

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES E LOGÍSTICA

FABIANO LUIZ FOSSATTI VENTURA

**USO DE SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO DO
CENTRO DE REPAROS DE EQUIPAMENTOS DE DIAGNÓSTICO IN
VITRO DE UMA MULTINACIONAL.**

Joinville

2018

FABIANO LUIZ FOSSATTI VENTURA

**USO DE SIMULAÇÃO PARA A ANÁLISE DE DESEMPENHO DO
CENTRO DE REPAROS DE EQUIPAMENTOS DE DIAGNÓSTICO IN
VITRO DE UMA MULTINACIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Transportes e Logística, no curso de Engenharia de Transportes e Logística da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Profa. Dr.^a Christiane Wenck Nogueira Fernandes.

Joinville

2018

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e minha irmã. Base é tudo. Uma árvore só cresce, faz sombra e dá frutos se a raiz a sustentar durante tempestades, encontrar água em épocas de seca e resistir a fortes geadas. Vocês foram minha raiz.

Aos amigos que fiz durante essa caminhada, todos foram de importância ímpar! Obrigado por estarem por perto quando tivemos motivos para comemorar e mais importante ainda, quando as angústias se faziam presentes.

Obrigado especial ao Pedro Henrique Moraes, em você construí o irmão que eu não tive.

A todo o pessoal do CONEMB 2013: Evelyne Néia, Flávia Flores, Maria Eduarda, Pedro Budny, Pedro Paludetto, Rodrigo Michels e Yan Pedroni, e o Arthur Lemos em 2015. Com vocês aprendi a olhar mais longe. MUITO mais longe. Dizem que uma mente que se abre para uma nova ideia não torna a ter o mesmo tamanho de antes. Com vocês eu não tive novas ideias, foram novas concretizações. Obrigado por todos os momentos.

Não posso deixar de citar os Diretores do CONEMB 2017, que represento pela Bianca Mouta, uma grande amiga que a vida me deu. Que bom que vocês se deixaram contaminar por esse vírus, se tornaram conembers e me permitiram ver nossa criação dar certo pelas mãos de vocês.

À uma superamiga, com quem discuti muito, aprendi muito e ouvi muitos conselhos: Amarilis Laurenti, você é um exemplo a ser seguido!

Agradeço à minha orientadora, Christiane, que esteve realmente presente, sendo disponível sempre que necessitei.

Um obrigado especial aos meus colegas de trabalho, que enriqueceram o meu processo de formação, e à empresa, pelo fornecimento dos dados.

A todos os professores que tive contato durante minha graduação, não apenas muito obrigado, mas parabéns por exercerem uma profissão tão nobre.

“Trabalhe arduamente e nunca deixe de sonhar. ”

Goku

“Propriedade intelectual não existe. ”

RESUMO

A competitividade global impõe um ritmo de evolução que não descansa. Automatização de processos nem sempre é a melhor resposta. Quando não há alternativas para recursos humanos, o processo em que estes estão inseridos deve ser analisado e encontrar ali onde está o detalhe para a melhora. Entender o processo é chave principal para que o detalhe seja encontrado e a melhora desenvolvida. Mudanças podem trazer melhoras significativas de diversas formas, mas uma proposta falha, ao invés do desenvolvimento trás o atraso. Softwares de simulação foram desenvolvidos para que eventos reais pudessem ser estudados antes de acontecer, com um alto grau de acuracidade e confiabilidade. Este trabalho apresenta um estudo de caso do processo de manutenção em equipamentos de diagnóstico in vitro no Setor de Reparos de uma multinacional do setor da saúde. O setor é responsável pela revitalização, quando viável, dos equipamentos que já operam em todo o território brasileiro. São apresentados três modelos, um referente ao cenário real atual, que será considerado a base das análises. Outro que apresenta uma redistribuição da alocação das tarefas entre os engenheiros que já atuam no setor. O último modelo apresentado, trabalha em cima da alteração do tipo de processo do setor, simulando a operação em linha de montagem. Neste último, o nível de máquinas que deixam de ser atendidas por ano cai mais de 50%. Para modelar o processo baseou-se em simulação de eventos discretos de Teoria das Filas. O software utilizado para modelar as simulações foi o ARENA® Simulation.

Palavras-chave Simulação. Gerenciamento de Processos. Teoria das Filas.

ABSTRACT

Global competitiveness rules our evolutionary rhythm in a way that never stops. Automatic processes seem to always be the primary answer. However, when there is no alternative to replacing human hands, the process must be analyzed in order to find out ways to make it more successful. Understanding the behaviors within this process is the first step in order to start developing a potential superior solution. Though changes can increase the process' quality indicators, when a wrong decision is made it will only bring delay. Thus, simulation softwares were developed in order to anticipate and analyze real events before they occur. This is accomplished by way of high standards, reliability, and accuracy. This paper presents a case study of a maintenance process of in vitro diagnostic equipment from a health multinational's Repair Shop sector. Three different simulate models are presented. The first show the real scenario, what is considered the data base to comparisons. The model that changes de flow process presents more than 50% improvement in yield. The process evaluation is based on discreet events from the Queuing Theory and the software used to model it is the Arena® Simulation.

Keywords: Simulation. Processes Management. Queuing theory.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mecanismo de uma fila.	18
Figura 2 - Sistema de uma fila e um canal.	20
Figura 3 - Sistema de uma fila e três canais de atendimento.	20
Figura 4 - Sistema complexo de Filas	20
Figura 5 - Modelo Geral de processo de transformação.	25
Figura 6 - Tipos de Processo de Manufatura	26
Figura 7 - Classificação dos Sistemas para Fins de Modelagem.	32
Figura 8 - Mudança de Estado em Modelos Discretos	33
Figura 9 - Mudança de Estado em Modelos Contínuos	33
Figura 10 - Distribuições de Probabilidade	35
Figura 11 - Módulo Create no Diagrama	36
Figura 14 - Alimentando o módulo Create	36
Figura 13 - Módulo Assign para Process	37
Figura 14 - O módulo Dispose	38
Figura 15 - Fluxograma das Etapas do Método apresentado.	42
Figura 16 - Fluxograma do Processo do Setor de Reparos	44
Figura 17 - Representação da Chegada de Entidades Família 01	45
Figura 18 - Fluxograma Modelo Cenário Base	45
Figura 19 - Criação do tributo dentro do módulo Assign.	47
Figura 20 - Modulo Assign	47
Figura 21 - Módulo Process	48
Figura 24 - Modulo Decide para divisão da <i>fam_2</i> entre engenheiros	49
Figura 23 - Fluxograma do Modelo do Cenário em Linha Proposto	52
Figura 26 - Conversão de divisão por Famílias para Porte	53
Figura 25 - Criação do atributo para Descontaminação de Equipamentos de Pequeno Porte	54
Figura 26 - Criação da entidade de cor para Pequeno Porte	54
Figura 29 - Módulo Assign para Descontaminação	55
Figura 28 – Módulo Process para Descontaminação	56
Figura 31 - Módulo Decide atuando por cor	57
Figura 32 – Atribuindo cinco engenheiros para desempenho da tarefa Revisão	58
Figura 33 – Módulo Process para Serviços Gerais	61

Figura 34 - Modelo Cenário 01 no Ambiente ARENA®	81
Figura 35 - Modelo Cenário 02 no Ambiente ARENA®	82
Figura 36 - Modelo Cenário 03 no Ambiente ARENA®	83

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Tempo médio de permanência dos equipamentos no processo para o Cenário 01.....	65
Gráfico 2 – Quantidade média de Equipamentos por Família que entrou no Processo	66
Gráfico 3 – Tempo médio de permanência dos equipamentos no processo para o Cenário 03 em comparação com Cenário 01.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Equações do modelo de Uma Fila e Um Canal	22
Tabela 2 - Equações do Modelo de Uma Fila e S canais.....	23
Tabela 3 - Distribuição de chegadas por Famílias	43
Tabela 4 - Distribuição de Rendimento por Família para o engenheiro <i>E1</i>	46
Tabela 5 - Distribuição de Chegada por Família	49
Tabela 6 - Distribuição de Descontaminação por Porte	54
Tabela 7 - Relação de Portes x Cores	55
Tabela 8 – Distribuições de rendimento	57
Tabela 9 – Distribuição para Performance por Porte	59
Tabela 10 – Distribuição para Ajustes e Performance por Porte em Teste de Performance.....	59
Tabela 11 – Distribuição para Ajustes e Performance por Porte em Limpeza e Travamento	60
Tabela 12 - Distribuições para Embalagem	61
Tabela 13 - Relação de Equipamentos liberados anualmente pelo Setor de Reparos x Modelo	64
Tabela 14 – Tempo médio de permanência no Processo por Entidade	64
Tabela 15 – Relação de tempo em Fila X quantidade máxima de Equipamentos Aguardando.....	66
Tabela 16 – Utilização de cada Recurso	67
Tabela 17 – Nova divisão de quantidade de Equipamentos por Engenheiro	68
Tabela 18 – Alteração da taxa de Utilização	68
Tabela 20 – Relação de tempo em Fila X quantidade máxima de Equipamentos Aguardando.....	69
Tabela 21 – Taxa de utilização de Recursos	71
Tabela 22 - Famílias atendidas por cada Engenheiro	77
Tabela 23 - Engenheiros Habilitados para Atender cada Família	78
Tabela 24 - Distribuição de Portes de Equipamentos por Família.....	79
Tabela 25 - Divisão de Famílias para Engenheiros.....	80

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. TEMA E PROBLEMATIZAÇÃO.....	13
1.2. JUSTIFICATIVA.....	14
1.3. OBJETIVO GERAL	15
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1. TEORIA DAS FILAS.....	17
2.1.1. Notação de Kendall	21
2.1.2. Modelo de 1 fila e um canal de atendimento com população infinita (M/M/S/∞/∞/FCFS)	21
2.1.3. Modelo de Uma fila e S canais de atendimentos com população infinita (M/M/S/∞/∞/FCFS)	22
2.1.4. Medidas de Desempenho de um Sistema	23
2.2. GERENCIAMENTO DE PROCESSOS	24
2.3. SIMULAÇÃO.....	28
2.3.1. MODELAGEM E SIMULAÇÃO	30
2.3.1.1. Variáveis de Estado.....	31
2.3.1.2. Eventos.....	31
2.3.1.3. Entidades e Atributos	31
2.3.1.4. Diferentes tipos de Modelos	32
2.3.1.5. Classificação dos Modelos de Simulação	32
2.4. UTILIZANDO O ARENA® EM SIMULAÇÃO	34
2.4.1. FORNECIMENTOS DE DADOS AO ARENA®	35
2.4.1.1. Processo de chegada.....	35
2.4.1.2. Os processos de atendimento	36
2.4.1.3. O modelo de Decisão	37
2.4.1.4. Saída do sistema.....	38
3. METODOLOGIA.....	39
4. DESENVOLVIMENTO DO MODELO	43
4.1. CENÁRIO 01 – BASE.....	45

4.1.1. Famílias atendidas por cada Engenheiro.....	46
4.1.2. Engenheiros capacitados para atender cada Família.....	49
4.2. CENÁRIO PARA PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DE LAYOUT	50
4.2.1. DIVISÃO DE FAMÍLIAS POR PORTE	53
4.2.2. DESCONTAMINAÇÃO	53
4.2.3. REVISÃO DO EQUIPAMENTO.....	56
4.2.4. TESTE DE PERFORMANCE	58
4.2.5. LIMPEZA E TRAVAMENTO.....	59
4.2.6. SERVIÇOS GERAIS E CONFERÊNCIA VISUAL.....	60
4.2.7. EMBALAGEM.....	61
5. ANÁLISE DE RESULTADOS.....	63
5.1. CENÁRIO 01 – BASE.....	63
5.2. CENÁRIO 02 – REALOCAÇÃO DE TAREFAS ENTRE ENGENHEIROS	67
5.3. CENÁRIO 03 – PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DE LAYOUT	69
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72
REFERÊNCIAS.....	75
APÊNDICE A	77
APÊNDICE B	78
APÊNDICE C	79
APÊNDICE D	80
APÊNDICE E	81
APÊNDICE F.....	82
APÊNDICE G.....	83

1. INTRODUÇÃO

1.1. TEMA E PROBLEMATIZAÇÃO

O congestionamento de clientes em filas para a aquisição ou o pagamento de mercadorias, de serviços ou ainda, o congestionamento de tarefas a serem executadas por um equipamento como uma impressora, por exemplo, é um problema fundamental com que a administração de um negócio deve lidar, pois o tempo de espera em uma fila é um dos itens que retrata a qualidade do atendimento do estabelecimento comercial, do prestador de serviço ou do equipamento (FIGUEIREDO et al., 2010).

Quando, por exemplo, o número de clientes a espera de atendimento é permanentemente muito grande ou quando os atendentes ficam ociosos a maior parte do tempo, há evidência de que o número de atendentes não está adequadamente dimensionado (ANDRADE, 1998).

O consumidor final constitui a base de referência de todos os esforços feitos nas empresas modernas. A logística empresarial, parte integrante da administração das operações, constitui um conjunto de técnicas de gestão da distribuição e transporte dos produtos finais, do transporte e manuseio interno às instalações e do transporte das matérias-primas necessárias ao processo produtivo (MARTINS E LAUGENI, 2005). Tempos de espera longos no processo de produção, aparecem como fatores negativos, aumentando as dificuldades para o atendimento da demanda nos prazos estabelecidos (ROMERO et al., 2010).

A eficiência do processo logístico caracteriza maior fluidez de produção. Assim sendo, é idealizado por muitos gestores que o fornecimento e a demanda estejam alinhados, seguindo um mesmo ritmo. Quando os ritmos são diferentes, há formação de estoques (ANDRADE, 2011). Consequentemente, aumentar a rotatividade do estoque libera recursos e economiza o custo de manutenção de inventário (GOEBEL, 1996).

Estudar e compreender o comportamento das filas possibilita dimensionar sistemas do mundo real, a fim de amenizar situações estressantes que esperas demasiadas possam causar (FIGUEIREDO et al., 2010).

Portanto, o controle desses tempos ajuda a melhorar a estimação dos prazos de entrega e a elevar o desempenho (ROMERO et al., 2010). Segundo Bahadori et al. (2014), as principais variáveis determinantes em tempos de espera incluem: 1) o modelo de entrada de uma nova tarefa no processo; 2) a sequência das tarefas; 3) porcentagem de colaboradores trabalhando (não ociosos); 4) interação entre os colaboradores trabalhando no processo.

É necessário deixar claro de início que os modelos nem sempre conseguem representar as situações reais com grande precisão. Muitas vezes, as premissas necessárias ao desenvolvimento matemático dos modelos envolvem simplificações substanciais. Mesmo assim, há vantagem em desenvolver tais modelos, principalmente por que eles levam a um melhor entendimento das principais condicionantes do processo (DE BRUNS, 2001).

Para o levantamento de dados, foram levados em conta os dados históricos do processo, etapa a etapa, em um período de quatro anos. A coleta de dados baseou-se no tempo de entrada, realização da tarefa e saída dos equipamentos, por etapa do processo, pretendendo obter as expressões que representem de forma coerente o progresso. Após a coleta, utilizou-se o software ARENA para o modelo de simulação do processo. Finalmente, apresenta-se uma proposta de melhora para o processo analisado.

1.2. JUSTIFICATIVA

Apesar de o mundo, em função da globalização estar sempre em ritmo acelerado, o mercado da saúde corre contra o tempo por um motivo mais nobre: salvar vidas. Cada hora de atraso pode resultar em uma vida que deixou de ser salva. Estudos de caso que possam agilizar sistemas de saúde, devem ser incentivados e desenvolvidos com entusiasmo.

A Pesquisa Operacional por definição, segundo o periódico inglês *Operational Research Quarterly* (1967) citado por Milani (2016), “consiste no desenvolvimento de métodos científicos de sistemas complexos, e tem a finalidade de prever e comparar estratégias ou decisões alternativas”.

Slack (2009, p. 315) afirma que “[...] planejamento e controle da capacidade é a tarefa de determinar a capacidade efetiva da operação produtiva, de forma que ela pode corresponder à demanda”, e que “[...] a previsão da demanda é um insumo muito importante para a decisão do planejamento e controle de capacidade” (SLACK, 2009, P.317).

Entender a natureza dos descompassos potenciais entre a capacidade e a demanda é central para o gerenciamento da capacidade. Se as flutuações são previsíveis, elas podem ser planejadas antecipadamente para minimizar seus custos e atrasos (SLACK et al., 2013, p. 272).

Encarar essa questão como um problema de fila pressupõe que, enquanto em alguns momentos a demanda pode ser satisfeita instantaneamente, em outros períodos os clientes devem esperar (SLACK, 2009, p.338).

Com o intuito de reduzir ao máximo atrasos em entregas, o emprego de modelagem matemática na busca pela otimização de processos se mostra uma ferramenta bastante utilizada. Analisar a demanda e capacidade agregadas, aliado à aplicação de Teoria das Filas e ferramentas Simulação, é possível identificar e dissolver gargalos que estão afetando o desempenho de um setor.

1.3. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é apresentar um modelo para simular as operações de reparo de equipamentos de exames laboratoriais in vitro.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Coletar, processar e analisar os dados inerentes ao processo;
- Implementar um modelo que esteja de acordo com a situação prática encontrada;
- Examinar o processo, baseando a avaliação nos indicadores expostos na simulação;
- Explanar as variáveis presentes no processo de reparo, possibilitando otimizar a utilização dos recursos disponíveis;

- Oferecer melhorias cabíveis baseadas em teorias de gerenciamento de processos industriais;

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está distribuído em seis capítulos. Iniciando pela introdução ao tema que será discutido, possibilitando ao leitor o entendimento da problemática, apresentando uma justificativa para o desenvolvimento da pesquisa e norteando-o através dos objetivos.

O segundo capítulo traz à tona toda a fundamentação teórica dos assuntos pertinentes ao tema em questão. É discutido sobre Teoria das Filas, Gerenciamento de Processos e Simulação, abordando a modelagem de eventos discretos.

A seguir, no terceiro capítulo, é apresentada a metodologia de pesquisa que orientou o desenvolvimento deste trabalho. Aqui é explicado como foram coletados os dados que posteriormente alimentaram as simulações.

Depois, será detalhado o cenário que está sendo estudado, listando as tarefas que são executadas nas etapas do processo de revisão dos equipamentos, além da apresentação da modelagem do cenário atual e a modelagem do cenário proposto. Também é explicado como foi considerado válido o modelo apresentado e quais as decisões tomadas para montar a proposta de melhoria.

Findados os estágios de apresentação dos dados analisados e cenários propostos, serão apresentados os dados obtidos executando as simulações. Serão apresentados individualmente os dados da fila, dos recursos e tarefas.

Finalmente, no último capítulo estão as considerações finais, apresentando análises comparativas de rendimentos entre cenários.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo discorre sobre os conceitos de Teoria das Filas, Simulação e Gerenciamento de Processos, abordando tópicos relevantes e referências das áreas supracitadas, afim de assegurar o entendimento do leitor, simplificando a correlação entre os temas abordados.

2.1. TEORIA DAS FILAS

Segundo Hillier (2013, p. 728),

A Teoria das Filas é o estudo da espera nas mais diversas formas. Ela usa modelos de filas para representar os diversos tipos de sistemas de filas que surgem na prática. As fórmulas para cada modelo indicam como o sistema de filas correspondente deve funcionar, inclusive o tempo de espera médio que ocorrerá, em uma série de circunstâncias.

Em sua expressão mais simples, um sistema de filas é composto de elementos que querem ser atendidos em um posto de serviço e que, eventualmente, devem esperar até que o posto esteja disponível (ANDRADE, 2015, p.104).

Uma das motivações para se estudar fila, porque embora nem sempre se perceba, existem problemas econômicos embutidos em uma fila, e que surgem porque em qualquer fila existem dois custos envolvidos, o da fila e o do serviço oferecido (FERREIRA FILHO, 2005)

O custo do serviço se caracteriza pela construção e manutenção de uma infraestrutura mínima que, pelo menos, garanta a entrega do serviço em questão. Já o custo da fila, representa o quanto custa abrigar esta fila dentro do sistema (FERREIRA FILHO, 2005). Uma maneira de exemplificar esses custos é através de um sistema bancário, onde temos guichês de atendimentos como custo de serviço, e uma estrutura de conforto para os clientes que esperam ser atendidos (cadeiras, ar condicionado, espaço físico).

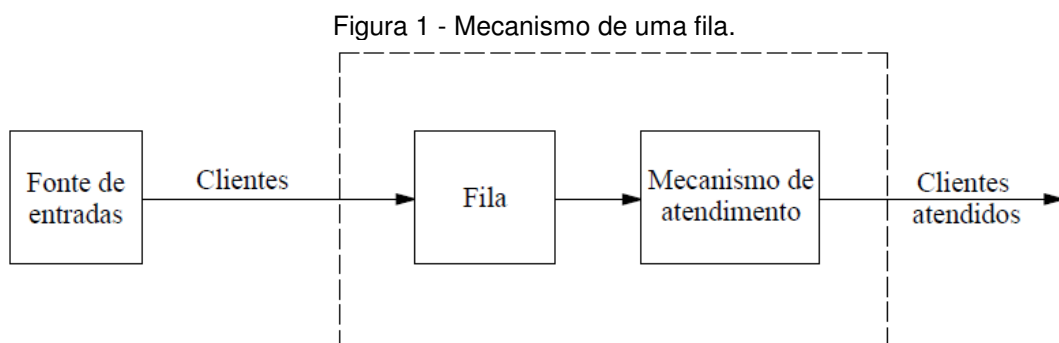
Andrade (2015, p. 105), afirma que diversos fatores condicionam a operação de um sistema e interferem tanto, que o desempenho do sistema passa a ser função deles. E os elencou em quatro categorias:

- Modo de Chegada;
- Disciplina da Fila;
- Forma de Atendimento;

- Estrutura do Sistema.

Hillier (2013, p. 729) propõe um conjunto de fatores muito semelhantes, e descreve o processo básico de comportamento de uma fila, representado na Figura 1:

Cientes que necessitam de atendimento são gerados ao longo do tempo por uma fonte de entradas. Esses clientes entram no sistema de filas e pegam uma fila. Em certos momentos, um integrante da fila é selecionado para o atendimento por alguma regra conhecida como disciplina da fila. O atendimento necessário é então realizado para o cliente pelo mecanismo de atendimento, após o qual o cliente deixa o sistema de filas.



Fonte: Hillier (2013, p. 729)

Se os clientes entram no sistema em intervalos fixos de tempo, o processo de chegadas é dito constante ou determinístico (FERREIRA FILHO, 2005). Porém, na maioria dos casos de estudos de aplicações reais, a chegada de clientes na fila ocorre de modo aleatório, ou seja, o número de clientes que chegam por unidade de tempo varia segundo o acaso (ANDRADE, 2015, p. 105).

Entretanto, quando temos as chegadas ao sistema de filas ocorrendo a certa taxa média fixa, adota-se a distribuição de Poisson (HILLIER, 2013, p. 729). A dificuldade reside em encontrar qual é o período de tempo que define esta taxa, contudo, quando encontrada, é possível afirmar que o sistema se encontra em estado estacionário (ANDRADE, 2015, p. 105).

As chegadas mencionadas acima podem ser unitárias ou em um bloco (*batches*). Neste caso, além do tempo entre chegadas, também o tamanho dos blocos é aleatório (FERREIRA FILHO, 2005). Um exemplo disso são as caravanas de torcidas chegando a um estádio para acompanhar o seu time.

A disciplina da fila se refere à ordem na qual integrantes da fila são selecionados para atendimento (HILLIER, 2013, p. 730). No cotidiano os atendimentos, em geral, se dão pela ordem de chegada, referida como FCFS, do inglês, first come, first served (FERREIRA FILHO, 2005), também conhecida como FIFO, do inglês, first in, first out. Em que ambas, FCFS e FIFO, caracterizam o fluxo de que os primeiros a entrar no sistema, serão os primeiros a ser atendidos.

Mella (2017) cita Andrade (2015), e lista ainda outras disciplinas existentes:

- LIFO (last in, first out): ultimo a chegar é o primeiro a ser atendido;
- ALEATÓRIO, isto é, os atendimentos são feitos sem qualquer preocupação com a ordem de chegada;
- COM PRIORIDADE, quando os atendimentos são feitos de acordo com prioridades estabelecidas.

Da mesma forma que o processo de chegada, é possível considerar o tempo de serviço como sendo determinístico ou aleatório. A distribuição do tempo de serviço pode depender do estado do sistema ou, até mesmo, do tipo de usuário a ser servido (FERREIRA FILHO, 2005).

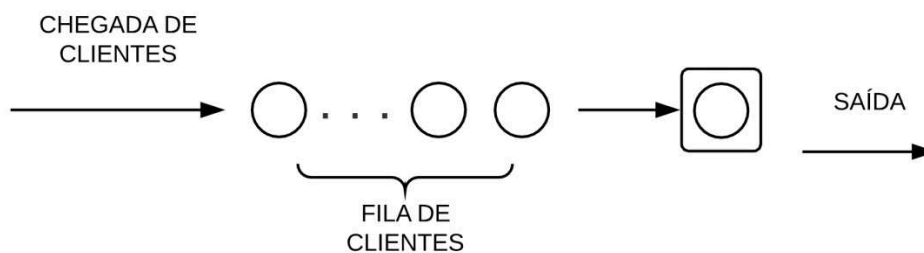
O mecanismo de atendimento é formado por um ou mais postos de atendimento, e cada um deles contém um ou mais atendentes (HILLIER, 2013, p. 730).

O primeiro passo no estudo de um sistema de filas é o levantamento estatístico do número de clientes atendidos por unidade de tempo. A finalidade deste é, então, determinar a distribuição de probabilidade do número de atendimentos ou da duração de cada atendimento (ANDRADE, 2015, p. 105). Ferreira Filho (2005) afirma que dentre as distribuições mais usadas aparece a Distribuição Exponencial, Erlang e Hiperexponencial.

Já a estrutura do sistema refere-se à, de certa forma, infraestrutura disponível para abrigar todo o sistema, que podem apresentar estruturas muito variadas e cada caso exige um estudo analítico diferente (ANDRADE, 2015, p. 106).

O tipo mais frequente de situação, segundo Hillier (2013, p. 730), é com uma fila de espera única que se forma na frente de um único posto de atendimento, onde se encontram um ou mais atendentes, representada na Figura 2.

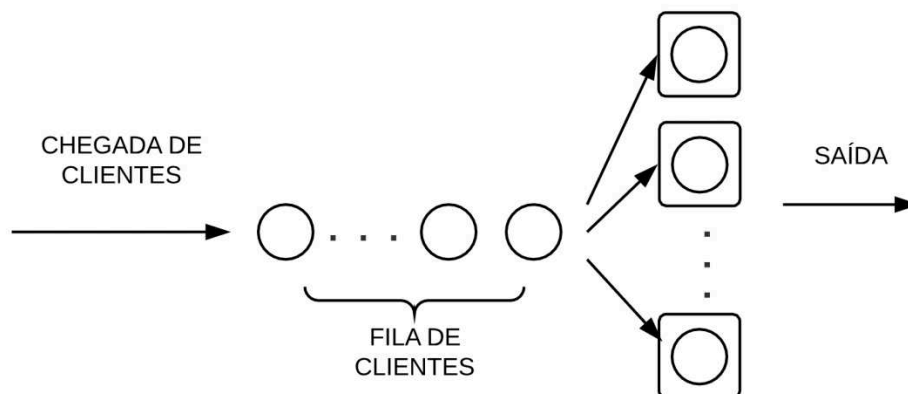
Figura 2 - Sistema de uma fila e um canal.



Fonte: Adaptado de Andrade (2015).

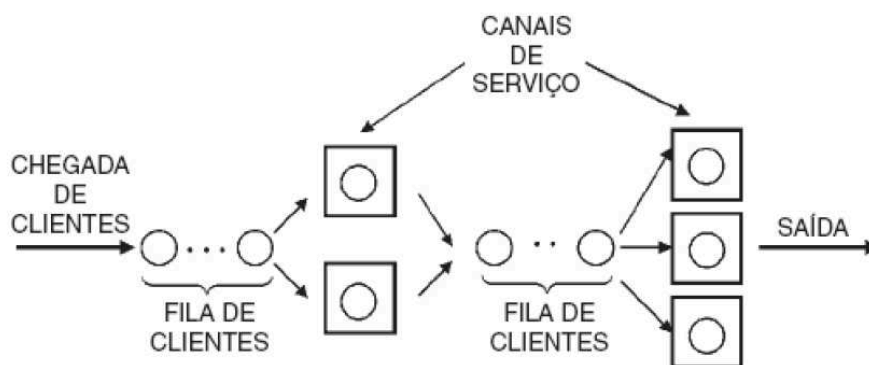
Andrade (2015, p. 106) ainda apresenta estruturas com atendentes em paralelo, demonstrado na Figura 3, e um sistema complexo de filas com atendentes em série e paralelo, Figura 4.

Figura 3 - Sistema de uma fila e três canais de atendimento.



Fonte: Adaptado de Andrade (2015).

Figura 4 - Sistema complexo de Filas



Fonte: Andrade (2015)

2.1.1. Notação de Kendall

Ferreira Filho (2005) apresenta uma notação para sistemas de filas que é largamente utilizada atualmente. Foi desenvolvida pelo professor D. G. Kendall, no ano de 1953, e consiste na forma $A/B/c/K/Z$, onde A descreve a distribuição do tempo entre chegadas, B a distribuição do tempo de serviço, c o número de servidores, K a capacidade da fila de espera (alguns autores definem K como capacidade total de usuários no sistema) e Z a disciplina de atendimento.

Apresenta também algumas escolhas possíveis para A e B , descritas abaixo:

M : Distribuição Exponencial;

Ek : Distribuição de Erlang- k ;

D : Distribuição Determinística ou degenerada;

U : Distribuição Uniforme;

G : Distribuição Geral (não especificada).

A omissão de K e Z na representação acima indica que a fila tem capacidade infinita e disciplina FIFO (FERREIRA FILHO, 2005).

2.1.2. Modelo de 1 fila e um canal de atendimento com população infinita ($M/M/S/\infty/\infty/FCFS$)

Andrade (2015) apresenta as características dos processos de chegada e de atendimento em que são baseadas as equações deste modelo, como a seguir,

- Chegadas ocorrem segundo uma distribuição de Poisson com média τ tarefas por unidade de tempo;
- Os tempos de atendimento seguem uma distribuição exponencial negativa com média $1/\mu$;
- O atendimento da fila é realizado por ordem de chegada;
- O número de clientes/tarefas (n) é grande o suficiente para que possa ser considerado infinito.

A Figura 2 representa a estrutura deste sistema. A Tabela 1 apresenta as equações do modelo.

Tabela 1 - Equações do modelo de Uma Fila e Um Canal	
$P(n) = \left(\frac{\tau}{\mu}\right)^n \cdot \left(\frac{\mu - \tau}{\mu}\right)$	Probabilidade de haver n clientes no sistema
$P(n > r) = \left(\frac{\tau}{\mu}\right)^{r+1}$	Probabilidade de que o número de clientes no sistema seja superior a r
$P_0 = \left(\frac{\mu - \tau}{\mu}\right)$	Taxa de ociosidade
$\rho = \frac{\tau}{\mu}$	Taxa de ocupação
$NS = \left(\frac{\tau}{\mu - \tau}\right)$	Número médio de clientes no sistema
$NF = \left(\frac{\tau^2}{\mu(\mu - \tau)}\right)$	Número médio de clientes na fila (incluindo filas de tamanho zero)
$NF = \left(\frac{\mu}{\mu - \tau}\right)$	Número médio de clientes na fila (para filas de tamanho maior que zero)
$TF = \left(\frac{\tau}{\mu(\mu - \tau)}\right)$	Tempo médio de espera na fila
$TS = \left(\frac{1}{\mu - \tau}\right)$	Tempo médio gasto no sistema

Fonte: Lopes (2016)

2.1.3. Modelo de Uma fila e S canais de atendimentos com população infinita (M/M/S/ ∞ / ∞ /FCFS)

As características gerais deste modelo, citadas por Andrade (2015) são:

- As chegadas apresentam uma média de τ por unidade de tempo e seguem a distribuição de Poisson;
- Os tempos de atendimento por canal possuem média $1/\mu$ e seguem a distribuição exponencial negativa;
- O atendimento é feito por ordem de chegada;
- O ritmo de serviço é $\mu * S$;
- A condição de estabilidade do sistema é $\tau < \mu * S$.

A Figura 3 representa o modelo de uma fila e S canais de atendimento com $S=3$. A Tabela 2 apresenta as equações deste modelo.

Tabela 2 - Equações do Modelo de Uma Fila e S canais

$\rho = \frac{\tau}{\mu}$	Taxa de utilização
$P_0 = \frac{1}{\sum_{j=0}^{s-1} \frac{\rho^j}{j!} + \frac{\rho^s}{(s-1)!(s-\rho)}}$	Probabilidade não haver clientes na fila
$P(n \geq s) = \left(\frac{\rho^s}{(s-1)!(s-\rho)} \right) \cdot P_0$	Probabilidade de que todos os canais estejam ocupados
$NF = \left(\frac{\rho}{s-\rho} \right) \cdot P(n \geq s)$	Número médio de clientes na fila
$TF = NF \cdot \frac{1}{\tau}$	Tempo médio de espera na fila
$NS = NF + \rho$	Número médio de clientes no sistema
$TS = NS \cdot \frac{1}{\tau}$	Tempo médio gasto no sistema

Fonte: Lopes (2016).

2.1.4. Medidas de Desempenho de um Sistema

Com os parâmetros apresentados por modelo, é possível calcular medidas de desempenho para um sistema. Prado (2014) e Andrade (2015) segregam o que pode ser analisado no modelo, conforme é apresentado a seguir.

- Sistema:

TS: Tempo médio que as tarefas permanecem no sistema;

NS: Número médio de tarefas no sistema;

- Fila:

TF: Tempo médio que as tarefas permanecem na fila;

NF: Número médio de tarefas na fila, ou tamanho da fila;

- Processo de Chegada

τ : Ritmo médio de chegada;

IC : Número médio entre chegadas ($1/\mu$);

- Processo de atendimento:

μ : Ritmo médio de atendimento de cada atendente;

P_0 : Índice de ociosidade, quando número de clientes na fila é igual a zero;

ρ : Taxa de utilização.

A literatura apresenta diversos tipos de filas, com distribuições mais complexas, adição de parâmetros e diferentes dinâmicas de comportamento da fila. A dificuldade, porém, está na complexidade de mensurar as medidas de desempenho destes sistemas. Uma saída para resolução contornar este problema é a utilização de simulação computacional, como será utilizado neste trabalho.

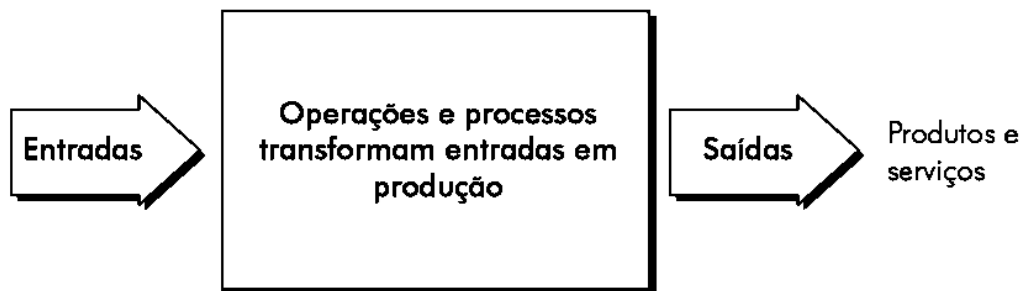
2.2. GERENCIAMENTO DE PROCESSOS

Uma organização pode ser visualizada e caracterizada como um processo, e dentro dela pode-se perceber a existência de conjuntos processuais menores, que compõem o fluxo de produção de bens ou o fornecimento de serviços, que exigem acompanhamento constante (Mariani, 2005).

Um processo é uma organização de recursos que transforma insumos em produtos que satisfazem as necessidades (internas ou externas) dos clientes (SLACK et al., 2013).

A ideia de que qualquer processo transforma entradas em saídas é fundamental para a compreensão do que é um processo. Slack et al. (2013) apresenta um modelo geral do processo de transformação que é usado para descrever a natureza dos processos industriais, na Figura 5.

Figura 5 - Modelo Geral de processo de transformação.



Fonte: Slack et al. (2013).

As entradas do processo são consideradas por Slack et al. (2013), os recursos que são modificados de alguma forma dentro do processo, que normalmente se apresentam na qualidade de clientes, materiais ou informação.

As entradas são transformadas por recursos de transformação. Estes formam o alicerce de todo o processo e são as instalações físicas (edifícios, máquinas) e as pessoas (operadores e gerentes). A natureza exata entre estes dois recursos é diferente entre os processos (Slack et al., 2013).

Como saída, por conseguinte, é considerado o que é entregue ao final de um processo, podendo ser produtos ou serviços, dependendo apenas do modelo de negócio que o processo está inserido (Slack et al., 2013).

Slack, Chambers e Johnston (2009) elenca vários tipos de processos e os divide em duas grandes áreas, processos de manufatura e processos de serviço. A diferença principal entre essas duas áreas se dá pelo fato de haver ou não influência, direta ou indireta, do cliente no processo. Como no processo de manutenção estudado não há interação com o cliente de nenhuma maneira, serão abordados aqui apenas os processos de manufatura.

Cinco processos de manufatura são apresentados por estes autores, sendo eles:

- **Processos de Projeto:** tem como características principais baixo volume e alta variedade de produtos, devido ao fato de usualmente lidar com produtos altamente customizados e, dessa forma, o período de tempo para fazer o produto é relativamente longo. Cada produto tem seus recursos dedicado exclusivamente a ele. Como exemplo deste tipo de processo pode-se citar a construção de navios.
- **Processos de Jobbing ou Tarefa:** muito semelhante ao processo anterior, porém cada produto deve compartilhar recursos de operação com vários

outros. Embora todos os produtos exijam o mesmo tipo de atenção, diferem entre si pelas necessidades específicas. Mestres ferramenteiros e restauradores de móveis são tomados como exemplos.

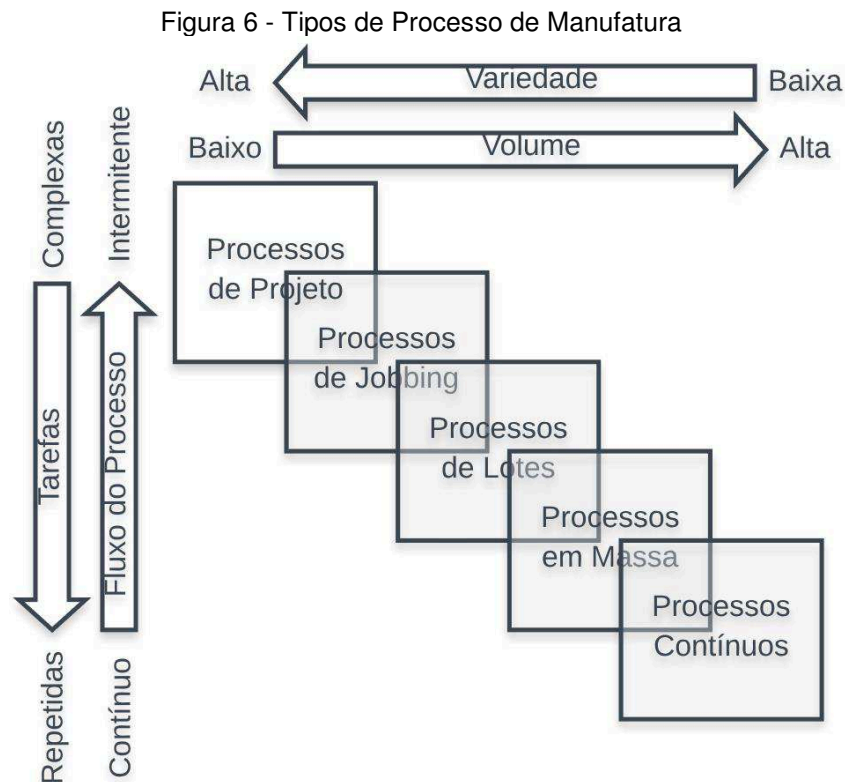
- Processos em lote: em geral produz mais que um produto por vez. Toda vez que se produz um produto, cada parte da operação tem períodos em que se está repetindo, pelo menos enquanto o lote está sendo processado. Exemplos de processos em lote são a manufatura de máquinas-ferramenta e produção de roupa.

- Processos de produção em massa: são os processos que produzem bens em alto volume e variedades relativamente estreitas. É essencialmente uma produção em massa porque as variantes do seu próprio produto não afetam o processo básico de produção. Fábricas de automóveis são um exemplo clássico desta categoria de processo.

- Processos contínuos: são considerados um passo adiante do processo de produção em massa, levando em conta o volume de produção ainda maiores e variedades menores. São considerados contínuos pelo fato de que os produtos, às vezes, são inseparáveis e produzidos em fluxo ininterrupto. Cervejarias e refinarias petroquímicas adotam processos contínuos.

A Figura 6 apresenta os tipos de manufatura e sua ligação com a relação volume-variedade, complexidade das tarefas executadas e a natureza do fluxo.

Os diferentes tipos de processos impactam diretamente no layout do processo. Quando as atividades estão em um arranjo físico de forma que há movimento excessivo de materiais, informações ou clientes, o sequenciamento do processo é uma questão a ser considerada. Em geral, o objetivo da decisão sobre o layout é minimizar o movimento (SLACK et al., 2013).



Fonte: Adaptado de Slack, Chambers e Johnston (2009).

O arranjo físico de um processo é determinado em parte por suas características de variedade e volume. Quando o volume é muito baixo e a variedade é relativamente alta, o fluxo pode não ser uma questão principal. Porém se a variedade é relativamente pequena e o volume é alto, o fluxo pode se tornar regularizado numa linha de fluxo clássica (SLACK et al., 2013).

Arranjo físico é um conceito mais restrito, porém relacionado, haja vista o fato de ser considerado a manifestação física de um tipo de processo (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

Esses mesmos autores apresentam quatro tipos bases de arranjos físicos que se relacionam de forma não determinística com os tipos de processos apresentados anteriormente, os quais são apresentados a seguir. Esses tipos de arranjo são considerados base, pois a maioria dos arranjos físicos são variações derivadas destes modelos.

- Arranjo físico posicional (ou de posição fixa): quem sofre o processamento fica estacionário enquanto equipamentos, maquinários, instalações e pessoas movem-se na medida do necessário. Isto ocorre devido ao fato de o produto ser muito grande ou muito delicado.

- Arranjo físico funcional: atividades ou recursos similares ficam próximos uns aos outros, pois pode ser conveniente agrupá-los, ou a sua utilização pode ser melhorada. É assim chamado porque as necessidades funcionais e a conveniência dos recursos dominam a decisão do layout.
- Arranjo físico por produto: envolve e arranja as pessoas e os equipamentos totalmente de acordo com os recursos transformados. Cada produto, informação ou cliente segue uma rota pré-organizada na qual a sequência das atividades necessárias corresponde à sequência na qual os processos foram arranjados. Também é chamado de arranjo físico em linha ou fluxo pelo fato de as tarefas que estão sendo executados seguirem a linha de processos.
- Arranjo físico celular: layout em que os materiais, informações ou clientes entram na operação de forma pré-selecionada para se moverem para uma parte da operação na qual estão arranjados todos os recursos transformadores, atendendo suas necessidades imediatas, a célula. Uma célula pode ser arranjada segundo o modelo funcional ou por produto.

Muitas operações, porém, projetam arranjos físicos mistos, que combinam elementos de alguns ou todos os tipos básicos de arranjos físicos, ou usam estes tipos básicos de forma pura em diferentes partes da operação.

Em função da quantidade dos tipos de processos e arranjos físicos que a literatura trás, para geração de dados quantitativos do Setor de Reparos, utilizou-se simulação computacional para modelar o cenário atual e propostas de melhoria.

2.3. SIMULAÇÃO

Ao efetuar certos tipos de estudos de planejamento, é comum deparar-se com problemas de dimensionamento de fluxo cuja solução é aparentemente complexa. Deseja-se que os sistemas operem sob um custo adequado e seus usuários satisfeitos com o serviço oferecido. Tais estudos, são chamados de modelagem de sistemas (PRADO, 2014).

Para definir simulação, Freitas Filho (2008) cita que “[...] simulação é o processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar as estratégias para sua operação”.

Hillier (2013) destaca a importância e frisa a necessidade do uso da simulação

A simulação também é amplamente usada para analisar sistemas estocásticos que continuarão a operar indefinidamente. Para esses sistemas, o computador gera e registra, de maneira aleatória, as ocorrências dos vários eventos que dirigem o sistema como se eles estivessem operando fisicamente. Em virtude de sua velocidade, o computador pode simular até mesmo anos de operação em uma questão de segundos. Registrar o desempenho da operação simulada do sistema para uma série de projetos ou procedimentos operacionais alternativos habilita então a avaliação e a comparação dessas alternativas antes de escolher uma delas.

Estudos de modelagem de sistema envolvem desde modificações de layout até dimensionamento de uma nova planta de fábrica (PRADO, 2014). Em contraste com modelos de otimização, um modelo de simulação é executado ao invés de resolvido, e esta diferença implica que no segundo caso há a possibilidade de análises quase que a todo instante, à medida que novas condições de contorno sejam imputadas ao sistema modelado (FREITAS FILHO, 2008).

Apesar de que com sistemas simulados se torna possível expressar detalhadamente os sistemas reais, trabalhar em hipóteses diversas para o entendimento do porquê certos fenômenos ocorrem, visualizar e validar quais as variáveis mais importantes relacionadas à performance do sistema, como identificação de gargalos, por exemplo, modelos simulacionais também oferecem algumas desvantagens. Pode-se destacar um deles com o fato de os resultados das simulações serem, muitas vezes, de difícil interpretação, podendo embasar tomadas de decisões errôneas e prejudicar todo um sistema real (FREITAS FILHO, 2008).

Para dimensionar adequadamente um sistema, devemos dedicar especial atenção aos gargalos, ou seja, pontos onde ocorrem filas (PRADO, 2014). Hillier (2013) divide as simulações em duas amplas categorias:

- Simulação por eventos discretos:

As mudanças do estado do sistema ocorrem em pontos aleatórios no tempo, como por exemplo um sistema de filas, no qual o estado é definido pelo número de clientes no sistema, e os eventos discretos que alteram esse estado é a chegada e saída de clientes.

- Simulação contínua:

Caracterizada pela qual as mudanças no estado do sistema ocorrem continuamente ao longo do tempo. Por exemplo se o sistema de interesse for

um avião em voo e seu estado for definido como a posição atual da aeronave, então o sistema muda continuamente ao longo do tempo.

Prado (2014) lista vários sistemas em que a simulação é aplicada, indo desde a logística de sistemas viários, passando por sistemas de comunicações, bancos, supermercados e até linhas de produção. Este último é o que tem apresentado maior quantidade de aplicações de modelagem, podendo ser analisados os seguintes casos abaixo:

- Modificações em sistemas existentes, que podem ser consequência da expansão da atual produção, troca de equipamentos ou adição de novos produtos. Podendo-se identificar onde serão formados os novos gargalos.
- Planejamento de um setor de produção completamente novo, obtendo-se o melhor fluxo dentro dele;
- Obtenção da melhor política de estoque.

Pode-se citar como exemplo, também, os trabalhos de conclusão de curso de Lopes (2016), no qual apresentou um modelo de simulação para otimizar as operações logísticas de um terminal retro portuário. Mella (2017), que modelou o processo de abastecimento, lavagem e limpeza de uma empresa de transporte público da cidade de Joinville – SC. E Bonh Júnior (2017) que realizou um estudo da taxa de utilização de empilhadeiras na distribuição e transporte de produtos acabados em um armazém.

2.3.1. Modelagem e Simulação

Este tópico será embasado unicamente por Freitas Filho (2008) em função da riqueza de informações e explicação dinâmica.

Um modelo computacional para a simulação de um sistema executa de forma sequencial e repetitiva um conjunto de instruções. Na medida da execução dessas instruções, valores que são assumidos por algumas variáveis são alterados, em função de os modelos tratarem de sistemas dinâmicos, assim, as variáveis mudam na medida em que o tempo simulado progride.

Para sanar a necessidade de modelos computacionais que evoluem dinamicamente, foram desenvolvidos programas de computadores orientados a eventos. Assim, na medida que o tempo de simulação evolui, determinados acontecimentos (eventos) provocam alterações em alguns elementos (variáveis) do

programa, os quais são responsáveis por informar a ocorrência de mudanças nas condições (estados) que envolvem o modelo.

2.3.1.1. Variáveis de Estado

São as variáveis mais importantes no sistema, pois determinam o seu estado. Constituem o conjunto de informações necessárias à compreensão do que está ocorrendo no sistema (ou no modelo que representa esse sistema) num determinado instante de tempo, com relação aos objetos de estudo.

2.3.1.2. Eventos

Toda mudança de estado é causada pela ocorrência de um evento, logo quando o estado do sistema é alterado de alguma maneira, necessariamente, pelo menos uma variável de estado se altera, e uma variável de estado só será alterada se ocorrer algum evento.

2.3.1.3. Entidades e Atributos

Entidades, em modelagem e simulação de sistemas, representam um objeto que necessita de uma clara e explícita definição. Já os atributos são as características próprias das entidades, aquelas que as definem totalmente as entidades.

As entidades podem ser divididas em duas categorias, dinâmicas e estáticas:

- Entidades dinâmicas são aquelas que se movem através do sistema, como clientes entrando e saindo de uma fila, ou então peças sendo manufaturadas em algum processo numa fábrica;
- Entidades estáticas estão num sistema para servir outras entidades, dinâmicas ou não. Exemplos de entidades estáticas são as máquinas que participam do processo de manufatura em uma fábrica e os guichês que atendem os clientes da fila.

Entidades semelhantes possuem os mesmos atributos, o que se altera são os valores dos atributos. Atributos podem também, além de caracterizar entidades, guardar informações pontuais para obtenção de dados estatísticos importantes para análise comportamental do sistema.

2.3.1.4. Diferentes tipos de Modelos

Modelagem e simulação de sistemas pode, de maneira geral, ser classificadas como: estáticos ou dinâmicos, determinísticos ou aleatórios, contínuos ou discretos.

Neste trabalho, as atenções estarão voltadas apenas ao sistema: dinâmico, aleatório e discreto, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7 - Classificação dos Sistemas para Fins de Modelagem.



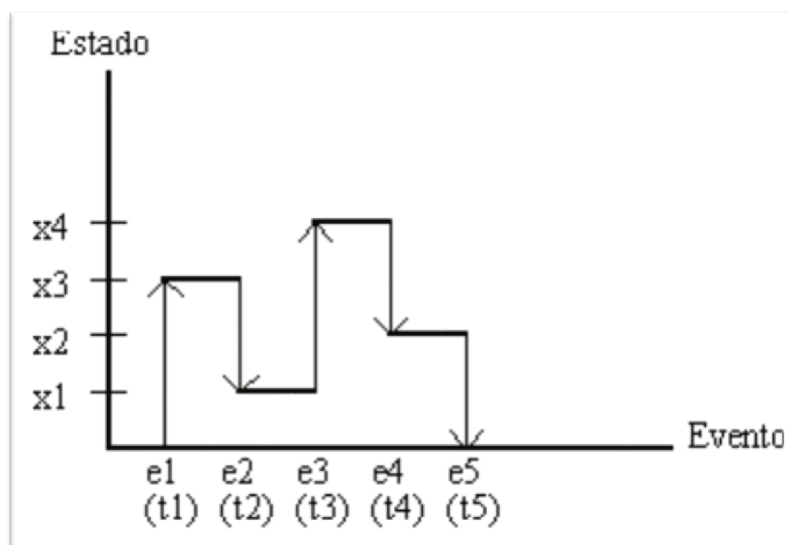
Fonte: Freitas Filho (2008).

2.3.1.5. Classificação dos Modelos de Simulação

É importante definir os conceitos e a distinção entre modelos discretos e modelos contínuos. A caracterização de um modelo é dada em função da maneira com que ocorrem as mudanças nas variáveis de estado do sistema. Logo, classifica-se o modelo (não o sistema) com base nas variáveis necessárias ao acompanhamento do estado do sistema.

- Modelos de mudança discreta ou Modelos Discretos: nesta categoria, as variáveis mantêm-se inalteradas ao longo de intervalo de tempos, mudando seus valores apenas em pontos bem definidos de tempo. Este é o tipo de modelo que será utilizado neste trabalho, apresentado na Figura 8.

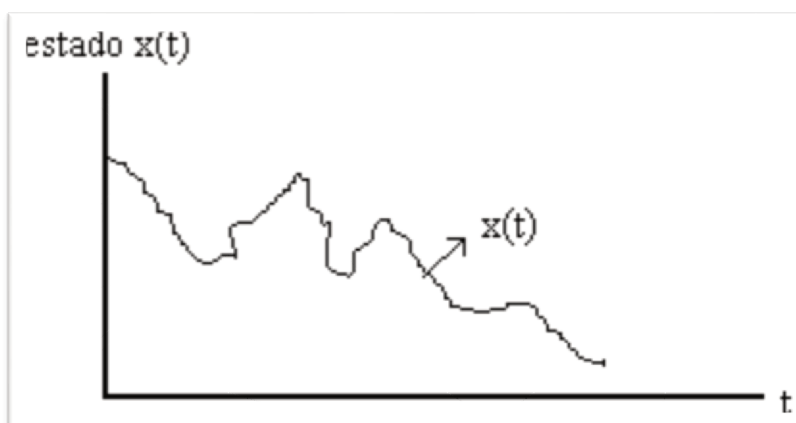
Figura 8 - Mudança de Estado em Modelos Discretos



Fonte: Carvalho (2003).

- Modelos de mudança contínua ou Modelos Contínuos: esses modelos representam alta taxa de variação de estado ao longo do tempo. Como exemplo pode-se citar um medidor de temperaturas dentro de um freezer em um restaurante num dia movimentado, quando a porta do restaurante abre e fecha várias vezes de forma aleatória, impedido a temperatura interna se estabilize, conforme Figura 9 apresenta.

Figura 9 - Mudança de Estado em Modelos Contínuos



Fonte: Carvalho (2003).

Os modelos podem ainda, além destas classificações já apresentadas, ser classificados de acordo com seu propósito e do processo decisório envolvido. Vale a

pena ressaltar, que os três modelos que serão apresentados a seguir serão utilizados nesta pesquisa.

- Modelos voltados a investigação: voltados à busca de informações ao desenvolvimento de hipóteses sobre o comportamento do sistema. Os experimentos recaem sobre as reações do sistema (modelo).
- Modelos voltados à previsão: como o próprio nome já diz, é usado para prever o estado futuro de um sistema, baseado nas suposições sobre seu comportamento atual e de como continuará se comportando ao longo do tempo.
- Modelos voltados à comparação: é usado para comparar diferentes rodadas de simulação avaliando o efeito de mudanças das variáveis de estado. Na indústria em geral, é comum a busca por melhores layouts visando a otimização dos indicadores de produção.

Nesta abordagem, a investigação será necessária para entender todos os pontos de gargalo que ocorrem no processo de reparo dos equipamentos. Tendo isto claro, será implementada a proposta de melhoria, e, prevendo valores para as variáveis então, será modelado o sistema futuro. Ao final, ocorrerá a comparação entre o sistema real atual a proposta de melhoria.

2.4. UTILIZANDO O ARENA® EM SIMULAÇÃO

Este tópico será embasado por Prado (2014) em função da disposição das informações e clareza na explicação dos tópicos.

O ARENA® é uma ferramenta de simulação resultado do melhoramento e evolução de dois softwares da década de 1980, o SIMAN e o CINEMA.

A aplicação real é traduzida para o sistema através de módulos. Esses módulos funcionam como comandos de uma linguagem de programação. Foram projetados sob a ótica da simulação e, por isso, facilitam muito a tarefa de programação.

Além da simulação o ARENA® oferece ferramentas muito úteis aos seus usuários, o Input Analyzer e o Output Analyzer. O primeiro é usado para analisar dados reais do processo e escolher a melhor distribuição estatística que se aplica a eles. É possível incorporar a distribuição diretamente ao modelo. Já a segunda ferramenta possui vários recursos que permite a análise de diversos dados que ocorreram durante a simulação.

Uma simulação no ARENA[®], basicamente, é composta por um conjunto de estações de trabalho que contém um ou mais recursos que executam tarefas, que se movem pelo sistema.

2.4.1. Fornecimentos de dados ao ARENA[®]

Para efetuar o dimensionamento de um sistema, refere-se a variáveis como tempo de espera do cliente na fila, quantidade de atendentes, entre outros. Se tratando de simulação, estas variáveis são randômicas, ou seja, são descritas por uma distribuição de probabilidade.

No processo de construção do modelo em ARENA[®], deve-se fornecer informações sobre o que acontece desde a etapa de entrada das tarefas no processo passando por cada estação de trabalho e comportamento de deslocamento entre estações.

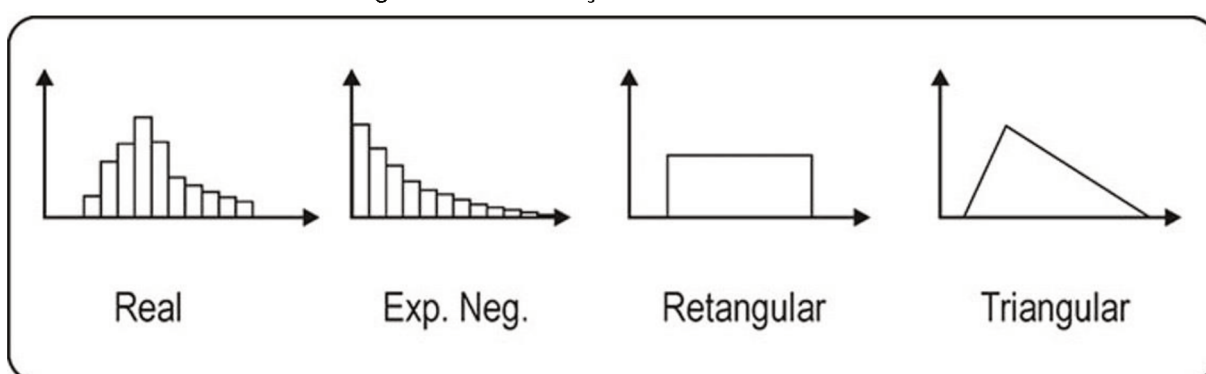
2.4.1.1. Processo de chegada

Processo de chegada é a denominação que se dá à distribuição de probabilidades que descreve corretamente a chegada de tarefas ao sistema.

A distribuição é extraída através do Input Analyzer seguindo dados de intervalo entre chegadas.

A Figura 10 demonstra algumas distribuições de probabilidades.

Figura 10 - Distribuições de Probabilidade

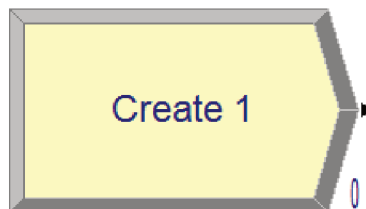


Fonte: Prado (2014).

Para modelar a entrada das tarefas no processo, usa-se o módulo Create que é representado no diagrama pela Figura 11. Neste, alimenta-se dados das distribuições de entradas, unidade de tempo, quantas entidade chegam por unidade

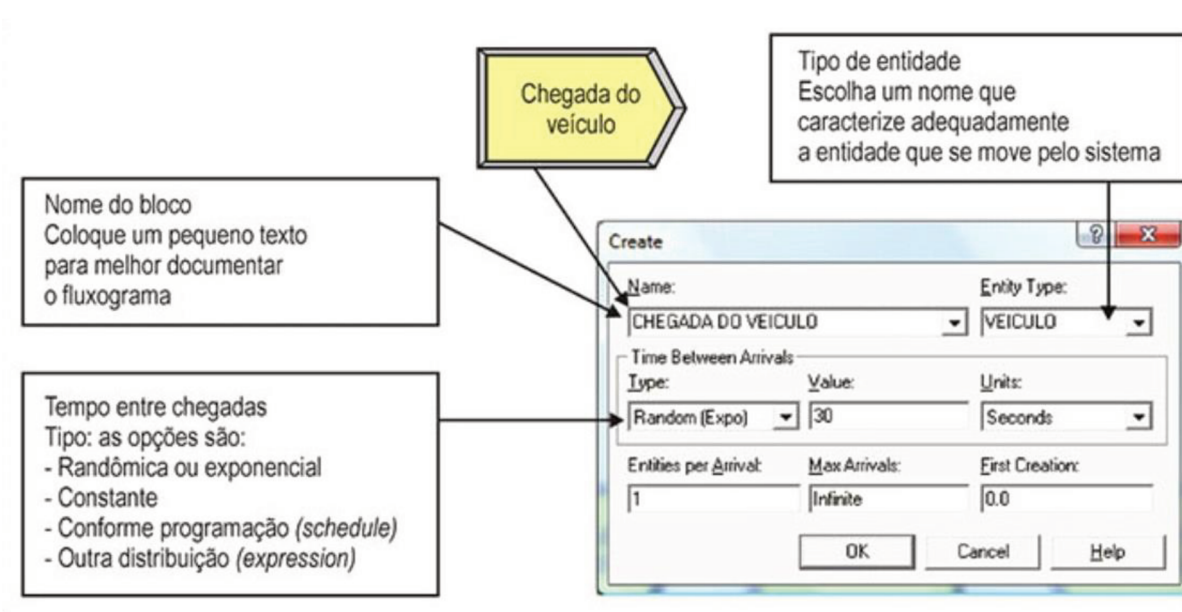
de tempo e quantidade máxima de unidades que entrarão no processo. A Figura 12 apresenta a janela Create.

Figura 11 - Módulo Create no Diagrama



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Figura 12 - Alimentando o módulo Create



Fonte: Extraído de Prado (2014).

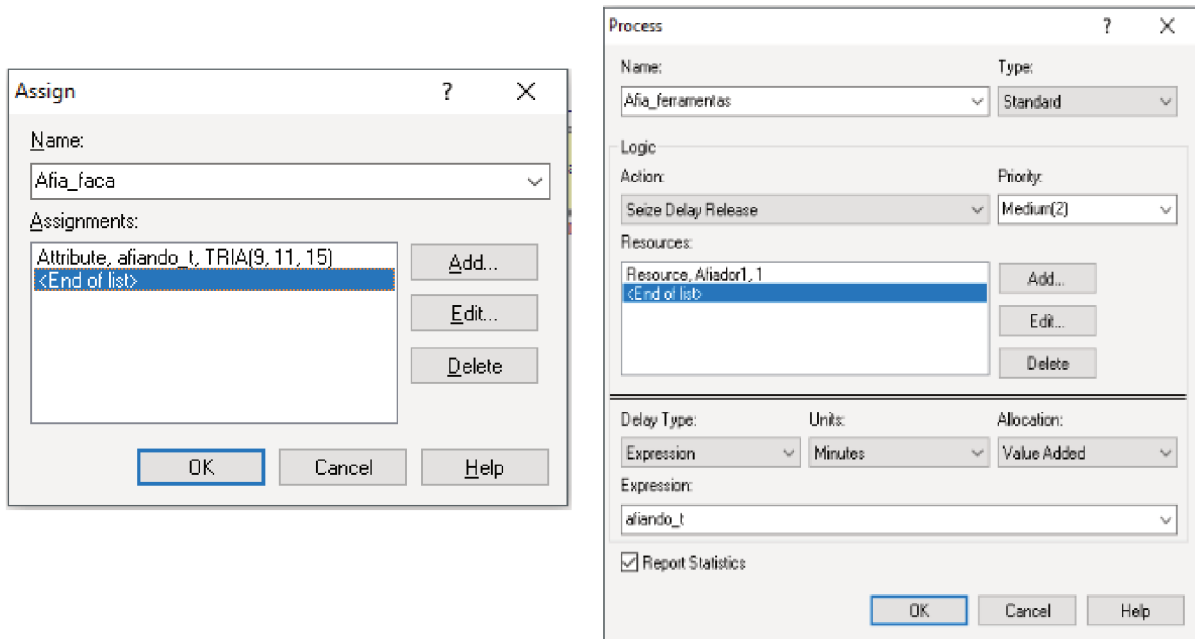
2.4.1.2. Os processos de atendimento

Os processos de atendimento ou execução de uma tarefa pode ser modelado no módulo Process. É necessário informar qual será a ação que o módulo vai executar se vai haver prioridade ou não entre as tarefas na fila para receber atendimento e a criação dos recursos que serão utilizados para realizar a tarefa.

Ainda dentro deste módulo deve ser definido qual será o tempo de execução da tarefa, e em qual unidade este tempo é mensurado. O tempo de execução pode ser representado por distribuições de probabilidade, semelhante à chegada de tarefas no processo.

O mesmo módulo Process pode ser programado para executar diferentes tarefas, ou seja, modelar o comportamento de várias filas e um canal de atendimento, mas para que isso seja possível, é necessário o auxílio do módulo Assign. No módulo Assign deve-se criar um atributo e informar neste as diferentes distribuições de tempo para execução das tarefas. A Figura 13 apresenta um exemplo deste procedimento.

Figura 13 - Módulo Assign para Process



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

O atributo *afiando_t* representa uma distribuição triangular quando o recurso *Afiaador1* está afiando a ferramenta faca. Note que *afiando_t* foi definido no módulo Assign e utilizado no módulo Process no campo Expression.

2.4.1.3. O modelo de Decisão

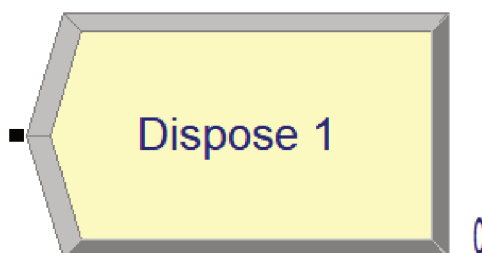
O módulo Decide é usado quando, em um ponto do fluxo, temos diversas opções de continuação, oferecendo quatro possibilidades de decisão:

- 2-Way by Chance e N-Way by Chance – Onde as opções de continuação são impostas por duas ou mais probabilidades;
- 2-Way by Condition e N-Way by Condition – Opções de continuação são definidas por duas ou mais condições.

2.4.1.4. Saída do sistema

Depois de passar por todas as etapas do processo, as tarefas executadas precisam sair do processo que está sendo modelado. Esta etapa é realizada pelo módulo Dispose, apresentada na Figura 14.

Figura 14 - O módulo Dispose



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Este módulo não oferece parâmetro para edição. As únicas opções de edição oferecidas são a possibilidade de alteração do nome e coletar ou não estatísticas deste módulo.

Para obtenção dos dados que alimentam os modelos construídos é necessário que seja tomada uma metodologia de coleta e tratamento destes dados de modo a evitar resultados finais viciados.

3. METODOLOGIA

Este trabalho é baseado fundamentalmente em dois métodos de pesquisa distintas: pesquisa bibliográfica e estudo de caso. O primeiro método sustenta e norteia de forma teórica, baseado em estudos acadêmicos. O segundo método, através da coleta dos dados, facilita o entendimento do cenário atual, permitindo assim, entender a sua dinâmica para que haja possibilidade da construção da proposta de melhoria do processo.

O processo a ser analisado neste trabalho de conclusão de curso conta com as seguintes etapas: Recebimento; Descontaminação; Revisão e Ajustes; Teste de performance; Limpeza final e travamento do Equipamento; Conferência documental; Verificação visual; e Embalagem.

- Recebimento: O equipamento deve chegar ao setor com uma qualidade “mínima” para que possa entrar no processo. Se o exame inicial for positivo, aqui começa o processo de revisão.
- Descontaminação: quando os equipamentos são entregues, vindos de laboratórios de todo o Brasil, por mais que tenham passado por um processo de descontaminação in loco antes de serem embalados para transporte, passam, por precaução, por um processo de descontaminação minucioso, impedindo que os engenheiros sejam afetados por possíveis focos despercebidos. Este processo pode variar de horas a dias.
- Revisão e Ajustes: esta é a etapa mais complexa e demorada do processo, onde todas as peças da máquina são revisadas, trocadas e testadas pontualmente. O tempo estimado para esta etapa do processo varia em função das características individuais de cada equipamento, podendo variar de dias a semanas.
- Teste de performance: nesta etapa são executados testes, estressando mecanicamente o equipamento para garantir resistência e durabilidade. Feito isso, simulam-se testes de rotina laboratorial para calibrar e aferir os sensores a fim de atestar confiabilidade nos resultados finais dos exames, satisfazendo parâmetros exigidos para que estejam aptas a retornar ao mercado.
- Limpeza final e Travamento do Equipamento: validados os dados das simulações, é feita a limpeza interna e travamento do equipamento para transporte.

- Processo de Conferência Documental: a fim de monitorar e manter histórico de revisão de equipamento, é feita, juntamente com o setor administrativo, a revisão dos documentos do processo.
- Verificação Visual: estando todos os itens anteriores conformes, é feita, por um engenheiro que não participou do processo de revisão, a verificação visual com o intuito de atestar condições de funcionamento do equipamento ao sair do setor.
- Embalagem: Feito isso, o equipamento é condicionado para transporte.

O Setor de Reparos é responsável por atender sete linhas de equipamentos, e neste trabalho serão denominadas famílias.

Neste caso estudado, fazendo uma analogia com Teoria das Filas, os clientes a serem atendidos são os equipamentos que serão reparados e os engenheiros responsáveis por cada etapa, os atendentes. Adequar o número de atendentes ao número de clientes que aguardam atendimento é um problema que pode ser resolvido com a Teoria das Filas (ANDRADE, 1998).

Toda família de equipamento atende a uma determinada gama de exames, e cada família é composta por mais de um equipamento. Cada equipamento, por fim, se difere pela gama de informações que analisa por amostra e/ou, pela quantidade de análises que é capaz de realizar por cada rotina executada.

Cada família possui mais de um engenheiro responsável pela sua manutenção, e cada engenheiro atua, necessariamente, em mais de uma família de equipamentos, sendo este, portanto, um sistema de múltiplas filas e múltiplos servidores.

O fluxograma da Figura 15 representa de forma estruturada o passo a passo do processo descrito acima. O estudo foi dividido em sete etapas e a estruturação apresentada fixou a direção de desenvolvimento da pesquisa.

Na primeira etapa foi definido o problema que seria resolvido. Para melhor entendimento do processo do Setor de Reparos foi feito acompanhamento presencial. Desta forma, minimiza-se a possibilidade de construção de uma proposta de melhoria apenas teórica, mas sim aplicável.

Definida a problemática, na segunda etapa, foi feito levantamento bibliográfico sobre os temas relevantes à resolução do problema proposto. Esta etapa é necessária para o andamento do trabalho, pois torna a coleta de dados mais objetiva e diminui as

chances de retrabalho. A fundamentação teórica focou em Teoria das Filas, gerenciamento de processos industriais e simulação.

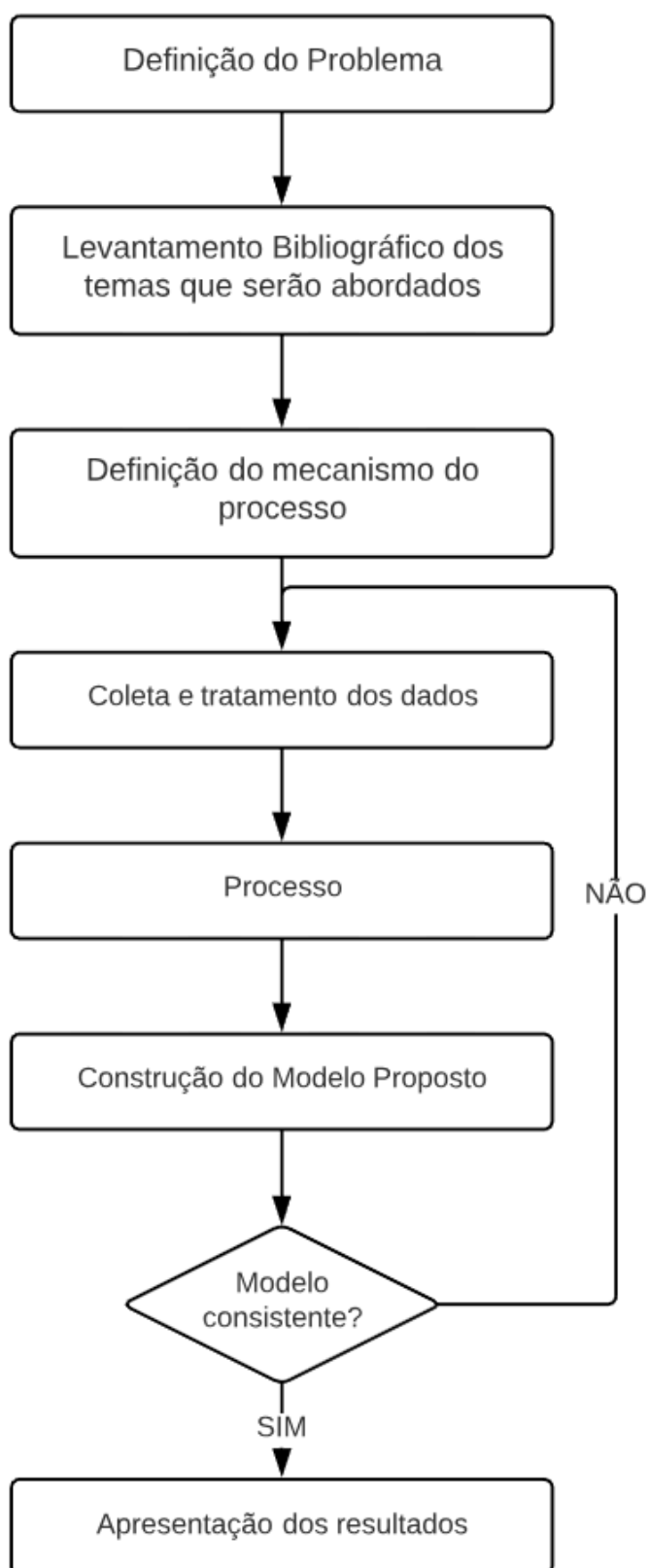
O mapeamento do fluxo do processo foi construído através de acompanhamento presencial e entrevistas com os profissionais que nele atuam. Nesta etapa foram levantadas algumas dificuldades, identificados gargalos e discutidas possíveis soluções.

A coleta de dados deu-se através do acompanhamento do processo e de dados históricos armazenados na base de dados da empresa. Após isto, foi executado o tratamento dos dados e construído o modelo de simulação, através do software ARENA[®], para representar o fluxo do setor atualmente.

Aprovado o modelo do cenário real, passou-se para a etapa de construção da proposta de alteração do processo.

Ao final foi feita a comparação dos dados e discussão sobre a viabilidade e impacto da implantação da alteração proposta.

Figura 15 - Fluxograma das Etapas do Método apresentado.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

4. DESENVOLVIMENTO DO MODELO

O modelo foi baseado em dados históricos acumulados num período de quatro anos. De modo geral, o Setor de Reparos tem capacidade para atender mais de sessenta tipos de equipamentos diferentes. Para fins de simplificação na construção do modelo os equipamentos foram classificados em famílias, baseadas nas análises clínicas que realizam, condensando os equipamentos em sete famílias.

O fluxograma do processo de revisão dos equipamentos realizado pelo Setor de Reparos pode ser observado na Figura 16.

As distribuições de entrada dos equipamentos no processo foram obtidas com o auxílio da ferramenta Input Analyzer do ARENA® considerando o somatório de chegada dos equipamentos no processo do Setor de Reparos por família.

As distribuições de entrada dos equipamentos no processo são as mesmas tanto para o cenário base quanto para o cenário de linha de montagem proposto, e sua chegada foi estabelecida através do tipo expressão.

É importante ressaltar aqui que por mais que as famílias A, B e C sejam atendidas pelos engenheiros X, Y e Z, por exemplo, o processo não é mútuo, ou seja, não significa que os esses engenheiros vão sempre atender famílias semelhantes, podendo o engenheiro X atender a família D, enquanto Y atende a família E e Z atende a família F, simultaneamente.

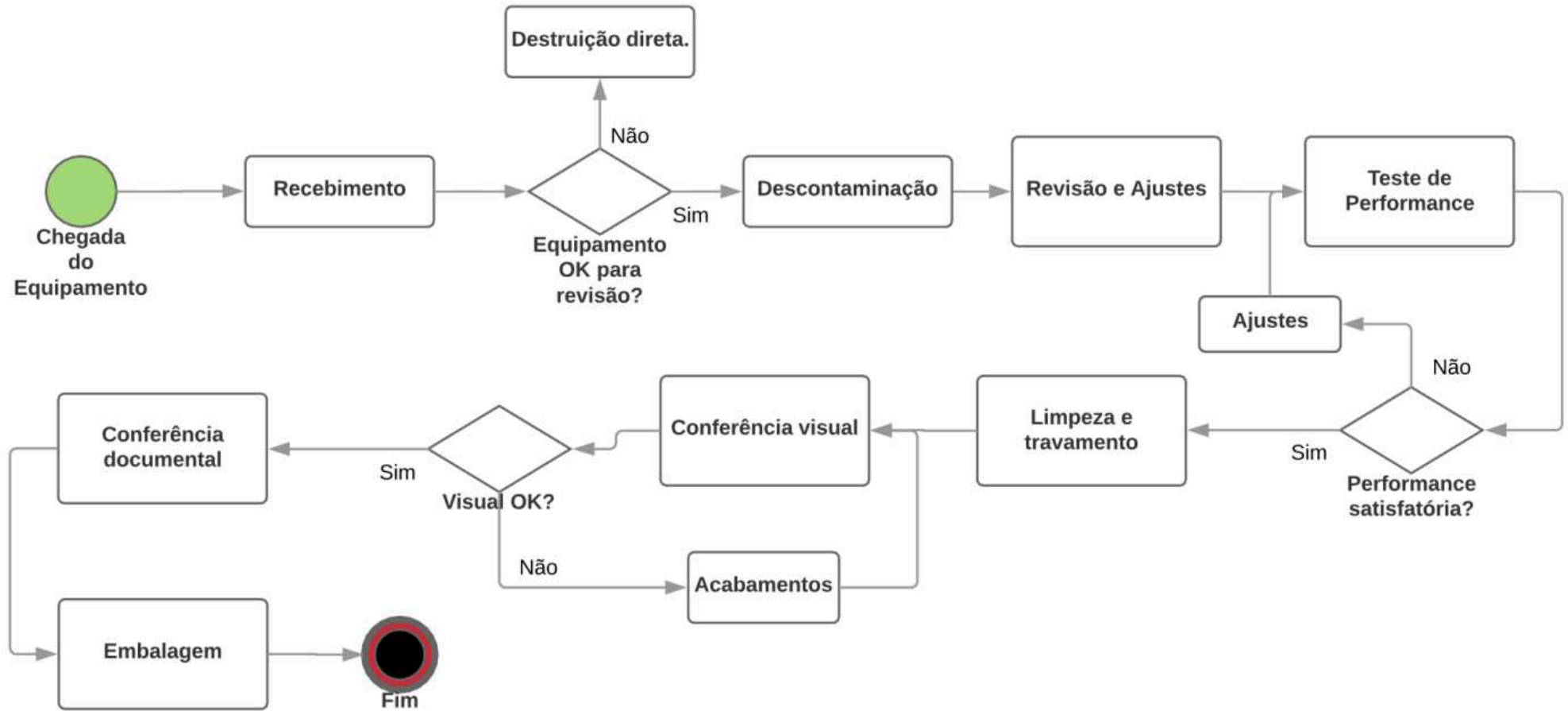
Através do módulo Create a chegada foi modelada conforme Figura 3.

Tabela 3 - Distribuição de chegadas por Famílias

Famílias	Entity Type	Expressão
Família 1	<i>Fam_1</i>	$-0,5 + EXPO(1.16)$
Família 2	<i>Fam_2</i>	$-0,5 + 5 * BETA(1.07, 2.26)$
Família 3	<i>Fam_3</i>	$-0,5 + 6 * BETA(0.95, 2.36)$
Família 4	<i>Fam_4</i>	$-0,5 + 8 * BETA(1.09, 2.36)$
Família 5	<i>Fam_5</i>	$1 + NORM(3.13, 2.24)$
Família 6	<i>Fam_6</i>	$-0,5 + EXPO(0.991)$
Família 7	<i>Fam_7</i>	$-0.5 + WEIB(2.39, 0.861)$

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Figura 16 - Fluxograma do Processo do Setor de Reparos



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Para cada família foi usado um módulo Create de entrada, e a diferença entre cada módulo foi o nome, o Tipo da Entidade e a expressão. A unidade de tempo considerada foi dia, sempre considerada uma entidade por chegada com chegada infinita a partir do tempo 0.0, conforme Figura 17 representando a Família 02.

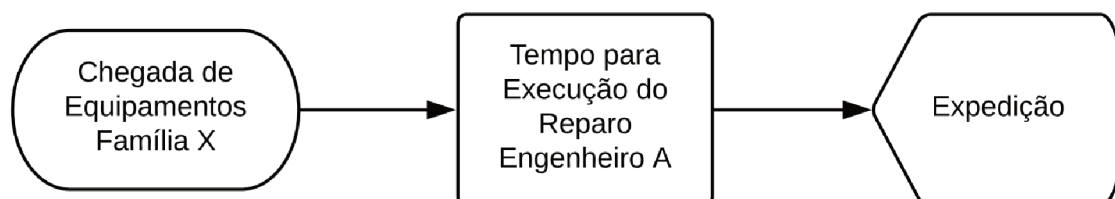
Figura 17 - Representação da Chegada de Entidades Família 01

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

4.1. CENÁRIO 01 – BASE

Para a modelagem do cenário base algumas simplificações do processo foram necessárias. Atualmente, exceto as tarefas de descontaminação, embalagem e conferência visual, todas as outras tarefas são executadas pelo mesmo engenheiro. De modo geral, o modelo deste cenário é representado pela Figura 18.

Figura 18 - Fluxograma Modelo Cenário Base



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Para melhor entendimento do tratamento dos dados para a modelagem deste cenário, foram tomados como base de exemplo o engenheiro *E1* e a família *fam_2*.

O cenário base caracteriza um tipo de processo em lotes e possui um arranjo físico de posição fixa.

4.1.1. Famílias atendidas por cada Engenheiro

O processo, apesar de ser dividido em várias etapas, foi executado, atualmente, em maior parte sempre pelo mesmo engenheiro, desta forma todas as tarefas de execução de reparo em um equipamento foram agrupadas em apenas uma distribuição de tempo, e esta distribuição de tempo foi considerada como dissipação da fila.

Apesar de o processo de descontaminação e embalagem serem executados por outro engenheiro, essas tarefas demoram um tempo fixo, e desta forma foram condensadas no tempo total de reparo do equipamento.

As distribuições de tempo de execução das tarefas, assim como as distribuições de chegadas dos equipamentos, também foram obtidas com o auxílio da ferramenta Input Analyzer do ARENA®. Para isto, foram considerados quantos equipamentos o engenheiro executou o reparo e quantos dias foram necessários para a execução do reparo em cada equipamento.

O engenheiro *E1*, tem na Tabela 4 a gama de família de equipamentos em que é capacitado para fazer o reparo e sua distribuição de rendimento.

Tabela 4 - Distribuição de Rendimento por Família para o engenheiro *E1*

Engenheiro	Família	Distribuição
	<i>fam_2</i>	$12.5 + 21 * BETA(0.64, 0.616)$
	<i>fam_4</i>	$11.5 + 23 * BETA(0.407, 0.445)$
<i>E1</i>	<i>fam_5</i>	$TRIA(11.5, 20, 48.5)$
	<i>fam_6</i>	$5 + 110 * BETA(0.365, 0.43)$
	<i>fam_7</i>	$0.5 + LOGN(9.02, 17.1)$

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

A modelagem desta etapa do processo foi dividida em dois momentos. No primeiro momento foi usado o módulo Assign, onde foi criado um atributo denominado “eng1_tempo”, e neste atributo foi entrada a distribuição de rendimento do engenheiro *E1* para a *fam_2*. A Figura 19 e Figura 20 representam os dados da criação do atributo, e como ficou o módulo Assign ao final, respectivamente.

Figura 19 - Criação do tributo dentro do módulo Assign.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Figura 20 - Modulo Assign

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

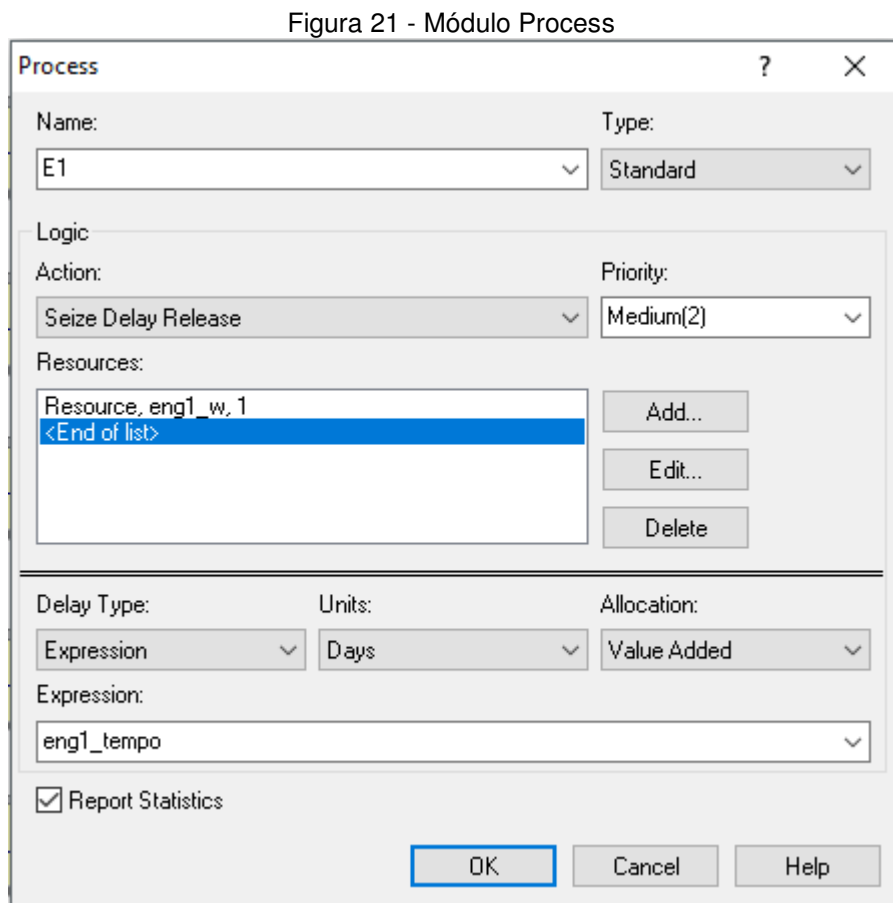
Para cada Família de equipamentos que o engenheiro *E1* é responsável, foi modelado um Assign diferente.

Após implementar os módulos Assign apresenta-se o módulo Process, que representa o processamento da tarefa a ser executada na qual forma-se a fila durante a execução do modelo.

No módulo Process é definida a ação Seize Delay Release e prioridade média. A ação representa como é a participação deste módulo no processo, que neste caso é: segurar a tarefa pelo tempo que for determinado pela função distribuição, e liberá-

la após este tempo. A prioridade corresponde à preferência no atendimento à uma tarefa em relação às outras que estejam na fila. Como nenhum dos equipamentos tem preferência para ser reparado, todas as prioridades nos módulos Process do modelo são consideradas com a mesma prioridade: Medium(2).

A seguir, a declaração dos recursos que serão utilizados para a execução da tarefa, a este recurso foi dado o nome de *eng1_w*. A seguir vem a configuração de como será o Delay do módulo. O Delay foi alimentado através de uma expressão e sua unidade de tempo foi considerado em dias. No campo da expressão foi considerado o atributo que foi criado no módulo Assign, já que este atributo carrega a função de distribuição de rendimento do engenheiro por cada equipamento, quando a tarefa chega no módulo Process foi seu tempo de Delay ditado pelo atributo do Assign antecessor.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

A tabela completa das famílias atendidas por cada engenheiro encontra-se no APÊNDICE A. No APÊNDICE D é possível consultar a porcentagem de equipamentos distribuídas para cada engenheiro por família.

4.1.2. Engenheiros capacitados para atender cada Família

A *fam_2* pode ser atendida por cinco engenheiros diferentes; *E1*, *E2*, *E3*, *E6* e *E8*, como mostrado na Tabela 5. Para modelar esta realidade, foi usado o módulo Decide, Figura 22, tipo N-way by Chance. A porcentagem de atendimento de cada engenheiro foi extraída através da contagem de equipamentos desta linha que o engenheiro atendeu em relação à quantidade total de equipamentos desta linha que entraram no processo.

Tabela 5 - Distribuição de Chegada por Família

Família	Engenheiro	Distribuição
	<i>E1</i>	$12.5 + 21 * BETA(0.64, 0.616)$
	<i>E2</i>	$TRIA(3.5, 21.2, 49.5)$
<i>fam_2</i>	<i>E3</i>	$6.5 + 40 * BETA(0.835, 0.795)$
	<i>E6</i>	$9.5 + WEIB(22.9, 1.47)$
	<i>E8</i>	$11 + WEIB(18, 0.739)$

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Figura 22 - Modulo Decide para divisão da *fam_2* entre engenheiros

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Da mesma forma ocorreu a divisão das outras seis famílias para todos os engenheiros. A tabela com todas as divisões de famílias por engenheiros pode ser encontrada no APÊNDICE B.

4.2. CENÁRIO PARA PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DE LAYOUT

As características de volume e variedade de uma operação vão reduzir a escolha, grosso modo, a uma ou duas opções. A decisão sobre qual arranjo escolher é influenciada por um entendimento correto das vantagens e desvantagens de cada arranjo (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

A escolha do novo layout, parte do princípio que a nova proposta deve se nortear pelo objetivo principal de reduzir o tempo de reparo por equipamento e desta forma melhorar os indicadores de performance do setor sem que haja necessidade de espaço físico adicional e contratação de recursos.

Sabe-se que o setor absorve fisicamente a mudança de arranjo físico de posição fixa para o arranjo físico por produto alterando também o tipo de processo, agora para processos em massa. Resta saber se com os recursos disponíveis atualmente, apareceriam melhorias significativas em relação aos indicadores de rendimento.

Na modelagem do Cenário em Linha, em função do tipo de processo que adota, são representadas todas as etapas do processo, pois como cada etapa é executada por um engenheiro diferente, não é possível fazer agrupamentos significativos como no modelo anterior. É importante ressaltar que os dados que serviram como base para construção desta proposta foram coletados em conversas com os profissionais que atuam no Setor de Reparos há, pelo menos, cinco anos para que a proposta fosse construída da forma mais fiel possível.

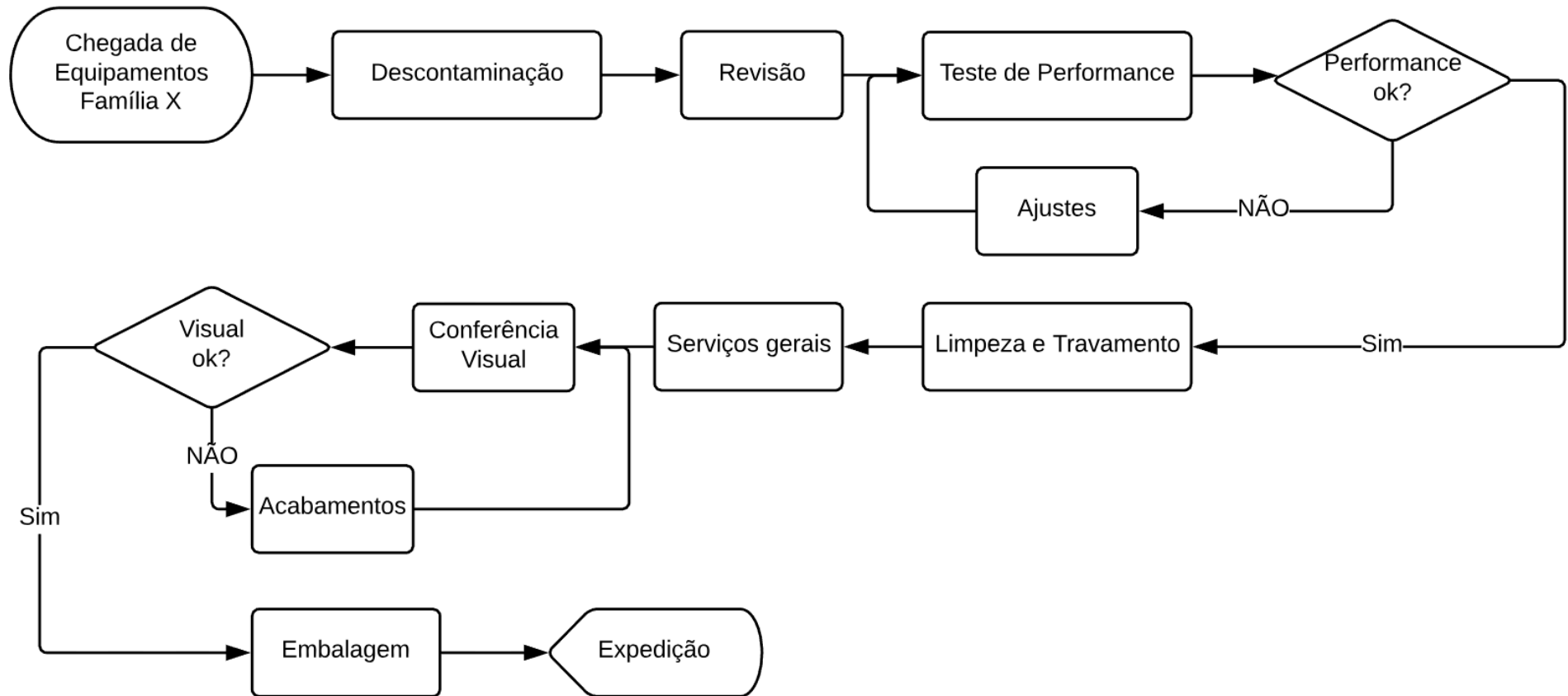
O único agrupamento feito neste modelo foi das etapas de Recebimento e Conferência Documental, posicionadas ao final do modelo. Isto porque as tarefas independem de quem as executa e demandam um tempo fixo e curto em relação ao processo.

O fluxograma da Figura 23 representa o escopo do modelo para o cenário de alteração de layout.

Dentro do leque de mais de sessenta equipamentos que o setor é capaz de realizar manutenção existem duas divisões naturais. Uma delas já foi explicada anteriormente, que considera famílias de análises clínicas. A segunda é pelo tamanho físico do equipamento, sendo dividido em pequeno, médio, médio-grande e grande porte.

Para que a taxa de chegada fosse mantida exatamente a mesma do modelo do Cenário Base, os módulos Create de todas as famílias se repetem neste Cenário. Foi feito um levantamento de quantidades de equipamentos de cada porte que são atendidos por família, e esta relação é apresentada na Tabela 23 no Anexo C.

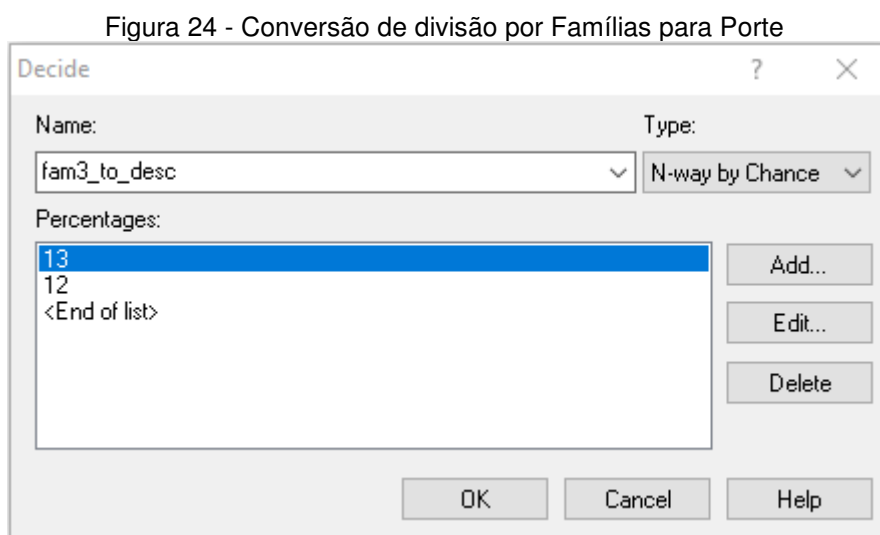
Figura 23 - Fluxograma do Modelo do Cenário em Linha Proposto



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

4.2.1. Divisão de Famílias por Porte

Para modelar a alteração de layout proposta, de divisão por famílias para divisão por porte e ainda assim manter os mesmos parâmetros de chegada dos equipamentos, foi usado um módulo Decide para cada família, e este distribui, baseado em porcentagens informadas, os equipamentos, como mostrado na Figura 24, que apresenta em ordem a parcela de equipamentos de pequeno porte (13%), de médio porte (12%) e os de médio-grande porte (75%), que são o resto desta divisão que compõem a Família 3.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

4.2.2. Descontaminação

Na sequência à chegada de equipamentos e separação por porte, inicia a etapa de Descontaminação. Para segregar o tempo de descontaminação entre os diferentes portes foram usados módulos Assign. A Figura 25 apresenta os dados de tempo para execução da tarefa, representadas pelos equipamentos de pequeno porte. Foi criado um atributo, *desc_t*, que representa a distribuição da taxa para execução da tarefa. Na Tabela 6 está o demonstrativo das distribuições de tempo de todos os equipamentos.

Figura 25 - Criação do atributo para Descontaminação de Equipamentos de Pequeno Porte

The screenshot shows a dialog box titled "Assignments" with a question mark icon and a close button. It contains the following fields:

- Type:** A dropdown menu with "Attribute" selected.
- Attribute Name:** A dropdown menu with "desc_t" selected.
- New Value:** A text input field containing "NORM(3.99, 0.33)".
- Buttons:** "OK", "Cancel", and "Help". The "OK" button is highlighted with a blue border.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Tabela 6 - Distribuição de Descontaminação por Porte

Portes	Funções Distribuição
Pequeno	$NORM(3.99, 0.33)$
Médio	$UNIF(5.5, 8.5)$
Médio-Grande	$NORM(12, 0.255)$
Grande	$TRIA(14, 14.3, 16)$

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Neste modelo também foi denominada uma cor para cada porte diferente de equipamento. Esta ação foi tomada ainda dentro do módulo Assign, através da criação de uma entidade, conforme Figura 26.

Figura 26 - Criação da entidade de cor para Pequeno Porte

The screenshot shows a dialog box titled "Assignments" with a question mark icon and a close button. It contains the following fields:

- Type:** A dropdown menu with "Entity Picture" selected.
- Entity Picture:** A dropdown menu with "Picture.Yellow Ball" selected.
- Buttons:** "OK", "Cancel", and "Help". The "OK" button is highlighted with a blue border.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

A Tabela 7 relaciona as entidades de cores atribuídas a cada porte.

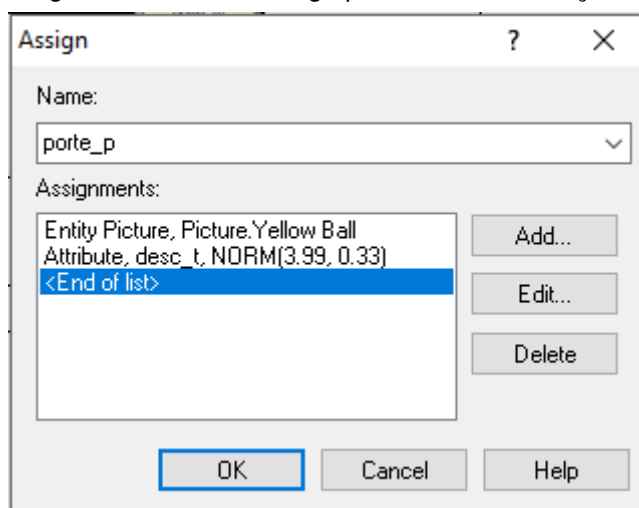
Tabela 7 - Relação de Portes x Cores

Portes	Cores Atribuídas
Pequeno	Amarelo
Médio	Verde
Médio-Grande	Azul
Grande	Vermelho

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

No final, o módulo Assign para descontaminação de equipamentos de pequeno ficou conforme mostra Figura 27.

Figura 27 - Módulo Assign para Descontaminação



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

A execução da etapa de Descontaminação é apresentada no modelo pelo módulo Process. A ação tomada foi Seize Delay Release com a mesma prioridade para todos os Portes.

Ao recurso foi atribuído o nome de E_{desc} e especificada a quantidade de apenas um recurso. As distribuições de rendimento do engenheiro por porte especificadas nos módulos anteriores são acessadas pelo atributo $desc_t$. A unidade de tempo será em horas, conforme Figura 28. Neste módulo, diferente dos demais, a informação será dada em horas para simplificação de cálculos.

Figura 28 – Módulo Process para Descontaminação

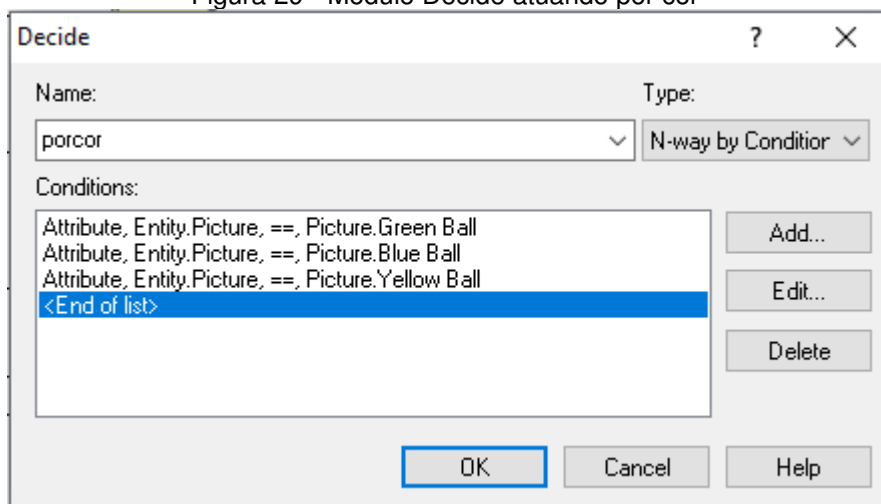
The image shows a 'Process' configuration window. The 'Name' field is 'Descontaminacao' and the 'Type' is 'Standard'. Under 'Logic', the 'Action' is 'Seize Delay Release' and the 'Priority' is 'Medium(2)'. The 'Resources' list includes 'Resource_E_desc_1' and '<End of list>'. The 'Delay Type' is 'Expression', 'Units' is 'Hours', and 'Allocation' is 'Value Added'. The 'Expression' field contains 'desc_t'. A 'Report Statistics' checkbox is checked. Buttons for 'Add...', 'Edit...', and 'Delete' are next to the resources list. At the bottom are 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

4.2.3. Revisão do Equipamento

Seguindo o processo, após a etapa de Descontaminação vem a etapa de Revisão. Novamente há a necessidade de divisão dos equipamentos por porte. Nesta etapa, porém, foi usado como condição para executar esta divisão as cores atribuídas a cada um no início deste modelo através da opção de divisão N-Way by Condition, conforme a Figura 29.

Figura 29 - Módulo Decide atuando por cor



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Para representação da execução da tarefa de revisão, é usado o módulo Process precedido do módulo Assign, que recebe as distribuições de rendimento do engenheiro envolvido nesta etapa. Afim de evitar repetições, as distribuições imputadas neste módulo estão dispostas na Tabela 8, e sua modelagem seguiu conforme as anteriores. O atributo criado no módulo Assign para representar as distribuições foi chamado de *revisao*.

Tabela 8 – Distribuições de rendimento

Porte	Distribuição de rendimento
Pequeno	$TRIA(1,6,7)$
Médio	$TRIA(9,10,12)$
Médio-Grande	$TRIA(14, 17, 19)$
Grande	$TRIA(35,36.5, 38)$

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

O módulo Process também seguiu conforme os anteriores, a única alteração foi o emprego de cinco recursos $E_{revisao}$, significando que cinco engenheiros atuam nesta etapa do processo. Esta informação pode ser notada na Figura 30.

Figura 30 – Atribuindo cinco engenheiros para desempenho da tarefa Revisão

Resource - Basic Process									
	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1	E_desc	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
2	E_revisao	Fixed Capacity	5	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
3	E_performance	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
4	E_limpTrav	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
5	E_embalagem	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

4.2.4. Teste de Performance

O Teste de Performance valida as condições em que o equipamento se encontra após a etapa de revisão, aferindo e conferindo os resultados das análises dos testes químicos que realiza. Neste processo é simulado um dia de operação do equipamento, como se este estivesse em laboratório, denominado rotina. Uma rotina, além de estressar o equipamento mecanicamente, confere se os sensores estão devidamente calibrados seguindo rigorosos ranges de aceitação de resultados. Quando a etapa de performance é positiva, diz-se que o equipamento está validado.

É importante ressaltar que nenhum equipamento de grande porte passa por esta etapa. Isto se deve ao fato de que estes equipamentos não realizam testes químicos, apenas trabalhos mecânicos em laboratórios (como transporte de amostras sanguíneas entre equipamentos, por exemplo), e os tempos de teste de validação mecânica foram adicionados ao tempo de revisão.

Novamente utilizou-se o módulo Decide para fazer a separação dos equipamentos por porte, não levando em consideração os equipamentos de grande porte. Estes, após a revisão foram direcionados à etapa de limpeza e travamento.

No módulo Assign foram imputadas as distribuições de tempo para teste de Performance, conforme Tabela 9.

Tabela 9 – Distribuição para Performance por Porte

Porte	Distribuições
Pequeno	$TRIA(2, 2.5, 3.5)$
Médio	$TRIA(4.5, 6, 7.5)$
Médio-Grande	$TRIA(5.5, 6.5, 9)$

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

No módulo Process foi criado o recurso $E_{performance}$, se referindo ao engenheiro que executará os Testes de Performance, a unidade de tempo foi horas e apenas um recurso foi alocado para esta função.

Conforme apresentado no fluxograma da Figura GG, por esta ser uma etapa de avaliação, há possibilidade de que o equipamento seja reprovado no Teste. De modo geral, vinte e cinco por cento dos equipamentos não passa neste teste de primeira. Quando isto acontece, o equipamento passa por uma série de ajustes e volta a ser avaliado, tudo isso sendo executado pelo mesmo recurso, o $E_{performance}$.

O processo de ajustes e retorno para performance foi modelado com o auxílio do módulo Assign, conforme Tabela 10, e passa pelo mesmo módulo Process.

Tabela 10 – Distribuição para Ajustes e Performance por Porte em Teste de Performance

Porte	Distribuições
Pequeno	$TRIA(3, 3.5, 4.5)$
Médio	$TRIA(5.5, 6.5, 9)$
Médio-Grande	$TRIA(6.5, 8, 10)$

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

4.2.5. Limpeza e Travamento

Após a validação do equipamento, é necessário realizar a remoção de resíduos dos reagentes químicos que podem ter permanecido nas tubulações internas, esta é a parte de limpeza, e é executada de forma autônoma pelo

equipamento, o engenheiro responsável apenas acompanha caso algum incidente possa ocorrer.

O engenheiro se torna protagonista na execução dos travamentos dos sistemas mecânicos de cada equipamento. Nesta etapa, os equipamentos de grande porte destoam da média de tempo necessária pelos equipamentos de portes menores, dessa maneira para modelar esta etapa foram necessários apenas dois módulos Assign antes do módulo Process. As distribuições atribuídas aos módulos Assign estão listados na Tabela 11.

Tabela 11 – Distribuição para Ajustes e Performance por Porte em Limpeza e Travamento

Porte	Distribuições
Geral	$TRIA(0.4,1,2)$
Grande	$TRIA(7,7.5,8)$

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

4.2.6. Serviços Gerais e Conferência Visual

Os serviços gerais correspondem a duas etapas do processo, recebimento do equipamento e conferência documental. Como estas ações independem de tamanho do equipamento em questão e levam um tempo fixo, sabendo disso, foi adicionado um módulo Process no modelo, que adiciona um tempo de espera ao equipamento, conforme mostrado na Figura 31.

A inspeção visual é apenas uma conferência visual da aparência da máquina antes de embalar. No geral, vinte por cento dos equipamentos reprovam nesta etapa e precisam de acabamentos. A conferência visual e o processo de acabamentos foram divididos em dois Process, com tempo de espera, semelhante ao módulo de Serviços Gerais.

Figura 31 – Módulo Process para Serviços Gerais

The screenshot shows a 'Process' dialog box with the following configuration:

- Name:** Serv_Gerais
- Type:** Standard
- Logic:** Delay
- Delay Type:** Constant
- Units:** Minutes
- Allocation:** Value Added
- Value:** 30
- Report Statistics
- Buttons: OK, Cancel, Help

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

4.2.7. Embalagem

Nesta etapa o tamanho do equipamento volta a ser relevante e há o uso do módulo Decide para separação antes do uso dos módulos Assign.

A Tabela 12 representa as distribuições de tempo de execução da tarefa Embalagem informadas nos módulos Assign.

Tabela 12 - Distribuições para Embalagem

Porte	Distribuição
Pequeno	$TRIA(0.8,1,1.2)$
Médio	$TRIA(1.5, 1.75, 2)$
Médio-Gande	$TRIA(2.5, 2.75, 3)$
Grande	$TRIA(7,7.5,8)$

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

No módulo Process foi criado o recurso *E_embalagem* e determinada a unidade de tempo horas.

No próximo capítulo está a apresentação dos dados gerados em nos cenários simulados. É feita uma comparação entre o cenário real e um cenário proposta onde ser mantém as condições de tipo do processo e arranjo físico, sendo feitas alterações apenas nas alocações de tarefas. É apresentado também os dados exportados pela simulação da proposta de alteração do layout do Setor de Reparos.

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

Antes da apresentação de valores e análise dos resultados, é importante ressaltar que devido às regras internas da empresa, utilizou-se um fator multiplicativo aos valores reais afim de manter o sigilo dos dados apresentados.

Para executar as simulações no software ARENA®, deve-se informar quais serão as condições de contorno em que a simulação se baseará. Com intuito de gerar dados com alto grau de confiabilidade, todos os cenários modelados foram postos sob as mesmas condições.

Foi selecionado para coletar dados estatísticos dos campos:

- Entidades;
- Recursos;
- Filas;
- Processos;

Para o ambiente de simulação, a unidade de tempo base foi em dias, e cada dia tendo oito horas. Isto deve-se ao fato de o Setor de Reparos trabalhar por oito horas diárias. O período de tempo no ambiente de simulação foi de 365 dias. Estes parâmetros se replicaram por quatro vezes.

5.1. CENÁRIO 01 – BASE

Este cenário serve para avaliar o grau de aderência do modelo em relação ao comportamento real do processo.

A validação do modelo de simulação proposto consiste em garantir que as simplificações da realidade são razoáveis e corretamente implementadas no software ARENA® gerando resultados semelhantes aos do sistema real (FREITAS, 2008).

Sabendo que as informações inseridas no modelo são derivadas de dados acumulados de quatro anos, a primeira comparação realizada foi a quantidade de equipamentos liberados no período de 365 dias pelo modelo e a quantidade de equipamentos que são liberados pelo Setor de Reparos no mesmo tempo. A Tabela 13 mostra esta comparação.

Tabela 13 - Relação de Equipamentos liberados
anualmente pelo Setor de Reparos x Modelo

Ano	Quantidade de Equipamentos
Ano A – Real	117
Ano B – Real	137
Ano C – Real	168
Ano D – Real	139
Modelo	122

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Calculada a média simples anual dos quatro anos analisados, o Setor de Reparos executa aproximadamente cento e quarenta reparos em equipamentos por ano, em média. Quando comparado ao modelo, o resultado foi considerado aceitável a o modelo foi classificado como aderente à realidade.

A Tabela 14 apresenta os dados de tempo de permanência no processo por entidade analisada.

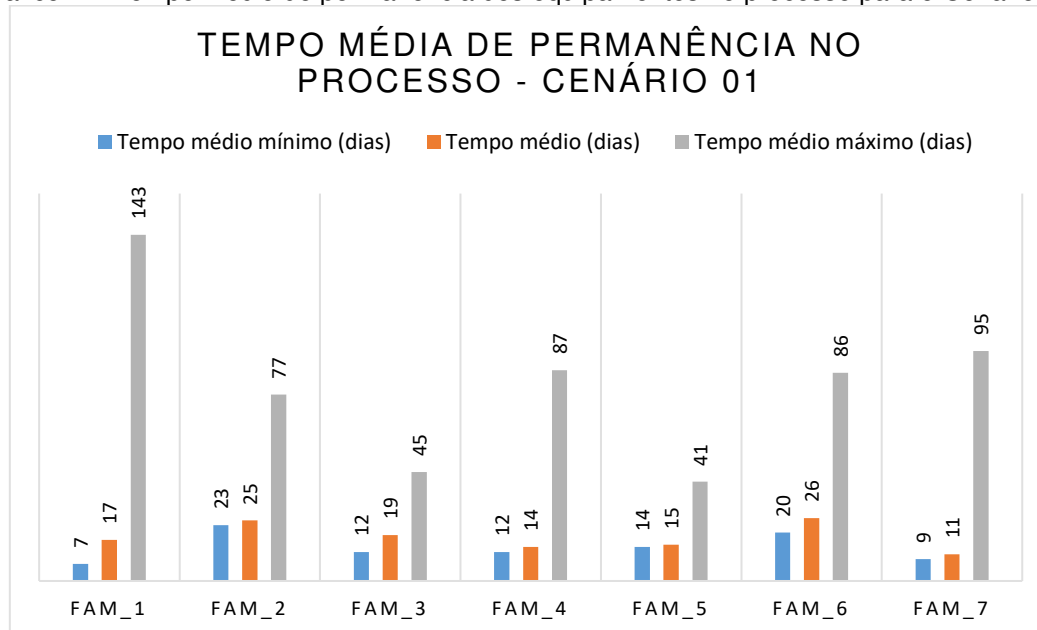
Tabela 14 – Tempo médio de permanência
no Processo por Entidade

Entidade	Tempo médio (dias)	Tempo mínimo (dias)	Tempo médio máximo (dias)
<i>Fam_1</i>	17	7	143
<i>Fam_2</i>	25	23	77
<i>Fam_3</i>	19	12	45
<i>Fam_4</i>	14	12	87
<i>Fam_5</i>	15	14	41
<i>Fam_6</i>	26	20	86
<i>Fam_7</i>	11	9	95

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Os dados da Tabela 14 foram plotados no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Tempo médio de permanência dos equipamentos no processo para o Cenário 01



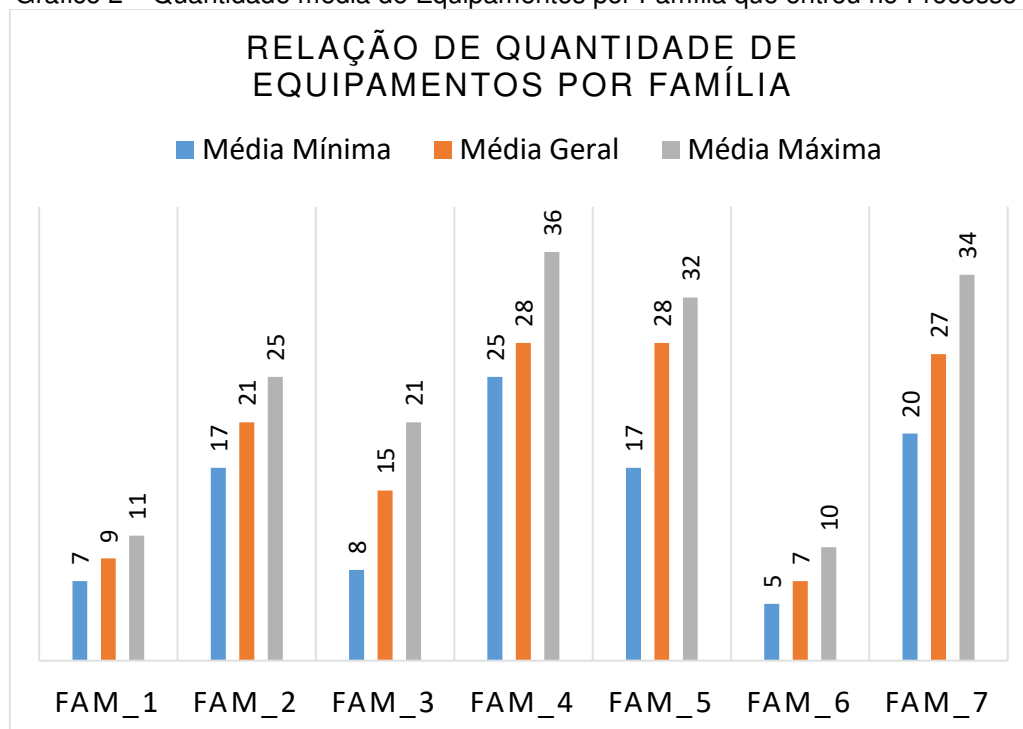
Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Apesar de os dados de mínimo e máximo estarem, em alguns casos, longe da média, isto é normal. Os equipamentos chegam no setor em diferentes condições e isso reflete diretamente no tempo de reparo. Tempos de máximo extremamente altos podem ocorrer devido a falhas intermitentes, erros de software ou com problemas logísticos referentes a insumos para a revisão.

Entraram no processo um total de cento e trinta e cinco equipamentos, porém foram processados apenas cento e vinte e dois. O Gráfico 2 apresenta a quantidade média de equipamentos por família que entrou no sistema, bem como sua variação média mínima e máxima.

As máquinas que permanecem no processo são consideradas resíduos e, estatisticamente, passam a fazer parte dos dados do ano seguinte.

Gráfico 2 – Quantidade média de Equipamentos por Família que entrou no Processo



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Passando para a análise do comportamento das filas no processo, referente a cada engenheiro, a Tabela 15 relaciona o tempo de espera de um equipamento na fila e quantos equipamentos no máximo compunham cada fila.

Tabela 15 – Relação de tempo em Fila X quantidade máxima de Equipamentos Aguardando

Engenheiro	Tempo médio na Fila (dias)	Quantidade máxima de Equipamentos (unidades)
<i>E1</i>	18	7
<i>E2</i>	6	2
<i>E3</i>	24	6
<i>E4</i>	26	6
<i>E5</i>	18	5
<i>E6</i>	15	6
<i>E7</i>	12	6
<i>E8</i>	20	4
<i>E9</i>	38	9

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Analisando o uso dos recursos, é possível mensurar a taxa de utilização de cada, ou seja, quanto tempo cada engenheiro esteve trabalhando. Estes dados são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Utilização de cada

Recurso	
Recurso	Taxa de trabalho (%)
<i>Eng1_w</i>	70,4
<i>Eng2_w</i>	35,8
<i>Eng3_w</i>	81,8
<i>Eng4_w</i>	73,9
<i>Eng5_w</i>	67,8
<i>Eng6_w</i>	66,6
<i>Eng7_w</i>	60,2
<i>Eng8_w</i>	65,4
<i>Eng9_w</i>	63,9

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Analisando este parâmetro é possível detectar algumas deficiências da distribuição de equipamentos entre os engenheiros e propor alocações de tarefas de modo a equilibrar as taxas de tempo trabalhado. Pode-se perceber, por exemplo, que em o Engenheiro 02 apresenta uma taxa de ocupação de aproximadamente trinta e seis por cento do tempo, enquanto o Engenheiro 03 está mais de oitenta por cento do tempo ocupado.

5.2. CENÁRIO 02 – REALOCAÇÃO DE TAREFAS ENTRE ENGENHEIROS

Levando em consideração o tempo de ociosidade do Engenheiro 02, apresentou-se a proposta de alocação de tarefas para que seja possível analisar a utilização dos recursos disponíveis.

Como o engenheiro 03 é o mais atarefado, optou-se por aliviar a sua carga de trabalho. A maior carga de trabalho para o Engenheiro 03, se dá com a família 04.

O Engenheiro 02 já é capacitado para atender a família 01, desta forma também pode aliviar a carga de trabalho do engenheiro 06.

Com estas alternativas propostas, há necessidade de refazer as divisões de famílias por engenheiros, conforme apresenta a Tabela 17.

Tabela 17 – Nova divisão de quantidade de Equipamentos por Engenheiro

Famílias	Engenheiros	Divisão Atual (%)	Divisão Proposta (%)
<i>Fam_1</i>	<i>E2</i>	18	30
	<i>E6</i>	44	32
	<i>E9</i>	38	38
<i>Fam_4</i>	<i>E1</i>	4	4
	<i>E3</i>	37	19
	<i>E5</i>	59	59
	<i>E2</i>	0	18

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Apesar das alterações, o modelo manteve seu nível de rendimento em relação à quantidade de equipamentos liberados por ano.

Analisando os Recursos que sofreram alteração com as alocações de trabalho propostas, a Tabela 18 apresenta uma comparação entre a taxa de utilização anterior e a proposta.

Tabela 18 – Alteração da taxa de Utilização

Engenheiro	Taxa Antiga (%)	Taxa atual (%)
<i>E2</i>	35,8	51,3
<i>E3</i>	81,3	67,8
<i>E6</i>	66,6	66

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Apesar deste modelo não apresentar melhora no rendimento de produção do setor, apresenta uma estratégia de alocação de tarefas mais adequada em relação ao modelo original.

Importante se atentar ao fato de que o a Família 01 não é uma família com grande volume de equipamentos por ano, logo, por mais que o engenheiro *E2* assuma maior quantidade de máquinas, o impacto de forma geral é menor.

5.3. CENÁRIO 03 – PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DE LAYOUT

Esta mudança de layout, apresentada no fluxograma da Figura 23, a priori, oferece uma melhoria, aumentando para cento e quarenta e um equipamentos por ano.

O tempo de espera em fila também foi impactado. Na Tabela 19 são apresentados os dados de forma comparativa.

Neste modelo, são propostos o emprego de nove engenheiros no setor. A etapa de Descontaminação, Teste de Performance, Limpeza e Travamento em embalagem serão realizados cada uma por um engenheiro diferente. A etapa de revisão terá cinco engenheiros por ser a mais complexa.

Olhando para o comportamento da fila, a Tabela 19 demonstra os dados para tempo de equipamentos na fila e quantidade máxima de equipamentos na fila.

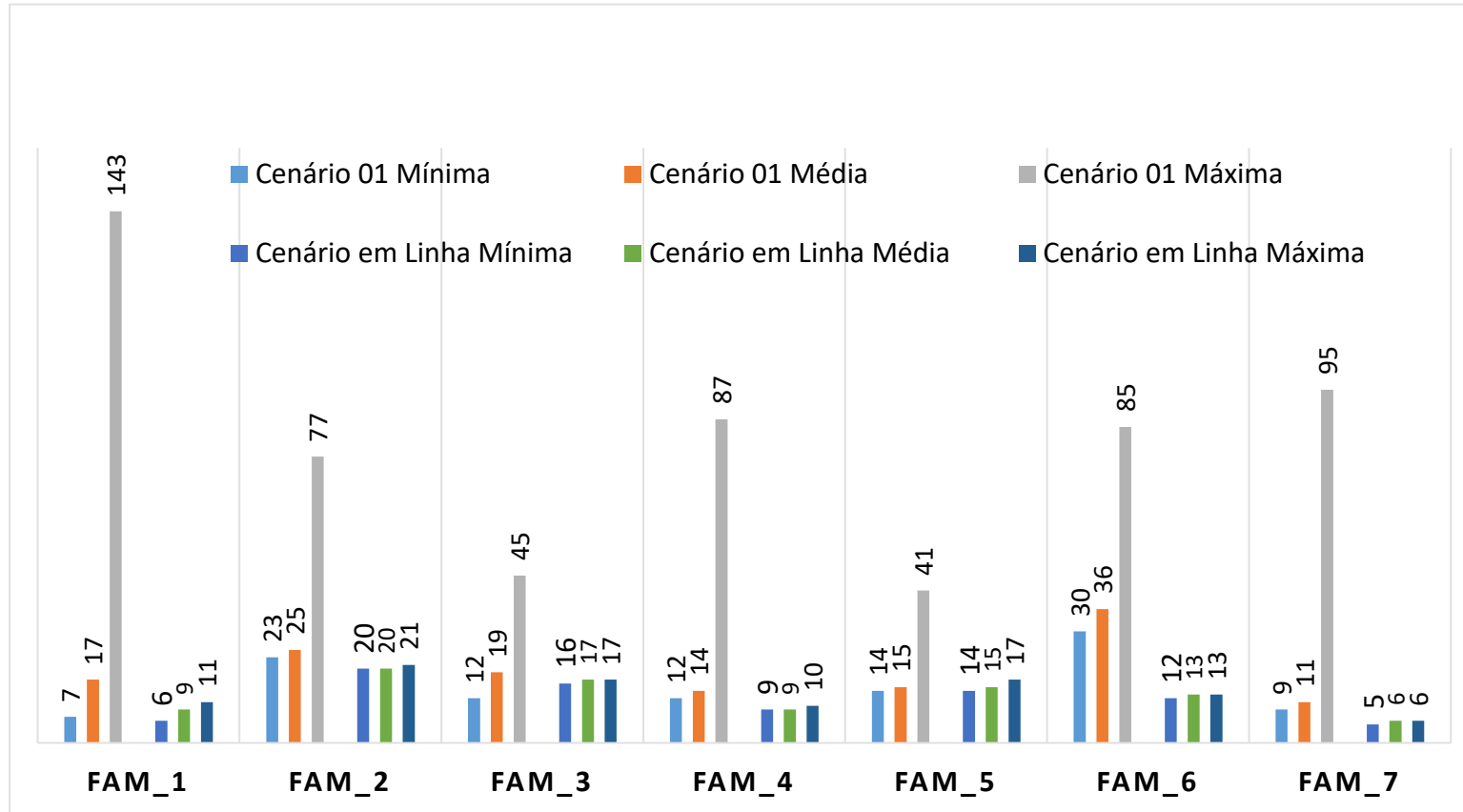
Tabela 19 – Relação de tempo em Fila X quantidade máxima de Equipamentos Aguardando

Etapa	Tempo médio na Fila (dias)	Quantidade máxima de Equipamentos (unidades)
<i>Descontaminação</i>	0,5	7
<i>Revisão</i>	4,1	12
<i>Teste de Performance</i>	0,2	5
<i>Limpeza e Travamento</i>	0	1
<i>Embalagem</i>	0	1

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Quanto à utilização dos recursos, a Tabela 20 apresenta a porcentagem média de tempo em atividade.

Gráfico 3 – Tempo médio de permanência dos equipamentos no processo para o Cenário 03 em comparação com Cenário 01.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Tabela 20 – Taxa de utilização de Recursos

Recurso	Taxa de Trabalho (%)
<i>E_Desc</i>	38
<i>E_revisao</i>	82
<i>E_performance</i>	34
<i>E_limpTrav</i>	9
<i>E_embalagem</i>	6

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Entraram no processo um total de cento e quarenta e oito equipamentos, mas sete não completaram o processo de reparo.

Por mais que haja a alteração no layout, alterando desta forma o tipo de processo e arranjo físico, os equipamentos resíduos continuam aparecendo ao final de cada, porém em menor quantidade.

Através da análise comparativa entre o CENÁRIO 01 – BASE, em que foram modelados os dados do cenário atual do Setor de Reparos, e Cenário 02, onde foi feita a realocação de tarefas afim de redistribuir de forma homogênea os tempos em tralho dos engenheiros. Apesar de não haver melhora quantitativa entre estes cenários, a proposta de diminuir tempos ociosos e desafogar engenheiros é bastante positiva.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Além de desenvolver tarefas técnicas, há também diferentes tarefas administrativas que cada engenheiro deve desempenhar, como por exemplo manter os processos documentais de reparos dos equipamentos sempre atualizados, conferência diária e coleta de dados das condições ambientais (temperatura e umidade) do setor, entre outras. Portanto, uniformizar a porcentagem de tempo em trabalho referente aos reparos entre todos os envolvidos no processo, trará ganho em indicadores de qualidade no setor que, muito embora este tema não tenha sido abordado neste trabalho, são de extrema importância.

Analisando comparativamente o CENÁRIO 01 – BASE com o CENÁRIO 03 – PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DE LAYOUT, a alteração de layout do fluxo de tarefas no Setor de Reparos, a priori, cumpre o objetivo. O aumento do volume de equipamentos expedidos foi de aproximadamente dezesseis por cento, e esta alteração pode ser considerada bastante razoável. Se passarmos este aumento para a quantidade média anual real, este volume sobe de cento e quarenta para mais de cento e sessenta equipamentos.

Outro dado que deve ser comparado é a quantidade média de tempo que os equipamentos permanecem no setor. O Gráfico 1 e Gráfico 3 apresentam esses dados, e mostram que o tempo médio não diminui e em apenas uma família, permanecendo o mesmo.

No CENÁRIO 01 – BASE, ao final da simulação, permaneceram no processo treze equipamentos sem completar o processo de reparo. No CENÁRIO 03 – PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DE LAYOUT o número de equipamentos sem completar o processo de revisão caiu para sete, enquanto o número total de equipamentos que entraram no processo subiu de cento e trinta e cinco para cento e quarenta e oito, um aumento de quase dez por cento.

Analisando o tempo ocioso de cada engenheiro no CENÁRIO 03 – PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DE LAYOUT, percebe-se que, apesar do desempenho mostrado, melhorar o resultado ainda é possível. Uma opção válida seria através do acúmulo das responsabilidades de embalagem e limpeza e travamento para apenas um engenheiro, enquanto outro seria destacado para a

etapa de revisão, que já contava com cinco engenheiros, porém com uma carga de mais de oitenta por cento de utilização.

Há, porém, algumas ponderações a serem feitas quanto aos resultados do Cenário 03, tanto impulsionadoras como restritivas. Antes que os gerentes de produção possam idealizar sua abordagem para o melhoramento de suas operações, eles precisam saber o quanto ela já é boa (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

As restritivas miram exatamente nas funções de rendimento atribuídas aos engenheiros. Devido ao fato de que os dados que alimentaram a simulação foram estimados, por mais que baseados em entrevistas com profissionais experientes do setor, podem não representar uma possível realidade se este modelo de arranjo físico de processo fosse implantado.

Olhando pela perspectiva de gerenciamento do processo, para que a implantação deste novo arranjo físico fosse possível, há uma variável bastante importante e um tanto quanto custosa. Órgãos reguladores exigem que todos os envolvidos diretamente no processo estejam habilitados a realizar reparos nos equipamentos, e nesta nova configuração todos os engenheiros necessitariam capacitação, e o processo de treinamento é caro. Resta saber em quanto tempo o investimento em treinamentos retornaria, sabendo que o número de equipamentos expedidos ao ano, aumentaria.

O fator que é considerado impulsionador é que atualmente os engenheiros executam todo o processo de forma individual. No cenário de novo layout, em que cada um executa apenas uma etapa, tornaria aquele engenheiro um especialista em resolver problemas de etapas específicas, o que poderia acelerar ainda mais o processo, encurtando o retorno do investimento feito para treinamentos.

Por fim, pode-se afirmar que o aumento de unidades de equipamentos expedidos por ano, baseado na alteração de layout, é uma realidade possível. Não se pode afirmar, contudo, que viabilizar esta alteração seria de fato positiva ao setor, em função dos custos envolvidos nesta ação. O objetivo geral, que era de construir um modelo aderente e que apresentasse dados que proporcionassem analisar o setor foi alcançado.

Para trabalhos futuros indica-se a avaliação de processos baseados em dados mais refinados, de forma que facilite a construção de um modelo base aderente à realidade. Desta maneira, ao construir propostas com alguma alteração de cenário, viabiliza a construção de modelos, ainda que baseados em dados empíricos, com maior grau de confiabilidade.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Eduardo Leopoldino de. **Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para a análise de decisão**. Livros Técnicos e Científicos, 1998.

ANDRADE, Eduardo Leopoldino de. **Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e modelos para análise de decisões**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015. 202 p.

ANDRADE, Rafael Quintao de. **Gestão de estoques: uma revisão teórica dos conceitos e características**. 2011.

BAHADORI, Mohammadkarim et al. Using queuing theory and simulation model to optimize hospital pharmacy performance. **Iranian Red Crescent Medical Journal**, v. 16, n. 3, 2014.

BOHN JÚNIOR, Vangünther. **Simulação e análise da taxa de ocupação de empilhadeiras em uma célula de armazenagem de produtos acabados**. 2017. 89 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Transportes e Logística, Departamento de Engenharias da Mobilidade, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2017.

CARVALHO, D. T. **Metodologia de análise do desempenho da usina de concentração da samarco mineração S.A. baseada em simulação das operações**. 2003. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2003.

DE BRUNS, Rafael; SONCIM, Sérgio Pacífico; DE SINAY-PHD, Maria Cristina Fogliatti. **Pesquisa operacional: uma aplicação da teoria das filas a um sistema de atendimento**. 2001.

FREITAS FILHO, Paulo José de. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas: com aplicações em Arena**. Visual Books, 2008.

FERREIRA FILHO, Virgílio José Martins. Processos estocásticos e teoria de filas. **Processos Estocásticos e Teoria das Filas**. Programa de Engenharia da Produção (PEP), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

FIGUEIREDO, Danielle Durski; ROCHA, Silvana Heidemann. Aplicação da teoria das filas na otimização do número de caixas: um estudo de caso. **Revista Iniciação Científica**, 2010.

GOEBEL, Dieter. Logística: otimização do transporte e estoques na empresa. **Estudos em Comércio Exterior**, v. 1, n. 1, p. 1-45, 1996.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. **Introdução à pesquisa operacional**. McGraw Hill Brasil, 2013.

LAUGENI, Fernando P.; MARTINS, Petrônio G. **Administração da produção**. São Paulo: Saraiva, 2005.

LOPES, Raiza Bender. **MAPEAMENTO DOS PROCESSOS E SIMULAÇÃO DE UM TERMINAL REGULADOR DE CONTÊINER**. 2016. 93 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Transportes e Logística, Departamento de Engenharias da Mobilidade, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2016.

MARIANI, Celso Antonio. Método PDCA e ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos industriais: um estudo de caso. **RAI-Revista de Administração e Inovação**, v. 2, n. 2, 2005.

MARTINS, Petrônio G.; LAUGENI, Fernando P. **Administração da produção**. São Paulo: Saraiva, 2005.

MELLA, Michels Angelo. **Simulação no dimensionamento de recursos em processos da garagem da empresa de transportes Gidion**. 2017. 78 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Transportes e Logística, Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2017.

MILANI, Marcelo Otavio. Aplicação De Teoria Das Filas Para Modelagem E Análise De Desempenho No Setor De Recursos Humanos De Uma Indústria Alimentícia. XXXVI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, ENEGEP. **Anais...** 2016.

PRADO, Darci. **Usando o Arena em Simulação**: Série Pesquisa Operacional. 5. ed. Nova Lima: Falconi, 2014. 3 v.

ROMERO, Camila Mendonça et al. Aplicação da teoria das filas na maximização do fluxo de paletes em uma indústria química. **Revista PO Desenvolvimento**, v. 2, n. 3, p. 226-231, 2010.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Roberto. **Administração da Produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SLACK, Nigel et al. **Gerenciamento de Operações e de Processos**: Princípios e práticas de impacto estratégico. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

APÊNDICE A

5.4. FAMÍLIAS ATENDIDAS POR CADA ENGENHEIRO

Tabela 21 - Famílias atendidas por cada Engenheiro

EX	Familia	Atributo	Expressão
E1	Fam_2	F2_e1_w	$12.5 + 21 * BETA(0.64, 0.616)$
	Fam_4	F4_e1_w	$11.5 + 23 * BETA(0.407, 0.445)$
	Fam_5	F5_e1_w	$TRIA(11.5, 20, 48.5)$
	Fam_6	F6_e1_w	$5 + 110 * BETA(0.365, 0.43)$
	Fam_7	F7_e1_w	$0.5 + LOGN(9.02, 17.1)$
E2	Fam_1	F1_e2_w	$1.5 + 62 * BETA(0.246, 0.396)$
	Fam_2	F2_e2_w	$TRIA(3.5, 21.2, 49.5)$
E3	Fam_2	F2_e3_w	$6.5 + 40 * BETA(0.835, 0.795)$
	Fam_4	F4_e3_w	$1.5 + LOGN(13.5, 16.6)$
	Fam_5	F5_e3_w	$4.5 + WEIB(10.7, 2.07)$
	Fam_6	F6_e3_w	$2.5 + 43 * BETA(0.588, 0.575)$
E4	Fam_5	F5_e4_w	$4.5 + WEIB(15.1, 1.52)$
	Fam_7	F7_e4_w	$0.5 + LOGN(17.4, 51.8)$
E5	Fam_3	F3_e5_w	$21.5 + 13 * BETA(0.688, 0.509)$
	Fam_4	F4_e5_w	$-8 + 179 * BETA(0.566, 3.49)$
E6	Fam_1	F1_e6_w	$0.5 + LOGN(6, 6.82)$
	Fam_2	F2_e6_w	$9.5 + WEIB(22.9, 1.47)$
	Fam_5	F5_e6_w	$12.5 + LOGN(25.2, 94)$
	Fam_7	F7_e6_w	$0.5 + LOGN(6.51, 10.2)$
E7	Fam_3	F3_e7_w	$3.5 + GAMM(8.06, 2.22)$
	Fam_5	F5_e7_w	$8.5 + LOGN(15.6, 47.6)$
	Fam_6	F6_e7_w	$10.5 + 27 * BETA(0.161, 0.332)$
E8	Fam_2	F2_e8_w	$11 + WEIB(18, 0.739)$
	Fam_3	F3_e8_w	$4.5 + 38 * BETA(0.801, 1.02)$
E9	Fam_1	F1_e9_w	$4.5 + LOGN(16.9, 69.7)$
	Fam_5	F5_e9_w	$3.5 + GAMM(6.71, 1.54)$

APÊNDICE B

Tabela 22 - Engenheiros Habilitados para Atender cada Família

Famílias	Engenheiros	Distribuições
<i>Fam_1</i>	<i>E2</i>	$1.5 + 62 * BETA(0.246, 0.396)$
	<i>E6</i>	$0.5 + LOGN(6, 6.82)$
	<i>E9</i>	$4.5 + LOGN(16.9, 69.7)$
<i>Fam_2</i>	<i>E1</i>	$12.5 + 21 * BETA(0.64, 0.616)$
	<i>E2</i>	$TRIA(3.5, 21.2, 49.5)$
	<i>E3</i>	$6.5 + 40 * BETA(0.835, 0.795)$
	<i>E6</i>	$9.5 + WEIB(22.9, 1.47)$
	<i>E8</i>	$11 + WEIB(18, 0.739)$
<i>Fam_3</i>	<i>E5</i>	$21.5 + 13 * BETA(0.688, 0.509)$
	<i>E7</i>	$3.5 + GAMM(8.06, 2.22)$
	<i>E8</i>	$4.5 + 38 * BETA(0.801, 1.02)$
<i>Fam_4</i>	<i>E1</i>	$11.5 + 23 * BETA(0.407, 0.445)$
	<i>E3</i>	$1.5 + LOGN(13.5, 16.6)$
	<i>E5</i>	$-8 + 179 * BETA(0.566, 3.49)$
<i>Fam_5</i>	<i>E1</i>	$TRIA(11.5, 20, 48.5)$
	<i>E3</i>	$4.5 + WEIB(10.7, 2.07)$
	<i>E4</i>	$4.5 + WEIB(15.1, 1.52)$
	<i>E6</i>	$12.5 + LOGN(25.2, 94)$
	<i>E7</i>	$8.5 + LOGN(15.6, 47.6)$
	<i>E9</i>	$3.5 + GAMM(6.71, 1.54)$
<i>Fam_6</i>	<i>E1</i>	$5 + 110 * BETA(0.365, 0.43)$
	<i>E3</i>	$2.5 + 43 * BETA(0.588, 0.575)$
	<i>E7</i>	$10.5 + 27 * BETA(0.161, 0.332)$
<i>Fam_7</i>	<i>E1</i>	$0.5 + LOGN(9.02, 17.1)$
	<i>E4</i>	$0.5 + LOGN(17.4, 51.8)$
	<i>E6</i>	$0.5 + LOGN(6.51, 10.2)$

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

APÊNDICE C

Tabela 23 - Distribuição de Portes de Equipamentos por Família

Famílias	Porte	Quantidade de Equipamentos
<i>Fam_1</i>	Pequeno	82%
	Grande	18%
<i>Fam_2</i>	Médio-Grande	100%
<i>Fam_3</i>	Pequeno	13%
	Médio	12%
	Médio-Grande	75%
<i>Fam_4</i>	Pequeno	58%
	Médio	30%
	Grande	12%
<i>Fam_5</i>	Pequeno	20%
	Médio	29%
	Médio-grande	51%
<i>Fam_6</i>	Médio	100%
<i>Fam_7</i>	Pequeno	100%

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

APÊNDICE D

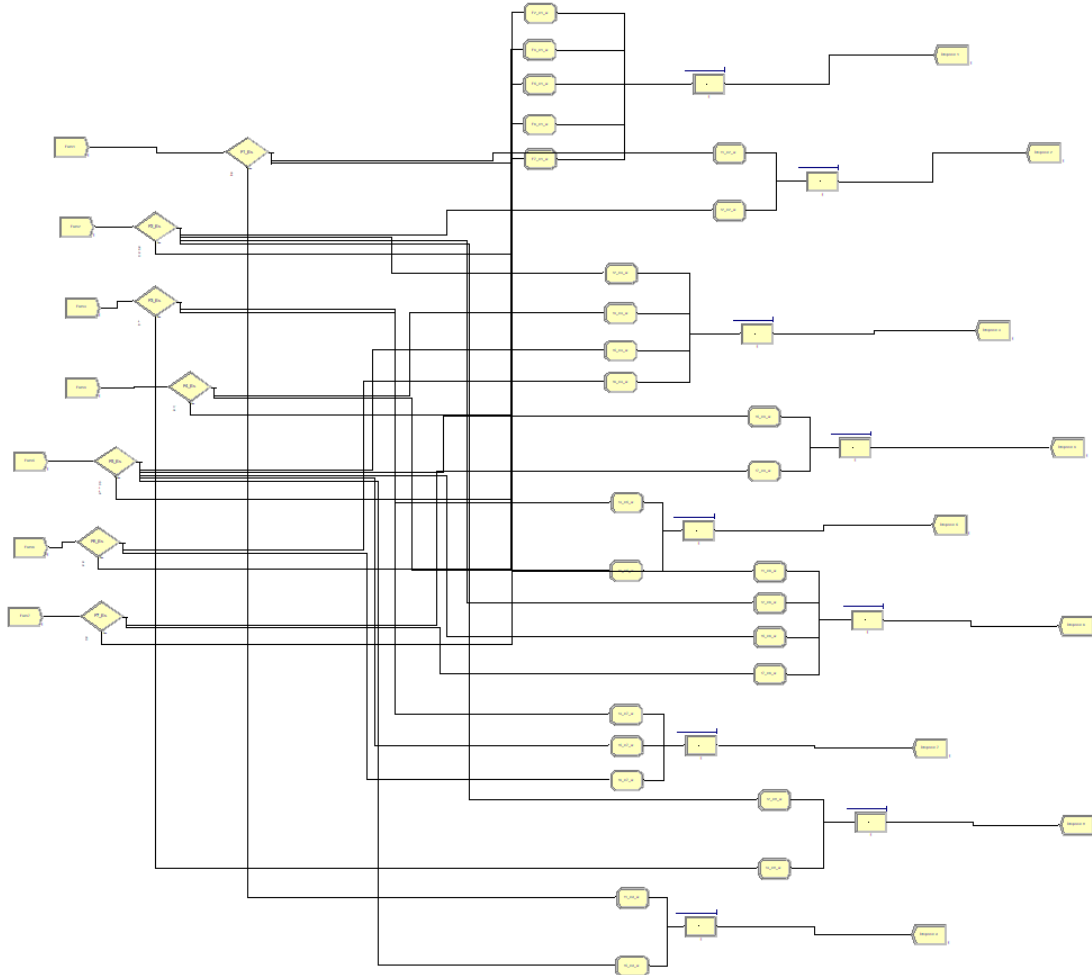
Tabela 24 - Divisão de Famílias para Engenheiros

Famílias	Engenheiro	Porcentagem (%)
<i>Fam_1</i>	<i>E2</i>	18
	<i>E6</i>	44
	<i>E9</i>	38
<i>Fam_2</i>	<i>E2</i>	26
	<i>E3</i>	15
	<i>E6</i>	24
	<i>E8</i>	25
	<i>E1</i>	10
<i>Fam_3</i>	<i>E5</i>	8
	<i>E7</i>	61
	<i>E8</i>	31
<i>Fam_4</i>	<i>E3</i>	37
	<i>E5</i>	59
	<i>E1</i>	4
<i>Fam_5</i>	<i>E3</i>	12
	<i>E4</i>	30
	<i>E6</i>	4
	<i>E7</i>	4
	<i>E9</i>	38
	<i>E1</i>	12
<i>Fam_6</i>	<i>E3</i>	28
	<i>E7</i>	28
	<i>E1</i>	44
<i>Fam_7</i>	<i>E4</i>	26
	<i>E6</i>	35
	<i>E1</i>	39

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

APÊNDICE E

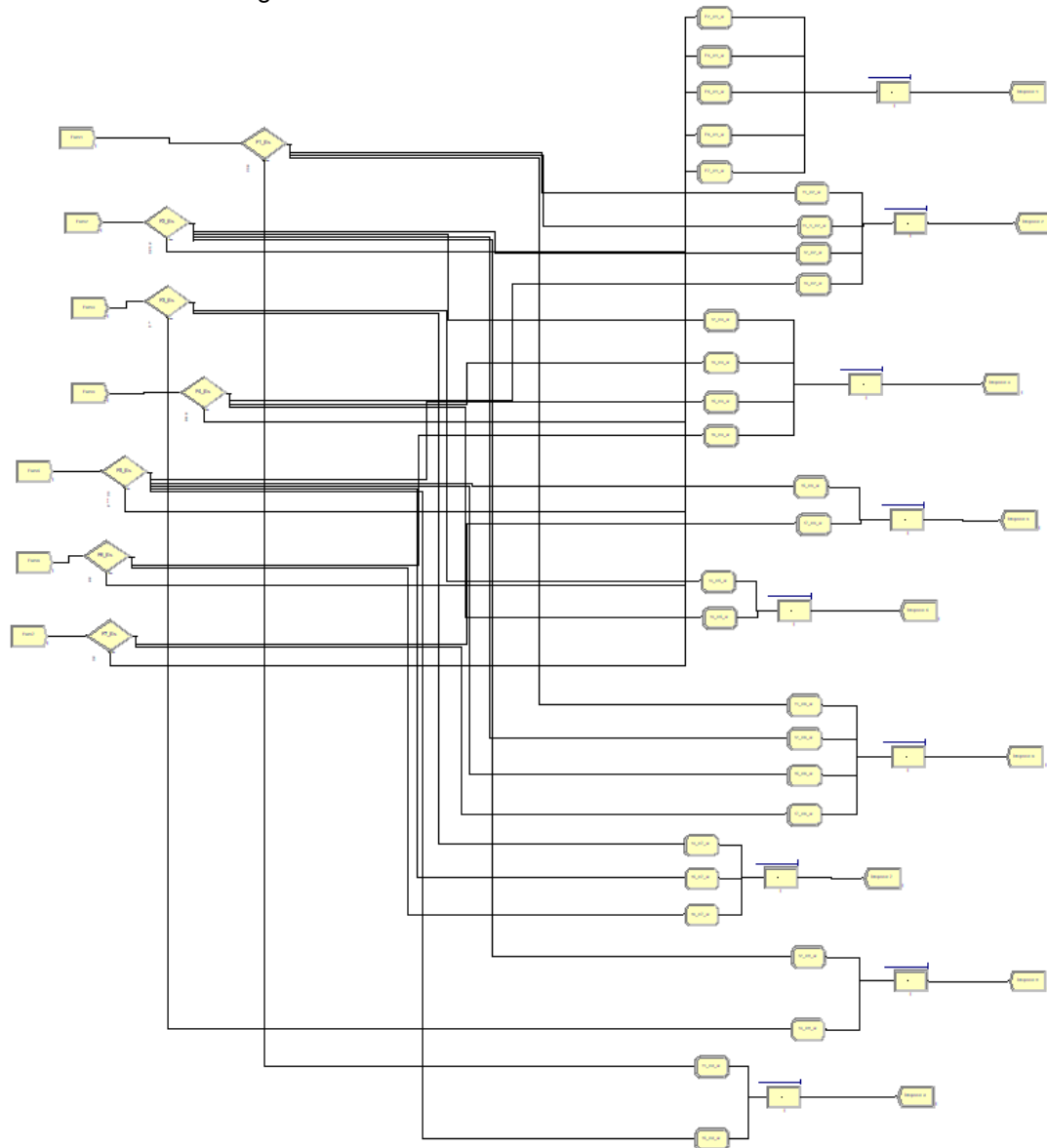
Figura 32 - Modelo Cenário 01 no Ambiente ARENA®



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

APÊNDICE F

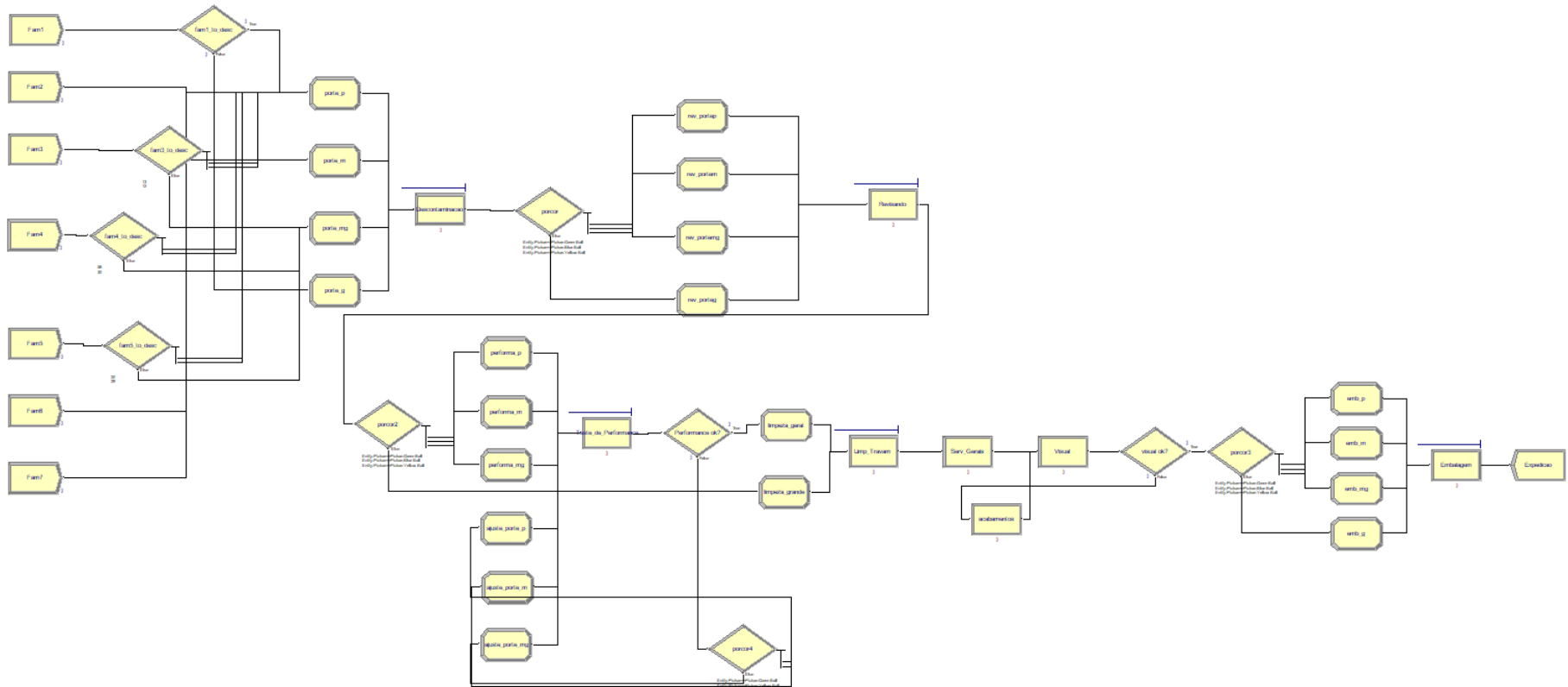
Figura 33 - Modelo Cenário 02 no Ambiente ARENA®



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

APÊNDICE G

Figura 34 - Modelo Cenário 03 no Ambiente ARENA®



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

