

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**João Vitor Correr Geraldini**

**Análise da capacidade de atendimento de caixas de um supermercado da  
região de Piracicaba por meio de Modelagem e Simulação**

**Dourados - MS  
2023**

João Vitor Correr Geraldini

Análise da capacidade de atendimento de caixas de um supermercado da região de Piracicaba por meio de Modelagem e Simulação

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Federal da Grande Dourados, UFGD, como exigência parcial para obtenção do grau de engenheiro de produção.

Orientador: Prof. Me. Vinícius Carrijo dos Santos

Dourados - MS  
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

G355a Geraldini, João Vitor Correr

Análise da capacidade de atendimento de caixas de um supermercado da região de Piracicaba por meio de Modelagem e Simulação [recurso eletrônico] / João Vitor Correr Geraldini. -- 2023.  
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Vinícius Carrijo dos Santos.

TCC (Graduação em Engenharia de Produção)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2023.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:  
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Capacidade produtiva. 2. Teoria das filas. 3. Modelagem. 4. Simulação. 5. Supermercado. I. Santos, Vinícius Carrijo Dos. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

João Vitor Correr Geraldini

**Análise da capacidade de atendimento de caixas de um supermercado da região de Piracicaba por meio de Modelagem e Simulação**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Federal da Grande Dourados, UFGD, como exigência parcial para obtenção do grau de engenheiro de produção.

Banca examinadora

Vinicius S

Prof. Me. Vinicius Carrijo dos Santos – Orientador

FAEN

Carlos C

Prof. Dr. Carlos Eduardo Soares Camparotti

FAEN

Rogério S

Prof. Dr. Rogério da Silva Santos

FAEN

Dourados, 11 de Dezembro de 2023

## **RESUMO**

Esta pesquisa buscou identificar melhorias para o setor de atendimento de clientes de um supermercado por meio da modelagem e simulação. O processo envolveu uma coleta de dados inicial referente ao sistema de filas do estabelecimento, para embasar a modelagem do sistema real, além disso, foram coletados dados referentes ao tempo entre chegadas de cliente e o tempo de atendimento no caixa. O modelo do sistema real foi desenvolvido para verificação de sua validade, que, uma vez concluída, propiciou análise dos principais indicadores de desempenho. Esta análise serviu de base para a proposição de cenários alternativos, onde marcos como filas menores, tempos de espera menores, maximização da utilização dos atendentes e aumento da capacidade de atendimento do sistema foram alcançados e por fim foi escolhido o melhor cenário baseando-se nesses ganhos, como o aumento de 18 clientes atendidos no mesmo período devido à redução do tempo de espera.

Palavras-chave: Capacidade produtiva, Teoria das Filas, Modelagem, Simulação, Supermercado.

## **ABSTRACT**

This research sought to identify improvements for the customer service sector of a supermarket through modeling and simulation. The process involved initial data collection regarding the establishment's queuing system, to support the modeling of the real system. In addition, data was collected regarding the time between customer arrivals and the service time at the cash register. The real system model was developed to verify its validity, which, once completed, provided analysis of the main performance indicators. This analysis served as the basis for proposing alternative scenarios, where milestones such as shorter queues, shorter waiting times, maximizing the use of attendants and increasing the system's service capacity were achieved and finally the best scenario was chosen based on these earnings, such as the increase of 18 customers served in the same period due to the reduction in waiting time.

**Key words:** Production Capacity, Queue Theory, Modeling, Simulation, Supermarket.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação gráfica da teoria de dimensionamento da capacidade produtiva .....	15
Figura 2 - Tipos de padrões de demanda mais conhecidos .....	17
Figura 3 - Curva de custo total em função do nível de serviço .....	20
Figura 4 - Modelo de uma fila simples.....	21
Figura 5 - Estrutura de um sistema de filas .....	22
Figura 6 - Diferentes tipos de sistemas de filas .....	25
Figura 7 - Localização das variáveis .....	27
Figura 8 - Princípio básico da simulação .....	32
Figura 9 - Expressões para tempo entre chegada de clientes .....	40
Figura 10 - Expressões para tempo de atendimento dos caixas .....	41
Figura 11 - Modelo de validação da estação de trabalho do caixa 1 .....	42
Figura 12 - Modelo de validação da estação de trabalho do caixa 2 .....	42
Figura 13 - Modelo de validação da estação de trabalho do caixa 3 .....	42
Figura 14 - Modelo de validação da estação de trabalho do caixa 4 .....	42
Figura 15 - Módulos “Create” e “Process” para o caixa 1 .....	43
Figura 16 - Modelo real agregado .....	47
Figura 17 - Expressão para tempo entre chegada de clientes geral .....	50
Figura 18 - Modelo do cenário alternativo 1 .....	50
Figura 19 - Módulos “Seize” e “Release” .....	51
Figura 20 - Módulos “Pickstation” e “Enter” .....	52
Figura 21 - Expressão para tempo de atendimento do caixa 4 (caixa rápido).....	53
Figura 22 - Expressão para tempo de atendimento dos caixas 1, 2 e 3 (caixas normais).....	53
Figura 23 - Expressão para determinar o tamanho da compra .....	54
Figura 24 - Modelo do cenário alternativo 2 .....	54
Figura 25 - Módulos “Assign” e “Decide” do cenário alternativo 2 .....	55
Figura 26 - Expressão para tempo de atendimento do caixa 3 (caixa rápido).....	56
Figura 27 - Expressão para tempo de atendimento dos caixas 1 e 2 (caixas normais).....	56
Figura 28 - Modelo do cenário alternativo 3 .....	57
Figura 29 - Módulo “Decide” do cenário alternativo 3 .....	57
Figura 30 - Expressão para tempo de atendimento dos caixas 1, 2 e 3 .....	58
Figura 31 - Modelo do cenário alternativo 4 .....	58
Figura 32 - Modelo do cenário alternativo 5 .....	59
Figura 33 - Modelo do cenário alternativo 6 .....	59
Figura 34 - Modelo do cenário alternativo 7 .....	60

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Tempo médio de atendimento Real x Modelo de Validação .....	46
Gráfico 2 - Número de clientes que entraram no sistema Real x Modelo de Validação .....	46
Gráfico 3 - Número de clientes que saíram do sistema Real x Modelo de Validação .....	46
Gráfico 4 - <i>Number In</i> e <i>Number Out</i> .....	61
Gráfico 5 - Tempo médio de espera em fila (segundos) .....	62
Gráfico 6 - Número médio de clientes na fila .....	63
Gráfico 7 - Taxa de utilização média dos atendentes (%) .....	64



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Variáveis influentes no sistema.....	28
Quadro 2 - Relações importantes entre as variáveis randômicas fundamentais.....	28
Quadro 3 - Grandezas e distribuições de probabilidade na chegada e no atendimento .....	31
Quadro 4 - Tipos de simulações .....	34
Quadro 5 - Principais <i>softwares</i> de simulação .....	35
Quadro 6 - Características das filas do supermercado.....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação de taxas de utilização .....	44
Tabela 2 - Comparação de tempos de atendimento médios .....	44
Tabela 3 - Comparação do número de clientes que entraram no sistema.....	44
Tabela 4 - Comparação do número de clientes que saíram do sistema .....	44
Tabela 5 - Compilação dos resultados da simulação do modelo real agregado .....	48
Tabela 6 - Matriz de desempenho dos cenários.....	66

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRAS	Associação Brasileira de Supermercados
PIB	Produto Interno Bruto
FIFO	<i>First In, First Out</i>
LIFO	<i>Last In, First Out</i>
PEPS	Primeiro a Entrar, Primeiro a Sair
UEPS	Último a Entrar, Primeiro a Sair
MTP	Menor Tempo de Processamento
DD	Data Devida
CAD	<i>Computer Aided Design</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

TS	Tempo médio de permanência no sistema
NS	Número médio de clientes no sistema
$\lambda$	Ritmo médio de chegada
IC	Intervalo médio entre chegadas
TF	Tempo médio de permanência na fila
NF	Número médio de clientes na fila
$c$	Capacidade de atendimento ou número de atendentes
NA	Número médio de clientes que estão sendo atendidos
$\mu$	Ritmo médio de atendimento de cada atendente
$\rho$	Taxa de utilização dos atendentes
$i$	Intensidade de tráfego

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 JUSTIFICATIVA.....	11
1.2 DEFINIÇÃO E DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA.....	12
1.3 OBJETIVO GERAL.....	12
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	14
2.1 CAPACIDADE PRODUTIVA.....	14
2.2 GESTÃO DE DEMANDA.....	16
2.3 PESQUISA OPERACIONAL.....	18
2.4 TEORIA DAS FILAS.....	19
2.4.1 Estrutura Básica de um Sistema de Filas.....	20
2.4.1.1 A Fonte de Clientes.....	22
2.4.1.2 Processo de Chegada.....	23
2.4.1.3 Processo de Atendimento.....	23
2.4.1.4 Disciplina de Atendimento.....	26
2.4.1.5 Variáveis Randômicas Fundamentais.....	27
2.4.1.6 Distribuições Probabilísticas.....	30
2.5 SIMULAÇÃO.....	31
3 METODOLOGIA.....	37
3.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO.....	37
3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
4.1 DESCRIÇÃO DO CASO.....	39
4.2 VALIDAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA.....	40
4.2.1 Comparação dos resultados dos modelos de validação com os dados amostrais....	45
4.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO REAL AGREGADO.....	47
4.4 RESULTADOS DO MODELO REAL AGREGADO.....	48
4.5 CONSTRUÇÃO DOS MODELOS ALTERNATIVOS.....	49
4.5.1 Construção do cenário alternativo 1.....	49
4.5.2 Construção do cenário alternativo 2.....	52
4.5.3 Construção do cenário alternativo 3.....	55
4.5.4 Construção do cenário alternativo 4.....	57
4.5.5 Construção do cenário alternativo 5.....	58
4.5.6 Construção do cenário alternativo 6.....	59
4.5.7 Construção do cenário alternativo 7.....	59

4.6 AVALIAÇÃO DOS CENÁRIOS .....	60
4.6.1 Gráficos de comparação de resultados dos modelos .....	60
4.6.1.1 Number In e Number Out.....	60
4.6.1.2 Tempo médio de espera em fila.....	61
4.6.1.3 Número médio de clientes na fila .....	62
4.6.1.4 Taxa de utilização média dos atendentes.....	63
4.6.2 avaliação dos cenários alternativos.....	64
5 CONCLUSÃO.....	67
6 REFERÊNCIAS .....	69
ANEXO A – Coleta de dados amostrais. ....	72
ANEXO B – Tabelas de comparação de resultados dos modelos.....	73

## 1 INTRODUÇÃO

Dentre os diversos setores existentes no Brasil, o setor supermercadista merece atenção, ainda mais com a presença das características que a pandemia do COVID-19 gerou nas cadeias de abastecimento e no próprio setor (SILVA, 2020).

Com a presença da pandemia, o setor de supermercados brasileiro registrou crescimento de 3,47% no primeiro semestre do ano de 2020 de acordo com o Índice Nacional de Vendas da Associação Brasileira de Supermercados (ABRAS, 2020). De acordo com o presidente da ABRAS, João Sanzovo Neto, muitos fatores contribuíram para esse crescimento no setor em 2020, onde os principais foram a respeito da pandemia, onde os consumidores priorizaram as compras de abastecimento e aumentaram o tíquete médio para evitar as idas aos supermercados (ABRAS, 2020).

Ainda de acordo com o presidente da ABRAS, João Sanzovo, no ano de 2019 foi registrado um faturamento de R\$378,3 bilhões, o que representa um crescimento nominal de 6,4% em relação a 2018, além de ter gerado 1,8 milhão de empregos diretos, 28,7 mil postos de trabalho e representar 5,2% do PIB brasileiro, o que evidencia a importância e a expressividade do setor no país (ABRAS, 2020).

No entanto, para que essas empresas que fazem parte desse setor se mantenham vivas no mercado, é necessário que apresentem alguma vantagem competitiva para que se destaquem com relação às outras empresas do ramo. Essas vantagens vão desde melhores preços, promoções a até mesmo a qualidade dos serviços prestados, o que pode ser um diferencial para atrair os clientes. Deste modo, é interessante que essas empresas busquem entender o que desejam seus clientes e como deixá-los mais satisfeitos.

De acordo com Ferreira (2005), um dos aspectos que influenciam na satisfação da clientela em agências bancárias é a questão das filas geradas. Não é diferente na região das caixas dessas empresas do setor supermercadista, onde pode-se notar a formação de filas que são intensificadas principalmente durante picos de demanda, podendo levar à insatisfação dos clientes.

Levando isso em consideração, podemos observar a importância de um estudo sobre as filas geradas neste tipo de empreendimento e a posterior prospecção de métodos visando a mitigação dos impactos negativos causados pela ocorrência dessas filas.

Deste modo, é proposta a análise das características destas filas em um estabelecimento do setor supermercadista por meio do *software* ARENA, possibilitando a modelagem e simulação de processos, visando entender de que modo essas filas se comportam e propor novos modelos de maneira com que sejam alcançadas melhorias em relação ao cenário original em termos de ganhos de produtividade em relação ao atendimento.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Como foi dito anteriormente, toda e qualquer empresa necessita se manter competitiva em seu respectivo setor, para tal, é necessário que se desenvolvam fatores que maximizem seu desempenho frente aos stakeholders.

A competitividade muito tem a ver com entender os desejos dos clientes, pois, a partir do momento em que são compreendidos estes desejos, a empresa começa a ter uma certa vantagem competitiva por meio da fidelização dos consumidores. Portanto, de acordo com Ferreira (2005), fica evidente a importância da busca dos aspectos que mais afetam os motivos da fidelização dos clientes.

Em meio aos inúmeros aspectos que podem levar à satisfação do consumidor, pode se destacar a exigência da rapidez e eficiência no atendimento, ou seja, é contrária à formação de filas nos atendimentos, de modo com que quanto maior as filas formadas, maior o grau de insatisfação por parte do cliente, o que pode contribuir para a desistência de clientes e consequente diminuição da demanda.

Portanto, a realização de um estudo de modelagem e simulação com enfoque no atendimento de um estabelecimento mercadista do setor varejista, pode contribuir na identificação de elementos cruciais para a otimização deste sistema, aumentando sua produtividade, agregando mais qualidade ao serviço e consequentemente contribuindo para que a empresa se sobressaia no setor atuante pelo aumento de sua competitividade no mercado por meio da fidelização de clientes devido aos benefícios que serão gerados aos mesmos. Para a obtenção desses ganhos, Prado (2017) defende que a gestão de processos deve mapear e



identificar os gargalos para então a simulação (ou teoria das filas) apontar a melhoria que deve ser aplicada para atingir a qualidade de serviço esperada, eliminando o congestionamento de pessoas ou reduzindo o tempo de espera em fila e conseqüentemente aumentando a taxa de atendimento dos atendentes.

## 1.2 DEFINIÇÃO E DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

A realização do presente estudo se dará em uma empresa do setor mercadista operante no estado de São Paulo, cuja filial que será utilizada como alvo da coleta de dados está localizada na cidade de Piracicaba, interior paulista.

A empresa compete com outras empresas do mesmo setor, portanto, necessita de estratégias para fidelizar os clientes e garantir a manutenção de um fluxo aceitável dos mesmos, e, por meio de estudos e investimentos, garantir sucesso na captação de mais usuários.

Um dos principais fatores responsáveis pela fidelização de clientes é a satisfação dos mesmos com relação à empresa. Uma das variáveis do quesito de satisfação do consumidor, de acordo com Ferreira (2005), é o atendimento, que quando executado de maneira eficiente, pode resultar em pontos positivos com a clientela.

Após entrevista não estruturada com um dos gerentes do estabelecimento, foi possível observar que nunca havia sido feito um estudo para dimensionar a capacidade de atendimento bem como das características e estatísticas das filas geradas nos postos de atendimento, portanto, de acordo com Hopp e Spearman (2011), o estabelecimento está sujeito à impactos com relação ao desempenho, podendo haver alguma restrição de capacidade não identificada.

Tais estudos poderiam contribuir para gerar dados que seriam processados e interpretados, podendo alcançar como resultado a proposição de práticas a serem tomadas para garantir melhorias ao sistema de atendimento e conseqüentemente tornar a experiência mais satisfatória.

## 1.3 OBJETIVO GERAL

O objetivo desta pesquisa é propor um modelo aprimorado para o sistema de atendimento dos caixas por meio de simulação computacional.

#### 1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para se atingir o que foi definido por objetivo geral, serão necessárias a realização de algumas tarefas, que deverão ser executadas em sequência. São elas:

- Revisar a literatura relacionada à pesquisa;
- Realizar a coleta de dados sobre o sistema de atendimento de caixas no estabelecimento;
- Analisar estatisticamente os dados coletados;
- Delimitar o sistema que será simulado;
- Gerar modelo computacional do sistema real;
- Simular o sistema real;
- Analisar os resultados obtidos com a simulação do sistema real;
- Propor modelos computacionais alternativos para atingir melhorias;
- Avaliar e selecionar o melhor modelo de simulação.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

É nesta seção que serão apresentadas as referências que foram utilizadas para a realização do estudo, para que fosse possível tanto compreender mais sobre os temas e quais são as variáveis que deveriam ser observadas quanto o método que deveria ser empregado para a obtenção de resultados assertivos e confiáveis.

Deste modo, como em toda a empresa a capacidade necessita obrigatoriamente ser capaz de suprir a demanda, foi abordado o tema de capacidade produtiva, onde veremos que se faz necessário conhecer a demanda e seu comportamento, que é o que será abordado no tópico em seguida que fala sobre gestão de demanda.

Finalmente, para que possamos encontrar as soluções otimizadas de sistemas, foi abordado o tema de pesquisa operacional, onde vimos a necessidade de aprofundar o estudo tanto para o tipo de fila que estamos analisando no sistema em questão, na subseção de teoria das filas, quanto para o desenvolvimento de um modelo onde pudéssemos propor um modelo para simular os dados de modo a analisar os ganhos com a aplicação de tais soluções, que se dará na subseção de simulação.

### 2.1 CAPACIDADE PRODUTIVA

Hayes et al. (2008) argumentam que medir a capacidade de sistemas produtivos é uma tarefa complexa, devido à ação dos seguintes fatores associados à variabilidade: políticas da empresa, confiabilidade dos fornecedores, confiabilidade dos equipamentos, taxas de produção e o impacto dos fatores humanos.

Para Hopp e Spearman (2011) a variabilidade existe em todos os sistemas de produção e pode causar um grande impacto no seu desempenho. Por esta razão, a habilidade de medir, compreender e gerenciá-la torna-se crítica para uma administração eficaz da produção.

De acordo com Serrano et al. (2018), não há uma regra ou definição para mensurar exatamente a capacidade produtiva, portanto só é possível apenas fazer estimativas sobre essa produção máxima, o que depende das formas com que se medem a produtividade e a capacidade produtiva, sejam elas por meio de medidas de eficácia, eficiência ou efetividade.

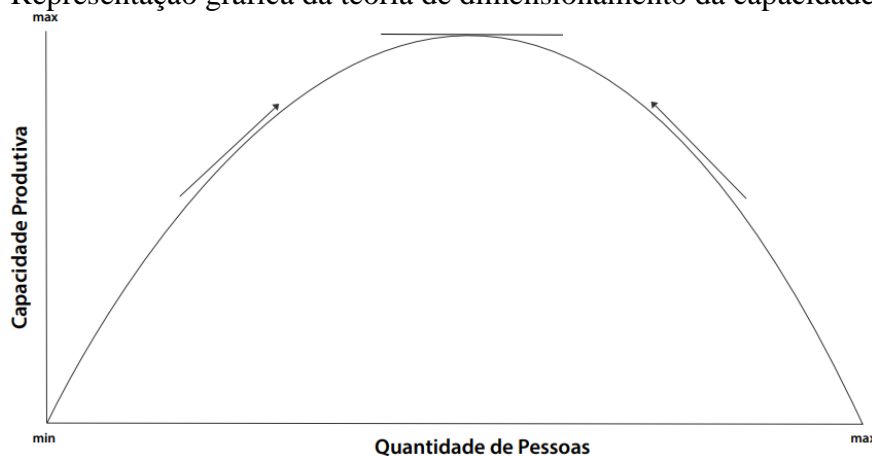
A restrição de capacidade é o gargalo do sistema, que é definido como sendo o recurso cuja capacidade disponível é menor do que a capacidade necessária para atender a demanda imposta a ele, num determinado período, o qual é geralmente longo (ANTUNES, 1998).

Segundo Goldratt (1996), se o gargalo for interno é necessário aumentar sua capacidade produtiva. Isso pode ser feito através de mudanças de leiaute, compra de equipamentos, uso de horas extras, redução da variabilidade, redução de *setup*, aplicação das técnicas da manufatura enxutetc (GOLDRATT, 1996).

Ainda conforme Serrano et al. (2018), a capacidade produtiva real está sempre abaixo da capacidade produtiva projetada antes do início das atividades, visto que as organizações são sensíveis às limitações reais que o trabalho está sujeito em seu contexto. Além disso, não é exata a afirmação de que se aumentar ou diminuir o quantitativo de pessoas a produtividade irá aumentar (Alvarez; Crespi, 2003; Dekker; Barling, 1995; Resneck, 2001; Söderbom; Teal, 2004).

De acordo com Serrano et al. (2018), conforme apresentado na Figura 1 a teoria de dimensionamento da capacidade produtiva, onde o eixo horizontal representa a quantidade de pessoas e o eixo vertical representa a capacidade produtiva. O ponto mais alto da função representa a maior capacidade produtiva gerada pela maior quantidade de pessoas. Se a quantidade de pessoas for menor que este ponto, deve-se aumentar o número de pessoas para aumentar a capacidade produtiva. Já se a quantidade de pessoas for maior que este ponto, deve-se reduzir o número de pessoas para aumentar a capacidade produtiva (SERRANO et al., 2018).

Figura 1 - Representação gráfica da teoria de dimensionamento da capacidade produtiva



Fonte: Adaptado de Serrano et al. 2018

Porém, para se confirmar na prática esta teoria, teríamos de controlar a quantidade de pessoas, mensurar suas capacidades produtivas e definir o ponto ótimo de capacidade produtiva (THAU; PITESA; PILLUTLA, 2014).

Deste modo, Slack; Chambers e Johnston (2008), afirmam que para uma correta adequação da capacidade produtiva, é necessário o conhecimento da demanda e de seu comportamento regular.

## 2.2 GESTÃO DE DEMANDA

Segundo Batalha et al. (2008), a gestão de demanda é de suma importância, pois a empresa só saberá efetivamente como a produção deve ser planejada se for realizado um estudo sobre as informações de demanda.

Ainda de acordo com Batalha et al. (2008), a gestão de demanda é função tanto da produção quanto do mercado, possuindo estreita relação com o setor comercial de uma empresa, geralmente exercida pelo setor responsável pelas vendas. Existem diversas técnicas de previsão de demanda, podendo ser baseadas nas percepções que o setor de vendas tem do mercado consumidor ou embasadas no histórico de vendas, sendo estas previsões a longo, médio e curto prazos.

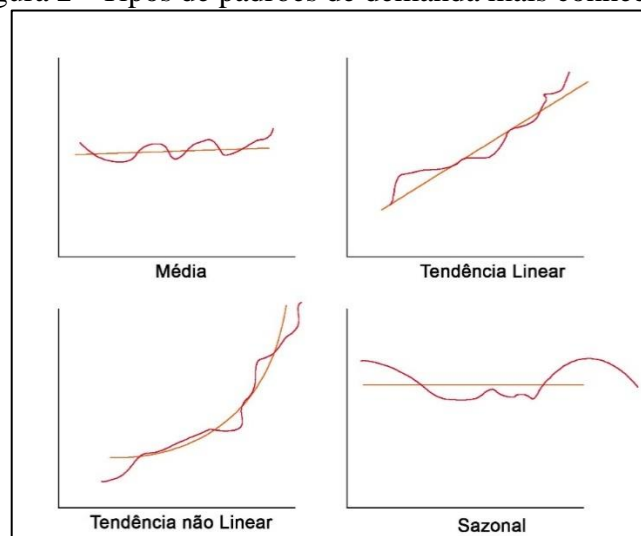
Conforme Tubino (2017), as empresas dão rumo às suas atividades para a direção em que acham que seu negócio caminhará. Normalmente essa estimativa é feita em cima de previsões, tendo por principal a previsão de demanda, que é a base para o planejamento estratégico da produção, vendas e finanças das empresas. “Partindo deste ponto, as empresas podem desenvolver os planos de capacidade, de fluxo de caixa, de vendas, de produção e estoques, de mão de obra, de compras etc.” (TUBINO, 2017).

A definição da política de preços e de promoção de produtos também requer participação da parte de gestão de demanda, de modo a tornar a demanda da empresa mais estável, pois para um supermercado por exemplo, uma demanda mais estável significa uma produção mais estável, visando estimular a compra de produtos em épocas de baixa por meio de promoções e descontos, ou aumentando o preço dos produtos e elevando o prazo de entrega para os clientes em épocas de alta, de modo a reduzir a compra (BATALHA et al., 2008).

Segundo Martins e Laugeni (2005), os tipos de demanda seguem alguns padrões comuns mais conhecidos, portanto é necessário possuir informações sobre a demanda dos produtos para que se possa identificar em qual padrão ela se enquadra melhor. Os padrões mais comuns que as demandas apresentam estão descritos e posteriormente representados graficamente na Figura 2:

- Média: flutuações da demanda variam em torno de um valor constante;
- Tendência linear: demanda apresenta certa tendência de crescimento ou decréscimo seguindo um padrão linear;
- Tendência não linear: demanda apresenta certa tendência de crescimento ou decréscimo de modo não linear, como uma função exponencial;
- Estacional (sazonal): demanda apresenta crescimento ou decréscimo em certos períodos, como por exemplo em determinados meses do ano.

Figura 2 - Tipos de padrões de demanda mais conhecidos



Fonte: Adaptado de Martins; Laugeni, 2005.

De acordo com Martins e Laugeni (2005), a gestão de demanda realizada por métodos estatísticos servem para curto prazo, já para médio e longo prazos são utilizados métodos explicativos ou econométricos.

Como as previsões apresentam erros e são tão importantes para um planejamento estratégico da produção e dos recursos da empresa, é necessário muito cuidado na hora de escolher o modelo mais adequado ao tipo de demanda, o acompanhamento para comprovar sua validade e também na coleta dos dados, além de fazer tudo com o auxílio de métodos estatísticos

de determinação de erros, como soma acumulada dos erros da previsão, erro quadrado médio, desvio padrão e média da soma dos erros absolutos (MARTINS; LAUGENI, 2005).

### 2.3 PESQUISA OPERACIONAL

De acordo com Batalha et al. (2008), a pesquisa operacional visa auxiliar na tomada de decisões por meio da aplicação de métodos científicos para resolver problemas complexos. Porém, ao contrário do que o nome diz, ela não se restringe somente à análise de operações, pode ser usada para auxiliar em quaisquer tomadas de decisão, portanto o campo é muito mais abrangente do que o nome sugere.

Segundo Arenales et al. (2015), a pesquisa operacional recentemente vem sendo chamada de ciência e tecnologia de decisão, onde a parte científica está relacionada com o método científico empregado sobre um objeto de estudo, visando conhecer sua natureza e funcionamento de modo com que as decisões sejam tomadas a partir deste conhecimento obtido. Já a parte tecnológica se relaciona com ferramentas de *hardware* e *software*, que são responsáveis pela coleta, organização e processamento de dados, gerando modelos otimizados bem como seus resultados para posterior comparação (ARENALLES et al., 2015).

Conforme Fávero e Belfiore (2013), a pesquisa operacional está sendo cada vez mais aplicada em diversos segmentos industriais e comerciais com a finalidade de se obter uma utilização mais eficaz dos recursos, como por exemplo estratégia, *marketing*, finanças, operações, logística, recursos humanos, etc.

Ainda de acordo com Arenales et al. (2015), para que se torne possível a formulação de um modelo matemático, é necessário que o objeto de estudo, seja ele um sistema ou um problema real, seja razoavelmente simplificado, de modo com que sua validação ocorra por meio da coerência de seus resultados com o contexto original do problema. Por fim, uma avaliação dos resultados obtidos por meio do modelo matemático proposto é realizada, de modo a se verificar se são adequados ou não. Em caso negativo, o modelo precisa ser revisado visando corrigir suas inconsistências (ARENALLES et al., 2015).

## 2.4 TEORIA DAS FILAS

De acordo com Torres (1966), filas são geradas quando unidades (clientes) não são prontamente atendidas quando chegam aos postos de serviços, sendo obrigadas a esperarem para tal. “Nós entramos em uma fila para descontar um cheque em um banco, para pagar pelas compras em um supermercado, para comprar ingresso em um cinema, para pagar o pedágio em uma estrada e tantas outras situações.” (PRADO, 2017, p. 16).

Segundo Fogliatti (2007), atribui-se à Agner Krarup Erlang, engenheiro dinamarquês, a concepção de Teoria das Filas, pois em 1909 realizou uma análise numa companhia telefônica dinamarquesa (Copenhagen Telephone Company) onde teve de determinar quantos circuitos seriam necessários para oferecer um atendimento considerado aceitável nas chamadas telefônicas.

Conforme Prado (2017), a teoria das filas se utiliza de fórmulas matemáticas para construir um método analítico para abordar o assunto. Portanto, a teoria das filas é um conjunto de conhecimentos de origem matemática que é aplicado às filas com o objetivo de encontrar um ponto de equilíbrio, onde o cliente se encontre satisfeito e que seja viável economicamente para o prestador do serviço, além de que seja possível realizar seu dimensionamento, infraestrutura e quantidade de equipamentos necessários para satisfazer o sistema (COSTA, 2006).

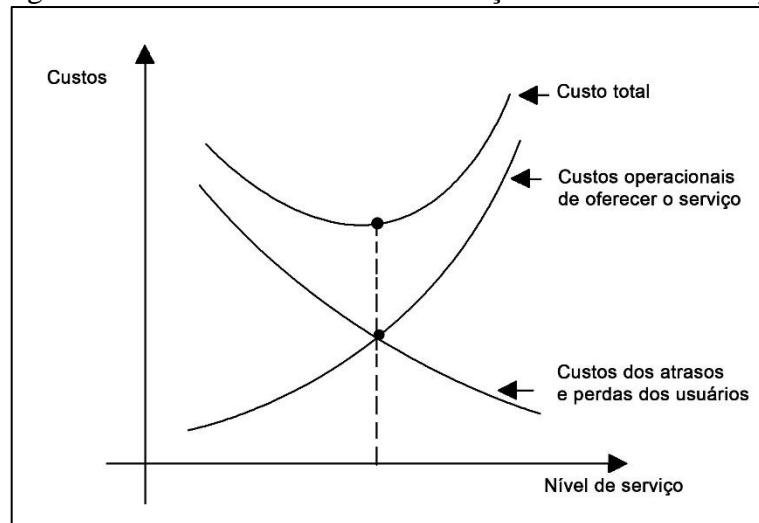
Marins (2011), diz que do ponto de vista econômico não é possível a realização de mudanças de caráter experimental, e por isso é interessante a concepção da teoria das filas, pois permite a criação de um modelo matemático onde é possível analisar e prever o comportamento do sistema modificado, além de fornecer dados para a escolha da modificação mais adequada, de modo a se obter melhorias no sistema.

De acordo com Prado (2017, p. 17) “Como consequências de nossas amargas experiências tomamos algumas atitudes, tais como não mais comprar em um determinado supermercado, mudar a conta bancária para outra agência (ou banco), etc.”, ou seja, a eficiência pode ser fator determinante para a fidelização do cliente. Portanto, conforme Moreira (2017), devem ser analisados os ganhos com a implantação de modificações e as perdas relacionadas à formação de filas, de modo a se encontrar um ponto de equilíbrio, pois as modificações também acarretam custos, sejam pela multiplicação dos postos de trabalho, compra de máquinas, uso de tecnologia, etc.



Segundo Arenales et al. (2015), podemos observar na Figura 3 uma relação inversamente proporcional entre custos de atrasos e custos operacionais, onde é possível notar que quanto maior o investimento em custos operacionais, menores são os custos de atrasos e perdas, e quanto menor o investimento em custos operacionais, maiores são os custos de atrasos e perdas. Em ambos os extremos o custo total é mais elevado, por isso deve ser encontrado o ponto de equilíbrio.

Figura 3 - Curva de custo total em função do nível de serviço



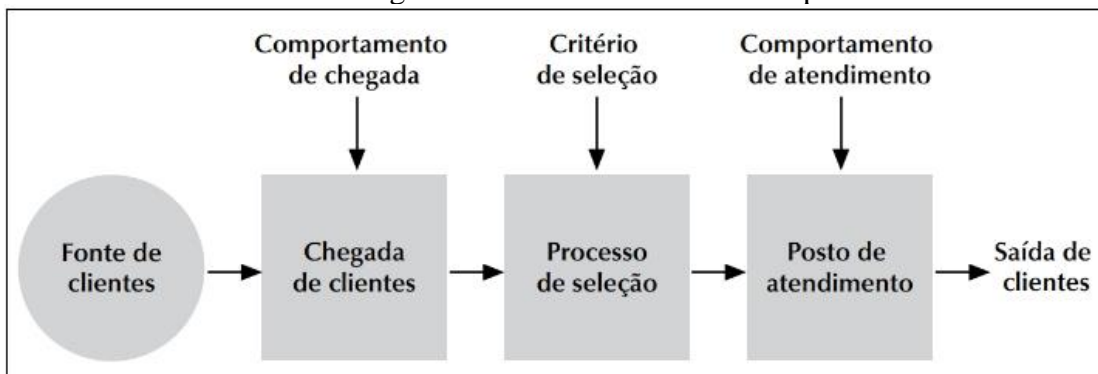
Fonte: Adaptado de Arenales et al, 2015.

No que diz respeito aos clientes, as medidas de desempenho que mais se destacam de acordo com sua importância para os mesmos são: tempo médio de serviço, tempo médio de espera em fila para recebimento do serviço, probabilidade de o tempo de espera ser maior que certo valor, número médio de usuários na fila e probabilidade do tamanho da fila ser maior que certo valor. Já no que tange aos gerentes e operadores de um determinado sistema, as medidas de desempenho que mais tem importância são: utilização média do sistema, número médio de servidores que ficam ocupados, período médio em que os servidores permanecem ocupados atendendo usuários sem interrupção e probabilidade desse período ser maior que um certo valor (ARENALES et al., 2015).

#### 2.4.1 ESTRUTURA BÁSICA DE UM SISTEMA DE FILAS

Conforme Moreira (2017), na Figura 4, é representada a formação de uma fila mais simples possível, porém sendo a situação de ocorrência mais típica.

Figura 4 - Modelo de uma fila simples

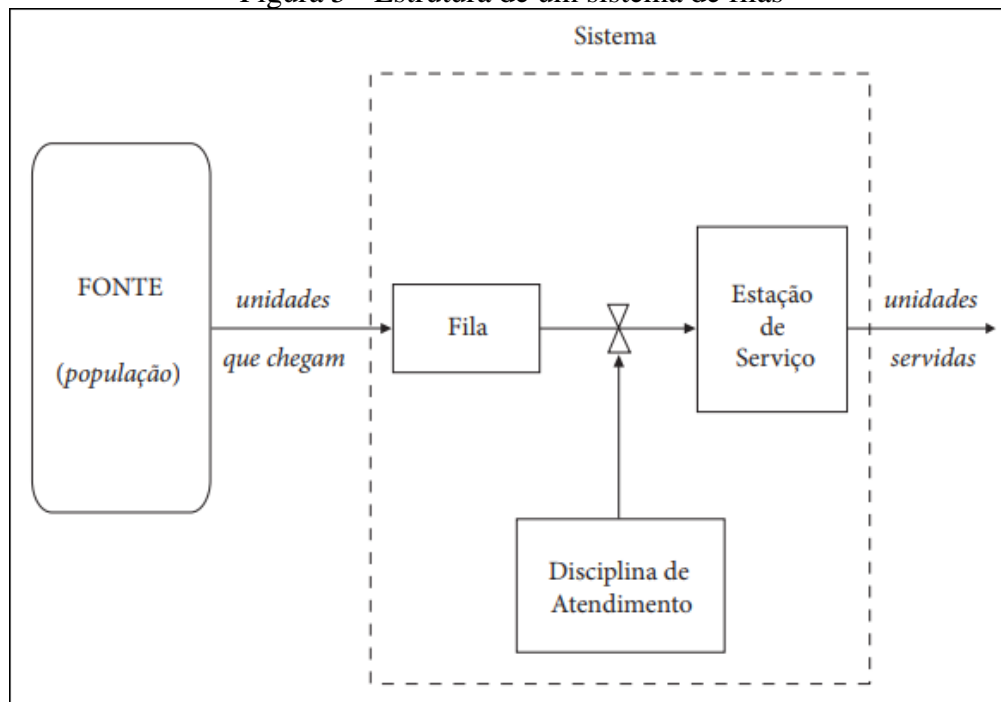


Fonte: Moreira, 2017.

De acordo com Moreira (2017), a fonte de clientes, também chamada de população, é de onde se originam as unidades que serão inseridas no sistema de filas, lembrando que não necessariamente estes clientes serão sempre pessoas. Estas unidades, que chamaremos de clientes, apresentam um certo comportamento de chegada quando chegam ao local que será prestado o serviço (MOREIRA, 2017). Há a possibilidade desses clientes não serem prontamente atendidos, sendo necessário aguardar em uma fila, passando pelo processo de decisão, onde, segundo algum critério serão selecionados para serem atendidos (geralmente o critério utilizado é o FIFO (*first in first out*), onde o primeiro a chegar será o primeiro a ser atendido) (MOREIRA, 2017). Chegada sua vez, o cliente será atendido em um posto de atendimento que terá determinado comportamento de atendimento. Por fim, os clientes deixam o local (MOREIRA, 2017).

Reafirmando o que foi dito no parágrafo anterior, Marins (2011) afirma que para realizar a análise de qualquer sistema de filas, alguns elementos devem ser estudados prioritariamente, são eles: população, processo de chegadas de clientes, organização da fila, disciplina de atendimento e processo de atendimento de clientes, que estão ilustrados na Figura 5.

Figura 5 - Estrutura de um sistema de filas



Fonte: Marins, 2011.

#### 2.4.1.1 A Fonte de Clientes

De acordo com Arenales et al. (2015), os usuários inseridos no sistema de filas são originados da fonte, também chamada de população, que se for relativamente grande é considerada infinita.

Moreira (2017), diz que uma fonte é considerada infinita quando o tamanho da fila não interfere em novas chegadas, o que ocorre tipicamente em lugares como cinemas, teatros, postos de gasolina, supermercados, zonas eleitorais, semáforos, entre outros. Porém, há casos em que existem limites sobre a população, como por exemplo um eletricitista que deve realizar a manutenção de um conjunto de 20 máquinas, onde a população de máquinas pode diminuir consideravelmente, pois a probabilidade de que uma nova máquina exija reparos será afetada diretamente, ou seja, a fonte é considerada finita (MOREIRA, 2017).

Em casos simples de aplicações da teoria das filas, a população geralmente é considerada como infinita, pois torna os cálculos mais fáceis de serem executados em comparação com casos de fontes finitas (MOREIRA, 2017).

#### *2.4.1.2 Processo de Chegada*

Segundo Marins (2011), o processo de chegada de usuários trata-se de uma contagem dos intervalos de tempo entre chegadas sucessivas de usuários no sistema.

“Em geral admitimos que não mais de um usuário pode chegar no mesmo instante; caso contrário, dizemos que pode ocorrer uma chegada em lote” (ARENALES et al., 2015). De acordo com Moreira (2017), o usuário pode chegar ao posto de atendimento sozinho, como carros chegando a um semáforo, pessoas chegando a um caixa eletrônico, ou pode chegar em grupos, como quando um ônibus que para em um restaurante em uma rodovia.

“Quando as chegadas são isoladas ou são uma mistura de chegadas isoladas e de pequenos grupos, faz-se a suposição de que todas as chegadas são isoladas.” (MOREIRA, 2017).

Conforme Marins (2011), em sistemas industriais automatizados, as unidades (garrafas) chegam nos postos de atendimento (envazadores) em intervalos constantes, diferentemente do que acontece em casos mais gerais, como por exemplo clientes chegando ao caixa de um banco ou carros chegando a um posto de pedágio, onde os intervalos de tempo são variáveis aleatórias.

#### *2.4.1.3 Processo de Atendimento*

Assim como no processo de chegada, o processo de atendimento pode ocorrer de forma individual, como em bancos e postos de pedágio, ou em grupos, como filas de ônibus e elevadores (MARINS, 2011).

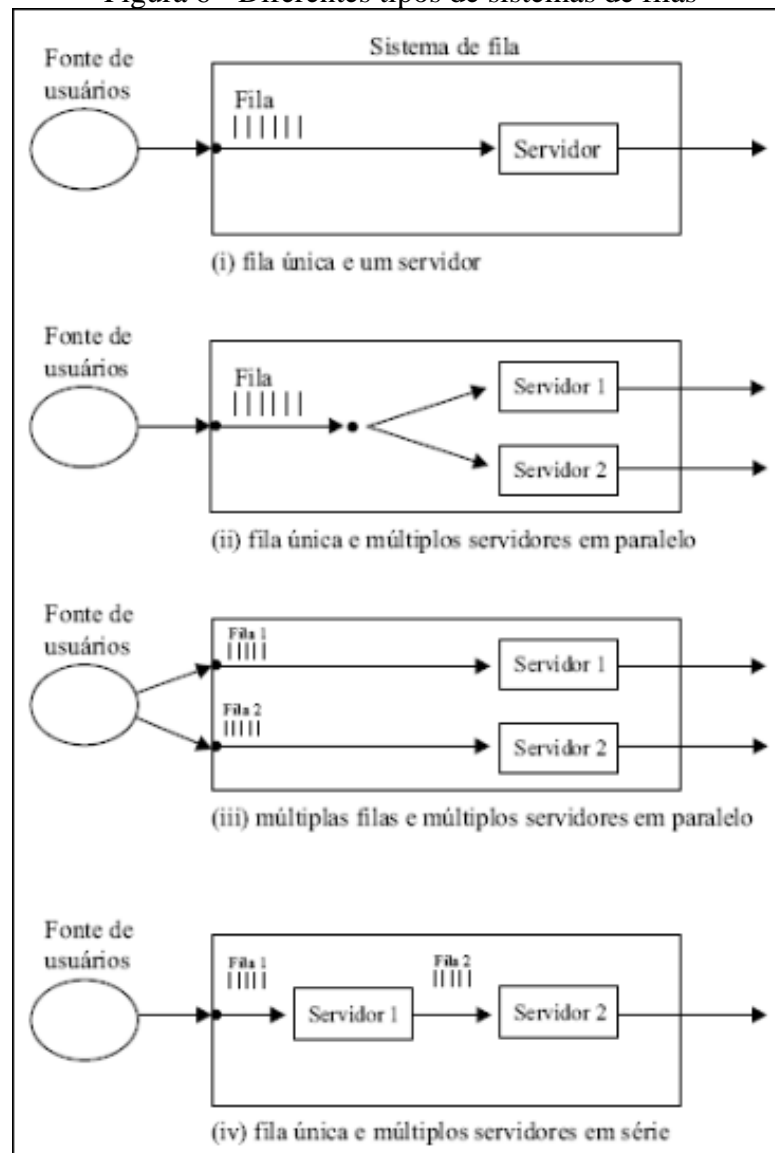
De acordo com Arenales et al. (2015), o processo de atendimento ou processo de serviço é descrito pelo tempo despendido pelo servidor no atendimento de cada usuário que passa pelo sistema. No geral, é de costume admitir que um servidor não pode atender mais de um usuário ao mesmo tempo, se isto ocorre é considerado serviço em lote, como foi dito no exemplo do elevador no parágrafo anterior (ARENALES et al., 2015).

Segundo Marins (2011), a duração do atendimento pode ser constante, de maneira semelhante ao processo de chegada em um sistema industrial automatizado, porém, no geral, é considerado uma variável aleatória com distribuição conhecida que pode depender também do tamanho da fila, como quando colocam mais caixas quando a fila de usuários fica maior.

” Nos modelos mais comuns supõe-se que os tempos de atendimento, dado que existem pessoas sendo atendidas, são variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas.” (MARINS, 2011).

Conforme Moreira (2017), “[...] há muitos e muitos “tipos” diferentes de filas, dependendo das hipóteses restritivas que sejam feitas sobre a operação e o comportamento da fila”. Na Figura 6, a seguir, podemos ver alguns dos diferentes tipos de filas.

Figura 6 - Diferentes tipos de sistemas de filas



Fonte: Adaptado de Arenales et al, 2015.

De acordo com Arenales et al. (2015), as características de cada um destes diferentes tipos de sistemas de filas são:

- i. Fila única e um servidor: este é o tipo de sistema de fila mais comum, onde o usuário chega ao posto de atendimento e é imediatamente atendido, com exceção se o servidor já estiver atendendo outro usuário, neste caso o cliente deve aguardar na fila até que o servidor se desocupe;
- ii. Fila única e múltiplos servidores em paralelo: os usuários chegam ao posto de atendimento e são imediatamente atendidos, a menos que os servidores já estejam ocupados atendendo outros usuários, neste caso o cliente aguarda em fila única até que um dos servidores esteja disponível;

- iii. Múltiplas filas e múltiplos servidores em paralelo: é uma rede de filas do tipo i configuradas em paralelo, que podem ser encontradas em supermercados, podendo ainda serem separadas, por exemplo, por classe de usuários, como caixas normais e caixas rápidos ou preferenciais, entre outros;
- iv. Fila única e múltiplos servidores em série: estes sistemas, também chamados de multiestágios, são uma rede de filas do tipo i configuradas em série, onde os usuários passam por mais de um posto de atendimento antes de deixarem o sistema, como por exemplo nos *drive-in* de *fast-food*, onde o cliente primeiro faz o pedido, depois paga e em seguida retira o mesmo.

#### 2.4.1.4 Disciplina de Atendimento

De acordo com Marins (2011), a disciplina de atendimento diz respeito ao critério aplicado sobre os usuários que estão aguardando por atendimento para selecionar quem será o próximo a receber o serviço. Geralmente a disciplina mais comum a ser adotada e que tem o maior índice de aceitação é a PEPS (Primeiro que Entra, Primeiro que Sai), ou seja, vai de acordo com a ordem de chegada, porém, não é em todos os serviços que é adotada, pois comumente vemos filas que dão prioridade à idosos, gestantes, portadores de necessidades especiais e crianças, como por exemplo em prontos-socorros, onde o estado do cliente também é levado em consideração (MOREIRA, 2017).

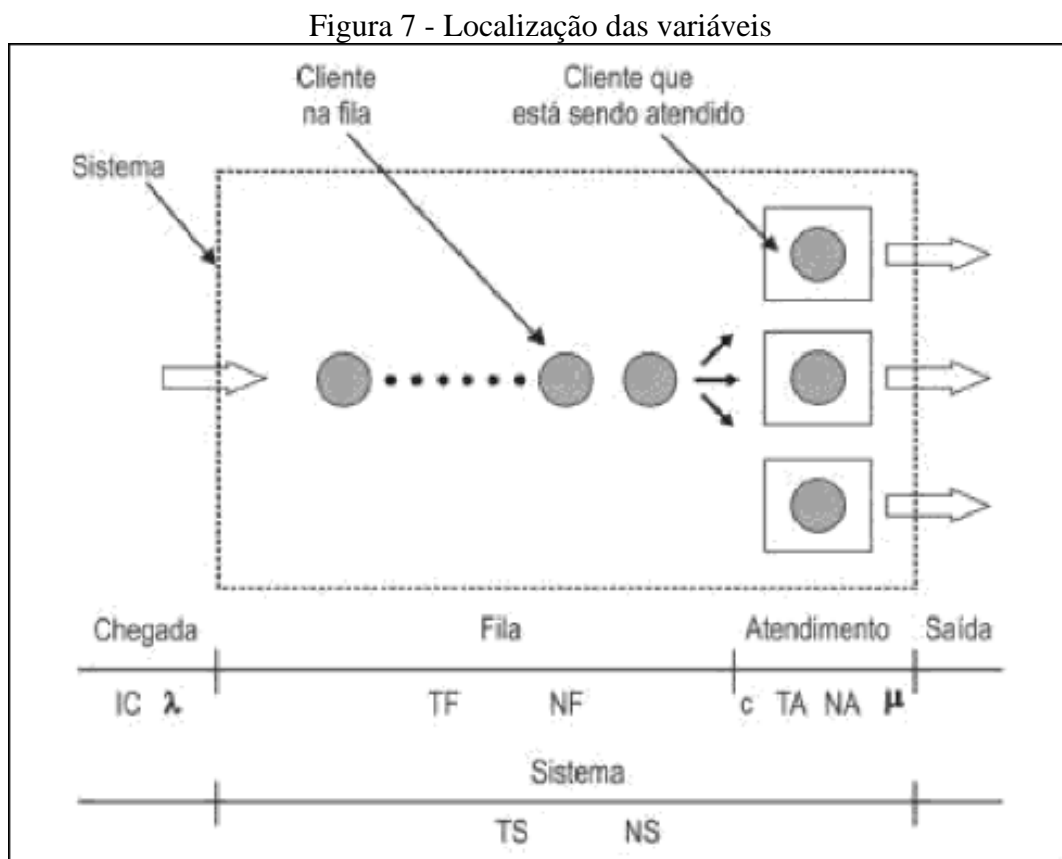
Conforme Arenales et al. (2015), Marins (2011) e Moreira (2017), os principais critérios adotados como disciplinas de filas são:

- FIFO (*First In, First Out*): Primeiro que entra, primeiro que sai (PEPS);
- LIFO (*Last In, First Out*): Último a entrar, primeiro a ser servido (UEPS);
- Prioridade: há um tipo de prioridade onde determinado cliente pode cortar a fila e ser imediatamente o próximo a ser atendido, como em setores de emergência de hospitais;
- Aleatório: não há regra regente sobre a fila, como por exemplo numa prova oral numa escola;

- MTP (Menor Tempo de Processamento): prioriza a execução de tarefas que demandam menos tempo para serem processadas;
- DD (Data Devida): prioriza a execução de tarefas cuja data de entrega está mais próxima.

#### 2.4.1.5 Variáveis Randômicas Fundamentais

De acordo com Prado (2017), dentre as variáveis randômicas, as mais citadas e utilizadas são chamadas de variáveis randômicas fundamentais, que podem ter suas localizações observadas na Figura 7, onde clientes vão chegando aos postos de serviço em que há  $c$  servidores para servi-los. Se estes servidores estiverem ocupados os clientes entram na fila, onde  $\lambda$  é o ritmo médio de chegada e  $\mu$  é o ritmo médio de atendimento para cada servidor.



Fonte: adaptado de Prado (2017).

Conforme Prado (2017), podemos verificar as variáveis referentes ao sistema de filas no Quadro 1.



Quadro 1 - Variáveis influentes no sistema

Variável	Símbolo
Tempo médio de permanência no sistema	TS
Número médio de clientes no sistema	NS
Ritmo médio de chegada	$\lambda$
Intervalo médio entre chegadas	IC
Tempo médio de permanência na fila	TF
Número médio de clientes na fila	NF
Tempo médio de atendimento ou de serviço	TA
Capacidade de atendimento ou quantidade de atendentes	c
Número médio de clientes que estão sendo atendidos	NA
Ritmo médio de atendimento de cada atendente	$\mu$

Algumas relações importantes entre estas variáveis são destacadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Relações importantes entre as variáveis randômicas fundamentais

Nome	Fórmula	Equação
Intervalo entre chegadas	$IC = 1/\lambda$	(1)
Tempo de atendimento	$TA = 1/\mu$	(2)
Taxa de utilização dos atendentes	$\rho = \lambda/c \cdot \mu$	(3)
Intensidade de tráfego	$i =  \lambda/\mu  =  TA/IC $	(4)
Relações entre Fila, Sistema e Atendimento	$NS = NF + NA$	(5)
	$NA = \lambda/\mu$	(6)
	$NS = NF + \lambda/\mu = NF + TA/IC$	(7)
	$TS = TF + TA$	(8)
	$NA = \rho = \lambda/c \cdot \mu$	(9)
Fórmulas de Little (utilizada para calcular o número de clientes na fila e no sistema)	$NF = \lambda \cdot TF$	(10)
	$NS = \lambda \cdot TS$	(11)

Fonte: Adaptado de Prado (2017).

Prado (2017), apresenta as principais relações entre as variáveis fundamentais como:

- 1) Intervalo entre chegadas ( $IC = 1/\lambda$ ): será definido pela média de tempos entre chegadas de clientes na fila.
- 2) Tempo de atendimento ( $TA = 1/\mu$ ): representado pela média dos tempos decorridos durante os atendimentos.
- 3) Taxa de utilização dos atendedores ( $\rho = \lambda/c \cdot \mu$ ): é fração média do tempo em que cada servidor se encontra ocupado, descrito pela divisão do ritmo médio de chegadas ( $\lambda$ ) pela multiplicação do número de servidores ( $c$ ) pelo ritmo médio de atendimento ( $\mu$ ).
- 4) Intensidade de tráfego ( $i = |\lambda/\mu| = |TA/IC|$ ): número mínimo de atendedores necessários para que seja possível atender determinado fluxo de tráfego, sendo expresso pelo próximo valor inteiro que se obtém da divisão do tempo de atendimento ( $TA$ ) pelo intervalo entre chegadas ( $IC$ ), ou da divisão do ritmo médio de chegadas ( $\lambda$ ) pelo ritmo médio de atendimento ( $\mu$ ).
- 5) Número médio de clientes no sistema ( $NS = NF + NA$ ): é obtido pela soma entre o número médio de clientes na fila ( $NF$ ) mais o número médio de clientes atendidos ( $NA$ ).
- 6) Número médio de clientes atendidos ( $NA = \lambda/\mu$ ): é expresso pela divisão do ritmo médio de chegadas ( $\lambda$ ) pelo ritmo médio de atendimento ( $\mu$ ).
- 7) Número médio de clientes no sistema ( $NS = NF + \lambda/\mu = NF + TA/IC$ ): é obtido pela soma do número médio de clientes na fila ( $NF$ ) pela divisão do ritmo médio de chegadas ( $\lambda$ ) pelo ritmo médio de atendimento ( $\mu$ ), ou, da soma do número médio de clientes na fila ( $NF$ ) pela divisão do tempo médio de atendimento ( $TA$ ) pelo intervalo médio entre chegadas ( $IC$ ).
- 8) Tempo médio de permanência no sistema ( $TS = TF + TA$ ): é a soma entre o tempo médio de espera na fila ( $TF$ ) mais o tempo médio de atendimento ( $TA$ ).
- 9) Número médio de clientes atendidos ( $NA = \rho = \lambda/c \cdot \mu$ ): é equivalente à taxa de utilização dos atendedores (equação 3), que é expressa pelo resultado da divisão do ritmo médio de chegadas ( $\lambda$ ) pela multiplicação do número de servidores ( $c$ ) pelo ritmo médio de atendimento ( $\mu$ ).

- 10) Número médio de clientes na fila ( $NF = \lambda \cdot TF$ ): para um sistema de filas estável, o número médio de clientes na fila é representado pelo produto do ritmo médio de chegada ( $\lambda$ ) pelo tempo de permanência na fila ( $TF$ ).
- 11) Número médio de clientes no sistema ( $NS = \lambda \cdot TS$ ): para um sistema de filas estável, o número médio de clientes no sistema é obtido pelo produto do ritmo médio de chegada de clientes ( $\lambda$ ) pelo tempo médio de permanência no sistema ( $TS$ ).

#### 2.4.1.6 Distribuições Probabilísticas

De acordo com Moreira (2010), tanto a taxa de chegada quanto a taxa de atendimento dos clientes podem se comportar de forma determinística, em casos onde a chegada ou o atendimento ocorrem dentro de uma unidade de tempo especificada e constante, ou podem adquirir uma configuração probabilística, em casos onde a chegada ou o atendimento se alteram de um cliente para outro, fazendo com que ocorram em unidades de tempo variáveis, ou seja, assumimos que se distribuirá segundo alguma distribuição de probabilidades mais adequada.

Conforme Arenales et al. (2015), a chegada de usuários, em muitos sistemas de fila, ocorre de maneira aleatória, onde a chegada de um cliente não afeta direta nem indiretamente a chegada de outro. Nestes casos a distribuição de probabilidade exponencial é a mais adequada, pois estes intervalos de tempo aleatórios são caracteristicamente descritos por este tipo de distribuição. Além disso, como visto no parágrafo anterior o que foi dito por Moreira (2010), não é somente a chegada dos clientes que pode se comportar dessa maneira aleatória descrita pela distribuição exponencial, mas também o tempo de atendimento dos servidores.

Já a distribuição de Poisson, também chamada de modelo de nascimento e morte, é utilizada para descrever um sistema de filas em que a taxa de chegada ou de atendimento de usuários depende do estado em que o sistema se encontra em determinado instante, isto é, do número de usuários presentes no sistema. Portanto, na distribuição de Poisson, essas taxas indicam os números médios de usuários por unidade de tempo (ARENALES et al., 2015).

No Quadro 3 podemos observar estas distribuições de probabilidades referentes às chegadas e aos atendimentos de acordo com suas respectivas grandezas (MOREIRA, 2010).

Quadro 3 - Grandezas e distribuições de probabilidade na chegada e no atendimento

<b>Grandezas</b>	<b>Chegada</b>	<b>Atendimento</b>	<b>Médias</b>
Número de chegadas na unidade de tempo (taxa de chegada)	Poisson		$\lambda$
Tempo decorrido entre chegadas consecutivas	Exponencial		$\frac{1}{\lambda}$
Número de atendimentos na unidade de tempo (taxa de atendimento)		Poisson	$\mu$
Tempo decorrido entre dois atendimentos consecutivos		Exponencial	$\frac{1}{\mu}$

Fonte: Moreira (2010).

## 2.5 SIMULAÇÃO

De acordo com Silva et al. (2017), uma das técnicas mais utilizadas da pesquisa operacional é a simulação, que, com o auxílio de um modelo, visa reproduzir o funcionamento de um sistema, buscando realizar o teste de algumas hipóteses por meio do valor de algumas variáveis controladas, onde os resultados são utilizados para melhorar o próprio sistema.

Portanto, para ressaltar o que foi dito no parágrafo anterior, Arenales et al. (2015) diz que “a simulação envolve a construção de um modelo aproximado da realidade, o qual será operado muitas e muitas vezes, analisando-se então seus resultados para que ele possa ser mais bem compreendido, manipulado e controlado.”

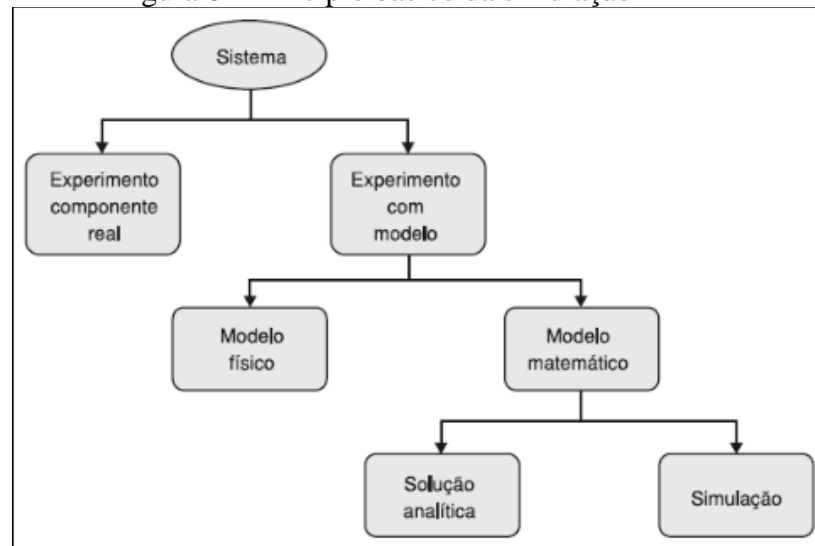
Modelos dinâmicos de simulação se utilizam de um histórico de informações a partir de determinado período até o período presente, onde é possível notar as mudanças ocorridas e avaliar os resultados obtidos com tais mudanças (SILVA et al., 2017).

Ainda de acordo com Silva et al. (2017), o tipo de simulação que envolve sistemas que possuem aleatoriedade em seus dados é chamada simulação estocástica ou de Monte Carlo, que, devido à grande quantidade de dados que deve ser processada, é viabilizada pelo uso de softwares em computadores.

Durante uma simulação, o que desejamos saber é o comportamento das variáveis de interesse, o que é possível quando simulamos os valores de uma ou mais dessas variáveis e analisamos e mensuramos os efeitos dessa simulação sobre as outras variáveis de interesse (ARENALES et al., 2015).

É comum, segundo Silva et al. (2017), os modelos de simulação aparecerem na forma de jogos de empresa, simuladores de voo, modelos físicos de aeronaves para testes em túneis de vento, entre outros. “Outra opção seria construir aeronaves reais com projetos alternativos e testá-los em voos reais para escolher o projeto final, no entanto, isso seria muito caro (além de não ser seguro)” (HILLIER; LIEBERMAN, 2013, p. 898). A Figura 8, de acordo com Vargas e Paglione (2015), mostra o princípio que deve ser seguido para a realização de uma simulação.

Figura 8 - Princípio básico da simulação



Fonte: adaptado de Vargas e Paglione (2015).

Conforme Hillier e Lieberman (2013), para que seja possível a simulação de um sistema complexo, um modelo de simulação bem detalhado deve ser formulado para descrever o sistema, suas operações e como deve ser simulado. Ainda de acordo com Hillier e Lieberman (2013), alguns dos passos para a construção de tal modelo estão listados a seguir:

1. Definição do estado do sistema (ex.: número de clientes num sistema de filas);
2. Registrar os possíveis estados que podem ocorrer no sistema;
3. Registrar os possíveis eventos que mudariam o estado do sistema (ex.: chegadas e término de atendimentos num sistema de filas);

4. Providenciar um relógio a fim de registrar o decorrer do tempo de simulação;
5. Providenciar um método para gerar diversos tipos de eventos aleatórios;
6. Providenciar uma fórmula que identifique as mudanças de estado geradas pelos diversos tipos de eventos.

Ainda de acordo com Hillier e Lieberman (2013), com o objetivo de integrar de maneira eficiente em um programa de computador o modelo a ser simulado, diversos avanços ocorreram no desenvolvimento de *softwares*. Quando se formula um detalhado modelo de simulação, ainda levará algum tempo para desenvolver e trabalhar tal modelo nos programas e saber qual será utilizado, além de ser necessária a realização de longos processos para tratar todos os dados, principais e secundários, visando a qualidade e a obtenção de indicadores de desempenho deles.

No Quadro 4, podemos ver os tipos de simulação e suas características de acordo com Chwif e Medina (2015).

Quadro 4 - Tipos de simulações

<b>Simulação de Monte Carlo</b>	Utiliza geradores de números aleatórios para simular sistemas físicos ou matemáticos, nos quais não se considera o tempo explicitamente como uma variável. É particularmente útil para a solução de problemas matemáticos complexos que surgem no cálculo integral.
<b>Simulação Contínua ou Simulação de Sistemas Dinâmicos</b>	Utilizada para modelar sistemas cujo estado varia continuamente no tempo. Por exemplo: uma xícara de chá quente colocada à temperatura ambiente. O fenômeno do resfriamento do chá é contínuo no tempo, e o seu estudo pode ser melhor conduzido por uma Simulação Contínua. Utiliza-se de equações diferenciais para o cálculo das mudanças das variáveis de estado ao longo do tempo. Diferente da Simulação de Eventos Discretos, a modelagem de um sistema dinâmico foca as relações de causa e efeito entre as variáveis ou elementos do sistema simulado. Além disso a base dos modelos de sistemas dinâmicos é a retroalimentação de informações.
<b>Simulação de Eventos Discretos</b>	Utilizada para modelar sistemas que mudam o seu estado em momentos discretos no tempo, a partir da ocorrência de eventos. A preparação da xícara de chá do exemplo da Simulação Contínua envolve três eventos: a colocação da água quente na xícara, a colocação do chá na água quente e a disponibilização do chá. O relógio de simulação sempre indica um instante em que um evento acontece.
<b>Simulação Combinada ou Híbrida</b>	Em casos raros, pode ser necessário construir um modelo de simulação que compreenda simultaneamente aspectos das Simulações Contínuas e Discretas.
<b>Simulação Baseada em Agentes</b>	Simulação realizada por meio da construção do modelo de um sistema baseado em uma coleção de entidades de decisão autônomas, denominadas agentes, que residem em um ambiente e são capazes de interagir entre si quanto com seu ambiente. A partir do comportamento individual dos agentes (ações e interações) obtém-se como resultado o comportamento global observável do sistema.

Fonte: Adaptado de Chwif e Medina (2015).

Segundo Gregório e Lozada (2019), vantagens como redução de tempo, redução de custos, testar diferentes cenários sem intervir no funcionamento do sistema real, entre outras, são alcançadas por meio da utilização de ferramentas computacionais nos projetos de simulação, onde a equipe deve ser responsável por escolher a ferramenta que mais se adequa às necessidades dos projetos. No Quadro 5 estão dispostos alguns destes *softwares* e as empresas responsáveis pelo seu desenvolvimento ou comercialização.

Quadro 5 - Principais *softwares* de simulação

<b>Software</b>	<b>Empresa</b>
Flexsim	Flexsim Software Products
Arena	Systems Modeling Corporation – Rockwell Software
Promodel	Promodel Corporation
Powersim	Powersim AS
Extend	Extend Software
Stella	High Performance System Incorporation

Fonte: Adaptado de Gregório e Lozada (2019).

Destes *softwares* presentes no Quadro 5, os três que são mais utilizados por empresas brasileiras são o Promodel, o Arena e o Flexsim. As razões pelas quais eles são os mais utilizados são o fato de permitirem a simulação de inúmeros sistemas produtivos, seja de produção de bens ou de serviços, são facilmente aplicáveis e não exigem conhecimento muito aprofundado em programação (GREGÓRIO; LOZADA, 2019).

O Promodel, de acordo com o site da empresa comercializadora, é capaz de acelerar a melhoria de processos de produção, logística ou outros sistemas operacionais ao mesmo tempo em que elimina riscos. O programa tem o foco em utilização de recursos, capacidade do sistema, melhoria de processos, análise de rendimento e gargalo, cadeia de suprimentos e logística e níveis de atendimento ao cliente por meio da visualização facilitada do ambiente de negócios, da análise e comparação de cenários independentes e da otimização da performance da empresa (PROMODEL, 2021).

Já o Arena, de acordo com o site da *Paragon Decision Science*, empresa comercializadora do *software*, tem capacidade de melhorar a visibilidade do sistema que está sendo simulado, explorar novas oportunidades, identificar e solucionar problemas, mitigar ou eliminar gargalos, custos operacionais e tempos de entrega, além de possuir um recurso que permite a visualização do sistema simulado em 3D. A principal vantagem do Arena é que não é necessário, para a realização da simulação, o conhecimento da linguagem de programação, pois o sistema é modelado de acordo com fluxogramas, o que torna o *software* em algo muito prático (ARENA, 2021).

Por fim, o *software* Flexsim, de acordo com o site da própria empresa, é um programa que também se assemelha aos que já foram descritos, porém sua simulação 3D possui uma representação gráfica muito mais desenvolvida, tornando a parte visual de um projeto muito nítida e com um nível de detalhamento mais elevado (FLEXSIM, 2021). Também se destaca pela possibilidade de importações de desenhos tridimensionais do CAD, assim como a própria



planta baixa para representação da empresa em que será realizada a simulação, mantendo-se fiel ao cenário original e, portanto, aumentando a confiabilidade e precisão dos tempos e resultados obtidos (FLEXSIM, 2021).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO

Segundo Rodrigues (2007), metodologia é o conjunto de abordagens, técnicas e procedimentos utilizados com a finalidade de entender e resolver, de modo sistemático, problemas específicos.

Conforme Turrioni e Mello (2012), a classificação das pesquisas científicas é um assunto bastante controverso, porém há uma forma clássica para a classificação delas, que se baseia em sua natureza, objetivos, abordagem e método.

Tendo isso em vista, a pesquisa realizada é de natureza aplicada, a qual, segundo Turrioni e Mello (2012), caracteriza-se pelo seu interesse prático, onde os resultados sejam aplicados ou utilizados na solução de problemas reais. Para Appolinário (2006), a pesquisa aplicada é fomentada por objetivos comerciais por meio do desenvolvimento de novos processos ou produtos voltados às necessidades do mercado.

No que diz respeito aos objetivos, a pesquisa pode ser classificada como descritiva, pois, de acordo com Turrioni e Mello (2012), visa estabelecer as relações entre variáveis e envolve o uso de técnicas para coleta de dados, como a observação sistemática que foi aplicada no presente estudo.

Ainda de acordo com Turrioni e Mello (2012), quanto a forma de abordar o problema, a pesquisa possui caráter combinado, usufruindo tanto de aspectos da pesquisa qualitativa quanto da pesquisa quantitativa.

Em relação ao método, o trabalho assume um formato que pode ser considerado uma mescla de um estudo de caso com uma modelagem e simulação, onde, segundo Turrioni e Mello (2012), a modelagem e simulação é empregada a fim de se descobrir como um sistema responderá às modificações propostas por meio de um modelo de um sistema real e o estudo de caso pois envolve a permissão do conhecimento amplo e detalhado por meio do estudo exaustivo de um ou poucos objetos.

### 3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A execução do trabalho foi realizada de acordo com as etapas descritas abaixo:

- **Fundamentação teórica:** leitura e análise de livros, artigos e monografias referentes à capacidade produtiva, gestão de demanda, pesquisa operacional, teoria das filas, modelagem e simulação.
- **Coleta de dados:** coleta de dados referente ao sistema de filas foi realizada através de observação *in loco* na seção de pagamento de um supermercado, onde foram coletados os tempos de intervalo entre as chegadas de clientes e também os tempos de atendimento que cada atendente levou para atender aquele cliente.
- **Tratamento dos dados:** após a coleta dos dados os mesmos foram analisados e tratados, visando obter maior conhecimento sobre o comportamento do sistema e adequá-los para realizar o *input* no *software* de simulação (Arena), que só ocorreu posteriormente ao ajuste realizado em um módulo do próprio Arena chamado *Input Analyzer*, que se baseia nos dados inseridos para encontrar uma distribuição probabilística que mais se adeque aos mesmos.
- **Modelagem e simulação:** criação de um modelo computacional do cenário real do estabelecimento via *software*, que é alimentado pelos dados tratados.
- **Resultados:** a partir da análise dos dados obtidos no relatório da simulação do cenário real, pode-se observar as características e o desempenho do sistema estudado para que posteriormente fossem desenvolvidos outros cenários visando melhorias.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 DESCRIÇÃO DO CASO

Para o desenvolvimento da pesquisa foi realizado um estudo de caso em um supermercado varejista da região de Piracicaba. Com o intuito de se estudar as características referentes aos sistemas de filas existentes nos caixas, foram coletados os dados dos tempos de atendimento para cada atendente e do intervalo entre chegadas de clientes na fila de cada caixa, que podem ser observados no ANEXO A.

Para selecionar a data de coleta dos dados, foi consultado o gerente do respectivo supermercado, de modo com que ele auxiliasse a direcionar a data de coleta de dados em dias em que ocorrem um fluxo relativamente elevado de pessoas no local, que, segundo o gerente, ocorre entre o último dia útil de cada mês até o quinto dia útil do mês subsequente, principalmente no período do fim de tarde até a noite, que é quando as pessoas saem do trabalho.

Os dados foram coletados via observação *in loco*, visto que o gerente não permitiu o acesso às câmeras do setor dos caixas do supermercado. Este processo foi realizado num período de quatro horas (16h às 20h), onde foram coletados durante duas horas os dados dos caixas 1 e 2 simultaneamente e por mais duas horas os dados dos caixas 3 e 4, também simultaneamente. Esse processo foi repetido durante dois dias de coleta sendo que foram selecionados somente os dados referentes ao dia com maior fluxo (sábado (02/11/2019)), visto que este representa os picos de demanda.

Sobre a configuração do sistema de filas da seção dos caixas do supermercado, podemos propor as seguintes afirmações descritas no Quadro 6.

Quadro 6 - Características das filas do supermercado

<b>Variáveis de um sistema de filas</b>	<b>Características do modelo do supermercado</b>
Disciplina	FIFO ( <i>first in first out</i> )
Número de caixas	4
Processo de Atendimento	Múltiplas filas e múltiplos servidores em paralelo
População	Infinita

Fonte: autoria própria.

A disciplina seguida pelos clientes enquanto na fila dos caixas, podemos ver que segue o padrão de atendimento utilizado em outras empresas do mesmo ramo, ou seja, o FIFO, onde o primeiro cliente que chega na fila também é o primeiro a deixá-la, e assim sucessivamente.

O estabelecimento conta com quatro estações (caixas) que permanecem em operação ao longo de todo o dia. Temos também a presença de uma quinta estação, porém, ela não é utilizada desde muito tempo, portanto, encontra-se desativada.

No que diz respeito ao processo de atendimento, cada caixa tem sua respectiva fila, ficando dispostas paralelamente, onde os próprios clientes as formam de acordo com alguns critérios de escolha, sendo eles, na maioria das vezes, o número de clientes já na fila.

Como a população, que representa os clientes do supermercado, é muito grande para ser mensurada, consideramos a mesma como infinita, mas no caso do presente trabalho vemos que o número de clientes que passou pelo caixa durante a coleta de dados foi de 120 clientes.

#### 4.2 VALIDAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA

O início da análise do modelo proposto para o cenário real, demanda avaliar os tempos entre chegadas de clientes para cada caixa e, com o auxílio do *software Input Analyzer*, foram geradas quatro distribuições para representar as taxas de chegadas de clientes nas filas dos 4 caixas, que podemos ver na Figura 9, abaixo.

Figura 9 - Expressões para tempo entre chegada de clientes

(a)	(b)
<p>Sumário da Distribuição</p> <p>Distribuição: Weibull            Expressão: 22 + WEIB(146, 0.848)            Erro quadrático: 0.001214</p> <p>Teste do Chi-Quadrado            Número de intervalos = 2            Graus de liberdade = -1            Teste Estatístico = 0.036            P-value correspondente &lt; 0.005</p> <p>Teste de Kolmogorov-Smirnov            Teste Estatístico = 0.13            P-value correspondente &gt; 0.15</p>	<p>Sumário da Distribuição</p> <p>Distribuição: Triangular            Expressão: TRIA(38, 128, 553)            Erro quadrático: 0.018445</p> <p>Teste do Chi-Quadrado            Número de intervalos = 4            Graus de liberdade = 2            Teste Estatístico = 2.05            P-value correspondente = 0.381</p> <p>Teste de Kolmogorov-Smirnov            Teste Estatístico = 0.132            P-value correspondente &gt; 0.15</p>

(c)	(d)
<p>Sumário da Distribuição</p> <p>Distribuição: Weibull  Expressão: 41 + WEIB(153, 1.01)  Erro quadrático: 0.017200</p> <p>Test do Chi-Quadrado  Número de intervalos = 3  Graus de liberdade = 0  Teste Estatístico = 1.18  P-value correspondente &lt; 0.005</p> <p>Teste de Kolmogorov-Smirnov  Teste Estatístico = 0.138  P-value correspondente &gt; 0.15</p>	<p>Sumário da Distribuição</p> <p>Distribuição: Beta  Expressão: 24 + 379 * BETA(0.911, 1.19)  Erro quadrático: 0.004210</p> <p>Test do Chi-Quadrado  Número de intervalos = 4  Graus de liberdade = 1  Teste Estatístico = 0.4  P-value correspondente = 0.539</p> <p>Teste de Kolmogorov-Smirnov  Teste Estatístico = 0.0813  P-value correspondente &gt; 0.15</p>

- (a) – Expressão para tempo de atendimento do caixa 1  
(b) – Expressão para tempo de atendimento do caixa 2  
(c) – Expressão para tempo de atendimento do caixa 3  
(d) – Expressão para tempo de atendimento do caixa 4

Do mesmo modo, foram utilizados os dados dos tempos de atendimento de cada caixa para gerar as distribuições que representassem a taxa com que cada cliente é atendido por cada atendente, que podemos ver na Figura 10.

Figura 10 - Expressões para tempo de atendimento dos caixas

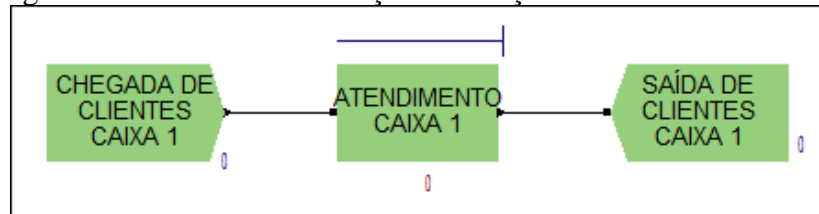
(a)	(b)
<p>Sumário da Distribuição</p> <p>Distribuição: Weibull  Expressão: 24 + WEIB(155, 0.939)  Erro quadrático: 0.002204</p> <p>Test do Chi-Quadrado  Número de intervalos = 3  Graus de liberdade = 0  Teste Estatístico = 0.0244  P-value correspondente &lt; 0.005</p> <p>Teste de Kolmogorov-Smirnov  Teste Estatístico = 0.157  P-value correspondente &gt; 0.15</p>	<p>Sumário da Distribuição</p> <p>Distribuição: Triangular  Expressão: TRIA(53, 85.1, 548)  Erro quadrático: 0.001584</p> <p>Test do Chi-Quadrado  Número de intervalos = 4  Graus de liberdade = 2  Teste Estatístico = 0.333  P-value correspondente &gt; 0.75</p> <p>Teste de Kolmogorov-Smirnov  Teste Estatístico = 0.156  P-value correspondente &gt; 0.15</p>
(c)	(d)
<p>Sumário da Distribuição</p> <p>Distribuição: Beta  Expressão: 56 + 231 * BETA(1.27, 1.56)  Erro quadrático: 0.011677</p> <p>Test do Chi-Quadrado  Número de intervalos = 4  Graus de liberdade = 1  Teste Estatístico = 0.932  P-value correspondente = 0.363</p> <p>Teste de Kolmogorov-Smirnov  Teste Estatístico = 0.0934  P-value correspondente &gt; 0.15</p>	<p>Sumário da Distribuição</p> <p>Distribuição: Weibull  Expressão: 61 + WEIB(127, 1.04)  Erro quadrático: 0.029593</p> <p>Test do Chi-Quadrado  Número de intervalos = 3  Graus de liberdade = 0  Teste Estatístico = 3.16  P-value correspondente &lt; 0.005</p> <p>Teste de Kolmogorov-Smirnov  Teste Estatístico = 0.137  P-value correspondente &gt; 0.15</p>

- (a) – Expressão para tempo de atendimento do caixa 1  
(b) – Expressão para tempo de atendimento do caixa 2  
(c) – Expressão para tempo de atendimento do caixa 3  
(d) – Expressão para tempo de atendimento do caixa 4

Como se pode notar, em todas as distribuições que foram geradas, a variável denominada “P-value correspondente” para o teste de Kolmogorov-Smirnov teve resultado maior que 0,15, o que significa que temos uma amostragem significativa e que as expressões geradas são consideradas confiáveis.

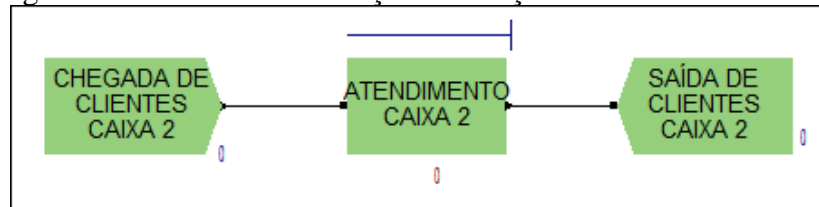
Em seguida, após serem geradas todas as distribuições tanto para os tempos entre chegadas de clientes em cada caixa quanto para os tempos de atendimento de cada atendente, utilizando o Arena, foram gerados modelos representando estação por estação (Figuras 11, 12, 13 e 14), para verificar se as distribuições geradas pelo *software* se aproximavam dos dados reais, modelos estes que chamaremos de modelos de validação.

Figura 11 - Modelo de validação da estação de trabalho do caixa 1



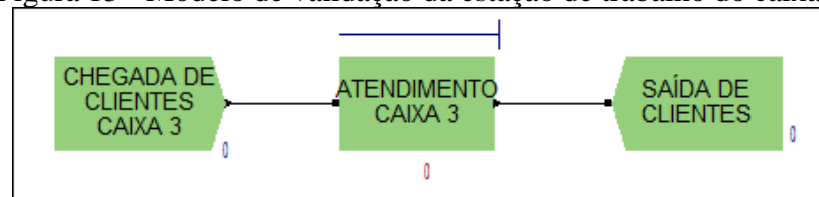
Fonte: autoria própria.

Figura 12 - Modelo de validação da estação de trabalho do caixa 2



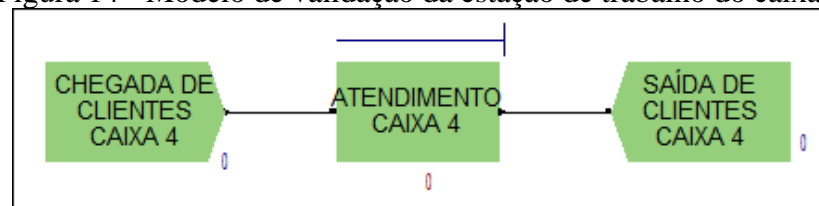
Fonte: autoria própria.

Figura 13 - Modelo de validação da estação de trabalho do caixa 3



Fonte: autoria própria.

Figura 14 - Modelo de validação da estação de trabalho do caixa 4



Fonte: autoria própria.

Como pode-se observar, temos a presença de três módulos diferentes nestes modelos, são eles: “*Create*”, “*Process*” e “*Leave*”. O módulo “*Leave*” serve somente para registrar a saída dos clientes do sistema e não exige uma fórmula ou expressão. Já os módulos “*Create*” e “*Process*” servem, respectivamente, para registrar a taxa de entrada de clientes no sistema e para determinar a taxa de atendimento do atendente de cada caixa. Como exemplo, podemos ver na Figura 15 a estrutura dos módulos “*Create*” e “*Process*” para o caixa 1.

Figura 15 - Módulos “*Create*” e “*Process*” para o caixa 1

The image shows two side-by-side screenshots of software configuration windows. The left window is titled 'Create' and the right window is titled 'Process'. Both windows have a standard Windows-style title bar with a question mark and a close button.

**Create Window:**

- Name:** CHEGADA DE CLIENTES CAIXA 1
- Entity Type:** Entity 1
- Time Between Arrivals:**
  - Type:** Expression
  - Expression:** 22+WEIB(146,0.1
  - Units:** Seconds
- Entities per Arrival:** 1
- Max Arrivals:** Infinite
- First Creation:** 0.0
- Comment:** (empty text box)
- Buttons:** OK, Cancelar, Ajuda

**Process Window:**

- Name:** ATENDIMENTO CAIXA 1
- Type:** Standard
- Logic:** (empty)
- Action:** Seize Delay Release
- Priority:** Medium(2)
- Resources:**
  - Resource, ATENDENTE 1, 1
  - <End of list>
  - Buttons: Adicionar..., Editar..., Excluir
- Delay Type:** Expression
- Units:** Seconds
- Allocation:** Value Added
- Expression:** 24+WEIB(155,0.939)
- Report Statistics
- Comment:** (empty text box)
- Buttons:** OK, Cancelar, Ajuda

Fonte: autoria própria,

Após desenvolver os modelos de validação referentes à cada estação, foi executada a simulação durante o tempo aproximado que levou para serem coletados os dados de cada caixa (2 horas) e posteriormente foi feita a comparação com os dados da amostra.

Nas Tabelas 1, 2, 3 e 4, é possível visualizar comparações dos resultados obtidos nos relatórios das simulações dos modelos de validação de cada estação de trabalho em relação aos dados da amostra.



Tabela 1 - Comparação de taxas de utilização

	CAIXA 1	CAIXA 2	CAIXA 3	CAIXA 4
<b>DURAÇÃO DA COLETA DE DADOS (SEGUNDOS)</b>	5684	7189	5819	5661
<b>SOMATÓRIA DOS TEMPOS DE ATENDIMENTO</b>	5479	6861	4798	5603
<b>UTILIZAÇÃO CENÁRIO REAL (%)</b>	96,39%	95,44%	82,45%	98,98%
<b>UTILIZAÇÃO MODELOS (%)</b>	89,99%	92,12%	78,06%	93,14%
<b>DIFERENÇA DE UTILIZAÇÃO (%)</b>	6,40%	3,32%	4,39%	5,84%

Fonte: autoria própria.

De acordo com Chwif e Medina (2015), temos três níveis de validação, onde o primeiro é o qualitativo, o segundo é o quantitativo informal e o terceiro é o quantitativo formal. No primeiro nível, temos uma validação mais simples do modelo, onde é analisado se o recurso mais utilizado no modelo construído corresponde ao recurso mais utilizado no cenário real e, da mesma forma, para o recurso menos utilizado. Observando-se os dados da Tabela 1, acima, nota-se que sim, que os recursos mais e menos utilizados no modelo construído correspondem aos recursos mais e menos utilizados no cenário real, portanto a validação qualitativa está aprovada.

Tabela 2 - Comparação de tempos de atendimento médios

	CAIXA 1	CAIXA 2	CAIXA 3	CAIXA 4
<b>TEMPO MÉDIO (AMOSTRA)</b>	182,63	228,70	159,93	186,77
<b>TEMPO MÉDIO (RELATÓRIO)</b>	212,19	236,20	153,01	201,00
<b>DIFERENÇA</b>	29,56	7,50	6,92	14,23
<b>DIFERENÇA/TEMPO MÉDIO (AMOSTRA)</b>	16,19%	3,28%	4,33%	7,62%

Fonte: autoria própria.

Tabela 3 - Comparação do número de clientes que entraram no sistema

<b>NUMBER IN TOTAL (AMOSTRA)</b>	120
<b>NUMBER IN TOTAL (MODELO)</b>	118
<b>DIFERENÇA</b>	2
<b>DIFERENÇA (%)</b>	1,67%

Fonte: autoria própria.

Tabela 4 - Comparação do número de clientes que saíram do sistema

<b>NUMBER OUT TOTAL (AMOSTRA)</b>	120
<b>NUMBER OUT TOTAL (MODELO)</b>	100
<b>DIFERENÇA</b>	20
<b>DIFERENÇA (%)</b>	16,67%

Fonte: autoria própria.

Ainda de acordo com Chwif e Medina (2015), o segundo nível de validação, que é o quantitativo informal, aborda questões como as características da fila e produção diária. Para o

caso do supermercado, podemos considerar como produção o número de clientes atendidos, que estão nas Tabelas 2, 3 e 4, acima. Observando os dados acima, nota-se a proximidade dos dados do cenário real com o modelo criado, portanto pode-se considerar a validação quantitativa informal como aprovada.

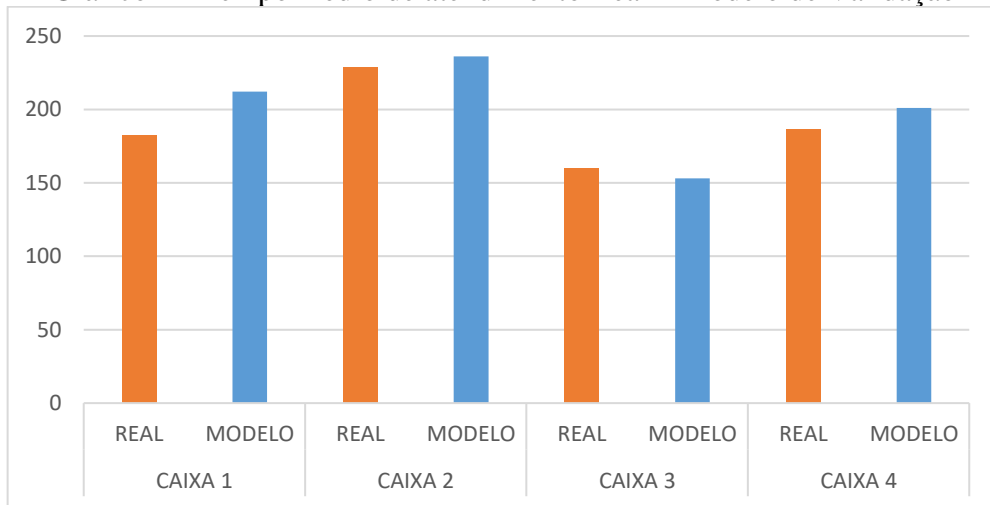
Para o terceiro nível de validação, que é o quantitativo formal, Chwif e Medina (2015) explicam que a técnica estatística mais utilizada é o teste de inferência sobre a diferença entre duas médias de amostras independentes, onde seria necessário aplicar na fórmula abaixo tanto os dados da amostra como os dados gerados pelo modelo criado, porém, a aplicação desta fórmula implica em uma comparação de  $n$  replicações de uma simulação com  $n$  replicações de resultados reais, portanto, para que esse nível de validação pudesse ser aplicado, necessitaria-se de mais de uma amostra em um outro dia no mesmo horário, o que não foi possível, visto que houve uma certa relutância por parte do gerente do supermercado em permitir a coleta de dados em outros dias, ou seja, faltaram dados para chegar ao terceiro nível de validação.

Porém, na falta do terceiro nível de validação, podemos utilizar o resultado obtido para a variável “*p-value*” do teste de Kolmogorov-Smirnov obtida no momento de gerar as expressões de distribuição dos tempos de atendimento e tempos de chegada de clientes no sistema. Para todas as distribuições geradas, vemos que os resultados da variável “*p-value*” foi sempre “ $> 0,15$ ”, o que significa que há uma grande probabilidade de que a diferença observada entre os grupos seja obra do acaso e que não há diferença significativa entre os grupos.

#### 4.2.1 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DOS MODELOS DE VALIDAÇÃO COM OS DADOS AMOSTRAIS

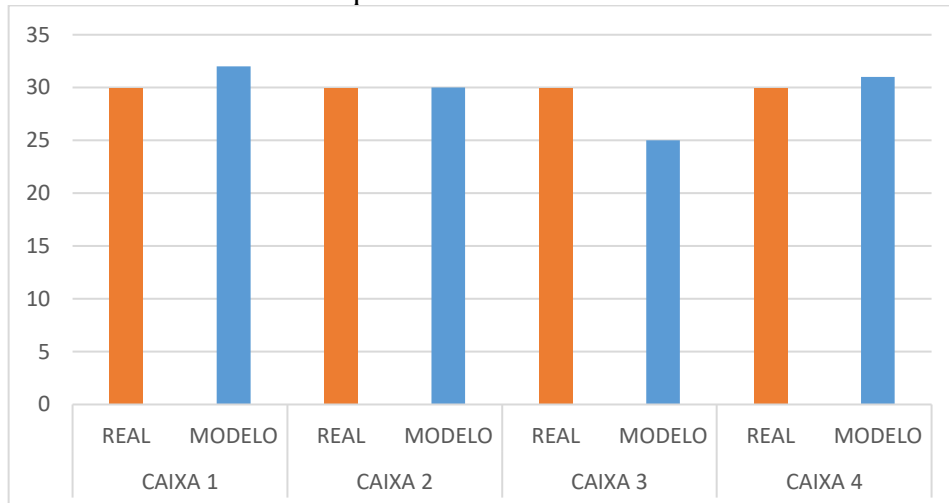
Com o intuito de deixar as comparações dos resultados obtidos nos relatórios das simulações dos modelos de validação com os dados reais coletados na etapa de amostragem, foram gerados os gráficos 1, 2 e 3.

Gráfico 1 - Tempo médio de atendimento Real x Modelo de Validação



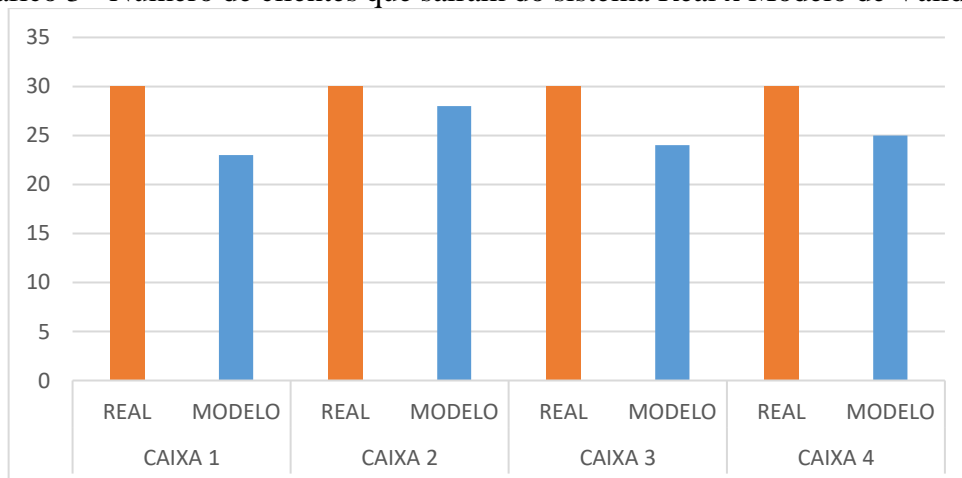
Fonte: autoria própria.

Gráfico 2 - Número de clientes que entraram no sistema Real x Modelo de Validação



Fonte: autoria própria.

Gráfico 3 - Número de clientes que saíram do sistema Real x Modelo de Validação



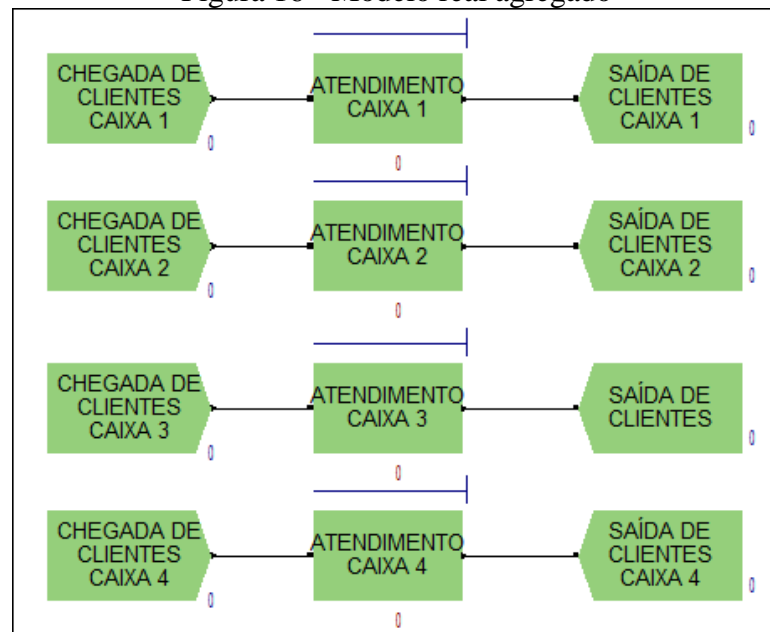
Fonte: autoria própria.

Como pôde-se verificar através da comparação proposta pelos gráficos acima, os resultados dos modelos de validação são bem próximos aos resultados obtidos na amostragem (cenário real), portanto a etapa de validação do modelo está concluída.

#### 4.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO REAL AGREGADO

O próximo passo para a construção do cenário original, que chamaremos de “modelo real agregado”, é o agrupamento de todas as estações de trabalho (caixas) no mesmo modelo de simulação, que podemos ver na Figura 16, note que este sistema representa o arranjo físico atual do supermercado.

Figura 16 - Modelo real agregado



Fonte: autoria própria.

Posteriormente à criação do modelo real agregado, foi executada a simulação durante o maior tempo de coleta de dados, que corresponde à coleta dos dados referentes ao caixa 2, que foi de 2 horas.

Os dados obtidos no relatório da execução do modelo real agregado estão exibidos no tópico seguinte e serão utilizados para comparar com os modelos alternativos que serão propostos no decorrer do presente trabalho.

#### 4.4 RESULTADOS DO MODELO REAL AGREGADO

Após ser executada a simulação do modelo real agregado pelo período de duas horas (duração aproximada da coleta de dados), foi obtido o relatório de simulação, onde são exibidos os dados do modelo. Os indicadores chave de desempenho para a análise dos resultados da simulação são as seguintes: quantidade de clientes que entraram no sistema (*number in*), quantidade de clientes que saíram do sistema (*number out*), quantidade de clientes que entraram em cada caixa (*number in*), quantidade de clientes que saíram de cada caixa (*number out*), tempo médio de espera em fila, quantidade média de clientes na fila e taxa de utilização de cada atendente.

Na Tabela 5 podemos ver tais variáveis compiladas, de modo a facilitar o entendimento.

Tabela 5 - Compilação dos resultados da simulação do modelo real agregado

<b>MODELO REAL AGREGADO</b>				
	<b>CAIXA 1</b>	<b>CAIXA 2</b>	<b>CAIXA 3</b>	<b>CAIXA 4</b>
<i>NUMBER IN</i> (média)	41	30	40	39
<i>NUMBER OUT</i> (média)	33	28	36	36
TEMPO MÉDIO DE ESPERA EM FILA (seg)	774,21	211,5	190,25	319,51
TEMPO MÉDIO DE ATENDIMENTO (seg)	189,96	221,83	164,28	177,24
NÚMERO MÉDIO DE CLIENTES NA FILA	4,48	0,95	1,17	1,79
MÉDIA DA TAXA DE UTILIZAÇÃO	86,98%	88,91%	84,01%	90,14%
NUMBER IN DO SISTEMA (média)	149			
NUMBER OUT DO SISTEMA (média)	134			

Fonte: autoria própria.

Como se pode visualizar na Tabela 5, temos uma fila maior se formando no caixa 1, conseqüentemente culminando num tempo de espera em fila maior para o mesmo caixa, que pode ser interpretado como uma maior preferência dos clientes pelo caixa 1, talvez pela localização do caixa ou também pela falta de um critério de seleção mais bem elaborado da parte dos clientes.

Pode-se notar também uma certa proximidade com relação às taxas de utilização dos atendentes, onde se percebe uma ociosidade que varia de 9,86% a 15,99%.

Outro dado interessante aparece ao analisar quantos clientes adentraram ao sistema como um todo e quantos clientes deixaram o sistema, onde nota-se que 15 clientes permaneceram dentro do sistema ao final da simulação, o que levanta o seguinte

questionamento: se a taxa de utilização dos atendentes fosse maior, ainda restariam clientes dentro do sistema ao final da simulação?

Por mais óbvio que possa parecer tal questionamento, ele nos leva ao desafio de como fazer para elevar a taxa de utilização dos atendentes utilizando meios relacionados à disciplina da fila.

Dado este desafio, foram elaborados modelos alternativos, onde foram desenvolvidos testes alterando desde a disciplina das filas como também a quantidade e o método de atendimento dos caixas, que serão detalhados no decorrer dos próximos tópicos.

#### 4.5 CONSTRUÇÃO DOS MODELOS ALTERNATIVOS

Para que fosse possível uma melhoria no sistema de filas do supermercado em questão, deveriam ser construídos modelos alternativos propondo alterações no cenário original. Portanto, foram elaborados cenários alterando a quantidade de estações de trabalho, ou a disciplina da fila, as quais poderemos observar nos próximos tópicos.

##### 4.5.1 CONSTRUÇÃO DO CENÁRIO ALTERNATIVO 1

A construção do cenário alternativo 1 foi elaborada pensando apenas na alteração do processo de atendimento. O que no cenário original antes era múltiplas filas com múltiplos servidores em paralelo, agora passará a ser uma fila única com múltiplos servidores em paralelo, de modo com que os clientes não mais escolherão um caixa, mas sim se dirigirão ao mesmo quando a estação ficar disponível.

As intenções por trás da construção deste modelo são a de aproximar as taxas de utilização dos atendentes de cada caixa por meio da diminuição da ociosidade dos mesmos, a diminuição do tempo em fila e a diluição dos tempos de atendimento maiores, que ocorrem devido ao volume elevado das compras dos clientes.

Para isso, foi necessário transformar o que era antes quatro entradas de clientes em apenas uma, realizando o cálculo da média dos tempos entre chegadas de clientes e da geração de uma nova distribuição para representar o novo método de chegada de clientes ao sistema de caixas do supermercado, que será denominado de “chegada de clientes geral”. Feitas essas

alterações, podemos ver na Figura 17, como ficou a nova distribuição para a chegada de clientes.

Figura 17 - Expressão para tempo entre chegada de clientes geral

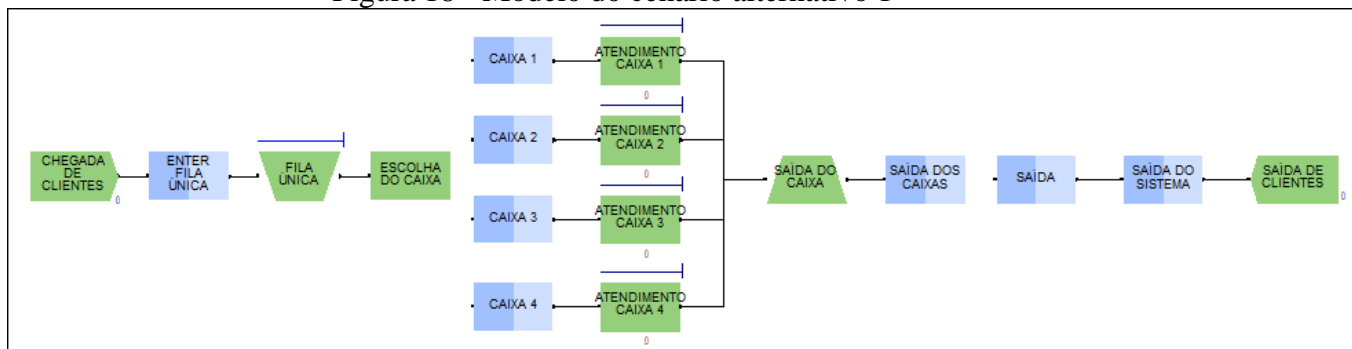
Sumário da Distribuição	
Distribuição:	Erlang
Expressão:	5 + ERLA(22.5, 2)
Erro quadrático:	0.005440
Teste do Chi-Quadrado	
Número de intervalos	= 5
Graus de liberdade	= 2
Teste Estatístico	= 4
P-value correspondente	= 0.149
Teste de Kolmogorov-Smirnov	
Teste Estatístico	= 0.0676
P-value correspondente	> 0.15

Fonte: autoria própria.

Como podemos ver, a nova distribuição para os tempos entre chegadas de clientes referente ao cenário alternativo 1 teve a variável “*P-value* correspondente” para o teste de Kolmogorov-Smirnov com resultado maior que 0,15, o que significa que temos uma amostragem significativa.

Em seguida, foi desenhado no *software* Arena, o modelo do cenário alternativo 1, que pode ser observado na Figura 18.

Figura 18 - Modelo do cenário alternativo 1



Fonte: autoria própria.

Nota-se a presença dos módulos “*Seize*”, que está denominado no modelo como “Fila Única” e do “*Release*”, que está denominado como “Saída do Caixa”. O módulo “*Seize*” serve para agrupar os clientes formando uma fila única, onde os clientes são direcionados para as estações de caixas conforme vão sendo desocupadas. Já o módulo “*Release*” serve para dialogar com o módulo “*Seize*”, informando qual estação ficou desocupada e dando o aval para que o

cliente se dirija ao caixa liberado. Pode-se analisar a estrutura desses módulos na Figura 19, abaixo.

Figura 19 - Módulos “Seize” e “Release”

The image shows two side-by-side screenshots of software configuration windows. The left window is titled 'Seize' and contains the following fields: 'Name:' with a dropdown menu showing 'FILA ÚNICA'; 'Allocation:' with a dropdown menu showing 'Other'; 'Priority:' with a dropdown menu showing 'Medium(2)'; 'Resources:' with a list box containing 'Resource, ESPACO, 1,' and '<End of list>', and buttons for 'Adicionar...', 'Editar...', and 'Excluir'; 'Queue Type:' with a dropdown menu showing 'Queue'; 'Queue Name:' with a dropdown menu showing 'FILA.Queue'; and a 'Comment:' text box. The right window is titled 'Release' and contains: 'Name:' with a dropdown menu showing 'SAIDA DO CAIXA'; 'Resources:' with a list box containing 'Resource, ESPACO, 1' and '<End of list>', and buttons for 'Adicionar...', 'Editar...', and 'Excluir'; and a 'Comment:' text box. Both windows have 'OK', 'Cancelar', and 'Ajuda' buttons at the bottom.

Fonte: autoria própria.

Pode se observar também a presença de dois outros módulos, que são o “*Pickstation*”, que está denominado no modelo como “Escolha do Caixa” e do “*Enter*”, que está denominado como “Caixa 1”. O uso do módulo “*Pickstation*” tem por objetivo permitir que a entidade (cliente) selecione uma das estações (caixas) para se dirigir para que seja realizado o atendimento, onde podem ser selecionados alguns critérios para que possa ser feita essa seleção de estação. Já o módulo “*Enter*” serve para definir uma estação para que seja possível realizar o *link* com o módulo “*Pickstation*”, fazendo a comunicação pelo *software* informando às entidades assim que um atendente fica livre para realizar o atendimento do cliente. A Figura 20, mostra a base destes módulos.



Figura 20 - Módulos “Pickstation” e “Enter”

The image shows two side-by-side screenshots of software configuration windows. The left window is titled 'PickStation' and the right is titled 'Enter'. Both windows have a standard Windows-style title bar with a question mark and a close button.

**PickStation Window:**

- Name:** ESCOLHA DO CAIXA
- Test Condition:** Minimum
- Selection Based On:**
  - Number in Queue
  - Number of Resources Busy
  - Number En Route to Station
  - Expression
- Stations:**
  - CAIXA 1.Station, ATENDENTE 1
  - CAIXA 2.Station, ATENDENTE 2
  - CAIXA 3.Station, ATENDENTE 3
  - CAIXA 4.Station, ATENDENTE 4
  - <End of list>
- Transfer Type:** Route
- Route Time:** 0.0
- Units:** Hours
- Comment:** (empty text box)
- Buttons: OK, Cancelar, Ajuda

**Enter Window:**

- Name:** CAIXA 1
- Station Type:** Station
- Station Name:** CAIXA 1.Station
- Logic:** (empty text box)
- Delay:** 0.
- Allocation:** Value Added
- Units:** Seconds
- Transfer In:** None
- Comment:** (empty text box)
- Buttons: OK, Cancelar, Ajuda

Fonte: autoria própria.

#### 4.5.2 CONSTRUÇÃO DO CENÁRIO ALTERNATIVO 2

Para a construção do cenário alternativo 2, foi elaborado um modelo alterando a característica de uma das quatro estações de trabalho por meio da transformação do caixa 4 em um caixa destinado exclusivamente a atender clientes portando compras de menores volumes, denominado de “caixa rápido”.

Desse modo, todos os tempos de atendimento da amostra foram agrupados e dispostos em ordem crescente. Em seguida, foram separados em quatro quartos, que são chamados de “quartis”.

O primeiro quartil é aquele que tem os menores tempos de atendimento, ou seja, que correspondem às compras de menores volumes. Utilizando somente os dados dos tempos de atendimento do primeiro quartil, foi gerada uma distribuição no *Input Analyzer*, que pode ser vista na Figura 21, que representaria a taxa de atendimento da estação de trabalho do caixa 4.

Figura 21 - Expressão para tempo de atendimento do caixa 4 (caixa rápido)

Sumário da Distribuição	
Distribuição:	Beta
Expressão:	$23.5 + 94 * \text{BETA}(1.19, 0.803)$
Erro quadrático:	0.032083
Test do Chi-Quadrado	
Número de intervalos	= 5
Graus de liberdade	= 2
Teste Estatístico	= 2.38
P-value correspondente	= 0.32

Fonte: autoria própria.

Já os três últimos quartis, que continham os maiores tempos de atendimento, permaneceram agrupados e foi gerada uma distribuição, mostrada na Figura 22, para representar a taxa de atendimento das compras de maiores volumes, que seriam direcionadas às estações de trabalho dos caixas 1, 2 e 3, denominados de “caixas normais”.

Figura 22 - Expressão para tempo de atendimento dos caixas 1, 2 e 3 (caixas normais)

Sumário da Distribuição	
Distribuição:	Weibull
Expressão:	$122 + \text{WEIB}(101, 0.948)$
Erro quadrático:	0.002903
Test do Chi-Quadrado	
Número de intervalos	= 4
Graus de liberdade	= 1
Teste Estatístico	= 1.76
P-value correspondente	= 0.202
Teste de Kolmogorov-Smirnov	
Teste Estatístico	= 0.0483
P-value correspondente	> 0.15

Fonte: autoria própria.

Posteriormente à elaboração das distribuições que seriam utilizadas como taxa de atendimento de clientes nas estações de trabalho, foi gerada uma distribuição considerando todos os tempos de atendimentos agrupados para que, assim que os clientes adentrem ao sistema de modelagem, seja atribuído o tamanho da compra de cada cliente. Essa nova distribuição será chamada de “volume da compra” e pode ser vista na Figura 23.

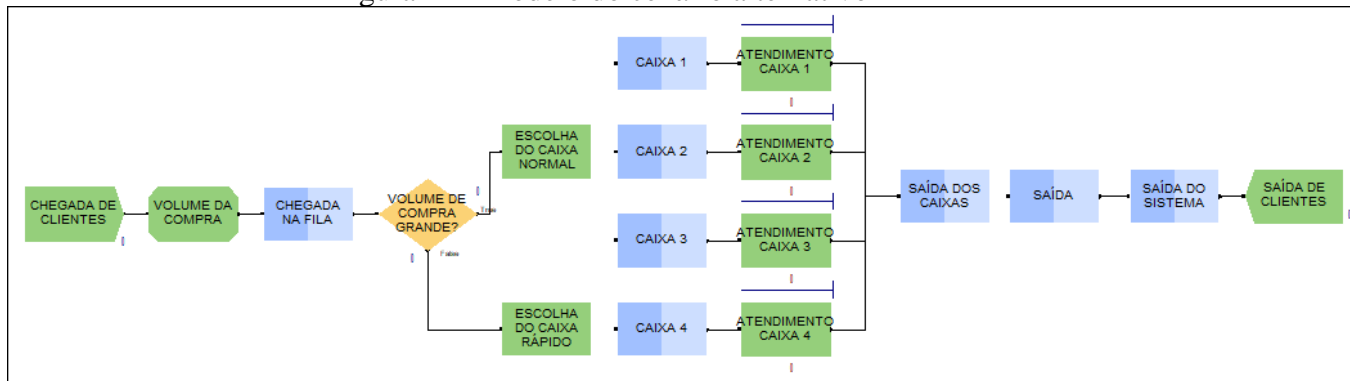
Figura 23 - Expressão para determinar o tamanho da compra

Sumário da Distribuição	
Distribuição:	Erlang
Expressão:	24 + ERLA(82.8, 2)
Erro quadrático:	0.004161
Teste do Chi-Quadrado	
Número de intervalos	= 5
Graus de liberdade	= 2
Teste Estatístico	= 2.56
P-value correspondente	= 0.288
Teste de Kolmogorov-Smirnov	
Teste Estatístico	= 0.0864
P-value correspondente	> 0.15

Fonte: autoria própria.

Posteriormente à construção das distribuições de cada função, foi construído o modelo do cenário alternativo 2, conforme a Figura 24.

Figura 24 - Modelo do cenário alternativo 2



Fonte: autoria própria.

Neste cenário, nota-se a presença do módulo “Assign”, denominado por “Volume da Compra”, que é responsável por atribuir o tamanho da compra baseado em todos os tempos de atendimento coletados na amostra, e do módulo “Decide”, denominado por “Volume de Compra Grande?”, que é responsável por direcionar os clientes com um volume de compra considerado pequeno para o caixa rápido (caixa 4). As estruturas de ambos os módulos citados acima podem ser vistas na Figura 25.

Figura 25 - Módulos “Assign” e “Decide” do cenário alternativo 2

The image shows two side-by-side screenshots of software configuration windows. The left window is titled 'Assign' and has a 'Name' field containing 'VOLUME DA COMPRA'. Below it is an 'Assignments' list with one entry: 'Attribute: TAMANHO DA COMPRA, 24+ERLA(82,8,2)'. To the right of this list are buttons for 'Adicionar...', 'Editar...', and 'Excluir'. At the bottom are 'OK', 'Cancelar', and 'Ajuda' buttons. The right window is titled 'Decide' and has a 'Name' field containing 'VOLUME DE COMPRA GRANDE?'. The 'Type' dropdown is set to '2-way by Condition'. The 'If' section has 'Attribute' selected in the dropdown and 'TAMANHO DA COMPRA' in the 'Named' field. The 'Is' dropdown is set to '>='. The 'Value' field contains '118'. At the bottom are 'OK', 'Cancelar', and 'Ajuda' buttons.

Fonte: autoria própria.

O critério utilizado para classificar o volume da compra como pequeno foi estabelecido selecionando o maior valor do primeiro quartil, que delimita a ação estabelecida para o caixa rápido, e fazendo com que os clientes que possuem compras que refletem tempos de atendimento menores que 118 segundos sejam direcionados ao caixa rápido e, conseqüentemente, os clientes que possuem compras que refletem tempos de atendimento maiores ou iguais a 118 segundos sejam direcionados aos caixas normais.

#### 4.5.3 CONSTRUÇÃO DO CENÁRIO ALTERNATIVO 3

A base para a construção do cenário alternativo 3 foi muito similar à que foi usada na construção do cenário alternativo 2, porém, com mais uma alteração, agora no número de estações de trabalho, em que foi reduzida uma estação de trabalho considerada caixa normal.

Com essa alteração, necessitou-se agrupar novamente todos os tempos de atendimento com os valores ordenados de maneira crescente e separá-los em três terços, que são chamados de “tercis”.

O primeiro tercil, que continha os menores valores dos tempos de atendimento, foi separado e foi gerada uma distribuição para representar a nova taxa de atendimento de clientes para a estação do caixa rápido (caixa 3), que pode ser vista na Figura 26.

Figura 26 - Expressão para tempo de atendimento do caixa 3 (caixa rápido)

Sumário da Distribuição	
Distribuição:	Beta
Expressão:	24 + 111 * BETA(1.32, 0.802)
Erro quadrático:	0.006741
Test do Chi-Quadrado	
Número de intervalos	= 5
Graus de liberdade	= 2
Teste Estatístico	= 1.07
P-value correspondente	= 0.599
Teste de Kolmogorov-Smirnov	
Teste Estatístico	= 0.0662
P-value correspondente	> 0.15

Fonte: autoria própria.

Já o segundo e o terceiro tercís, permaneceram agrupados e foi gerada uma nova distribuição para representar a nova taxa de atendimento de clientes para as estações dos caixas normais (caixas 1 e 2), que pode ser vista na Figura 27.

Figura 27 - Expressão para tempo de atendimento dos caixas 1 e 2 (caixas normais)

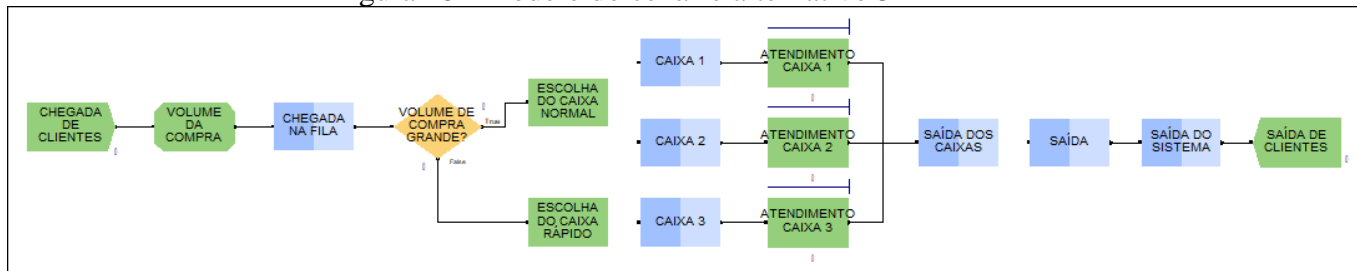
Sumário da Distribuição	
Distribuição:	Exponencial
Expressão:	138 + EXPO(99.8)
Erro quadrático:	0.000643
Test do Chi-Quadrado	
Número de intervalos	= 4
Graus de liberdade	= 2
Teste Estatístico	= 0.21
P-value correspondente	> 0.75
Teste de Kolmogorov-Smirnov	
Teste Estatístico	= 0.0857
P-value correspondente	> 0.15

Fonte: autoria própria.

No entanto, mesmo com as alterações propostas, a distribuição que seria utilizada para atribuir o tamanho da compra de cada cliente se mantém a mesma da Figura 26, utilizada na construção do cenário alternativo 2, visto que eram todos os tempos de atendimento agrupados.

Portanto, ao fim da elaboração das novas distribuições de cada função, foi construído o modelo do cenário alternativo 3, conforme a Figura 28.

Figura 28 - Modelo do cenário alternativo 3



Fonte: autoria própria.

Neste cenário, nota-se novamente a presença dos módulos “*Attribute*” e “*Decide*”. O módulo “*Attribute*” (“Volume da Compra”) se mantém inalterado, já o módulo “*Decide*” sofre uma alteração no critério para direcionamento ao caixa rápido devido à mudança do sistema de quartis para o sistema de tercís, onde agora os clientes que possuem compras que refletem tempos de atendimento menores que 136 segundos, valor limitante do primeiro tercís, são direcionados ao caixa rápido, logo, os clientes que possuem compras que refletem em tempos de atendimento maiores ou iguais a 136 segundos são direcionados aos caixas normais, conforme a Figura 29.

Figura 29 - Módulo “*Decide*” do cenário alternativo 3

Fonte: autoria própria.

#### 4.5.4 CONSTRUÇÃO DO CENÁRIO ALTERNATIVO 4

A fundamentação para a construção do cenário alternativo 4 foi a redução do número de estações de trabalho com relação ao cenário original, mantendo as características dos caixas, sendo todos normais com a formação uma fila para cada posto de trabalho.

Para isso, foram agrupados todos os tempos de atendimento e foi gerada a distribuição da Figura 30 para representar a nova taxa de atendimento dos caixas normais, que será a mesma para todos os caixas.

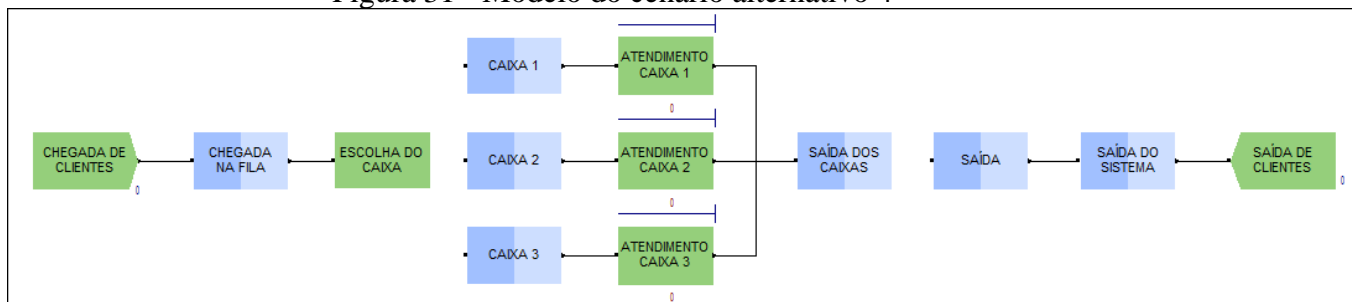
Figura 30 - Expressão para tempo de atendimento dos caixas 1, 2 e 3

Sumário da Distribuição	
Distribuição:	Erlang
Expressão:	24 + ERLA(82.8, 2)
Erro quadrático:	0.004161
Teste do Chi-Quadrado	
Número de intervalos	= 5
Graus de liberdade	= 2
Teste Estatístico	= 2.56
P-value correspondente	= 0.288
Teste de Kolmogorov-Smirnov	
Teste Estatístico	= 0.0864
P-value correspondente	> 0.15

Fonte: autoria própria.

Em seguida foi elaborado o modelo do cenário alternativo 4, que pode ser visto na Figura 31.

Figura 31 - Modelo do cenário alternativo 4



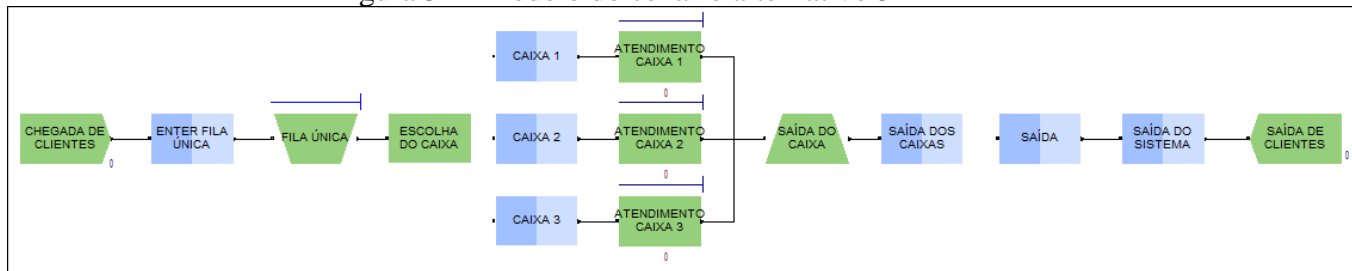
Fonte: autoria própria.

#### 4.5.5 CONSTRUÇÃO DO CENÁRIO ALTERNATIVO 5

Para a construção do cenário alternativo 5, foi proposta apenas uma alteração em relação ao cenário alternativo 4, que é a aplicação da fila única no mesmo sistema. Portanto, foram mantidas as distribuições do tempo de atendimento uniforme de todos os caixas, que foi gerada para o cenário alternativo 4, e da taxa de chegada de clientes.

Por fim, como pode-se observar na Figura 32, foi elaborado o modelo do cenário alternativo 5.

Figura 32 - Modelo do cenário alternativo 5



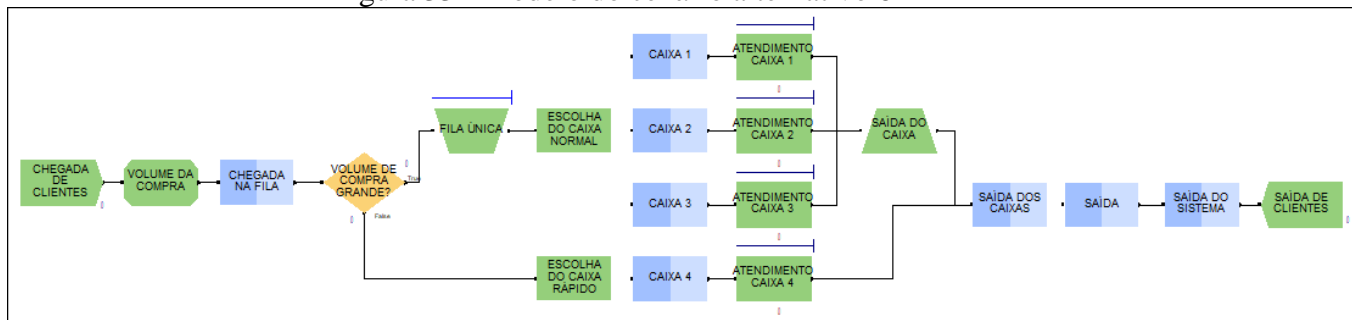
Fonte: autoria própria.

#### 4.5.6 CONSTRUÇÃO DO CENÁRIO ALTERNATIVO 6

Para a construção do cenário alternativo 6, foi adicionado apenas o conceito de fila única ao modelo do cenário alternativo 2, portanto foram mantidos os dados dos módulos “*Attribute*” e “*Decide*” e todas as distribuições referentes ao cenário alternativo 2, tanto para os tempos de atendimento dos caixas normais e caixa rápido, quanto para a taxa de chegada de clientes.

A seguir, na Figura 33, podemos ver o modelo do cenário alternativo 6.

Figura 33 - Modelo do cenário alternativo 6



Fonte: autoria própria.

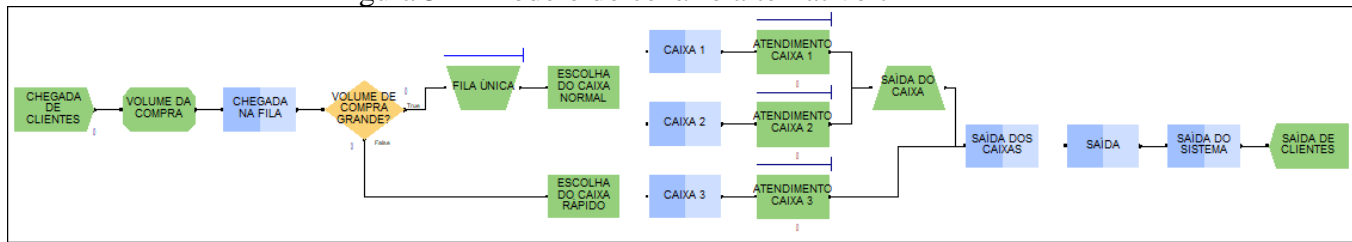
#### 4.5.7 CONSTRUÇÃO DO CENÁRIO ALTERNATIVO 7

Já para a construção do cenário alternativo 7, foi adicionado apenas o conceito de fila única ao modelo do cenário alternativo 3, portanto foram mantidos os dados dos módulos “*Attribute*” e “*Decide*” e todas as distribuições referentes ao cenário alternativo 3, tanto para os tempos de atendimento dos caixas normais e caixa rápido, quanto para a taxa de chegada de clientes.

Na Figura 34 podemos ver o modelo do cenário alternativo 7.



Figura 34 - Modelo do cenário alternativo 7



Fonte: autoria própria.

## 4.6 AVALIAÇÃO DOS CENÁRIOS

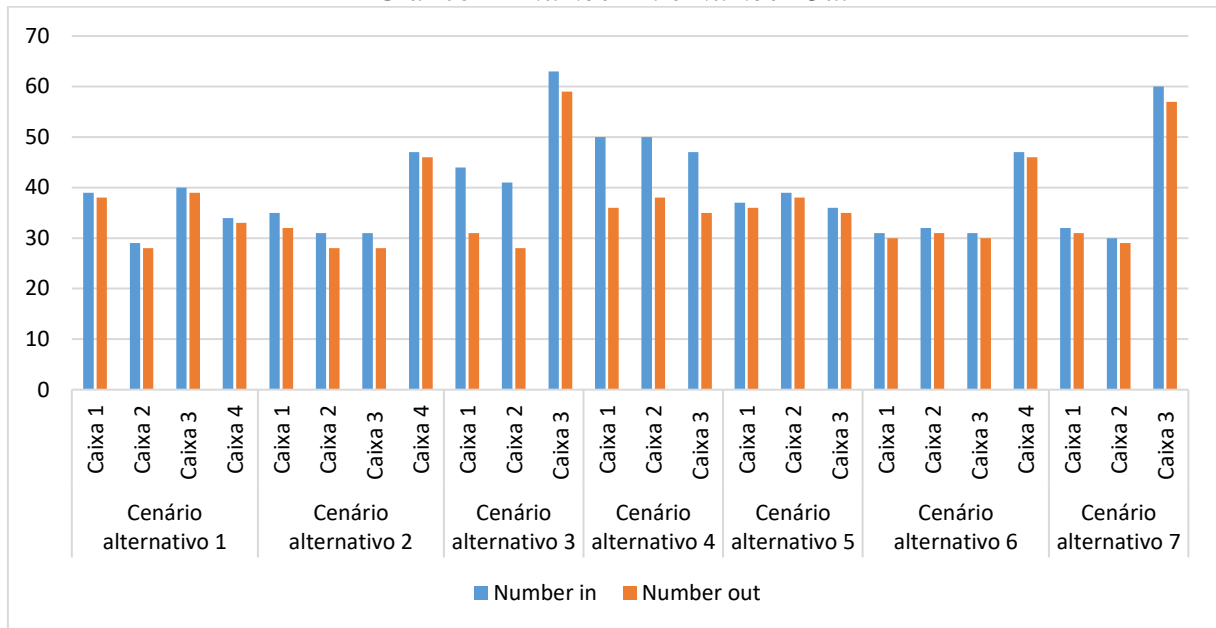
Neste tópico serão comparados os cenários de modo a se extrair a informação de qual é o cenário ótimo. A comparação será feita utilizando como critério as variáveis mais pertinentes obtidas nos relatórios e posicionando-as em gráficos, tornando a comparação mais visual.

### 4.6.1 GRÁFICOS DE COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DOS MODELOS

Para tornar mais visual a comparação dos modelos, foram elaborados alguns gráficos representando cada variável dentro dos modelos construído. Tais gráficos foram construídos com as tabelas que se encontram na seção dos anexos (Anexo B).

#### 4.6.1.1 Number In e Number Out

O Gráfico 4 representa a quantidade de clientes que entraram e saíram de cada caixa, onde o ideal é que o número de clientes que estão saindo dos caixas se aproxime ao máximo do número de clientes que estão entrando nos caixas, fazendo com que menos clientes fiquem “presos” dentro do sistema ao final da simulação.

Gráfico 4 - *Number In e Number Out*

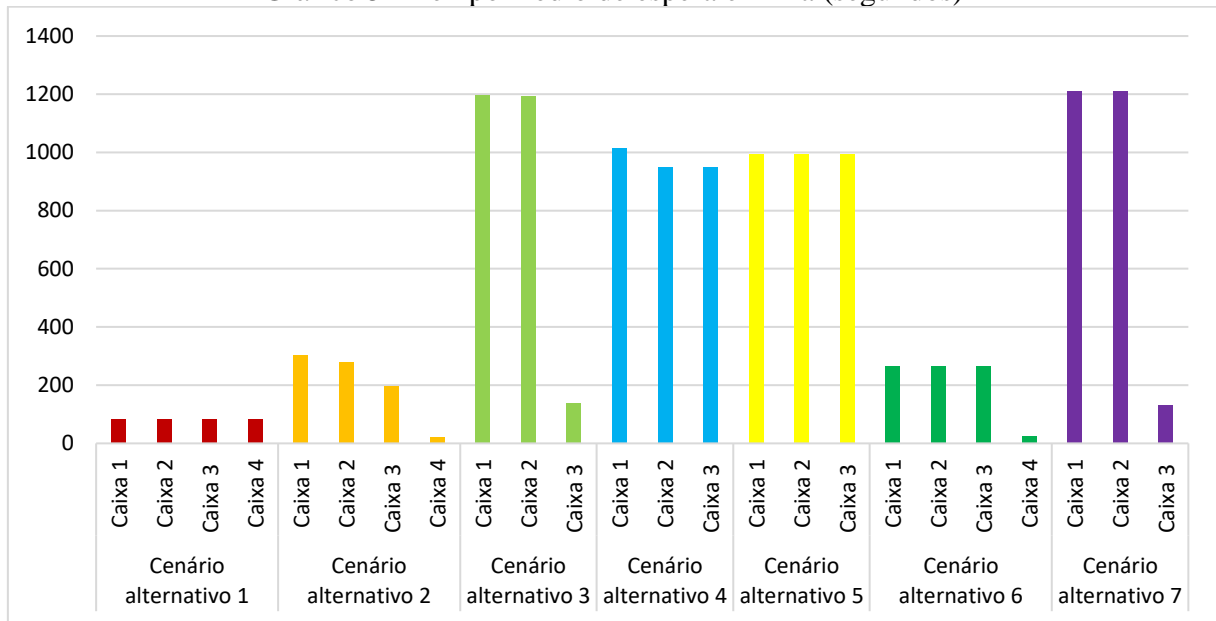
Fonte: autoria própria.

Ao comparar os resultados obtidos para as variáveis do *number in* e *number out*, podemos ver que os cenários que mais se aproximam do que é tomado por ideal são os cenários 1, 5, 6 e 7. Portanto, na visão desta variável, os cenários 1, 5, 6 e 7 são os melhores.

#### 4.6.1.2 Tempo médio de espera em fila

O Gráfico 5 representa o tempo médio de espera na fila de cada caixa em segundos, que é o tempo que o cliente leva para ser atendido depois que entra na fila do caixa. Para essa variável, o ideal é reduzir ao máximo o tempo de espera, visto que é uma das atividades que não agregam valor ao consumidor.

Gráfico 5 - Tempo médio de espera em fila (segundos)



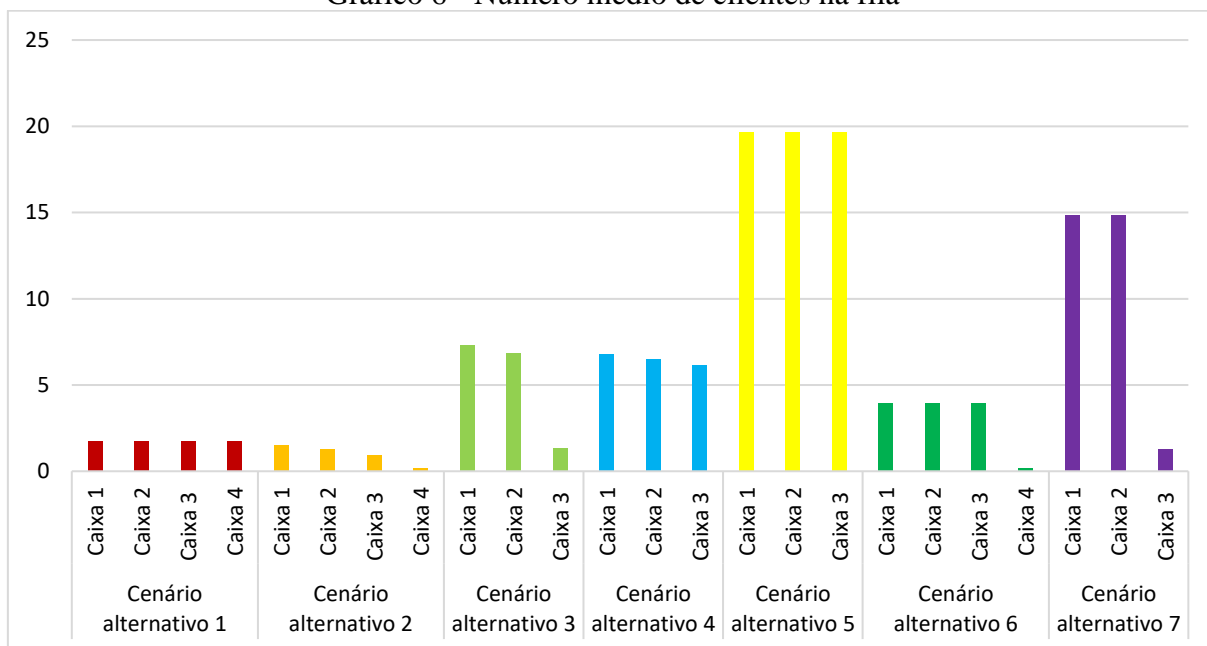
Fonte: autoria própria.

Fazendo uma breve análise deste gráfico, pode-se observar que o cenário 1 possui os menores valores para o tempo de espera em fila. Portanto, em relação a esta variável, o cenário 1 é o melhor.

#### 4.6.1.3 Número médio de clientes na fila

O Gráfico 6 representa o número médio de clientes na fila de cada caixa. Visto que quanto menos pessoas na fila, mais rápido será atendida, então o ideal é reduzir ao máximo essa quantidade.

Gráfico 6 - Número médio de clientes na fila



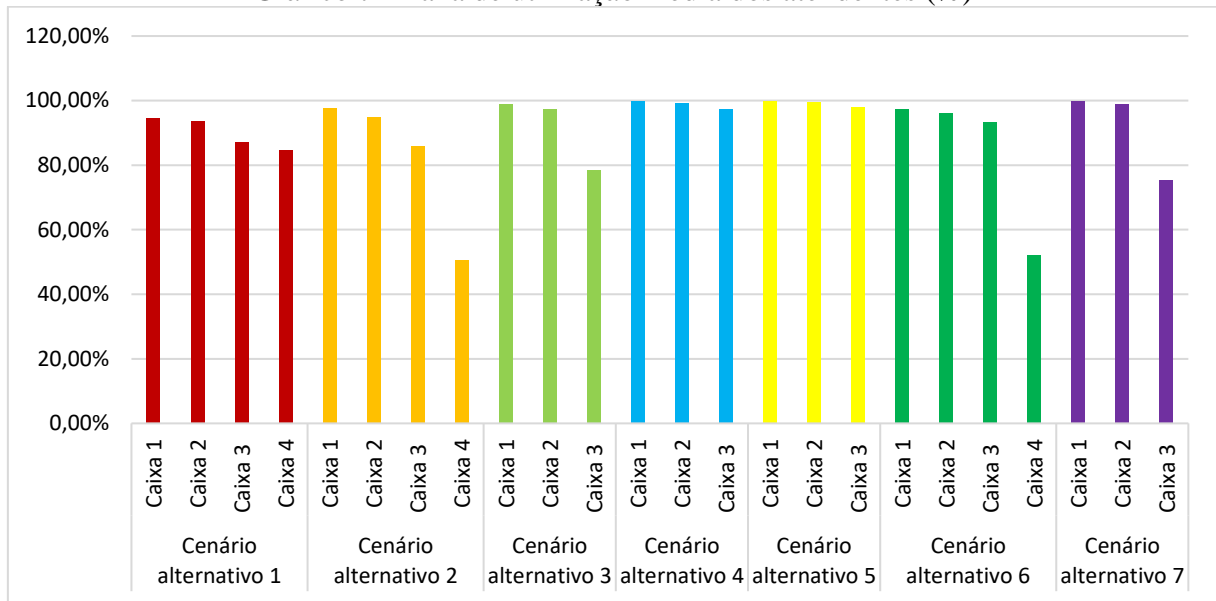
Fonte: autoria própria.

Observando os resultados do gráfico, é possível notar que os cenários 1 e 2 possuem os menores valores para essa variável. Portanto, na visão desta variável, os cenários 1 e 2 são os melhores.

#### 4.6.1.4 Taxa de utilização média dos atendentes

O Gráfico 7 representa a taxa de utilização dos caixas de cada cenário. Do ponto de vista do empregador, o ideal é que as taxas de utilização dos caixas sejam elevadas, o que garante que os atendentes não estarão em ociosidade, e que essas taxas sejam próximas entre si, de modo com que a carga de trabalho esteja distribuída de maneira igualitária, não havendo sobrecargas de trabalho.

Gráfico 7 - Taxa de utilização média dos atendentes (%)



Fonte: autoria própria.

Observando os resultados desse gráfico, pode-se notar que os cenários que têm as taxas de utilização média dos atendentes mais elevadas e próximas entre si são os cenários 1, 4 e 5. Portanto, na visão desta variável, os cenários 1, 4 e 5 são os melhores.

#### 4.6.2 AVALIAÇÃO DOS CENÁRIOS ALTERNATIVOS

Para o cenário alternativo 1, foi idealizado um modelo de fila única com múltiplos servidores em paralelo, onde foi possível observar um ganho significativo em vários quesitos, como por exemplo, a média de clientes aguardando na fila diminuiu, o tempo de espera na fila reduziu significativamente, as taxas de utilização ficaram mais equilibradas e até mesmo aumentaram e verificou-se que mais clientes eram atendidos no mesmo período.

Já para o cenário alternativo 2, foi mantido o sistema de filas do modelo real, apenas alterando a modalidade de um dos quatro caixas para atender somente volumes de compra menores, ao qual nos referimos por “caixa rápido”, onde os clientes com menor volume de compra se dirigiriam para serem atendidos. Realizando a análise do relatório deste cenário, pode-se notar que não foram obtidos resultados interessantes, o tempo de espera em fila foi reduzido, porém, o ganho não foi tão representativo como o obtido no cenário alternativo 1, a capacidade de atendimento não obteve ganhos e a taxa de utilização do atendente do caixa rápido foi muito baixa, indicando ociosidade.

Para o cenário alternativo 3, foi mantida a lógica do sistema de filas do modelo do cenário alternativo 2, mas reduzindo um dos “caixas normais” e mantendo o caixa rápido. Ao realizar a análise dos dados obtidos no relatório deste modelo, percebe-se que a capacidade de atendimento fica muito prejudicada, não sendo capaz de atender toda a demanda, além de o tempo médio de espera em fila e a média de clientes na fila ficar extremamente elevados.

Na elaboração do cenário alternativo 4, foi mantido sistema de filas do modelo real, porém, apenas com três caixas normais, sem caixa rápido. Nota-se, novamente, que a capacidade de atendimento é prejudicada e não foram obtidos ganhos com esse modelo, mesmos problemas apresentados no cenário alternativo 3.

Para o cenário alternativo 5, foram mescladas as características do cenário alternativo 4 com as do cenário alternativo 1, onde foram mantidos os 3 caixas normais e adicionando o conceito do sistema de fila única. Pode-se notar que as utilizações dos atendentes dos caixas é bem alta, o que indica que não há ociosidade, porém, taxas de utilização muito elevadas podem significar sobrecarga de trabalho, além de não se ter melhoria no tempo de espera em fila e do número de clientes na fila ser muito elevado.

Na construção do modelo do cenário alternativo 6, foi utilizado como base o cenário alternativo 2, onde temos três caixas normais e um caixa rápido, porém, para os caixas normais, seria aplicado o conceito de fila única. Observa-se que o caixa rápido continua com o mesmo problema que foi apresentado no cenário alternativo 2, onde sua utilização é muito baixa, indicando ociosidade. Apesar de o tempo médio de espera em fila apresentar uma melhora em comparação ao cenário real, pode-se notar que menos clientes são atendidos ao final do período.

Já para a elaboração do cenário alternativo 7, foi utilizado como base o cenário alternativo 3, onde temos dois caixas normais e um caixa rápido, e, similarmente ao cenário alternativo 6, temos a utilização do sistema de fila único para os caixas normais. Pode-se notar que temos perda na capacidade de atendimento, o tempo médio de espera em fila fica exageradamente elevado para os caixas normais, os atendentes dos caixas normais ficam sobrecarregados ao passo que o atendente do caixa rápido está ocioso em 25% do tempo e a quantidade de clientes na fila é elevada.

Para identificarmos qual seria o cenário mais adequado ao estudo de caso do supermercado em questão foram compiladas as informações obtidas através da análise dos

gráficos acima na Tabela 6, onde os critérios considerados como ótimos foram identificados em verde, já os demais em vermelho.

Tabela 6 - Matriz de desempenho dos cenários

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 7
<b>Number In e Number Out</b>							
<b>Tempo médio de espera em fila</b>							
<b>Número médio de clientes na fila</b>							
<b>Taxa de utilização média dos atendentes</b>							

Fonte: autoria própria.

Analisando a Tabela 6 pode-se concluir que o cenário mais adequado a ser implementado no supermercado alvo do presente estudo é o cenário 1, visto que ficou melhor posicionado na matriz de comparação de todas as quatro variáveis estratificadas.

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve por objetivo a melhoria do sistema de filas do setor dos caixas de um estabelecimento do setor varejista por meio da modelagem e simulação desse sistema, em que para sua construção foram utilizadas suas principais variáveis baseando-se na teoria das filas.

Para que uma empresa de qualquer ramo possa se consolidar no mercado é necessário que seja competitiva, priorizando e investindo em atividades que agreguem valor tanto para o empregador, visando maximizar a quantidade de clientes atendidos, quanto para seu consumidor final, visando sua fidelização. Deste modo, o estudo foi baseado no quesito da capacidade de atendimento do setor de pagamentos de um supermercado, a fim de buscar melhorias para o processo. A busca na construção de um modelo de simulação melhorado foi sempre reduzir o tempo de espera em fila com uma adequada utilização dos caixas de atendimento.

Assim, foi realizada a observação presencial de um sistema de filas real na seção dos caixas de um estabelecimento, onde foram coletados os dados mais pertinentes desse sistema que permitiram que fosse realizada uma análise mais aprofundada do caso.

Ao simular o sistema estudado, identificou-se um elevado tempo de permanência dos clientes no sistema, o que pode ser visto como inconvenientes para eles e uma formação de fila desbalanceada entre os caixas, o que proporciona uma diferença na taxa de utilização dos caixas, resultando em um desbalanceamento na divisão de carga de trabalho entre eles. Portanto, foi identificada a oportunidade de otimização do sistema.

A partir do momento que foi identificada a oportunidade de melhoria, foi utilizado o conceito dos diferentes tipos de sistemas de filas para propor algumas mudanças no cenário original. Ao todo foram sete cenários propostos, que chamamos de cenário alternativo 1, cenário alternativo 2 e assim sucessivamente.

Após comparação dos principais indicadores de desempenho entre os 7 cenários alternativos desenvolvidos, podemos afirmar que o cenário alternativo 1 é o mais adequado a ser implementado no estabelecimento, visto que apresenta somente ganhos em todos os quesitos mais pertinentes da análise e não requer nenhuma modificação no *layout* atual do setor de pagamentos do supermercado.



No entanto, destaca-se a importância de estudos mais aprofundados considerando outras variáveis, como *layout* e análise detalhada de cada servidor, além da utilização de um método de coleta de dados mais assertivo, como por câmeras, o que permitiria uma maior precisão na coleta pois os dados seriam obtidos simultaneamente e em tempo real. Em adição, poderia ser relevante também, um estudo mais detalhado sobre os picos de demanda do estabelecimento, visto que o presente trabalho foi baseado na informação do gerente do supermercado, com isso seria possível adequar diversos cenários para o mesmo estabelecimento, onde o mesmo se adequa à capacidade de atendimento exigida em determinado momento.

Por fim, é correto afirmar que, do ponto de vista da teoria das filas, os conceitos abordados permitiram que fosse desenvolvido um estudo que direcionou corretamente a abordagem do tema para que fosse possível obter informações relevantes sobre os elementos mais cruciais desse sistema. Similarmente, o uso da modelagem e simulação no estudo dos cenários, proporcionou de forma exata a identificação das vantagens com a aplicação da metodologia pregada pelo conceito e por meio da criação dos sistemas alternativos idealizados, dispensando o gasto de recursos e economizando tempo na averiguação dos ganhos que seriam obtidos com a aplicação de determinadas modificações. Independentemente da supressão de algumas características reais, o resultado obtido através do estudo é válido e satisfatório, pois proporcionou a solução mais adequada para sanar o problema proposto.

## 6 REFERÊNCIAS

ALVAREZ, Roberto; CRESPI, Gustavo. Determinants of technical efficiency in small firms. *Small business economics*, v. 20, n. 3, p. 233-244, 2003.

ANTUNES JR., J.A.V. Em direção a uma teoria geral do processo na administração da produção: uma discussão sobre a possibilidade de unificação da teoria das restrições e a teoria que sustenta a construção dos sistemas de produção com estoque zero. Tese (Doutorado em Administração de Empresas) - Programa de Pós-Graduação em Administração da UFRGS, Porto Alegre, RS, 1998.

APPOLINÁRIO, F. **Metodologia da ciência – filosofia e prática da pesquisa**. São Paulo: Editora Pioneira Thomson Learning, 2006.

ARENA, software. Disponível em: <<https://www.paragon.com.br/%20softwares/arena/>>. Acesso em: 09 Fev. 2021.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa Operacional**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SUPERMERCADOS – ABRAS. **Notícias ABRAS**. Disponível em: < <https://www.abras.com.br/clipping.php?area=20&clipping=70791>>. Acesso em: 09 Nov. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SUPERMERCADOS – ABRAS. **Notícias ABRAS**. Disponível em: < <https://www.abras.com.br/clipping.php?area=20&clipping=71367>>. Acesso em: 09 Nov. 2020.

BATALHA, Mário Otávio. **Introdução a Engenharia de Produção**. 3º edição. 2008.

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso Celso. **Modelagem e simulação de eventos discretos**. Afonso C. Medina. Elsevier, 2015.

COSTA, L. C. **Teorias das Filas: Apostila**. Disciplina Teoria das Filas e Simulação, Curso de Ciência da Computação. Centro Tecnológico da Universidade Federal do Maranhão – UFMA. Maranhão, 2006.

DEKKER, Inez; BARLING, Julian. **Workforce size and work-related role stress**. *Work & Stress*, v. 9, n. 1, p. 45-54, 1995.

FÁVERO, Luiz Paulo; BELFIORE, Patrícia. **Pesquisa Operacional para cursos de engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

FERREIRA, Ernani da Cunha et al. *A qualidade no atendimento bancário*. 2005.

FLEXSIM, software. Disponível em: <<https://www.flexsim.com/pt/flexsim/>>. Acesso em: 09 Fev. 2021.

FOGLIATTI, Maria Cristina; MATTOS, Néli Maria Costas. **Teoria de Filas**. Rio de Janeiro: Interciência, 2007.

GOLDRATT, Elyahu M. **A síndrome do palheiro: garimpando informações num oceano de dados**. São Paulo: Editora Educator, 1996.

GREGÓRIO, Gabriela Fonseca P.; LOZADA, Gisele. **Simulação de sistemas produtivos**. Porto Alegre: SAGAH, 2019.

HAYES, R.; PISANO, G.; UPTON, D.; WHELLWRIGHT, S. **Produção, estratégia e tecnologia: em busca da vantagem competitiva**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

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

HOPP, Wallace J.; SPEARMAN, Mark L. **Factory physics**. Waveland Press, 2011.

MARINS, Fernando Augusto Silva. **Introdução à pesquisa operacional**. São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, 2011.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da produção**. 2 ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

MOREIRA, D. A. **Pesquisa operacional: curso introdutório**. 2 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

MOREIRA, Daniel Augusto. **Pesquisa operacional: curso introdutório**. 2.ed. São Paulo: Cengage Learning, 2017.

PRADO, Darci. **Teoria das Filas e da Simulação**. Falconi Editora, 2017.

PROMODEL, software. Disponível em: <<https://www.promodel.com/products/ProModel>>. Acesso em: 09 Fev. 2021.

RESNECK JR, Jack. Too few or too many dermatologists?: Difficulties in assessing optimal workforce size. *Archives of dermatology*, v. 137, n. 10, p. 1295-1301, 2001.

RODRIGUES, W. C. et al. Metodologia científica. Faetec/IST. Paracambi, p. 2-20, 2007.

SERRANO, André Luiz Marques Organizador et al. Dimensionamento na administração pública federal: mensuração da capacidade produtiva e análise de tipificação. 2018.

SILVA, Ermes Medeiros da et al. Pesquisa operacional para os cursos de administração e engenharia. São Paulo: Atlas, 2017.

SILVA, Ricardo Ramos da. Os efeitos da pandemia da COVID-19 na cadeia de suprimentos: um estudo de caso do setor supermercadista brasileiro sob a perspectiva de uma rede varejista. 2020. Tese de Doutorado.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

SÖDERBOM, Måns; TEAL, Francis. Size and efficiency in African manufacturing firms: evidence from firm-level panel data. *Journal of Development Economics*, v. 73, n. 1, p. 369-394, 2004.

THAU, Stefan; PITESA, Marko; PILLUTLA, Madan. Experiments in organizational behavior. In: *Laboratory experiments in the social sciences*. Academic Press, 2014. p. 433-447.

TÔRRES, Oswaldo Fadigas. Elementos da teoria das filas. *Revista de Administração de Empresas*, v. 6, n. 20, p. 111-127, 1966.

TUBINO, Dalvio Ferrari. Planejamento e controle da produção: teoria e prática. 3º edição. Editora Atlas SA, 2017.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas. Apostila do curso de Especialização em Qualidade e Produtividade. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2012.

VARGAS, Francisco Javier T.; PAGLIONE, Pedro. Ferramentas de álgebra computacional: aplicações em modelagem, simulação e controle para engenharia. 1. ed. - RJ : LTC, 2015.

## ANEXO A – Coleta de dados amostrais.

Clientes	Caixa 1		Caixa 2		Caixa 3		Caixa 4	
	Tempo entre chegada de clientes	Tempo de atendimento	Tempo entre chegada de clientes	Tempo de atendimento	Tempo entre chegada de clientes	Tempo de atendimento	Tempo entre chegada de clientes	Tempo de atendimento
1	62	89	153	272	107	191	158	206
2	84	45	179	303	275	138	107	264
3	130	262	459	169	116	128	66	75
4	27	35	245	219	99	212	322	166
5	102	92	125	242	103	80	37	167
6	145	298	410	339	145	104	182	97
7	57	182	360	548	204	211	125	76
8	22	114	403	162	83	59	302	415
9	147	122	74	169	101	130	66	146
10	419	89	553	379	54	101	251	202
11	67	127	310	337	151	287	253	135
12	153	200	154	362	84	147	370	192
13	60	24	216	162	241	227	67	117
14	187	135	402	147	229	56	49	61
15	69	168	152	163	190	144	262	125
16	218	59	179	334	93	77	217	273
17	182	226	38	345	322	167	210	100
18	32	690	180	126	41	183	190	569
19	152	247	551	132	471	228	154	203
20	771	342	167	138	462	204	371	199
21	298	89	90	140	57	161	226	140
22	104	248	181	139	174	92	24	115
23	467	464	322	325	167	239	143	208
24	114	109	225	169	272	181	70	141
25	191	469	237	388	220	153	275	225
26	502	69	208	87	412	230	129	188
27	128	142	115	234	159	223	303	96
28	289	153	321	138	471	116	203	133
29	116	49	46	53	144	166	126	249
30	52	141	134	140	172	163	403	320

Fonte: autoria própria.

## ANEXO B – Tabelas de comparação de resultados dos modelos.

CENÁRIO ALTERNATIVO 1				
	Caixa1	Caixa 2	Caixa 3	Caixa 4
<i>Number in</i> (média)	39	29	40	34
<i>Number out</i> (média)	38	28	39	33
Tempo médio de espera em fila (seg)	84	84	84	84
Número médio de clientes na fila	1,73	1,73	1,73	1,73
Média da taxa de utilização	94,49%	93,73%	87,22%	84,78%
<i>Number in</i> do sistema (média)	145			
<i>Number out</i> do sistema (média)	138			

CENÁRIO ALTERNATIVO 2				
	Caixa1	Caixa 2	Caixa 3	Caixa 4
<i>Number in</i> (média)	35	31	31	47
<i>Number out</i> (média)	32	28	28	46
Tempo médio de espera em fila (seg)	305	281	198	23
Número médio de clientes na fila	1,49	1,25	0,93	0,15
Média da taxa de utilização	97,56%	94,94%	85,86%	50,68%
<i>Number in</i> do sistema (média)	144			
<i>Number out</i> do sistema (média)	134			

CENÁRIO ALTERNATIVO 3			
	Caixa1	Caixa 2	Caixa 3
<i>Number in</i> (média)	44	41	63
<i>Number out</i> (média)	31	28	59
Tempo médio de espera em fila (seg)	1198	1195	138
Número médio de clientes na fila	7,30	6,87	1,35
Média da taxa de utilização	98,97%	97,46%	78,55%
<i>Number in</i> do sistema (média)	148		
<i>Number out</i> do sistema (média)	118		

CENÁRIO ALTERNATIVO 4			
	Caixa1	Caixa 2	Caixa 3
<i>Number in</i> (média)	50	50	47
<i>Number out</i> (média)	36	38	35
Tempo médio de espera em fila (seg)	1016	950	949
Número médio de clientes na fila	6,81	6,48	6,17
Média da taxa de utilização	99,92%	99,19%	97,37%
<i>Number in</i> do sistema (média)	147		
<i>Number out</i> do sistema (média)	109		

CENÁRIO ALTERNATIVO 5			
	Caixa1	Caixa 2	Caixa 3
<i>Number in</i> (média)	37	39	36
<i>Number out</i> (média)	36	38	35
Tempo médio de espera em fila (seg)	993	993	993
Número médio de clientes na fila	19,66	19,66	19,66
Média da taxa de utilização	99,85%	99,45%	97,90%
<i>Number in</i> do sistema (média)	147		
<i>Number out</i> do sistema (média)	109		

CENÁRIO ALTERNATIVO 6				
	Caixa1	Caixa 2	Caixa 3	Caixa 4
<i>Number in</i> (média)	31	32	31	47
<i>Number out</i> (média)	30	31	30	46
Tempo médio de espera em fila (seg)	264,13	264,13	264,13	25,29
Número médio de clientes na fila	3,96	3,96	3,96	0,18
Média da taxa de utilização	97,29%	95,99%	93,19%	51,99%
<i>Number in</i> do sistema (média)	148			
<i>Number out</i> do sistema (média)	137			

CENÁRIO ALTERNATIVO 7			
	Caixa1	Caixa 2	Caixa 3
<i>Number in</i> (média)	32	30	60
<i>Number out</i> (média)	31	29	57
Tempo médio de espera em fila (seg)	1210,59	1210,59	129,55
Número médio de clientes na fila	14,82	14,82	1,25
Média da taxa de utilização	99,74%	98,96%	75,33%
<i>Number in</i> do sistema (média)	149		
<i>Number out</i> do sistema (média)	116		

Fonte: autoria própria.