementos: elementos utilizados para movimentar as entidades e executar as funções. Os recursos podem representar pessoas ou equipamentos. Em um sistema pode haver recursos estáticos ou dinâmicos. Os recursos estáticos não são dotados de movimento. Os recursos dinâmicos, por sua vez, podem se mover sobre um caminho definido;
  - v. Regras: regras utilizadas nas funções, como sequenciamento, regras de filas, programações, entre outros;
  - vi. Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos: estas regras são chamadas de junções, na técnica IDEF3. Dois ou mais caminhos, após uma função, podem ser executados juntos (junção E), ou de forma alternativa (junção OU), ou permitindo ambas as regras (junção E/OU);
  - vii. Movimentação: deslocamento de entidade, no qual o modelador acredita possuir efeito importante sobre o modelo. Ao representar este elemento, esperam-se encontrar no modelo computacional uma programação específica para este movimento, como tempo gasto e recurso utilizado;
  - viii. Informação explicativa: utilizada para inserir uma explicação no modelo, com o objetivo de facilitar o entendimento do modelo;
  - ix. Fluxo de entrada no sistema modelado: define a entrada ou criação das entidades dentro do modelo;
  - x. Ponto final do sistema: define o final de um caminho dentro do fluxo modelado. Tudo o que, na prática, encontra-se além deste ponto está fora dos limites do modelo;
  - xi. Conexão com outra figura: utilizado para dividir o modelo em figuras diferentes.

### 3.2.5. Implementação

Com o modelo conceitual definido e devidamente validado, tem início a fase de implementação, onde este modelo será traduzido para uma linguagem computacional por meio de um *software* de simulação dando origem, ao final, ao modelo computacional que, da mesma forma que o conceitual, será validado e também verificado (SARGENT, 2010).

À primeira vista os dois termos podem causar uma confusão, passando a conotação que possuem a mesma função, porém verificação e validação têm propósitos bem distintos e igualmente importantes e necessários para um projeto de simulação. Chwif e Medina (2015) sugerem duas perguntas muito simples que, ao serem feitas, elucidam muito bem a intenção de cada uma:

- 1) Estamos desenvolvendo corretamente o modelo?
- 2) Estamos desenvolvendo o modelo correto?

Perceba que na primeira frase o questionamento está ligado à estrutura, ao funcionamento, à lógica do modelo. Esta é a finalidade da verificação, ou seja, verificar se as interdependências estão corretas, se as distribuições de probabilidades definidas na primeira fase (concepção) estão nas atividades correspondentes, se as regras de horário, turnos, quantidade de mão-de-obra estão sendo respeitadas, e assim por diante.

Já a segunda pergunta se preocupa com capacidade do modelo em realmente representar a realidade, pois pode acontecer do modelo ser verificado e passar positivamente pela primeira pergunta, porém não ser válido. Isso indica que algo não foi bem definido na concepção do escopo ou, também, que houve algum equívoco no tratamento dos dados de entrada.

A seguir, algumas técnicas e boas práticas para verificação de modelos (CHWIF e MEDINA, 2015):

- Implementação modular: recomenda-se criar o modelo computacional por partes e a cada nova parte concluída já fazer sua verificação local. Há casos em que a pessoa modela todo o sistema primeiro para somente depois verificá-lo e apenas ao final descobre que há um erro. Nesta situação ele tem que revisitar todos os objetos e condições do modelo até achar a causa do problema;
- Uso de valores constantes e extremos: quando se elimina o efeito da aleatoriedade, pode-se verificar com mais clareza as lógicas do modelo e verificar se o resultado determinístico era o esperado. Utilizar valores extremos, como o zero, também auxilia nas verificações de alguns condicionais;

- Utilização de depurador: quando o modelo se utiliza de programação lógica na sua modelagem, é importante usar o depurador, que muitas vezes o próprio *software* possui para verificação dos códigos;
- Animação gráfica: rastrear uma entidade do modelo desde sua entrada no sistema até a saída para verificar se consumiu o tempo correto, se utilizou os recursos determinados e se passou pelas lógicas corretamente;
- Revisão em grupo: técnica um pouco dispendiosa e por isso não muito utilizada na prática. Consiste em reunir um grupo tanto nas etapas de construção do modelo ou ao final, para criticar e tentar achar inconsistências que o refutariam.

Em seguida, algumas técnicas de validação de modelos sugeridas por Sargent (2010):

- Animação: conforme o modelo evolui com o tempo, seu comportamento é mostrado graficamente;
- Por eventos: os eventos do sistema real são comparados aos do modelo computacional para verificar similaridades;
- Face a face: especialistas do processo modelado são questionados sobre o comportamento do modelo;
- Interna: diversas réplicas são feitas do modelo estocástico a fim de determinar sua variabilidade. Caso seja alta esta variabilidade, vale o questionamento dos resultados;
- Análise de sensibilidade: os valores de entrada e parâmetros internos são alterados para verificar se o comportamento do modelo corresponde a essas mudanças;
- Preditiva: o modelo é usado para prever o comportamento do sistema e posteriormente são feitas comparações para determinar se são os mesmos;
- Teste de Turing: dados gerados pelo sistema real e pelo modelo simulado são apresentados misturados para especialistas do sistema. Caso ele não saiba distinguir qual resultado é o simulado, qual é o real, isto significa que o modelo representa o sistema real;
- Por dados históricos: dados históricos coletados do sistema real e dados gerados pelo modelo são comparados estatisticamente para determinar sua representatividade.

Importante lembrar que, assim como Law (2009) também menciona, não há validade absoluta em qualquer projeto de simulação, por mais esforço que haja envolvido, o que se consegue é aumentar o nível de confiança nos intervalos de resposta do modelo.

Para a validação do projeto desta dissertação usou-se de técnicas subjetivas, uma vez que não existe ainda o processo real, impossibilitando a validação estatística. Mais à frente, na seção 4.3.3, poderão ser vistas quais técnicas foram utilizadas.

### **3.2.6. Análise**

O produto final da fase de implementação é o modelo computacional verificado e validado, estando este apto para execução dos experimentos e assim origina o modelo operacional (CHWIF e MEDINA, 2015).

Nesta fase é definido o projeto experimental, os experimentos são realizados, os dados obtidos e, enfim, serão analisados. Caso observe a necessidade, o modelo pode sofrer alterações e reinicia-se o ciclo.

Outras questões como tempo de simulação, quantidade de replicações e tempo de aquecimento do modelo devem ser definidas para que ocorra uma boa coleta de dados. É preciso escolher também se o modelo será analisado em período permanente (estado inicial do modelo não pode interferir nos resultados) ou transitório (deve-se considerar o período de aquecimento do modelo para coleta de resultados). Este último item está ligado à classificação do modelo quanto ao tempo de execução (terminal e não terminal) vista na seção 3.2.2.

Com os resultados analisados, são entregues aos especialistas as conclusões e recomendações elaboradas para o sistema.

Deve-se levar em consideração para a apresentação dos resultados simulados: 1) a confiança estatística, que é o intervalo de valores onde se encontra a média da população com determinada probabilidade e; 2) a precisão, ou seja, a amplitude desse intervalo.

## **3.3. Planejamento de experimentos (DOE)**

Montgomery (2009) define experimento como um teste, ou uma série de testes, a fim de observar como as respostas de um sistema se comportam e são afetadas em função de mudanças propositalmente que são feitas nas variáveis de entrada desse sistema.

Já o planejamento de experimentos é definido pelo mesmo autor como um processo onde os dados apropriados são coletados para que sejam analisados por métodos estatísticos, resultados em conclusões válidas e objetivas. Ou seja, qualquer problema experimental deve

ser baseado em dois elementos: primeiramente, o planejamento dos experimentos e, em seguida, pela análise estatística dos dados.

A técnica de DOE orientará em quantos experimentos deverão ser feitos, que níveis de cada fator devem ser considerados para cada rodada do experimento e, ainda, qual a sequência de execução desses experimentos (CABRERA-RIOS, MOUNT-CAMPBELL e IRANI, 2002).

A Tabela 3.2 apresenta as técnicas mais utilizadas de DOE e suas principais características, de acordo com Gomes (2010).

Tabela 3.2 Características fundamentais das principais técnicas de DOE.  
Fonte: Gomes (2010)

Projeto experimental	Vantagens	Desvantagens	Aplicações
<b>Fatorial Completo</b> $2^k$	Permite a varredura completa da região de estudo, pois utiliza todos os fatores e respectivos níveis	Não identifica variação intermediária, pois só trabalha em dois níveis  Necessita de um alto número de corridas para problemas com grande número de variáveis	Processos onde já se tem um prévio domínio e onde a realização das corridas não demanda maior tempo ou custo
<b>Fatorial Fracionado</b> $2^{(k-1)}$	Permite uma pré-análise do processo com um número reduzido de corridas	Não promove a varredura completa da região experimental	Processos onde se deseja um pré-conhecimento e onde a literatura é limitada  Corridas que demandam maior tempo ou custo
<b>Taguchi</b>	Permite a análise de um processo com muitas variáveis de entrada com um número extremamente reduzido de experimentos	Fornecer uma idéia do processo, porém pode apresentar modelos matemáticos não confiáveis	Processos onde há pouco ou quase nenhum conhecimento prévio de comportamento  Processos com alta dispersão ou que as corridas demandem alto custo ou tempo
<b>Metodologia de Superfície de Resposta</b>	Permite a verificação de variações intermediárias do processo	Pode apresentar erros na extrapolação dos pontos estrela, já que são realizadas poucas corridas nestes níveis	Otimização de processos, principalmente bem conhecidos e com baixa dispersão

Segundo Montgomery (2009), o planejamento de experimentos deve conter as seguintes etapas:

- I. Definição do problema;
- II. Escolha dos fatores e definição dos níveis de trabalho;

- III. Seleção das variáveis de resposta;
- IV. Escolha do projeto experimental;
- V. Execução dos experimentos;
- VI. Análise estatística dos dados;
- VII. Conclusões e recomendações.

Para esta pesquisa, foi selecionado o Planejamento Fatorial Completo devido: 1) sua capacidade de varredura completa da região de estudo e; 2) a facilidade do software de simulação, o SIMUL8®, em criar os diferentes cenários desejados (alterando os níveis dos fatores escolhidos), executar as rodadas além de obter os intervalos de confiança como resposta.

Explorando mais os conceitos mencionados acima, Kleijnen et al. (2005) definem fator como parâmetro, ou variável de entrada, que assume pelo menos dois valores durante um experimento. Esses valores são denominados níveis e a combinação dos níveis de todos os fatores envolvidos no experimento define um cenário. E, por fim, a repetição do mesmo cenário por várias vezes configuram as réplicas.

Os fatores podem ser tanto quantitativos (assumem valores numéricos) quanto qualitativos (considerações estruturais não quantificáveis) (LAW e KELTON, 2000).

As variáveis de resposta para uma determinada configuração de fatores são as medidas de desempenho do sistema para aquela combinação. Há ainda o conceito de interação, ou seja, não só a alteração de nível de um único fator pode alterar a resposta do sistema, mas também a combinação de alteração de níveis de dois ou mais fatores que apresentam algum tipo de sinergia (MONTGOMERY e RUNGER, 2003). Quando isso acontece, a resposta do sistema para esta interação será superior à soma do efeito isolado de cada um.

A análise de variância (ANOVA) é utilizada para aceitar ou rejeitar estatisticamente as hipóteses investigadas com o planejamento de experimento (LANDSHEER, VAN DEN WITTENDOER e MAASSEN, 2006). O objetivo da técnica é analisar a variação média dos resultados dos testes e demonstrar quais são os fatores que realmente produzem efeitos (principais e de interações) significativos nas variáveis de resposta de um sistema.

De acordo com Montgomery (2009), para o modelo ser formulado adequadamente, os resíduos precisam ser aleatórios, normais, independentes (não correlacionados) e identicamente distribuídos. Resíduo é a diferença entre uma observação e o seu valor estimado (ou ajustado) a partir do modelo estatístico estudado.

## 4. APLICAÇÃO DO MÉTODO

### 4.1. Considerações iniciais

O presente capítulo dedicar-se-á em apresentar a aplicação da metodologia para condução de um projeto em SED proposta por Montevechi *et al.* (2010), vista na seção 2.4, no dimensionamento e planejamento de uma nova área da empresa estudada. A técnica IDEF-SIM será aplicada na fase de concepção auxiliando na documentação e na transcrição do modelo conceitual para o computacional na fase de implementação, onde será utilizado o *software* SIMUL8®. Na análise, última fase, será vista a aplicação da técnica DOE para refinar e agregar às conclusões e recomendações.

### 4.2. Concepção

Conforme mostrado na Figura 2.2, a concepção é a primeira grande etapa de um projeto de simulação a eventos discretos.

#### 4.2.1. Objetivos e definição do sistema

O sistema consiste em um processo de fabricação de uma área ainda não construída. Por motivos de confidencialidade não será detalhado que processo é este, nem onde ele se situa. É um projeto com grande investimento e necessário para a manutenção do portfólio existente e capacidade de absorção caso haja ampliação do mesmo.

O objetivo principal é dimensionar os recursos para este processo e planejar a produção para o *mix* de produtos esperado.

Os objetivos específicos são:

- Dimensionar os recursos máquina, AGV e transelevador para a nova área;
- Com o auxílio do DOE, identificar a(s) variável(is) de maior impacto no gargalo;
- Criar uma interface que seja possível alterar o *mix* de produção para verificar o impacto e fazer análises de cenários.

#### 4.2.2. Construção do modelo conceitual

Para este projeto, o modelo iniciará com a chegada do pedido de cada um dos quatro produtos, que têm seu *takt time* (em minutos) fixado de acordo com a Tabela 4.1 a seguir. Não há expediente aos finais de semana e a área possui apenas 2 turnos de 8 horas de trabalho cada, resultando numa capacidade de 80 horas semanais ou 16 horas diárias. A cada pedido que entra

no sistema é gerado mais de uma demanda de produção. Por exemplo, o produto A gerará a produção de 64 itens a cada 5 dias. E cada um desses 64 itens tem sua máquina correspondente dentre os 4 tipos existentes.

Na Tabela 4.1 é possível visualizar um resumo de toda informação, inclusive a quantidade de cada item por tipo de máquina nas últimas quatro colunas.

Tabela 4.1 Informações sobre demanda e capacidade do sistema.

Produto	Demanda	Capacidade	Takt Time	Itens por demanda	Máquina tipo I (qtde=2)	Máquina tipo II (qtde=3)	Máquina tipo III (qtde=3)	Máquina tipo IV (qtde=1)
A	1 por semana	80h por semana	5 dias	64	42	10	12	0
B	1 por semana		5 dias	16	6	4	4	2
C	1 cada 2 meses		40 dias	51	14	14	16	7
D	1 cada 4 meses		80 dias	64	36	10	0	18

Uma vez a demanda gerada, o transelevador precisa buscar no armazém o tipo específico de ferramental para cada necessidade. Ao mesmo tempo o AGV é acionado para se locomover até o transelevador para buscar o ferramental. Há uma área de transferência onde o transelevador entrega o ferramental para o AGV e o mesmo se desloca até a máquina correspondente daquela peça. Em cada máquina também há uma área de transferência onde o AGV irá entregar o ferramental e outra onde irá buscar após a peça produzida. São áreas diferentes, ou seja, pode haver uma entrega e uma busca ao mesmo tempo, desde que os 2 AGVs estejam disponíveis.

Após a peça produzida, o AGV irá buscar o ferramental e o levará de volta ao transelevador, que por sua vez irá guardá-lo no armazém até uma nova necessidade. Nos períodos que os AGVs estiverem ociosos, estes irão para área de recarga de bateria, localizado próximo ao transelevador. O sistema atualmente é composto por:

- 4 tipos diferentes de máquinas, totalizando 9 máquinas distribuídas da seguinte forma: 2 do tipo I, 3 do tipo II e III e 1 do tipo IV;
- 1 transelevador;
- 1 armazém com 398 locais para ferramental;
- 2 veículos guiados automáticos (AGV);
- 2 estações de carregamento de bateria por oportunidade.

Como mencionado na seção 1.2, já houve previamente a decisão de alguns itens, porém é com este estudo que será confirmado se o projeto manterá este escopo.

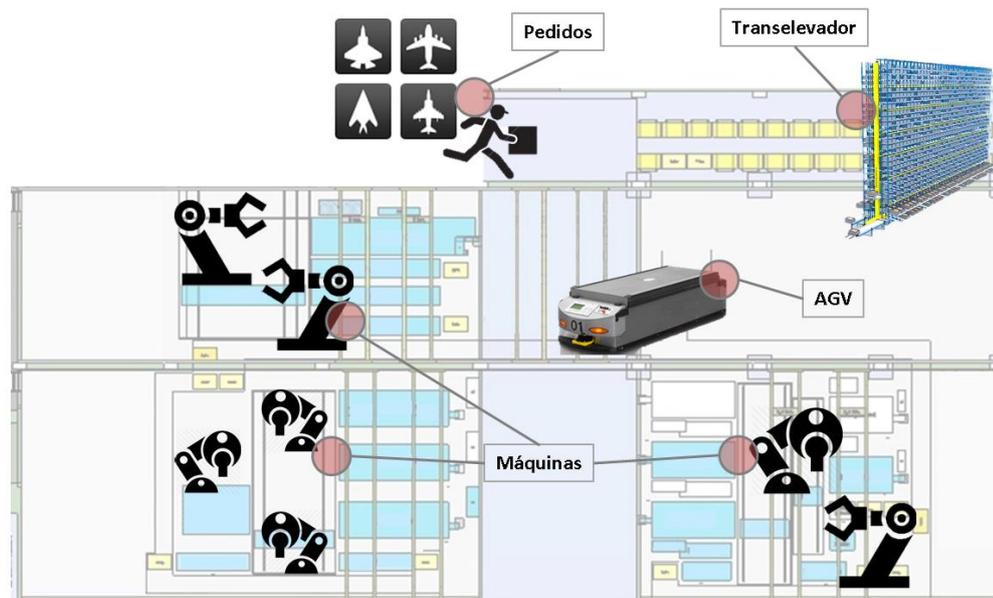


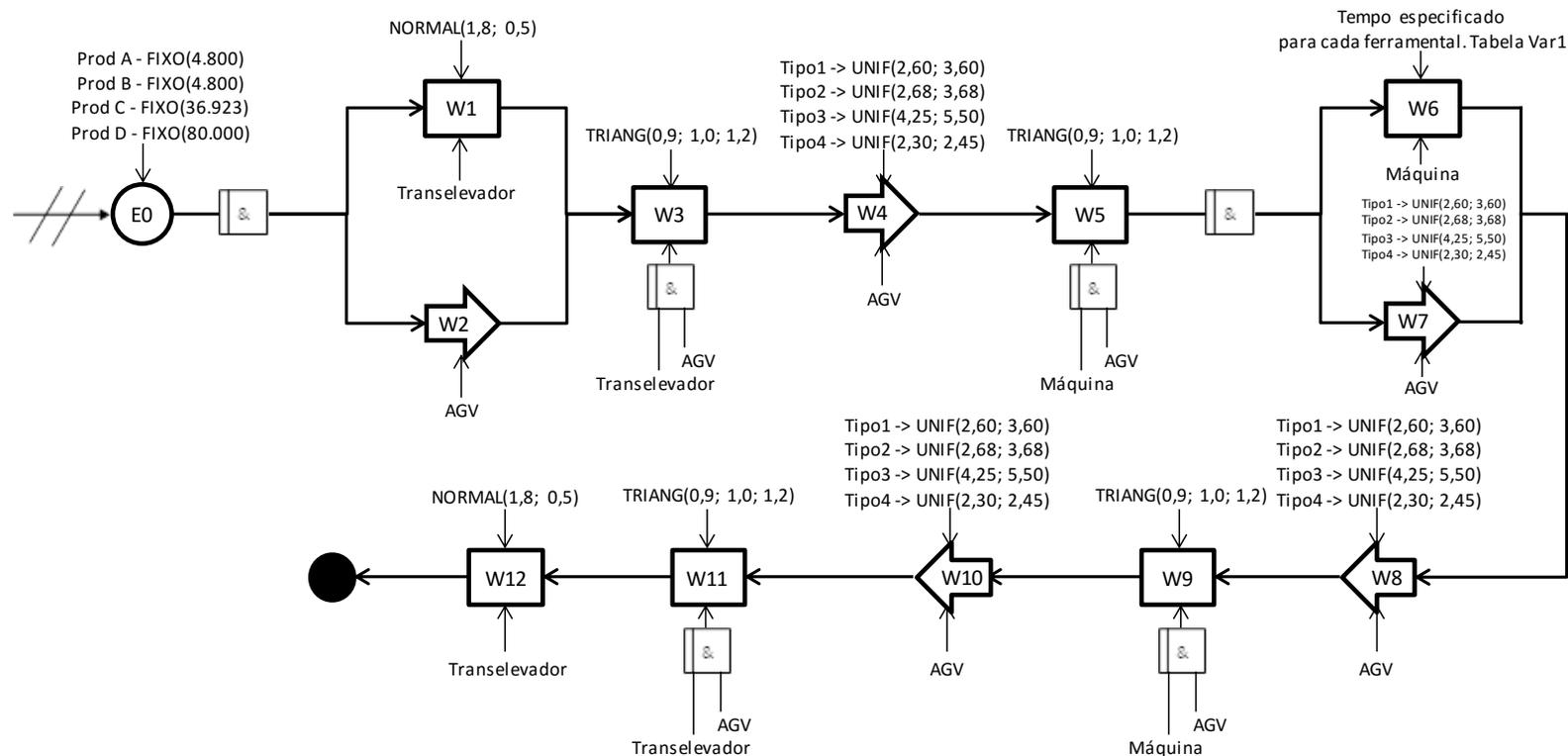
Figura 4.1 Representação simples do modelo conceitual.

Os seguintes dados de entrada e saída foram definidos para representar este modelo (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 Dados de entrada do modelo.

Dados de entrada	
I1	Takt do produto A
I2	Takt do produto B
I3	Takt do produto C
I4	Takt do produto D
I5	Tempo de deslocamento do transelevador para disponibilizar/guardar o ferramental
I6	Tempo de transferência do ferramental entre transelevador e AGVs
I7	Tempo de transferência do ferramental entre AGVs e máquinas
I8	Tempo de setup de máquina
I9	Tempo de processamento das peças pelas máquinas
I10	Referência da máquina por tipo de peça e produto
I11	Tempo de deslocamento entre transelevador e máquina tipo 1
I12	Tempo de deslocamento entre transelevador e máquina tipo 2
I13	Tempo de deslocamento entre transelevador e máquina tipo 3
I14	Tempo de deslocamento entre transelevador e máquina tipo 4

Na Figura 4.2 pode-se observar o modelo do processo a partir da aplicação da técnica IDEF-SIM, vista na seção 3.2.4.1 desta dissertação. No próprio modelo é possível observar os recursos que serão utilizados e os tempos de cada processo, facilitando o planejamento da construção do modelo computacional na próxima macro etapa. A utilização desta técnica foi muito importante também para validação do modelo conceitual, pela facilidade que trouxe durante as reuniões para entendimento do processo, sendo bem aceita pela equipe.



LEGENDA		SÍMBOLOS IDEF-SIM	
E0 - Solicitação de produção	W7 - AGV retornar para área de recarga	- Fluxo de entrada no sistema	- Controles
W1 - Transelevador buscar e disponibilizar ferramental	W8 - AGV deslocar até máquina após produção	- Entidade (itens a serem processados pelo sistema)	- Recursos
W2 - AGV deslocar até transelevador	W9 - Transferir ferramental da máquina para AGV	- Transporte	- Regra E
W3 - Transferir ferramental do transelevador para AGV	W10 - Transportar ferramental até transelevador	- Fluxo da entidade	- Regra OU
W4 - AGV transportar ferramental até à máquina	W11 - Transferir ferramental do AGV para transelevador	- Funções (locais onde a entidade sofre alguma ação)	- Regra E/OU
W5 - Transferir ferramental do AGV para máquina	W12 - Transelevador buscar e guardar ferramental	- Ponto final do sistema	

Figura 4.2 IDEF-SIM do modelo.

As hipóteses consideradas são:

H1- Não há considerações de retrabalho ou refugo no escopo abordado deste projeto;

H2- Horários de refeição e mudanças de turnos não interferem no modelo;

H3- Tempo entre reparo e tempo de reparo para as máquinas, transelevador e AGVs não serão considerados, pois as manutenções serão feitas aos finais de semana;

H4- Não serão considerados os tempos de autonomia e recarga das baterias, pois sua autonomia cobre às 16 horas diárias de trabalho e será carregada no período noturno, além de possuir baterias extras sempre prontas para uso.

### 4.2.3. Validação do modelo conceitual

Ao todo foram necessárias cinco reuniões para se chegar ao modelo conceitual final. Houve ajustes na sequência lógica do processo, limitação do escopo, mapeamento dos ferramentais por máquina e tempos de deslocamento do transelevador e AGV, já que essas duas últimas informações vieram, por fim, de especificações dos fabricantes.

As pessoas envolvidas na validação eram das áreas de planejamento integrado de produção e engenharia de manufatura, responsáveis por informações de demanda, fluxo do processo, tempos e métodos.

Após essas reuniões e ajustes feitos, o modelo foi considerado validado e, portanto, representava satisfatoriamente o processo planejado para a futura área - técnica de validação face a face sugerida por Sargent (2013). Lembrando que, caso ocorra no decorrer do projeto qualquer alteração no conceito planejado para o projeto, este modelo conceitual pode e deve ser atualizado.

### 4.2.4. Documentação do modelo conceitual

O resultado desta etapa é a própria documentação de tudo que foi analisado, discutido e registrado até então, para que esteja à disposição de todos tudo que foi acordado, principalmente no que tange o objetivo do projeto, sua abrangência e hipóteses.

Com a documentação em mãos, a implementação no *software* de simulação ocorre com mais tranquilidade, pois já se sabe quantas atividades serão necessárias para representar os processos com suas lógicas e interdependências, quais recursos serão representados e quais atividades os utilizarão, quais os parâmetros para os dados de entrada e quais dados de saída servirão de indicadores do modelo.

#### 4.2.5. Modelagem dos dados de entrada

Com o sistema claramente definido, este guiará para as escolhas das variáveis de entrada que deverão ser consideradas no modelo e, a partir de então, realizar a coleta e modelagem dos dados para o modelo computacional.

Porém, para o projeto desta dissertação, por ser uma área nova ainda não construída não será possível fazer a coleta de dados. Em casos como esse, poderia utilizar de processos similares para nortear a coleta de dados, mas também não há processos na fábrica que utilizam as mesmas tecnologias investidas para esta nova área. Portanto as alternativas foram:

- Para as informações de demanda foi consultada a equipe de planejamento e controle de produção para passar as demandas estimadas para cada um dos quatro produtos. A demanda anual foi distribuída igualmente dentre os meses e, com as informações de disponibilidade, chegou-se ao *takt time* (disponibilidade sobre demanda, ou seja, a cada quanto tempo precisa concluir um produto) de cada produto;
- Para as informações do transelevador, como tempo de deslocamento para buscar e guardar ferramental e capacidade foram utilizados os dados técnicos fornecidos pelo fabricante do produto. Foi levado em consideração o tempo de aceleração, translado e desaceleração, bem como a distância entre a primeira posição e a última;
- Da mesma forma, os dados do AGV também foram coletados a partir do fabricante do produto, como por exemplo, o tempo de deslocamento do AGV em reta e em curvas, autonomia da bateria e tempo necessário para recarga. As distâncias para cada grupo de máquinas também foram consideradas para estipular o tempo de deslocamento para cada um deles, levando em conta quantas retas e curvas teriam para chegar a cada grupo;
- As informações relacionadas com as máquinas foram coletadas da equipe de engenharia do projeto. Os dados consideram: o tempo de produção de cada peça, a relação entre o tipo de peça de acordo com o produto demandado, a relação entre o tipo de peça e a máquina em que ela deve ser feita e o tempo de preparação da máquina entre os diferentes tipos de peças.

Com essas informações coletadas, foi possível chegar à Tabela 4.3, evidenciando cada dado de entrada com sua respectiva distribuição considerada para confecção do modelo computacional.

Os dados de entrada “I9” e “I10” são duas tabelas de dados, nomeadas respectivamente como “tabela Var1” e “tabela Var2”, pois não é possível demonstrar mais afundo esta informação devido a confidencialidade dos dados. A primeira tabela contém os tempos de processamento de cada peça na sua respectiva máquina. A segunda possui a relação de quais peças de cada programa vão para cada tipo de máquina.

Tabela 4.3 Parâmetros dos dados de entrada.

Dados de entrada		Distribuição	Unidade
I1	Takt do produto A	FIXO(4.800)	minutos
I2	Takt do produto B	FIXO(4.800)	minutos
I3	Takt do produto C	FIXO(36.923)	minutos
I4	Takt do produto D	FIXO(80.000)	minutos
I5	Tempo de deslocamento do transelevador para disponibilizar/guardar o ferramental	NORMAL(1,8; 0,5)	minutos
I6	Tempo de transferência do ferramental entre transelevador e AGVs	TRIANG(0,9; 1,0; 1,2)	minutos
I7	Tempo de transferência do ferramental entre AGVs e máquinas	TRIANG(0,9; 1,0; 1,2)	minutos
I8	Tempo de setup de máquina	FIXO(3)	minutos
I9	Tempo de processamento das peças pelas máquinas	tabela Var1	minutos
I10	Referência da máquina por tipo de peça e produto	tabela Var2	minutos
I11	Tempo de deslocamento entre transelevador e máquina tipo 1	UNIFORME(2,60; 3,60)	minutos
I12	Tempo de deslocamento entre transelevador e máquina tipo 2	UNIFORME(2,68; 3,68)	minutos
I13	Tempo de deslocamento entre transelevador e máquina tipo 3	UNIFORME(4,25; 5,50)	minutos
I14	Tempo de deslocamento entre transelevador e máquina tipo 4	UNIFORME(2,30; 2,45)	minutos

### 4.3. Implementação

A partir deste momento inicia-se o desenvolvimento do modelo computacional.

#### 4.3.1. Construção do modelo computacional

O simulador utilizado para a construção do modelo computacional foi o SIMUL8®, versão 2012 *Professional*. Os motivos para escolha deste simulador foram apresentados na seção 2.4 desta dissertação.

A Figura 4.3 mostra o modelo computacional construído sobre o desenho de uma planta baixa para facilitar o entendimento do processo e, futuramente, sua verificação e validação. Na mesma figura é mostrado o fluxo que a entidade segue no modelo, desde a entrada do pedido no modelo até sua saída.

Na Figura 4.4 pode ser visto um menu que foi construído especificamente para este modelo e possibilitar a interface com o usuário, fazendo com que seja possível a alteração das demandas e análise de diferentes tipos de cenários, assim como foi estabelecido um dos

objetivos do projeto (seção 4.2.1). Neste menu o usuário deverá entrar com a informação de quantidade de aeronaves por semana.

Como mencionado na concepção do projeto, cada produto gera a produção de mais de um item (esta informação pode ser vista na Tabela 4.1), portanto um produto só poderá ser considerado produzido quando todos os seus itens forem concluídos. Para facilitar esta visualização foi criada uma tabela indicando quantos pedidos entraram no sistema (*In*) e quantos já foram atendidos (*Out*). Esta tabela pode ser vista do lado esquerdo da Figura 4.4. Nela também é mostrada a demanda de cada um dos quatro produtos.

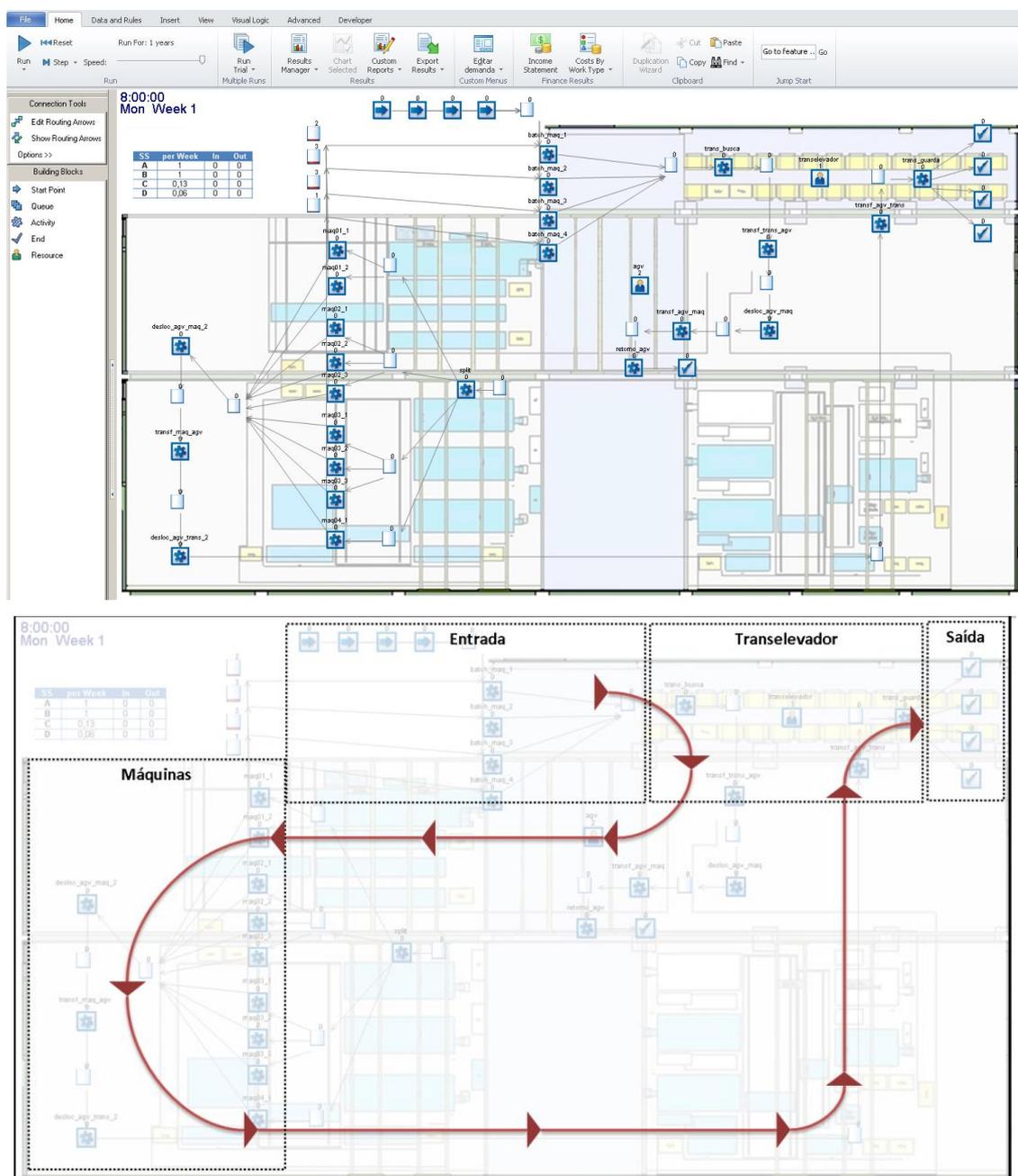


Figura 4.3 Modelo computacional desenvolvido no SIMUL8®.

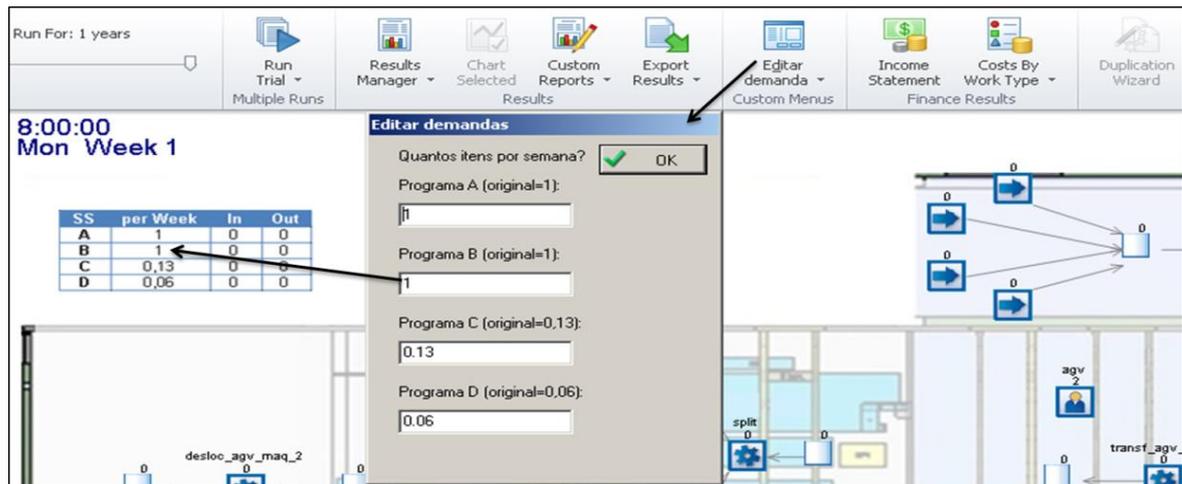


Figura 4.4 Menu de alteração da demanda (interface com usuário).

### 4.3.2. Verificação do modelo computacional

Seguindo algumas técnicas sugeridas por Chwif e Medina (2015), o modelo computacional foi construído modularmente, ou seja, em pequenas partes, e conforme essa pequena parte era terminada, suas verificações já eram realizadas. Isso ajuda na detecção de erros, pois ao deixar essa verificação para o momento em que o modelo computacional estiver completo, identificar a causa de um erro pode se tornar muito demorado, ou mesmo nem percebê-lo.

Outras técnicas foram empregadas simultaneamente, como:

- A utilização de valores constantes antes da inclusão das distribuições probabilísticas para facilitar a verificação da lógica do processo;
- O uso de um depurador para as lógicas programadas;
- Rodar o modelo passo-a-passo verificando a animação gráfica.

A seguir, alguns exemplos de verificações que foram feitas durante a construção e após o modelo pronto.

- As entradas estão respeitando o *takt time* estipulado?

Veja na Figura 4.5 que, ao executar o modelo somente com o produto A, as máquinas terminam um produto na metade do quinto dia e realmente só a partir da próxima semana que chega um novo pedido. A barra verde representa o tempo que a máquina ficou em processamento, ou seja, trabalhando. A barra amarela mostra o tempo ocioso.

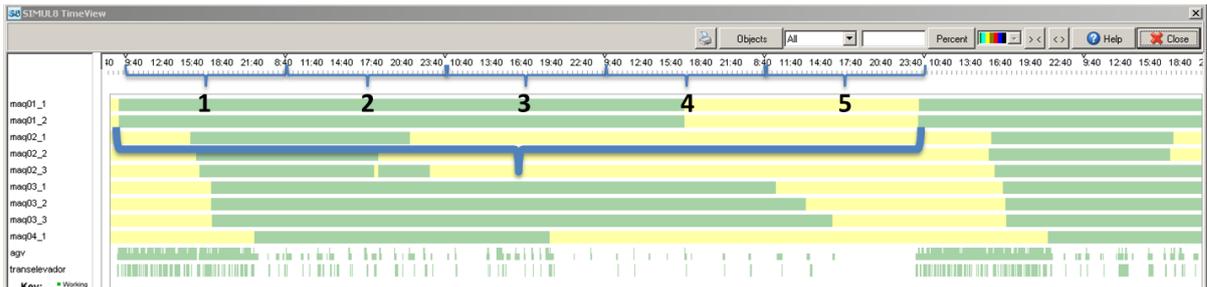


Figura 4.5 Verificação do modelo computacional com a ferramenta Time View.

- ii. A programação está referenciando corretamente para qual máquina a determinada peça deve ir (Figura 4.6)?
- iii. A programação está referenciando corretamente de que produto aquela peça pertence (Figura 4.6)?
- iv. A programação está inserindo o tempo de deslocamento entre transelevador e máquinas corretamente?
- v. As máquinas estão recebendo apenas a peça que lhe foi estipulada?
- vi. Os recursos transelevador e AGVs estão alocados corretamente nos processos?
- vii. O sistema de *token* está funcionando? Ou seja, a entrada só envia uma nova peça para máquina quando não estiver operando outra peça, dessa forma não surge fila na entrada da máquina.

```

demand_a Entry Logic
  IF contador[4,1] = 65
    SET contador[4,1] = 1
    SET Work Type = contador[4,1]
    SET contador[4,1] = contador[4,1]+1
    SET maquina = Var2[programa+1,Work Type+1]
    IF maquina = 1
      SET desloc = desloc_maqt1
    ELSE IF maquina = 2
      SET desloc = desloc_maqt2
    ELSE IF maquina = 3
      SET desloc = desloc_maqt3
    IF maquina = 4
      SET desloc = desloc_maqt4
  
```

Figura 4.6 Verificação da programação lógica por meio do depurador para um dos produtos.

Percebe-se novamente na Figura 4.5 que há uma lacuna entre as semanas onde, caso houvesse apenas o produto A, não haveria trabalho e que as máquinas do tipo 2 e tipo 4 possuem menos carga que as demais. Isso será explorado mais à frente na análise de dados.

Ao todo foram necessárias dezesseis versões do modelo para se chegar ao modelo verificado e validado.

### 4.3.3. Validação do modelo computacional

Conforme mencionado na seção 3.2.5 desta dissertação, há várias técnicas para validação do modelo computacional, ou, nas palavras de Chwif e Medina (2015), verificar se estamos desenvolvendo o modelo correto, se o modelo representa a realidade. Como a realidade neste projeto é subjetiva, pois ainda não existem, as técnicas para sua validação assim também serão.

Não há histórico de dados ou um processo construído e operante para tornar possível a validação estatística, comparando as saídas dos modelos real e simulado. Dessa forma outras técnicas igualmente conhecidas, amplamente utilizadas e sugeridas por Sargent (2010) foram empregadas para validação do modelo, como mostrado abaixo:

- Animação: o comportamento operacional do modelo foi mostrado graficamente de acordo com a sua evolução temporal e alguns processos foram ajustados de acordo com a realidade, como por exemplo, toda demanda que estava sendo gerada pela entrada do pedido estava sendo enviada de uma vez para as máquinas. Para solucionar este problema, foi criada uma lógica de *token* onde uma nova demanda era enviada para máquina apenas quando terminasse a peça que lá estava (Figura 4.7);
- Face a face: o modelo foi apresentado aos mesmos engenheiros responsáveis pelo projeto e analistas de planejamento que participaram da construção do escopo e da definição dos dados de entrada e estes foram questionados quanto ao comportamento do sistema modelado e se ele representava razoavelmente o modelo real. Uma lógica ajustada nesta reunião foi com relação à priorização das atividades dos AGVs durante o processo;
- Condições extremas: alguns dados de entrada e parâmetros internos do sistema foram alterados para zero ou valores muito elevados e observado o impacto em processos dependentes e o efeito ao final do sistema;



apenas os produtos que devem atender num período próximo, ele é estruturado pensando em uma visão de longo prazo da empresa, portanto o segundo cenário será simulado aumentando em cinquenta por cento a demanda do cenário um (Tabela 4.4). Como um dos objetivos deste projeto é também disponibilizar uma interface com o usuário que facilite as alterações de demanda, é possível executar quantos cenários sejam necessários alterando as demandas dos quatro produtos.

Tabela 4.4 Definição do projeto – cenários a serem simulados.

Produto	Cenário 1		Cenário 2	
	Demanda	Takt Time	Demanda	Takt Time
A	1 / semana	5 dias	1,5 / semana	3,33 dias
B	1 / semana	5 dias	1,5 / semana	3,33 dias
C	1 / 2 meses	40 dias	1,5 / 2 mês	26,67 dias
D	1 / 4 meses	80 dias	1,5 / 2 meses	53,33 dias

As variáveis de saída que serão monitoradas para análise de desempenho do sistema são mostradas na Tabela 4.5 abaixo.

Tabela 4.5 Dados de saída.

Dados de saída	
O1	Itens produzidos do produto A
O2	Itens produzidos do produto B
O3	Itens produzidos do produto C
O4	Itens produzidos do produto D
O5	Utilização do transelevador
O6	Utilização dos AGVs
O7	Tempo máq. esperando tipo 1
O8	Tempo máq. trabalhando tipo 1
O9	Tempo máq. em setup tipo 1
O10	Tempo máq. esperando tipo 2
O11	Tempo máq. trabalhando tipo 2
O12	Tempo máq. em setup tipo 2
O13	Tempo máq. esperando tipo 3
O14	Tempo máq. trabalhando tipo 3
O15	Tempo máq. em setup tipo 3
O16	Tempo máq. esperando tipo 4
O17	Tempo máq. trabalhando tipo 4
O18	Tempo máq. em setup tipo 4
O19	Tempo total não trabalhado máquinas

#### 4.4.2. Execução dos experimentos

O SIMUL8® possui uma ferramenta chamada de “*Trial Calculator*” que auxilia o modelador a definir quantas réplicas são necessárias para cada simulação. É preciso informar quais serão as variáveis de saídas que devem ser monitoradas (apresentadas na Tabela 4.5) e a confiança desejada dos resultados, com isso a ferramenta conduzirá vários testes e ao final ele retornará quantas réplicas são necessárias a cada rodada para alcançar a confiança desejada para

todas as variáveis selecionadas. Na Figura 4.8 é possível ver essa sequência de passos e a quantidade de réplicas necessárias para este modelo (quatro).

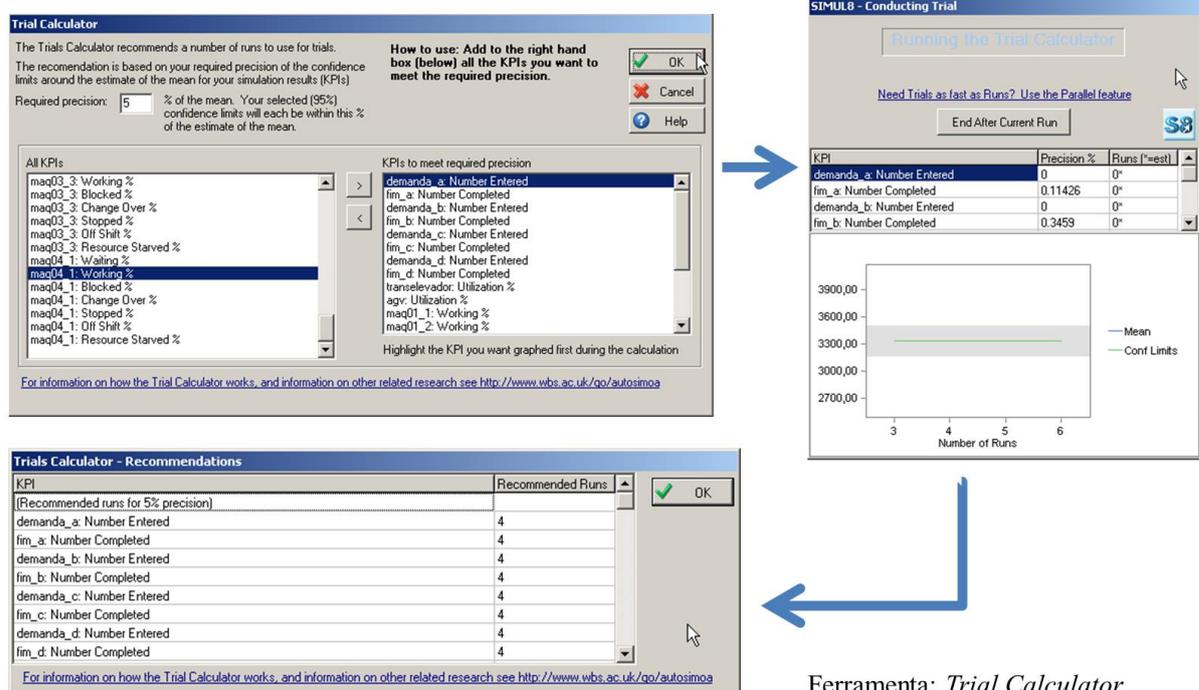


Figura 4.8 Definição da quantidade de réplicas (ferramenta *Trial Calculator*).

Ainda antes da execução dos experimentos, por ser um modelo não terminal, ou seja, o sistema é estudado em um regime permanente (seção 3.2.2), é necessário definir qual o período de aquecimento do modelo (*WarmUp*). Durante o período de aquecimento não são geradas estatísticas para o modelo, não poluindo os resultados. Uma das técnicas apresentadas por Chwif e Medina (2015) é a inspeção visual. Nesta técnica deve-se escolher a variável de interesse, ou as variáveis, e representá-la graficamente ao longo do tempo e verificar em que momento seu comportamento tende a ficar estacionário. Os mesmo autores ressaltam que é importante também que se faça pelo menos três replicações do modelo com diferentes sementes de números aleatórios antes de tirar qualquer conclusão.

Na Figura 4.9 é possível observar o comportamento da fila que precede o transelevador, onde o material só é liberado depois de receber o sinal de *token* (ver Figura 4.7). O período de aquecimento definido foi de vinte mil minutos e é representado pela linha vertical tracejada.

O modelo foi simulado para um ano de produção.

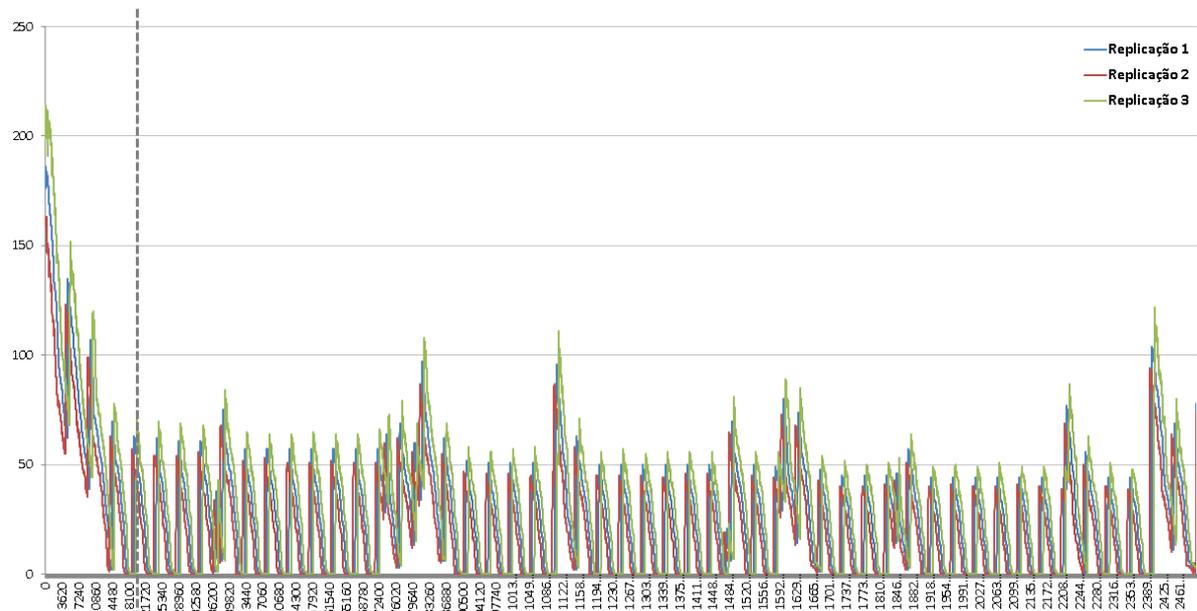


Figura 4.9 Comportamento da fila com três replicações para definição do período de *WarmUp*.

#### 4.4.3. Análises estatísticas

A análise se deu da seguinte forma:

- I. A primeira rodada foi executada levando em consideração as demandas para o cenário um;
- II. Na sequência foram alterados os valores das demandas obedecendo o segundo cenário e mais uma rodada foi executada;
- III. Com os dados de saída de ambos os cenários em mãos foi possível fazer as análises de comportamento de filas, utilização das máquinas, AGV e transelevador, comparando seus parâmetros em ambos os cenários para tirar as primeiras conclusões;
- IV. Levando em consideração algumas informações do projeto e o que ainda seria aceitável fazer alterações, foram selecionados alguns dados de entrada e alterações factíveis em seus valores, para serem utilizados no delineamento de experimentos e verificar seus impactos nas saídas do modelo;
- V. O DOE foi executado considerando o cenário dois, ou seja, com demanda inicial acrescida de cinquenta por cento;
- VI. Definido os fatores que mais impactam o processo, foi decidido qual(is) seria(m) realmente adotado(s) para o modelo real;
- VII. Uma terceira rodada é executada no modelo computacional considerando o cenário dois e as alterações oriundas da análise do DOE;

VIII. É comparada a evolução dos resultados das três rodadas, indo desde o processo como ele foi pensado inicialmente com a demanda estimada para o cenário um, até o processo com novos parâmetros de dados de entrada com a demanda superior.

Após a primeira rodada pôde-se observar que os recursos são suficientes para a demanda estimada para o cenário um. Toda demanda que entrou no sistema foi produzida. A Figura 4.10 apresenta a quantidade de itens que entraram e saíram do sistema, por exemplo, foram solicitados 52 produtos A, o que faz sentido já que ele é 1 por semana, e saíram do sistema 52 produtos acabados. Lembrando que para completar um produto A, 64 peças devem ser produzidas.

Observa-se ainda na Figura 4.10 que os recursos máquinas também estão operando com folga ao longo do tempo (barra amarela representa a ociosidade da máquina). Porém é importante atentar que a carga de trabalho não está equilibrada entre os tipos de máquina, ou seja, as máquinas do tipo 1 e 3 possuem bem mais carga de trabalho (barra verde representa tempo trabalhado da máquina) do que os tipos 2 e 4, tornando-se problemas a um aumento de demanda.

Produto	Demanda por semana	Entrou	Saiu
A	1	52	52
B	1	52	52
C	0.13	7	7
D	0.06	3	3

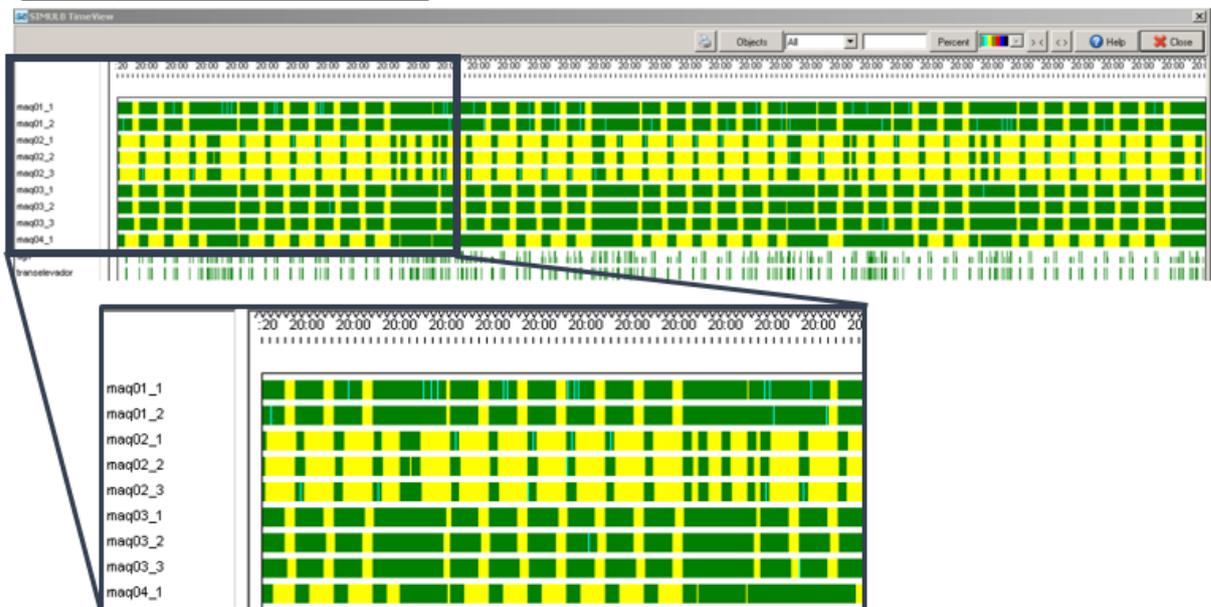


Figura 4.10 Análise para demanda do cenário 1.

Ao olhar os resultados compilados para um ano completo, esses períodos em espera (mostrados em amarelo no gráfico) e a diferença entre o balanceamento de carga é mais visível, veja na Figura 4.11 que as máquinas do tipo 2 acumulam 70% do tempo em espera e apenas 30% trabalhando efetivamente. E as máquinas do tipo 1 e 3 com uma realidade totalmente oposta, com apenas 20% ocioso.

A utilização do transelevador e AGV foram respectivamente 24% e 19%, isso significa que para esta demanda não é necessário trabalhar para aumentar a velocidade de busca e armazenagem do transelevador, tão pouco aumentar a quantidade de AGV, como foi levantada a hipótese pelo grupo no início. Isso demonstra que o projeto está capacitado para receber aumento de demanda, previsto para ocorrer nos anos futuros.

O tamanho médio da fila foi de 17 peças e o tempo médio de permanência foi de 1.286 minutos (21,4 horas). O valor de tempo médio na fila fica mais alto, pois quando entra no sistema a demanda por um novo produto (A, por exemplo) as 64 peças entram no mesmo momento na fila e as últimas peças a serem executadas esperarão o maior tempo (Figura 4.12).

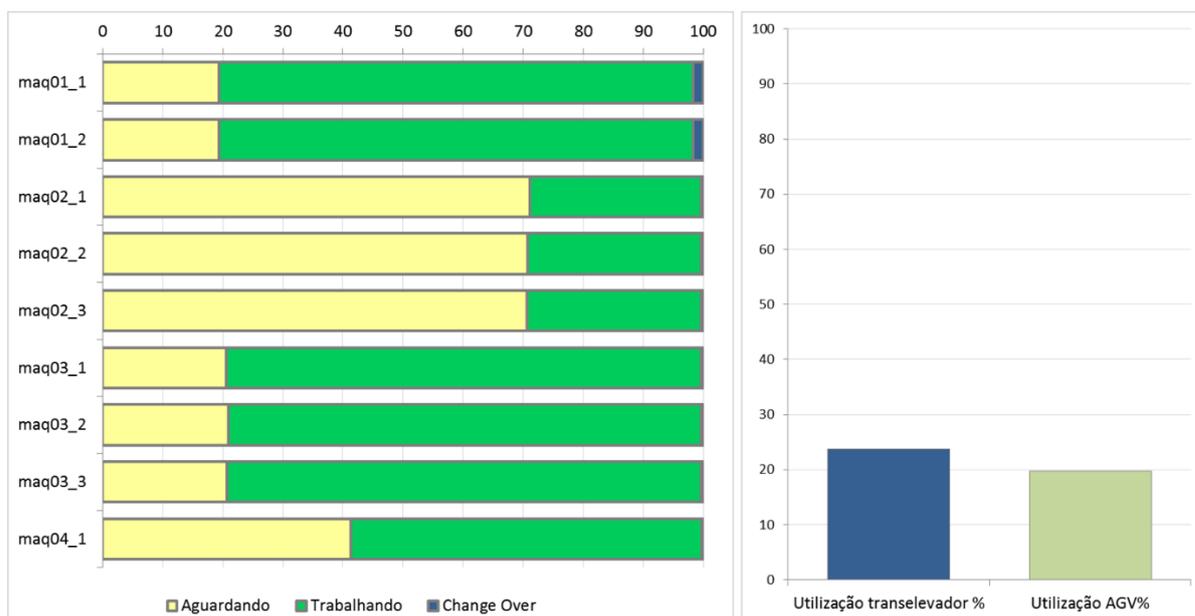


Figura 4.11 Análise dos recursos máquina, transelevador e AGV para demanda do cenário 1.

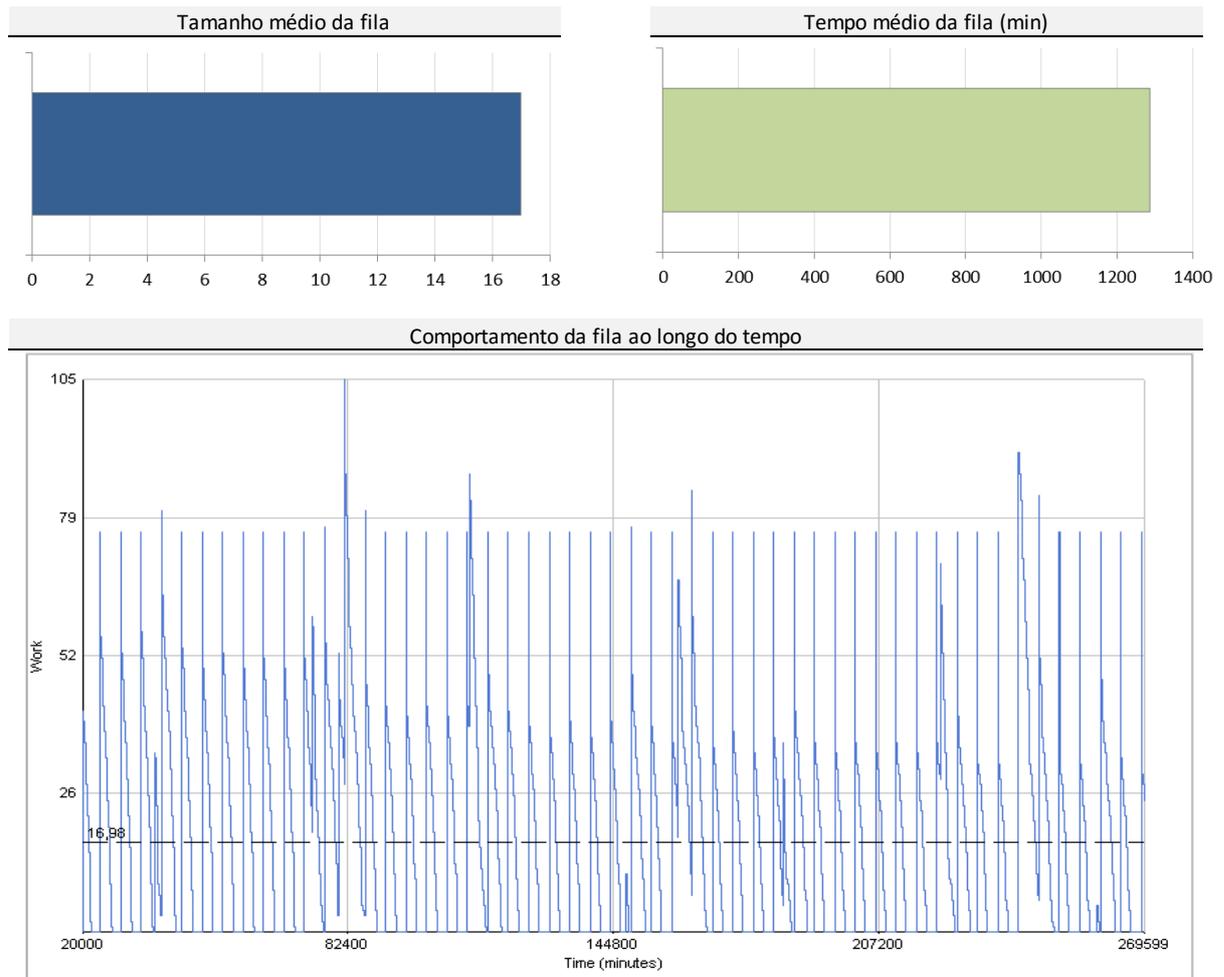


Figura 4.12 Análise da fila para demanda do cenário 1.

Conclui-se que para o cenário um não há problemas com o dimensionamento dos recursos, apenas um alerta quanto ao balanceamento de carga das máquinas. Em seguida, para a mesma configuração de recursos e parâmetros uma nova rodada de simulação foi executada, porém a demanda foi acrescida em 50% para todos os produtos, como mostra o cenário dois da Tabela 4.4, resultando na análise a seguir.

Na Figura 4.13 mostra que justamente as máquinas com maior carga já no cenário um (tipos 1 e 3) tornaram-se gargalos quando a demanda aumentou. Conseqüentemente o atendimento das demandas foi afetado e nenhum produto entregou o que era esperado para um ano de produção. O produto A, por exemplo, que era esperada a produção de 78 aeronaves, 13 não foram entregues.

Produto	Demanda por semana	Entrou	Saiu
A	1.5	78	65
B	1.5	78	68
C	0.195	10	8
D	0.09	5	4

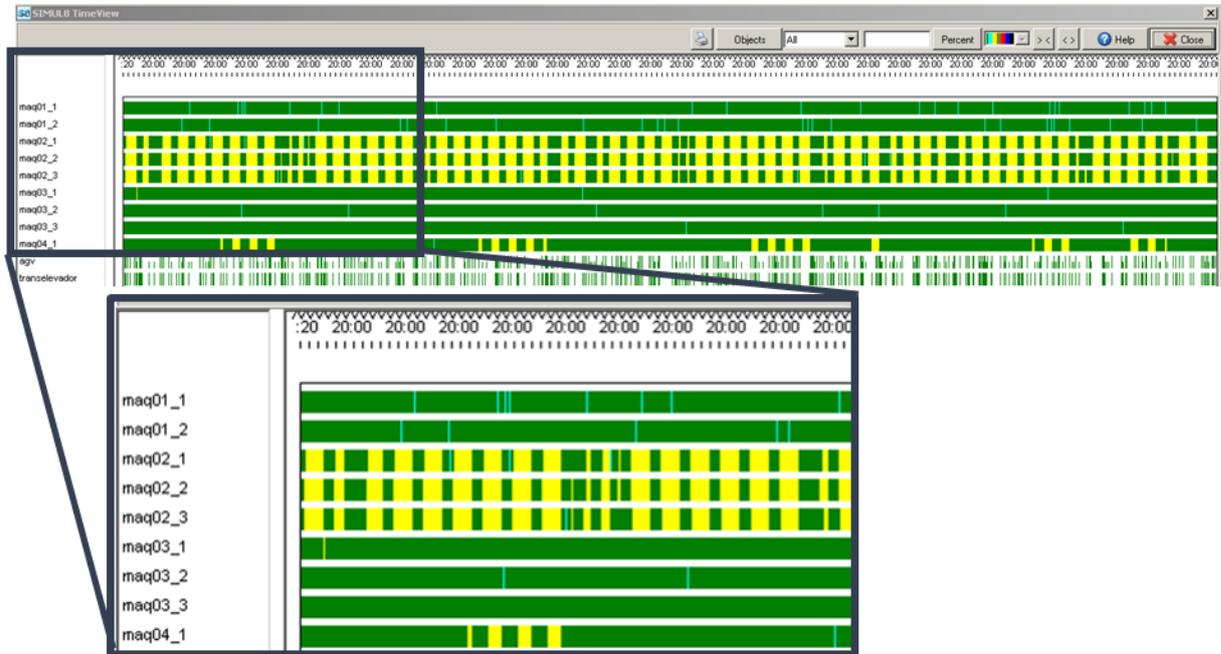


Figura 4.13 Análise para demanda do cenário 2.

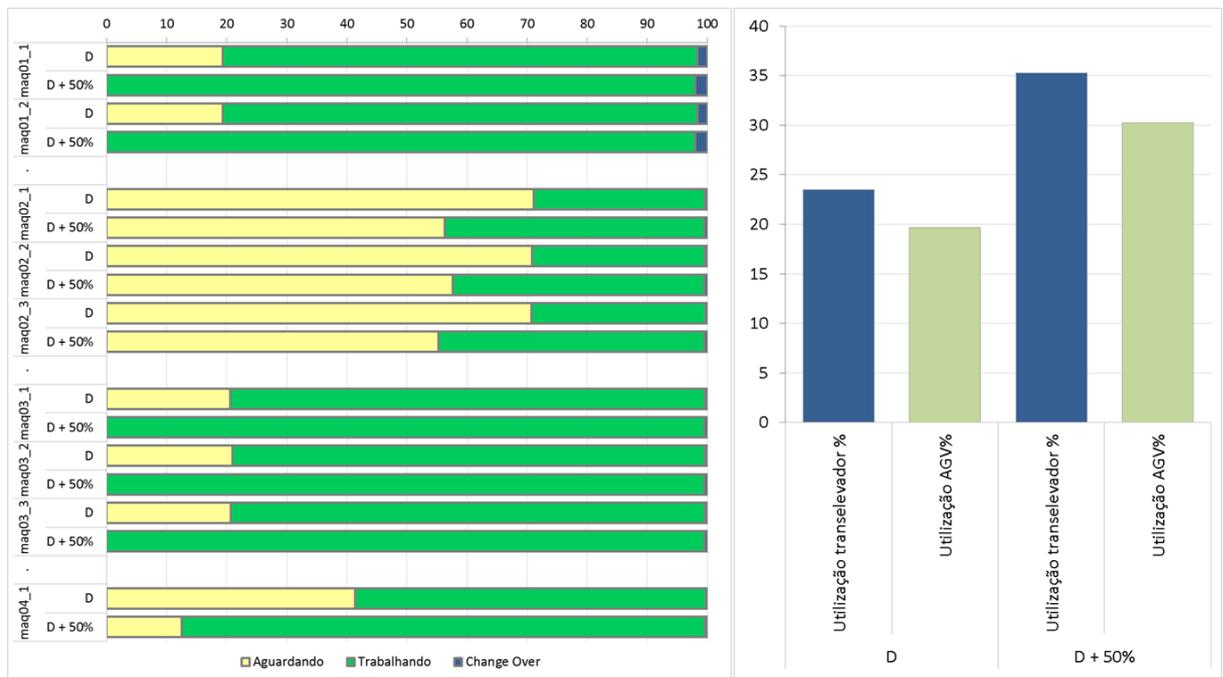


Figura 4.14 Análise dos recursos máquina, transelevador e AGV para demanda dos cenários 1 e 2.

Na Figura 4.14 é possível ver uma comparação dos resultados dos recursos máquinas, AGV e transelevador para os cenários de demanda um e dois. Com o balanceamento de carga das máquinas atual as máquinas do tipo 1 e 3 que antes ainda tinham 20% de ociosidade, agora ficaram totalmente ocupadas, o que não é tempo trabalhado é tempo com troca de ferramental. Por outro lado, as máquinas do tipo 2 que já possuíam grande tempo ocioso, quase não foram afetadas pelo aumento de demanda.

A utilização do AGV e transelevador, apesar de ainda estarem abaixo dos 40%, foram impactadas diretamente pelo aumento de demanda. O recurso transelevador teve um aumento de exatamente 50% na sua utilização, saindo de 23,5% para 35,3%. O aumento na utilização do recurso AGV foi um pouco maior, de 53%.

A Figura 4.15 mostra a comparação dos parâmetros tempo médio e tamanho médio da fila, além do seu comportamento ao longo do tempo para o cenário 2. O tamanho médio da fila saltou de 17 peças para 558 e o tempo médio foi de 1.286 minutos para 19.005. O gráfico do comportamento da fila mostrado na mesma figura apresenta exatamente o efeito devido ao gargalo nas máquinas demonstrado nas duas figuras anteriores. Dessa forma a cada nova demanda que surge as peças vão se acumulando na fila e como esta não possui capacidade suficiente para dar vazão, o cenário é um ascendente acúmulo dessas peças, sem perspectivas de melhora.

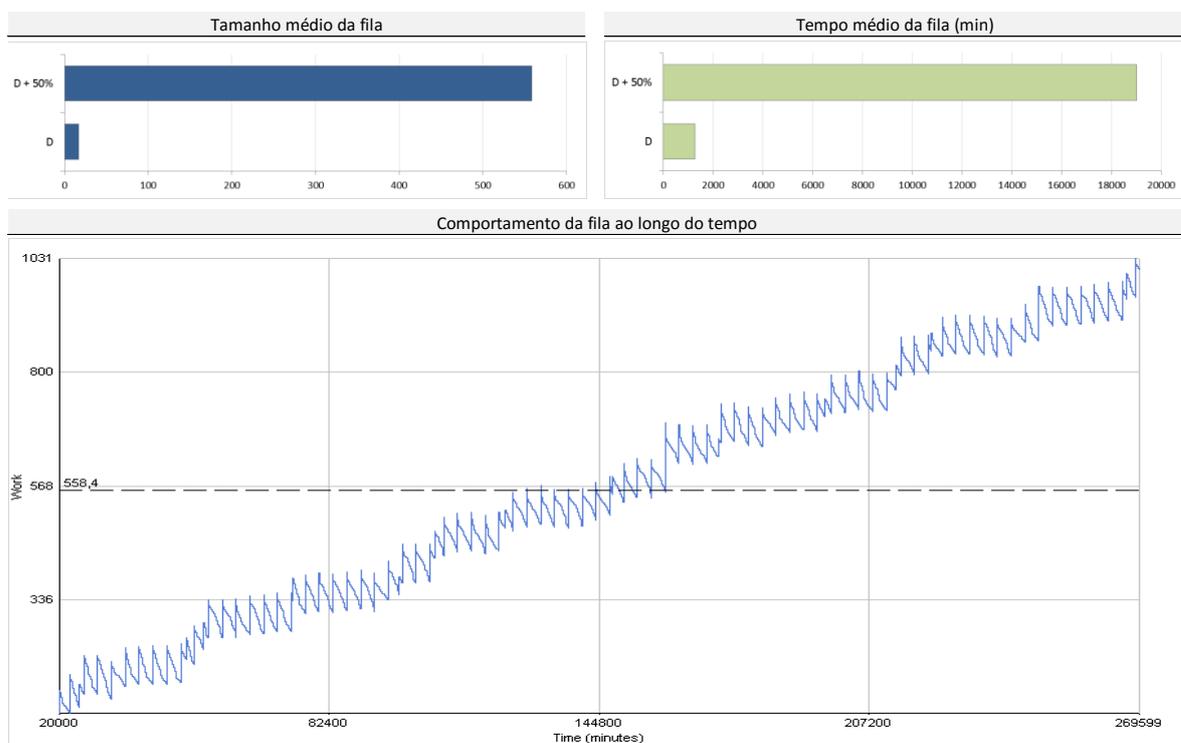


Figura 4.15 Análise da fila para demanda do cenário 2.

Portanto, os recursos que inicialmente atendiam as demandas do cenário 1 não conseguem atender caso haja a demanda proposta no cenário 2, ocasionando no não atendimento de 26 aeronaves ao todo em um ano, como mostra a Figura 4.16 a comparação do planejado (em cinza) e executado para os dois cenários.

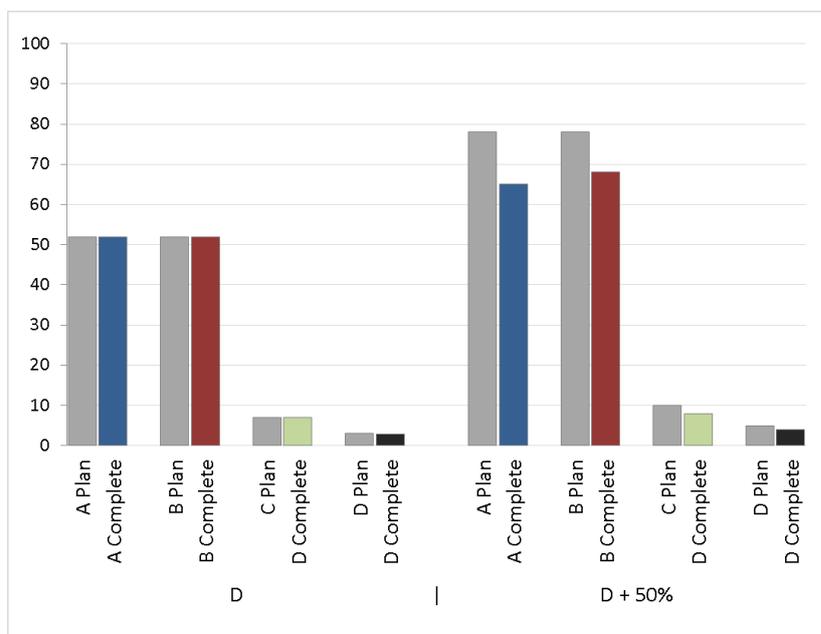


Figura 4.16 Comparação da demanda planejada e executada para os cenários 1 e 2.

Neste ponto, para entender melhor quais são os fatores e como eles estão influenciando o resultado do modelo, foi proposta a aplicação do delineamento de experimentos (DOE).

Foi conversado com a equipe quais alterações no processo ainda poderiam ser feitas com impacto financeiro aceitável no escopo do projeto e os fatores escolhidos com suas devidas alterações (níveis) nos parâmetros, os quais podem ser vistas na Tabela 4.6. Vale destacar os fatores A, C e F, que estão diretamente ligados com os gargalos analisados anteriormente, máquinas tipo 1 e 3.

Tabela 4.6 Fatores escolhidos

Fator	Descrição	Nível Inferior (-)	Nível Superior (+)
A	Tempo AGV até máquina tipo 1	2.20	2.60
B	Tempo AGV até máquina tipo 2	2.30	2.68
C	Tempo AGV até máquina tipo 3	3.10	4.25
D	Tempo do transelevador	N (1,26; 0,5)	N (1,8; 0,5)
E	Tempo de setup das máquinas (min)	1.50	3.00
F	Relação peça por máquina	proposta	atual

As variáveis de resposta serão as mesmas mencionadas na Tabela 4.5. Foram mantidas todas para a análise do DOE para que fosse possível analisar o efeito não só na quantidade de itens produzidos. Por exemplo, mais a frente, na Figura 4.25, é possível observar que apesar do aumento na produção, a utilização do AGV diminui no terceiro cenário (que será explicado adiante), isto devido à relação de peça por máquina. Se apenas o total produzido fosse considerado, essa análise não seria possível.

A matriz experimental foi do tipo  $2^k$ , onde  $k$  é o número de fatores, ou seja, planejamento fatorial completo, permitindo a consideração do efeito de todos os fatores e suas interações de todas as ordens. Como neste DOE foram selecionados seis fatores com dois níveis cada, tem-se ao final 64 cenários (Tabela 4.7). Considerando ainda que para cada cenário o modelo computacional fará quatro replicações (seção 4.4.2), gerou-se um total de 256 resultados para cada variável de resposta.

A Tabela 4.7 apresenta a matriz já com os resultados para uma replicação. Na tabela as saídas das nove máquinas foram agrupadas por tipo de máquina e também foi criada uma coluna ao final onde são somados todos os valores de tempo ocioso e tempo de *change over* de todas as nove máquinas, para que fosse possível observar uma solução onde o tempo efetivo não trabalhado fosse minimizado. Os valores de produto acabado aparecem maiores, pois o simulador considera a quantidade das peças que formam um pacote completo para o produto acabado, por exemplo, o produto B demanda a produção de 16 peças, caso a saída apresente 24 peças, isso significa que já possui 1,5 produto acabado.

A execução dos 256 experimentos só foi viável com a utilização do *software* SIMUL8® que, além de permitir uma fácil alteração dos parâmetros, possui uma ferramenta específica para criação de cenários onde é possível selecionar quais parâmetros da simulação é desejado alterar e definir quantos valores forem precisos para cada fator. Após executar todos os cenários foi possível exportar todas as respostas para uma planilha e utilizá-las no projeto de DOE. Para auxiliar a análise estatística foi utilizado o *software* Minitab.

Tabela 4.7 Matriz experimental para uma replicação.

T_AGV M1	T_AGV M2	T_AGV M3	T_ Trans	T_ Setup	Peca_ Maq	Prod A Out	Prod B Out	Prod C Out	Prod D Out	trans utiliz	agv utiliz	maq01 Wait	maq01 Work	maq01 Change	maq02 Wait	maq02 Work	maq02 Change	maq03 Wait	maq03 Work	maq03 Change	maq04 Wait	maq04 Work	maq04 Change	Wait+ Change Total
+	+	+	+	+	+	4217	1106	433	265	30.934	26.001	0.000	97.980	2.020	56.405	43.081	0.513	0.000	99.526	0.474	12.433	87.201	0.367	189.018
-	+	+	+	+	+	4230	1096	441	266	30.367	25.477	0.000	97.980	2.020	56.403	43.084	0.514	0.004	99.522	0.474	12.514	87.119	0.367	189.105
+	-	+	+	+	+	4220	1105	436	261	30.707	25.738	0.000	97.980	2.020	56.402	43.085	0.514	0.025	99.500	0.474	12.444	87.190	0.367	189.097
-	-	+	+	+	+	4210	1106	439	266	30.197	25.186	0.000	97.980	2.020	56.405	43.082	0.513	0.001	99.525	0.474	12.493	87.140	0.367	189.080
+	+	-	+	+	+	4218	1112	443	265	30.341	25.446	0.000	97.980	2.020	56.402	43.085	0.514	0.013	99.513	0.474	12.470	87.163	0.367	189.085
-	+	-	+	+	+	4229	1100	439	267	29.826	24.894	0.000	97.980	2.020	56.403	43.083	0.514	0.001	99.524	0.474	12.493	87.140	0.367	189.078
+	-	-	+	+	+	4222	1101	443	269	30.140	25.188	0.000	97.980	2.020	56.402	43.084	0.514	0.000	99.526	0.474	12.540	87.093	0.367	189.117
-	-	-	+	+	+	4224	1112	443	263	29.571	24.587	0.000	97.980	2.020	56.404	43.082	0.514	0.000	99.526	0.474	12.530	87.103	0.367	189.115
+	+	+	-	+	+	4217	1105	445	268	29.577	24.722	0.000	97.980	2.020	56.403	43.084	0.514	0.000	99.526	0.474	12.530	87.104	0.367	189.109
-	+	+	-	+	+	4228	1111	441	267	29.019	24.226	0.000	97.980	2.020	56.403	43.084	0.514	0.000	99.526	0.474	12.530	87.103	0.367	189.110
+	-	+	-	+	+	4233	1103	445	266	29.361	24.482	0.000	97.980	2.020	56.403	43.084	0.514	0.000	99.526	0.474	12.531	87.103	0.367	189.110
-	-	+	-	+	+	4226	1104	445	266	28.791	23.964	0.021	97.959	2.020	56.406	43.080	0.513	0.000	99.526	0.474	12.532	87.102	0.367	189.161
+	+	-	-	+	+	4235	1106	441	266	28.982	24.218	0.000	97.980	2.020	56.404	43.083	0.513	0.000	99.526	0.474	12.532	87.102	0.367	189.114
-	+	-	-	+	+	4236	1107	443	267	28.419	23.644	0.008	97.972	2.020	56.403	43.083	0.513	0.000	99.526	0.474	12.532	87.101	0.367	189.128
+	-	-	-	+	+	4237	1109	444	267	28.773	23.971	0.000	97.980	2.020	56.403	43.083	0.513	0.000	99.526	0.474	12.532	87.101	0.367	189.112
-	-	-	-	+	+	4240	1109	445	265	28.251	23.463	0.000	97.980	2.020	56.403	43.083	0.514	0.000	99.526	0.474	12.533	87.101	0.367	189.113
+	+	+	+	-	+	4267	1116	435	269	31.127	26.079	0.000	98.978	1.022	56.660	43.083	0.257	0.000	99.762	0.238	12.653	87.164	0.183	186.344
-	+	+	+	-	+	4272	1110	434	269	30.575	25.508	0.000	98.978	1.022	56.660	43.083	0.257	0.000	99.762	0.238	12.623	87.194	0.183	186.314
+	-	+	+	-	+	4259	1107	439	268	30.972	25.835	0.000	98.978	1.022	56.661	43.083	0.257	0.000	99.762	0.238	12.692	87.125	0.183	186.385
-	-	+	+	-	+	4263	1109	436	268	30.388	25.281	0.000	98.978	1.022	56.661	43.083	0.257	0.000	99.762	0.238	12.655	87.161	0.183	186.349
+	+	-	+	-	+	4264	1099	441	268	30.557	25.504	0.000	98.978	1.022	56.660	43.083	0.257	0.000	99.762	0.238	12.663	87.154	0.183	186.353
-	+	-	+	-	+	4272	1109	441	268	29.984	24.936	0.000	98.978	1.022	56.660	43.083	0.257	0.000	99.762	0.238	12.616	87.201	0.183	186.307
+	-	-	+	-	+	4272	1117	439	268	30.349	25.249	0.000	98.978	1.022	56.660	43.084	0.257	0.000	99.762	0.238	12.698	87.119	0.183	186.388
-	-	-	+	-	+	4268	1117	439	268	29.789	24.706	0.000	98.978	1.022	56.660	43.083	0.257	0.000	99.762	0.238	12.611	87.206	0.183	186.302
+	+	+	-	-	+	4274	1105	442	265	29.755	24.771	0.000	98.978	1.022	56.660	43.083	0.257	0.000	99.762	0.238	12.654	87.162	0.183	186.346
-	+	+	-	-	+	4286	1117	445	265	29.152	24.207	0.000	98.978	1.022	56.662	43.082	0.257	0.000	99.762	0.238	12.615	87.201	0.183	186.312
+	-	+	-	-	+	4286	1107	439	267	29.541	24.524	0.000	98.978	1.022	56.660	43.083	0.257	0.000	99.762	0.238	12.604	87.213	0.183	186.297
-	-	+	-	-	+	4292	1110	437	268	28.985	24.006	0.000	98.978	1.022	56.660	43.084	0.257	0.000	99.762	0.238	12.687	87.130	0.183	186.377
+	+	-	-	-	+	4283	1111	444	267	29.198	24.262	0.000	98.978	1.022	56.660	43.083	0.257	0.000	99.762	0.238	12.655	87.162	0.183	186.347
-	+	-	-	-	+	4286	1118	441	268	28.589	23.681	0.000	98.978	1.022	56.660	43.083	0.257	0.000	99.762	0.238	12.636	87.181	0.183	186.326
+	-	-	-	-	+	4285	1119	445	266	28.923	23.934	0.000	98.978	1.022	56.662	43.082	0.257	0.000	99.762	0.238	12.621	87.196	0.183	186.317
-	-	-	-	-	+	4280	1109	442	268	28.443	23.459	0.000	98.978	1.022	56.660	43.083	0.257	0.000	99.762	0.238	12.712	87.105	0.183	186.403
+	+	+	+	+	-	4905	1203	491	284	35.263	30.214	0.798	97.042	2.160	10.029	89.147	0.824	4.180	95.350	0.470	41.591	58.139	0.269	94.286
-	+	+	+	+	-	4898	1210	493	282	34.689	29.592	0.861	96.983	2.156	10.032	89.144	0.824	4.179	95.351	0.471	41.596	58.134	0.269	94.415
+	-	+	+	+	-	4914	1201	498	282	34.998	29.810	0.768	97.071	2.162	10.031	89.145	0.824	4.183	95.347	0.470	41.594	58.136	0.269	94.246
-	-	+	+	+	-	4932	1209	497	284	34.480	29.174	0.663	97.172	2.165	10.032	89.144	0.824	4.173	95.356	0.470	41.596	58.135	0.269	94.021
+	+	-	+	+	-	4897	1203	499	284	34.750	29.566	0.842	97.000	2.157	10.036	89.140	0.824	4.184	95.346	0.470	41.597	58.134	0.269	94.408
-	+	-	+	+	-	4911	1215	496	282	34.189	28.944	0.858	96.986	2.156	10.032	89.144	0.824	4.184	95.345	0.470	41.597	58.134	0.269	94.426
+	-	-	+	+	-	4904	1216	498	281	34.460	29.244	0.883	96.962	2.155	10.012	89.164	0.824	4.187	95.343	0.470	41.594	58.137	0.269	94.418
-	-	-	+	+	-	4900	1218	499	286	33.852	28.569	0.876	96.969	2.155	10.031	89.145	0.824	4.184	95.346	0.470	41.596	58.135	0.269	94.453
+	+	+	-	+	-	4910	1216	503	281	33.762	28.886	0.904	96.941	2.154	10.037	89.139	0.824	4.185	95.345	0.470	41.596	58.134	0.269	94.534
-	+	+	-	+	-	4908	1220	504	281	33.173	28.334	0.904	96.941	2.154	10.037	89.139	0.824	4.185	95.345	0.470	41.597	58.134	0.269	94.532
+	-	+	-	+	-	4889	1217	500	286	33.408	28.691	0.858	96.985	2.156	10.031	89.145	0.824	4.185	95.345	0.470	41.821	57.909	0.269	94.652
-	-	+	-	+	-	4916	1215	497	283	32.868	27.995	0.856	96.988	2.156	10.035	89.140	0.824	4.176	95.354	0.471	41.597	58.134	0.269	94.407
+	+	-	-	+	-	4906	1214	500	285	33.230	28.370	0.884	96.962	2.154	10.035	89.141	0.824	4.185	95.344	0.470	41.597	58.134	0.269	94.487
-	+	-	-	+	-	4928	1221	498	282	32.634	27.687	0.850	96.993	2.157	10.035	89.141	0.824	4.185	95.344	0.470	41.597	58.133	0.269	94.425
+	-	-	-	+	-	4907	1219	506	285	32.929	27.891	0.885	96.961	2.154	10.036	89.140	0.824	4.168	95.362	0.471	41.597	58.133	0.269	94.440
-	-	-	-	+	-	4910	1219	501	285	32.353	27.321	0.875	96.970	2.155	10.031	89.144	0.824	4.185	95.345	0.470	41.596	58.135	0.269	94.457
+	+	+	+	-	-	4887	1229	507	284	35.283	30.307	1.923	96.999	1.078	10.412	89.176	0.412	4.425	95.340	0.235	41.729	58.136	0.135	94.319
-	+	+	+	-	-	4905	1225	504	285	34.672	29.655	1.945	96.976	1.078	10.440	89.148	0.412	4.420	95.345	0.235	41.729	58.136	0.135	94.433
+	-	+	+	-	-	4900	1233	499	285	35.003	29.968	1.846	97.074	1.080	10.438	89.150	0.412	4.417	95.348	0.235	41.725	58.141	0.135	94.214
-	-	+	+	-	-	4897	1228	507	287	34.375	29.313	1.928	96.994	1.078	10.434	89.154	0.412	4.425	95.340	0.235	41.939	57.927	0.135	94.605
+	+																							

Primeiramente foi testada a validade dos resíduos, onde, na Figura 4.17 é possível verificar a normalidade através da visualização dos pontos sobre a linha e também pelo *P-Value* (que é superior a 0,05) para os resíduos da saída “Prod A Out”. Com isso conclui-se que os resíduos são normalmente distribuídos. O mesmo teste foi executado para todas as saídas.

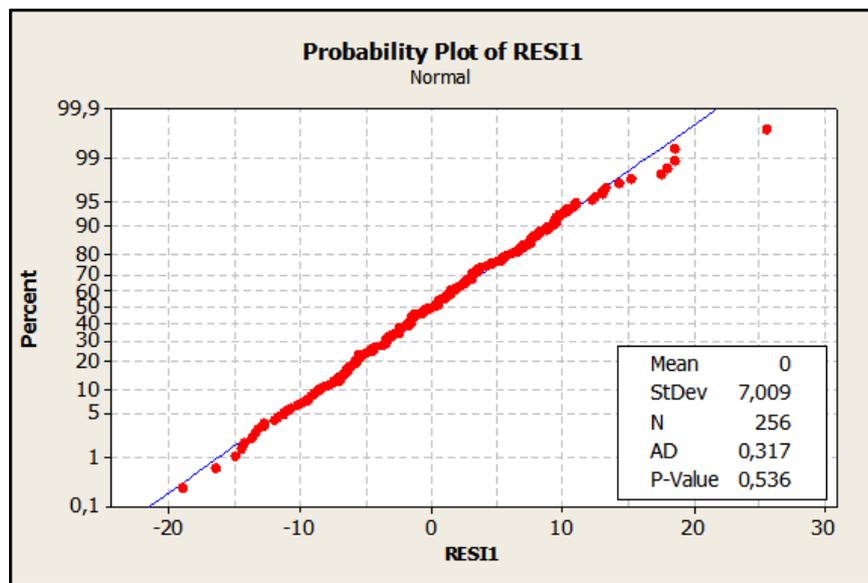


Figura 4.17 Gráfico de probabilidade Normal para resíduos padronizados (“Prod A Out”).

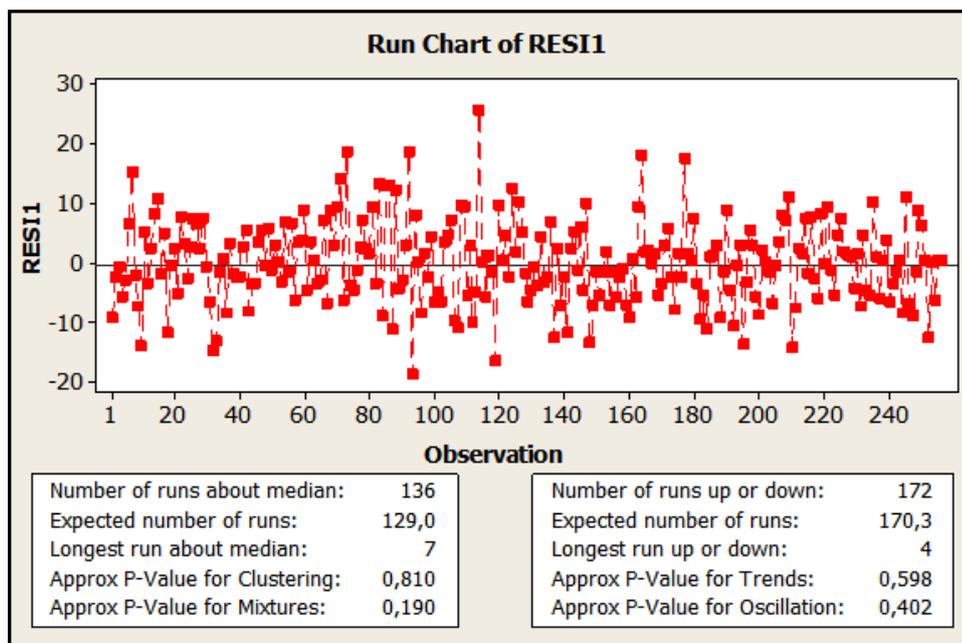


Figura 4.18 Carta de controle para resíduos padronizados vs valores ajustados (“Prod A Out”).

Além da verificação de normalidade foi verificada também a independência dos resíduos e se estes não apresentam nenhum padrão não aleatório, de agrupamento ou de tendência. Observe na Figura 4.18 que no teste o *P-Value* ficou acima de 0,05 quando analisada a saída “Prod A Out”. O mesmo teste foi realizado para as demais saídas.

Uma vez verificada a validade dos resíduos, pode-se analisar estatisticamente os resultados do DOE.

A Figura 4.19 apresenta os principais efeitos de cada fator para a produção dos quatro produtos. Pode-se observar que o fator “Peca\_Maq” é o que tem maior influência no aumento de produção de todos os produtos. Lembrando que este fator é a relação de peça por máquina onde foi possível alterar a carga de horas para cada máquina.

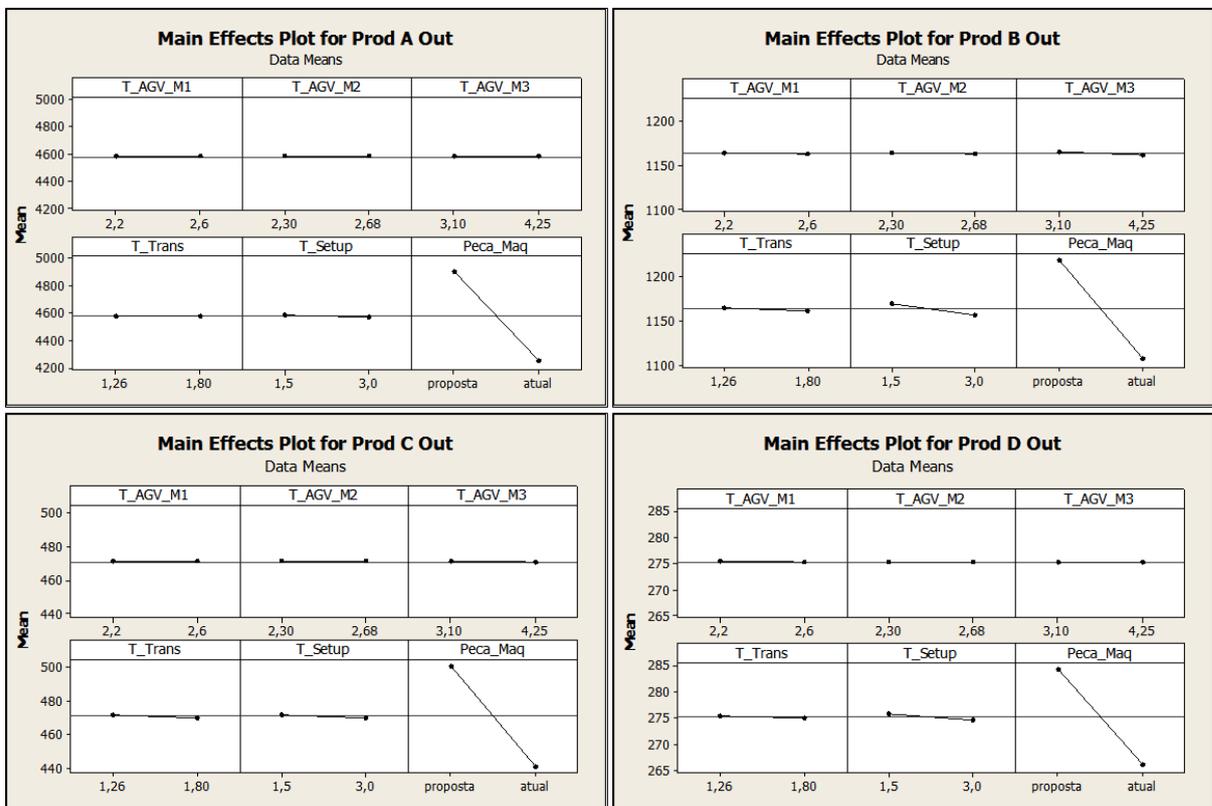


Figura 4.19 Efeitos principais para o total de produtos A, B, C e D concluídos em um ano.

Já a Figura 4.20 apresenta os gráficos dos efeitos principais para a utilização do transelevador (a), tempo trabalhado da máquina tipo 2 (b) e tempo ocioso total das máquinas (c). Percebe-se que no gráfico “c” o fator “Peca\_Maq” apresenta o efeito inverso aos demais gráficos vistos, inclusive os da Figura 4.19, isso porque o tempo ocioso total das máquinas diminui quando se utiliza a nova proposta de relação peça por máquina. Portanto, o nível inferior do fator “Peca\_Maq” (proposta) tem como efeito o aumento da produção dos quatro

tipos de produtos, elevação da utilização dos recursos AGV e transelevador, e redução do tempo não trabalhado das máquinas.

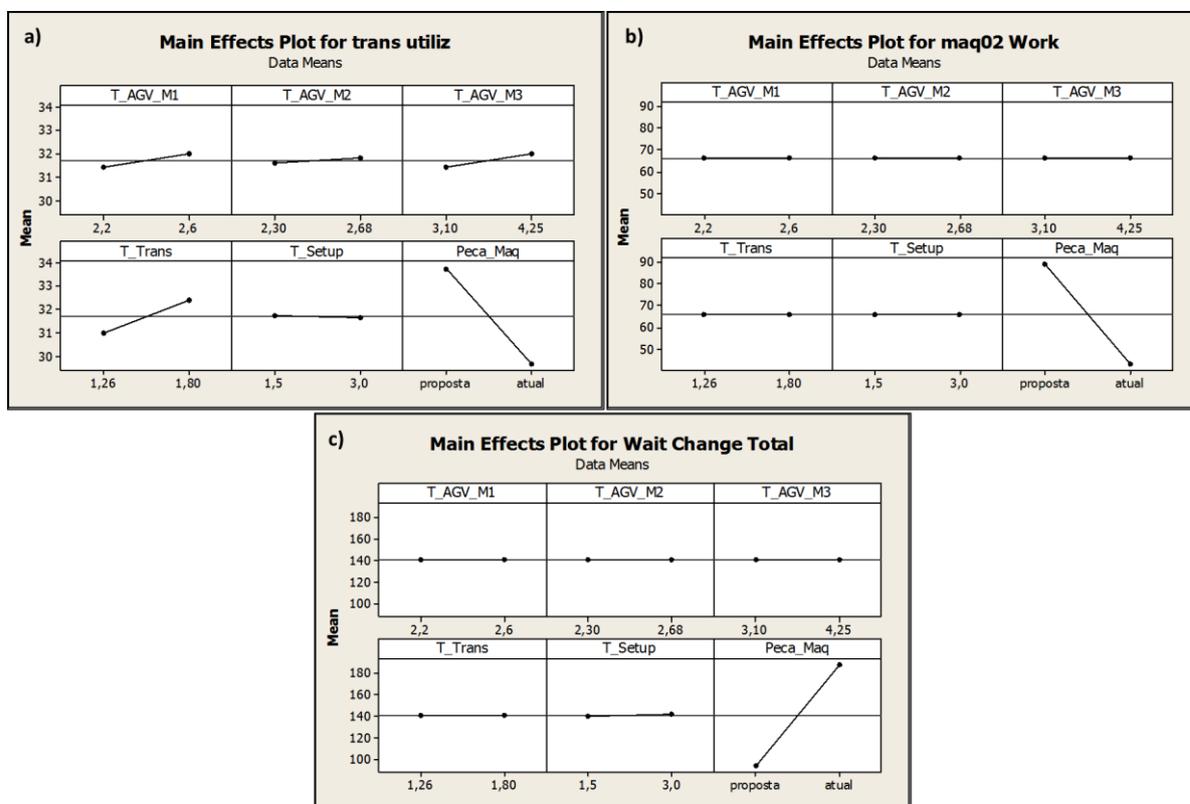


Figura 4.20 Efeitos principais para a) utilização transelevador, b) tempo trabalhado máquina tipo 2 e c) tempo não trabalhado total.

Na Figura 4.21 é possível ver os principais fatores que influenciam a) os produtos B produzidos, b) a utilização do transelevador, c) o tempo não trabalhado total e d) a utilização do AGV. Nota-se que o fator F (relação peça por máquina) é o que possui maior significância em todas as análises.

Outro fato observado é a baixa influência das interações de segunda ordem e nenhuma de terceira, quarta, quinta e sexta ordem. Essa informação é confirmada quando se verifica a análise de variância mostrada na Tabela 4.8, onde *P-Value* superior à 0,05 é considerado não significativo para os resultados.

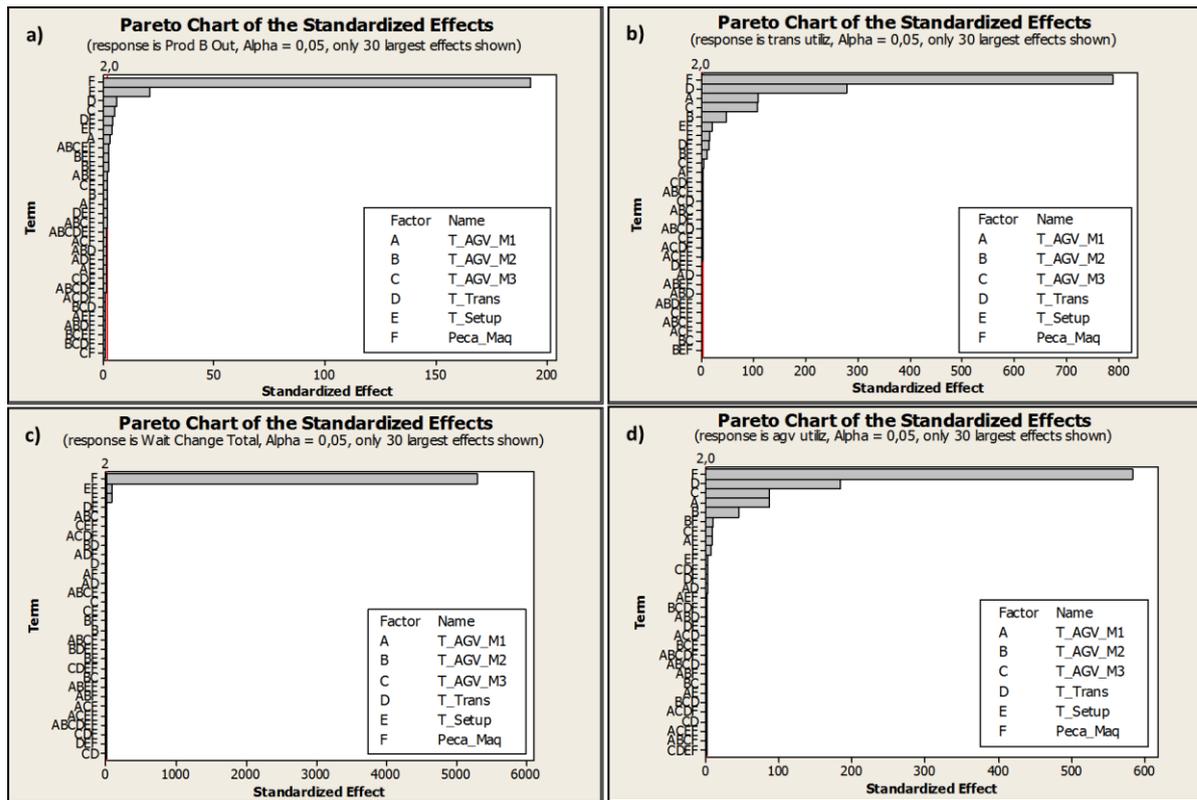


Figura 4.21 Gráfico de Pareto dos efeitos padronizados para a) produção de B, b) utilização transelevador, c) tempo não trabalhado total e d) utilização AGV.

Tabela 4.8 Análise de variância.

Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Média Quadrática	F	P-Value
Efeitos principais	6	27442977	4573830	70099,80	0,000
Interações de 2ª ordem	15	56999	27414387	420160,63	0,000
Interações de 3ª ordem	20	1152	54756	839,21	0,609
Interações de 4ª ordem	15	1044	70	1,07	0,390
Interações de 5ª ordem	6	203	34	0,52	0,794
Interações de 6ª ordem	1	153	153	2,35	0,127
Erro residual	192	12528	65		
Total	255	27515056			

Outra análise que corrobora a informação da Figura 4.21 é a Figura 4.22 que apresenta as interações de segunda ordem. Apesar de terem significância, possuem baixa influência nas saídas, consequentemente quase não se observa o cruzamento entre as linhas, demonstrando baixa interação.

Outros resultados de gráfico de Pareto dos efeitos padronizados, gráfico de probabilidade normal para os resíduos padronizados, carta de controle para resíduos padronizados vs valores ajustados e a matriz experimental completa encontram-se nos anexos.

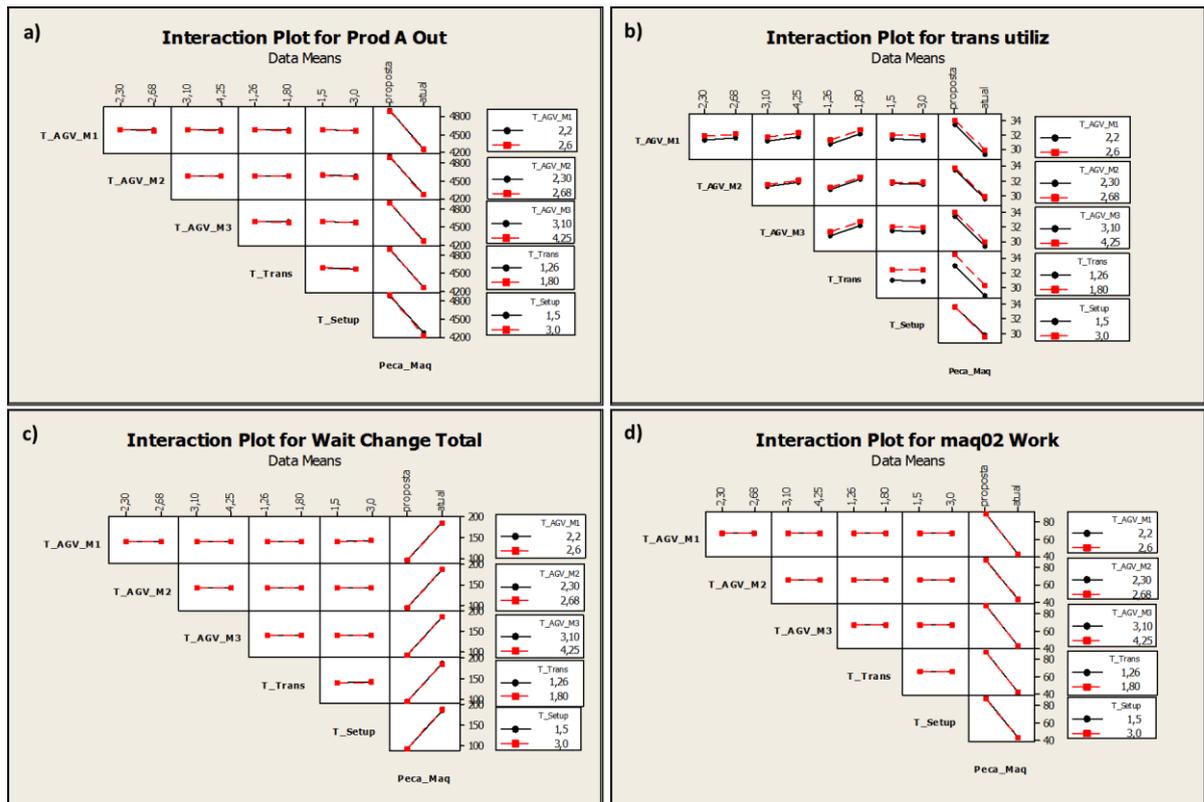


Figura 4.22 Gráfico das interações de segunda ordem entre os fatores para a) produção de A, b) utilização transelevador, c) tempo não trabalhado total e d) tempo trabalhado máquina 2.

Pela análise do DOE não são todos os fatores que possuem significância para todas as saídas, mas os que mais se destacam foram os fatores D, E e F, tempo do transelevador, tempo de *setup* das máquinas e relação peça por máquina, respectivamente.

Entretanto, foi preciso verificar junto ao grupo responsável a viabilidade de modificação dessa proposta toda de uma única vez, levando em consideração também os custos estimados para tal. Decidiu-se então apenas pela alteração da relação peça por máquina (fator F), até por ser o fator de maior significância e impacto positivo para as saídas, pois ataca diretamente o gargalo. Relembrando a teoria das restrições, se não atacar o gargalo, não é o melhor para o processo.

Levaram-se em consideração as dimensões das peças e capacidade de cada máquina para verificar a intercambialidade de peças. Além disso, o grupo também se baseou pelos gráficos apresentados em Figura 4.10, Figura 4.11, Figura 4.13 e Figura 4.14 para decidir de qual máquina retirar carga e para qual máquina transferi-la, planejando o melhor balanceamento possível de acordo com as restrições.

Dando continuidade aos passos apresentados nas análises no início desta seção, a terceira rodada foi executada no modelo computacional considerando o cenário dois e as

alterações oriundas da análise do DOE, ou seja, a demanda com o acréscimo de 50% e com alterações feitas no modelo para representar a nova proposta de relação peça por máquina.

A Tabela 4.9 demonstra as movimentações feitas com relação às cargas das máquinas, onde, basicamente, saíram peças das máquinas tipos 1, 3 e 4 e foram transferidas para as máquinas tipo 2, onde havia maior ociosidade. Todas as peças que foram alteradas pertencem aos produtos A e B. A relação de peça por máquina para os produtos C e D não foram alteradas.

Tabela 4.9 Carga de horas modificada entre as máquinas.

	Prod A	Prod B	Prod C	Prod D
<b>Máq tipo 1</b>	-26%			
<b>Máq tipo 2</b>	+51%	+50%		
<b>Máq tipo 3</b>	-25%			
<b>Máq tipo 4</b>		-50%		

Com a nova proposta já é possível notar na Figura 4.23 o aumento na quantidade de produtos acabados ao final de um ano, consequência do melhor balanceamento de carga das máquinas.

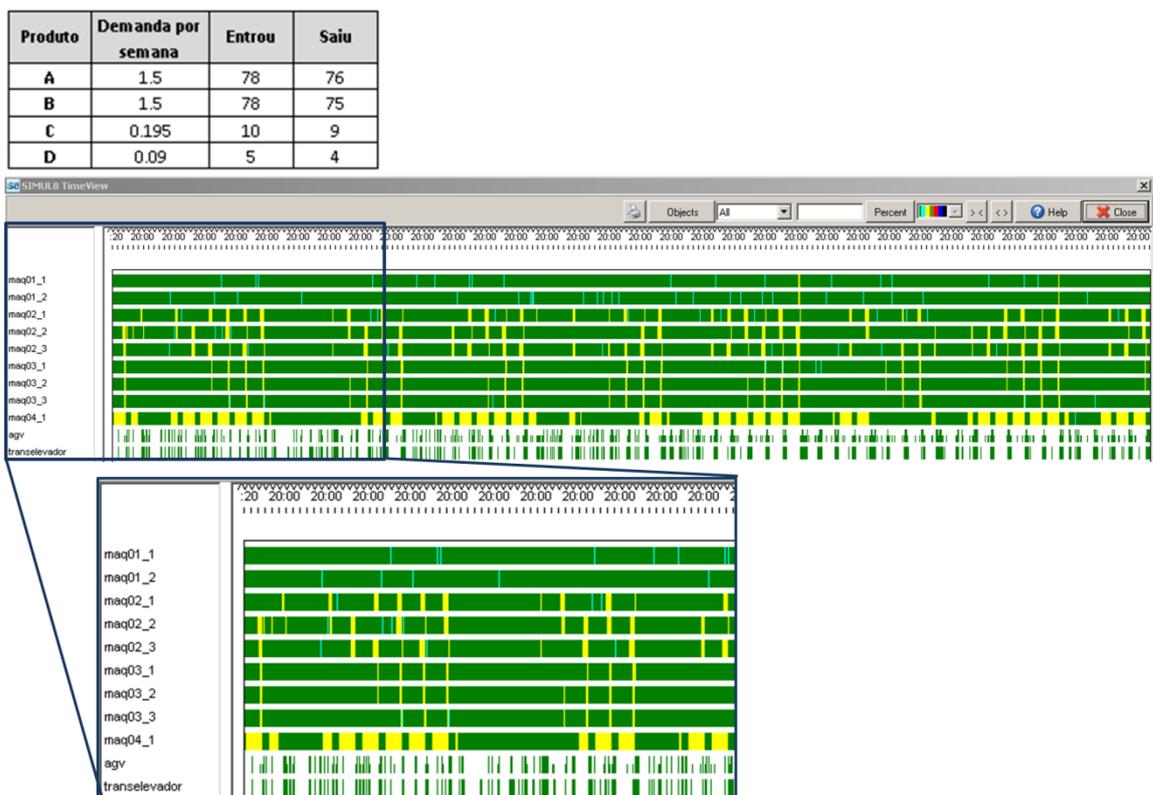


Figura 4.23 Análise para demanda do cenário 2 após alterações.

A comparação da utilização de cada uma das máquinas entre os três cenários pode ser observada na Figura 4.24 na sequência. Veja as máquinas tipo 1 e 3, que no cenário com demanda alta e antes da alteração não tinham tempo ocioso algum e eram os principais gargalos e que com a mesma demanda, porém, após a alteração, possuem uma tímida folga. Já as máquinas tipo 2 que nos dois primeiros cenários tinham grande ociosidade, com a nova configuração ficaram melhor utilizadas.

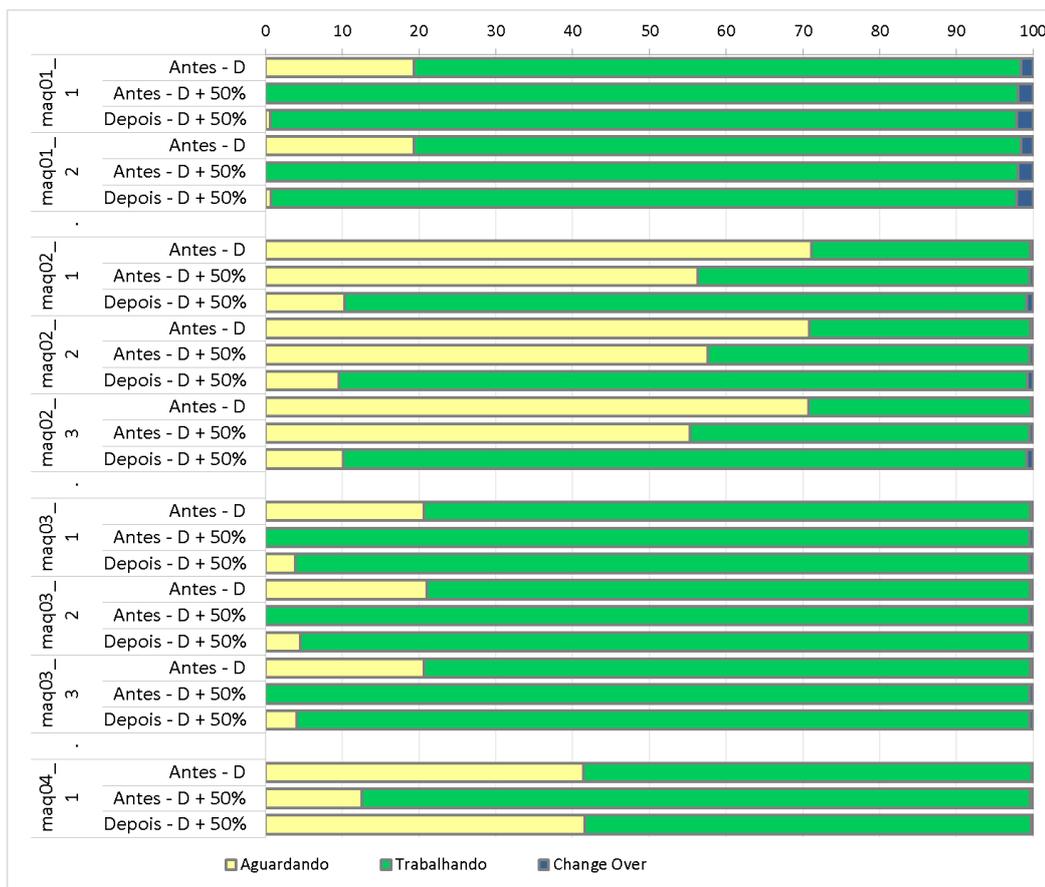


Figura 4.24 Análise dos recursos máquinas para demanda do cenário 1, 2 antes e cenário 2 após alterações.

Observe, por exemplo, a utilização dos recursos AGV e transelevador na Figura 4.25. A tendência, antes de analisar, é pensar que por ter aumentado a quantidade de produtos produzidos, a utilização de ambos os recursos também aumentaria, mas veja que para o AGV a sua utilização cai da segunda para terceira rodada. Apesar da produção aumentar, por ter alterado a relação de peça por máquina isso diminui sua utilização, uma vez que as distâncias percorridas pelo AGV também mudaram. Já o transelevador, como não tem essa dependência, a utilização saiu de 23,7% para 35,5%.

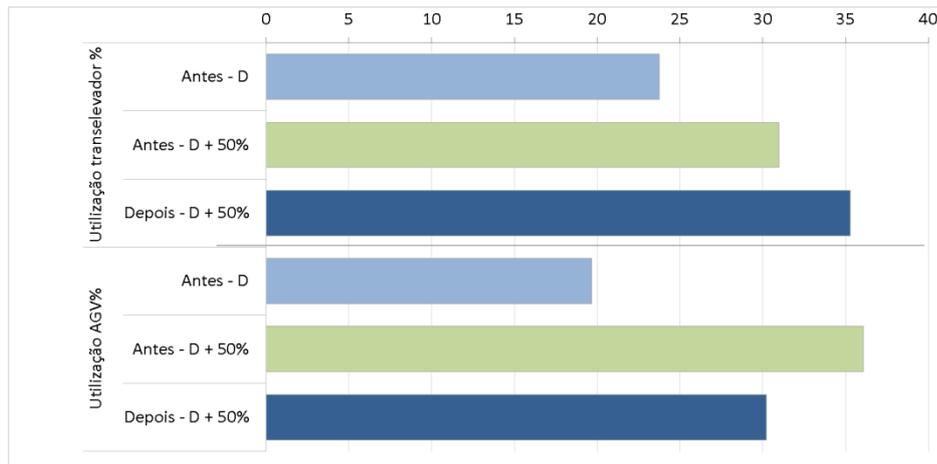


Figura 4.25 Análise dos recursos AGV e transelevador para demanda do cenário 1, 2 antes e cenário 2 após alterações.

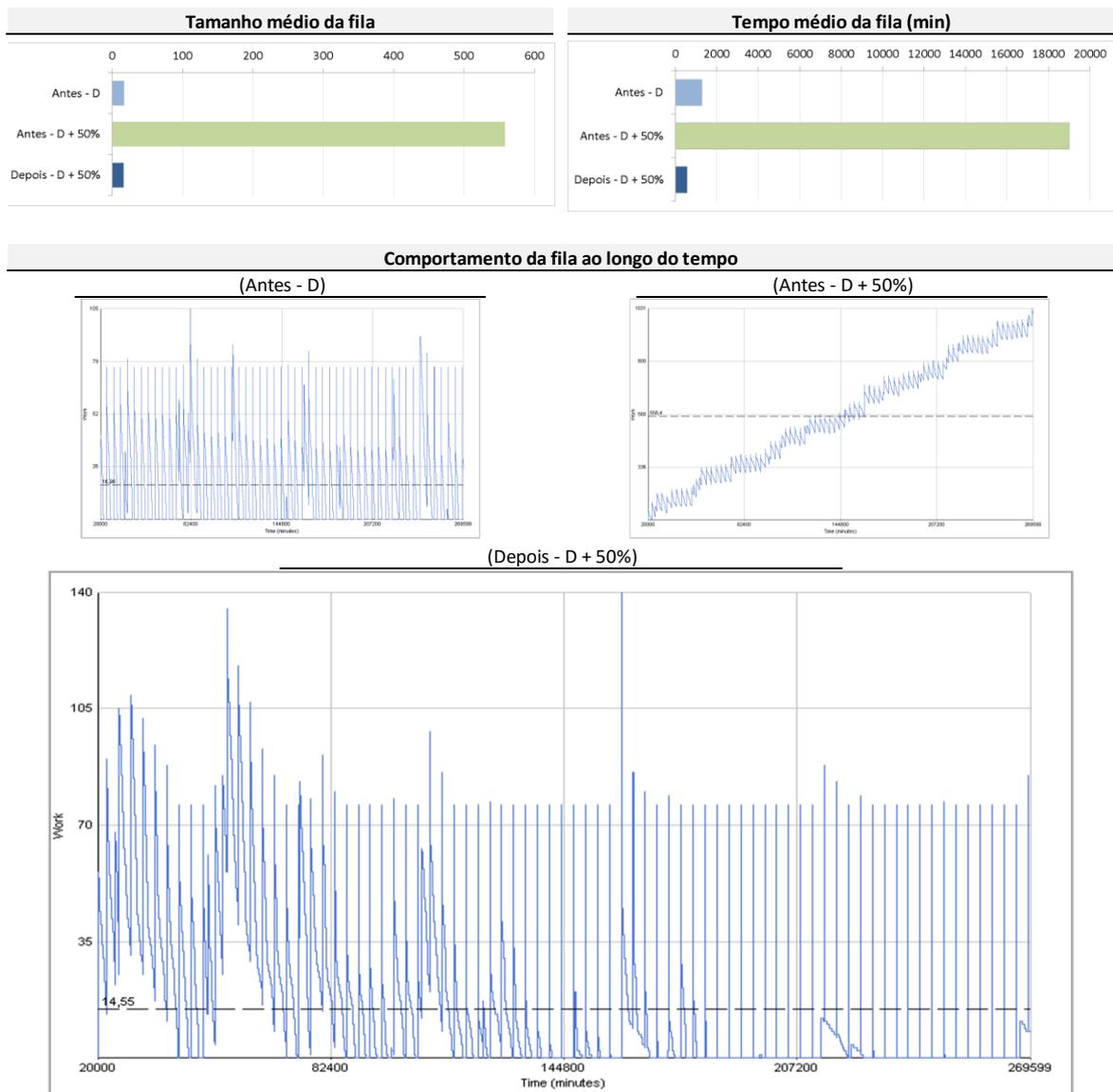


Figura 4.26 Análise da fila para demanda do cenário 1, 2 antes e cenário 2 após alterações.

Não diferente, houve também uma melhora no comportamento da fila, cujos parâmetros ficaram melhores que na primeira rodada (Figura 4.26). O tamanho médio da fila, que na primeira rodada era de 17 peças, foi para 558 na segunda rodada e caiu para 16 na terceira. O tempo médio na fila também teve o mesmo comportamento pois era de 1.286 minutos na primeira, aumentou drasticamente na segunda (19.005 minutos) e abaixou para 576 no cenário após alteração com demanda alta. Esse efeito fica bem visível ao observar os gráficos de comportamento da fila ao longo do tempo.

A Figura 4.27 mostra muito bem o que acontece com a produção e o tempo não trabalhado das máquinas para as três rodadas, notando-se a evolução. Apenas com a alteração na configuração de peça por máquina a capacidade do processo foi aumentada, conseguindo então produzir 845 peças a mais que no cenário da segunda rodada. No gráfico as peças já estão convertidas em produto acabado.

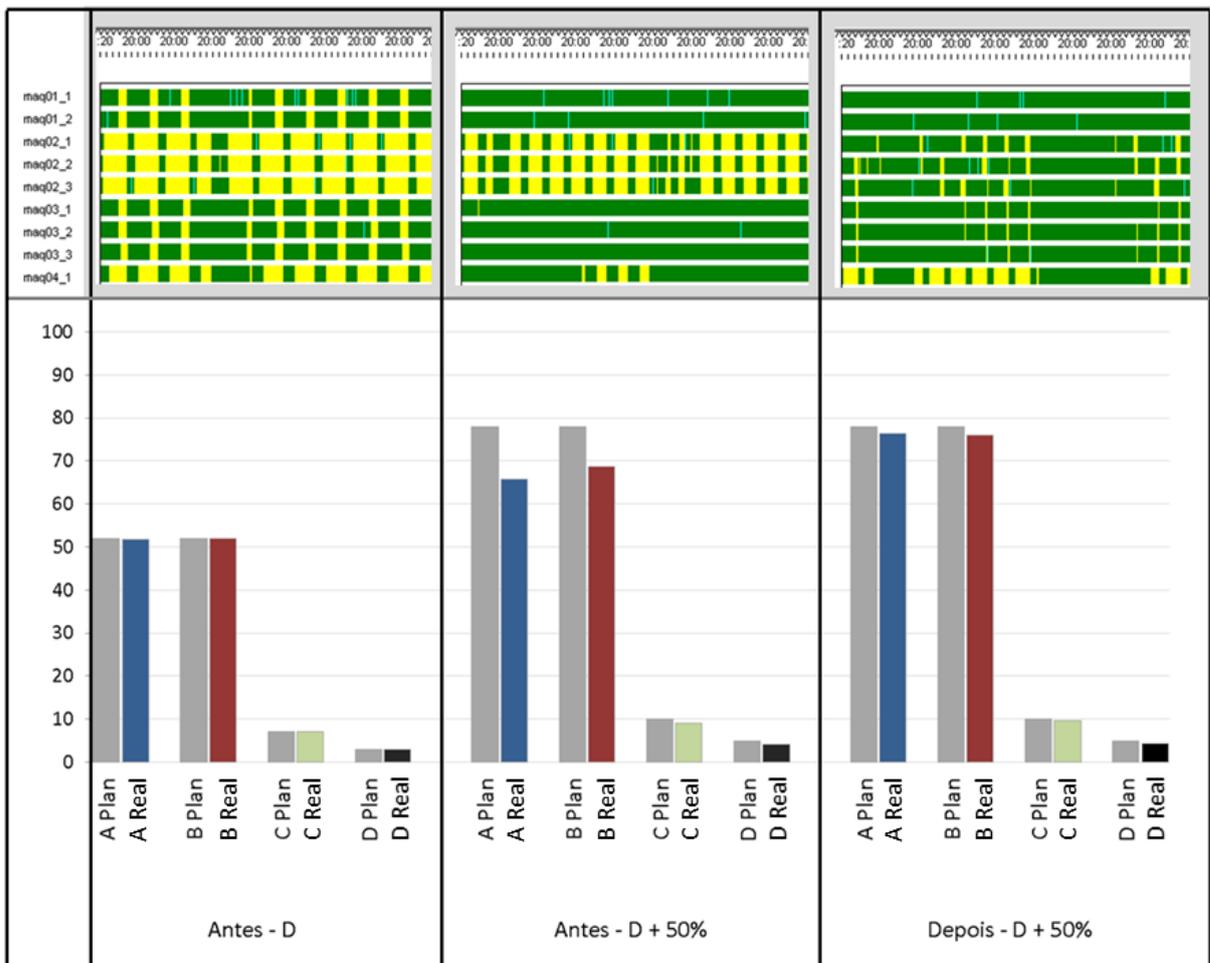


Figura 4.27 Comparação da demanda planejada e executada para o cenário 1, cenário 2 antes e cenário 2 após alterações.

#### 4.4.4. Conclusões e recomendações

Considerando o cenário do início do projeto, denominado como cenário um, onde a demanda não ultrapassa 114 aeronaves ao ano, o projeto é capaz de atender a demanda sem nenhuma alteração no seu escopo inicial.

Caso a demanda aumente 50% para cada produto, a demanda anual passa de 114 aeronaves para 171 ao ano. Com esta demanda o sistema já não se mostra capaz de atender a demanda, além de expor claramente os gargalos nas máquinas e seu efeito na fila. Na tentativa de amenizar este cenário a proposta foi a alteração da relação peça por máquina dos produtos A e B. Com esta proposta, o processo não foi capaz de dar vazão à demanda toda. Para 171 aeronaves ao ano é necessária a produção de 7.070 peças, porém foram produzidas 6.890, 195 peças a menos. No entanto, com essa configuração de peça por máquina, o sistema é capaz de suportar um aumento de produção de 45% para os produtos A, B, 30% para o produto C e 33% para D, chegando a um total de 164 aeronaves, ou seja, 50 a mais do que o primeiro cenário.

Vale lembrar que a solução proposta na relação peça por máquina foi visando um aumento uniforme para todos os produtos de 50%. Caso outro cenário seja simulado com outras alterações que não estas, a proposta não surtirá o mesmo efeito já que isso altera a demanda por cada tipo de máquina, por isso é importante o trabalho do analista para verificar qual a melhor solução para cada diferente cenário de demanda. Abaixo pode ser visto um resumo dessas informações.

<b>Cenário 1</b>	Demanda de 114 aeronaves. Projeto é capaz de atender a demanda sem nenhuma alteração no seu escopo inicial.
<b>Cenário 2</b>	Demanda de 171 aeronaves. Gargalos devido às máquinas tipo 1 e 3.
<b>Após DOE</b>	Demanda de 171 aeronaves. Das 7.070 peças necessárias para atender 171 aeronaves, foram produzidas 6.890. Apenas 2,5% das peças não foram produzidas. Atende aumento de : 45% dos produtos A e B, 30% de C e 33% de D.

Figura 4.28 Resumo das conclusões para o cenário 1, cenário 2 antes e cenário 2 após DOE.

## 5. CONCLUSÃO

### 5.1. Considerações iniciais

O presente capítulo encerra esta dissertação apresentando as conclusões e os principais resultados oriundos deste trabalho, a verificação dos resultados com relação aos objetivos expostos na seção 1.3 e sugestões de trabalhos futuros.

### 5.2. Conclusões gerais e contribuições

Esta dissertação se apoiou em várias oportunidades para o seu desenvolvimento.

Primeiramente, o projeto estudado pela empresa com a finalidade de expandir parte de sua produção para atender demandas futuras de produtos já existentes e de novos que poderão vir pelo planejamento estratégico. O alto investimento envolvido fomentou o grupo responsável em utilizar a simulação a eventos discretos para as análises de carga e capacidade das máquinas e utilização dos recursos AGV e transelevador. Isso os possibilitou a análise de vários cenários para diferentes balanceamentos de demandas entre os produtos.

Outras duas oportunidades foram observadas após estudo da literatura sobre os temas simulação a eventos discretos, planejamento de experimentos e indústria aeroespacial, onde se notou a falta de publicações com esses três temas envolvidos. Posteriormente, em uma análise mais detalhada em alguns trabalhos que possuíam a SED como tema, verificou-se que em nenhum deles foi utilizado o software de simulação SIMUL8® e tão pouco foram aplicados na indústria aeronáutica.

É importante ressaltar a colaboração do grupo responsável, como engenheiros e analistas de planejamento, para o bom andamento do projeto. O apoio foi imprescindível e tornou-se legítimo quando perceberam as possibilidades que um software de simulação combinado ao planejamento de experimentos poderia oferecer para a análise do projeto e direcioná-los a uma tomada de decisão.

A escolha do software também auxiliou no desenvolvimento do modelo computacional, principalmente no instante da análise do planejamento de experimentos em que foi necessário executar vários cenários diferentes. O software possui uma ferramenta que facilita a definição dos parâmetros que se desejam alterar e a definição de valores que devem ser aplicados para cada parâmetro. Ao final basta apenas exportar os resultados para uma planilha.

### 5.3. Verificação dos objetivos originais

Os objetivos da dissertação eram: a) demonstrar a aplicação da combinação das ferramentas simulação a eventos discretos e planejamento de experimentos na indústria aeronáutica; b) criar uma interface do modelo computacional com o usuário que facilite a alteração das demandas dos produtos, possibilitando a criação e análise de cenários.

O primeiro objetivo mencionado foi alcançado com êxito durante o desenvolvimento do projeto, tanto para fins práticos quanto acadêmicos. Além da contribuição com um exemplo na indústria aeronáutica, o projeto destaca-se por ajudar no planejamento de uma área que ainda está por ser construída e, portanto, não há sistema real para validação computacional. Isso dispendeu uma participação muito maior dos responsáveis para que o modelo pudesse ser verificado e validado, já que não haviam dados históricos. Foi muito bem visto também a análise estatística proporcionada pelo planejamento de experimentos, dando mais força e segurança para tomada de decisão.

A facilidade proporcionada pelo menu criado para interface com o usuário fez com que ele fosse amplamente utilizado, muitos outros cenários não vistos nesta dissertação foram simulados e analisados pelo time. Houve a solicitação futura de incluir neste menu uma forma de poder alterar outros parâmetros que não somente as demandas dos produtos, como quantidade de AGV, a matriz de tempo de cada peça para cada máquina e a matriz de relação das peças por máquina, trazendo uma flexibilidade ao modelo para as pessoas que não sabem trabalhar diretamente com o *software* de simulação.

O projeto além de dimensionar os recursos, auxiliou no balanceamento das máquinas. Os relatórios de saída de dados do SIMUL8® ajudaram na visualização dos tempos não trabalhados pelas máquinas e as “bolhas” que ainda haviam no processo. Isso guiou na análise dos gargalos e possibilitou visualizar claramente a evolução desta parte do processo, desde o primeiro cenário onde as máquinas trabalhavam com folga, passando pelo aumento de demanda e gargalos aparecendo e, ao final, após as mudanças, a melhor distribuição de carga pelos grupos de máquinas.

### 5.4. Sugestões de projetos futuros

Sugestões de trabalhos futuros são apresentadas a seguir, ampliando a contribuição de novas pesquisas nesta área:

- Considerar ferramenta de custeio ABC para inclusão de informações de custos no modelo computacional, incluindo o método VPL (Valor Presente Líquido) para análise de viabilidade financeira;
- Após a construção da área estudada, comparar os resultados obtidos pela análise da simulação com os resultados reais do processo;
- Criar um modelo de toda a planta que está sendo projetada e não somente da área estudada neste projeto, a fim de avaliar processos compartilhados entre as diferentes áreas, como recebimento, estoque, restaurante e expedição;
- Considerar a ferramenta de mapeamento do fluxo de valor, o VSM, para diagnosticar o processo, identificar desperdícios e causas raízes, incluindo os conceitos de manufatura *lean*.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Dados e Estatísticas – Anuários do Transporte Aéreo - 2013**. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/estatistica/anuarios.asp>> Acesso em: 29/04/2015

AKERA, A. *The early computers*. In: AKERA, A.; NEBEKER, F. (eds.) *From 0 to 1: An authoritative history of modern computing*. Oxford: Oxford University Press, 2002. p. 63-75.

BANKS, Jerry. *Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice*. John Wiley & Sons, 1998.

BANKS, Jerry. *Panel Session: The Future of Simulation*. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Arlington, VA, USA, 2001.

BANKS, J.; CARSON II, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M. *Discrete-event simulation*. 4<sup>th</sup> ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2005.

BANKS, J.; CARSON II, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M. *Discrete-event Simulation*. 5<sup>th</sup> ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2009.

BANKS, J.; CARSON, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D.M. *Discrete-event system simulation*. 5<sup>th</sup> ed., New Jersey: Prentice Hall, 2010.

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. *Modelling and Simulation: operations management research methodologies using quantitative modeling*. International Journal of Operations & Production Management, v.22, n.2, 2002.

BLOOMFIELD, R.; MAZHARI, E.; HAWKINS, J.; SON, Y. J. *Interoperability of manufacturing applications using the Core Manufacturing Simulation Data (CMSD) standard information model*. Computer & Industrial Engineering, v.62, n.4, p.1065-1079, 2012.

CABRERA-RIOS, M.; MOUNT-CAMPBELL, C. A. E IRANI, S. A. *An approach to the design of a manufacturing cell under economic considerations*. International Journal of Production Economics, n.78, p.223–237, 2002.

CARSON, J. S. *Introduction to modeling and simulation*. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Washington, D.C., USA, 2004.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. *Modelagem e Simulação a eventos Discretos: Teoria e Aplicações*. São Paulo: Elsevier, 2015.

DOMBROWSKIA, U.; ERNST, S. *Scenario-based simulation approach for layout planning*. 8<sup>th</sup> CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering. n.12, p.354-359, 2013.

EMBRAER – Empresa Brasileira de Aeronáutica. **Quem somos – Embraer em números.** Disponível em: <<http://www.embraer.com.br/pt-R/ConhecaEmbraer/EmbraerNumeros/Paginas/Home.aspx>>. Acesso em: 29/04/2015.

EMBRAER – Empresa Brasileira de Aeronáutica. **Relação com Investidores – Kit do Investidor.** Disponível em: <<http://ri.embraer.com.br/default.aspx?linguagem=pt>>. Acesso em: 29/04/2015.

EMBRAER – Empresa Brasileira de Aeronáutica. **Relação com Investidores – Market Outlook.** Disponível em: <[http://www.embraercommercialaviation.com/MarketInfo/VPC\\_MktOutlook\\_2014.pdf](http://www.embraercommercialaviation.com/MarketInfo/VPC_MktOutlook_2014.pdf)>. Acesso em: 29/04/2015.

GAVIRA, M. O. *Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento.* 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, SP, 2003.

GOMES, J. H. F. *Análise e otimização da soldagem de revestimento de chapas de aço carbono utilizando arame tubular inoxidável austenítico.* 2010. Dissertação (Mestrado em Eng. de Produção), Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2010.

GREASLEY, A. *Using simulation for facility design: A case study.* Simulation Modelling Practice and Theory. n.16, p.670-677, 2008.

GRÖNROOS, C. *Marketing gerenciamento e serviços.* 3<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

HARREL, C. R.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. *Simulation Using Promodel.* 3<sup>rd</sup> ed. New York: McGraw-Hill, 2004.

HWANG, J.; GAO, L.; JANG, W. *Joint demand and capacity management in a restaurant system.* European Journal of Operational Research. v.207, p.465-472, 2010.

JAHANGIRIAN, M.; ELDABI, T.; NASEER, A.; STERGIOLAS, L. K.; YOUNG, T. *Simulation in manufacturing and business: A review.* European Journal of Operational Research, v.203, n.1, p.1-13, 2010.

JENKINS, C. M.; RICE, S. V. *Resource modeling in discrete-event simulation environments: a fifty-year perspective.* In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Austin, TX, USA, 2009.

KELTON, W. D. *Designing simulation experiments.* In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, New Orleans, LA, USA, 2003.

KELTON, David W.; SADOWSKI, Randall P.; STURROCK, David T. *Simulation with Arena.* 4<sup>th</sup> ed. New York: McGraw-Hill, 2007.

KLEIJNEN, J. P. C.; SANCHEZ, S. M.; LUCAS, T. W.; CIOPPA, T. M. *State-of-the-Art Review: A User's Guide to the Brave New World of Designing Simulation Experiments.* Journal on Computing, v.17, n.3, p.263–289, 2005.

- LANDSHEER, J. A.; VAN DEN WITTENBOER; MAASSEN, G. H. *Additive and multiplicative effects in a fixed 2 x 2 design using ANOVA can be difficult to differentiate: demonstration and mathematical reason*. Social Science Research, v.35, p.279–294, 2006.
- LAW, A. M. *Simulation modeling & analysis*. New York: McGraw-Hill, 2007.
- LAW, A. M. *How to build valid and credible simulation models*. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Austin, TX, USA, 2009.
- LAW, A. M.; KELTON, W. D. *Simulation modeling and analysis*. 3<sup>rd</sup> ed. New York: McGraw-Hill, 2000.
- LEAL, F. *Análise do efeito interativo de falhas em processos de manufatura através de projetos de experimentos simulados*. 2008. Tese (Doutorado em Eng. Mecânica). Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, SP, 2008.
- LEAL, F.; ALMEIDA, D. A. de; MONTEVECHI, J.A.B; *Uma Proposta de Técnica de Modelagem Conceitual para a Simulação através de elementos do IDEF*. In: Anais do XL Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, João Pessoa, PB, 2008.
- MARTINS, R. A. *Abordagens quantitativa e qualitativa*. In: MIGUEL, P. A. C. (Org). *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. Cap. 3, p.45-61.
- MENDONÇA, M. M.; MONTEVECHI, J. A. B.; MIRANDA, R. C. *Aplicação da modelagem conceitual IDEF-SIM ao software de modelagem computacional SIMUL8®: um caso Prático*. In: Anais do XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Salvador, BA, 2013.
- MONTEVECHI, J. A. B.; MIRANDA, R. C.; FRIEND, J. D. *Sensitivity Analysis in Discrete-Event Simulation Using Design of Experiments*. In: LIM, E. W. C. (Org). *Discrete Event Simulations - Development and Applications*. Rijeka: Intech, p. 63-102, 2012.
- MONTEVECHI, J. A. B.; PINHO, A. F. de; LEAL, F.; MARINS, F. A. S. *Application of design of experiments on the simulation of a process in an automotive industry*. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Washington, D.C., USA, 2007.
- MONTEVECHI, J. A. B.; PINHO, A. F. de; LEAL, F.; COSTA, R. F. S.; Oliveira, M. L. M. *Conceptual modeling simulation projects by mean adapted IDEF: an application in a Brazilian tech company*. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Baltimore, MD, USA, 2010.
- MONTGOMERY, D. C. *Introdução ao controle estatístico da qualidade*. 4a. ed., Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. *Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros*. 2<sup>a</sup>.ed. Editora LTC, 2003.
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. *Applied Statistics and Probability for Engineers*. 5th. Ed. USA: John Wiley & Sons, Inc., 2011.

- MOONEY, C.Z. *Monte Carlo Simulation*. Thousand Oaks: SAGE Publications, 1997, 103p.
- MORABITO, R.; PUREZA, V. *Modelagem e simulação*. In: CAUCHICK MIGUEL, P. A. *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. Rio de Janeiro: Campus, 2010, 226p.
- NANCE, R. E. *Simulation Programming Languages: An Abridged History*. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Arlington, VA, USA, 1995.
- PIDD, Michael. *Computer simulation in management science*. 5.ed. John Wiley & Sons, 2004.
- ROBINSON, S. *Conceptual modeling for simulation: issues and research requirements*. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Monterey, CA, USA, 2006.
- ROBINSON, S. *Conceptual modelling for simulation Part I: definition and requirements*. *Journal of the Operational Research Society*, v.59, n.3, p.278-290, 2008.
- SARGENT, R. G. *Verification and validation of simulation models*. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Baltimore, MD, USA, 2010.
- SARGENT, R. G. *Verification and Validation of Simulation Models*. *Journal of Simulation*. V. 7 pp. 12-24, 2013.
- SCHNEIDER, C. S. *Utilização dos aspectos ergonômicos na simulação de sistemas de produção*. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRS), Porto Alegre, RS, 2004.
- SHANNON, R. E. *Introduction to the art and science of simulation*. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Washington, DC, USA, 1998.
- THOMAS, J. R.; NELSON, J. K.; SILVERMAN, S. J. *Métodos de Pesquisa em Atividade Física*. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

Tabela A.1 Matriz experimental completa.

Std Order	Run Order	T_AGV M1	T_AGV M2	T_AGV M3	T_ Trans	T_ Setup	Peca_ Mag	Prod A Out	Prod B Out	Prod C Out	Prod D Out	trans utiliz	agv utiliz	maq01 Wait	maq01 Work	maq01 Change	maq02 Wait	maq02 Work	maq02 Change	maq03 Wait	maq03 Work	maq03 Change	maq04 Wait	maq04 Work	maq04 Change	Wait+Change Total
1	83	2,2	2,3	3,1	1,26	1,5	proposta	4924	1226	504	286	32,34741	27,35091	1,830165	97,08931	1,08053	10,43872	89,14922	0,41206	4,41988	95,34494	0,235177	41,72895	58,13643	0,13462	94,20248
2	63	2,6	2,3	3,1	1,26	1,5	proposta	4904	1230	504	286	32,92208	27,91332	1,86464	97,05603	1,07933	10,43939	89,14855	0,41206	4,420563	95,34426	0,235177	41,72995	58,13543	0,13462	94,27408
3	201	2,2	2,68	3,1	1,26	1,5	proposta	4903	1231	503	284	32,63717	27,72506	1,91645	97,00512	1,07843	10,43962	89,14831	0,41206	4,420727	95,34409	0,235177	41,72958	58,13581	0,13462	94,37672
4	233	2,6	2,68	3,1	1,26	1,5	proposta	4895	1228	502	285	33,2305	28,42891	1,954335	96,96724	1,07843	10,43688	89,15106	0,41206	4,416733	95,34809	0,235177	41,72575	58,13964	0,13462	94,42845
5	130	2,2	2,3	4,25	1,26	1,5	proposta	4909	1225	500	285	32,89067	28,07345	1,886915	97,03466	1,07843	10,43799	89,14995	0,41206	4,419143	95,34568	0,235177	41,72788	58,13751	0,13462	94,3063
6	25	2,6	2,3	4,25	1,26	1,5	proposta	4901	1226	503	287	33,48157	28,71971	1,864695	97,05598	1,07933	10,43802	89,14992	0,41206	4,419763	95,34506	0,235177	41,72932	58,13606	0,13462	94,26706
7	58	2,2	2,68	4,25	1,26	1,5	proposta	4911	1230	504	287	33,17711	28,36541	1,916385	97,00519	1,07843	10,43874	89,14919	0,41206	4,41972	95,34511	0,235177	41,72928	58,1361	0,13462	94,37063
8	132	2,6	2,68	4,25	1,26	1,5	proposta	4892	1229	502	284	33,75729	29,11727	1,899855	97,02172	1,078425	10,43482	89,15313	0,41206	4,4238	95,34102	0,235177	41,72907	58,13632	0,13462	94,33781
9	78	2,2	2,3	3,1	1,8	1,5	proposta	4914	1233	505	285	33,89416	28,58098	1,870545	97,05033	1,079125	10,43345	89,15449	0,41206	4,42353	95,34129	0,235177	41,72927	58,13611	0,13462	94,27588
10	54	2,6	2,3	3,1	1,8	1,5	proposta	4910	1224	507	283	34,45876	29,3145	1,943695	96,97815	1,078155	10,43904	89,1489	0,412063	4,420413	95,34441	0,235177	41,72972	58,13566	0,13462	94,42811
11	149	2,2	2,68	3,1	1,8	1,5	proposta	4902	1232	506	284	34,19847	29,00433	1,938165	96,98371	1,07813	10,43939	89,14855	0,41206	4,419807	95,34502	0,235177	41,73005	58,13533	0,13462	94,41657
12	256	2,6	2,68	3,1	1,8	1,5	proposta	4896	1233	505	286	34,7495	29,7097	1,93676	96,98512	1,07813	10,44048	89,14746	0,41206	4,42287	95,34216	0,234977	41,73059	58,13479	0,13462	94,42615
13	38	2,2	2,3	4,25	1,8	1,5	proposta	4897	1228	507	287	34,37506	29,31261	1,927905	96,99367	1,078425	10,43408	89,15386	0,41206	4,425017	95,33986	0,23512	41,93869	57,92669	0,13462	94,6048
14	111	2,6	2,3	4,25	1,8	1,5	proposta	4900	1233	499	285	35,00345	29,96807	1,84597	97,0744	1,07963	10,43761	89,15033	0,412057	4,416643	95,34838	0,234977	41,72473	58,14065	0,13462	94,21441
15	62	2,2	2,68	4,25	1,8	1,5	proposta	4905	1225	504	285	34,67202	29,65459	1,94543	96,97645	1,07813	10,4404	89,14754	0,41206	4,419627	95,34524	0,23514	41,72945	58,13593	0,13462	94,43286
16	64	2,6	2,68	4,25	1,8	1,5	proposta	4887	1229	507	284	35,28314	30,30717	1,92308	96,99879	1,078125	10,41232	89,17562	0,412063	4,4249	95,34012	0,234977	41,72948	58,13591	0,13462	94,31929
17	174	2,2	2,3	3,1	1,26	3	proposta	4910	1219	501	285	32,35335	27,3205	0,87468	96,97027	2,15505	10,03148	89,1444	0,82412	4,184717	95,34493	0,470353	41,59609	58,13468	0,26923	94,4568
18	72	2,6	2,3	3,1	1,26	3	proposta	4907	1219	506	285	32,92913	27,89125	0,88463	96,96092	2,15445	10,03601	89,13987	0,82412	4,167613	95,36163	0,470753	41,59737	58,13339	0,26923	94,44025
19	81	2,2	2,68	3,1	1,26	3	proposta	4928	1221	498	282	32,63361	27,68709	0,850405	96,99257	2,15703	10,03499	89,14092	0,82412	4,185147	95,3445	0,47035	41,59749	58,13328	0,26923	94,42534
20	153	2,6	2,68	3,1	1,26	3	proposta	4906	1214	500	285	33,22967	28,36999	0,88375	96,9618	2,15445	10,035	89,14088	0,82412	4,185363	95,34428	0,470353	41,59683	58,13394	0,26923	94,48697
21	2	2,2	2,3	4,25	1,26	3	proposta	4916	1215	497	283	32,8676	27,99548	0,855645	96,98811	2,156255	10,03546	89,14042	0,82412	4,175563	95,35368	0,470753	41,59651	58,13426	0,26923	94,40723
22	93	2,6	2,3	4,25	1,26	3	proposta	4889	1217	500	286	33,40765	28,69069	0,858475	96,98527	2,156255	10,03133	89,14455	0,824123	4,18494	95,34484	0,470227	41,8214	57,90937	0,26923	94,65195
23	155	2,2	2,68	4,25	1,26	3	proposta	4908	1220	504	281	33,17297	28,33385	0,90405	96,9415	2,154455	10,03713	89,13875	0,82412	4,184657	95,34499	0,470353	41,59661	58,13416	0,26923	94,53164
24	205	2,6	2,68	4,25	1,26	3	proposta	4910	1216	503	281	33,762	28,88588	0,90424	96,94131	2,15445	10,03733	89,13855	0,82412	4,18511	95,34454	0,470357	41,5964	58,13437	0,26923	94,53376
25	32	2,2	2,3	3,1	1,8	3	proposta	4900	1218	499	286	33,85213	28,5686	0,87558	96,96937	2,15505	10,03073	89,14514	0,824117	4,183963	95,34592	0,470123	41,59586	58,13491	0,26923	94,45316
26	234	2,6	2,3	3,1	1,8	3	proposta	4904	1216	498	281	34,45983	29,24361	0,882795	96,96237	2,15484	10,01188	89,16399	0,82412	4,18677	95,34288	0,470357	41,59409	58,13668	0,26923	94,41798
27	46	2,2	2,68	3,1	1,8	3	proposta	4911	1215	496	282	34,18859	28,94376	0,857665	96,98609	2,156255	10,03197	89,14391	0,82412	4,184257	95,34547	0,470273	41,59689	58,13388	0,26923	94,42582
28	18	2,6	2,68	3,1	1,8	3	proposta	4897	1203	499	284	34,74964	29,5659	0,842345	97,0002	2,157455	10,03558	89,14029	0,82412	4,183953	95,3457	0,470347	41,59676	58,13401	0,26923	94,4076
29	68	2,2	2,3	4,25	1,8	3	proposta	4932	1209	497	284	34,48019	29,17417	0,663065	97,17167	2,16527	10,03169	89,14419	0,82412	4,173253	95,35629	0,470453	41,59619	58,13458	0,26923	94,02063
30	39	2,6	2,3	4,25	1,8	3	proposta	4914	1201	498	282	34,99849	29,80968	0,76757	97,07077	2,161665	10,03095	89,14493	0,824123	4,18302	95,34703	0,469953	41,59437	58,1364	0,26923	94,24621
31	57	2,2	2,68	4,25	1,8	3	proposta	4898	1210	493	282	34,68936	29,59223	0,86078	96,98297	2,156255	10,03158	89,1443	0,82412	4,178543	95,35074	0,47072	41,59634	58,13443	0,26923	94,41453
32	44	2,6	2,68	4,25	1,8	3	proposta	4905	1203	491	284	35,2629	30,21356	0,798195	97,04177	2,160035	10,02858	89,1473	0,824117	4,17981	95,34984	0,470353	41,5913	58,13947	0,26923	94,28557
33	90	2,2	2,3	3,1	1,26	1,5	atual	4280	1109	442	268	28,44304	23,45933	0	98,97776	1,02224	56,65997	43,08341	0,25661	0	99,76222	0,23778	12,71181	87,1049	0,18329	186,40267
34	98	2,6	2,3	3,1	1,26	1,5	atual	4285	1119	445	268	28,92348	23,93392	0	98,97776	1,02224	56,66152	43,08181	0,25666	0	99,76222	0,23778	12,62109	87,19562	0,18329	186,31675
35	97	2,2	2,68	3,1	1,26	1,5	atual	4286	1118	441	268	28,58893	23,68098	0	98,97776	1,02224	56,65978	43,08344	0,256783	0	99,76222	0,23778	12,63558	87,18113	0,18329	186,32638
36	181	2,6	2,68	3,1	1,26	1,5	atual	4283	1111	444	267	29,19849	24,2618	0	98,97776	1,02224	56,66033	43,08306	0,256613	0	99,76222	0,23778	12,65493	87,16178	0,18329	186,34687
37	15	2,2	2,3	4,25	1,26	1,5	atual	4292	1110	437	268	28,9848	24,00635	0	98,97776	1,02224	56,65956	43,08371	0,256737	0	99,76222	0,23778	12,68691	87,12979	0,18329	186,37691
38	147	2,6	2,3	4,25	1,26	1,5	atual	4286	1107	439	267	29,54058	24,52414	0	98,97776	1,02224	56,66046	43,08293	0,256613	0	99,76222	0,23778	12,60418	87,21252	0,18329	186,29652
39	163	2,2	2,68	4,25	1,26	1,5	atual	4286	1117	445	265	29,15224	24,2072	0	98,97776	1,02224	56,66171	43,08162	0,256667	0	99,76222	0,23778	12,61532	87,20139	0,18329	186,31156
40	115	2,6	2,68	4,25	1,26	1,5	atual	4274	1105	442	265	29,75468	24,77095	0	98,97776	1,02224	56,66019	43,08316	0,256637	0	99,76222	0,23778	12,65432	87,16239	0,18329	186,34592
41	106	2,2	2,3	3,1	1,8	1,5	atual	4268	1117	439	268	29,78922	24,70566	0	98,97776	1,02224	56,65991	43,08329	0,256803	0	99,76222	0,23778	12,61105	87,20566	0,18329	186,30229
42	159	2,6	2,3	3,1	1,8	1,5	atual	4272	1117	439	268	30,348														

45	254	2,2	2,3	4,25	1,8	1,5	atual	4263	1109	436	268	30,38756	25,28098	0	98,97776	1,02224	56,66077	43,08262	0,25661	0	99,76222	0,23778	12,65541	87,16129	0,18329	186,34867
46	252	2,6	2,3	4,25	1,8	1,5	atual	4259	1107	439	268	30,97207	25,83524	0	98,97776	1,02224	56,66067	43,08267	0,25666	0	99,76222	0,23778	12,69202	87,12469	0,18329	186,38513
47	80	2,2	2,68	4,25	1,8	1,5	atual	4272	1110	434	269	30,57487	25,50823	0	98,97776	1,02224	56,65978	43,08341	0,25681	0	99,76222	0,23778	12,62276	87,19395	0,18329	186,31363
48	125	2,6	2,68	4,25	1,8	1,5	atual	4267	1116	435	269	31,12687	26,07945	0	98,97776	1,02224	56,65991	43,08331	0,25678	0	99,76222	0,23778	12,65272	87,16399	0,18329	186,34389
49	168	2,2	2,3	3,1	1,26	3	atual	4240	1109	445	265	28,25062	23,46252	0	97,97957	2,020435	56,40321	43,08327	0,513527	0	99,52564	0,474357	12,53259	87,10082	0,36659	189,11332
50	242	2,6	2,3	3,1	1,26	3	atual	4237	1109	444	267	28,7727	23,97093	0	97,97957	2,020435	56,40309	43,08346	0,51345	0	99,52564	0,474357	12,53228	87,10113	0,36659	189,11244
51	238	2,2	2,68	3,1	1,26	3	atual	4236	1107	443	267	28,41897	23,64362	0,00772	97,97245	2,019835	56,40344	43,08308	0,513483	0	99,52564	0,474357	12,53219	87,10122	0,36659	189,12772
52	113	2,6	2,68	3,1	1,26	3	atual	4235	1106	441	266	28,98232	24,21826	0	97,97957	2,020435	56,4041	43,08266	0,513233	0	99,52564	0,474357	12,5315	87,10191	0,36659	189,11404
53	76	2,2	2,3	4,25	1,26	3	atual	4226	1104	445	266	28,79146	23,96357	0,02108	97,95941	2,019515	56,40644	43,08034	0,513223	0	99,52564	0,474357	12,53154	87,10187	0,36659	189,16137
54	127	2,6	2,3	4,25	1,26	3	atual	4233	1103	445	266	29,36061	24,4822	0	97,97957	2,020435	56,40266	43,08379	0,513547	0	99,52564	0,474357	12,53092	87,1025	0,36659	189,11008
55	101	2,2	2,68	4,25	1,26	3	atual	4228	1111	441	267	29,0186	24,22636	0	97,97957	2,020435	56,40285	43,08362	0,513537	0	99,52564	0,474357	12,53	87,10342	0,36659	189,10968
56	36	2,6	2,68	4,25	1,26	3	atual	4217	1105	445	268	29,57668	24,72243	0	97,97957	2,020435	56,40271	43,08378	0,513507	0	99,52564	0,474357	12,5295	87,10391	0,36659	189,10869
57	204	2,2	2,3	3,1	1,8	3	atual	4224	1112	443	263	29,57124	24,58737	0	97,97956	2,02044	56,40442	43,08195	0,51362	0	99,52564	0,474357	12,52992	87,10349	0,36659	189,11458
58	102	2,6	2,3	3,1	1,8	3	atual	4222	1101	443	269	30,13995	25,18837	0	97,97957	2,020435	56,40192	43,08446	0,513623	0	99,52564	0,47436	12,54001	87,09341	0,36659	189,11717
59	103	2,2	2,68	3,1	1,8	3	atual	4229	1100	439	267	29,82647	24,89424	0	97,97957	2,020435	56,40316	43,08322	0,51362	0,001213	99,52443	0,474357	12,49343	87,13998	0,36659	189,07794
60	61	2,6	2,68	3,1	1,8	3	atual	4218	1112	443	265	30,34119	25,44574	0	97,97957	2,020435	56,40153	43,08479	0,513687	0,01282	99,51282	0,474363	12,47039	87,16302	0,36659	189,08505
61	137	2,2	2,3	4,25	1,8	3	atual	4210	1106	439	266	30,19659	25,18577	0	97,97957	2,020435	56,40469	43,08201	0,513297	0,000697	99,52494	0,47436	12,49334	87,14007	0,36659	189,07993
62	143	2,6	2,3	4,25	1,8	3	atual	4220	1105	436	261	30,7068	25,73774	0	97,97957	2,020435	56,40171	43,08464	0,513653	0,025427	99,50021	0,47436	12,44376	87,18966	0,36659	189,09667
63	70	2,2	2,68	4,25	1,8	3	atual	4230	1096	441	266	30,36719	25,47652	0	97,98017	2,019835	56,4028	43,08359	0,513607	0,004007	99,52163	0,47436	12,51397	87,11944	0,36659	189,10455
64	223	2,6	2,68	4,25	1,8	3	atual	4217	1106	433	265	30,93442	26,0012	0	97,98017	2,019835	56,40528	43,08148	0,513233	0	99,52564	0,47436	12,43273	87,20068	0,36659	189,01762
65	217	2,2	2,3	3,1	1,26	1,5	proposta	4908	1226	504	285	32,25635	27,12077	1,9268	96,99478	1,07843	10,43803	89,14992	0,41206	4,4213	95,34352	0,235177	41,73126	58,13412	0,13462	94,39603
66	178	2,6	2,3	3,1	1,26	1,5	proposta	4905	1229	505	283	32,85211	27,73137	1,88077	97,0405	1,07873	10,43752	89,15042	0,41206	4,41371	95,35092	0,235377	41,73121	58,13418	0,13462	94,28082
67	91	2,2	2,68	3,1	1,26	1,5	proposta	4904	1230	499	287	32,56388	27,56258	1,91373	97,00785	1,07843	10,43084	89,1571	0,41206	4,424733	95,34009	0,235177	41,73107	58,13431	0,13462	94,35844
68	42	2,6	2,68	3,1	1,26	1,5	proposta	4905	1232	506	288	33,12901	28,20078	1,98005	96,94212	1,077825	10,43448	89,15346	0,41206	4,42465	95,34017	0,235177	41,73073	58,13466	0,13462	94,50021
69	13	2,2	2,3	4,25	1,26	1,5	proposta	4916	1224	503	287	32,79076	27,76598	1,94546	96,97612	1,07843	10,43977	89,14816	0,41206	4,41938	95,34544	0,235177	41,73007	58,13532	0,13462	94,43164
70	41	2,6	2,3	4,25	1,26	1,5	proposta	4901	1229	504	285	33,38673	28,59465	1,990805	96,93137	1,07783	10,43844	89,14949	0,41206	4,41999	95,34483	0,235177	41,73009	58,13529	0,13462	94,51899
71	100	2,2	2,68	4,25	1,26	1,5	proposta	4901	1229	504	283	33,12374	28,27602	1,953945	96,96763	1,078425	10,43525	89,15269	0,41206	4,416543	95,34828	0,235177	41,72665	58,13873	0,13462	94,42309
72	99	2,6	2,68	4,25	1,26	1,5	proposta	4900	1228	504	283	33,70677	28,90827	1,991055	96,93112	1,077825	10,44073	89,14721	0,41206	4,420183	95,34464	0,235177	41,72997	58,13542	0,13462	94,52681
73	215	2,2	2,3	3,1	1,8	1,5	proposta	4905	1226	505	287	33,78078	28,50726	1,95345	96,96812	1,07843	10,4359	89,15204	0,412057	4,416233	95,34859	0,235177	41,72727	58,13811	0,13462	94,42374
74	167	2,6	2,3	3,1	1,8	1,5	proposta	4903	1228	501	285	34,38573	29,21365	1,9851	96,93707	1,077825	10,43975	89,14819	0,412063	4,419957	95,34487	0,235177	41,72951	58,13587	0,13462	94,51082
75	247	2,2	2,68	3,1	1,8	1,5	proposta	4900	1225	504	286	34,07242	28,86714	1,987435	96,93474	1,077825	10,43901	89,14893	0,41206	4,420693	95,34413	0,235177	41,7304	58,13498	0,13462	94,51637
76	179	2,6	2,68	3,1	1,8	1,5	proposta	4896	1228	500	287	34,69192	29,50292	1,988725	96,93345	1,077825	10,44053	89,14741	0,41206	4,42093	95,34389	0,235177	41,7303	58,13509	0,13462	94,52412
77	128	2,2	2,3	4,25	1,8	1,5	proposta	4897	1229	502	285	34,29557	29,13757	1,988095	96,93412	1,077795	10,43607	89,15187	0,412063	4,425157	95,33967	0,235177	41,73138	58,134	0,13462	94,52318
78	171	2,6	2,3	4,25	1,8	1,5	proposta	4900	1230	506	285	34,87528	29,74896	1,987595	96,93474	1,077665	10,43665	89,15129	0,41206	4,42541	95,33941	0,235177	41,72977	58,13562	0,13462	94,52279
79	214	2,2	2,68	4,25	1,8	1,5	proposta	4909	1227	505	284	34,63741	29,51469	1,98821	96,93419	1,0776	10,43638	89,15156	0,41206	4,42391	95,34092	0,235177	41,72989	58,13549	0,13462	94,51827
80	191	2,6	2,68	4,25	1,8	1,5	proposta	4886	1225	503	286	35,20342	30,21237	1,98771	96,93476	1,077525	10,4412	89,14675	0,41206	4,422857	95,34217	0,234977	41,7283	58,13708	0,13462	94,52666
81	198	2,2	2,3	3,1	1,26	3	proposta	4921	1219	497	286	32,20045	27,1903	0,87065	96,97423	2,155125	10,03396	89,14192	0,82412	4,18606	95,34359	0,470353	41,59914	58,13163	0,26923	94,46339
82	108	2,6	2,3	3,1	1,26	3	proposta	4923	1212	495	284	32,79022	27,7546	0,871105	96,97383	2,15507	10,03221	89,14367	0,824123	4,18569	95,34396	0,470353	41,59905	58,13172	0,26923	94,45775
83	193	2,2	2,68	3,1	1,26	3	proposta	4918	1215	500	284	32,53051	27,55939	0,870425	96,97453	2,155055	10,03358	89,1423	0,82412	4,186103	95,34354	0,470353	41,59912	58,13165	0,26923	94,46178
84	136	2,6	2,68	3,1	1,26	3	proposta	4911	1213	500	282	33,17815	28,24415	0,879755	96,96533	2,15492	10,03147	89,14441	0,82412	4,184777	95,34487	0,470353	41,59658	58,13419	0,26923	94,46732
85	244	2,2	2,3	4,25	1,26	3	proposta	4910	1217	506	283	32,82636	27,83106	0,865585	96,97876	2,155655	10,03125	89,14463	0,82412	4,183923	95,34572	0,47035	41,59816	58,13261	0,26923	94,4388
86	105	2,6	2,3	4,25	1,26	3	proposta	4915	1210	501	283	33,41126	28,54598	0,86186	96,98189	2,15625	10,03225	89,14363	0,82412	4,185607	95,34404	0,470357	41,59776	58,13301	0,26923	94,4402
87	48	2,2	2,68	4,25	1,26	3	proposta	4909	1205	501	281	33,10513	28,27745	0,869235	96,97572	2,15505	10,03383	89,14206	0,8							

95	50	2,2	2,68	4,25	1,8	3	proposta	4903	1197	494	283	34,64369	29,56579	0,879495	96,96545	2,155055	10,02583	89,15005	0,82412	4,188553	95,34109	0,470353	41,59638	58,13439	0,26923	94,46128
96	129	2,6	2,68	4,25	1,8	3	proposta	4902	1200	495	283	35,23626	30,17014	0,878875	96,96607	2,155055	10,02668	89,14921	0,82412	4,184433	95,34525	0,470317	41,59777	58,133	0,26923	94,4515
97	84	2,2	2,3	3,1	1,26	1,5	atual	4274	1118	439	267	28,39199	23,46078	0	98,97776	1,02224	56,66037	43,08302	0,25661	0	99,76222	0,23778	12,72021	87,09649	0,18329	186,41226
98	249	2,6	2,3	3,1	1,26	1,5	atual	4296	1112	442	263	28,95864	24,00315	0	98,97746	1,02254	56,65862	43,08457	0,256813	0	99,76222	0,237783	12,74348	87,07322	0,18329	186,43149
99	34	2,2	2,68	3,1	1,26	1,5	atual	4283	1115	441	265	28,60218	23,73434	0	98,97776	1,02224	56,65921	43,084	0,25679	0	99,76222	0,237783	12,67683	87,13988	0,18329	186,36595
100	28	2,6	2,68	3,1	1,26	1,5	atual	4289	1119	443	266	29,1184	24,26595	0	98,97806	1,02194	56,66028	43,08305	0,256673	0,004453	99,75776	0,23778	12,74249	87,07421	0,18329	186,44721
101	59	2,2	2,3	4,25	1,26	1,5	atual	4285	1108	439	264	28,97549	24,07984	0,010255	98,96661	1,02314	56,65981	43,08358	0,256613	0	99,76222	0,237783	12,69167	87,12503	0,18329	186,40438
102	107	2,6	2,3	4,25	1,26	1,5	atual	4265	1119	439	267	29,49243	24,49097	0	98,97776	1,02224	56,6601	43,08329	0,256613	0	99,76222	0,237783	12,61542	87,20129	0,18329	186,30668
103	40	2,2	2,68	4,25	1,26	1,5	atual	4274	1118	439	267	29,14403	24,21027	0	98,97776	1,02224	56,65919	43,08411	0,2567	0	99,76222	0,23778	12,61666	87,20005	0,18329	186,30544
104	11	2,6	2,68	4,25	1,26	1,5	atual	4279	1107	439	268	29,68663	24,76395	0	98,97776	1,02224	56,65983	43,08341	0,256753	0	99,76222	0,23778	12,60332	87,21338	0,18329	186,29419
105	5	2,2	2,3	3,1	1,8	1,5	atual	4275	1113	444	268	29,73722	24,66515	0	98,97776	1,02224	56,66124	43,08203	0,256727	0	99,76222	0,237783	12,74106	87,07564	0,18329	186,43609
106	69	2,6	2,3	3,1	1,8	1,5	atual	4282	1116	447	265	30,29825	25,27662	0	98,97776	1,02224	56,65951	43,08373	0,256767	0	99,76222	0,237783	12,74004	87,07667	0,18329	186,42998
107	165	2,2	2,68	3,1	1,8	1,5	atual	4277	1114	442	265	29,97169	24,96728	0	98,97806	1,02194	56,65944	43,08375	0,25681	0	99,76222	0,23778	12,74084	87,07587	0,18329	186,4301
108	142	2,6	2,68	3,1	1,8	1,5	atual	4273	1118	441	265	30,50225	25,49454	0	98,97806	1,02194	56,65988	43,08346	0,256667	0	99,76222	0,237783	12,74025	87,07646	0,18329	186,43041
109	134	2,2	2,3	4,25	1,8	1,5	atual	4266	1111	439	266	30,34421	25,24242	0	98,97776	1,02224	56,65975	43,08357	0,256677	0	99,76222	0,237783	12,66526	87,15144	0,18329	186,35566
110	227	2,6	2,3	4,25	1,8	1,5	atual	4273	1112	438	269	30,84053	25,79372	0	98,97776	1,02224	56,65989	43,08342	0,256687	0	99,76222	0,237783	12,61698	87,19972	0,18329	186,30784
111	169	2,2	2,68	4,25	1,8	1,5	atual	4265	1118	437	268	30,49496	25,48089	0	98,97802	1,02198	56,65964	43,08355	0,25681	0	99,76222	0,237783	12,61128	87,20543	0,18329	186,30122
112	77	2,6	2,68	4,25	1,8	1,5	atual	4268	1115	439	266	31,04914	26,01904	0	98,97776	1,02224	56,66405	43,07934	0,25661	0	99,76222	0,237783	12,61254	87,20417	0,18329	186,31564
113	138	2,2	2,3	3,1	1,26	3	atual	4241	1109	446	266	28,22526	23,44042	0	97,97956	2,02044	56,40328	43,08327	0,51345	0	99,52564	0,47436	12,53461	87,09881	0,36659	189,11535
114	231	2,6	2,3	3,1	1,26	3	atual	4231	1115	445	267	28,75862	23,96017	0	97,97956	2,02044	56,40279	43,08357	0,51365	0	99,52564	0,47436	12,53343	87,09998	0,36659	189,11329
115	232	2,2	2,68	3,1	1,26	3	atual	4240	1105	442	266	28,39137	23,64656	0	97,97956	2,02044	56,40242	43,08376	0,51382	0	99,52534	0,474657	12,53485	87,09857	0,36659	189,11502
116	154	2,6	2,68	3,1	1,26	3	atual	4233	1110	444	268	28,9674	24,19339	0	97,97956	2,02044	56,40281	43,08369	0,513503	0	99,52564	0,47436	12,53323	87,10018	0,36659	189,11271
117	173	2,2	2,3	4,25	1,26	3	atual	4225	1109	445	264	28,74493	23,96721	0	97,97956	2,02044	56,40282	43,08356	0,51362	0	99,52564	0,474357	12,53312	87,1003	0,36659	189,11297
118	131	2,6	2,3	4,25	1,26	3	atual	4227	1107	444	264	29,30359	24,47226	0	97,97956	2,02044	56,4027	43,08368	0,513617	0	99,52564	0,474357	12,53134	87,10208	0,36659	189,11084
119	94	2,2	2,68	4,25	1,26	3	atual	4241	1106	444	268	28,91598	24,12445	0	97,97957	2,020435	56,39687	43,08916	0,51397	0,213963	99,31291	0,47313	12,53198	87,10143	0,36659	189,73325
120	212	2,6	2,68	4,25	1,26	3	atual	4228	1094	442	266	29,58659	24,78893	0	97,97957	2,020435	56,39774	43,08836	0,5139	0	99,52564	0,47436	12,53149	87,10192	0,36659	189,09694
121	37	2,2	2,3	3,1	1,8	3	atual	4234	1105	438	264	29,5569	24,64696	0	97,97956	2,02044	56,40158	43,08458	0,51384	0	99,52564	0,47436	12,5316	87,10181	0,36659	189,10841
122	157	2,6	2,3	3,1	1,8	3	atual	4226	1091	439	265	30,16298	25,20537	0	97,97957	2,020435	56,39345	43,0927	0,51385	0	99,52564	0,474357	12,53113	87,10228	0,36659	189,08357
123	110	2,2	2,68	3,1	1,8	3	atual	4220	1100	443	265	29,83455	24,94214	0	97,97957	2,020435	56,39673	43,0895	0,51377	0	99,52564	0,47436	12,53084	87,10257	0,36659	189,09288
124	1	2,6	2,68	3,1	1,8	3	atual	4213	1103	442	266	30,33757	25,43882	0	97,97957	2,020435	56,40145	43,08482	0,51373	0,00028	99,52536	0,47436	12,53009	87,10333	0,36659	189,10701
125	71	2,2	2,3	4,25	1,8	3	atual	4237	1093	441	268	30,09744	25,13972	0	97,97956	2,02044	56,39628	43,09006	0,513657	0,065123	99,46092	0,473957	12,52953	87,10389	0,36659	189,28405
126	116	2,6	2,3	4,25	1,8	3	atual	4209	1095	445	265	30,66954	25,72912	0	97,97957	2,020435	56,40192	43,08443	0,51366	0,013353	99,51228	0,47436	12,43954	87,19388	0,36659	189,05689
127	195	2,2	2,68	4,25	1,8	3	atual	4207	1099	440	268	30,37049	25,39874	0	97,97957	2,020435	56,40286	43,08352	0,51362	0,00023	99,52541	0,47436	12,44111	87,1923	0,36659	189,02178
128	210	2,6	2,68	4,25	1,8	3	atual	4208	1092	440	267	30,9394	25,95787	0	97,97957	2,020435	56,40284	43,08354	0,51362	0	99,52564	0,47436	12,44139	87,19203	0,36659	189,0213
129	24	2,2	2,3	3,1	1,26	1,5	proposta	4908	1227	501	288	32,29982	27,35528	1,866975	97,0537	1,07933	10,43943	89,14851	0,41206	4,406993	95,35763	0,235377	41,72883	58,13655	0,13462	94,23763
130	121	2,6	2,3	3,1	1,26	1,5	proposta	4904	1226	504	284	32,81882	27,87498	1,945125	96,97645	1,078425	10,43874	89,1492	0,41206	4,417943	95,34689	0,235177	41,73025	58,13514	0,13462	94,42373
131	166	2,2	2,68	3,1	1,26	1,5	proposta	4903	1231	504	284	32,56817	27,64477	1,945585	96,97599	1,07843	10,44005	89,14789	0,412063	4,417773	95,34705	0,235177	41,72979	58,13559	0,13462	94,42762
132	135	2,6	2,68	3,1	1,26	1,5	proposta	4897	1223	501	290	33,15552	28,31403	1,94489	96,97668	1,07843	10,43515	89,15279	0,41206	4,421117	95,34371	0,235177	41,72991	58,13547	0,13462	94,42168
133	219	2,2	2,3	4,25	1,26	1,5	proposta	4922	1223	506	286	32,90068	28,03051	1,700635	97,21553	1,083835	10,44146	89,14647	0,41206	4,419397	95,34543	0,235177	41,72989	58,1355	0,13462	93,95774
134	144	2,6	2,3	4,25	1,26	1,5	proposta	4897	1223	504	288	33,39142	28,62494	1,949525	96,97205	1,07843	10,44047	89,14748	0,412057	4,418577	95,34624	0,235177	41,72936	58,13602	0,13462	94,43872
135	243	2,2	2,68	4,25	1,26	1,5	proposta	4908	1226	503	288	33,11199	28,31278	1,866705	97,05397	1,07933	10,43872	89,14922	0,41206	4,405167	95,35946	0,23538	41,72949	58,1359	0,13462	94,23017
136	30	2,6	2,68	4,25	1,26	1,5	proposta	4895	1217	507	287	33,69856	28,94235	1,9508	96,97078	1,07842	10,41376	89,17418	0,41206	4,4224	95,34243	0,235177	41,72985	58,13553	0,13462	94,3731
137	199	2,2	2,3	3,1	1,8	1,5	proposta	4901	1220	503	288	33,79561	28,53135	1,954775	96,96709	1,07813	10,43573	89,15221	0,41206	4,415037	95,34979	0,235173	41,72583	58,13955	0,13462	94,42026

145	65	2,2	2,3	3,1	1,26	3	proposta	4915	1226	503	284	32,23969	27,23451	0,877055	96,9679	2,155055	10,03292	89,14296	0,82412	4,183243	95,3464	0,470353	41,59763	58,13314	0,26923	94,46298
146	87	2,6	2,3	3,1	1,26	3	proposta	4902	1220	502	282	32,84463	27,87355	0,882615	96,96294	2,154445	10,03181	89,14407	0,824123	4,17754	95,35171	0,470753	41,59646	58,13431	0,26923	94,4525
147	240	2,2	2,68	3,1	1,26	3	proposta	4912	1219	500	283	32,55191	27,54685	0,88161	96,96394	2,154455	10,03006	89,14582	0,82412	4,183867	95,34585	0,470277	41,59412	58,13665	0,26923	94,46045
148	188	2,6	2,68	3,1	1,26	3	proposta	4895	1216	501	282	33,12189	28,30066	0,88121	96,96414	2,15465	10,03043	89,14545	0,82412	4,183503	95,34624	0,47026	41,59453	58,13624	0,26923	94,46041
149	104	2,2	2,3	4,25	1,26	3	proposta	4923	1225	492	285	32,8839	27,96543	0,52134	97,31039	2,168275	10,02834	89,14754	0,82412	4,19098	95,33907	0,46995	41,5969	58,13386	0,26923	93,78552
150	66	2,6	2,3	4,25	1,26	3	proposta	4915	1217	501	278	33,44208	28,56683	0,66183	97,1729	2,16527	10,03274	89,14314	0,82412	4,183843	95,34581	0,470353	41,5974	58,13337	0,26923	94,054
151	55	2,2	2,68	4,25	1,26	3	proposta	4908	1214	497	283	33,1125	28,37577	0,806625	97,03352	2,15986	10,03364	89,14224	0,82412	4,183957	95,34569	0,470353	41,59742	58,13334	0,26923	94,33583
152	122	2,6	2,68	4,25	1,26	3	proposta	4915	1216	500	284	33,71547	28,95864	0,80011	97,04003	2,15986	10,0316	89,14428	0,824117	4,18157	95,34808	0,470353	41,59549	58,13528	0,26923	94,30758
153	158	2,2	2,3	3,1	1,8	3	proposta	4914	1212	496	285	33,77617	28,50737	0,879525	96,96542	2,15505	10,03343	89,14245	0,82412	4,183023	95,34662	0,470353	41,5966	58,13416	0,26923	94,46775
154	160	2,6	2,3	3,1	1,8	3	proposta	4900	1207	499	285	34,34845	29,17206	0,88055	96,9644	2,155055	10,03325	89,14262	0,82412	4,187237	95,34281	0,46995	41,59655	58,13422	0,26923	94,48066
155	175	2,2	2,68	3,1	1,8	3	proposta	4909	1212	501	284	34,15729	28,90784	0,73242	97,10352	2,16407	10,03273	89,14315	0,82412	4,186537	95,34351	0,469953	41,59718	58,13359	0,26923	94,19941
156	52	2,6	2,68	3,1	1,8	3	proposta	4909	1202	500	283	34,70108	29,53112	0,85578	96,98797	2,156255	10,03373	89,14215	0,82412	4,18261	95,34703	0,470353	41,59744	58,13333	0,26923	94,42319
157	33	2,2	2,3	4,25	1,8	3	proposta	4910	1214	500	283	34,35801	29,17341	0,830475	97,01147	2,158055	10,03487	89,14101	0,82412	4,18844	95,34161	0,469953	41,5976	58,13316	0,26923	94,39603
158	119	2,6	2,3	4,25	1,8	3	proposta	4900	1199	497	283	34,86692	29,85482	0,87585	96,9691	2,15505	10,03027	89,14561	0,82412	4,18725	95,3428	0,46995	41,59701	58,13376	0,26923	94,46281
159	60	2,2	2,68	4,25	1,8	3	proposta	4913	1201	497	283	34,66165	29,53149	0,74488	97,09226	2,162865	10,02107	89,14215	0,824123	4,186557	95,34309	0,470353	41,5956	58,13517	0,26923	94,42319
160	180	2,6	2,68	4,25	1,8	3	proposta	4916	1205	498	283	35,25976	30,19354	0,739585	97,09695	2,163465	10,02901	89,14688	0,82412	4,191127	95,33892	0,469953	41,59613	58,13464	0,26923	94,21409
161	209	2,2	2,3	3,1	1,26	1,5	atual	4294	1112	440	265	28,46586	23,56806	0	98,97716	1,02284	56,66392	43,0796	0,256487	0	99,76222	0,237783	12,74388	87,07283	0,18329	186,44741
162	216	2,6	2,3	3,1	1,26	1,5	atual	4295	1117	445	267	28,9849	24,03529	0	98,97776	1,02224	56,65973	43,08355	0,25672	0	99,76222	0,23778	12,74366	87,07305	0,18329	186,43411
163	224	2,2	2,68	3,1	1,26	1,5	atual	4289	1112	439	267	28,63123	23,80494	0	98,97776	1,02224	56,65889	43,0843	0,25681	0	99,76222	0,237783	12,7438	87,07291	0,18329	186,43203
164	197	2,6	2,68	3,1	1,26	1,5	atual	4292	1114	445	264	29,16693	24,30012	0	98,97776	1,02224	56,65952	43,08367	0,25681	0	99,76222	0,23778	12,74258	87,07412	0,18329	186,43269
165	184	2,2	2,3	4,25	1,26	1,5	atual	4270	1118	442	266	29,0087	24,04709	0	98,97776	1,02224	56,65946	43,08387	0,25666	0	99,76222	0,237783	12,69771	87,11899	0,18329	186,3872
166	218	2,6	2,3	4,25	1,26	1,5	atual	4270	1113	437	268	29,5735	24,58304	0	98,97776	1,02224	56,65916	43,08411	0,25673	0	99,76222	0,237783	12,66566	87,15104	0,18329	186,35446
167	151	2,2	2,68	4,25	1,26	1,5	atual	4271	1109	442	268	29,22957	24,30218	0	98,97776	1,02224	56,65923	43,08403	0,256743	0	99,76222	0,237783	12,65323	87,16348	0,18329	186,34226
168	200	2,6	2,68	4,25	1,26	1,5	atual	4265	1114	442	266	29,76684	24,82501	0	98,97776	1,02224	56,6594	43,08386	0,256743	0	99,76222	0,237783	12,62231	87,1944	0,18329	186,31186
169	253	2,2	2,3	3,1	1,8	1,5	atual	4278	1114	438	266	29,8091	24,74114	0	98,97776	1,02224	56,65903	43,08416	0,25681	0,00056	99,76166	0,23778	12,74073	87,07598	0,18329	186,43104
170	228	2,6	2,3	3,1	1,8	1,5	atual	4280	1112	442	264	30,37044	25,27136	0	98,97776	1,02224	56,65952	43,08367	0,25681	0	99,76222	0,23778	12,73986	87,07685	0,18329	186,42997
171	49	2,2	2,68	3,1	1,8	1,5	atual	4281	1113	438	265	29,9601	25,00761	0	98,97776	1,02224	56,65938	43,08381	0,25681	0	99,76222	0,23778	12,73731	87,0794	0,18329	186,42698
172	16	2,6	2,68	3,1	1,8	1,5	atual	4269	1114	438	267	30,57891	25,61935	0	98,97806	1,02194	56,65952	43,08367	0,25681	0	99,76222	0,23778	12,73872	87,07799	0,18329	186,42821
173	161	2,2	2,3	4,25	1,8	1,5	atual	4270	1114	439	266	30,40316	25,31963	0	98,97776	1,02224	56,65975	43,08345	0,256803	0	99,76222	0,237783	12,62243	87,19428	0,18329	186,3132
174	186	2,6	2,3	4,25	1,8	1,5	atual	4273	1117	440	267	30,92074	25,84761	0	98,97776	1,02224	56,65902	43,08417	0,25681	0	99,76222	0,237783	12,62144	87,19526	0,18329	186,31005
175	203	2,2	2,68	4,25	1,8	1,5	atual	4269	1109	441	267	30,58518	25,57167	0	98,97776	1,02224	56,65957	43,08362	0,25681	0	99,76222	0,237783	12,62966	87,18704	0,18329	186,31991
176	112	2,6	2,68	4,25	1,8	1,5	atual	4255	1118	440	268	31,12748	26,06477	0	98,97776	1,02224	56,65957	43,08362	0,25681	0	99,76222	0,237783	12,62146	87,19524	0,18329	186,31172
177	152	2,2	2,3	3,1	1,26	3	atual	4237	1108	443	268	28,22573	23,41741	0	97,97957	2,020435	56,40243	43,0841	0,51347	0,11459	99,41225	0,473157	12,53775	87,09566	0,36659	189,45616
178	124	2,6	2,3	3,1	1,26	3	atual	4251	1103	441	263	28,76391	23,98953	0	97,97957	2,020435	56,40253	43,08402	0,51345	0	99,52564	0,474357	12,534	87,09941	0,36659	189,11246
179	248	2,2	2,68	3,1	1,26	3	atual	4234	1105	445	266	28,4783	23,70422	0	97,97957	2,020435	56,40284	43,0837	0,513467	0	99,52564	0,47436	12,53785	87,09556	0,36659	189,1173
180	245	2,6	2,68	3,1	1,26	3	atual	4251	1109	444	265	28,94149	24,16831	0	97,97957	2,020435	56,40202	43,08427	0,51371	0,21305	99,31385	0,4731	12,53651	87,0969	0,36659	189,74961
181	239	2,2	2,3	4,25	1,26	3	atual	4231	1104	442	268	28,83401	23,95853	0	97,98068	2,019325	56,40673	43,07999	0,513273	0	99,52564	0,474357	12,50389	87,12952	0,36659	189,09222
182	156	2,6	2,3	4,25	1,26	3	atual	4222	1106	446	268	29,36519	24,4936	0	97,98077	2,019235	56,40276	43,08374	0,51349	0	99,52564	0,474357	12,44294	87,19047	0,36659	189,01983
183	51	2,2	2,68	4,25	1,26	3	atual	4236	1099	445	269	29,04433	24,26073	0	97,97836	2,02164	56,39615	43,08996	0,513897	0,004727	99,52091	0,47436	12,5387	87,09471	0,36659	189,11596
184	19	2,6	2,68	4,25	1,26	3	atual	4225	1104	443	266	29,54498	24,72499	0	97,98077	2,019235	56,39543	43,09067	0,513897	0	99,52564	0,474357	12,51782	87,1156	0,36659	189,07394
185	246	2,2	2,3	3,1	1,8	3	atual	4224	1109	440	266	29,62737	24,68128	0	97,97957	2,020435	56,40098	43,0851	0,513917	0	99,52564	0,47436	12,53262	87,1008	0,36659	189,10785
186	96	2,6	2,3	3,1	1,8	3	atual	4220	1104	441	266	30,18734	25,21826	0	97,97957	2,020435	56,40273	43,08379	0,51348	0	99,52564	0,47436	12,43217	87,20124	0,36659	189,01135
187	183	2,2	2,68	3,1	1,8	3	atual	4220	1095	443	262	29,82128	24,91757	0	97,98017	2,019835	56,40328	43,08334	0,513387	0	99,52564	0,474357	12,438	87,19541	0,36659	189,017

195	139	2,2	2,68	3,1	1,26	1,5	proposta	4894	1231	504	286	32,64333	27,62046	1,88164	97,03964	1,07873	10,43969	89,14825	0,41206	4,4095	95,35512	0,235377	41,72965	58,13573	0,13462	94,27489
196	230	2,6	2,68	3,1	1,26	1,5	proposta	4901	1228	506	284	33,19095	28,23896	1,944985	96,97659	1,07843	10,44074	89,1472	0,41206	4,41897	95,34586	0,235177	41,73004	58,13534	0,13462	94,43233
197	4	2,2	2,3	4,25	1,26	1,5	proposta	4908	1227	503	287	32,90153	27,86672	1,745575	97,17131	1,08293	10,4374	89,15054	0,41206	4,40344	95,36119	0,23538	41,72554	58,13984	0,13462	93,98236
198	229	2,6	2,3	4,25	1,26	1,5	proposta	4894	1225	504	287	33,39597	28,59902	1,98463	96,93755	1,07783	10,44019	89,14775	0,41206	4,41925	95,34557	0,235177	41,72992	58,13546	0,13462	94,5095
199	79	2,2	2,68	4,25	1,26	1,5	proposta	4910	1227	508	285	33,18488	28,16884	1,94224	96,97933	1,07843	10,43505	89,15289	0,41206	4,423027	95,3418	0,235177	41,73	58,13538	0,13462	94,42189
200	202	2,6	2,68	4,25	1,26	1,5	proposta	4896	1222	505	286	33,71993	28,97804	1,988525	96,93365	1,07783	10,43545	89,15249	0,41206	4,423193	95,34163	0,235177	41,73007	58,13531	0,13462	94,51505
201	95	2,2	2,3	3,1	1,8	1,5	proposta	4907	1225	505	283	33,83537	28,58158	1,945745	96,97601	1,078255	10,43807	89,14987	0,41206	4,420233	95,34459	0,235173	41,72995	58,13543	0,13462	94,42918
202	226	2,6	2,3	3,1	1,8	1,5	proposta	4905	1223	505	285	34,44839	29,2837	1,830495	97,08922	1,08028	10,44199	89,14596	0,41206	4,41952	95,3453	0,235177	41,72945	58,13594	0,13462	94,21185
203	8	2,2	2,68	3,1	1,8	1,5	proposta	4907	1228	503	284	34,16781	28,9274	1,89728	97,02459	1,07813	10,44129	89,14665	0,412057	4,41903	95,34579	0,235173	41,72935	58,13604	0,13462	94,33744
204	251	2,6	2,68	3,1	1,8	1,5	proposta	4896	1228	504	285	34,7575	29,67364	1,87489	97,04638	1,07873	10,44017	89,14777	0,41206	4,417577	95,34725	0,235173	41,72818	58,1372	0,13462	94,28498
205	221	2,2	2,3	4,25	1,8	1,5	proposta	4908	1218	500	281	34,3361	29,1736	1,984915	96,93756	1,077525	10,43741	89,15053	0,412057	4,422687	95,34214	0,235177	41,72867	58,13672	0,13462	94,51016
206	145	2,6	2,3	4,25	1,8	1,5	proposta	4903	1222	499	284	34,90539	29,81628	1,984375	96,9381	1,077525	10,44195	89,14599	0,41206	4,418587	95,34624	0,235173	41,72812	58,13727	0,13462	94,50984
207	45	2,2	2,68	4,25	1,8	1,5	proposta	4898	1230	504	286	34,65301	29,5442	1,98256	96,93992	1,077525	10,43866	89,14928	0,41206	4,422997	95,34183	0,235173	41,72971	58,13567	0,13462	94,51118
208	29	2,6	2,68	4,25	1,8	1,5	proposta	4898	1224	502	284	35,208	30,23935	1,9872	96,93528	1,077525	10,4422	89,14574	0,41206	4,419133	95,34569	0,235177	41,72869	58,1367	0,13462	94,51847
209	207	2,2	2,3	3,1	1,26	3	proposta	4926	1222	499	286	32,35639	27,31698	0,806725	97,03377	2,159515	10,02268	89,15319	0,82412	4,184877	95,34477	0,470353	41,59397	58,1368	0,26923	94,30178
210	22	2,6	2,3	3,1	1,26	3	proposta	4921	1215	499	285	32,94165	27,86576	0,78537	97,05357	2,16106	10,00107	89,17481	0,82412	4,187877	95,34177	0,470357	41,59746	58,13331	0,26923	94,20981
211	176	2,2	2,68	3,1	1,26	3	proposta	4916	1220	502	284	32,66206	27,66079	0,762735	97,0756	2,161665	10,03177	89,14411	0,82412	4,18297	95,34668	0,470357	41,59587	58,1349	0,26923	94,24154
212	35	2,6	2,68	3,1	1,26	3	proposta	4905	1211	497	286	33,18641	28,25168	0,8707	96,97425	2,15505	10,03098	89,1449	0,82412	4,182337	95,34731	0,470353	41,59712	58,13365	0,26923	94,44123
213	56	2,2	2,3	4,25	1,26	3	proposta	4925	1217	496	283	32,95089	27,94669	0,556465	97,27706	2,16647	10,03389	89,14199	0,824123	4,170953	95,3583	0,470753	41,5972	58,13357	0,26923	93,81146
214	17	2,6	2,3	4,25	1,26	3	proposta	4913	1211	496	286	33,40267	28,45881	0,88274	96,96281	2,15445	10,03005	89,14583	0,82412	4,18414	95,34551	0,470353	41,59559	58,13518	0,26923	94,46518
215	206	2,2	2,68	4,25	1,26	3	proposta	4913	1211	499	286	33,20714	28,26472	0,814505	97,02624	2,15926	10,03441	89,14148	0,82412	4,18463	95,34502	0,470353	41,59722	58,13354	0,26923	94,35451
216	148	2,6	2,68	4,25	1,26	3	proposta	4897	1217	506	285	33,72547	28,89553	0,885045	96,96051	2,15445	10,0338	89,14208	0,824123	4,184633	95,34502	0,470353	41,59688	58,13389	0,26923	94,48384
217	85	2,2	2,3	3,1	1,8	3	proposta	4928	1217	497	284	33,88115	28,53961	0,68954	97,14519	2,16527	10,02872	89,14716	0,82412	4,187543	95,3421	0,470353	41,59679	58,13398	0,26923	94,10785
218	170	2,6	2,3	3,1	1,8	3	proposta	4906	1217	497	281	34,48039	29,19281	0,61954	97,21399	2,16647	10,03226	89,14362	0,82412	4,181133	95,34851	0,470357	41,59457	58,1362	0,26923	93,95944
219	118	2,2	2,68	3,1	1,8	3	proposta	4906	1215	494	279	34,13569	28,81844	0,851635	96,99152	2,156855	10,03683	89,13905	0,82412	4,184137	95,34551	0,470357	41,59656	58,13421	0,26923	94,4291
220	3	2,6	2,68	3,1	1,8	3	proposta	4908	1211	495	282	34,69908	29,49754	0,851385	96,99176	2,156855	10,03489	89,14099	0,824117	4,18393	95,34572	0,470353	41,59663	58,13414	0,26923	94,4222
221	120	2,2	2,3	4,25	1,8	3	proposta	4933	1226	492	281	34,46306	29,18783	0,522905	97,30943	2,16767	10,03739	89,13849	0,82412	4,184757	95,34489	0,470353	41,59676	58,13401	0,26923	93,797
222	114	2,6	2,3	4,25	1,8	3	proposta	4942	1215	496	284	34,99873	29,79616	0,61847	97,21506	2,16647	10,03405	89,14183	0,82412	4,18396	95,34569	0,47035	41,59646	58,13431	0,26923	93,97301
223	222	2,2	2,68	4,25	1,8	3	proposta	4903	1211	498	284	34,65919	29,57572	0,88155	96,9634	2,15505	10,03346	89,14242	0,82412	4,179577	95,35007	0,470353	41,59197	58,1338	0,26923	94,45693
224	20	2,6	2,68	4,25	1,8	3	proposta	4911	1215	494	281	35,35941	30,19186	0,49447	97,33666	2,168875	10,03748	89,1384	0,824117	4,183933	95,34571	0,470357	41,59661	58,13416	0,26923	93,74018
225	236	2,2	2,3	3,1	1,26	1,5	atual	4284	1119	440	267	28,39404	23,46401	0,000315	98,97745	1,02224	56,65897	43,0842	0,25683	0	99,76222	0,237783	12,63325	87,18346	0,18329	186,3224
226	10	2,6	2,3	3,1	1,26	1,5	atual	4273	1121	441	267	28,95542	24,00176	0	98,97778	1,02222	56,6589	43,08423	0,25687	0	99,76222	0,237783	12,63557	87,18114	0,18329	186,32395
227	146	2,2	2,68	3,1	1,26	1,5	atual	4280	1117	439	268	28,60478	23,75704	0	98,97776	1,02224	56,65938	43,08391	0,256713	0	99,76222	0,237783	12,65881	87,15789	0,18329	186,34821
228	75	2,6	2,68	3,1	1,26	1,5	atual	4282	1118	442	265	29,17711	24,23623	0	98,97806	1,02194	56,65896	43,08426	0,256783	0	99,76222	0,237783	12,63458	87,18213	0,18329	186,32233
229	196	2,2	2,3	4,25	1,26	1,5	atual	4278	1119	441	265	28,94861	24,02232	0	98,97806	1,02194	56,65862	43,08447	0,25691	0	99,76222	0,237783	12,62034	87,19637	0,18329	186,30746
230	208	2,6	2,3	4,25	1,26	1,5	atual	4283	1110	439	265	29,54982	24,5277	0	98,97776	1,02224	56,659	43,08415	0,256853	0	99,76222	0,237783	12,61363	87,20308	0,18329	186,3023
231	150	2,2	2,68	4,25	1,26	1,5	atual	4275	1115	440	267	29,20654	24,28285	0	98,97776	1,02224	56,65856	43,08463	0,256813	0	99,76222	0,237783	12,73121	87,08549	0,18329	186,41845
232	23	2,6	2,68	4,25	1,26	1,5	atual	4277	1110	443	266	29,71285	24,72122	0	98,97776	1,02224	56,65902	43,08426	0,256713	0	99,76222	0,237783	12,61328	87,20343	0,18329	186,30161
233	86	2,2	2,3	3,1	1,8	1,5	atual	4291	1114	449	263	34,46306	24,70799	0	98,97746	1,02254	56,66023	43,08316	0,25661	0	99,76222	0,23778	12,68892	87,12779	0,18329	186,38114
234	187	2,6	2,3	3,1	1,8	1,5	atual	4282	1114	438	264	30,33778	25,29765	0	98,97776	1,02224	56,65541	43,08778	0,256813	0	99,76222	0,23778	12,69287	87,12384	0,18329	186,37066
235	89	2,2	2,68	3,1	1,8	1,5	atual	4271	1109	437	267	29,99489	24,95777	0	98,97776	1,02224	56,65925	43,08394	0,256813	0	99,76222	0,237783	12,62916	87,18755	0,18329	186,31848
236	250	2,6	2,68	3,1	1,8	1,5	atual	4277	1110	436	267	30,54254	25,47448	0	98,97776	1,02224	56,65869	43,08451	0,256813	0	99,76222	0,237783	12,63033	87,18637	0,18329	186,31795
237	190	2,2	2,3	4,25	1,8	1,5	atual	4278	1109	436	267	30,3494	25,25													

243	12	2,2	2,68	3,1	1,26	3	atual	4232	1106	443	266	28,426	23,6318	0	97,98077	2,019235	56,40243	43,0841	0,51347	0	99,52564	0,474357	12,50392	87,1295	0,36659	189,07975
244	185	2,6	2,68	3,1	1,26	3	atual	4241	1108	444	268	28,97178	24,21395	0	97,98077	2,019235	56,40191	43,08455	0,513543	0	99,52564	0,474357	12,50705	87,12637	0,36659	189,08153
245	220	2,2	2,3	4,25	1,26	3	atual	4227	1102	444	268	28,79864	23,94919	0	97,98077	2,019235	56,40221	43,08427	0,51352	0	99,52564	0,474357	12,50686	87,12655	0,36659	189,08219
246	117	2,6	2,3	4,25	1,26	3	atual	4229	1099	442	268	29,34774	24,46884	0	97,98077	2,019235	56,40262	43,08384	0,513543	0	99,52564	0,474357	12,53702	87,09639	0,36659	189,11365
247	237	2,2	2,68	4,25	1,26	3	atual	4227	1095	443	269	28,98837	24,167	0	97,98077	2,019235	56,40222	43,08428	0,513497	0	99,52564	0,474357	12,46338	87,17003	0,36659	189,03866
248	6	2,6	2,68	4,25	1,26	3	atual	4232	1102	444	266	29,52464	24,72265	0	97,98077	2,019235	56,4024	43,08419	0,513407	0	99,52564	0,474357	12,5039	87,12951	0,36659	189,07946
249	235	2,2	2,3	3,1	1,8	3	atual	4241	1106	444	264	29,55476	24,56284	0	97,97956	2,02044	56,40013	43,08605	0,51382	0,022217	99,50342	0,474363	12,53061	87,1028	0,36659	189,16967
250	177	2,6	2,3	3,1	1,8	3	atual	4246	1102	436	264	30,1622	25,23136	0,03338	97,94258	2,02404	56,4025	43,08397	0,51353	0	99,52564	0,47436	12,46964	87,16377	0,36659	189,12224
251	26	2,2	2,68	3,1	1,8	3	atual	4233	1103	440	266	29,80896	24,93739	0	97,97837	2,021635	56,40199	43,08448	0,513523	0,001597	99,52404	0,47436	12,47122	87,16219	0,36659	189,0555
252	225	2,6	2,68	3,1	1,8	3	atual	4230	1108	440	267	30,35266	25,46838	0	97,97716	2,02284	56,40214	43,08423	0,513623	0	99,52524	0,474763	12,42409	87,20932	0,36659	189,00795
253	14	2,2	2,3	4,25	1,8	3	atual	4231	1096	441	264	30,18428	25,21542	0	97,97856	2,02144	56,40292	43,08374	0,513337	0,00417	99,52147	0,474357	12,43475	87,19866	0,36659	189,02858
254	133	2,6	2,3	4,25	1,8	3	atual	4219	1098	440	259	30,73836	25,7712	0,003635	97,97232	2,024045	56,40282	43,08377	0,51341	0	99,52564	0,47436	12,44342	87,18999	0,36659	189,03713
255	192	2,2	2,68	4,25	1,8	3	atual	4210	1104	444	267	30,33418	25,4486	0	97,98077	2,019235	56,40197	43,08439	0,513647	0	99,52564	0,47436	12,46291	87,1705	0,36659	189,03789
256	73	2,6	2,68	4,25	1,8	3	atual	4241	1099	440	265	30,87412	25,97598	0	97,97845	2,021555	56,40206	43,08444	0,513503	0,002183	99,52346	0,474357	12,49775	87,13567	0,36659	189,08375

## ANEXO B - Gráfico de probabilidade Normal para resíduos padronizados

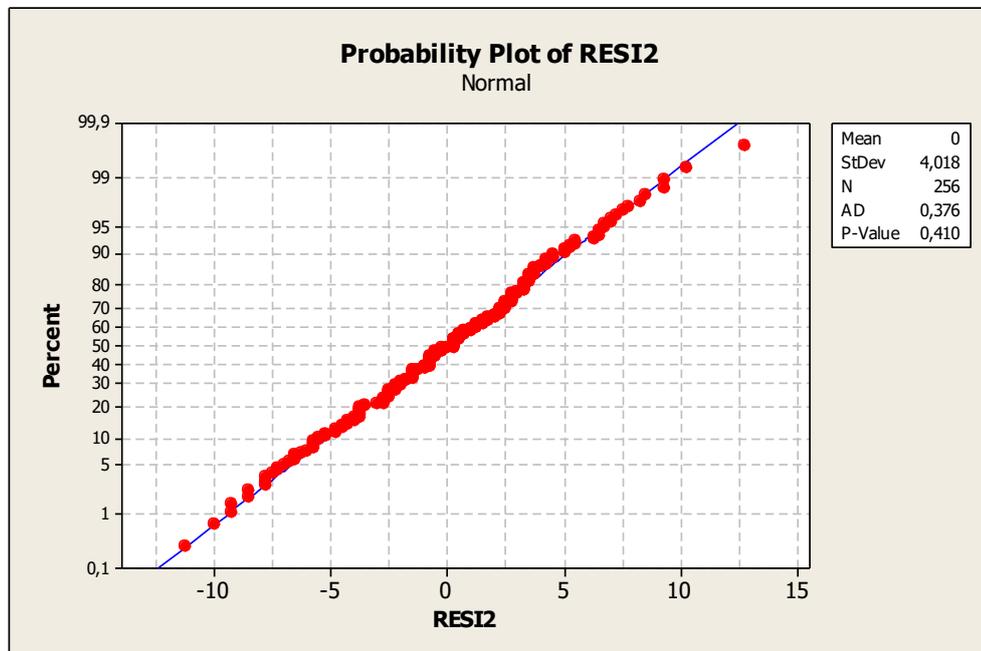


Figura B.1 Gráfico probabilidade Normal para resíduos padronizados (Produto B)

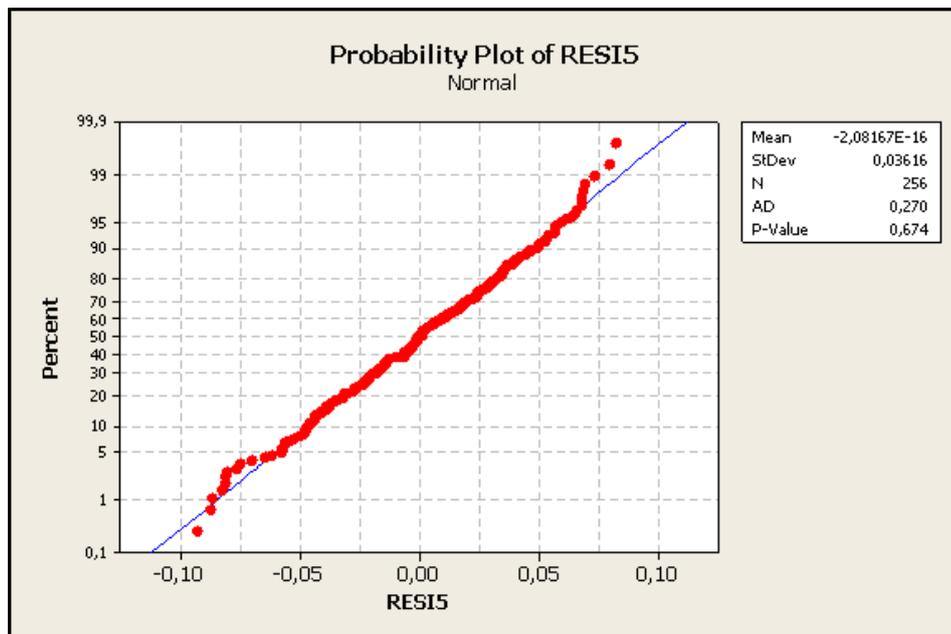


Figura B.2 Gráfico probabilidade Normal para resíduos padronizados (Utilização Transelevador)

## ANEXO C – Carta de controle para resíduos padronizados vs valores ajustados

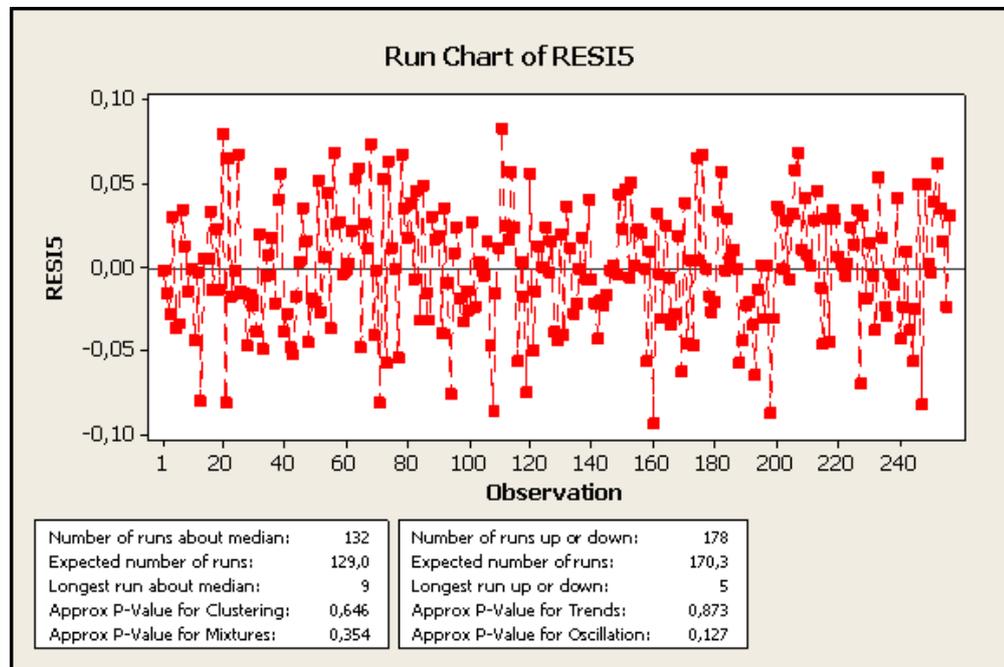


Figura C.1 Carta de controle para resíduos padronizados vs valores ajustados (Utilização Transelevador)

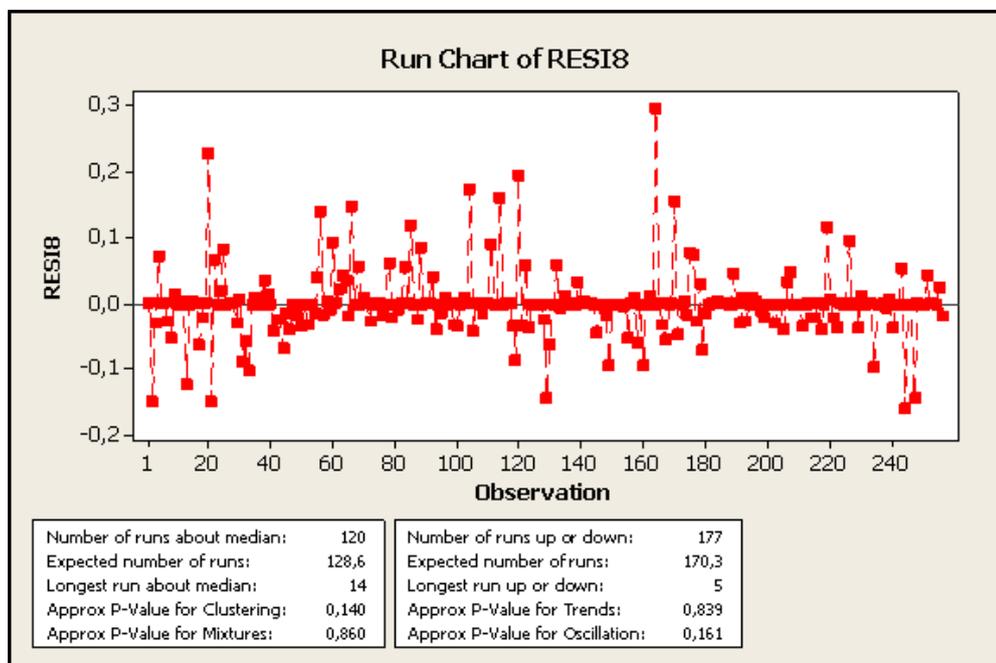


Figura C.2 Carta de controle para resíduos padronizados vs valores ajustados (Tempo trabalhado máquina 1)

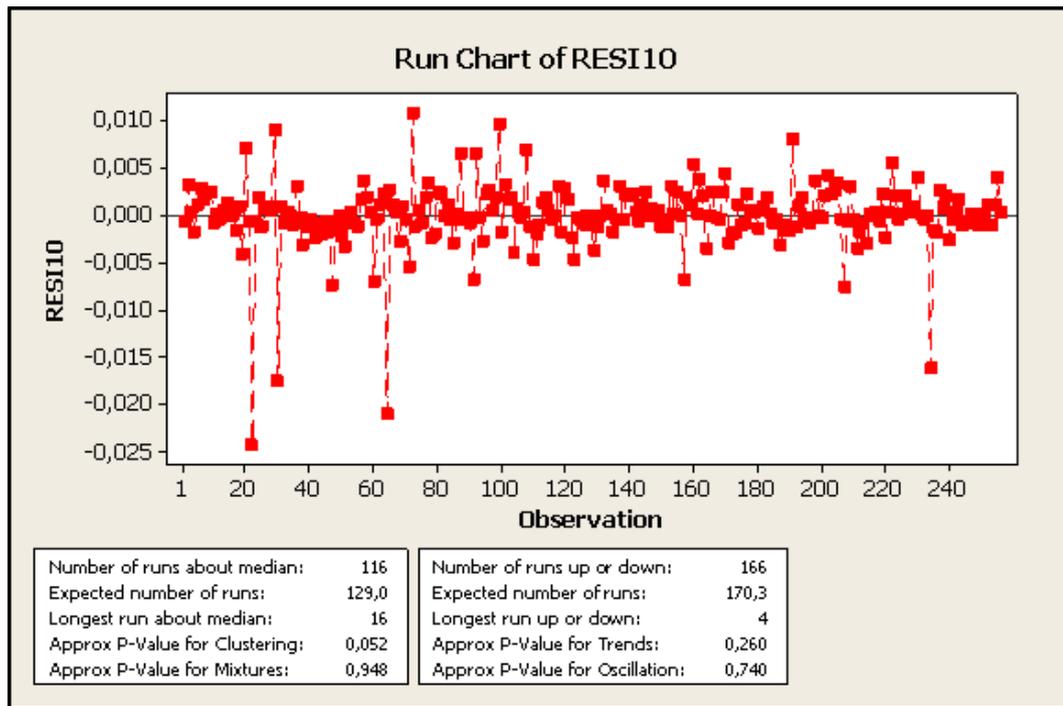


Figura C.3 Carta de controle para resíduos padronizados vs valores ajustados (Tempo em espera máquina 2)

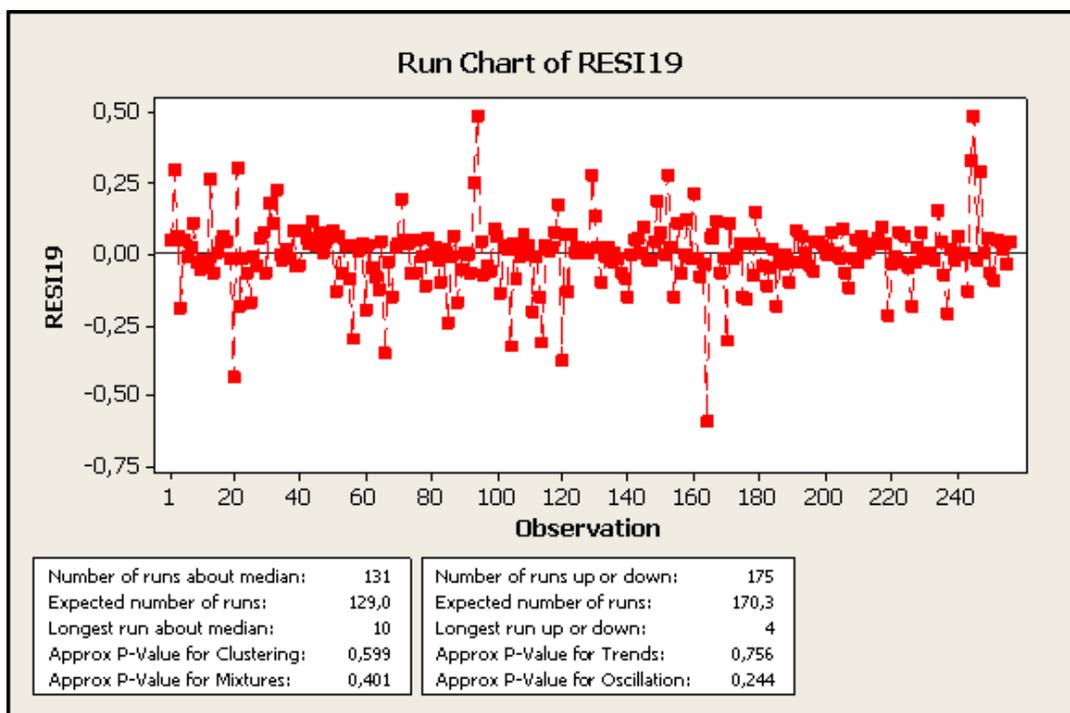


Figura C.4 Carta de controle para resíduos padronizados vs valores ajustados (Tempo total não trabalhado das máquinas)

### ANEXO D – Gráfico de Pareto dos efeitos padronizados

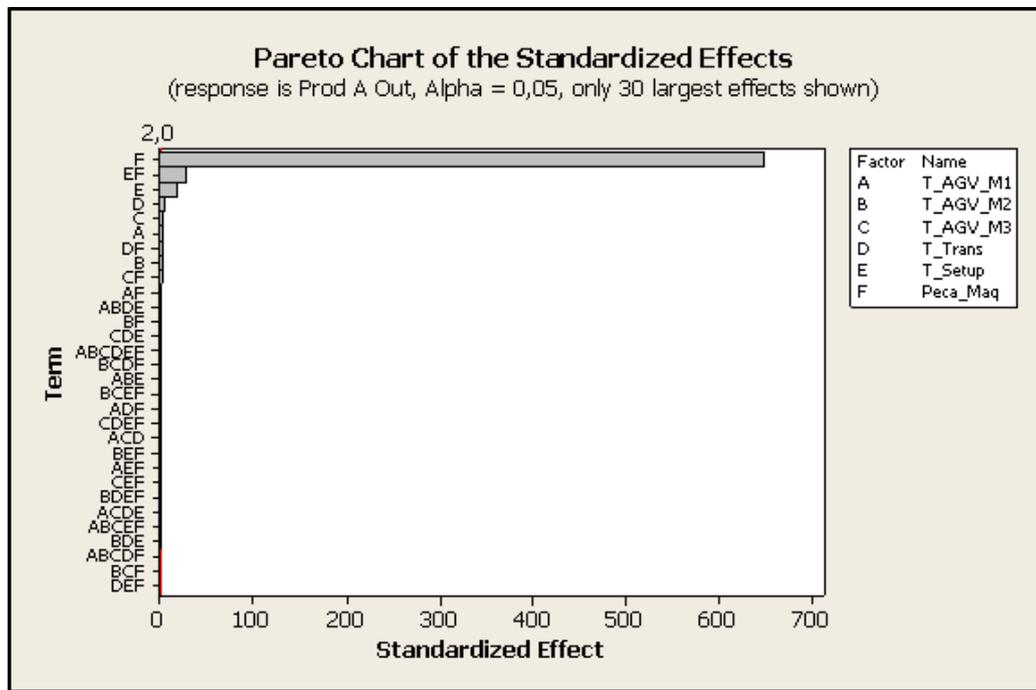


Figura D.1 Gráfico de Pareto dos efeitos padronizados (Produto A).

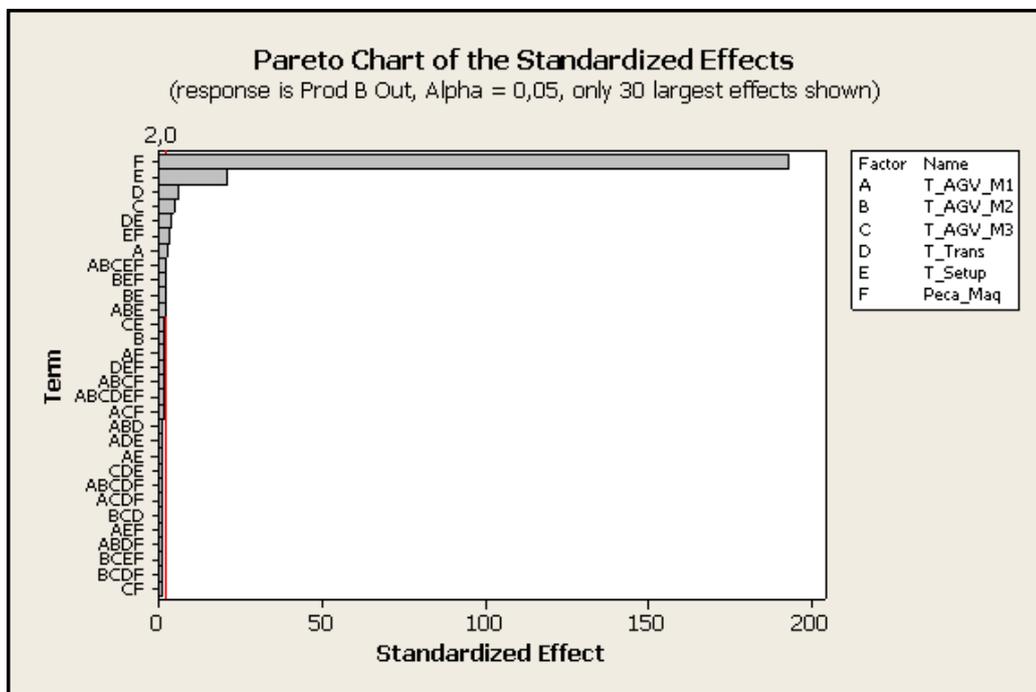


Figura D.2 Gráfico de Pareto dos efeitos padronizados (Produto B).

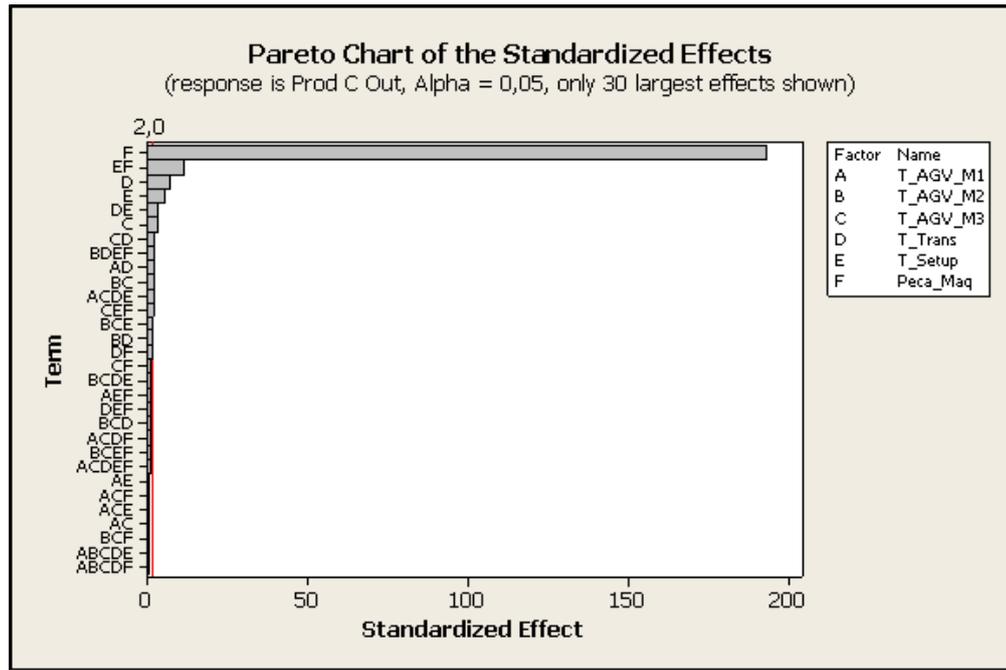


Figura D.3 Gráfico de Pareto dos efeitos padronizados (Produto C).

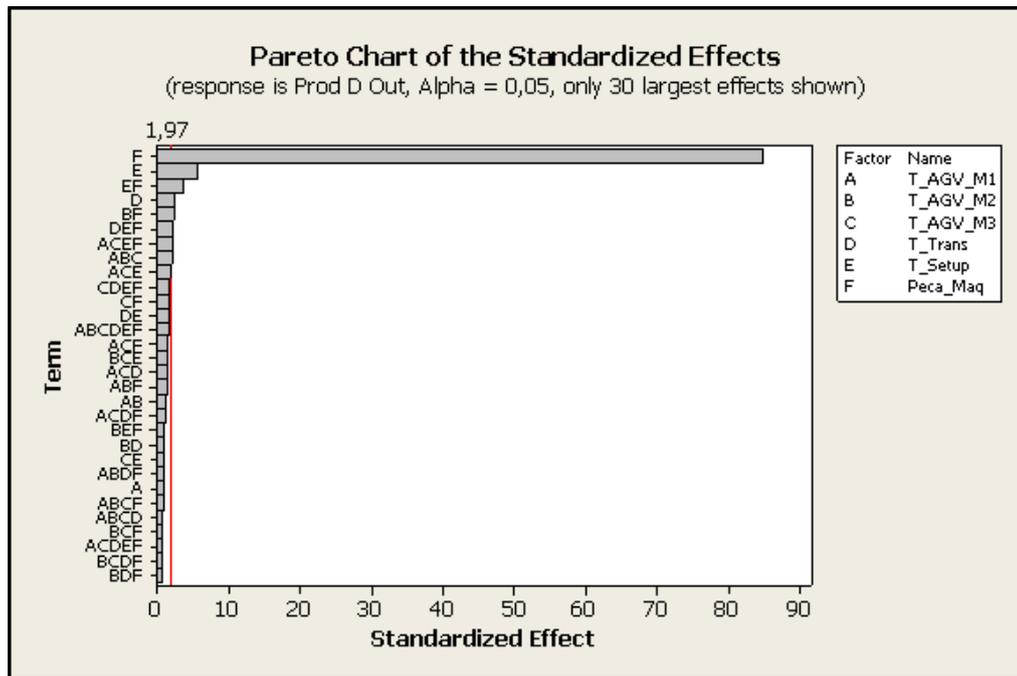


Figura D.4 Gráfico de Pareto dos efeitos padronizados (Produto D).

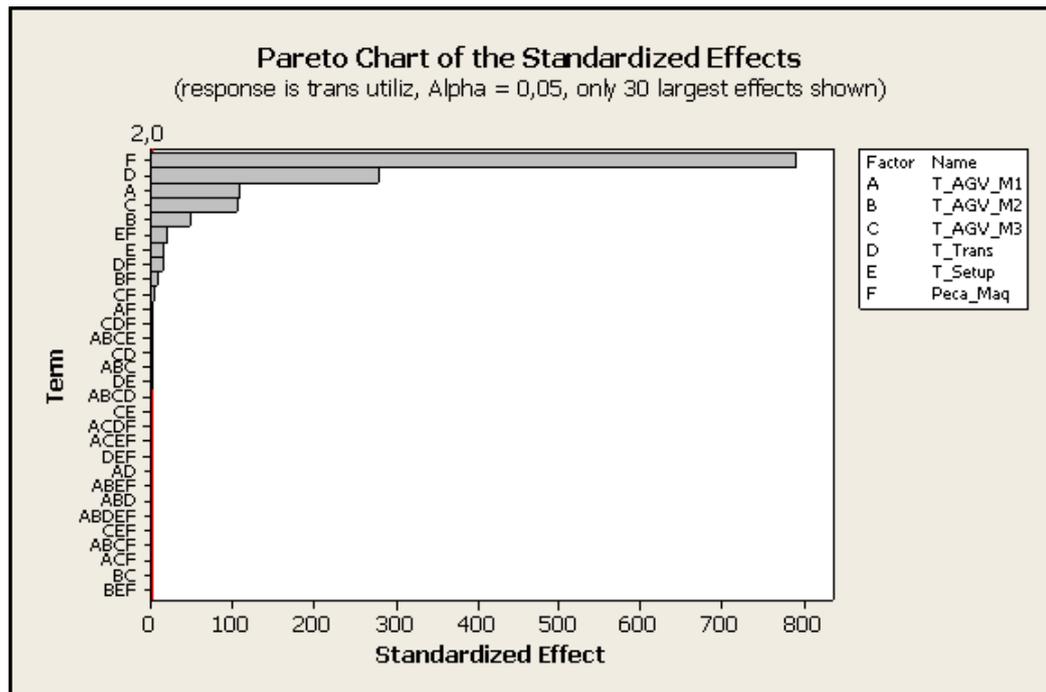


Figura D.5 Gráfico de Pareto dos efeitos padronizados (Utilização do transelevador).

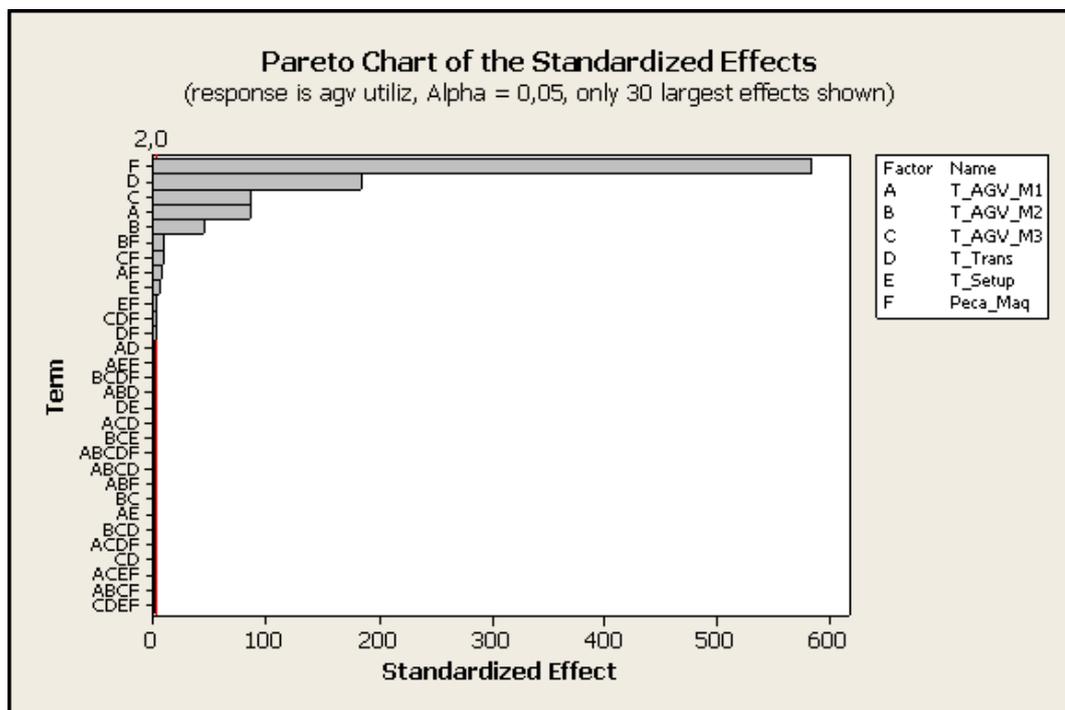


Figura D.6 Gráfico de Pareto dos efeitos padronizados (Utilização do AGV).