

**MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES**

GABRIELLA VITORINO GUIMARÃES

ANÁLISE DA OPERAÇÃO FERROVIÁRIA DE TERMINAIS DE PASSAGEIROS

Rio de Janeiro

2016

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

GABRIELLA VITORINO GUIMARÃES

ANÁLISE DA OPERAÇÃO FERROVIÁRIA DE TERMINAIS DE PASSAGEIROS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia de Transportes.

Orientador: Prof. Luiz Antônio Silveira Lopes – D.Sc.

Rio de Janeiro

2016

c2016

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha

Rio de Janeiro – RJ CEP: 22.290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmear ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor(es) e do(s) orientador(es).

625.1 Guimarães, Gabriella Vitorino

G963a Análise da operação ferroviária de terminais de passageiros/ Gabriella Vitorino Guimarães; orientada por Luiz Antonio Silveira Lopes. – Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2016.

142 p.: il.

Dissertação (Mestrado). – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2016.

1. Curso de Engenharia de Transportes – teses e dissertações. 2. Ferrovias. 3. Mobilidade urbana. I. Lopes, Luiz Antonio Silveira. II. Título. III. Instituto Militar de Engenharia.

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

GABRIELLA VITORINO GUIMARÃES

**ANÁLISE DA OPERAÇÃO FERROVIÁRIA DE TERMINAIS DE
PASSAGEIROS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia de Transportes.

Orientador: Prof. Luiz Antônio Silveira Lopes – D.Sc.

Aprovada em 16 de fevereiro de 2016 pela seguinte Banca Examinadora:

Prof. Luiz Antônio Silveira Lopes – D.Sc. do IME – Presidente

Cap. Renata Albergaria de Mello Bandeira – D.Sc. do IME

Prof. Marcelino Aurélio Vieira da Silva – D.Sc. da UFRJ

Rio de Janeiro

2016

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, depois aos meus pais, Rosa e Anselmo, meus grandes incentivadores.

AGRADECIMENTOS

Mais uma etapa conquistada em minha vida, graças a Deus. A Ele o meu maior e mais sincero agradecimento. A fé me dá forças para superar obstáculos e alegria de viver.

Agradecimento especial aos meus pais, Anselmo e Rosa, que sempre me apoiaram em todas as minhas decisões e por estarem continuamente de prontidão para me ajudar e acolher, com todo amor e carinho, nos momentos de alegria e de dificuldade.

A minha família, por todo apoio. Em especial a família de minha tia Severina e a do meu primo Isaac, que foram meu refúgio no Rio de Janeiro quando eu precisava de um lar acolhedor e de ajuda em alguma necessidade. Agradeço também a família de Marcelo por todo acolhimento e carinho demonstrado.

As minhas amigas, que mesmo longe fisicamente sempre se fizeram presentes. As minhas rosas: Marina, Fernanda, Maiara e Luanna. Com a mesma importância agradeço a Monalise, Isaurinha, Danúbia, Laryssa e Karyna.

A todos do programa JAMIGOS, que me deram a oportunidade de servir aos mais necessitados. Obrigada pela presença alegre e incentivadora e por todas as orações.

A amiga Wagna, presente que esse mestrado me deu. Obrigada por todo companheirismo, sorrisos, inúmeras conversas e pelos momentos de desabafos e conselhos mútuos.

Ao amigo Faria, pela parceria durante esses dois anos de curso. Obrigada pela amizade e carinho dedicados. Ao amigo Daniel Schmitz, pelo companheirismo e cumplicidade. O laço de carinho que construímos levarei pra vida.

Aos amigos de mestrado Rossana, Rodrigo, Iran, Freddy, Virlene, Luana, Major Aredes, Jefferson, Sérgio e Therezinha, por todo o convívio alegre nessa caminhada. A Bernardo Tabet, pela importante ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu orientador professor Silveira Lopes, por ter aceitado o desafio deste trabalho; obrigada por todo apoio, paciência e atenção dedicados a mim na elaboração do mesmo. Aos demais professores da PGT, por todo conhecimento transmitido que muito contribuiu para minha formação. Ao Sargento Oazem, que sempre se mostrou competente e prestativo.

A Daniel Moreira e Júlia Dias, engenheiros da SuperVia, que sempre se mostraram muito solícitos em contribuir com a realização deste trabalho.

Aos membros da banca avaliadora, Marcelino Aurélio e a Cap Renata, por terem aceitado o convite para participar da mesma e pelas contribuições para melhoria deste trabalho.

A Capes, pelo apoio financeiro ao longo do curso.

“O conhecimento serve para encantar as pessoas, não para humilhá-las”.

Mário Sérgio Cortella

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	10
LISTA DE TABELAS	12
1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Considerações iniciais	15
1.2 Formulação do problema.....	16
1.3 Justificativa.....	17
1.4 Objetivos.....	19
1.5 Estrutura da dissertação.....	20
2 REVISÃO DA LITERATURA	22
2.1 Terminais ferroviários de passageiros	22
2.1.1 Características dos terminais	25
2.1.2 Componentes	27
2.1.3 Funções.....	28
2.1.4 Regras de operação nos terminais ferroviários.....	30
2.2 Simulação computacional.....	32
2.3 Abordagem dos trabalhos	39
2.3.1 Teses e dissertações	40
2.3.2 Artigos internacionais.....	44
3 PROPOSTA DE PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE DA OPERAÇÃO FERROVIÁRIA EM TERMINAIS DE PASSAGEIROS.....	52
3.1 Seleção do terminal de estudo e definição do objetivo da análise	54
3.2 Definição dos dados a serem coletados	54
3.3 Elaboração da entrevista	55
3.4 Realização da entrevista.....	56
3.5 Coleta de dados	56
3.6 Análise e tratamento dos dados.....	57
3.7 Definição dos índices operacionais.....	57
3.8 Desenvolvimento, verificação e teste do modelo de simulação	58

3.9	Análise da operação atual	61
3.10	Criação dos cenários	62
3.11	Discussão dos resultados e determinação do melhor cenário	63
4	MODELO DE SIMULAÇÃO	64
4.1	Objetivo e definição do sistema.....	64
4.2	Modelo abstrato	65
4.3	Dados de entrada.....	65
4.4	Modelo conceitual de simulação.....	67
4.4.1	Representação da malha	69
4.4.2	Representação dos trens diretos	70
4.4.3	Representação dos trens de ciclo	70
4.4.4	Algoritmo de inserção de trens na malha	71
4.4.5	Algoritmo de movimentação.....	72
4.4.6	Algoritmo de atividades	74
4.4.7	Algoritmo de locomotivas auxiliares	74
4.4.8	Algoritmo de contingências	74
4.4.9	Medição dos indicadores de desempenho	74
4.4.10	Indicadores gráficos.....	75
4.4.11	Comportamentos específicos.....	76
4.5	Modelo computacional	76
4.5.1	Detalhamento do modelo	78
4.6	Modelo operacional	84
4.7	Resultados operacionais.....	85
5	APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO PROPOSTO	86
5.1	Seleção do terminal de estudo e definição do objetivo da análise.....	86
5.2	Definição dos dados a serem coletados	90
5.3	Elaboração da entrevista.....	91
5.4	Realização da entrevista	92
5.5	Coleta de dados.....	92
5.6	Análise e tratamento dos dados	94
5.7	Definição dos índices operacionais	103

5.8	Desenvolvimento, verificação e teste do modelo de simulação.....	104
5.9	Análise da operação atual.....	107
5.10	Criação de cenários	118
5.11	Discussão dos resultados e determinação do melhor cenário	125
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	133
6.1	Objetivos alcançados.....	133
6.2	Respostas aos questionamentos.....	134
6.3	Elaboração do procedimento.....	136
6.4	Estudo de caso.....	136
6.5	Trabalhos futuros	137
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	139

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIG. 3.1	Etapas do procedimento para avaliação dos terminais ferroviários de passageiros	53
FIG. 3.2	Metodologia de simulação	59
FIG. 4.1	Algoritmo de inserção de trens na malha.....	72
FIG. 4.2	Algoritmo de movimentação	73
FIG. 4.3	Modelagem do processo de chegada do tipo 1	78
FIG. 4.4	“Create” para processo de chegada do tipo 1	79
FIG. 4.5	“Assignments” para processo de chegada do tipo 1	79
FIG. 4.6	“Create” para processo de chegada do tipo 2	80
FIG. 4.7	“Decide” para definir se o trem está em condições normais	80
FIG. 4.8	“Hold” para liberar a entrada de trem no pátio	81
FIG. 4.9	“Route” para movimentar a entidade (trem) dentro do pátio.....	82
FIG. 4.10	“Assign” para mudar características de entidade e/ou sistema.....	82
FIG. 4.11	“Process” para determinar o tempo de atendimento nas plataformas.....	83
FIG. 5.1	Estação Terminal Central do Brasil	88
FIG. 5.2	Fidelização de plataformas na Estação Terminal Central do Brasil	89
FIG. 5.3	Amostra das imagens coletadas através de filmagens	93
FIG. 5.4	Histograma do processo de chegada no horário de pico 1	95
FIG. 5.5	Curva do processo de chegada no horário de pico 1.....	95
FIG. 5.6	Histograma do processo de chegada no horário entre picos	96
FIG. 5.7	Curva do processo de chegada no horário entre picos	96
FIG. 5.8	Histograma do processo de chegada no horário de pico 2.....	97
FIG. 5.9	Curva do processo de chegada no horário de pico 2.....	97
FIG. 5.10	Histograma do tempo de atendimento no horário de pico 1	98
FIG. 5.11	Curva do tempo de atendimento no horário de pico 1	99
FIG. 5.12	Histograma de atendimento no horário entre picos	99
FIG. 5.13	Curva do tempo de atendimento no horário entre picos	100
FIG. 5.14	Histograma do tempo de atendimento no horário de pico 2	100
FIG. 5.15	Curva do tempo de atendimento no horário de pico 2.....	101
FIG. 5.16	Tempo médio de atendimento acumulado das plataformas e dos desvios no horário de pico 1 – processo de chegada tipo 1	109

FIG. 5.17 Taxa média de utilização das plataformas e dos desvios no horário de pico 1 – processo de chegada tipo 1	109
FIG. 5.18 Tempo médio de atendimento acumulado das plataformas e dos desvios no horário de pico 1	111
FIG. 5.19 Taxa média de utilização das plataformas e dos desvios no horário de pico 1 ...	112
FIG. 5.20 Tempo médio de atendimento acumulado das plataformas e dos desvios no horário entre picos.....	114
FIG. 5.21 Taxa média de utilização das plataformas e dos desvios no horário entre picos.	114
FIG. 5.22 Tempo médio de atendimento acumulado das plataformas e dos desvios no horário entre picos.....	116
FIG. 5.23 Taxa média de utilização das plataformas e dos desvios no horário entre picos.	116
FIG. 5.24 Tempo médio de atendimento acumulado das plataformas e dos desvios	128
FIG. 5.25 Taxa de utilização das plataformas e dos desvios.....	128
FIG. 5.26 Tempo médio de atendimento acumulado das plataformas e dos desvios	131
FIG. 5.27 Taxa de utilização das plataformas e dos desvios.....	131

LISTA DE TABELAS

TAB. 2.1	História do uso da simulação computacional	34
TAB. 2.2	Resumo dos trabalhos estudados	48
TAB. 5.1	Expressões dos intervalos de chegadas	98
TAB. 5.2	Expressões dos tempos de atendimento	101
TAB. 5.3	Distribuições de probabilidade e p-valor dos intervalos de chegadas.....	102
TAB.5.4	Distribuições de probabilidade e p-valor dos tempos de atendimento nas plataformas	102
TAB. 5.5	Média dos tempos de atendimento por número de replicações.....	106
TAB. 5.6	Dados de saída da simulação do processo de chegada do tipo 1 (programado). 106	
TAB. 5.7	Dados de saída da simulação do processo de chegada do tipo 2 – Pico 1	106
TAB. 5.8	Dados de saída da simulação do processo de chegada do tipo 2 – Entre Picos . 106	
TAB. 5.9	Dados de saída da simulação do processo de chegada do tipo 2 – Pico 2	106
TAB. 5.10	Dados da operação atual da estação terminal (em minutos)	117
TAB. 5.11	Intervalo de valores do índices operacionais selecionados para análise	106
TAB. 5.12	Cenários construídos	119
TAB. 5.13	Quantidade de trens atendidos (saíram do sistema)	119
TAB. 5.14	Tempo médio de fila para entrada no pátio (em minutos)	120
TAB. 5.15	Tempo médio de fila para entrada na plataforma A (em minutos)	120
TAB. 5.16	Tempo médio de fila para entrada na plataforma B (em minutos).....	121
TAB. 5.17	Tempo médio de fila para entrada na plataforma C (em minutos).....	121
TAB. 5.18	Tempo médio de fila para entrada na plataforma D (em minutos)	122
TAB. 5.19	Tempo médio de fila para saída da plataforma A (em minutos).....	122
TAB. 5.20	Tempo médio de fila para saída da plataforma B (em minutos)	123
TAB. 5.21	Quantidade média de trens para entrada no pátio (fila)	123
TAB. 5.22	Quantidade máxima de trens para entrada no pátio (fila)	124
TAB. 5.23	Relação do melhor cenário para cada índice operacional	125
TAB. 5.24	Dados de saída da simulação do cenário 100% I x 60% T – Pico 1	126
TAB. 5.25	Dados de saída da simulação do cenário 100% I x 40% T – Pico 1	129

RESUMO

Os grandes centros vêm sofrendo com os longos congestionamentos em suas vias, o que incentiva a busca por melhoria da mobilidade urbana. O transporte sobre trilhos se caracteriza como uma alternativa de locomoção para a grande massa, pois possibilita ter seu tempo de trajeto reduzido. O terminal de passageiros é um componente importante dentro do sistema ferroviário, em que deve ser bem dimensionado e operacionalizado. Nesse contexto, este trabalho de dissertação tem como objetivo principal propor um procedimento para análise da operação ferroviária em terminais de passageiros. Essa análise permitirá identificar os índices operacionais que mais influenciam na qualidade da operação, e assim verificar até que ponto eles podem ser alterados antes da realização de mudança na infraestrutura do terminal. Esse procedimento tem como principal ferramenta a simulação computacional, em que o modelo computacional foi desenvolvido no *software* Arena 14.0, versão estudante. Índices operacionais foram determinados, a partir da revisão de literatura, para quantificar alguns aspectos da operação ferroviária dentro dos terminais. Analisada a operação atual, houve a criação de 16 novos cenários, em que foi feita a modificação das distribuições de probabilidade geradas através do histórico de dados para o intervalo de chegadas de trens e o tempo de atendimento nas plataformas. Foram selecionados os 10 principais índices operacionais, e, desta forma, feita uma análise separada e, posteriormente, a verificação do melhor cenário para cada um dos índices. Executado todo o procedimento, tem-se condições de elaborar a proposta da melhor forma de operação com os recursos existentes no momento. A aplicação do procedimento proposto foi feita na estação terminal Central do Brasil, localizada na cidade do Rio de Janeiro, e a delimitação do estudo foi o ramal Deodoro, de trens paradores. Para este caso, após a análise dos 16 cenários, teve-se como escolhido o que apresenta 100% da distribuição do intervalo entre chegadas e 60% da distribuição do tempo de atendimento nas plataformas. Para estudos futuros propõem-se que sejam abordados outros fatores, tais como custos, mudança de *layout* e percepção dos passageiros, e, como estudo de caso, que sejam analisados os demais ramais da estação terminal objeto de estudo neste trabalho.

ABSTRACT

Downtown of big cities has been suffering with long car traffic in their roads what makes necessary improve urban mobility. Transport over rail is characterized as a locomotion alternative to the people because it makes a reduction of time. Passangers terminus is an important componente in the railroad system which needs to be well dimensioned and operated. Into this context, this dissertation text has like main objective propose a procedure for railroad operation analisys in terminus passangers. This analisys will permit identificate the operational indicators who more influence into the operation quality and so verificate until when they can be altered before the changing in terminus infrastructure. This procedure has like main tool computacional simulation in what the computacional model was developed in software Arena 14.0, student version. Operational index was determinated through literature review to quantificate some aspects of railroad operations inside terminus. Analised current situation it was created 16 new scenarios in which was made the distribution of probabilities generated by historyc data of trains arrivals and the attendance time into platforms. There were selected the 10 main operational index and made a separeted analisys and after the verification of better scenario for each case. Executing all procedure it is possible to elaborate the best operational form whith existing resource at that moment. The propose procedure aplicacion was done in Central do Brasil station located in Rio de Janeiro city and the study delimitation was in Deodoro branch of stopped trains. For this case, after the 16 cases analisys it was choosen the one who presents 100% of the break distribution in arrivals and 60% from the distribucion time in plataforms. For future researches it is proposed other factors such as costs, layout changings and passagenrs perception and as case study that another branches be analysed by the terminus station studied in this case.

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O transporte metroferroviário é uma importante alternativa para um problema atual dos grandes centros urbanos que é o congestionamento no trânsito, se caracterizando como uma das medidas que devem ser analisadas na busca por melhorias na mobilidade urbana. De acordo com a Associação Nacional dos Transportadores de Passageiros sobre Trilhos – ANPTRILHOS (2013), o sistema ferroviário brasileiro realiza o transporte de 9,3 milhões de passageiros diariamente. Porém, isso representa apenas 3,8% de participação na matriz de transporte urbano nas cidades brasileiras. Ainda assim, isso implica na retirada de 1,1 milhão de carros e mais de 16.000 ônibus por dia dos centros urbanos onde esses sistemas estão implantados. A rede metroferroviária brasileira tem uma extensão de 972,5 km, conta com 38 linhas e 501 estações e tem 3900 carros em operação (ANPTRILHOS, 2013).

De acordo com o Censo 2010 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2010), 84,36% da população brasileira reside na área urbana; no estado do Rio de Janeiro essa porcentagem passa a ser 96,71%, ou seja, é elevado o número de pessoas que se locomovem diariamente nas cidades, em especial na capital e sua região metropolitana. Além disso, a frota nacional de automóveis, em janeiro de 2015, era de 48.113.327 unidades, sendo 4.059.681 no estado do Rio de Janeiro (DENATRAN), número elevado que justifica a situação caótica do trânsito. Considerando esses números, faz-se necessário que os governos invistam em planejamento da mobilidade, incentivando a sua utilização, na tentativa de diminuir o número de veículos em circulação nas vias urbanas.

GUAZZELLI (2011) afirma que “os sistemas ferroviários e metroviários desempenham um grande papel na estrutura urbana atual. Como são sistemas de alta capacidade, quando instalados permitem grande mobilidade às regiões onde se localizam os terminais”. Assim, os terminais ferroviários de passageiros são classificados como elementos de grande importância para esse tipo de sistema. Desta forma, estudar esse componente, na tentativa de buscar formas de melhor dimensioná-lo e utilizá-lo, tem influência direta no avanço de sua operação em relação ao aumento da capacidade, redução de custos e melhor nível de serviço. Isso

permite também verificar sua viabilidade e ter embasamento para propor intervenções na sua forma de utilização.

A partir da leitura e análise de trabalhos anteriores que abordaram a mesma temática, verificou-se a ausência de estudos que determinassem a capacidade de terminais de passageiros através da simulação computacional, principalmente tendo um enfoque apenas no subsistema ferroviário. Assim, este trabalho irá buscar preencher essa lacuna, destacando que a análise de sensibilidade se dará sem uma prévia determinação de cenários, pois os mesmos serão construídos a partir da alteração dos fatores que forem considerados críticos no decorrer do estudo.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é propor um procedimento para análise da operação ferroviária de terminais de passageiros. Para alcançá-lo, primeiramente foi feito um estudo teórico em livros e trabalhos que tratam das temáticas envolvidas nesse trabalho. De posse dos conhecimentos necessários para o desenvolvimento do mesmo, foi elaborada a proposta do procedimento. Em seguida, com o objetivo de testá-lo, foi realizada uma aplicação na estação terminal Central do Brasil, na cidade do Rio de Janeiro-RJ. A escolha deste terminal se deu pela sua importância dentro do sistema ferroviário urbano da região metropolitana do Rio de Janeiro, que se justifica pela sua localização estratégica na cidade, grande fluxo de passageiros, local de integração com o metrô e linhas de ônibus e acesso ao centro da cidade.

A dissertação foi dividida em três etapas: 1) Revisão da literatura, abordando os conceitos necessários para a elaboração do procedimento. 2) Elaboração do procedimento para permitir a análise da operação de terminais ferroviários de passageiros. 3) Estudo de caso, com aplicação do procedimento em um ramal da estação terminal Central do Brasil. Porém, outros capítulos compõem-na, conforme poderá ser verificado no tópico 1.6.

1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O uso do sistema de transporte sobre trilhos proporciona ganhos para toda a região em que ele está inserido, como poder reduzir o tempo de deslocamento dos passageiros, o consumo de combustível, da emissão de gases poluentes e do número de acidentes de trânsito. No entanto, o seu alto custo de implantação, operação e manutenção se caracteriza como um

entreve para a sua expansão no país. Desta forma, a otimização dos recursos disponíveis torna-se fundamental para garantir que o sistema seja rentável do ponto de vista social, econômico e financeiro.

Deste modo, verifica-se a necessidade de se criar procedimentos que possibilitem a sua caracterização e análise, para que seja possível identificar e quantificar seus indicadores operacionais, bem como analisar os fatores que podem sofrer intervenções na busca por melhorias no processo, “já que através da avaliação pode-se alocar recursos de forma racional para melhorar a qualidade do produto ou serviço ofertado” (SOUZA, 2001).

Assim, findada esta dissertação, pretende-se ter respondido a esses quatro questionamentos:

1. Como analisar a operação dos terminais ferroviários de passageiros de forma efetiva?
2. Quais os índices operacionais mais adequados para serem utilizados no método desenvolvido?
3. Quais aspectos operacionais afetam o nível de serviço?
4. Quais as ferramentas ideais que devem ser utilizadas para se chegar a um resultado satisfatório do procedimento proposto?

Com isso, os gerenciadores de terminais de passageiros terão mais um subsídio para executarem seus trabalhos, e o meio acadêmico ganhará mais uma contribuição sobre essa temática.

1.3 JUSTIFICATIVA

No Brasil há predominância do transporte rodoviário, detendo grande participação na matriz de transportes. De acordo com o MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES (2012), no relatório final do Plano Nacional de Logística e Transportes, a participação relativa do modo rodoviário é de 58%, o ferroviário de 25% e o hidroviário de 17% para o transporte de carga. No transporte urbano essa parcela pode ainda ser mais significativa, pois são poucas as cidades que detém o serviço de transporte metroviário e/ou ferroviário, além do pouco incentivo e infraestrutura para o uso de bicicletas. Assim, há uma maior concentração de estudos voltados para o modo rodoviário, seja de carga ou de passageiros.

Os transportes urbanos ferroviário e metroviário são alternativas para amenizar os problemas de congestionamento nas cidades, visto que o seu percurso tem o intervalo de tempo determinado, diminuindo o tempo de locomoção das pessoas. O setor vem ganhando um pouco mais de destaque recentemente, entretanto, em função do crescimento das grandes cidades e das frotas de veículos, ele não tem como acompanhar o aumento da demanda, pois os custos com implantação, operação e manutenção são bastante elevados. Mas embora existam essas e outras limitações por ser um sistema fechado, a exemplo de percurso e pontos de paradas fixos, o setor apresenta oportunidades de melhorias que precisam ser exploradas. Aumentar ao máximo possível a taxa de utilização do sistema acaba se tornando um objetivo crucial para as empresas, porém é importante manter um bom nível de serviço, pois os clientes precisam estar satisfeitos. Para isso, faz-se necessário conhecer o comportamento do sistema e de seus passageiros, que é possível a partir da observação dos mesmos, da coleta de dados e da pesquisa em campo, em que os dados que forem coletados deverão ser tratados para que se possa fazer as análises cabíveis.

Nos terminais ferroviários, os passageiros fazem a integração entre os trens e o contexto da cidade em que eles estão inseridos, o que permite que a sua análise seja uma representação do desempenho operacional do sistema, pois a sua boa ou mau execução reflete em toda a linha. Eles são os nós da rede ferroviária/metroviária. Desta forma, o seu estudo possibilita diagnosticar a realidade atual, bem como servir de base para trabalhos sobre o processo de tomada de decisão. Mediante essas afirmações, verifica-se que há relevância no estudo deste tema, pois os terminais ferroviários de passageiros são cruciais para a garantia de uma operacionalidade do sistema eficaz e de um nível de serviço aceitável ou satisfatório. “Traçando um paralelo com a conceituação comumente utilizada pela engenharia de tráfego, podemos definir nível de serviço como um termo que indica qualquer uma das infinitas combinações de condições de operação do sistema” (SOUZA, 2001). Essa pesquisa irá considerar aspectos quantitativos, buscando contribuir da melhor forma para essa área do conhecimento.

MARINOV ET AL. (2013) afirmam que para proporcionar um bom nível de serviço a um baixo custo faz-se necessário que métodos de avaliação de rede sejam desenvolvidos, a fim de que seja possível avaliar, planejar e otimizar os níveis de desempenho do sistema ferroviário. Estes métodos que os autores citam incluem: projeto de redes de serviços, modelos gravitacionais, filas de redes, simulações e otimização de modelos de rede. Além disso, eles enfatizam que, para efeitos de análise, a rede ferroviária pode ser dividida em seus

componentes (linhas férreas, estações ferroviárias, estaleiros, terminais de intercâmbios, etc), o que possibilita que os estudos sejam feitos mais detalhadamente. Neste trabalho, o componente estudado será estações ferroviárias, usando como principal ferramenta a simulação computacional.

Ao abordar essa temática, tem-se a motivação de contribuir para o meio acadêmico no sentido de oferecer um procedimento que agregue aspectos técnicos para analisar os serviços oferecidos nos terminais ferroviários de passageiros. Ainda, poderá ser usado como base no desenvolvimento de outros procedimentos que tenham relação com o tema abordado neste trabalho. Em relação à contribuição para o setor ferroviário, ela se dará a partir da identificação de fatores operacionais que influenciam no nível de serviço. Isso será possível devido ao estudo da literatura, às observações feitas em campo (análise do comportamento dos passageiros, da infraestrutura do local e da operação realizada) e da entrevista realizada junto a funcionários da empresa operadora detentora da concessão, a nível operacional e estratégico. A simulação permitirá conhecer o comportamento do sistema e a experimentação de cenários alternativos, enxergando e/ou analisando outras possíveis realidades.

1.4 OBJETIVOS

O objetivo geral a ser alcançado na dissertação é propor um procedimento para análise da operação ferroviária em terminais de passageiros.

Os objetivos específicos são:

1. Identificar os índices operacionais que influenciam na qualidade da operação ferroviária dos terminais de passageiros a partir da revisão de literatura;
2. Elaborar um modelo de simulação para analisar o comportamento do sistema;
3. Construir cenários a serem utilizados na simulação;
4. Aplicar o procedimento proposto em um terminal de passageiros;
5. Analisar os resultados obtidos a partir dos cenários construídos.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Considerando todos os aspectos apresentados na introdução e na justificativa, e para atender aos objetivos propostos, além de permitir o entendimento do leitor sobre a pesquisa, a dissertação foi dividida em 6 capítulos, conforme descritos abaixo:

- **Capítulo 1:** apresenta a introdução do trabalho. As considerações iniciais, inserindo o leitor no contexto da temática que será estudada; a formulação do problema, trazendo questionamentos que devem ser respondidos ao final do trabalho; a justificativa, mostrando a importância e a motivação da pesquisa; os objetivos geral e específicos, ou seja, o que se pretende alcançar findada a dissertação; e, por fim, a estrutura do trabalho.
- **Capítulo 2:** trata da revisão bibliográfica, em que são feitas abordagens teóricas a respeito dos conceitos que são necessários compreender para a execução deste trabalho, que são terminais ferroviários de passageiros e simulação computacional. Além disso, mostra alguns trabalhos já realizados na área do trabalho em questão, a nível nacional e internacional, fazendo um levantamento de metodologias existentes com propostas para definição de níveis de serviço e análise da operação de terminais ferroviários e aeroportuários.
- **Capítulo 3:** é desenvolvido o procedimento generalizado para possibilitar a análise da operação ferroviária em terminais de passageiros, determinando indicadores a serem analisados, sendo aplicável a outros terminais que tenham características operacionais semelhantes. A definição dos indicadores, o planejamento/procedimento para a coleta de dados, a construção dos cenários a serem analisados e a explicação a respeito da técnica empregada (simulação computacional) e do *software* escolhido para o desenvolvimento do modelo são estabelecidos/apresentados neste capítulo.
- **Capítulo 4:** capítulo dedicado à descrição do modelo de simulação desenvolvido, tendo como base a metodologia descrita no capítulo anterior (capítulo 3) e que foi adotada neste trabalho.
- **Capítulo 5:** neste capítulo será o momento em que procedimento proposto será aplicado, realizando assim o estudo de caso, como forma de mostrar a viabilidade do mesmo, além de analisar a operação do terminal ferroviário de passageiros escolhido,

bem como identificar quais aspectos operacionais influenciam no seu nível de serviço. Os resultados obtidos serão apresentados e discutidos.

- **Capítulo 6:** serão versadas as considerações finais a respeito do trabalho de uma maneira geral, como também do procedimento de uma maneira mais específica e do estudo de caso, além de respondidos os questionamentos feitos no início do trabalho. As limitações encontradas durante o desenvolvimento do trabalho serão apresentadas e feitas as recomendações necessárias.

Por fim, são citadas as referências bibliográficas que foram utilizadas para a realização desta dissertação.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo será feito o embasamento teórico referente a conceitos necessários para o desenvolvimento deste trabalho, que englobará os terminais ferroviários de passageiros e simulação computacional. O primeiro possibilitará o conhecimento acerca de suas características principais, de seus componentes e de suas funções, além das regras de operação ferroviária nos mesmos. O segundo trará noções básicas sobre a principal ferramenta utilizada no procedimento proposto. Além disso, o último tópico trará os resumos de artigos, teses e dissertações que trabalharam com nível de serviço e análise da operação de terminais ferroviários e aeroportuários.

2.1 TERMINAIS FERROVIÁRIOS DE PASSAGEIROS

Os terminais ferroviários urbanos de passageiros compõem o sistema de transporte ferroviário, sendo o local onde os passageiros interagem com o mesmo. A quantidade de estações vai depender da demanda dos lugares em que o sistema de transporte passa, de espaço físico, recursos financeiros, e outros fatores que possam influenciar.

ASSAD (1979), reconhecendo a eficácia da otimização de modelos de planejamento em várias áreas de transporte, já previa que no ambiente ferroviário também seria previsível esse avanço. Ele também afirma que no caso de transporte de passageiros há a tendência de se usar o planejamento tático, sendo um de seus problemas a determinação do número e frequência de serviços de trem, bem como seus itinerários.

De acordo com ASSAD (1979), “os trens de passageiros são esperados para aderir a um conjunto de tabelas de horários determinados globalmente e interferências no nível local com o plano geral são geralmente desencorajadas”. Assim, é preciso sempre garantir a eficiência em nível local, mantendo-o adequado às exigências do sistema. “Um sistema ferroviário geralmente é ‘regulado por horário’, sendo a ele associado o conceito de ‘pontualidade’, que significa cumprir os horários estabelecidos” (ANDRADE, 2009).

A “programação da oferta” refere-se à especificação dos intervalos, horários e quantidades de carros na composição do trem. A partida do trem com um intervalo maior que o programado ou após o horário programado causa um atraso, prejudicando a pontualidade. Alterações momentâneas na operação são realizadas para garantir a continuidade do serviço.

“Como a velocidade do trem não pode ser aumentada, por questões técnicas e/ou de segurança operacional, entre os meios disponíveis ao operador para recuperar o atraso estão diminuir o tempo de serviço de portas (tempo entre a abertura e o fechamento das portas) em uma ou mais estações adiante, a injeção de trens extras e a redução da folga programada pela grade horária de trens nas estações terminais (estações das extremidades das linhas)” (ANDRADE, 2009).

Ainda sobre a operacionalidade dos trens, tem-se que “quando um comboio está atrasado, pode prejudicar outros trens por ainda estar ocupando (parte da) rota programada impedindo que outros trens possam passar (cruzamento)” (YUAN e HANSEN, 2007). Segundo os autores, esses atrasos em outros trens são chamados atrasos consecutivos e eles refletem o grau de robustez da programação de horários e a estabilidade das operações dos trens. Ou seja, uma falha na operação não afeta apenas um único trem, mas também outros posteriores a ele.

De acordo com CANCA ET AL. (2014), a programação de horário dos trens pode ser um dos tópicos que apresente maior influência na percepção dos usuários sobre a qualidade do serviço. Caso o planejamento seja ineficiente, há a possibilidade do usuário decidir por escolher outros modos de transporte.

Sobre a elaboração do *time-tabling*, DICEMBRE E RICCI (2011) explicam que o requisito principal é que o corredor não deve gerar atrasos, o que requer que ele tem que compensar os atrasos que ocorrem ao longo do corredor ferroviário. Assim, ele acaba por ficar bem próximo da capacidade máxima, mas sendo capaz de reduzir as consequências dos atrasos.

“Os desempenhos do sistema ferroviário também estão ligados a critérios de planejamento do *timetable*, ou seja, a definição de tempos de recuperação apropriados (para garantir aos comboios a possibilidade de reduzir as perturbações) e tempo de recuperação (para permitir minimizar e compensar a propagação de atrasos)” (DICEMBRE E RICCI, 2011, pág. 1).

ALMEIDA (1998) diferencia os conceitos de avaliação e de dimensionamento de terminais de passageiros; segundo ele, o primeiro tem como ideia básica de estimar se é possível atender a demanda existente com os recursos disponíveis, enquanto que o segundo quantifica o desempenho do terminal, determinando a quantidade de recursos necessários em função da demanda prevista. A avaliação permite verificar se a operação atual está sendo bem executada ou não, e identificar quais mudanças na operação podem ser feitas; o dimensionamento verifica se há necessidade de se obter outros recursos e a quantidade ideal.

Na relação de capacidade e confiabilidade, DICEMBRE E RICCI (2011) afirmam que o usuário prefere a máxima confiabilidade com serviços frequentes, enquanto o gerente da infraestrutura ferroviária tem interesse em maximizar o número de trens disponíveis. Serviços frequentes de trens diminuirão o tempo de espera dos usuários e facilitarão o seu planejamento de locomoção, enquanto que maior número de trens disponíveis aumentará a chance de que o planejado seja cumprido e que suas metas de operação sejam alcançadas. De acordo com esses autores, os métodos utilizados para calcular a capacidade são os analíticos e os de simulação. Porém, os analíticos não são capazes de definir o tempo de espera que é gerado pelos conflitos individuais que ocorrem entre trens. Logo, neste trabalho se fará o uso de métodos de simulação computacional.

Além do alargamento das faixas de infraestrutura e melhoria dos sistemas de sinalização para aumentar a capacidade da rede ferroviária, os gestores buscam utilizar a capacidade existente de forma mais eficiente. Porém, embora exista a possibilidade de adicionar tempos suplementares para suprir os distúrbios que ocorrem aleatoriamente nos nós e links de redes ferroviárias, isso implicará em aumento do tempo total de viagem, além de maior custo de operação e menor eficiência da utilização do sistema (YUAN E HANSEN, 2007).

ADAMKO E KLIMA (2008) afirmam que os gestores de terminais ferroviários lidam constantemente com problemas durante as fases de concepção, construção, reconstrução e operação dos mesmos, e os dividem em duas categorias principais: planejamento da infraestrutura (projeto) e problemas operacionais, que incluem a gestão dos recursos. Eles citam alguns problemas de terminais ferroviários que vem sendo resolvidos através da simulação, são eles: mudanças no fluxo de entrada, mudança na tecnologia de rede introduzindo um novo *time-tabling*, alterações na infraestrutura de rede, a redução dos recursos utilizados para operação, racionalização dos processos tecnológicos, planejamento da manutenção da infraestrutura, reconstrução e configuração da infraestrutura do terminal, verificação e melhoramento do controle estratégico da operação e situações de crise de gestão.

Para analisar a operação dos terminais, faz-se necessário estabelecer alguns critérios. Em se tratando do setor ferroviário de um terminal, GONÇALVES (1986) afirma que eles “se baseiam na análise dos atrasos (esperas) ou na comparação entre a circulação programada e a executada”. Nos tópicos seguintes serão explicitadas características, elementos e funções dos terminais, que servirão de base no desenvolvimento do modelo de simulação e na análise de resultados deste trabalho.

2.1.1. CARACTERÍSTICAS DOS TERMINAIS

Quatro subsistemas de transportes constituem os sistemas de transporte, que são as vias, os veículos, os terminais e os controles. No sistema ferroviário, as vias são as linhas férreas, os veículos constituem os trens, os terminais podem ser de passageiros ou de cargas e o controle é o centro de controle operacional (C.C.O). Neste trabalho, o foco é terminal de passageiros, que será trabalhado com maior detalhe neste tópico. O terminal objeto de estudo deste trabalho se classifica como multimodal, integrando mais de uma modalidade de transporte, sendo comum nos grandes centros urbanos, e interurbano, pois atende a região metropolitana, que abrange diferentes núcleos urbanos.

Sobre os sistemas de transportes:

“Um sistema de transporte é composto por uma infraestrutura que compreende vias e terminais, por veículos, por pessoas dentre elas os usuários e empregados, e um conjunto de processos básicos, tudo interligado por uma organização e interagindo com o meio ambiente com a finalidade de desempenhar sua função, gerar benefícios para seus usuários associados à utilidade de tempo, espaço e estado” (FONTES LIMA, pág. 88, 1995).

De acordo com MARINOV ET AL. (2013), uma estação desempenha quatro funções gerais: os trens param para carga/descarga, para embarque e desembarque, para cruzamento e /ou ultrapassagem e para manobras e remontagem. Assim, eles afirmam que o conceito de capacidade para uma estação vai ter relação direta com o número máximo de trens entrando nela, realizando a operação prevista e saindo da estação, sendo todas essas operações compatíveis com o nível de pontualidade exigido.

De uma maneira geral, “um terminal de passageiros se caracteriza como um elemento de apoio ao sistema de transporte através do qual se processa a interação entre indivíduo e serviço de transporte” (GOUVÊA, 1980). Ele integra os subsistemas e contribui na organização dos sistemas de transporte, apresentando funções específicas de acordo com o tipo de transporte. A confiabilidade e a regularidade dos serviços prestados envolvem a capacidade do terminal e a estrutura viária de serviço e no entorno ao terminal.

O transporte ferroviário tem a característica de não possuir flexibilidade para o atendimento porta a porta, porém, atrai um grande número de passageiros devido à sua alta capacidade de transporte e de estar isento de congestionamentos. “Os terminais ferroviários de passageiros podem ser classificados como terminais públicos de uso coletivo, e, junto com as estações, são os únicos pontos em que a modalidade se relaciona com a aglomeração urbana, ou seja, onde os usuários têm acesso ao sistema” (GONÇALVES, 1986).

A elaboração do *time-tabling* (programação de horário dos trens) inclui oito atividades, são elas: cálculo da demanda, modelagem de infraestrutura, execução do cálculo de tempo, traçados de modelagem, simulações do *time-tabling*, modelagem de otimização, base de dados históricos e o material circulante e pessoal de planejamento (MARINOV ET AL., 2013). Após a criação do *time-tabling*, planeja-se os trens e os funcionários, alocando os veículos, considerando o abastecimento dos mesmos e as restrições de eletrificação, além de ter como objetivo fazer com que ao término do trabalho do dia o trem esteja localizado na oficina de manutenção. Isso se dá pelo fato de ser nos intervalos entre os dias que ocorrem as manutenções programadas.

A programação de trens reflete na dinâmica dos terminais, tanto em relação à sua procura quanto ao seu esvaziamento e rotatividade de usuários. Sobre esse aspecto, ASSAD (1979) afirma que “dado um cronograma de paradas e o número de trens operando em uma linha de seções de pista, os horários devem ser construídos para especificar as operações detalhadas”. Além disso, “os horários estão sujeitos a uma série de restrições, incluindo *headway* (intervalo entre trens) e requisitos de segurança entre expedições sucessivas e problemas de gargalo da capacidade limitada da pista” (ASSAD, 1979). O autor ainda cita que um desafio é encontrar um padrão ótimo de despachamento de trens expressos, de modo que maximize as receitas, mas considerando o fato de que os passageiros poderão não optar pelo serviço caso suas necessidades não sejam atendidas.

ASSAD (1979) cita que um caso especial do problema de programação de trem se dá quando trens especiais (extras) são programados para complementar um horário de

funcionamento normal. No caso de sistema de transporte regional, essa prática é comum nos horários de pico ou períodos de alta demanda. O objetivo disto é atender a todos os usuários, além de diminuir seu tempo de espera.

2.1.2 COMPONENTES

Os aspectos operacionais de funcionamento dos trens são fundamentais na avaliação do serviço/desempenho dos terminais, mas uma atenção especial deve ser dada às características de sua infraestrutura e de serviços realizados naquele local. Os terminais são compostos por áreas de locomoção, escadas, áreas de espera, banheiros, comercial, de atendimento ao usuário, de venda de bilhetes, dentre outras. A qualidade de cada elemento tem influência direta na sua operacionalidade, conseqüentemente na percepção do usuário quanto ao serviço prestado.

GONÇALVES (1986) elenca os componentes do setor ferroviário de um terminal de topo:

- Pátio: apresenta uma configuração de via, dividida em vias vivas de entrada e saída do terminal, vias mortas de plataforma, feixes de vias vivas, vias de estacionamento e vias de acesso e oficina de abrigo;
- Plataforma: proporciona o acesso ou egresso dos usuários aos carros;
- Acesso às plataformas: os acessos podem ser extremos, a nível, intermediários ou na outra extremidade;
- Controle dos acessos: é feito através dos torniquetes, que devem ser dispostos de modo a não provocar desvios aos usuários e não deve estar associado à venda de bilhetes;
- Sistema de sinalização: dispõe de recursos que irão possibilitar a movimentação dos trens ao longo da ferrovia. A autorização do movimento é feito através do licenciamento. Dentro dos pátios os sistemas tradicionais empregados na sinalização são cabinas de intertravamento, cabinas de rotas e controle de tráfego centralizado (CTC);

- Sistema de comunicações: os principais sistemas disponíveis no setor ferroviário são redes telefônicas de sinalização, de exploração e automática, seletivo centralizado, rede de teletipos, rede de megafonia, cronometria, rede de rádio, teleindicadores.
- Sistema de eletrificação: todas as vias dos terminais de passageiros devem dispor de rede aérea de tração. Algumas vezes é necessária a existência de subestações fixas ao longo da linha.

Esses elementos precisam ser quantificados através de uma medida adequada de nível de serviço. MEDAU (2011), em seu trabalho sobre análise da capacidade do lado aéreo, exemplifica que para os componentes do terminal de passageiros pode-se medir a fila de passageiros ou a percepção de conforto, enquanto que para o lado aéreo essas medidas podem referir-se ao comprimento de filas de aeronaves ou atrasos sofridos pelas aeronaves, após o pouso. Para o sistema ferroviário têm-se como exemplos os trens que esperam liberação da sinalização e atrasos sofridos decorrente de problemas técnicos ou externos (fatores incontroláveis).

Determinar o número máximo de trens que pode circular na via férrea em um dado período é importante para evitar atrasos e problemas de liberação dos mesmos para circulação, melhorando assim o nível da operação.

2.1.3 FUNÇÕES

No caso específico dos terminais ferroviários de passageiros, sua função é permitir a entrada ou a saída de passageiros, bem como possibilitar a integração modal. Ele é considerado um sistema dinâmico, onde ocorre o processo de movimento dos trens e o de transbordo de passageiros para os modos complementares (GONÇALVES, 1986). Acrescenta-se a isso ainda a inserção de passageiros no sistema de transporte ferroviário, pois para muitos esse é o único meio de transporte motorizado utilizado, por exemplo, para ir ao trabalho.

As suas funções podem ser bastante amplas e envolver vários aspectos, que deverão ser consideradas de acordo com o foco que se deseja analisar. GOUVÊA (1980) agrupou as suas várias funções quanto à operação e quanto à localização. Em relação aos aspectos

operacionais que têm influência no nível de serviço que possibilitam um melhor desempenho do terminal sob o ponto de vista técnico, as funções elencadas pela autora foram:

- Facilidade de embarque e desembarque de passageiros;
- Possibilitar a transferência de um modo ou serviço de transporte para outro;
- Prover estacionamentos ou pátios para estacionamento de veículos;
- Oferecer os serviços necessários ao atendimento do usuário;
- Administrar e operar o sistema de transporte no terminal;
- Proporcionar conforto e segurança ao usuário;
- Possibilitar uma circulação adequada de passageiros e veículos.

Porém, para que os processos ocorram de forma fluida alguns fatores são influentes. GONÇALVES (1986) cita alguns deles: frequência de circulação dos veículos, a minimização dos percursos internos dos usuários, o tipo de acesso às áreas reservadas aos que viajam, a venda de bilhetes e a sequência de ocupação das plataformas pelos usuários. Além disso, é importante considerar os serviços complementares que compõem os terminais, tais como lanchonetes, sanitários, bilheterias e lojas de conveniência. Quanto maior o tempo que o usuário permanecer dentro da estação, mais necessidade ele terá desses adicionais, garantindo assim o seu conforto.

O autor ainda cita que para que essas funções sejam cumpridas os terminais devem ser divididos em três setores: ferroviário (o pátio do terminal e os serviços relativos à operação), de serviços (atendimento dos usuários, esperando ou se transferindo a outro modo) e urbano (proporciona o relacionamento do modo ferroviário com os meios de concentração e dispersão).

De maneira geral, para finalizar esse tópico, destaca-se que “a função dos terminais de transporte é possibilitar a entrada ou saída do sistema de transportes, ou alteração de modal dos passageiros, atendendo às necessidades de processamento dos mesmos” (GUAZZELLI, 2011). Assim, a operação executada de forma tecnicamente correta proporciona um fluxo mais livre dentro do sistema. Porém, ressalva-se que o modo de operar essas funções podem variar de acordo com o tipo de terminal e com o modo de transporte.

2.1.4 REGRAS DE OPERAÇÃO NOS TERMINAIS FERROVIÁRIOS

As operações ferroviárias envolvem recursos estáticos e dinâmicos. A infraestrutura ferroviária refere-se aos recursos estáticos, como exemplo tem-se trilhas, linhas, sinais, plataformas, prédios, tapumes, catenária, entroncamentos e pontes. Os recursos dinâmicos, por sua vez, definem a capacidade permanente dos componentes da infraestrutura ferroviária, em que os *layouts* e os esquemas técnicos podem classifica-los. (MARINOV ET AL., 2013).

Ainda sobre os recursos dinâmicos, MARINOV ET AL. (2013) afirmam que todos os bem móveis se classificam como tais, isso inclui vagões (de passageiros e carga), locomotivas diesel e elétricas, trem conjuntos inteiros e máquinas para manutenção ferroviária. Além disso, têm-se também os funcionários envolvidos, planos, cronogramas, administração, departamentos comerciais e semelhantes.

Conforme explicitado no tópico anterior, os terminais são compostos por elementos de infraestrutura e operacionais. No entanto, a execução dos serviços não deve ser aleatória, ou seja, ela deve obedecer a critérios pré-estabelecidos, sejam pelas agências reguladoras, pelas normas nacionais e/ou internacionais e pelas determinações da própria empresa prestadora do serviço.

Há características desses serviços que têm maior influência na satisfação do usuário e na qualidade da operação, em se tratando de aspectos técnicos. Os horários, por exemplo, podem ser um dos aspectos mais delicados. Os tempos de parada são parcialmente dependentes da demanda, pois eles são obtidos a partir das chegadas dos passageiros entre trens consecutivos e a capacidade livre em cada parada.

Primeiramente, o tráfego ferroviário de passageiros pode ser dividido em de curta distância e de longa distância. Quando a via tem até 75 km de extensão, considera-se como de curta distância. Os tráfegos urbanos e suburbanos assim se classificam. Os de longa distância têm percursos de até 1500 km e apresentam maior demanda nas férias, finais de semana e feriados (Gonçalves, 1986). O sistema ferroviário da cidade do Rio de Janeiro apresenta os tráfegos urbano e suburbano, mas que têm características semelhantes. Seus passageiros apresentam motivos diversos de viagens.

A sinalização é um aspecto fundamental para a operação dos trens. No trabalho de YUAN E HANSEN (2007) sobre a otimização da capacidade de utilização das estações através da estimação dos atrasos dos trens, ele considera três condições a serem utilizadas no

modelo de simulação: 1) quando o trem chega a distância de visibilidade do sinal próximo da estação e ele está verde, 2) quando o trem chega a distância de visibilidade do sinal próximo da estação e ele está amarelo, porém quando o comboio passa ele fica verde ou amarelo, e 3) quando o trem chega a distância de visibilidade do sinal próximo da estação e ele está amarelo, porém quando o comboio passa ele fica vermelho.

Sobre a operação nos terminais, GONÇALVES (1986) divide em operação dos veículos e operação do C.C.O. A primeira diz respeito ao movimento dos trens dentro do pátio do terminal, que inclui as ações de entrada a partir da liberação do C.C.O., chegada e estacionamento na plataforma e a partida. A segunda tem “por função concentrar todas as informações provenientes do sistema e, baseado nestas, comandar, coordenar e racionalizar as diversas atividades voltadas para a operação”. Outra característica importante é que “além de manter comunicação com os maquinistas, o C.C.O. dispõe de comunicação com todas as áreas envolvidas com a operação”. GONÇALVES (1986) também afirma que “em casos de emergência, o C.C.O. pode comandar os outros setores para suspender o tráfego ou permiti-lo em marcha lenta, orientar os trabalhos de reparação de acidentes etc”.

Sobre a operação de embarque, DANTAS (1983) afirma que ela poderá ocorrer basicamente de duas maneiras. A primeira delas é a ocorrência simultânea ao desembarque, “quando as duas operações poderão ocorrer pelo mesmo lado do trem ou não”. A segunda ocorre após o desembarque, em que “neste caso cada operação geralmente será feita uma em cada lado do trem”.

Uma observação importante é que mesmo que se estude apenas um subsistema do setor ferroviário, como é o caso deste trabalho, se faz necessário que as relações entre os componentes sejam determinadas, bem como as leis e regras que regem o todo o sistema. Além disso, cada atividade relacionada com determinada operação do trem pode sofrer variações, em que seu somatório influenciará no tempo total de execução do ciclo; a elas, deve ser associado um tempo médio com um dado desvio. Desta forma, o processo de chegada e o de partida dos trens devem estar bem alinhados, considerando o tempo de *headway* adotado. Quando os componentes estão com boa interação o sistema como um todo será melhorado (GONÇALVES, 1986).

Desta forma, necessita-se de vários indicadores para poder determinar o desempenho operacional de um processo. Eles, isoladamente, refletem apenas um único aspecto. A definição do conjunto de indicadores que serão utilizados para a avaliação do sistema vai refletir sob o ponto de vista que o mesmo será avaliado, e até mesmo a abrangência que será

dada ao estudo. A avaliação pode ser do desempenho de todo o sistema, das rotas ou de simples funções da operação (SOUZA, 2001). No caso específico deste trabalho, escolheu-se por avaliar apenas um elemento que compõe o sistema, que são os terminais ferroviários de passageiros, tendo como enfoque a operação ferroviária.

Estudar a capacidade ferroviária é fundamental para garantir que a gestão e utilização da capacidade efetiva sejam asseguradas. Porém, o aumento do consumo do sistema ferroviário é cada vez maior, necessitando o estudo da possibilidade de operar mais trens sem que haja aumento de atrasos, o que só é possível através da avaliação da capacidade de toda a rede, portanto com foco nas estações e nos cruzamentos (LANDEX E JENSEN, 2013).

Quando bem apropriadas, alterações nas características principais de um terminal poderão proporcionar ganhos operacionais e financeiros significativos; porém, se não forem feitas de maneira correta, causarão perdas sob esses aspectos, além de gerar insatisfação nos passageiros. “O balanceamento dos componentes de um terminal não é simples, indo muito além da adequação da capacidade nominal dos elementos às demandas levantadas para determinados períodos” (GUAZZELLI, 2011).

2.2 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Segundo FREITAS FILHO (2008), um problema simples pode ser tratado através de três alternativas: emprego de bom senso e de adivinhação (“achometria”), tratamento analítico (por exemplo, teoria das filas) e por meio de modelagem e simulação. Porém, a primeira alternativa não é considerada adequada, devendo o seu uso ser evitado. A teoria das filas segue modelos que apresentam uma estrutura básica: fonte de entradas (população solicitante), fila, disciplina da fila e mecanismo de atendimento (HILLIER E LIEBERMAN, 2013).

Para descrever um sistema de filas, primeiramente um processo de entrada (chegada) e um processo de saídas devem ser especificados, além de determinar a disciplina da fila, que se tem como mais comuns FIFO (primeiro que entra, primeiro que sai), LCFS (último que entra, primeiro que sai), SIRO (ordem de serviço aleatória) ou prioritária. Em seguida, deve-se modelar o processo, em que se identifica a distribuição de probabilidade que as chegadas e os

atendimentos se comportam. Com a resolução do problema, chega-se aos indicadores de desempenho (WINSTON, 1994).

Em se tratando de sistema ferroviário, GONÇALVES (1986) elenca alguns índices operacionais que apresentam valores médios, desvios ou distribuições de probabilidade, são eles: tempo de espera no sinal de entrada, tamanho da fila no sinal de entrada, tempo ocioso das linhas de plataforma, tempo de espera para completar o atendimento na plataforma, tempo de espera no sinal de partida, tempo de permanência no terminal e número de veículos atendidos no terminal.

Métodos analíticos devem ser utilizados para o trabalho de planejamento do dimensionamento de um terminal ferroviário. A pesquisa operacional é um ramo da ciência que apresenta métodos apropriados para esse caso. Dentre eles, tem-se a teoria das filas, inteligência artificial, simulação, regressões lineares e dados estatísticos. Quando se esgotam os métodos analíticos e o problema não consegue ser solucionado, parte-se para o uso da simulação, que “consiste na utilização de determinadas técnicas matemáticas, empregadas em computadores digitais, as quais permitem imitar o funcionamento de, praticamente, qualquer tipo de operação ou processo (sistemas) do mundo real” (FREITAS FILHO, 2008). Porém, “as noções de teoria das filas estão envolvidas na simulação” (DANTAS, 1983). A partir desse método, é possível considerarmos grande nível de detalhes, economizar tempo e recursos humanos e materiais.

Para BANKS ET AL., 2005, pág. 3:

“Uma simulação é a imitação da operação de um processo do mundo real ou sistema ao longo do tempo. Seja feita a mão ou em um computador, simulação envolve a geração de uma história artificial de um sistema e a observação da história artificial para fazer interferências nas características da operação do sistema real”.

O uso da simulação computacional teve início na década de 1950, e foi evoluindo com o passar dos anos. Hoje, estão disponíveis no mercado simuladores flexíveis e que são de alto nível, que estão cada vez mais próximo do real. A tabela 2.1 apresenta uma síntese dessa evolução:

TAB. 2.1: História do uso da simulação computacional

Anos	Ferramenta	Características do estudo de simulação	Exemplos
50 e 60	Linguagens de propósito geral	<p>Aplicação em grandes corporações;</p> <p>Grupos de desenvolvimento de modelos com 6 a 12 pessoas;</p> <p>Geram programas a serem executados em grandes computadores;</p> <p>Grandes investimentos em capital;</p> <p>Aplicáveis a qualquer contexto;</p> <p>Exigem conhecimento profundo da linguagem;</p> <p>Exigem muito tempo de desenvolvimento;</p> <p>Não são totalmente reutilizáveis.</p>	FORTRAN, PASCAL e C.
70 e início dos 80	Linguagens de simulação	<p>Utilização em um maior número de corporações;</p> <p>Desenvolvimento e uso de pacotes de linguagem;</p> <p>Surgem linguagens de simulação baseadas em <i>System Dynamics</i>;</p> <p>Comandos projetados para tratar lógica de filas e demais fenômenos comuns;</p> <p>Mais amigáveis, mas ainda requerem um programador especializado.</p>	SIMSCRIPT, GPSS, GASP IV, DYNAMO; SIMAN e SLAN.
80 e início dos 90	Simuladores de alto nível	<p>Introdução do PC e da animação;</p> <p>Presença de guias, menus e caixas de diálogos;</p> <p>Simulação realizada antes do início da produção;</p> <p>Facilidade de uso;</p> <p>Menos flexível que as linguagens de propósito geral e de simulação;</p> <p>Projetados para permitir modelagem rápida;</p> <p>Dispõem de elementos específicos para representar filas, transportadores, etc;</p> <p>Restringem-se a sistemas de certos tipos.</p>	Simfactory e Xcell.

<p>Após 90</p>	<p>Pacotes flexíveis de programas de simulação</p>	<p>Melhor animação e facilidade de uso; Fácil integração com outras linguagens de programação; Usada na fase de projeto; Grande uso em serviços; Uso para controle de sistemas reais; Grande integração com outros pacotes (base de dados e processadores de texto); Aprimoramento dos simuladores, o que permite modelagem rápida; Integram a flexibilidade das linguagens de simulação, com a facilidade de uso dos pacotes de simulação.</p>	<p>Witness, Extend, Stella, ProModel for Windows.</p>
-----------------------	--	--	--

Fonte: GAVIRA (2003) *apud* KELTON ET AL. (1998)

A simulação computacional evoluiu ao longo dos anos. Os computadores estão cada vez mais modernos e os *softwares* mais específicos e detendo mais recursos, permitindo uma aplicação mais precisa para diversas situações e áreas de estudo. “As ferramentas de simulação continuam a evoluir, tornando-se mais adaptáveis, flexíveis e fáceis de usar, além de apresentarem melhores recursos gráficos, de comunicação e interação com o usuário, estatísticos, de animação etc.” (GAVIRA, 2003).

Dentre as vantagens da simulação, PEGDEN, SHANNON E SADOWSKI (1995) *apud* BANKS ET AL., 2005, págs. 5 e 6, citam algumas delas:

1. Novas políticas, procedimentos operacionais, regras de decisão, fluxos de informação, procedimentos organizacionais, e assim por diante, poder explorar sem interromper a operação contínua do sistema real;
2. Hipóteses sobre como ou por que certos fenômenos ocorrem podem ser testadas para viabilidade;
3. Obter as informações sobre a importância das variáveis para o desempenho do sistema; e
4. Ajudar no entendimento de como o sistema opera em vez de como os indivíduos acham que o sistema opera.

Os autores também retratam sobre as desvantagens. Eis algumas delas:

1. A construção do modelo requer treinamento especial;
2. Os resultados da simulação podem ser de difícil interpretação;
3. A modelagem da simulação e a análise consomem tempo e dinheiro; e
4. A simulação é usada em alguns casos quando uma solução analítica é possível.

CHWIF E MEDINA (2006) dividem a aplicação da simulação em dois grandes setores: manufatura e serviços. Como exemplos eles citam: aeroportos e portos, bancos, cadeias logísticas, centrais de atendimento, escritórios, hospitais, parque de diversões, restaurantes, cadeias de fast-food e supermercados. Os terminais ferroviários de passageiros se assimilam aos serviços prestados em portos e aeroportos. Ou seja, o uso da simulação é aplicável no seu estudo.

Segundo FEITOSA (2000 *apud* AMIKURA, 2012) é interessante a realização da análise através de simulações, pois as condições experimentais estão sob controle do realizador do experimento, que pode alterá-las conforme seja necessário. Devido, por exemplo, aos elevados custos e atrasos e o risco de afetar a segurança das operações, ele justifica a inviabilidade de se realizar investimentos no próprio sistema, além da necessidade da realização de repetições. Em um terminal de passageiros, isso pode gerar insatisfação dos clientes e prejuízos operacionais.

“Modelos de simulação foram empregados pela indústria ferroviária para estudar o nível atual de eficiência e da capacidade das redes ferroviárias” (MARINOV ET AL., 2013). Além disso, eles também são utilizados como ferramenta de avaliação de cenários alternativos de nova política de rede que se deseja implementar, a exemplo da construção de uma nova linha ou terminal ou mudança no *time-tabling*.

Os modelos de simulação operam com uma abrangente entrada de dados, que inclui um conjunto de regras e propriedades para descrever adequadamente e de forma realista a infraestrutura ferroviária, itinerários, os padrões de serviços de chegada e de partida, horários, o comportamento de bens móveis, interrupções, rupturas, etc. métodos estatísticos são empregados para analisar a saída dos modelos de simulação e tomar decisões (MARINOV ET AL., pág. 16, 2013).

De acordo com GUAZZELLI (2011), “os métodos de simulação são os mais utilizados atualmente para a solução dos problemas e avaliação e análises de terminais de passageiros”. Isso se justifica pelo fato de que como se trabalha diretamente com o usuário, ser muito delicado fazer alterações na prática, podendo gerar constrangimento e insatisfação.

Previamente à criação do modelo de simulação, devem-se levar em consideração as variáveis que influenciam no sistema em questão, caracterizar o problema, e também

considerar os tipos de comportamento que o sistema apresenta, para assim enquadrar adequadamente no tipo de simulação. LOPES (2008) destaca a importância da seleção cuidadosa das variáveis mais significativas que irão ser utilizadas para descrever o comportamento do sistema. A quantidade não pode ser elevada, como também não pode ser resumida ao ponto de dificultar o entendimento do funcionamento do sistema e dos dados de saída, pois ela é base no processo de tomada de decisão.

Para a simulação de um sistema complexo, HILLIER E LIEBERMAN (2013) destacam a necessidade da formulação de um modelo de simulação, que deve ter os seguintes blocos construtivos:

1. “Uma definição do estado do sistema”;
2. “Identificar os possíveis estados do sistema que podem ocorrer”;
3. “Identificar os possíveis eventos que mudariam o estado do sistema”;
4. “Uma provisão para o relógio simulado, localizado no mesmo endereço do programa de simulação, que registrará a passagem do tempo (simulado)”;
5. “Um método para gerar eventos aleatoriamente de diversos tipos”;
6. “Uma fórmula para identificar as transições de estado que são geradas pelos diversos tipos de eventos”.

MENDONÇA (2009) afirma que a simulação é a maneira mais adequada no processo de estabelecimento das relações de capacidade, e que ela deve seguir os seguintes passos: (a) definição dos parâmetros de *input*; (b) execução da simulação; e (c) estabelecimento de relacionamentos. Porém, quando se trata de um importante estudo de pesquisa operacional que tem como base a aplicação da simulação, HILLIER E LIEBERMAN (2013) elencam as oito etapas envolvidas nesse processo, são elas: 1) formular o problema e planejar o estudo; 2) coletar os dados e formular o modelo de simulação; 3) verificar a precisão do modelo de simulação; 4) selecionar o *software* e construir um programa de computador; 5) testar a validade do modelo de simulação; 6) planejar as simulações a serem realizadas; 7) realizar as execuções de simulação e analisar os resultados; e 8) apresentar recomendações à administração.

BANKS ET AL. (2003) *apud* LOPES (2008) enfatizam a importância de definir determinados termos usados na simulação. Destacam-se alguns deles: entidade – “é um objeto de interesse no sistema”, atributo – “uma propriedade de uma entidade”, atividade – “representa um período de tempo de duração especificada”, e evento – “uma ocorrência instantânea que pode mudar o estado do sistema”.

É comum muitos modeladores projetarem um modelo relativamente complexo com dados limitados, ou até sem quaisquer dados, para apenas depois coletar os dados. Isso faz com que muitas vezes seja preciso alterá-lo devido suas limitações e premissas serem afetadas pela qualidade e disponibilidades dos dados necessários. Mas, por outro lado, há o risco de se coletar dados em demasia quando o modelo só é elaborado após a coleta, surgindo então a necessidade de se ter uma metodologia de coleta de dados para a modelagem de simulação. Para LOPES (2008) atualmente o maior tempo e esforço despendido deve ser nas atividades de coleta de dados e análise dos resultados, devido aos modernos *softwares* de simulação existentes.

Sobre os dados de entrada, BANKS ET AL. (2005) afirmam que são necessários quatro passos para o desenvolvimento de um modelo, e explica cada um deles:

1. Coleta de dados do sistema real de interesse: é necessário gastar tempo com planejamento; deve-se analisar como eles estão sendo coletados; tentar fazer com que um conjunto de dados homogêneos; precisa-se estar ciente da possibilidade da censura de dados, pois uma quantidade de interesse pode não ser observada por inteiro; as relações entre duas variáveis devem ser descobertas, assim pode-se construir diagramas de dispersão; considerar a possibilidade de que a sequência de observações que atualmente parece ser independente tem auto correlação; e manter em mente a diferença entre dados de entrada e de saída ou dados de desempenho, e estar certo para coletar os dados de entrada.
2. Identificar a distribuição de probabilidade para representar o processo de entrada: feita através do histograma, que torna possível identificar a família de probabilidade que os dados se encaixam melhor; porém, o q-q plot é uma ferramenta usual para ajustar a distribuição;
3. Estimar os parâmetros que determinam um específico instante da família de distribuição: após realizar a estatística básica, estimam-se os parâmetros, que auxilia na escolha da distribuição específica e no teste de hipóteses.
4. Avaliar a distribuição escolhida e os parâmetros associados com a qualidade de ajuste: o teste Qui-Quadrado e o *Kolmogorov-Smirnov* testam os números aleatórios.

O tráfego ferroviário tem como uma importante característica a aleatoriedade, pelo fato dos veículos chegarem segundo intervalos de tempo variáveis, e também os passageiros a serem embarcados, o que faz com que gere filas de veículos e/ou passageiros. Porém, como há falta de formulação matemática para tratar analiticamente casos de congestão do setor

ferroviário, recomenda-se o uso de modelos de simulação, pois considera as noções de teoria das filas, bem como representa o sistema como um todo (GONÇALVES, 1986).

De acordo com YUAN E HANSEN (2007), os modelos de simulação são frequentemente aplicados para avaliar o impacto do aumento de frequências de trens e na modificação das características de infraestrutura, além do tempo de espera dos trens. Porém, eles alertam para a questão dos fatores humanos (incontroláveis), como, por exemplo, o comportamento dos maquinistas e despachantes, o que faz com que eles não reflitam com precisão a inter-relação entre os fatores que afetam a propagação de atrasos de trem.

No caso específico desta dissertação, a simulação permitirá quantificar os índices operacionais dos terminais ferroviários de passageiros, sendo uma etapa importante do procedimento que será proposto. Assim, através da simulação de cenários será possível identificar quais aspectos operacionais influenciam diretamente no nível de serviço, bem como analisar alterações que podem ocorrer no modo de operar. Para isso, escolheu-se o *software* Arena 14.0, devido sua aceitação no mercado e o mesmo ser de conhecimento da pesquisadora. Porém, a única versão que se teve disponível foi a de estudante, que apresenta a limitação de 150 módulos e 150 entidades. As características do *software* serão brevemente explicitadas nos tópicos 4.4 e 4.5.

2.3 ABORDAGEM DOS TRABALHOS

Com o objetivo de conhecer os trabalhos já existentes na área, em que foram estudados terminais, sejam eles ferroviários, metroviários ou aeroportuários, alguns artigos, teses e dissertações foram estudados. Nesse tópico serão expostas as abordagens que cada um deles teve, abordando seus objetivos, principais características de estudo e sua aplicação. Deste modo, será possível perceber as lacunas que existem nos trabalhos, para que assim buscar suprir alguma(s) dela(s).

2.3.1 TESES E DISSERTAÇÕES

GONÇALVES (1986) propõe um método para analisar a operação dos trens em terminais suburbanos de passageiros, tendo como foco a configuração de topo das vias e da política operacional adotada. Primeiramente o autor conceituou terminais ferroviários de passageiros e o setor ferroviário dos terminais, mostrando todos os aspectos técnicos inerentes ao processo objeto de estudo, bem como versou sobre a aplicação nos terminais da ferramenta de simulação. Em seguida, desenvolveu um modelo de simulação probabilística, que busca minimizar o conflito no cruzamento de trens. Na análise de sensibilidade, fez-se uso de recursos de realização de adiantamentos, inserções e retiradas de veículos no terminal e redução de velocidade na entrada do terminal. A linguagem de programação utilizada foi o FORTRAN IV. Os dados de entrada foram o número de trens, de plataformas, de horas por período simulado, de variações do *headway* por período simulado, de período simulado e o grau máximo de distribuição Erlang. A partir do modelo gerado foi possível obter alguns parâmetros operacionais, que permitiram a determinação da capacidade prática do terminal. A aplicação se deu na estação terminal Central do Brasil, na cidade do Rio de Janeiro, no subsistema Deodoro. Foram propostas três alternativas, de acordo com projetos da empresa desenvolvidos na época. Assim, escolheu a melhor delas no auxílio ao *layout* de vias que seria implantado.

ALMEIDA (1998) objetivou racionalizar o número de posições de atendimentos ativas, de modo que possibilitasse o melhoramento do atendimento ao usuário e a redução de custos operacionais. Para isso, ele faz a avaliação do desempenho de componentes do terminal aeroportuário de passageiros através de técnicas de simulação, em que, ao final, forneceu subsídios para propostas de mudança de *layout* ou de procedimentos operacionais. O *software* utilizado foi o Arena. A metodologia desenvolvida segue os seguintes passos: descrição do problema, fluxo de informações, coleta e tratamento de dados, construção do modelo, verificação e validação e análise dos resultados. Os modelos de simulação adotados foram classificados quanto ao fluxo do tempo, ao modo de acontecimento dos eventos e ao gerenciamento das transações. A aplicação prática se deu no embarque e no desembarque do Aeroporto Internacional de Guarulhos (dois componentes-problema), através de dados fornecidos pela direção do mesmo.

Levando em consideração que alguns pontos existentes nos terminais aeroportuários podem se transformar em gargalos no processamento dos passageiros, comprometendo o nível de serviço prestado aos mesmos, BANDEIRA (2008) teve a finalidade de determinar o nível de serviço do Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos – Governador André Franco Montoro. Isso se deu através de uma abordagem metodológica em que foi feita a relação do grau de importância dos componentes aeroportuários com o nível de satisfação dos passageiros. O procedimento para análise do nível de serviço utilizou o método da avaliação da qualidade percebida, com a seleção de indicadores para o estudo, que foram distância, tempo de permanência e espaço para veículos. A obtenção do grau de importância se deu através do método Analytical Hierarchy Process – AHP, mas utilizando apenas a estruturação hierárquica do mesmo, com as devidas adaptações necessárias julgadas pela pesquisadora. A opinião dos passageiros foi a base de dados utilizada, em que cada um deles foi admitido como um decisor, colaborando com sua opinião individual, característica essa utilizada no processo de decisão em grupo. Em seguida, realizou-se o cálculo do nível de serviço, seguindo o método sugerido por Nдох e Ashford (1994), em que o aeroporto é dividido em áreas ou subsistemas. O componente do aeroporto com maior prioridade foi o *check-in* e por último a distância do estacionamento ao acesso. Devido a pesquisa ter sido com os próprios passageiros, ela rendeu críticas ao serviço prestado no aeroporto objeto de estudo, como era de se esperar.

Percebendo a necessidade de estudos voltados para a simulação aplicada a sistemas ferroviários, que abranjam as características de trens de ciclo e a circulação de outros trens e as filas geradas pelas cargas e descargas dos mesmos, FIORONI (2008) se propõe a desenvolver algoritmos e avaliar técnicas que permitam modelar detalhadamente malhas ferroviárias com trens em ciclo fechado, além de validar esses modelos adequadamente. Para isso, fez-se necessário o desenvolvimento de algoritmos apropriados (que retratem a complexidade da atividade e de direcionamento) e o desenvolvimento de um método de direcionamento de trens. A técnica utilizada para aplicação do método proposto foi a simulação por eventos discretos, através do *software* Arena. Além disso, um modelo conceitual foi elaborado, sendo o primeiro passo do método proposto. Os algoritmos desenvolvidos em um modelo de simulação foram aplicados em uma malha ferroviária brasileira (MRS Logística), e assim foi possível escolher o procedimento de direcionamento mais adequado. As medidas de desempenho adotadas foram: quantidade de vagões na composição, número de composições no mesmo ciclo, indisponibilidade de terminais e

investimentos na malha. Para escolher o algoritmo de direcionamento ideal variou-se apenas o método de direcionamento. O modelo desenvolvido foi capaz de simplificar o estudo de um sistema complexo que é uma malha ferroviária. Como exemplo dos resultados obtidos com a aplicação tem-se a determinação do melhor tamanho de composição dos trens de ciclo, avaliar o impacto que uma nova grade de trens terá para o sistema e dimensionar e ajustar o tamanho das frotas de trens de ciclo para aumento da capacidade.

ANDRADE (2009) propõe um conjunto de indicadores operacionais para sistemas metroferroviários de passageiros sob a perspectiva do usuário, organizados através da estrutura de um sistema de avaliação de desempenho e voltados para a qualidade do nível de serviço prestado aos usuários. O autor sugere um conjunto básico de indicadores operacionais a partir do modelo *balanced scorecard* e do *quality loop*. Os atributos do sistema metroferroviário de passageiros identificados, com seus respectivos indicadores propostos, foram: disponibilidade (integração com outros meios de transporte, transferências dentro da rede e frequência do serviço), acessibilidade, informação, tempo (aderência à programação e tempo de viagem), atendimento ao cliente, conforto (assentos e espaço pessoal), segurança (segurança contra crimes e segurança contra acidentes) e impacto ambiental. Aplicação: realização de uma análise crítica dos indicadores de desempenho operacional contratuais atualmente utilizados na Concessionária Metroviária do Rio de Janeiro S.A. (Metrô Rio) e a aplicabilidade dos indicadores propostos. Nesse estudo de caso, os indicadores de desempenho e de qualidade contratuais trabalhados foram: ICPO – Índice de Cumprimento da Programação da Oferta, IRIT – Índice de Regularidade no Intervalo entre Trens, ION – Índice de Ocorrências Notáveis, ICD – Índice de Composto de Desempenho, Pesquisa IQS – Índice de Qualidade dos Serviços. O desdobramento desses indicadores foram cinco: GTR – SOE: ocorrências policiais, GRT – SOE: ocorrências com terceiros e clientes na via, GTR – CTO: ocorrências do condutor, GTR – CTO: ocorrências do controlador, GTR – CTO: tempo médio de teste de trem entre 15 min e 20 min.

GUAZZELLI (2011) objetiva contribuir com o dimensionamento e a análise operacional de terminais metroviários e ferroviários brasileiros. Para isso, desenvolveu um modelo de simulação no *software* Arena 12.0 – versão para estudante, em que são representados os passageiros nos processos de embarque e desembarque do terminal. Para a modelagem, o terminal foi dividido em três subsistemas: subsistema Acesso, subsistema Regresso e Subsistema Ferroviário. Os cinco pontos mais influentes foram: caracterização do usuário, padrão de chegada, elementos de processamento, elementos de circulação e elementos de

espera. O trabalho teve a limitação, devido à versão do *software* utilizado, da criação de apenas 150 módulos e 150 entidades, impossibilitando o autor de fazer a modelagem de todo o terminal quando da ocorrência de grande acúmulo de pessoas. Foram simulados três cenários, em que se verificou o nível de serviço em cada um deles, com a variação nos parâmetros de área útil do acesso (m²), área útil do piso intermediário (m²), área útil da plataforma (m²), número de bloqueios acesso, número de bloqueios egresso, número de bilheterias e número de escadas rolantes. O modelo foi aplicado através de testes de algumas diretrizes utilizadas na época do desenvolvimento do trabalho pelo Metrô e CPTM – Companhia Paulista de Trens Metropolitanos.

MEDAU (2011) analisa a capacidade do lado aéreo de aeroportos através de uma metodologia baseada em modelos de simulação, utilizando o *software* Visual SIMMOD. Desta forma, objetivou-se determinar o fluxo máximo de tráfego, mas que mantivesse o nível de serviço acima de um valor pré-definido. A aplicação foi no Aeroporto de São Paulo – Congonhas. A metodologia do trabalho aplica o método científico combinado ao enfoque sistêmico, seguindo as etapas consideradas por Gualda (1995): identificação do sistema, formulação do problema e das medidas de rendimento, geração de alternativas para solução do problema; avaliação das alternativas e seleção da alternativa que melhor atende às premissas consideradas. Foram reunidos conceitos de abordagem sistêmica, capacidade associada a nível de serviço e ferramentas de simulação. O cenário atual foi simulado, além de mais cinco propostos, que foram: separação de 60 segundos entre decolagens, separação de 5NM entre aproximações, combinação dos cenários de 60 segundos e 5NM, substituição de aeronaves turbo-hélices por jatos e reorganização da tabela de alocação de slots. A partir da aplicação do modelo de simulação desenvolvido e do uso da técnica de regressão linear foi possível identificar as operações que ocasionam os problemas, e assim sugerir alterações no seu processo. Neste caso, verificou-se que o aeroporto objeto de estudo encontra-se saturado nas condições atuais de operação, além de verificar que há um desbalanceamento entre os componentes analisados.

BORILLE (2012), em seu trabalho de tese, propõe um método para avaliar quais fatores são determinantes no nível de serviço em terminais de passageiros de aeroportos, com enfoque nos componentes operacionais de desembarque, analisando os processos de restituição de bagagens e de controle de passaporte. Para isso, foi desenvolvido um modelo de simulação, usando o *software Tecnomatix Plant Simulation*, em que 720 cenários alternativos foram gerados através de diferentes combinações. Em sua metodologia, utilizou-se as técnicas

de (i) monitoramento de usuários, (ii) análise de infraestrutura, (iii) modelos de simulação e (iv) métodos de matrizes de Experimentos utilizando Arranjos Ortogonais e Regressão Linear. A aplicação do estudo se deu em cinco importantes aeroportos brasileiros, escolhidos de acordo com sua localização, alto volume de passageiros e perfil dos passageiros (internacional, doméstico, *business* e alta taxa de conexão), são eles: Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos, Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão, Aeroporto Internacional de Brasília, Aeroporto Internacional de Campinas/Viracopos e Aeroporto de São Paulo/Congonhas. Ao final do trabalho, a pesquisadora identificou os fatores de influenciam no setor de desembarque doméstico e no internacional, a exemplo do perímetro da esteira, o tempo de chegada da bagagem desde a aeronave até a esteira e a porcentagem de passageiros com duas bagagens. Além disso, ela chegou à conclusão de que o emprego das técnicas do DOE e Regressão Linear permitiu planejar experimentos, diminuir o número de experimentos e identificar os fatores controláveis que possuem efeito significativo sobre a variável resposta (tempo médio de espera para restituição de bagagem).

2.3.2 ARTIGOS INTERNACIONAIS

Foram estudados seis artigos internacionais com temas relacionados ao desta dissertação:

- 1) **LANDEX E JENSEN (2013) – *Journal of Rail Transport Planning & Management* -**
Os autores têm como premissa o fato das estações serem uma limitação da capacidade de uma rede ferroviária. São desenvolvidos cinco métodos analíticos para analisar a infraestrutura e funcionamento das estações, além de descrever e estimar a capacidade das mesmas, em que são utilizadas medidas para a complexidade da pista e a robustez da operação. Os métodos desenvolvidos foram: método de capacidade UIC 406 adequado, método estatístico que calcula a necessidade de pistas de plataforma, método para calcular a complexidade da infraestrutura, método para estimar a complexidade e a robustez dos horários e método para determinar um índice de homogeneidade que descreve as chegadas de comboios. Os autores chegaram à conclusão de que esses métodos podem ser utilizados para determinar a capacidade de elementos diferentes em uma estação, além de ser uma ferramenta para fazer análises, a exemplo de melhorar a capacidade da mesma.

- 2) **MARINOV E VIEGAS (2009)** – *Simulation Modelling Practice and Theory* - Os autores propõem como metodologia para analisar e avaliar operações de pátio flat-desviado uma modelagem de simulação usando o *software* SIMUL'8. O pátio foi dividido em segmentos, e cada parte analisada separadamente. O operador utilizado foi o Comboios de Portugal – CP Carga. O objetivo do trabalho é fornecer uma metodologia para analisar e avaliar as capacidades de desempenho dos pátios ferroviários. A modelagem de simulação foi elaborada com base em duas situações: o que acontece quando os horários são cumpridos e o que acontece quando os horários não são cumpridos. São simuladas situações diversas que podem ocorrer com as locomotivas dentro do pátio. Assim, é possível medir o nível de rendimento dos estaleiros através de um conjunto de medidas de desempenho. O estudo de caso foi realizado no estaleiro Gaia, localizado no norte de Portugal. Foram gerados vários gráficos que fornecem as relações que envolvem as regras de trânsito e o desempenho do pátio. Os autores afirmam que eles serão úteis no processo de tomada de decisão quando se tem o objetivo de máxima produção ou nível ótimo de utilização dos recursos do pátio.
- 3) **MEDEOSSEI ET AL. (2011)** – *Journal of Rail Transport Planning & Management* - O trabalho se propõe a apresentar um método para apoiar o planejamento do *timetable* através da introdução de tempos de bloqueio. O método proposto consiste em calibrar a equação de movimento usando dados coletados a bordo do trem. O método foi testado na linha de via dupla entre Trieste e Veneza. A implementação da abordagem é feita com uma metodologia de quatro etapas. O passo 1 consiste na coleta de dados detalhados dos trens; no passo 2 é estimada a distribuição da variabilidade na estação de partida; no passo 3 estima-se a variabilidade do tempo para cada serviço de trem e em cada estação; por fim, no passo 4, os resultados dos 3 passos anteriores são combinados para calcular ou o comportamento estocástico de um único comboio ou é feita uma simulação calibrada das interações entre trens. O método desenvolvido tanto pode ser utilizado para analisar o comportamento individual dos trens quanto à interação entre eles. Ao final, tem-se que o método identifica o impacto antecipado da quebra, do atraso na aceleração, da antecipação e do atraso do trem e a duração do acostamento.
- 4) **DICEMBRE E RICCI (2011)** - *Journal of Rail Transport Planning & Management* - O artigo apresenta um estudo sobre capacidade, sinalização e *time-tabling* em linhas de alta densidade. Os autores analisam a utilização da capacidade ferroviária em linhas saturadas e performances de sistemas de sinalização, fazendo uma correlação para

explicar os atrasos regulares e conturbados. Eles explicam a possibilidade de encontrar os valores para reduzir os atrasos no sistema. Para isso, primeiramente eles estudaram o conceito e os métodos de análise e cálculo da capacidade, tempos de bloqueio e blocos de seção. A metodologia proposta quantifica a capacidade teórica e prática em corredores ferroviários executado por serviços urbanos, além de se caracterizar como uma ferramenta para a avaliação da qualidade do *time-tabling*. A ferramenta de simulação utilizada é o *OpenTrack*, justificada pela integralidade de suas funções, que possibilitam a avaliação dos horários, a geração de cenários com os atrasos e ter várias saídas gráficas. Porém, é feita uma comparação com os métodos analíticos utilizados – método da UIC e metodologia RFI. Para validar o modelo foi feita uma aplicação em um corredor padrão de 11 km de extensão e um total de 10 estações. Para a análise de sensibilidade foram considerados os tempos de paradas, a velocidade máxima da linha e a homogeneidade dos serviços. A partir do estudo de caso, eles concluíram que quanto maior o comprimento das seções de blocos e os tempos de bloqueio menor é a capacidade, a velocidade máxima tem uma pequena influência na capacidade e que as sub-seções perto das estações quase não tem nenhum efeito prático sobre a capacidade. Por fim, devido ter sido desenvolvida uma metodologia generalizada, ela pode ser aplicada a qualquer infraestrutura ferroviária.

- 5) **WORONIUK E MARINOV (2013)** – *Journal of Transport Literature* - O objetivo deste trabalho é fazer uma avaliação do nível de utilização das seções que existem ao longo de uma rota ferroviária. Para isso, os autores fizeram o emprego de uma série de modelos de simulação. O pacote de simulação utilizado foi o Arena. O estudo de caso foi feito no corredor Castellbisbal-Silla, localizado na costa leste da Espanha, utilizada por carga e passageiros. A metodologia utilizada foi a apresentada por MARINOV E VIEGAS (2011). O percurso ferroviário adotado neste estudo foi dividido em linha de trem, estações de transporte ferroviário de mercadorias e estações ferroviárias de passageiros. Foram executadas 150 repetições do modelo, e as medidas de desempenho recolhidas foram utilização de linha, de estação e instantânea, em que se pretendia contribuir para uma taxa de utilização mais eficiente de cada item citado. Três cenários distintos foram simulados, em que variou o número de serviços de carga direto. Verificou-se uma baixa utilização da rota ao longo do corredor, e como contribuição foi possível sugerir o investimento no desenvolvimento de novos mercados e a

implementação de um novo modelo de negócio, o que fará aumentar a quota de mercado do transporte ferroviário espanhol.

- 6) **YUAN E HANSEN (2007) – *Transportation Research*** – Os autores se propõem a otimizar a capacidade de estações ferroviárias através da simulação de atrasos de comboios nas mesmas, abordando as regras de sinalização e as operações do sistema de proteção e dos trens. Assim, desenvolveram um modelo estocástico analítico, que foi resolvido com base em uma aproximação numérica. Os autores defendem a análise analítica pelo fato da simulação exigir um extenso trabalho para modelar a topologia de infraestrutura, sinalização e horários. São simuladas as seguintes situações: atraso *knock-on* de um comboio que se aproxima, atraso *knock-on* de um comboio com partida e múltiplas fontes e propagação de atraso dinâmico. Para calcular a convolução Stieltjes foi feita uma aproximação numérica através da regra trapezoidal composto, e para validar o modelo, primeiramente obteve-se as distribuições de entrada necessárias, que teve como base os dados de detecção empírica dos comboios. Segundo os autores, essas etapas comprovaram que o modelo estima a propagação de atrasos dos comboios, e assim trabalham a pontualidade das chegadas e partidas dos trens. Para comprovar a aplicabilidade do mesmo, fez-se um estudo na estação ferroviária holandesa The Hague HS.

A seguir será apresentada uma tabela composta por cinco tópicos (autor, tipo, objetivo, método e aplicação), mostrando os 14 trabalhos apresentados neste capítulo, de modo a permitir uma melhor fixação e comparação do que foi abordado e realizado em cada um deles.

TAB 2.2: Resumo dos trabalhos estudados

AUTOR(ES)/A(S)	TIPO	PROPOSTA	MÉTODO	APLICAÇÃO
GONÇALVES (1986)	Dissertação	Analisar a operação dos veículos em terminais ferroviários suburbanos de passageiros em função da configuração de topo das vias e da política operacional adotadas.	Simulação/Fortran IV	Estação terminal Central do Brasil – Subsistema Deodoro
ALMEIDA (1998)	Dissertação	Racionalizar o número de posições de atendimentos ativos, de modo que possibilitasse o melhoramento do atendimento ao usuário e a redução de custos operacionais.	Simulação/ <i>Software</i> Arena	Aeroporto Internacional de Guarulhos
BANDEIRA (2008)	Dissertação	Determinar o nível de serviço de aeroportos. Foi feita a relação do grau de importância dos componentes aeroportuários com o nível de satisfação dos passageiros.	Análise Multicritério - Analytical Hierarchy Process (AHP)	Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos – Governador André Franco Montoro
FIORONI (2008)	Tese	Desenvolver algoritmos e avaliar técnicas que permitam modelar detalhadamente malhas ferroviárias	Simulação/ <i>Software</i> Arena	Malha Ferroviária da MRS Logística

		com trens em ciclo fechado, além de validar esses modelos.		
ANDRADE (2009)	Dissertação	Propor um conjunto de indicadores operacionais para sistemas metroferroviários de passageiros sob a perspectiva do usuário.	<i>Balanced scorecard</i> e do <i>quality loop</i>	Concessionária Metroviária do Rio de Janeiro S.A (Metrô Rio)
GUAZZELLI (2011)	Dissertação	Contribuir para a montagem de um modelo de simulação que dê suporte ao dimensionamento e à avaliação operacional de terminais ferroviários e metroviários no Brasil.	Simulação/ <i>Software</i> Arena12.0	Terminal fictício
MEDAU (2011)	Dissertação	Analisar a capacidade do lado aéreo de aeroportos através de uma metodologia baseada em modelos de simulação.	Simulação/ <i>Software</i> Visual SIMMOD	Aeroporto de São Paulo – Congonhas
BORILLE (2012)	Tese	Propor um procedimento para avaliar quais fatores são determinantes no nível de serviço em terminais de passageiros de aeroportos.	Simulação/ <i>Software</i> <i>Tecnomatix Plant Simulation</i>	Aeroportos: Guarulhos, Galeão, Brasília, Campinas/Viracopos e Congonhas.
LANDEX E JENSEN	Artigo	Desenvolver métodos analíticos para	Métodos analíticos	Não houve aplicação

(2013)	Internacional	analisar a infraestrutura e funcionamento das estações, além de descrever e estimar a capacidade das mesmas.		
MARINOV E VIEGAS (2009)	Artigo Internacional	Propor uma metodologia, através de um modelo de simulação, para analisar e avaliar operações de pátio flat-desviado.	Simulação/ <i>Software</i> SIMUL'8	Estaleiro Gaia/Portugal
MEDEOSSEI ET AL. (2011)	Artigo Internacional	Apresentar um método para apoiar o planejamento do <i>timetable</i> através da introdução de tempos de bloqueio.	Calibração da equação de movimento dos trens	Linha de via dupla entre Trieste e Veneza/Itália
DICEMBRE E RICCI (2011)	Artigo Internacional	Analisar a utilização da capacidade ferroviária em linhas saturadas e performances de sistemas de sinalização.	Simulação/ <i>Software</i> <i>OpenTrack</i>	Corredor padrão de 11 km de extensão e 10 estações
WORONIUK E MARINOV (2013)	Artigo Internacional	Avaliar o nível de utilização das seções que existem ao longo de uma rota ferroviária.	Simulação/ <i>Software</i> Arena	Corredor Castellbisbal-Silla/Espanha
YUAN E HANSEN (2007)	Artigo Internacional	Otimizar a capacidade de estações ferroviárias através de simulação de atrasos de comboios nas mesmas.	Modelo estocástico analítico	Estação <i>The Hague</i> HS/Holanda

Com base nestes trabalhos, tem-se que até o momento a literatura apresenta os seguintes enfoques sobre a temática em estudo nesta dissertação:

- Terminais ferroviários e/ou metroviários: minimizar o conflito no cruzamento de trens, estudos sobre malhas ferroviárias de trens de carga e suas características, proposta de indicadores operacionais para o sistema sob a perspectiva do usuário, dimensionamento e análise operacional dos terminais através de uma visão geral dos 3 subsistemas (acesso, regresso e ferroviário), verificação de nível de serviço, estimação de capacidade com métodos analíticos, análise de cada segmento do pátio de trens de carga, apoio no planejamento com alterações nos tempos de bloqueio, determinação de capacidade em corredores ferroviários e determinação do nível de utilização ao longo de uma rota ferroviária.
- Terminais aeroportuários: racionalização do número de posições de atendimentos ativos através da mudança de *layouts* e procedimentos operacionais, determinação do nível de serviço a partir da opinião dos passageiros, análise da capacidade do lado aéreo (através de simulação e regressão linear) e avaliação/determinação de fatores que influenciam no nível de serviço.

Assim, verificando-se as abordagens desses estudos, identificou-se que a determinação da capacidade de terminais ferroviários de passageiros se deu através de métodos analíticos e a partir de atrasos dos trens e alterações nos tempos de bloqueio. Desta forma, este trabalho irá determinar a capacidade de terminais de passageiros através da simulação computacional, sob a percepção do operador e com enfoque apenas no subsistema ferroviário, sem uma prévia determinação do que será alterado na análise de sensibilidade (cenários).

3 PROPOSTA DE PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE DA OPERAÇÃO FERROVIÁRIA EM TERMINAIS DE PASSAGEIROS

Esse trabalho tem como objetivo propor um procedimento de análise da operação ferroviária de terminais de passageiros. Para que ele seja alcançado, foi elaborado um procedimento com base na revisão bibliográfica realizada na primeira etapa do estudo. Ele visa contribuir para um melhor desempenho da operação ferroviária, auxiliando para um maior controle da execução da mesma.

Esse procedimento tem a seguinte lógica: inicialmente é feito o planejamento da pesquisa para definir o enfoque da mesma e delimitar a área de estudo; em seguida, a coleta dos dados e das informações necessários é realizada. Depois, é executada a análise e o tratamento dos dados e das informações obtidas anteriormente, e os indicadores de avaliação são definidos a partir da revisão de literatura e da realidade estudada (caso necessário), além de mostrar a ferramenta técnica escolhida para permitir um procedimento mais consistente, que neste caso foi a simulação computacional. A operação atual é analisada e faz-se a identificação dos aspectos operacionais que influenciam no nível de serviço. Por fim, os cenários a serem simulados são criados e detalhados, e assim é possível analisar o desempenho do terminal para cada um deles, para assim haver embasamento para fazer as propostas de alterações na configuração do sistema.

Desta forma, o procedimento proposto engloba onze etapas, conforme pode ser visto no fluxograma apresentado na figura 3.1:

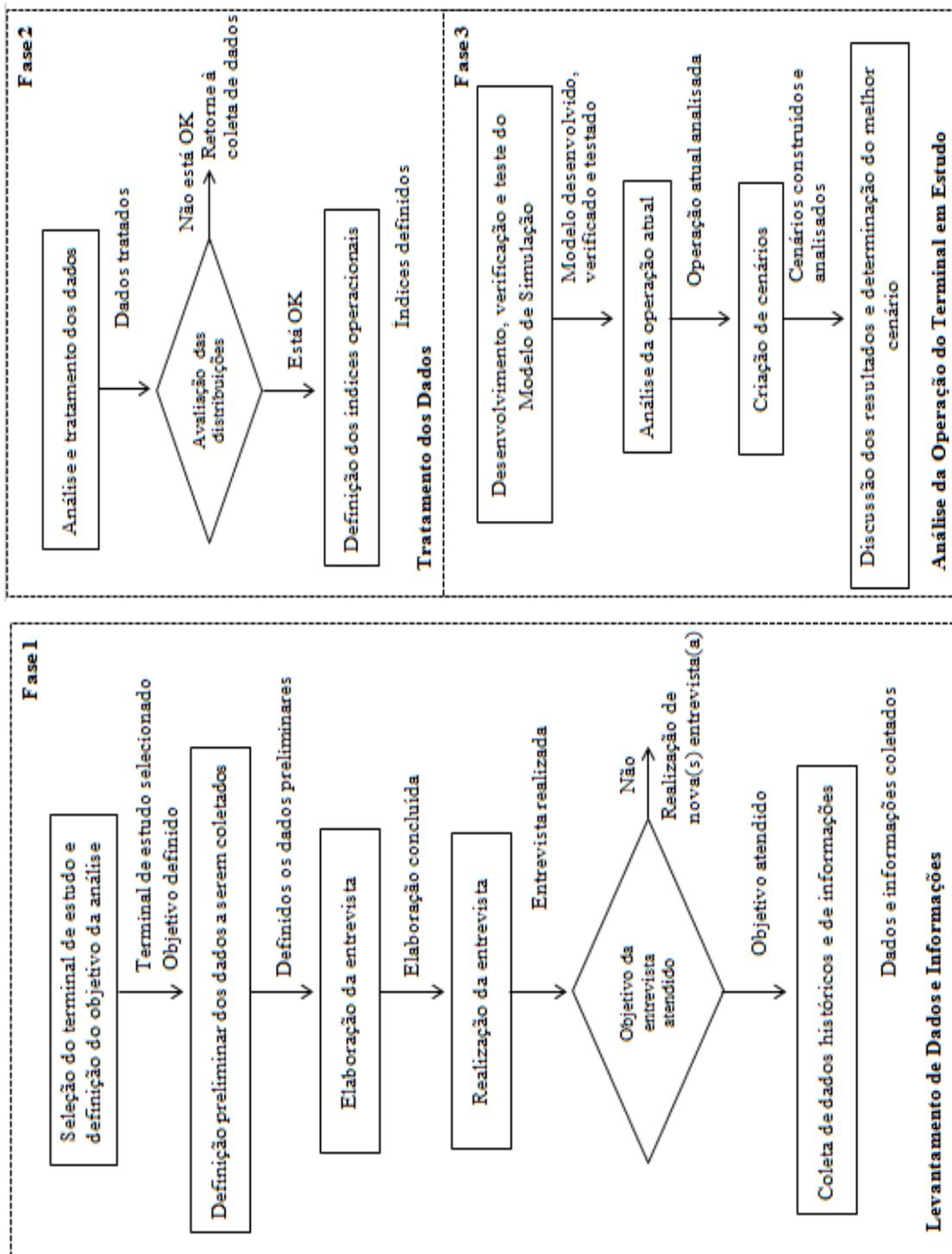


FIG. 3.1 – Etapas do procedimento para avaliação dos terminais ferroviários de passageiros

Nos próximos tópicos será explicado cada um desses passos apresentados no fluxograma (figura 3.1).

3.1 SELEÇÃO DO TERMINAL DE ESTUDO E DEFINIÇÃO DO OBJETIVO DA ANÁLISE

Nesta etapa inicial busca-se definir qual terminal ferroviário de passageiros será objeto de estudo. Feito isso, será possível identificar quais suas características importantes, tais como região em que está localizado, destinos das viagens, estações existentes ao longo da(s) linha(s), infraestrutura do local e quadro horário da operação.

O primeiro passo dessa etapa é a visita técnica pelo pesquisador no Centro de Controle Operacional e, em seguida, no terminal de passageiros, para assim ter-se um melhor entendimento sobre a operação ferroviária, especificadamente no terminal objeto de estudo. Em seguida, faz-se necessária uma reunião com o setor de engenharia responsável pela operação, possibilitando o conhecimento das ações planejadas e realizadas, como também alguns planos estratégicos existentes.

Em seguida, define-se o objetivo da análise a partir da realidade do terminal em estudo.

3.2 DEFINIÇÃO DOS DADOS A SEREM COLETADOS

Os dados a serem coletados serão definidos a partir da revisão de literatura; porém, outros poderão ser acrescentados após a definição do terminal de estudo, pois características particulares poderão ser necessárias para o estudo. A partir do estudo realizado por GONÇALVES (1986), foram definidos as seguintes informações e dados necessários:

Como informações a serem coletadas inicialmente têm-se:

- 1) Configuração da linha e da estação (*layout*);
- 2) Critério de seleção da linha de plataforma na chegada à estação;
- 3) Rotas dos trens;

- 4) Taxa de ocupação dos trens (número de passageiros sentados e espaço disponível para passageiro em pé);
- 5) Quantidade de vagões nos trens;
- 6) Comprimento dos trens;
- 7) *Headway* (incluindo variação por horário, se houver);
- 8) Velocidade;
- 9) Velocidade máxima de passagem pelos A.M.V's;
- 10) Regras de bloqueio;
- 11) Locais das seções de bloqueio nos trechos; e
- 12) Tempos de percurso: do sinal de entrada até a plataforma e da plataforma até o marco de liberação ou entre os sinais de liberação;

Os dados históricos que devem ser levantados são:

- a) Tempo de ocupação na (s) plataforma (s); e
- b) Histórico de dados das chegadas na estação terminal objeto de estudo (horário e plataforma-destino).

Além dos dados históricos que serão coletados, é importante destacar que os mesmos devem ser coletados de duas maneiras: no próprio terminal pelo pesquisador ou alguém que faça parte da equipe de pesquisa e do registro feito pela própria empresa. Assim, verificar-se-á se eles realmente estão conforme a realidade, bem como poderá ser feito no processo de teste do modelo a comparação entre os dados levantados, os coletados e os da simulação.

3.3 ELABORAÇÃO DA ENTREVISTA

Nesta etapa realiza-se a entrevista com profissionais do terminal selecionado para estudo, a fim de conhecer o funcionamento do sistema, coletar as informações e os dados determinados no passo 2, sanar as dúvidas que existam sobre o sistema ferroviário, em especial no local de estudo, bem como verificar objetivos estratégicos da empresa e projetos futuros. Caso a entrevista principal/inicial não seja suficiente para obter todas as informações necessárias para a pesquisa/análise e/ou surjam dúvidas sobre o sistema, deve-se voltar e procurar os mesmos profissionais já entrevistados ou outros que melhor possam sanar as novas dúvidas e contribuir da melhor forma com o trabalho que está sendo realizado.

As perguntas elaboradas devem ter bases nesses pontos, podendo outros serem acrescentados de acordo com o objetivo da análise definido e especificidades do terminal em estudo. A entrevista elaborada encontra-se no estudo de caso (aplicação do procedimento proposto).

3.4 REALIZAÇÃO DA ENTREVISTA

As entrevistas devem ser realizadas com os especialistas do setor que trabalham no terminal objeto de estudo. Devem ser selecionados profissionais de cada nível de gestão (operacional, tático e estratégico), analisando assim os vários pontos de vista.

Para este procedimento descarta-se a necessidade de entrevistas com os usuários por tratar apenas da operação ferroviária em si. Recomenda-se apenas a observação do seu comportamento dentro do sistema.

3.5 COLETA DE DADOS

Os dados descritos no tópico 3.1.2 devem ser coletados com os técnicos que trabalham no Centro de Controle Operacional. São eles os detentores das informações a nível operacional, ou seja, o que ocorre em tempo real. Recomenda-se 1 ano como o período de tempo ideal de registros, pois caso seja inferior poderá não oferecer um nível de confiança desejável.

Após a coleta de dados, os mesmos devem ser organizados para a análise que será feita em uma etapa posterior. Destaca-se a importância da uniformidade dos dados para que eles sejam mais bem analisados e reflitam a realidade existente.

3.6 ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS

Após o levantamento de todas as informações e de todos os dados necessários descritos e explicados anteriormente, tem-se a fase de análise e tratamento dos mesmos. Essa fase é crucial para que o estudo chegue a conclusões certas e contribua no processo de tomada de decisão de maneira que venha trazer resultados satisfatórios.

De modo geral, é gerada uma distribuição de probabilidade para cada tipo de dado em que foi coletado seu histórico. Assim, ela(s) deve(m) ser avaliada(s), para verificar se é aderente e se é possível dar continuidade na aplicação do procedimento com os dados até então coletados. Caso contrário, a coleta deve ser refeita.

Outra característica importante dos dados é verificar, a partir da análise do comportamento do sistema por meio de gráficos, quais ou horários de pico, pois esses são os pontos críticos quando se analisa um sistema de transporte.

Cabe ressaltar que o tipo dessa análise varia também de acordo com o *software* utilizado na simulação, bem como as características do processo em estudo, ou seja, o seu nível de complexidade.

3.7 DEFINIÇÃO DOS ÍNDICES OPERACIONAIS

A qualidade teve seu conceito ampliado com o passar do tempo, antes se considerava apenas os métodos produtivos e os custos, posteriormente o foco principal passou a ser o produto e o cliente (SOUZA, 2001). Para o sistema de transporte: “do ponto de vista do usuário temos a qualidade esperada e a qualidade percebida. Do ponto de vista do operador temos a qualidade programada e a qualidade realizada”. (ANDRADE, 2009). Neste trabalho o foco é no ponto de vista do operador, pois o que será avaliado será a operação ferroviária em si, só que a executada dentro dos terminais de passageiros.

A partir da simulação o que se deseja é determinar índices operacionais do terminal ferroviário de passageiros sob o enfoque da operação. DANTAS (1983) determina que como dados de saída deve-se obter as seguintes informações:

- Tempo ocioso do sinal do pátio;

- Tempo total de espera dos trens de cada origem no sinal do pátio;
- Tempo médio de espera no sinal do pátio por trem de cada origem;
- Tempo ocioso das plataformas;
- Número de trens que chegam, por origem;
- Frequência acumulada dos tempos de atendimento;
- Média dos tempos de atendimento por origem;

É importante frisar que a base foi apenas o trabalho de DANTAS (1983) por ter sido o único autor que explicitou diretamente os indicadores operacionais que devem ser obtidos como resposta de uma análise deste tipo, além de ter relação direta com o tipo de análise a que esse estudo se propõe a fazer.

Devido à escolha desses indicadores operacionais citados acima, este trabalho terá como dados de saída apenas aspectos quantitativos. Dependendo do *software* utilizado para a simulação do sistema, é possível obter outros dados da operação, além de gráficos específicos.

3.8 DESENVOLVIMENTO, VERIFICAÇÃO E TESTE DO MODELO DE SIMULAÇÃO

A construção de modelos é importante para melhor entendimento de determinado sistema e realização de experimentos no mesmo. “Modelos podem ser classificados como matemáticos ou físicos. Um modelo matemático usa notação simbólica e equações matemáticas para representar um sistema. Um modelo de simulação é um tipo particular de modelo matemático de um sistema” (BANKS ET AL., 2005).

Para a formulação do modelo de simulação, será adotada a metodologia proposta por CHWIF (1999) *apud* CHWIF E MEDINA (2006), em que é definida uma metodologia de simulação, composta das seguintes etapas:

1. Objetivo e definição do sistema;
2. Modelo abstrato;
3. Dados de entrada;
4. Modelo conceitual;
5. Modelo computacional;
6. Modelo operacional;

7. Resultados experimentais.

Essas etapas podem ser visualizadas na figura 3.2:

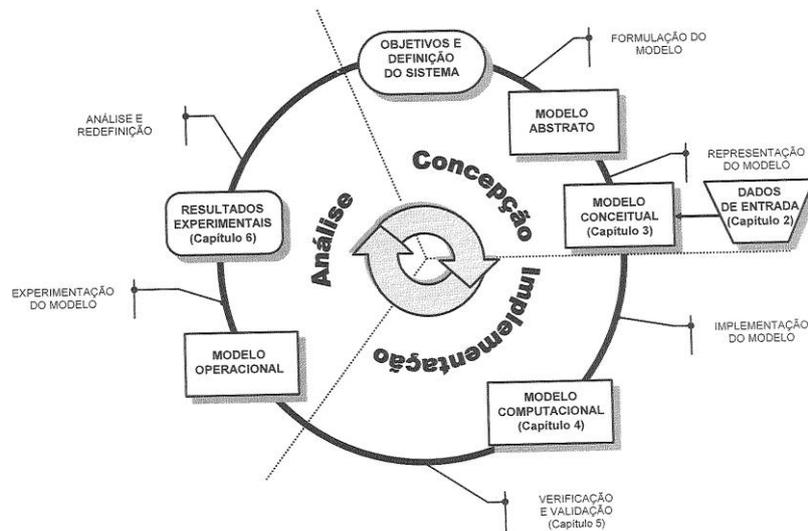


FIG. 3.2 – Metodologia da simulação (Fonte: CHWIF (1999) *apud* CHWIF E MEDINA (2006))

Com o objetivo de testar lógica e numericamente o modelo elaborado, ALMEIDA (1998) sugere a sua verificação e validação. Ele afirma que, “na verificação, testa-se o modelo através de uma pequena simulação com dados conhecidos, analisando então se o modelo apresenta resultados numéricos de mesma ordem de grandeza dos esperados”. Em relação à validação, o autor diz que “uma variável deve ser escolhida como parâmetro de referência. Na coleta de dados esta variável deve ser mensurada para que, após executado o modelo, possa ser comparada com as saídas do mesmo”.

Para a validação do modelo existem na literatura técnicas de verificação. CHWIF E MEDINA (2006) citam seis delas:

- Implementação modular/verificação modular: recomenda-se construir um modelo em partes e simular apenas esta parte. “Se esta parte aparentemente estiver correta, então, passe para a segunda parte e assim sucessivamente”;
- Valores constantes ou simplificados vs. cálculos manuais: através da gama de distribuições de probabilidades existentes, toma-se os valores médios de cada distribuição e passa a considerar esses valores como constantes e determinísticos. Assim, faz-se uma simulação determinística para testar o modelo;

- Utilização do debugger, trace ou depurador: tem-se uma visão mais ampliada do modelo através do depurador do software. Isso é possível através da visualização passo-a-passo dos eventos que estão ocorrendo e dos futuros, além dos valores das variáveis do modelo;
- Simulação manual: essa técnica só é viável para modelos pequenos. Quando realizada, permite “uma percepção maior sobre a correspondência entre o modelo computacional e o conceitual”.
- Animação gráfica: esta técnica permite identificar erros do modelo a partir da visualização do comportamento de seus componentes enquanto o mesmo está sendo executado;
- Revisão em grupo: através dessa técnica é possível que uma outra pessoa ou até mesmo um grupo de pessoas analisem o funcionamento do modelo, identificando seus erros.

Esses passos para validação servem de base para o teste do modelo de simulação desenvolvido neste trabalho. Decidiu-se por adotar o termo “teste” pelo fato da validação ser um estágio mais avançado do teste, em que é garantido o uso do modelo para todos os possíveis casos.

Sobre a verificação do modelo, os autores citam as cinco principais, são elas:

- Teste de Turing ou validação black-box: um especialista analisa os dados do sistema real e do modelo de simulação. Caso ele não consiga distinguir, o modelo poderá ser considerado válido.
- Duplicação de modelos: duas equipes desenvolvem modelos similares. Porém, “esta técnica é extremamente onerosa e somente é utilizada em alguns tipos de simulações críticas, cujo sistema envolva custos elevados ou que haja perigo de perda de vítimas humanas”.
- Comparação com modelos anteriores: através de modelos anteriores pode-se buscar indícios de validade do modelo atual.
- Análise de sensibilidade: a atenção deve-se voltar para os parâmetros críticos, pois assim é possível verificar quais são as hipóteses em que se deve ter um maior cuidado.
- Validação “face a face”: “Este é o tipo de validação em que o analista sentará com quem realmente entende do processo que foi simulado. Este tipo de validação pode ser tanto conceitual como operacional”.

Os autores afirmam também que se faz necessário verificar também a confiabilidade dos dados a partir do intervalo de confiança estabelecido pela equipe. A partir de uma amostra

piloto de n replicações é possível construir o intervalo de confiança do parâmetro desejado. O número de replicações ideal será determinado pela seguinte expressão:

$$n^* = \left[n \left(\frac{h}{h^*} \right)^2 \right] \quad \text{EQ 3.1}$$

Onde:

n^* = número ideal de replicações

n = tamanho da amostra piloto

h = precisão (metade do intervalo)

h^* = precisão desejada

Calculado esse valor, a simulação que servirá de base para a avaliação da operação ferroviária que será executada e, posteriormente, analisada. O número de replicações dará um intervalo com a precisão desejada. Assim, a probabilidade de que o intervalo desejado seja um dado de saída do modelo de simulação será igual ao nível de confiança estabelecido. O tempo de simulação adotado será a quantidade diária de operação da estação terminal em estudo que se deseja avaliar.

3.9 ANÁLISE DA OPERAÇÃO ATUAL

Finalizadas as etapas anteriores, os pesquisadores terão condições de analisar a realidade atual do sistema estudado, tendo foco nos aspectos operacionais que influenciam no bom rendimento do sistema e, conseqüentemente, na qualidade da operação do terminal de passageiros.

Os índices operacionais já estarão quantificados. Assim, é possível analisar se estão de acordo com as metas da empresa, bem como saber em quais aspectos é preciso melhorar, ou seja, quais são os gargalos do sistema.

Verificadas essas características do processo, tem-se condições de determinar quais fatores devem/podem sofrer alterações, ou seja, quais podem variar na criação dos cenários.

3.10 CRIAÇÃO DOS CENÁRIOS

Nessa fase serão caracterizadas as alternativas que serão testadas, visando alterar as configurações do sistema que precisam ser melhoradas ou apenas modificadas por motivos diversos. Fatores como aumento de velocidade, diminuição do *headway*, mudança da grade horária, aumento do tamanho da composição devem ser considerados na análise de sensibilidade e tempos de atendimento nas plataformas podem ser modificadas.

Além disso, de acordo com GONÇALVES (1986), para cada alternativa a ser analisada são necessários os seguintes dados:

- Número de plataformas (NPLAT);
- Tempos de bloqueio: com a chegada antes da partida e com a partida antes da chegada;
- Tempos de percurso: do sinal de entrada aberto até a plataforma, do sinal de entrada fechado até a plataforma e da plataforma até o marco de liberação (no caso de retirada de um trem para um desvio);

Esses e/ou outros fatores específicos do terminal em estudo podem ser considerados na criação de cenário. A escolha dentre eles se dará de acordo com o objetivo do projeto ou com as informações e os dados que se têm disponíveis. Tem-se que ver também se há pretensão/necessidade de mexer na infraestrutura do terminal, isso pode variar os fatores que serão modificados nos cenários construídos. Além disso, quando decidir por alterar a infraestrutura é imprescindível que se faça uma análise de viabilidade econômica, para verificar se o investimento dará retorno e em que prazo isso ocorrerá.

Quando se tratar de modificar dados obtidos a partir de históricos, faz-se necessário verificar a variação dos mesmos, ou seja, a diferença entre o menor e maior valor de cada um deles. Assim, é possível identificar se as mudanças propostas podem ser realizadas, pois muitas vezes deseja-se modificar alguma(s) etapa(s) da operação que não é possível colocar em prática.

3.11 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E DETERMINAÇÃO DO MELHOR CENÁRIO

Estudados os cenários propostos, tem-se embasamento para fazer propostas de mudanças na configuração do sistema que sejam viáveis econômica e operacionalmente. Espera-se que após o estudo seja possível determinar o número máximo de trens que podem circular em uma determinada estação, de acordo com o nível de pontualidade exigido (nível de confiabilidade do sistema), os gargalos da operação, se há existência de fila para entrada no processo, além de visualizar a situação atual do comportamento do sistema.

4 MODELO DE SIMULAÇÃO

Após a realização da pesquisa até aqui apresentada, foi desenvolvido um modelo de simulação no *software* Arena, versão 14.0. Esse modelo tem por objetivo contribuir para a avaliação da operação ferroviária nos terminais ferroviários de passageiros, dando suporte desde o planejamento operacional até o estratégico. Ele permite que se observe o comportamento do sistema a partir de algumas alterações na sua configuração.

Foram utilizadas as informações/instruções fornecidas no procedimento proposto, bem como outras que serão explicitadas no decorrer deste capítulo. Cada etapa do modelo de simulação proposto por CHWIF (1999) *apud* CHWIF E MEDINA (2006) é explicada a seguir.

4.1 OBJETIVO E DEFINIÇÃO DO SISTEMA

A primeira etapa da fase de concepção do modelo de simulação é definir seus objetivos e entender o sistema a ser estudado, que diz respeito às relações entre os componentes ou prever como o sistema irá operar sob uma nova política ou ainda a operação de um novo sistema, porém baseada em alguma política já existente. Faz-se necessário que todos os participantes da equipe de trabalho tenham as suas dúvidas sanadas e compreendam onde se deseja chegar quando findado o projeto. De acordo com CHWIF E MEDINA (2006), “deve-se decidir com clareza qual será o escopo do modelo, suas hipóteses e o seu nível de detalhamento”.

Para BANKS et al. (2005), “o modelo deve ser suficientemente detalhado para permitir conclusões válidas para desenhar o sistema real. Diferentes modelos do mesmo sistema podem ser requisitados com o propósito de diferentes alterações”. Ou seja, todas as operações do sistema devem estar claras e bem definidas para evitar uma representação errônea do mesmo.

Os autores ainda afirmam que além da descrição das relações dinâmicas e das interações entre os componentes, em uma simulação por eventos discretos, é necessário responder a alguns questionamentos, como, por exemplo, “Como cada evento afeta o estado do sistema?”

“Como as atividades são definidas?”, “Quais as condições que um atraso começa ou termina?”, “Uma atividade pode começar independentemente do estado do sistema, ou o início está condicionado no início do sistema a um certo estado?” e “Qual o estado do sistema no tempo 0?”. Eles permitem que todas as operações e todos os comportamentos do sistema sejam compreendidos.

4.2 MODELO ABSTRATO

Esta etapa representa a definição bem clara do modelo na mente do analista, em que a partir daí ele fará uso de alguma técnica de representação de modelos de simulação para que ele se transforme em um modelo conceitual. Feito isso, o modelo estará apto para ser aplicado e poderá ser compreendido por outras pessoas que estejam envolvidas no projeto (CHWIF E MEDINA, 2006).

O modelo abstrato deste trabalho é a simulação da operação da linha de Trens Paradores da estação terminal Central do Brasil, que tem como destino a estação Deodoro. As operações ferroviárias estudadas são as que ocorrem exclusivamente dentro da estação; assim, são analisados os movimentos que o trem realiza, em especial o tempo de permanência nas plataformas. A taxa de utilização dos trechos e das plataformas e o tempo de permanência em cada plataforma são algumas informações que se busca obter a partir do modelo. Através da avaliação da operação deverá ser possível propor ações para melhoria do sistema.

4.3 DADOS DE ENTRADA

Primeiramente é preciso esclarecer que esta etapa é gerida pelo modelo, e não o contrário. Após o entendimento do sistema e do problema a ser estudado e da definição dos objetivos, define-se quais dados devem ser coletados para que seja possível desenvolver e aplicar o modelo.

Os dados de entrada devem ser modelados, ou seja, modelos probabilísticos serão obtidos para que as propriedades de determinado fenômeno aleatório sejam inferidos. A modelagem

inclui as etapas de coleta de dados (processo de amostragem), tratamento dos dados e inferência (determina o comportamento da população a partir da amostra) (CHWIF E MEDINA, 2006).

BANKS et al. (2005, pág. 307) elencam quatro passos para um usual modelo de dados de entrada:

1. Coleta de dados do sistema real de interesse: requer um tempo considerável e um comprometimento de recursos. Destaca-se que quando os dados não estão disponíveis as opiniões de experts e o conhecimento do processo podem ser usados para se fazer as suposições;
2. Identificar a distribuição de probabilidade para representar o processo de entrada: quando os dados estão disponíveis, este passo tipicamente começa com o desenvolvimento da distribuição de frequência ou histograma, dos dados.
3. Escolha dos parâmetros que determinam um específico instante da família de distribuição.
4. Avaliação das distribuições escolhidas e associação dos parâmetros para qualidade do ajuste, que pode ser informalmente, via métodos gráficos, ou formalmente, via testes estatísticos, que em geral são o teste chi-square (qui-quadrado) e o Kolmogorov-Smirnov.

CHWIF E MEDINA (2006) ainda ressaltam dois aspectos importantes: é bastante comum haver erro na coleta de dados, principalmente se ela for feita de forma manual; e o aconselhamento de fazer uso de séries históricas, que podem ser usadas quando o sistema não sofrerá alterações de comportamento entre o período dos dados coletados e o simulado.

Os dados podem ser coletados de diferentes formas, dependendo da disponibilidade de mão de obra e de tempo para a pesquisa. Caso os registros realizados pela empresa estejam sendo feitos de maneira confiável, coleta-se o histórico de dados referente a 1 ano, se possível, do intervalo de chegada de trens na estação e do tempo de permanência em cada plataforma. Essa é a maneira mais desejada, pois assim o tempo despendido para a pesquisa é menor, mostrando mais rapidamente os resultados desejados.

Considerando a necessidade de se obter esses dados durante a pesquisa, pode ocorrer a contagem manual, com a presença de alguns pesquisadores na estação (visitas *in loco*) cronometrando e registrando os momentos da operação. Faz-se necessário a presença de pelo menos quatro pesquisadores: um observando a entrada dos trens na estação (registro do intervalo de chegada entre trens), um em cada plataforma (registro do tempo de permanência

do trem no processo de embarque e desembarque de passageiros) e outro observando a saída de trens da estação.

Outra maneira é através de filmagens da estação em lugar estratégico, em que seja possível registrar os movimentos acima citados. Obtidas as gravações, o pesquisador irá analisa-las e registrar o momento em que eles ocorrem. Essa maneira requer menos tempo e menor exposição do pesquisador, além de ter maior precisão nos registros, visto que há o relógio da filmagem, e o mesmo pode ser revisto quantas vezes for necessário.

Os horários de pico são os mais importantes a serem coletados, pois geralmente são os que apresentam maiores problemas na execução da operação. Assim, eles devem ser tratados separadamente do restante, já que apresentam comportamentos diferentes.

4.4 MODELO CONCEITUAL DA SIMULAÇÃO

A simulação é a principal etapa do procedimento proposto. Desta forma, foi desenvolvido um modelo conceitual que visasse representar o comportamento atual do sistema e fosse capaz de auxiliar no processo de resolução de conflitos existentes no mesmo, ou seja, uma ferramenta para a tomada de decisão.

A partir da pesquisa até aqui apresentada foi desenvolvido um modelo de simulação no *software* Arena 14.0 da *Rockwell Automation*. Ele se enquadra na área da simulação por computador, dentro da categoria chamada simulação de processos por computador. Trata-se de uma ferramenta de simulação genérica, que o torna possível ser aplicado em qualquer processo, a exemplo do sistema ferroviário, além do desenvolvimento de *templates* a partir de pequenos modelos, podendo-se fazer uso deles como parte de outros maiores (FIORONI, 2008).

De maneira geral, na simulação, há algumas terminologias dos elementos que fazem parte do estudo e devem ser do conhecimento do profissional que está realizando o mesmo. No *software* Arena esses conceitos também são utilizados. FREITAS (2001 *apud* LOPES, 2008) cita algumas dessas terminologias:

- Entidades: “Representa a unidade física do problema, cujo comportamento se deseja estudar”;

- Atributos: “São características próprias das entidades, o conjunto de informações que definem totalmente”;
- Variáveis de estado: “É o conjunto de informações necessárias à compreensão do que está ocorrendo em um sistema em um determinado instante de tempo”;
- Eventos: “É o instante do tempo no qual alguma troca significativa de estado ocorre no sistema”;
- Atividade: “São as operações e procedimentos que são iniciados em cada evento”;
- Processos: “São as sequências de eventos na ordem cronológica que elas acontecem”;
- Recursos: “O recurso é o que a entidade necessita para realizar alguma atividade”;
- Replicação: “Significa o número de vezes que é repetido o experimento de simulação”.
No modelo desenvolvido para esse trabalho considerou-se as seguintes informações:
- Entidades: trem e trem avariado;
- Atributos: foram utilizados os atributos indicando a plataforma que o trem está sendo direcionado, a entrada da entidade no sistema, a entrada da entidade nas plataformas e a saída da entidade das oficinas;
- Variáveis de estado: as variáveis utilizadas foram referentes ao estado de ocupação das partes das plataformas (espaço 1 ou 2 das plataformas), a saída das plataformas e duas variáveis para determinar o direcionamento do trem para a plataforma A ou B;
- Eventos: os trens avariados, ao sair dos desvios, assumem a condição de trem em estado normal; os trens deixam passageiros e pegam novos passageiros nas plataformas A e B, na plataforma C apenas deixa os passageiros e saem vazios;
- Atividade: “São as operações e procedimentos que são iniciados em cada evento”;
- Processos: “São as sequências de eventos na ordem cronológica que elas acontecem”;
- Recursos: os recursos adotados foram os arcos (que juntos formam os trechos e as rotas), as plataformas e as oficinas;
- Replicação: “Significa o número de vezes que é repetido o experimento de simulação”.

FIORONI (pág.78, 2008) descreve de forma resumida o funcionamento de um modelo desenvolvido em Arena:

“O usuário descreve, durante a construção do modelo, todos os elementos estáticos como recursos e outros, e também as regras de comportamento a serem seguidas. Ao se iniciar a simulação, os elementos dinâmicos (entidades) entram no modelo, interagem com os elementos estáticos e circulam conforme as regras que foram modeladas”.

GUAZZELLI (2011) dividiu o sistema em três subsistemas: subsistema acesso, subsistema ferroviário e subsistema regresso. Neste modelo que está sendo apresentado apenas o subsistema ferroviário será trabalhado, pois é o que envolve diretamente a operação. De acordo com DANTAS (1983), “o setor ferroviário é considerado como composto de: vias de circulação e plataformas gerais, vias e plataformas de serviço, vias de estacionamento, posto de controle do pátio e oficina de manutenção”.

Sobre os critérios para se avaliar a operação ferroviária dentro de um terminal, GONÇALVES (1986) afirma que eles se baseiam em dois pontos: análise dos atrasos (esperas) ou na comparação entre a circulação programada e a executada. A abordagem da simulação foi o movimento dos trens na área dos terminais de passageiros, ou seja, a operação ferroviária.

FIORONI (2008) formulou um modelo conceitual de simulação para trens de carga em uma malha ferroviária com 11 passos, são eles: 1) representação da malha; 2) representação dos trens diretos; 3) representação dos trens de ciclo; 4) algoritmo de inserção de trens na malha; 5) algoritmo de movimentação; 6) algoritmo de atividades; 7) algoritmo de locomotivas auxiliares; 8) algoritmo de contingências; 9) medidores dos indicadores de desempenho; 10) indicadores gráficos; e 11) comportamentos específicos.

A partir desse estudo, adequou-se ao caso de trens de passageiros para o desenvolvimento de um novo modelo conceitual, que será utilizado neste trabalho. Além disso, a movimentação considerada é a que é realizada apenas dentro do pátio de uma estação terminal. A seguir será explicado cada um desses passos do modelo conceitual.

4.4.1 REPRESENTAÇÃO DA MALHA

A malha explorada nesse estudo pode ser representada por três estruturas: segmentos, plataformas e desvios.

Os segmentos representam as linhas ferroviárias existentes, que ou são duplas ou singelas. Eles podem ser ou não sinalizados, isso significa se é possível que o trem pare na linha caso haja necessidade. As informações necessárias para a inserção no modelo são: número de seções de bloqueio – representam as divisões sinalizadas onde um trem pode parar;

número de linhas – linha dupla ou singela; tempo de trânsito normal – considera o limite de velocidade e a distância entre os trechos, uma distribuição matemática pode ser utilizada.

As plataformas são onde ocorre o embarque e desembarque de passageiros. Deve-se considerar a capacidade de cada uma delas. Algumas podem ser usadas com a finalidade de desvio de rota, como por exemplo no caso de um trem avariar durante a operação e precisar ser destinada ao desvio ou as plataformas que ocorrem embarque e desembarquem estarem ocupadas.

Os desvios são trechos reservados para a destinação temporária de trens avariados, em que são feitos pequenos reparos, para quando o trem não está avariado, mas precisa se destinar às plataformas que ocorrem somente desembarque, necessitando assim ir para o desvio para depois voltar à operação normal, e para a necessidade de trens reservas durante o dia ou para ser os primeiros trens do dia seguinte.

4.4.2 REPRESENTAÇÃO DOS TRENS DIRETOS

Adequando ao caso de trens de passageiros, tem-se a grade horária dos trens, o destino do trem (plataforma), tamanho do trem em metros (de acordo com a quantidade de vagões), tempo de permanência na plataforma (pode ser dado através de uma distribuição matemática), sequência de trechos pelo qual o trem percorrerá a partir da plataforma e probabilidade do trem estar avariado (nesta situação ele ocupa outra plataforma e depois segue para o desvio de operação realizada pela questão de garantir o embarque e desembarque dos passageiros usando outra sequência de trechos).

4.4.3 REPRESENTAÇÃO DOS TRENS DE CICLO

Na operação de trens de passageiros não há trens de ciclo, mas o que pode ocorrer no caso estudado é o trem ir para alguma plataforma que não estava planejado, devido a situações diversas. A chance de isso ocorrer poderá ser determinada por probabilidade ou por alguma equação matemática. Não há a possibilidade da plataforma não comportar o tipo de

trem, pois a operação é feita mediante autorização do C.C.O. Esse tipo de operação ocorre para garantir que os passageiros embarquem ou desembarquem conforme o horário programado. É preciso ter a informação referente à quantidade de carros de passageiros por composição.

4.4.4 ALGORITMO DE INSERÇÃO DE TRENS NA MALHA

Neste caso, considera-se como algoritmo de inserção de trem no pátio da estação terminal. Uma taxa de intervalo de chegadas é definida a partir do histórico de dados, em que se gera a distribuição estatística que melhor irá representar. Depois é definida a plataforma de destino. Assim, para que o trem prossiga a viagem faz-se necessário que a sequência de segmentos que fazem parte do percurso esteja liberada, além de confirmar se esta rota está correta. No geral, são poucas as opções de destino. Em seguida, o trem ocupa a plataforma escolhida, liberando assim os segmentos que faziam parte de sua rota.

O fluxograma abaixo (figura 4.1) mostra de forma mais clara como se dá a operação de inserção de trens no pátio da estação terminal:



FIG 4.1 – Algoritmo de inserção de trens na malha

4.4.5 ALGORITMO DE MOVIMENTAÇÃO

Esse algoritmo é responsável por levar o trem da entrada do pátio da estação terminal até a plataforma de destino. Essa determinação será feita de acordo com a linha que o trem está ocupando e com a grade horária pré-estabelecida.

Um fator importante a ser considerado quando a linha é singela é a possibilidade de confronto com outro trem. As seções de bloqueio são muito importantes nessa operação, pois irá sinalizar o momento em que o trem poderá seguir viagem. Todas as condições devem estar satisfeitas, ou seja, todos os segmentos que fazem parte da rota devem estar livres. Ao ocupar

o primeiro segmento da rota os demais já estão reservados, evitando assim que trens em sentido contrário venham ao seu encontro, e também para que trens no mesmo sentido não ocupem esse caminho, desrespeitando assim o *headway* determinado. Determina-se o tempo de movimentação de acordo com a distância percorrida.

Ao passar pelas seções de bloqueio, o trem libera o conjunto de segmentos anterior, para que assim outro trem possa ocupa-lo. Essas seções evitam que haja conflito de trens, principalmente quando a linha é singela e não possui pátio de cruzamento.

O fluxograma abaixo (figura 4.2) mostra de forma mais clara como se dá a operação de inserção de trens no pátio da estação terminal:

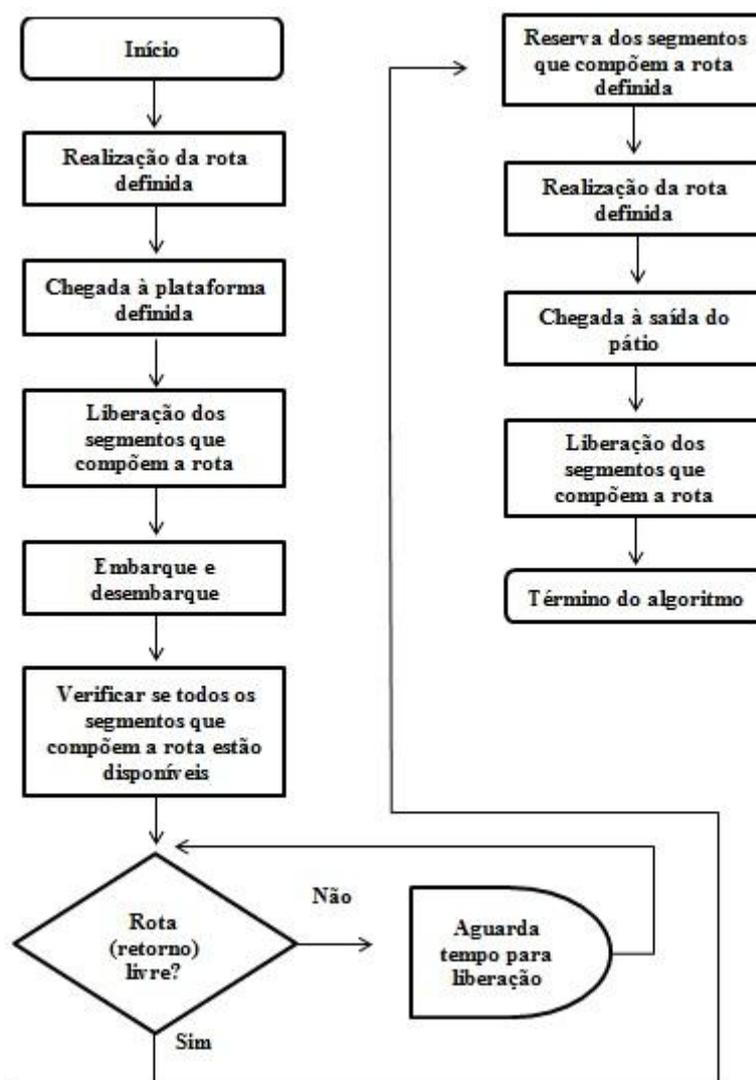


FIG 4.2 – Algoritmo de movimentação

4.4.6 ALGORITMO DE ATIVIDADES

No caso deste trabalho, as atividades realizadas são embarque, desembarque, manutenção corretiva/reparos (caso o trem encontre-se avariado) e desvio de trens. Assim, ele gasta um tempo de operação determinado por uma equação estatística (distribuição de probabilidade). Terminada a atividade, ele passa para o algoritmo de movimentação.

4.4.7 ALGORITMO DE LOCOMOTIVAS AUXILIARES

Na operação de trens de passageiros é menor a utilização de locomotivas auxiliares. Portanto, não se considerou esse algoritmo.

4.4.8 ALGORITMO DE CONTINGÊNCIAS

Significa que o trem gastará um tempo maior de trânsito do que o normal para passar por determinado trecho. Isso pode ocorrer por motivos diversos, a exemplo de problemas na linha.

4.4.9 MEDIÇÃO DOS INDICADORES DE DESEMPENHO

De acordo com FIORONI (2008), “esta seção relaciona os indicadores de desempenho a serem registrados pelo modelo, e descreve a forma como cada indicador será calculado”.

- Passageiros transportados: somatória da quantidade de carros de passageiros a partir do número de trens com diferentes composições. A partir dessa informação e com base na capacidade de transporte de cada carro, é possível determinar o número médio de passageiros transportados em determinado período de tempo.

- Quantidade de trens avariados: registrar o número de trens que foram avariados em determinado período de tempo. Contagem de ocorrências.
- Taxa de utilização das plataformas: o modelo considera as plataformas como recursos, o que permite calcular sua taxa de utilização. Considerar como 100% a quantidade diária de operação da estação terminal específica.
- Contagem da chegada de trens por tipo: os trens que circulam na linha são de diferentes tamanhos, podendo ser de 4, 6, 8 ou 9 carros, dependendo da linha que ele atende. Deve-se gerar separadamente a quantidade de cada um deles que entra no sistema e em cada plataforma. Porém, nesse estudo de caso apenas os trens compostos por 4 carros circulam no ramal Deodoro (trens paradores);
- Quantidade de operações por dia nos terminais de passageiros: quantidade de trens que circularam na estação terminal em estudo.
- Tempo de ciclo dos trens: diz respeito ao tempo total que o trem gasta em suas operações (percurso completo): entrada no pátio, circulação nos trechos de sua rota (ida e volta), embarque e desembarque de passageiros e saída do pátio. São registrados individualmente os seguintes componentes do tempo de ciclo: tempo de percurso da entrada do pátio até a plataforma, tempo de embarque e desembarque de passageiros e tempo de percurso da plataforma até a saída do pátio. A soma da média desses valores será o referido tempo de ciclo.
- Tempo de fila nas seções de bloqueio: tempo médio em que o trem fica em cada seção de bloqueio. O registro é feito quando o trem fica parado esperando a liberação da sequência de trechos que fazem parte de sua rota.

4.4.10 INDICADORES GRÁFICOS

Alguns indicadores são expressos também através de gráficos, sejam eles gerados automaticamente através do relatório emitido pelo *software*, ou formulados pelo próprio pesquisador/analista. Gráficos são importantes para interpretação dos resultados de maneira visível, bem como para comparar resultados, a exemplo da criação de cenários, em que se pretende visualizar a melhor configuração/alteração.

Destacam-se como indicadores para serem representados graficamente a taxa de utilização dos recursos, a quantidade de trens atendidos (capacidade) e o tempo de atendimento nas plataformas. Porém, os gráficos são recursos adicionais para a análise dos resultados, não anulando a necessidade de mostrar por extenso todos os indicadores calculados.

4.4.11 COMPORTAMENTOS ESPECÍFICOS

Um modelo conceitual de simulação engloba aspectos gerais de todo sistema. Porém, alguns comportamentos são específicos do que se está estudando. Um exemplo que pode ser bastante usual é a restrição de horário para circulação, pois o serviço de transporte de passageiros por trem no Brasil não funciona 24 horas por dia. Além disso, há os horários de pico (começo da manhã e final da tarde até começo da noite), em que há uma maior circulação de trens e de passageiros, que pode ser trabalhado no modelo.

No modelo em estudo foram considerados os seguintes comportamentos específicos: plataformas A e B são ocupadas por trens em condições normais, as plataformas C e D são ocupadas por trens avariados (saem sem passageiros devido à fidelização das plataformas), caso as plataformas A e B estejam ocupadas o trem pode ocupar a plataforma C ou D, pois a prioridade é o desembarque dos passageiros, e a retirada dos trens é feita para os dois desvios existentes (desconsidera-se as oficinas).

4.5 MODELO COMPUTACIONAL

Após a criação do modelo conceitual, o próximo passo é implementá-lo em alguma linguagem computacional. “Nesta etapa, “implementação”, o modelo conceitual é convertido em um modelo computacional através da utilização de alguma linguagem de simulação ou de um simulador comercial” (CHWIF E MEDINA, 2006). Essa etapa pode ser uma linguagem de programação, uma linguagem de simulação ou um simulador. Nessa etapa aumenta-se o grau de capacidade do analista, pois ele precisa dominar alguns desses métodos.

Para a escolha de qual *software* de simulação usar, BANKS et al. (págs. 99 e 101, 2005), oferecem sete dicas de como analisar o ideal para o seu caso específico: 1) não se concentrar em uma única edição, tal como a facilidade de uso; 2) a velocidade de execução é importante; 3) cuidado com as reivindicações de publicidade e demonstrações; 4) pedir ao vendedor para resolver uma pequena versão do seu problema; 5) cuidado na lista de verificação com os “sim” e os “não” da entrada; 6) usuários de simulação perguntam se o modelo de simulação pode fazer link e usar códigos ou rotina com existentes em linguagens externas, como C++ ou Java; e 7) pode haver uma significativa relação entre ambientes de construção de modelos e aqueles baseados em uma linguagem de simulação.

Existem *softwares* de simulação genéricos e específicos. Como exemplos dos genéricos, BANKS ET AL. (2005) citam: Arena, AutoMod, Extend, Flexsim, Micro Saint, ProModel, QUEST, SIMUL8 e WITNESS. FIORONI (2008) mostra alguns específicos para operações ferroviárias, são eles: SIMSIG, MultiRail, Fast Track II, Train Dispatcher 3, Track Builder 3, PC Rail e SimCar. O *software* escolhido para desenvolver o modelo de simulação deste trabalho foi o Arena versão 14.0.

A escolha do *software* se deu devido ao seu potencial de aplicação, conforme cita GUIMARÃES, pág. 76, 2008:

Com relação aos dados estatísticos, o *software* Arena possui um banco de dados que armazena os dados relativos à simulação do modelo proposto. Dessa forma, ao final de cada simulação, o *software* emite um relatório que possui vários indicadores de desempenho relativos aos processos, recursos e filas contendo, por exemplo, tempo de utilização e capacidade ocupada de cada recurso, tempo de espera e tamanho das filas, custos, entre outros.

Outros dados de saída também podem ser gerados, de acordo com a modelagem desenvolvida. Essas características mostraram que o mesmo iria atender as necessidades deste trabalho, em que os indicadores operacionais determinados no procedimento seriam quantificados no relatório final gerado após a rodada de simulação.

4.5.1 DETALHAMENTO DO MODELO

Neste tópico será feito o detalhamento do modelo computacional desenvolvido, mostrando as condições consideradas, os recursos do software que foram utilizados, e a lógica do mesmo de uma maneira geral.

O subsistema utilizado para a modelagem do terminal foi apenas o ferroviário, formado pela rota percorrida dentro do pátio (entrada e saída do mesmo), as plataformas (local onde o trem estaciona para embarque e desembarque de passageiros) e os desvios – destinado para realização de reparos nos trens ou necessidade de trem-reserva. Neste trabalho não se considera as características dos usuários e nem os sistemas de acesso e de regresso.

Para modelar o padrão de chegada utiliza-se o intervalo entre trens. Importante considerar a quantidade máxima de trens que pode chegar dentro do intervalo de tempo determinado para o estudo.

O modelo foi desenvolvido no *software* Arena, conforme já citado anteriormente neste trabalho. O módulo “Create” é criado para gerar a chegada de trens no pátio da estação terminal. O processo de chegada pode ser modelado de duas maneiras: 1) obedecendo ao *timetable* e 2) considerando a realidade.

- 1) **Obedecendo ao *timetable***: considera-se que os trens cumprem o horário programado e que a ocorrência de avarias nos trens em circulação ou de estarem ocupadas as plataformas que ocorrem embarque e desembarque é baixa. Neste caso, adota-se o tipo constante para o intervalo de chegadas. O módulo “Create” é seguido dos módulos “Record”, “Assign”, “Delay” e “Separate”.



FIG. 4.3 – Modelagem do processo de chegada tipo 1

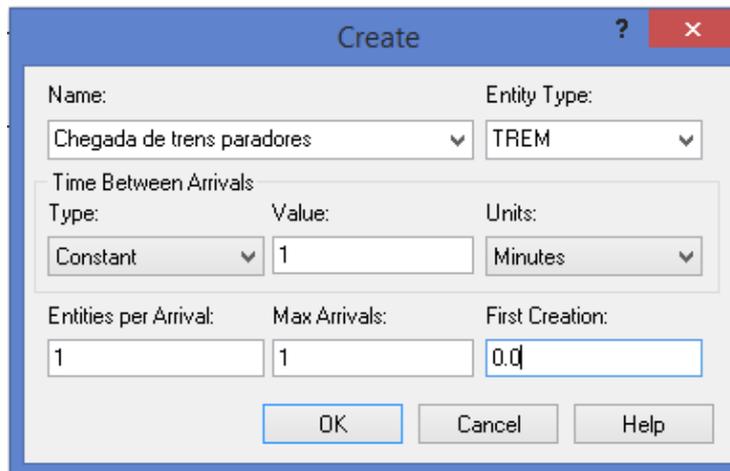


FIG. 4.4 – “Create” para processo de chegada do tipo 1

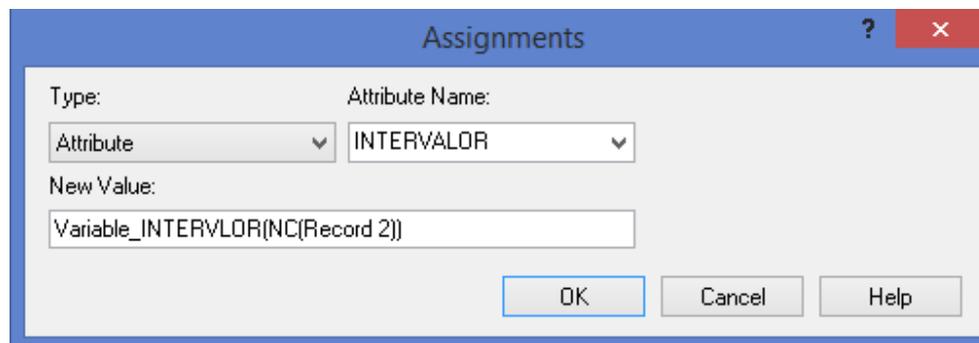


FIG. 4.5 – “Assignments” para processo de chegada do tipo 1

Esta forma de criação de entidades define que a programação é respeitada, ou seja, as entidades chegam ao sistema em horários pré-estabelecidos. A variável “*Variable_INTERVALOR*” diz respeito aos momentos em que isso ocorre. Nela são inseridos os valores dos intervalos entre chegadas. No “*Delay*”, o atributo “*INTERVALOR*”, gerado no módulo anterior, é processado. Essa maneira de simular permite enxergar erros na programação, ou seja, quais problemas ocorreriam caso tudo fluísse conforme o planejado.

- 2) **Considerando a realidade:** uma distribuição de probabilidade é gerada a partir dos dados históricos. O recurso “*Input Analyzer*” do Arena permite identificar qual a distribuição que melhor se aproxima. Nele são inseridos os intervalos de chegadas registrados em um determinado período de tempo.

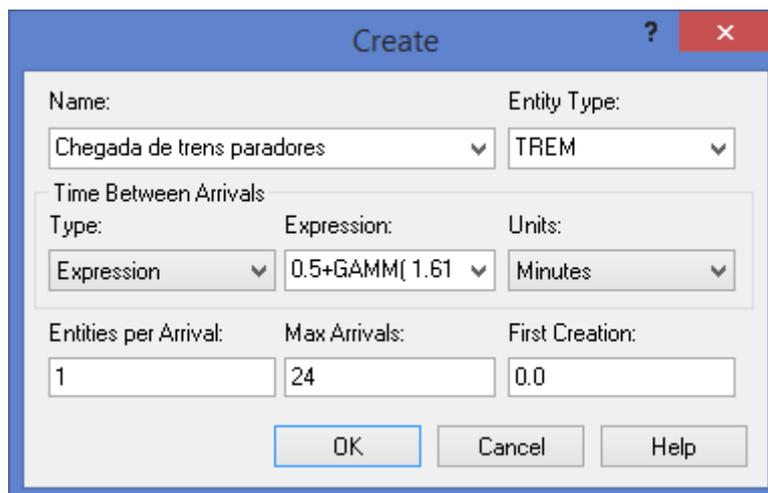


FIG. 4.6 – “Create” para processo de chegada do tipo 2

Para direcionar os trens em condições normais dos que estão avariados ou que devem se destinar a outra plataforma devido às que ocorrem embarque e desembarque estarem ocupadas, o módulo “Decide” foi utilizado. As condições para esse direcionamento são estabelecidas de acordo com o sistema em estudo.

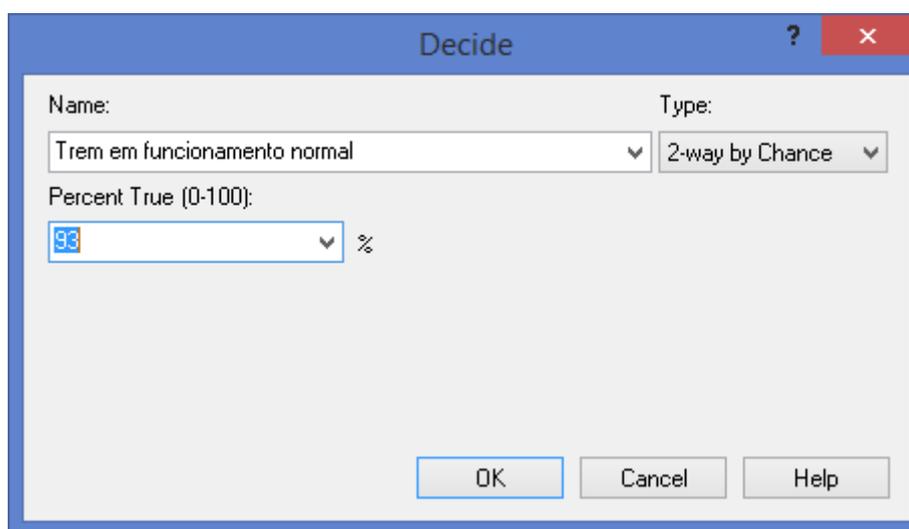


FIG. 4.7 – “Decide” para definir se o trem está em condições normais

Após essas etapas iniciais, a entidade (trem) já está inserida no sistema. Porém, para entrar no pátio da estação terminal faz-se necessário verificar se os segmentos (chamado neste trabalho de “arco”) que compõem a rota estão livres. Para isso, foi inserido o módulo “Hold”, que irá verificar se as condições estão satisfeitas, com base no modelo conceitual.

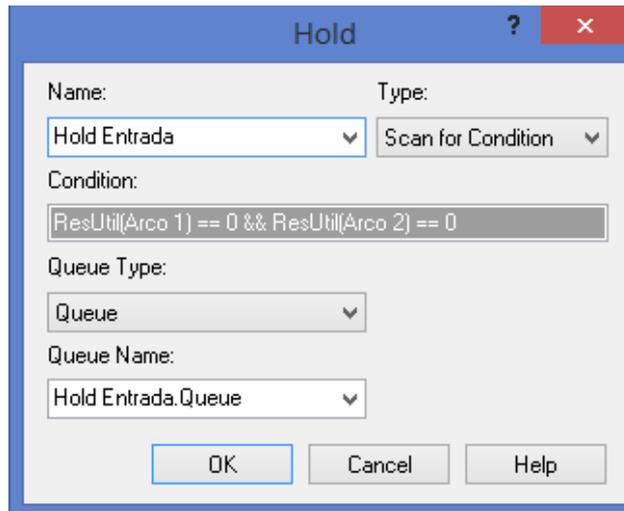


FIG. 4.8 – “Hold” para liberar a entrada do trem no pátio

Uma contagem do número de entidades que entram no sistema é realizada através do módulo “Record”, utilizando sua função do tipo “Count”. A entrada em cada arco é definida através do módulo “Station”, e a passagem da entidade de um para outro é realizada através do módulo “Route”, em que o tempo de rota é determinado através da velocidade média de circulação dentro do terminal e a distância percorrida, ou seja, obtida através da fórmula simples de velocidade média:

$$\Delta t = \frac{\Delta d}{v} \quad \text{EQ 4.1}$$

Onde:

Δt = intervalo de tempo

Δd = distância percorrida

v = velocidade média

Assumindo que Δs corresponderá ao comprimento do arco, e v à velocidade média. De maneira geral, a velocidade é a mesma durante todo o percurso.

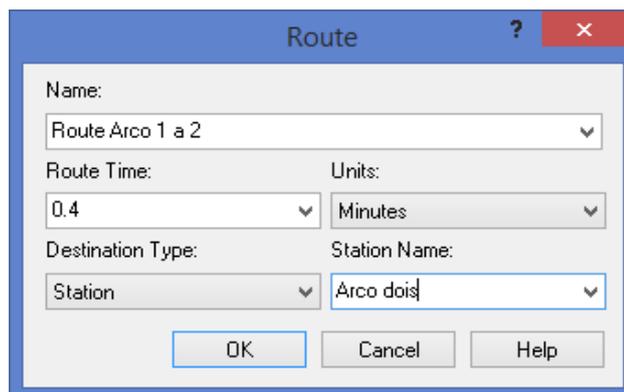


FIG. 4.9 – “Route” para movimentar a entidade (trem) dentro do pátio

Verificadas as condições acima citadas, é definida a plataforma ao qual o trem se destina. Assim, a rota é totalmente definida. Nesse momento há uma seção de bloqueio que irá liberar ou não a passagem da composição para a plataforma. O sinal é representado pelo módulo “Hold”, que já foi explicado. Lembrando que só há liberação se todas as condições contidas nesse módulo estiverem satisfeitas. Caso contrário gera uma fila de espera. Essa etapa requer muita atenção do profissional que está desenvolvendo o modelo, principalmente se a linha for singela, pois caso falte alguma informação importante poderá comprometer todo o modelo e refletir em resultados errôneos e/ou paralisação da simulação.

Cada arco/segmento é tido como recurso. A sua ocupação vai de acordo com as regras operacionais do sistema em estudo. Assim, eles são ocupados logo após a liberação do sinal, e quando passado para outro bloco de arcos são liberados e ocupados outros. Isso é feito através do bloco “Seize” e “Release”. Outro bloco usado no modelo é o “Assign”, que determina condições que a entidade e/ou o sistema obtém na passagem por ele.

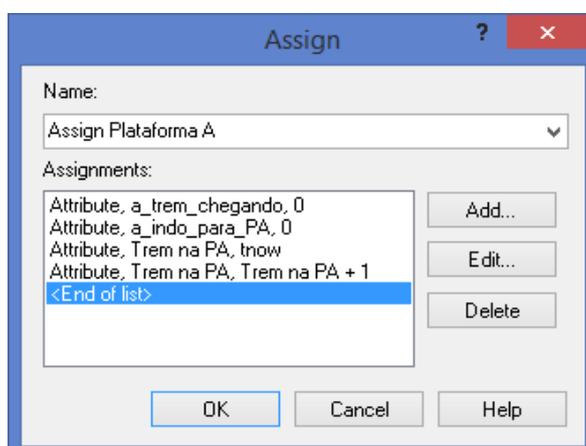


FIG. 4.10 – “Assign” para mudar características de entidade e/ou sistema

Após concluir a rota, o trem chega à plataforma a que estava destinado. Nesse momento são realizados os processos de desembarque e posterior embarque de passageiros. Caso o modelo adotado tenha o processo de chegada do tipo 1 (conforme planejado), provavelmente será usada uma constante para representar o tempo de atendimento (como pode ser visto na figura 4.11). Se o modelo adotado for do tipo 2, a partir dos dados históricos será gerada uma expressão que irá determinar o comportamento desse processo (tempo de atendimento).

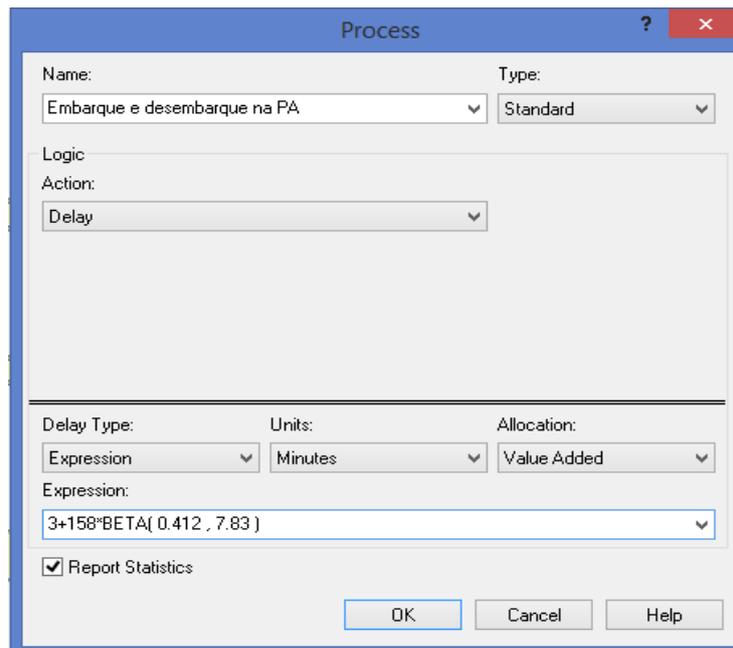


FIG. 4.11 – “Process” para determinar o tempo de atendimento nas plataformas

Finalizada esta etapa, o trem deve desocupar a plataforma e seguir a rota de saída do pátio da estação terminal. Para isso, é realizada uma lógica semelhante à de entrada no sistema, em que se verifica a disponibilidade dos arcos que compõem a rota (através do módulo “Hold”). Ou o trem vai para o desvio/oficina (vazio) ou segue destino para outro terminal (com passageiros). Na chegada ao fim do pátio, os recursos que estão sendo utilizados são desocupados e o trem sai do sistema através do módulo “Dispose”.

O modelo apresentado nesse tópico é genérico, ou seja, a lógica do modelo conceitual é válida para qualquer sistema desta natureza. No entanto, algumas características variam de acordo com o sistema estudado, o que requer habilidade do profissional para fazer as adaptações necessárias no desenvolvimento do mesmo. Outra informação a considerar é que o modelo descrito foi elaborado no *software* Arena; portanto, como ele é genérico, pode ser

adaptado em qualquer outro *software* que esteja disponível para o simulador, obedecendo-se o modelo conceitual e lógica desenvolvidos.

4.6 MODELO OPERACIONAL

Esta etapa ocorre após a verificação e validação conceitual. Subtende-se que o modelo computacional já está pronto para ser operacionalizado, ou seja, tem-se agora uma ferramenta eficaz de experimentos estatísticos. Além disso, os cenários construídos poderão ser testados, e assim é possível verificar o comportamento do sistema com as mudanças nas configurações. “Nesta etapa são efetuadas várias “rodadas” do modelo e os resultados da simulação são analisados e documentados. A partir dos resultados, conclusões e recomendações sobre o sistema podem ser geradas” (CHWIF E MEDINA, 2006).

Os sistemas podem ser terminais ou não-terminais. O caso estudado nesse trabalho se classifica como o primeiro deles. “Os sistemas terminais são aqueles que têm um momento exato no tempo para finalizar a simulação” (CHWIF E MEDINA, 2006). Os valores da duração da simulação e o número de replicações precisam ser determinados. Os autores explicam que a análise de dados desses sistemas requerem 7 etapas, são elas:

1. Estabelecer as medidas de desempenho adequadas;
2. Escolher a confiança estatística e a precisão com que se pretende trabalhar;
3. Definir, a partir da observação do sistema real, o tempo de simulação;
4. Construir a “amostra piloto”;
5. Determinar o número de replicações necessárias;
6. Rodar o modelo novamente;
7. Calcular o novo intervalo de confiança.

Uma vantagem dos simuladores é que eles permitem visualizar o comportamento do sistema e já observar os dados no momento em que o modelo está sendo operacionalizado. “À medida que se executa a simulação, os usuários podem observar, através de gráficos e tabelas, o comportamento das principais variáveis do sistema. Durante o exercício, medidas de desempenho são calculadas (e listadas em tabelas) a partir dos dados observados” (GAVIRA, 2003).

4.7 RESULTADOS OPERACIONAIS

Esta etapa corresponde à fase de análise do modelo de simulação. São os resultados gerados após as rodadas executadas no modelo operacional. “Análise de saída é o exame dos dados gerados pela simulação. Seu propósito é tanto para prever o desempenho de um sistema ou para comparar o desempenho de duas ou mais alternativas de projeto de sistema” (BANKS et al., 2005). A proposta é obter as medidas de desempenho do sistema em estudo.

5 APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO PROPOSTO

Seguindo os passos descritos no capítulo 3, em que o procedimento proposto é apresentado e detalhado, este capítulo objetiva fazer uma aplicação do mesmo através de um estudo de caso escolhido. A validação do procedimento proposto será através da análise de um ramal de uma estação terminal localizada na cidade do Rio de Janeiro, a Central do Brasil, administrada pela empresa Supervia Concessionária de Transportes Ferroviários S./A.

A estação em estudo apresenta cinco ramais. Porém, devido à sua complexidade e à limitação da versão do *software* utilizado, apenas um deles foi analisado, o ramal de trens paradores, que tem como destino a estação Deodoro. Esse ramal é o que apresenta menor intervalo de saída dentre os existentes, sendo, assim, o mais movimentado.

De acordo com a SUPERVIA (2015), no ano de 2014 foram transportados 164.001.690 passageiros, sendo mais de 620 mil diariamente. No ano de 2013 os custos totais de serviços prestados foram de 368,0 milhões de reais, e no ano de 2014 eles foram de 323,6 milhões de reais. Além disso, há os custos de construção e as despesas (com vendas, gerais e administrativas e diversas). Essas informações mostram a grande demanda atual do sistema ferroviário, reafirmando a necessidade de estudar o tema.

O capítulo 4 apresentou parte deste estudo de caso à medida que foi apresentado o modelo de simulação desenvolvido neste trabalho. No entanto, cada passo do procedimento será explicado e detalhado no decorrer deste capítulo.

5.1 SELEÇÃO DO TERMINAL DE ESTUDO E DEFINIÇÃO DO OBJETIVO DA ANÁLISE

O sistema de trens urbanos da Região Metropolitana do Rio de Janeiro é operado pela empresa Supervia Concessionária de Transportes Ferroviários S./A, a Supervia – Trens Urbanos desde 1º de novembro de 1998, quando obteve a concessão de 25 anos. A mesma foi prorrogada até o ano de 2048. A malha viária total é de 270 km, contando com 8 ramais e 102 estações, que engloba a capital do estado (Rio de Janeiro) e outros onze municípios da região

metropolitana (Duque de Caxias, Nova Iguaçu, Nilópolis, Mesquita, Queimados, São João do Meriti, Belford Roxo, Japeri, Magé, Paracambi e Guapimirim). Além disso, a empresa também opera o Teleférico do Alemão, que tem 6 estações. Atualmente a frota é de 201 trens. (SUPERVIA, 2015).

A estação terminal Central do Brasil está localizada na Praça Cristiano Ottoni, s/n – Centro, Rio de Janeiro – RJ. Há vários serviços de lojas disponíveis para os usuários: quiosque, sorveteria, escritório, bancos, lanchonete, banco de empréstimos, banca de jornal, brechó, casa lotérica, charutaria, fotográfica, *lan house*, supermercados, vestuário, papelaria e livraria. Nesta estação há integração com ônibus e metrô e transferência entre ramais (SUPERVIA, 2015).

Dos oito ramais existentes, cinco deles (Deodoro, Santa Cruz, Japeri, Belford Roxo e Saracuruna) são atendidos na estação escolhida para estudo – Central do Brasil. A estação é aberta às 04h02m e seu fechamento com desembarque de passageiros é às 23h46m. Como citado acima, apenas o ramal Deodoro de trens paradores será trabalhado, sendo o objeto de estudo desta dissertação. O percurso total da linha é de 41 minutos. Porém, o estudo se voltará apenas à operação realizada dentro da estação terminal escolhida.

A estação terminal apresenta seis linhas e treze plataformas. Nesse estudo só serão analisadas 4 delas (A, B, C e D), que refere-se à linha Deodoro. Essa linha passa pelas seguintes estações: Central do Brasil, Praça da Bandeira, São Cristóvão, Maracanã, Mangueira, São Francisco Xavier, Rocha, Riachuelo, Sampaio, Engenho Novo, Méier, Todos os Santos, Olímpica de Engenho de Dentro, Encantado, Piedade, Quintino, Cascadura, Madureira, Oswaldo Cruz, Prefeito Bento Ribeiro, Marechal Hermes e Deodoro. Há parada em todas elas, visto que essa linha refere-se à linha de trens paradores. As composições que circulam nessa linha são de 4 carros.

Porém, a empresa adota o sistema de fidelização das plataformas, em que são fixas as plataformas de embarque de passageiros para cada ramal, o que ajuda na padronização da operação. A Figura 5.1 mostra os trechos existentes dentro do pátio da estação escolhida para estudo. A figura 5.2 mostra o processo de fidelização das plataformas, em que a cor vermelha representa o ramal Deodoro, verde – Santa Cruz, azul – Japeri, roxo – Belford Roxo e laranja – Saracuruna.

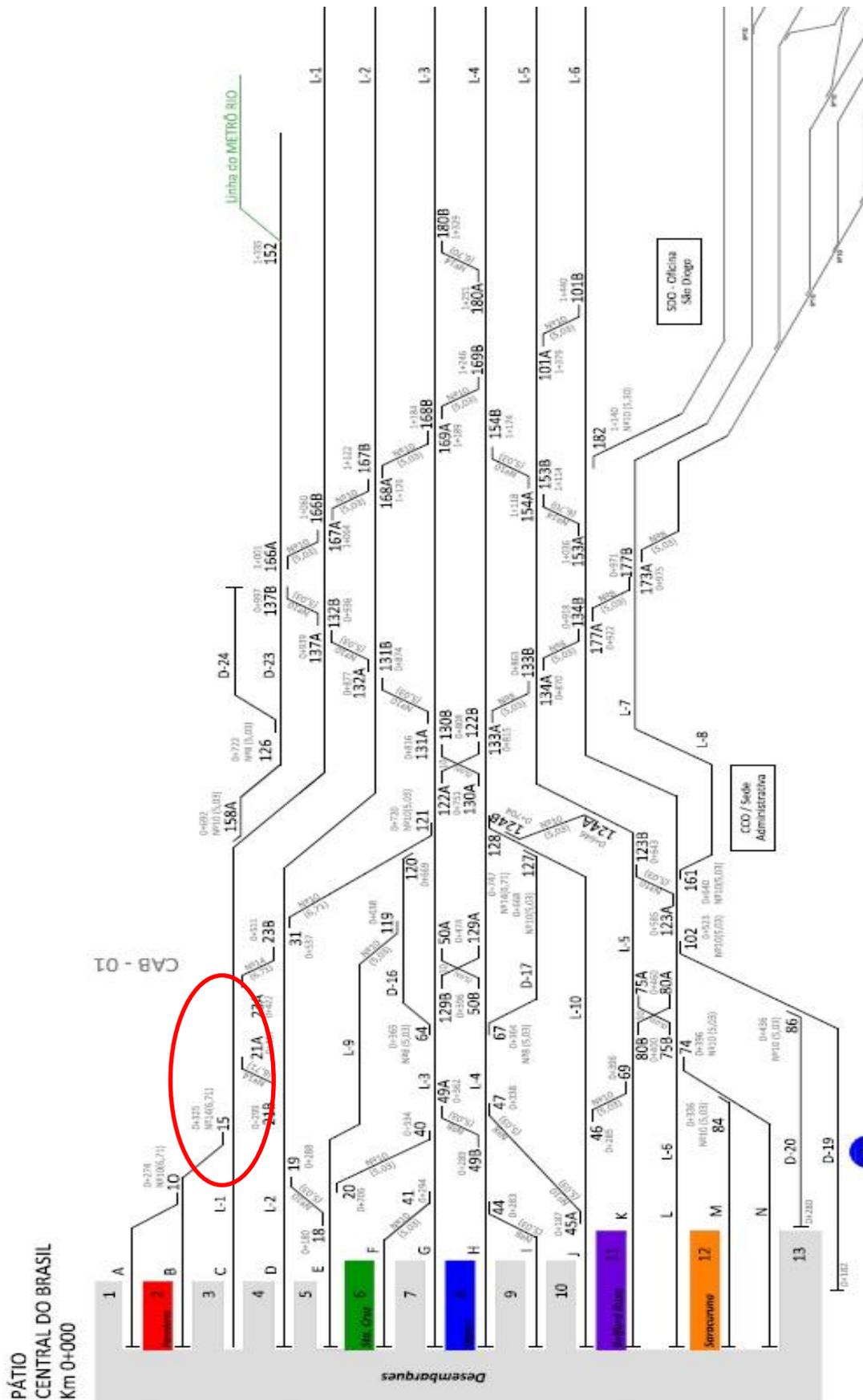


FIG. 5.1 – Estação Terminal Central do Brasil
 Fonte: SUPERVIA (2015)

A primeira partida na estação acontece às 05h37m. A velocidade dentro do pátio tem o limite de 30 km/h. Por dia são retirados do ramal Deodoro 2 trens para manutenção preventiva.

O objetivo da análise é identificar os índices operacionais que influenciam na qualidade da operação da estação terminal Central do Brasil, no ramal Deodoro – trens paradores. Feito isso, serão criados cenários com a variação dos valores desses índices e determinada a melhor forma de operar o sistema com os recursos existentes.

5.2 DEFINIÇÃO DOS DADOS A SEREM COLETADOS

Os dados coletados foram definidos a partir da revisão de literatura e explicitados no capítulo 3, no tópico 3.2. Esses dados foram essenciais para o entendimento do processo em estudo e desenvolvimento do modelo de simulação. Muitos deles são dados de entrada do modelo computacional.

Os dados coletados foram inseridos da seguinte maneira:

- 1) Configuração da linha e da estação (*layout*) – dado necessário para compreensão do sistema e criação da lógica do modelo de simulação;
- 2) Critério de seleção da linha de plataforma na chegada à estação – dado inserido no primeiro módulo “*Decide*” do modelo;
- 3) Rotas dos trens – usadas na modelagem do sistema, que determinará a lógica da mesma;
- 4) Taxa de ocupação dos trens (número de passageiros sentados e espaço disponível para passageiro em pé) – após a simulação que determinará o número de trens que o terminal tem capacidade de atender, calcular o número máximo de passageiros que podem ser transportados;
- 5) Quantidade de vagões nos trens – calcular capacidade de transporte de passageiros;
- 6) Comprimento dos trens – verificar ocupação do espaço da plataforma;
- 7) *Headway* (incluindo variação por horário, se houver) – intervalo mínimo entre os trens (verificar se está sendo cumprido), usado na simulação com intervalo de chegada do tipo I (segue o programado);
- 8) Velocidade – cálculo do tempo de rota, que após calculado é inserido no módulo “*Route*”;

- 9) Velocidade máxima de passagem pelos A.M.V's - cálculo do tempo de rota, que após calculado é inserido no módulo "*Route*";
- 10) Regras de bloqueio – condições para a liberação do trem, inseridas no módulo "*Hold*";
- 11) Locais de seções de bloqueio nos trechos – inserido na modelagem do sistema;
- 12) Tempos de percurso: do sinal de entrada até a plataforma e da plataforma até o marco de liberação ou entre os sinais de liberação – dado calculado através do comprimento dos trechos e inserido no módulo "*Route*";
- 13) Tempo de ocupação na plataforma – tempo de embarque e desembarque de passageiros (ou apenas desembarque), e tempo parado do trem, inserido no módulo "*Process*" de cada plataforma através da distribuição de probabilidade gerada pelo *input analyzer*;
- 14) Histórico de dados das chegadas e partidas na estação terminal objeto de estudo (horário e plataforma-destino) - determinar a expressão (distribuição de probabilidade) que determina o intervalo de chegadas entre trens através do *input analyzer*, que é inserida no módulo "*Create*".

5.3 ELABORAÇÃO DA ENTREVISTA

O método de coleta de informações escolhido foi a realização de entrevistas a especialistas e técnicos do terminal em estudo. As perguntas preparadas para foram as seguintes:

1. Qual é o problema que a empresa deseja que seja estudado?
2. Que questões específicas devem ser resolvidas?
3. Quais cenários são importantes serem analisados?
4. Quais configurações do sistema podem sofrer alterações?
5. Que medidas de desempenho são de interesse para a empresa?

As demais perguntas se deram em forma de conversas, em que foi explicado todo o funcionamento do sistema dentro da estação terminal e sanadas as dúvidas sobre a proposta do trabalho e o entendimento do processo.

5.4 REALIZAÇÃO DA ENTREVISTA

A entrevista foi realizada em etapas. Houve a primeira reunião entre a pesquisadora, o orientador deste trabalho e dois engenheiros da empresa. Algum tempo depois houve um encontro para sanar dúvidas da pesquisadora com um técnico do C.C.O. e um engenheiro da empresa. Por fim, aconteceu uma terceira reunião em que estiveram presentes a pesquisadora, o orientador, dois engenheiros, um supervisor e um gerente da empresa. Essas reuniões tiveram caráter explicativo e de obtenção de informações.

As informações e dos dados obtidos foram importantes diretamente nos passos de definição do objetivo da análise, coleta de dados, tratamento dos dados e desenvolvimento, verificação e teste do modelo de simulação, conforme será comentado em cada um desses passos.

5.5 COLETA DE DADOS

Como explicado no procedimento proposto, houve a coleta de informação e de dados. As informações foram obtidas a partir das entrevistas e de visitas à estação terminal (técnica e de observação). As informações determinadas no passo 2 do procedimento foram solicitadas aos entrevistados (funcionários da empresa) e cedidas pelos mesmos. Elas foram úteis para compreensão do sistema e formulação do modelo de simulação computacional (lógica do mesmo e inserção de dados de entrada). Os dados foram coletados de duas maneiras: filmagens e dados históricos.

As filmagens foram realizadas no período entre os dias 26 e 30 de outubro. As câmeras foram instaladas em um prédio a frente da estação, lugar em que se teve uma visão parcial da estação, mas que foi possível visualizar as plataformas que compreendem o ramal Deodoro. Desta forma, alguns dados foram extraídos das imagens geradas, que serviram para validar o modelo de simulação.

Os dados históricos foram cedidos pela empresa concessionária (SUPERVIA). O histórico correspondeu ao período de 20 de abril a 19 de junho. Porém, só foram considerados dias úteis, retirando finais de semana, feriados e dias impresados. Feita essa seleção, os

dados foram referentes aos dias 27 a 30 de abril, 4 a 8, 11 a 15, 18 a 22 e 25 a 29 de maio e 1 a 3, 8 a 12 e 15 a 19 de junho. Foram retirados os intervalos de chegadas pela linha 2 e os tempos de atendimento (embarque e desembarque) nas plataformas A e B. O ideal seria ter o histórico de 1 ano, para que assim fosse possível verificar a existência de sazonalidade em determinados meses do ano ou algum outro tipo de comportamento diferente da média. Assim, essa foi considerada uma limitação do trabalho. Se houvesse uma coleta de dados em um período mais amplo, conforme indicado no procedimento proposto, poderia ser verificado alguns fatores que influenciam no processo, como, por exemplo, a existência ou não de sazonalidade, semelhança ou diferença do comportamento do sistema por dia, dentre outras características.

Esses dados correspondem ao processo de chegada do tipo 2, em que gera-se uma distribuição de probabilidade para representar o intervalo de chegadas e o tempo de atendimento nas plataformas.

O *timetable* também foi simulado, para que assim fosse possível identificar se o programado estava sendo elaborado de maneira correta. Esses dados correspondem ao processo de chegada do tipo 1.

A figura 5.3 ilustra uma amostra da visualização da estação terminal obtida a partir das filmagens realizadas:



FIG. 5.3 – Amostra das imagens coletadas através de filmagens

5.6 ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS

A modelagem do processo de chegada do tipo 1 teve os dados extraídos da programação de operação da empresa concessionária. Essa programação é bastante semelhante todos os dias, havendo pouca variação, conforme foi verificado no histórico fornecido pela mesma. Em uma das entrevistas foi esclarecido que há uma mudança mais significativa quando acontece algum problema, como, por exemplo, o descarrilamento de um trem, ou por determinação externa, como a pedido da prefeitura municipal em um dia de evento atípico na cidade. Assim, para a rodada de simulação considerou-se a programação do dia 19 de maio por ter sido um dia distante de feriados e não ter sido uma segunda-feira ou sexta-feira (início e fim da semana). Para esta data o intervalo de chegadas foi de 5 minutos e o tempo de atendimento de 6 minutos.

Para a modelagem do processo de chegada do tipo 2 foram considerados os dois horários de pico do dia e o horário entre eles, em que dividiu-se em três tipos de dados de entrada: das 05h37m às 07h59, das 08 às 15h59m e das 16 às 19h59m. Para a divisão desses três horários considerou-se a informação que a empresa passou que o pico da manhã ocorre até às 07h59m e de que o primeiro trem parte da estação terminal às 05h37m, de acordo com a programação. O pico do final da tarde e início da noite também foi a partir de informações repassadas em uma das entrevistas realizadas. Porém, com posse dos dados históricos, foram gerados gráficos de dispersão para verificar se essa divisão estava correta, o que foi condizente com as informações repassadas. Assim, a simulação foi executada 3 vezes, considerando esses três horários e cada tipo de comportamento do sistema.

Para os intervalos entre chegadas, gerou-se histogramas através do excel e, posteriormente, fazendo uso do recurso *Input Analyzer* disponibilizado no *software* Arena, obteve-se os suas respectivas distribuições de probabilidade (expressões), em que o eixo x diz respeito ao valor em minutos e o eixo y à frequência acumulada:

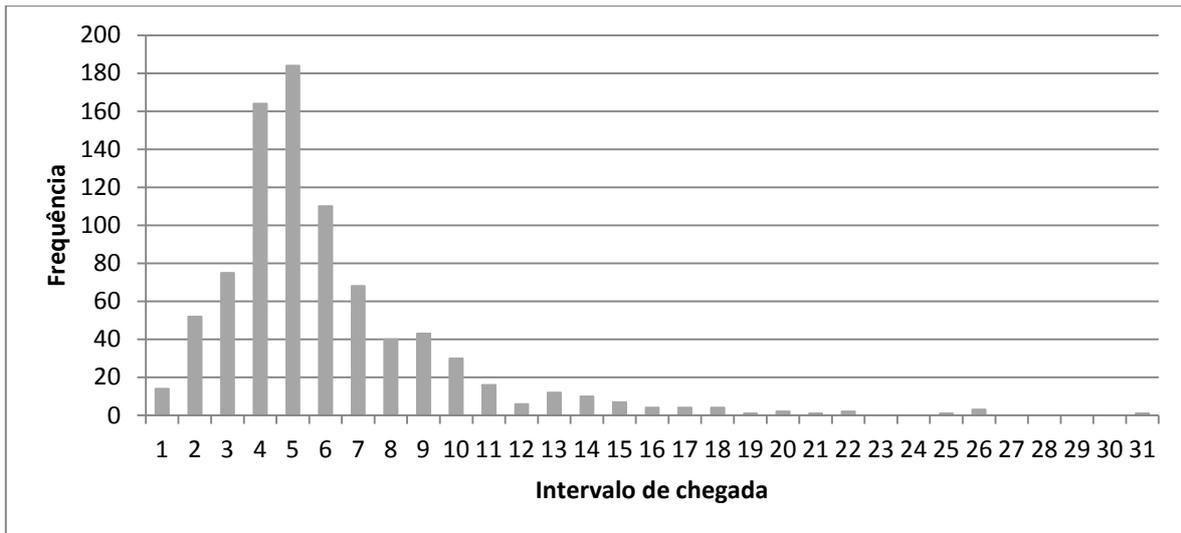


FIG. 5.4 – Histograma do processo de chegada no horário de pico 1

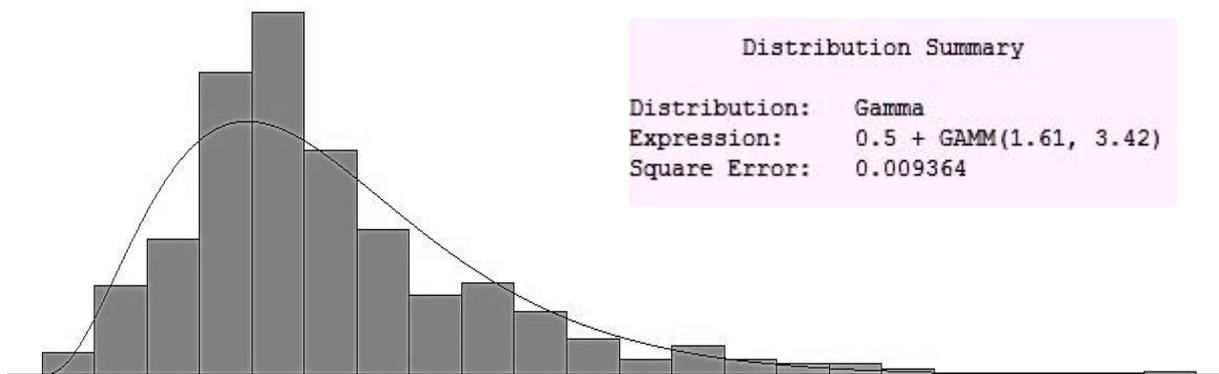


FIG. 5.5 – Curva do processo de chegada no horário de pico 1

Para o processo de chegada do primeiro intervalo de tempo foram inseridos 864 dados, tendo 1 como valor mínimo e 31 como valor máximo. A média simples encontrada foi de 6.02 e o desvio padrão de 3.12. Para o teste Qui-Quadrado obteve-se o número de intervalos de 14; 11 graus de liberdade; o teste estatístico de 76 e o p-valor correspondente < 0.005 .



FIG. 5.6 – Histograma do processo de chegada do horário entre picos

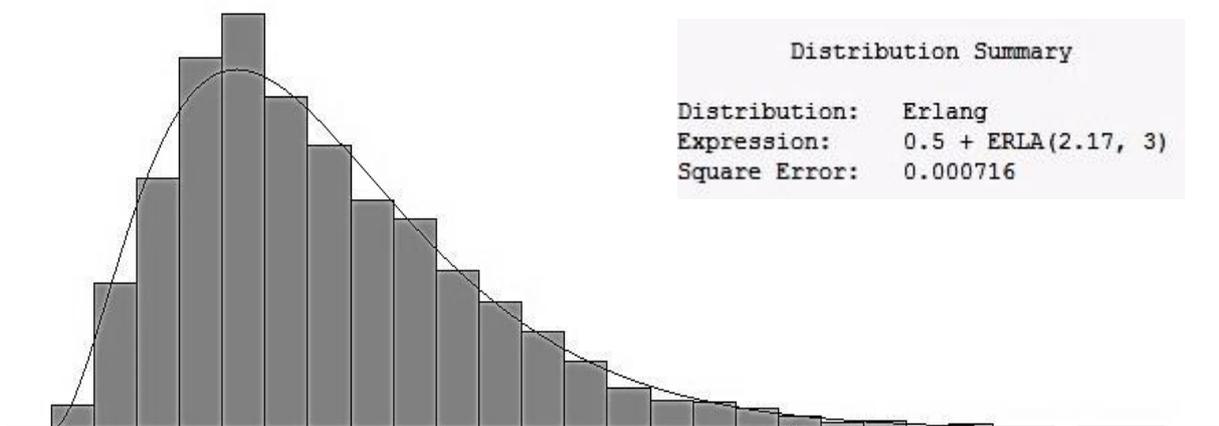


FIG. 5.7 – Curva do processo de chegada do horário entre picos

Para o processo de chegada do segundo intervalo de tempo foram inseridos 2541 dados, tendo 1 como valor mínimo e 67 como valor máximo. A média simples encontrada foi de 7 e o desvio padrão de 3.78. Para o teste Qui-Quadrado obteve-se o número de intervalos de 20; 17 graus de liberdade; o teste estatístico de 21.7 e o p-valor correspondente < 0.005 .

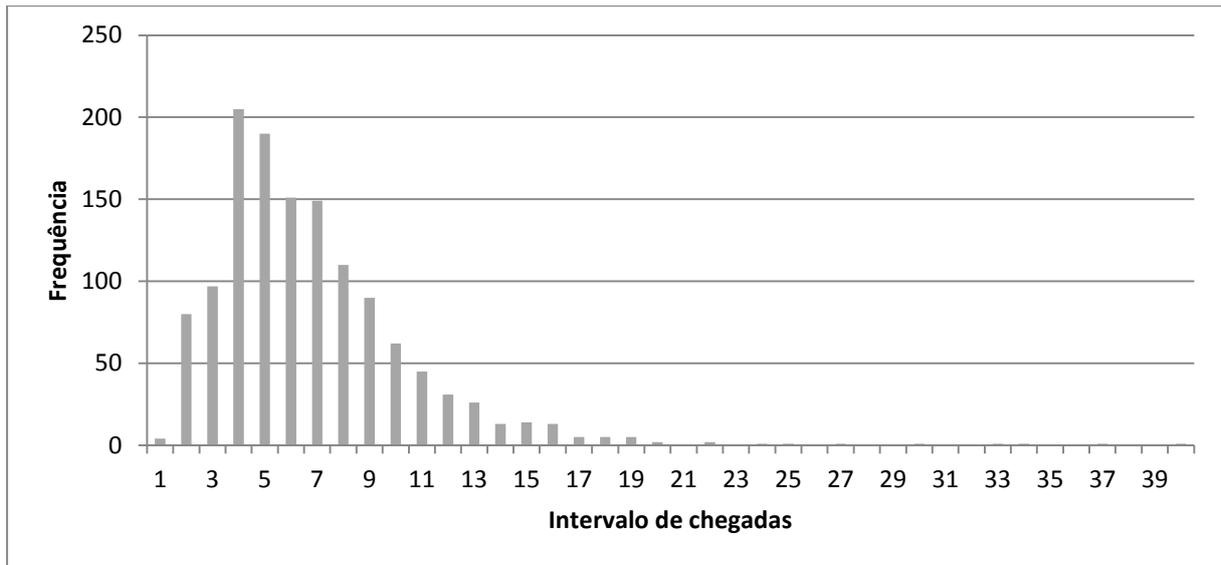


FIG. 5.8 – Histograma do processo de chegada do horário de pico 2



FIG. 5.9 – Curva do processo de chegada do horário de pico 2

Para o processo de chegada do terceiro intervalo de tempo foram inseridos 1366 dados, tendo 1 como valor mínimo e 40 como valor máximo. A média simples encontrada foi de 6.52 e o desvio padrão de 3.39. Para o teste Qui-Quadrado obteve-se o número de intervalos de 16; 13 graus de liberdade; o teste estatístico de 35.9 e o p-valor correspondente < 0.005 .

A tabela 5.1 mostra os horários, suas distribuições de probabilidade (expressões) e o erro quadrado correspondente:

TAB. 5.1: Expressões dos intervalos de chegadas

HORÁRIOS	DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE	Nº DE PONTOS	ERRO QUADRÁTICO MÉDIO
05h37m às 07h59m	0.5 + GAMM (1.61 , 3.42)	864	0.009364
08h às 15h59m	0.5 + ERLA (2.17 , 3)	2541	0.000716
16h às 19h59m	0.5 + GAMM (1.83 , 3.3)	1366	0.002433

Observa-se que foram geradas distribuições distintas de acordo com o intervalo de tempo, confirmando a necessidade de estudá-los separadamente.

Os tempos de atendimento (embarque, desembarque e permanência nas plataformas) foram analisados considerando os mesmos intervalos de tempo, em que o *Input Analyzer* gerou os seguintes histogramas, em que o eixo x diz respeito ao valor em minutos e o eixo y à frequência acumulada:

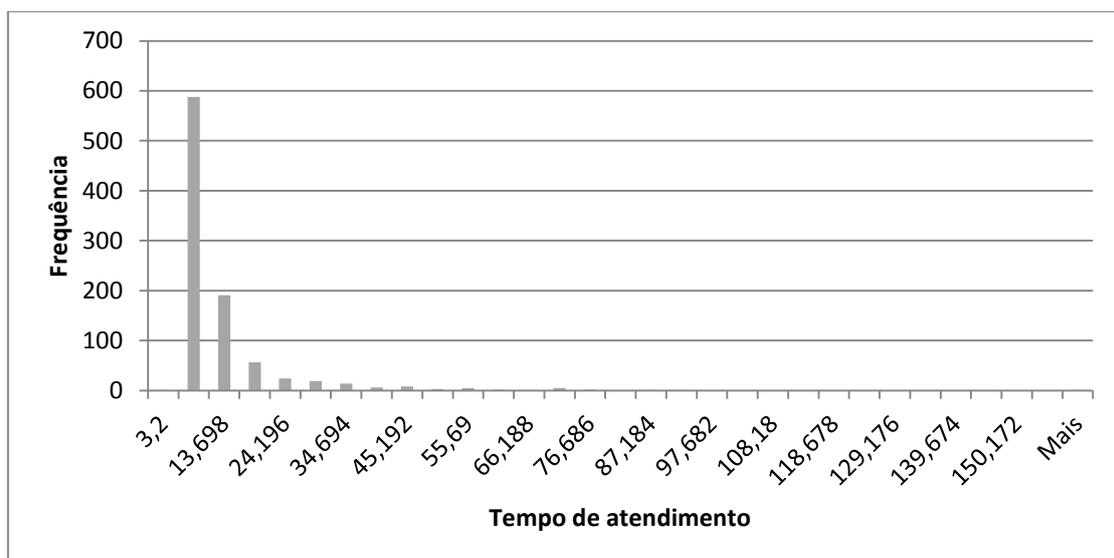


FIG. 5.10 – Histograma do tempo de atendimento do horário de pico 1

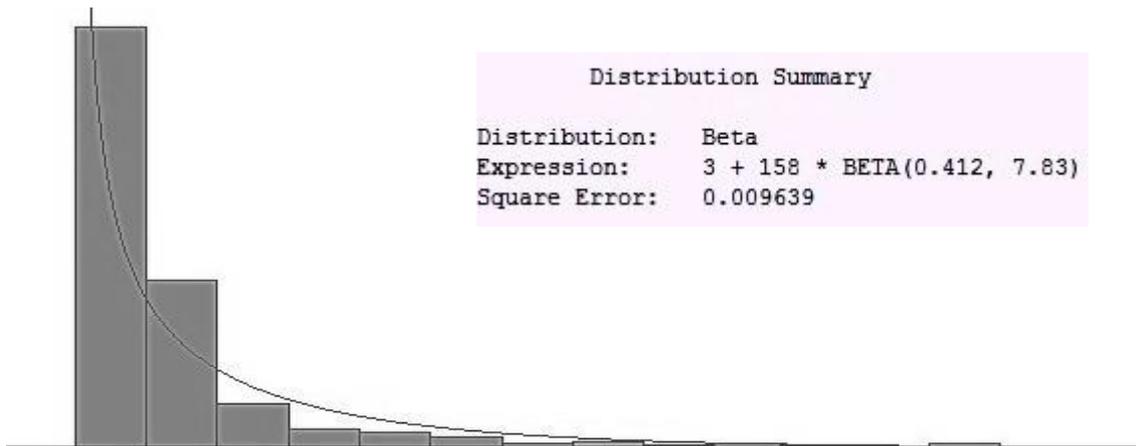


FIG. 5.11 – Curva do tempo de atendimento do horário de pico 1

Para o tempo de atendimento do primeiro intervalo de tempo foram inseridos 929 dados, tendo 3.2 como valor mínimo e 161 como valor máximo. A média simples encontrada foi de 10.9 e o desvio padrão de 11.3. Para o teste Qui-Quadrado obteve-se o número de intervalos de 9; 6 graus de liberdade, o teste estatístico de 84.3 e o p-valor correspondente < 0.005 . O teste Kolmogorov-Smirnov teve teste estatístico de 0.325 e p-valor correspondente < 0.01 .

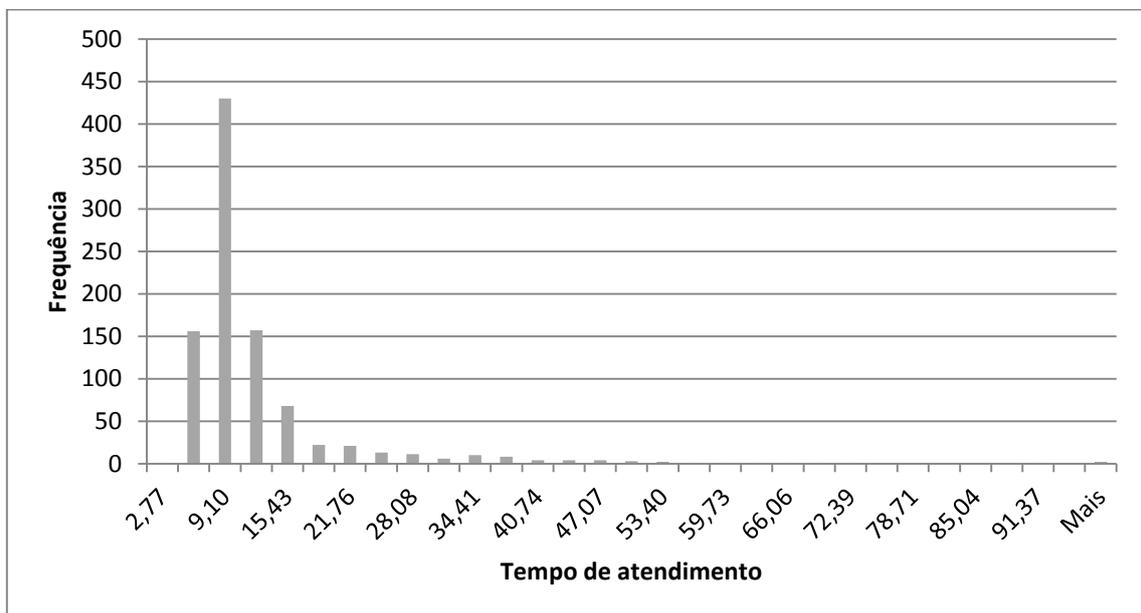


FIG. 5.12 – Histograma de atendimento do horário entre picos

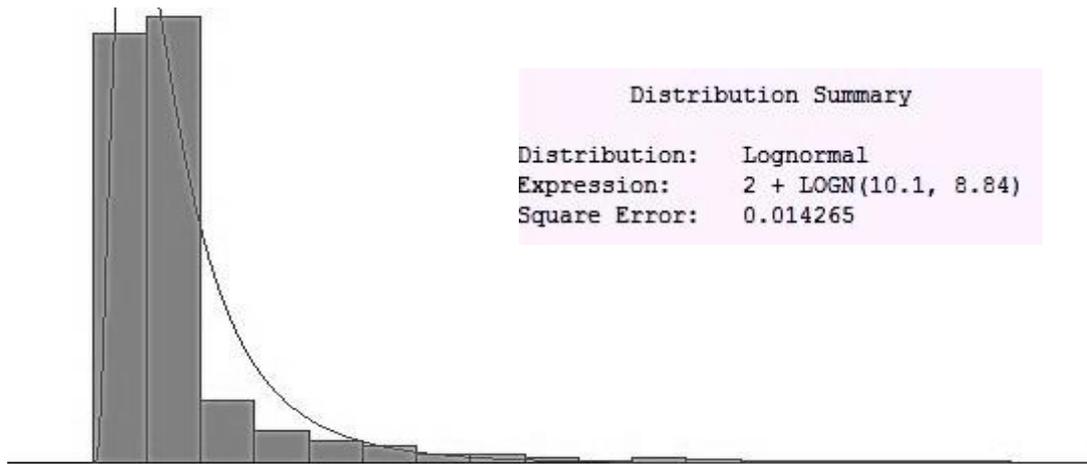


FIG. 5.13 – Curva do tempo de atendimento do horário entre picos

Para o tempo de atendimento do segundo intervalo de tempo foram inseridos 2494 dados, tendo 2.4 como valor mínimo e 240 como valor máximo. A média simples encontrada foi de 13.2 e o desvio padrão de 16.7. Para o teste Qui-Quadrado obteve-se o número de intervalos de 9; 6 graus de liberdade, o teste estatístico de 460 e o p-valor correspondente < 0.005 . O teste Kolmogorov-Smirnov teve teste estatístico de 0.108 e p-valor correspondente < 0.01 .

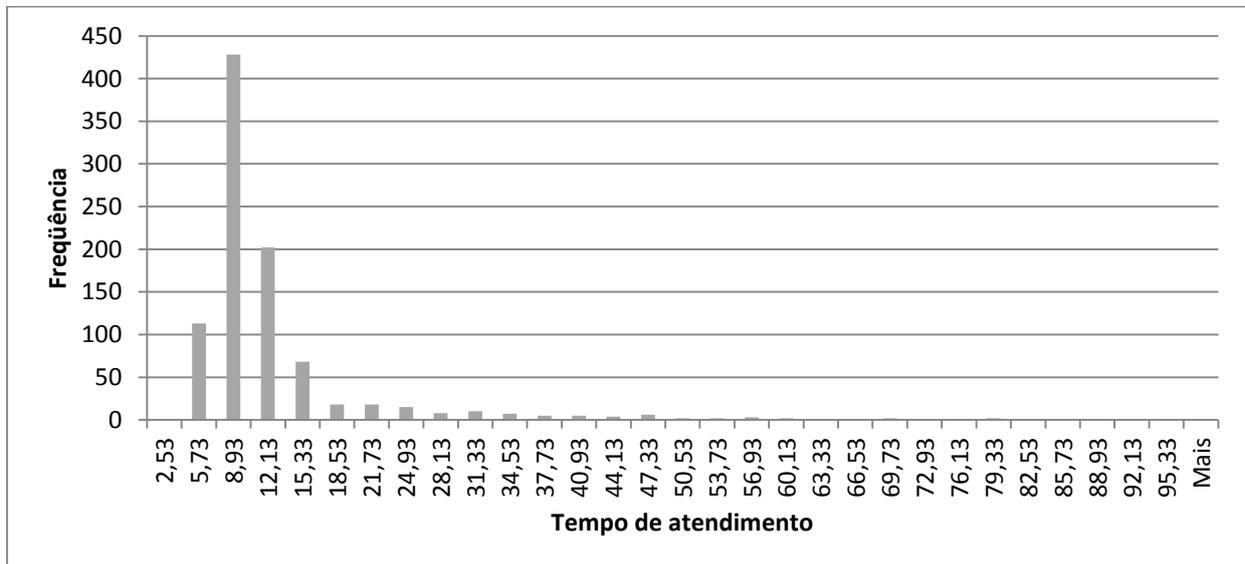


FIG. 5.14 – Histograma do tempo de atendimento do horário de pico 2

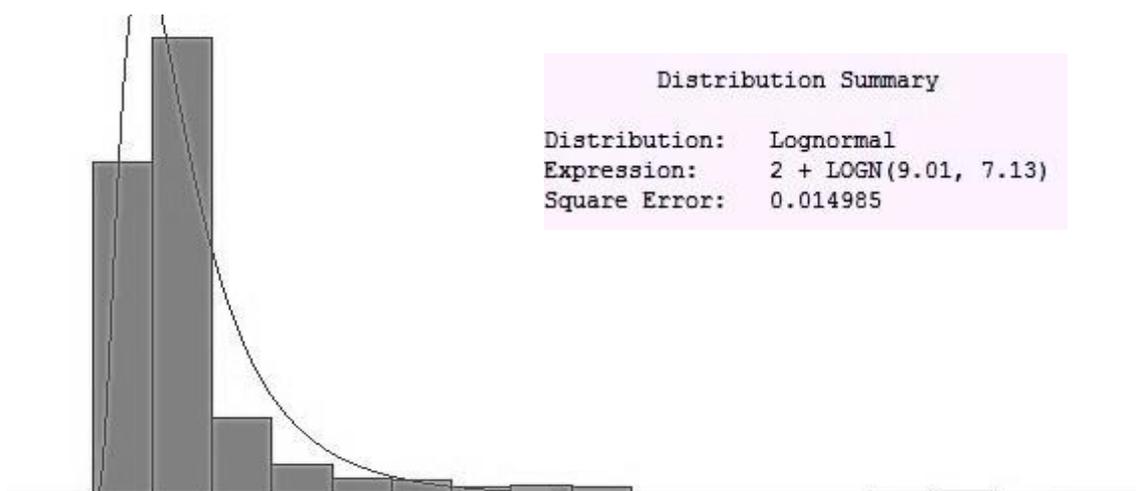


FIG. 5.15 – Curva do tempo de atendimento do horário de pico 2

Para o tempo de atendimento do segundo intervalo de tempo foram inseridos 1339 dados, tendo 2.53 como valor mínimo e 189 como valor máximo. A média simples encontrada foi de 11.8 e o desvio padrão de 12.7. Para o teste Qui-Quadrado obteve-se o número de intervalos de 7; 4 graus de liberdade, o teste estatístico de 225 e o p-valor correspondente < 0.005 . O teste Kolmogorov-Smirnov teve teste estatístico de 0.123 e p-valor correspondente < 0.01 .

A tabela 3 mostra os horários dos tempos de atendimento, suas distribuições de probabilidade (expressões) e erro quadrado correspondente:

TAB. 5.2: Expressões dos tempos de atendimento

HORÁRIOS	DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE	Nº DE PONTOS	ERRO QUADRÁTICO MÉDIO
05h37m às 07h59m	$3 + 158 * \text{BETA} (0.412 , 7.83)$	929	0.009639
08h às 15h59m	$2 + \text{LOGN} (10.1 , 8.84)$	2494	0.014265
16h às 19h59m	$2 + \text{LOGN} (9.01 , 7.13)$	1339	0.014985

Como se pode observar, dois dos três períodos de tempos analisados apresentaram expressões do tipo lognormal, porém com valores diferentes. A distribuição do tipo lognormal é bastante usada para expressar tempos de atendimento.

Nas seis distribuições de probabilidade geradas para o processo de chegada do tipo 2 verificou-se que o p-valor ficou abaixo do recomendado (o ideal é p-valor $> 0,1$). Porém, não

haveria justificativa para a retirada de determinados pontos que fogem à reta para ajuste da curva, pois assim a simulação não retrataria o que de fato ocorreu na prática, já que os dados históricos coletados foram reais. Decidiu-se então por desagregar os dados e verificar como eles se comportam sob o novo enfoque. Analisou-se todos os dias separadamente (segunda a sexta) do período de tempo coletado, os resultados estão nas tabelas 5.3 e 5.4:

TAB 5.3: Distribuições de probabilidade e p-valor dos intervalos de chegadas

DIA	HORÁRIO	Nº DE PONTOS	DISTRIBUIÇÃO	P-VALUE
SEG	PICO 1	181	0.5 + GAMM (1.68, 3.36)	0.483
SEG	ENTRE PICOS	555	0.5 + LOGN (6.49, 4.14)	0.0969
SEG	PICO 2	295	1.5 + GAMM (2.38, 2.11)	0.355
TER	PICO 1	160	0.5 + ERLA (1.39, 4)	0.088
TER	ENTRE PICOS	536	0.5 + GAMM (2.19, 3.08)	0.735
TER	PICO 2	301	0.5 + ERLA (1.99, 3)	0.072
QUA	PICO 1	184	0.5 + LOGN (5.73, 3.88)	<0,005
QUA	ENTRE PICOS	555	0.5 + GAMM (2.15, 2.98)	>0.75
QUA	PICO 2	286	0.5 + GAMM (1.9, 3.23)	0.219
QUI	PICO 1	171	0.5 + GAMM (1.31, 4.08)	<0.005
QUI	ENTRE PICOS	470	0.5 + LOGN (6.7, 4.42)	0.551
QUI	PICO 2	257	1.5 + WEIB (5.61, 1.57)	0.177
SEX	PICO 1	143	0.5 + GAMM (1.56, 3.47)	0.194
SEX	ENTRE PICOS	425	0.5 + ERLA (2.09, 3)	> 0.75
SEX	PICO 2	226	0.5 + GAMM (1.63, 3.62)	0.465

TAB 5.4: Distribuições de probabilidade e p-valor dos tempos de atendimento nas plataformas

DIA	HORÁRIO	Nº DE PONTOS	DISTRIBUIÇÃO	P-VALUE
SEG	PICO 1	197	3 + 158* BETA (0.303, 4.67)	< 0,005
SEG	ENTRE PICOS	549	2 + LOGN (10.4, 9.48)	< 0,005
SEG	PICO 2	290	3 + LOGN (8.05, 8.23)	< 0,005
TER	PICO 1	200	3 + 83 * BETA (0.364, 3.12)	< 0,005
TER	ENTRE PICOS	521	3 + LOGN (9.64, 11.3)	< 0,005

TER	PICO 2	288	$4 + 117 * \text{BETA} (0.291, 3.56)$	0.00817
QUA	PICO 1	204	$3 + 68 * \text{BETA} (0.427, 3.45)$	< 0,005
QUA	ENTRE PICOS	550	$3 + 182 * \text{BETA} (0.348, 6.05)$	< 0,005
QUA	PICO 2	280	$2 + 187 * \text{BETA} (0.303, 4.75)$	< 0,005
QUI	PICO 1	187	$3 + 72 * \text{BETA} (0.457, 4.62)$	< 0,005
QUI	ENTRE PICOS	466	$3 + 237 * \text{BETA} (0.188, 4.53)$	< 0,005
QUI	PICO 2	256	$2 + \text{LOGN} (8.02, 5.24)$	< 0,005
SEX	PICO 1	148	$4 + 66 * \text{BETA} (0.325, 3.59)$	< 0,005
SEX	ENTRE PICOS	408	$2 + 189 * \text{BETA} (0.33, 4.91)$	< 0,005
SEX	PICO 2	227	$2 + \text{LOGN} (8.12, 6)$	< 0,005

A partir das tabelas acima é possível perceber que a maioria das distribuições de probabilidade dos intervalos de chegadas aderiu, pois na maior parte delas o p-valor foi acima de 0,1; porém, nos tempos de atendimento nenhuma delas aderiu, continuando com o mesmo número baixo do p-valor de quando se analisa os dados de todos os dias selecionados juntos. Considerando essa falta de uniformidade dos resultados e o número baixo da amostra por dia, decidiu-se por adotar as distribuições geradas para todos os dias estudados, divididas nos três horários já citados. Assim, os valores adotados serão os que já foram mostrados nas tabelas 5.7.1 e 5.7.2.

É importante destacar que a falta de aderência das distribuições não foi decorrente do número da amostra coletada, pois as mesmas apresentaram muitos pontos, conforme foram mostrados nas tabelas 5.7.1 e 5.7.2, mas das características do processo. Há bastante aleatoriedade nos dados, o que dificulta que elas possuam um p-valor considerado alto. Desta forma, a adoção das equações geradas pelo *input analyzer* do *software* Arena irão refletir a realidade observada no terminal objeto de estudo.

5.7 DEFINIÇÃO DOS ÍNDICES OPERACIONAIS

Este trabalho tem como foco o ponto de vista do operador. Os resultados gerados pelo *software* Arena quantificaram os índices operacionais que foram determinados no capítulo 3, tópico 3.8.

Os índices operacionais determinados e suas respectivas extrações de valores do modelo são os seguintes:

- Tempo ocioso do sinal do pátio – “*Hold para PA*”, “*Hold para PB*”, “*Hold para PC*”;
- Tempo total de espera dos trens de cada origem no sinal do pátio – soma dos valores dos módulos “*Hold para PA*”, “*Hold para PB*”, “*Hold para PC*”;
- Tempo médio de espera no sinal do pátio por trem de cada origem – média da soma dos valores dos módulos “*Hold para PA*”, “*Hold para PB*”, “*Hold para PC*”;
- Tempo ocioso das plataformas – “*Hold PA*” e “*Hold PB*”;
- Número de trens que chegam, por origem – “*trens_gerados*”;
- Frequência acumulada dos tempos de atendimento – soma dos tempos de atendimento, em que os valores são gerados pelos módulos “*Embarque e desembarque na PA*” e “*Embarque e desembarque na PB*”;
- Média dos tempos de atendimento por origem – média da soma dos tempos de atendimento, em que os valores são gerados pelos módulos “*Embarque e desembarque na PA*” e “*Embarque e desembarque na PB*”;
- Desvio padrão dos tempos de atendimento por origem – dado extraído a partir dos dados históricos e das filmagens, o recurso *Input Analyzer* determina esse valor;

Alguns gráficos específicos são gerados como saída da simulação, são eles: utilização de todos os recursos (arcos e plataformas), tempo acumulado de atendimento nas plataformas, quantidade de trens atendidos por plataforma e trens gerados.

5.8 DESENVOLVIMENTO, VERIFICAÇÃO E TESTE DO MODELO DE SIMULAÇÃO

Como explicitado no capítulo 3, tópico 3.9, para a formulação do modelo de simulação foi adotada a metodologia proposta por CHWIF (1999) *apud* CHWIF E MEDINA (2006), composta das seguintes etapas:

1. **Objetivo e definição do sistema** - identificar quais aspectos operacionais influenciam no nível de serviço, levando em consideração que a correta operação dos trens é crucial para que o sistema funcione de acordo com as previsões e atenda aos anseios dos passageiros; ou seja, o modelo desenvolvido deve ser capaz de analisar adequadamente a operação

ferroviária, para que assim as ações apropriadas possam ser determinadas e, posteriormente, executadas. O sistema em estudo é a operação ferroviária executada dentro do pátio de uma estação terminal, que inclui sua entrada no sistema, sua rota até a plataforma, o processo de embarque e desembarque de passageiros e sua rota da plataforma até a saída do terminal;

2. **Modelo abstrato** – nessa etapa decidiu-se por utilizar a simulação computacional, fazendo uso o *software* Arena.
3. **Dados de entrada** – foram definidos a partir da revisão de literatura;
4. **Modelo conceitual** – teve como base o trabalho desenvolvido por Fioroni (2008) para malhas ferroviárias, em que o mesmo foi adaptado para trens de passageiros;
5. **Modelo computacional** – desenvolvido no *software* Arena; a partir do modelo genérico foram feitas as adaptações para o caso específico que está sendo estudado;
6. **Modelo operacional** – o modelo desenvolvido opera da seguinte forma: geração de trens, avanço das composições, permanência na plataforma, seções de bloqueio, ida para desvio, saída da plataforma e saída do pátio (sistema);
7. **Resultados experimentais** – os resultados são gerados a partir do histórico de dados e da criação de cenários.

Dentre as técnicas de validação e verificação (neste caso fez-se um teste) citadas por CHWIF E MEDINA (2006), foram utilizadas 5 delas:

- **Implementação modular/verificação modular:** o modelo foi sendo construído por partes, e testado à medida que a etapa era concluída; após ser testado, passava-se para a etapa seguinte;
- **Animação gráfica:** no *software* Arena muitos erros só são identificados a partir da animação gráfica, em que é possível visualizar o comportamento da entidade dentro do sistema; identificado o erro, mexe-se na lógica para tentar corrigi-lo; as imagens fornecidas através das filmagens também contribuíram para validar o modelo;
- **Revisão em grupo:** alunos da turma de mestrado da pesquisadora que entendem bem o funcionamento do *software* foram apresentados ao sistema e contribuíram para a validação do modelo, através de dicas e críticas ao mesmo;
- **Análise de sensibilidade:** os parâmetros críticos do sistema são as filas para entrar na estação terminal e para sair das plataformas A e B, assim foi possível verificar quais falhas estavam ocorrendo e as condições de funcionamento do modelo;

- **Validação “face a face”:** em uma das reuniões, algumas dúvidas sobre o modelo foram sanadas com o engenheiro da operação e com um supervisor do C.C.O da empresa.

Com o objetivo de calcular o número ideal de replicações do modelo de simulação, foi rodada uma amostra piloto com 10 replicações para o primeiro horário analisado (primeiro horário de pico – das 05h37m às 07h59m). Considerando o tempo de atendimento nas plataformas A e B como o índice operacional mais importante, pegou-se a média desses tempos em todas as rodadas. A tabela 04 mostra os valores calculados:

TAB. 5.5: Média dos tempos de atendimento por número de replicações

Número de replicações	Plataforma A	Plataforma B
1	10.6801	5.4111
2	10.2330	8.1625
3	8.9845	8.6074
4	9.3424	7.8211
5	8.9334	10.6991
6	9.7131	9.9479
7	9.3626	9.5727
8	9.1108	9.3107
9	10.4836	9.2793
10	10.6556	9.9887
Média	9.7499	8.8801
Desvio padrão amostral	0.7020	1.4999

A partir dos valores mostrados na tabela, obtêm-se alguns dados, como: a média de atendimento das plataformas foi de 9.3150 minutos; o desvio padrão de 1.101 minutos; e, adotando um intervalo de confiança de 95%, temos $t = 2,262$ e $h = 0,7876$. Logo, o intervalo de confiança é [8.5274;10.1025], valores que foram respeitados a partir de quando se realiza 5 replicações. Assim, esse número de replicações (5) será o adotado para análise da operação atual e para as rodadas com os cenários construídos. Esse valor condiz também com a quantidade de dias úteis na semana (segunda a sexta). O resultado da simulação será apresentado no próximo tópico.

Devido à limitação da versão estudante do *software*, fez-se necessário rodar separadamente cada um dos horários. O número máximo de entidades de entrada foi

determinado a partir da média de trens em operação no intervalo de tempo obtida através do histórico de dados.

5.9 ANÁLISE DA OPERAÇÃO ATUAL

Como dito anteriormente, para a análise da operação atual considerou-se dois tipos de processo de chegada (programada e realizada). Neste tópico será explicitado e comentado o resultado das rodadas, para que assim se chegue a um julgamento sobre a operação ferroviária na estação terminal Central do Brasil.

A primeira rodada de simulação foi com a programação, com os intervalos entre chegadas de trens pré-estabelecidos e tempo de atendimento fixo de 6 minutos. O dia selecionado foi 19 de maio. Foi considerado o primeiro horário de pico do dia (das 05h37m às 07h59m). A porcentagem de trens avariados (estacionamento nas plataformas C e D) foi de 7%, valor determinado através do histórico de dados. Cada plataforma tem capacidade para atender 2 trens simultaneamente, e cada trem que circula nesse ramal é composto de 4 carros.

Destaca-se que há dois índices operacionais fundamentais para a garantia da boa operacionalização ferroviária nos terminais, que são os tempos de atendimento nas plataformas e os tempos de espera dos trens para entrar e para sair das plataformas (seções de bloqueio). Porém, para todas as rodadas os tempos de atendimento das plataformas C e D serão desprezíveis por não haver embarque de passageiros, fato que o tempo de permanência do trem na estação não afeta o nível de serviço da mesma. Assim, o valor adotado foi uma distribuição TRIA (3,4,5). O mesmo critério teve-se para os desvios, e a distribuição utilizada foi UNIFORM (10,120). Todas as unidades são em minutos. Essa primeira rodada teve 5 replicações de 142 minutos cada.

A partir do relatório gerado, obteve-se que o número médio de trens que completaram o ciclo (saíram do sistema) foi de 24. Considerando um nível de conforto de 6 passageiros/m², o trem composto por 4 carros transporta uma média de 1200 passageiros; assim, teve-se uma média de 28.800 usuários atendidos no horário de pico da manhã, aproximadamente 12.152 passageiros por hora. A taxa de utilização da plataforma A foi de 34,71% e da plataforma B de 34,21%.

Os demais dados extraídos do relatório encontram-se na tabela 5.6, em que os tempos encontram-se em minutos:

TAB. 5.6: Dados de saída da simulação do processo de chegada do tipo 1 (programado)

	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
Tempo de ciclo	10.0340	18.4441	95.3596
Tempo acumulado PA	66	73.2	78
Tempo acumulado PB	66	70.8	78
Fila – entrada no pátio	0	0.0121	1.5760
Fila – entrada PA	0	0.2011	5.9760
Fila – entrada PB	0	0.1837	3.3553
Fila – entrada PC	0	0.0184	0.2756
Fila – saída PA (1ª parte)	0	0.6909	17.3460
Fila – saída PA (2ª parte)	0	0.1188	0.5960
Fila – saída PB (1ª parte)	0	1.1463	23.5513
Fila – saída PB (2ª parte)	0	0.1368	2.7360
Nº de trens em fila na entrada do sistema	0	0.0022	1

Como é possível observar, as filas tiveram valores baixos. Uma informação importante é que os tempos de filas para saída das plataformas são somados ao tempo de atendimento, ou seja, o então valor passa a ser o tempo total de permanência do trem na plataforma.

Os tempos de fila para saída das plataformas são considerados baixos quando se observa apenas a segunda parte das plataformas, que tem maior influência no tempo de espera dos usuários.

Assim, a partir desses dados é possível analisar que o bom fluxo que seria realizado caso a programação fosse realmente cumprida, pois os indicadores operacionais apresentaram valores baixos.

Os gráficos representados pelas figuras 5.15 e 5.16 mostram alguns desses dados:

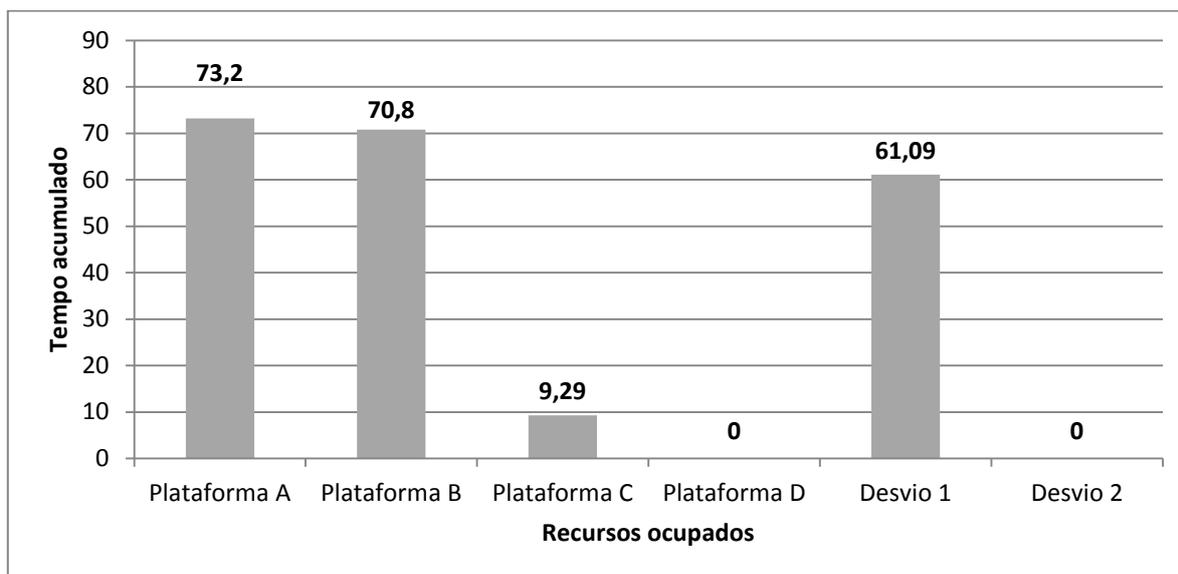


FIG. 5.16: Tempo médio de atendimento acumulado das plataformas e dos desvios no horário de pico 1 – processo de chegada tipo 1

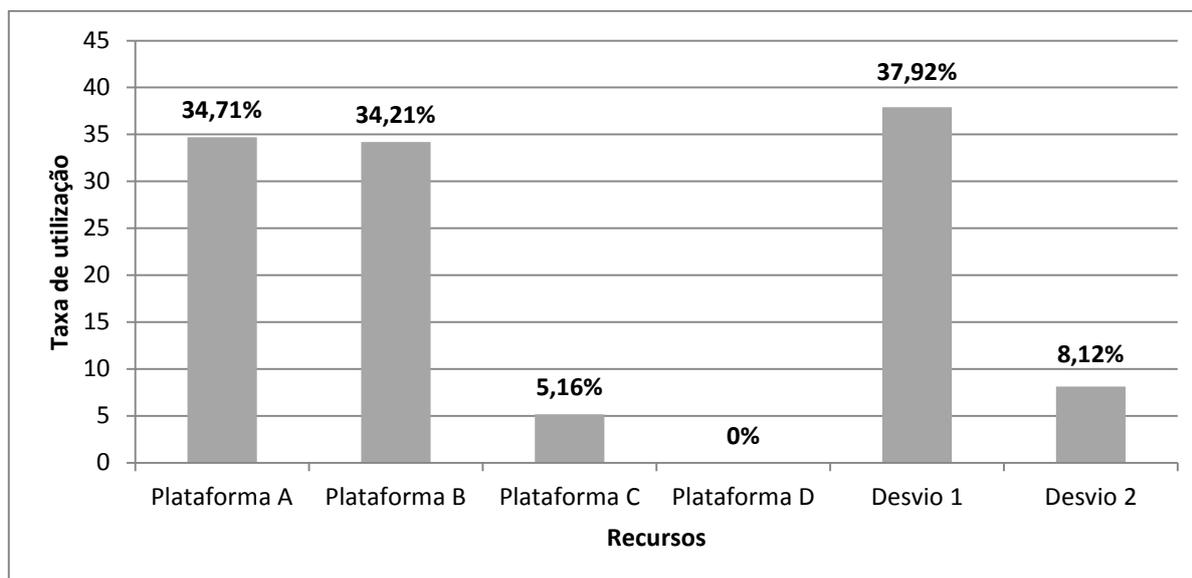


FIG. 5.17: taxa média de utilização das plataformas e dos desvios no horário de pico 1 – processo de chegada tipo 1

Como explicado no tópico anterior, há o processo de chegada do tipo 2, em que houve a execução de três rodadas, referente aos dois horários de pico e ao horário entre picos. Primeiramente será apresentada uma análise separada de cada uma das rodadas e, logo em

seguida, uma tabela comparativa será apresentada com os principais índices operacionais. O valor adotado da distribuição de probabilidade para as plataformas C e D também foi uma TRIA (3,4,5). Para os desvios a distribuição utilizada foi UNIFORM (10,120). Todas as unidades são em minutos.

A primeira rodada do processo de chegada tipo 2, referente ao pico da manhã (das 05h37m às 07h59m), teve 5 replicações de 150 minutos cada. O número máximo de trens gerados foi de 24 entidades, determinado pela média calculada para esse intervalo de tempo a partir do histórico de dados. Após a simulação, teve-se como mínimo, médio e máximo valor de trens gerados de 16, 22.2 e 24, respectivamente. Não houve utilização da plataforma D e do desvio 2, e isso aconteceu pela pequena quantidade de trens gerados. O número de trens avariados que entraram no sistema foi mínimo de 1, médio de 1.8 e máximo de 3 unidades por replicação.

Para essa simulação obteve-se uma média de 20 entidades (trens) atendidas completamente, ou seja, que saíram do sistema durante o período de tempo simulado. Considerando um nível de conforto de 6 passageiros/m², o trem composto por 4 carros transporta uma média de 1200 passageiros; assim, teve-se uma média de 24.000 usuários atendidos no horário de pico da manhã, ou seja, 9.600 passageiros por hora.

TAB. 5.7: Dados de saída da simulação do processo de chegada do tipo 2 – Pico 1

	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
Tempo de ciclo	6.9426	24.7920	139.78
Tempo de atendimento - PA	3.0326	8.9334	32.9458
Tempo de atendimento - PB	3.0006	10.6991	53.4992
Tempo acumulado PA	58.3807	95.1868	117.48
Tempo acumulado PB	48.6898	96.3060	133.27
Fila – entrada no pátio	0	4.1614	51.0816
Fila – entrada PA	0	1.1269	15.9305
Fila – entrada PB	0	3.1050	46.5433
Fila – entrada PC	0	0.3644	1.2992

Fila – saída PA (1ª parte)	0	8.9606	65.3298
Fila – saída PA (2ª parte)	0	2.0100	19.1390
Fila – saída PB (1ª parte)	0	6.1426	49.4172
Fila – saída PB (2ª parte)	0	0.4827	5.1585
Nº de trens em fila na entrada do sistema	0	0.7769	8

Esse altos valores do tempo de fila para sair dos primeiros espaços existentes nas plataformas, em que só há a liberação do trem se não houver nenhum outro na entrada do pátio e na segunda parte da mesma, pois os que estão chegando têm prioridade de ingresso no sistema, justifica a alta taxa de utilização das plataformas, em que na plataforma A foi de 60,04% e na plataforma B de 56,83%. O alto tempo para saída da segunda parte das plataformas pode ser considerado um gargalo do sistema, pois atrasa a programação de partida de trens.

Esses resultados mostraram que desde o início do dia a operação do terminal já apresenta gargalo, o que, provavelmente, se prolongue no decorrer do dia.

Seguem dois dos gráficos que permitem visualizar os resultados obtidos:

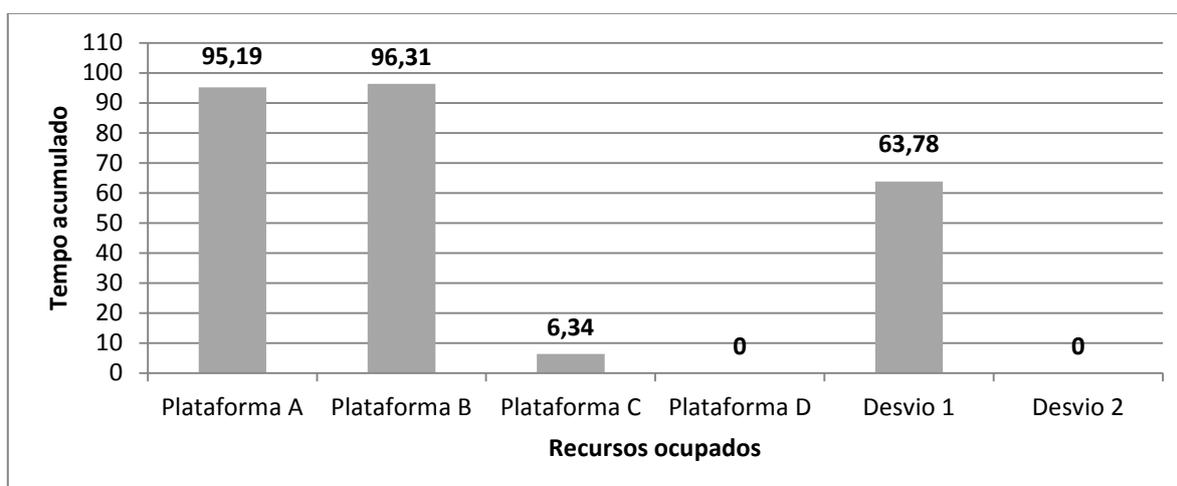


FIG. 5.18: Tempo médio de atendimento acumulado das plataformas e dos desvios no horário de pico 1

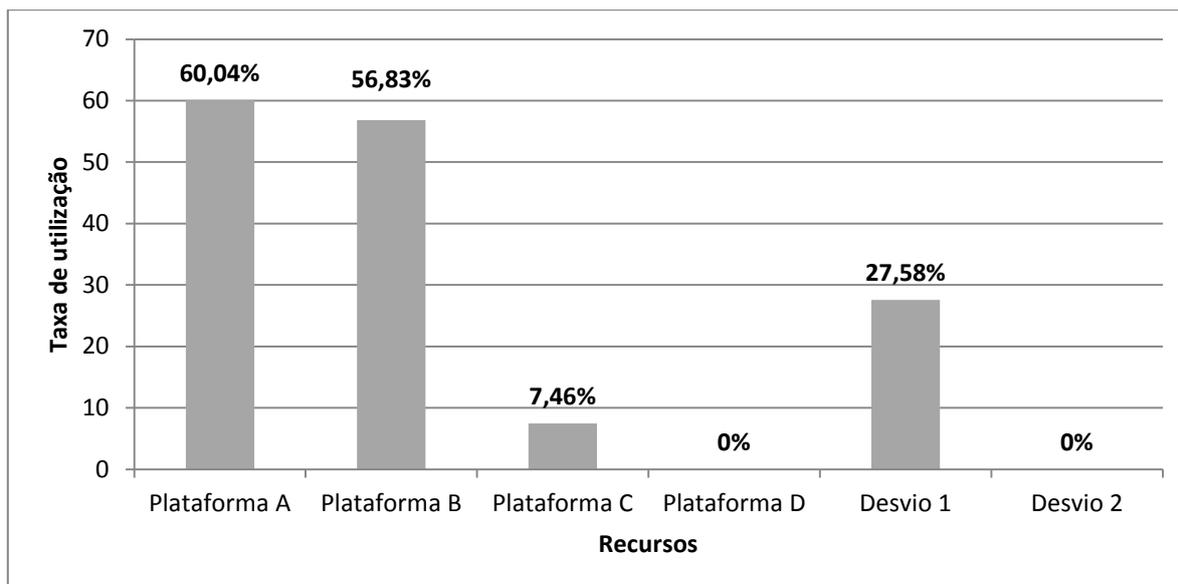


FIG. 5.19: Taxa média de utilização das plataformas e dos desvios no horário de pico 1

A segunda rodada, referente ao horário entre picos (das 08h às 15h59m), teve 5 replicações de 480 minutos cada. O número máximo de trens gerados foi de 67 entidades. Após a simulação, teve-se como mínimo, médio e máximo valor de trens gerados de 58, 62.2 e 67 minutos, respectivamente. O número de trens avariados que entraram no sistema foi mínimo de 2, médio de 4.4 e máximo de 8 unidades por replicação.

Para essa simulação obteve-se uma média de 57 entidades (trens) atendidas completamente, ou seja, que saíram do sistema durante o período de tempo simulado. Assim, teve-se uma média de 68.400 usuários atendidos no horário entre picos, ou seja, 8.550 passageiros por hora. Esse valor apresentou queda significativa em relação à rodada anterior. A taxa de utilização da plataforma A foi de 67,33% e da plataforma B de 68,07%.

TAB. 5.8: Dados de saída da simulação do processo de chegada do tipo 2 – Entre Picos

	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
Tempo de ciclo	7.1176	37.1530	215.60
Tempo de atendimento - PA	2.9933	10.7408	56.9898
Tempo de atendimento - PB	3.0648	11.7076	76.6090
Tempo acumulado PA	292.66	324.80	382.56

Tempo acumulado PB	278.26	342.21	408.76
Fila – entrada no pátio	0	10.3372	71.4736
Fila – entrada PA	0	2.3921	28.5351
Fila – entrada PB	0	4.1716	65.3614
Fila – entrada PC	0	0.3648	0.8600
Fila – entrada PD	0	0.1696	0.8490
Fila – saída PA (1ª parte)	0	8.4220	81.0754
Fila – saída PA (2ª parte)	0	2.4127	37.1478
Fila – saída PB (1ª parte)	0	9.1010	126.72
Fila – saída PB (2ª parte)	0	0.8034	19.4831
Nº de trens em fila na entrada do sistema	0	1.5946	11

A partir dos dados descritos na tabela 5.8 que se têm os dados gerados pelo relatório, é possível perceber que à medida que se aumenta o tempo de simulação e, conseqüentemente, o número de trens no sistema, o tempo de fila eleva-se consideravelmente, demonstrando que o sistema está saturado para a demanda que ele recebe.

Isso acarretou um menor número de passageiros transportados por hora, que no total de horas simuladas representou uma perda de 8.400 passageiros em relação à rodada anterior, o equivalente a 7 composições de 4 carros.

Seguem dois dos gráficos gerados a partir dos resultados:

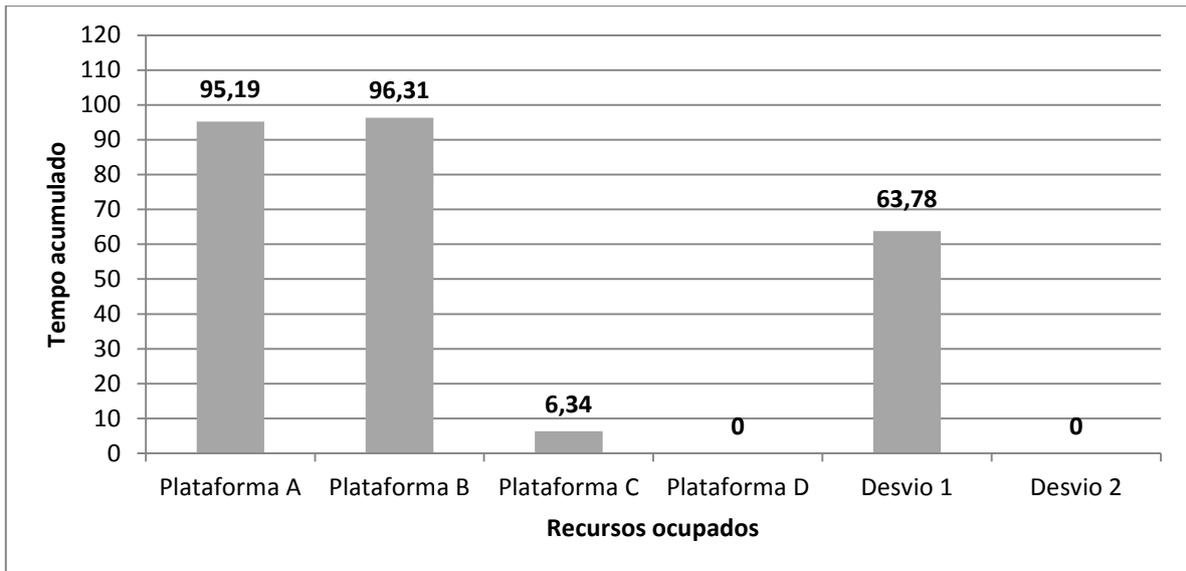


FIG. 5.20: Tempo médio de atendimento acumulado das plataformas e dos desvios no horário entre picos

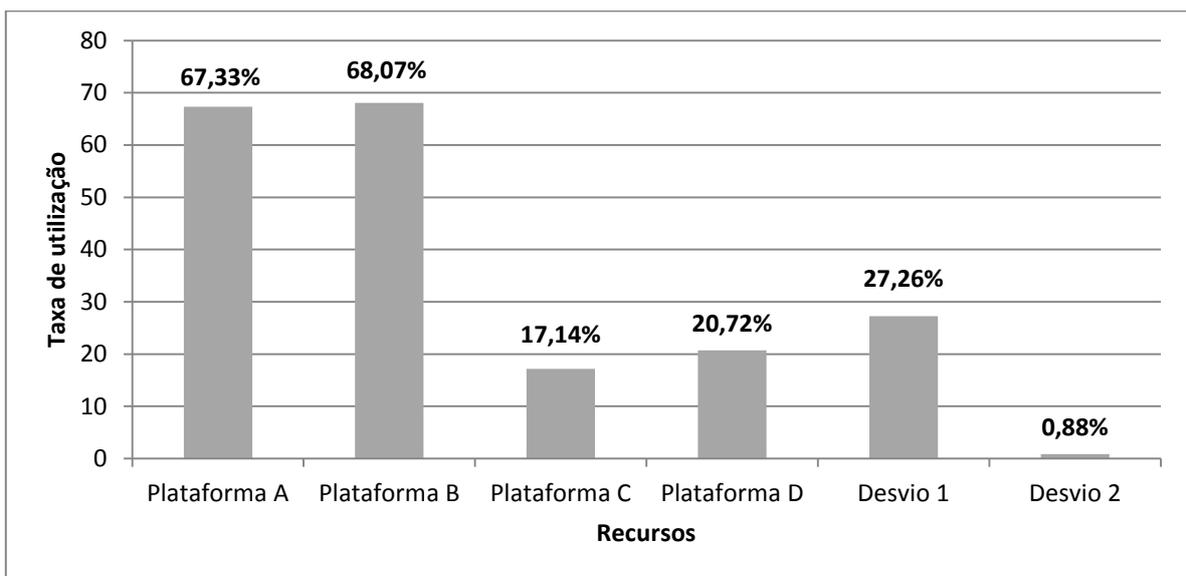


FIG. 5.21: Taxa média de utilização das plataformas e dos desvios no horário entre picos

A terceira e última rodada, referente ao pico da tarde/noite (das 16h às 19h59m), teve 5 replicações de 240 minutos cada. O número máximo de trens gerados foi de 37 entidades. Após a simulação, teve-se como mínimo, médio e máximo valor de trens gerados de 30, 34.4 e 37, respectivamente. O número de trens avariados que entraram no sistema foi mínimo de 1, médio de 2.6 e máximo de 4 unidades por replicação.

Para essa simulação obteve-se uma média de 29 entidades (trens) atendidas completamente, ou seja, que saíram do sistema durante o período de tempo simulado. Assim, teve-se uma média de 34.800 usuários atendidos horário de pico da tarde/noite, o que equivale a 8.700 passageiros por hora.

A tabela 5.9 mostra os demais dados de saída dessa rodada de simulação:

TAB. 5.9: Dados de saída da simulação do processo de chegada do tipo 2 – Pico 2

	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
Tempo de ciclo	7.4628	25.3692	174.11
Tempo de atendimento - PA	3.0765	10.1501	46.0383
Tempo de atendimento - PB	3.4622	10.4512	27.5946
Tempo acumulado PA	141.14	159.96	221.29
Tempo acumulado PB	129.63	158.04	177.45
Fila – entrada no pátio	0	3.6342	44.8814
Fila – entrada PA	0	1.8982	27.8862
Fila – entrada PB	0	2.7663	25.5386
Fila – entrada PC	0	0.2544	0.8480
Fila – saída PA (1ª parte)	0	5.2595	31.8704
Fila – saída PA (2ª parte)	0	1.9474	21.7206
Fila – saída PB (1ª parte)	0	5.5249	62.9052
Fila – saída PB (2ª parte)	0	0.7842	15.4786
Nº de trens em fila na entrada do sistema	0	0.6184	8

Neste período de tempo também se percebe um alto tempo de permanência dos trens na plataforma, ocasionando uma alta taxa média de utilização das plataformas, em que na plataforma A foi de 63,87% e na plataforma B de 62,55%.

Abaixo seguem dois gráficos gerados a partir desses resultados (figuras 5.21 e 5.22):

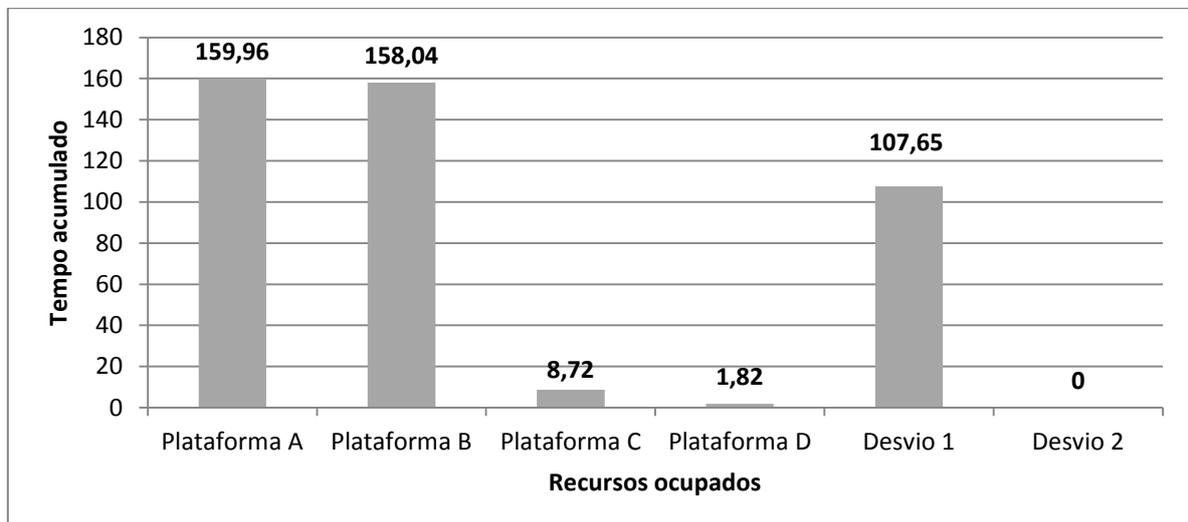


FIG. 5.22: Tempo médio de atendimento acumulado das plataformas e dos desvios no horário de pico 2

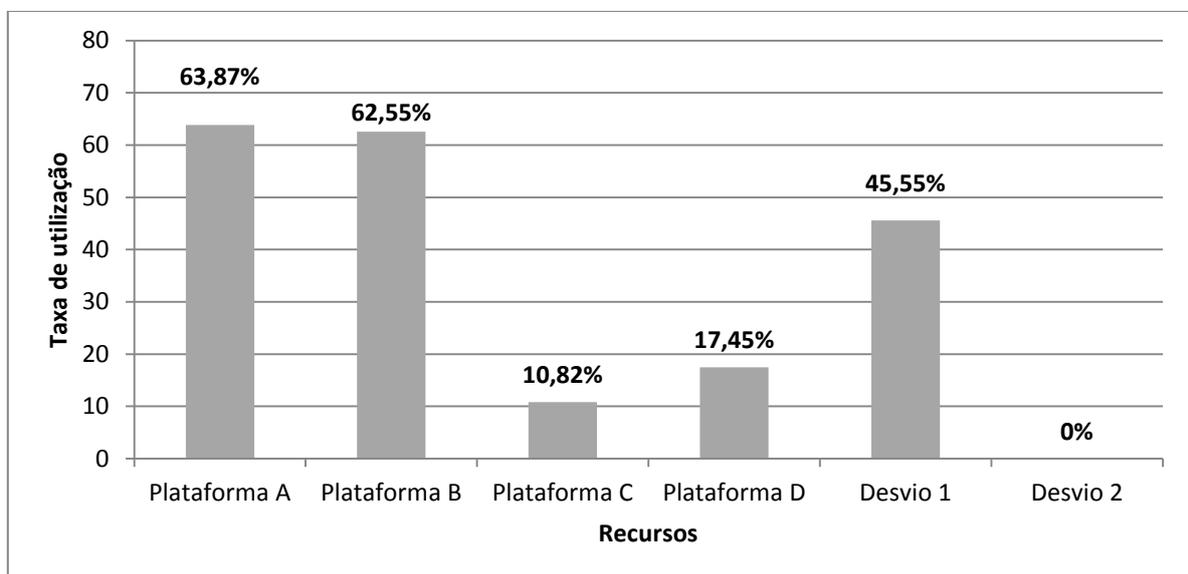


FIG. 5.23: Taxa média de utilização das plataformas e dos desvios no horário de pico 2

Em todas as rodadas de simulação até então realizadas, verificou-se que 3 segmentos estão com alta taxa de utilização, pois a composições passam por eles na chegada e na saída

das plataformas. Esses segmentos vão do ponto 23A a 15, conforme pode ser visualizado na figura 5.1 (em destaque). Em todas as rodadas essa porcentagem foi acima de 30%, valor bem acima dos demais segmentos que compõem o pátio, neste ramal estudado. A continuidade dessa característica da operação poderá reduzir a vida útil desta parte do trecho que compõe a rota dos trens paradores dentro do pátio da estação terminal. Porém, a solução para esse problema seria modificações na infraestrutura do terminal, mas neste trabalho tem-se o foco de modificar apenas a forma de operar, buscando melhorar a qualidade da operação com os recursos existentes. Desta forma, ela se dará a partir da análise e alteração de índices que já foram trabalhados.

Assim, tem-se na tabela 5.6 um comparativo das três rodadas, considerando a média dos principais índices operacionais que devem ser analisados.

TAB. 5.10: Dados da operação atual da estação terminal (em minutos)

	Pico da manhã	Entre picos	Pico da tarde/noite
Atendimento PA	8.9334	10.7408	10.1501
Atendimento PB	10.6991	11.7076	10.4512
Fila - Entrada	4.1614	10.3373	3.6342
Fila – Entrada PA	1.1269	2.3921	1.8982
Fila – Entrada PB	3.1050	4.1716	2.7663
Fila – Saída 2 PA	2.0100	2.4127	1.9474
Fila – Saída 2 PB	0.4827	0.8034	0.7842
Tx Utilização – PA	60,04%	67,33%	63,87%
Tx Utilização - PB	56,83%	68,07%	62,55%
Passageiros/hora	12.614	8.550	8.700

A tabela 5.10 mostra que os três horários estudados apresentam fila na entrada e na saída das plataformas. A alta taxa de utilização das mesmas se justifica pelo fato da primeira parte estar sempre ocupada devido ao elevado número de trens que chegam ao sistema e que precisam ocupar a segunda parte das mesmas, já que estão com usuários que estão chegando à estação terminal. São três situações com comportamentos semelhantes, ou seja, há uma grande demanda de trens para a estação terminal em estudo. Desta forma, os dois tipos de dados coletados que foram extraídos do histórico de dados – intervalo entre chegadas e tempo de atendimento nas plataformas – sofrerão modificações nas suas distribuições de

probabilidade para a construção dos cenários. Com isso, busca-se verificar, através da simulação, se a alteração dos mesmos solucionará os gargalos encontrados no sistema a partir da análise da operação atual.

Para efeito de análise, os cenários construídos serão simulados considerando o horário de pico do turno da manhã, que além de ter comportamento semelhante aos dois outros horários, ele sendo bem executado garante maior chance de boa operacionalidade no decorrer do dia.

5.10 CRIAÇÃO DE CENÁRIOS

Como mencionado no tópico anterior, o intervalo entre chegadas e os tempos de atendimento nas plataformas foram os índices operacionais que sofreram alterações para a construção dos cenários a serem simulados.

Para verificar até que ponto eles podem ser alterados, fez-se a relação do menor e do maior valor em cada um dos horários, conforme pode ser verificado na tabela 5.11:

TAB. 5.11: Intervalos de valores dos índices operacionais selecionados para análise

ATENDIMENTO	MENOR VALOR	MAIOR VALOR	INTERVALO DE CHEGADAS	MENOR VALOR	MAIOR VALOR
PICO 1	3	161	PICO 1	1	22
ENTRE PICOS	2.4	240	ENTRE PICOS	1	35
PICO 2	2.53	189	PICO 2	1	29

Como pode ser observado, é uma variação considerável. No entanto, esses valores máximos não são algo rotineiro, sendo decorrentes de eventos atípicos, o que faz com que a variação, de fato, seja menor. Os valores mínimos também não são algo comum, pois vai de encontro com algumas regras operacionais, ou seja, de maneira geral os valores mínimos mais frequentes são maiores que os apresentados na tabela 5.11. Desta forma, decidiu-se por variar as distribuições de probabilidade geradas no recurso *Input Analyzer* em até 60%, o que já significa uma grande mudança na forma de operar. No entanto, isso pode variar de acordo com as características do sistema em estudo.

Essas modificações permitiram a criação de 16 cenários, conforme mostrado na tabela 5.12:

TAB. 5.12: Cenários construídos

	100% I	80% I	60% I	40% I
100% T	Cenário 1	Cenário 5	Cenário 9	Cenário 13
80% T	Cenário 2	Cenário 6	Cenário 10	Cenário 14
60% T	Cenário 3	Cenário 7	Cenário 11	Cenário 15
40% T	Cenário 4	Cenário 8	Cenário 12	Cenário 16

Onde I representa a distribuição de probabilidade do intervalo entre chegadas ($0.5 + \text{GAMM}(1.61, 3.42)$) e T representa a distribuição de probabilidade do tempo de atendimento ($3 + 158 * \text{BETA}(0.412, 7.83)$).

Foram formuladas 10 tabelas com os índices considerados primordiais para a avaliação da operação, foram eles: quantidade de trens atendidos (que saíram do sistema), tempo médio de fila para entrada no pátio, para entrada na plataforma A, para entrada na plataforma B, para entrada na plataforma C, para entrada na plataforma D, para saída da plataforma A e para saída da plataforma B, quantidade média de trens para entrada no pátio e quantidade máxima para entrada no pátio.

Abaixo seguem as tabelas e os comentários sobre os dados de saída para cada índice operacional:

TAB. 5.13: Quantidade de trens atendidos (saíram do sistema)

	Intervalo de Chegada			
Atendimento	100%	80%	60%	40%
100%	20	17	17	16
80%	18	18	20	17
60%	23	21	22	21
40%	23	23	23	23

Esta primeira tabela afirma que o tempo de atendimento é responsável direto pelo aumento de trens atendidos: reduzindo esse índice em 40%, ou seja, multiplicando sua distribuição de probabilidade por 60%, essa quantidade de trens é a mesma que se diminuir a

taxa de chegada e o tempo de atendimento em 60%. Assim, o cenário ideal para o número máximo de trens atendidos é 100% I x 60% T. Sobre a capacidade do terminal, o pior cenário é o 40% I x 100% T, em que apenas 16 trens completariam todo o ciclo, que corresponde a 7.680 passageiros/hora. Cinco cenários (100% I x 60% T, 100% I x 40% T, 80% I x 40% T, 60% I x 40% T e 40% I x 40% T) trouxeram o resultado mais satisfatório, em que 23 trens completaram o trem, correspondendo a 11.040 passageiros/hora embarcando no terminal.

TAB. 5.14 Tempo médio de fila para entrada no pátio (em minutos)

	Intervalo de Chegada			
Atendimento	100%	80%	60%	40%
100%	4.16	12.74	18.42	32.36
80%	3.34	6.26	11.52	29.38
60%	0.22	3.15	7.76	18.68
40%	0.001	0.52	2.31	12.62

O tempo de fila para entrada no pátio da estação é o principal índice do ponto de vista da satisfação do usuário, pois ele está chegando ao seu destino e não deseja esperar para que isso se concretize. Nesse sentido, o melhor cenário para esse critério é o 100% I x 40% T; porém, o cenário 100 I x 60% T e o 80% I x 40% T também são satisfatórios. Considerando o menor esforço para mudança na operação do sistema, o que melhor se ajusta é o cenário 100% I x 60% T. Como pior cenário tem-se 40% I x 100% T, o que mostra que caso haja redução da distribuição de probabilidade do intervalo de chegada, se o tempo de atendimento permanecer o mesmo haverá um alto tempo de espera para entrada da composição no terminal.

TAB. 5.15: Tempo médio de fila para entrada na plataforma A (em minutos)

	Intervalo de Chegada			
Atendimento	100%	80%	60%	40%
100%	1.12	3.41	4.69	7.14
80%	1.10	1.27	3.46	5.15
60%	0.78	1.61	2.09	4.36
40%	0.21	0.99	1.14	2.11

O tempo de fila para entrar nas plataformas é somado com o tempo de fila para entrada no pátio, o que aumenta a necessidade dele possuir um tempo reduzido ao máximo. Nesse contexto, três cenários trazem um tempo de fila menor que um minuto (100% I x 60% T, 100% I x 40% T e 80% I x 40% T), sendo o melhor deles o que tem a característica de 100% I x 40% T. Isso confirma que a redução no tempo de atendimento reflete em outros aspectos do sistema. Como a pior situação para esse índice operacional, repetiu-se o cenário da tabela anterior – 40% I x 100% T.

TAB. 5.16: Tempo médio de fila para entrada na plataforma B (em minutos)

	Intervalo de Chegada			
Atendimento	100%	80%	60%	40%
100%	3.10	4.75	5.28	4.54
80%	2.17	4.13	4.19	5.44
60%	0.33	2.25	2.96	3.42
40%	0.13	0.29	1.81	4.35

Para entrada na plataforma B os cenários que apresentam melhor desempenho são os mesmos identificados na tabela anterior, sendo o melhor deles o que tem a característica de 100% I x 40% T, seguido do cenário 80% I x 60% T, mas que tem resultado praticamente igual ao cenário 100% I x 60% T, que requereria ajuste em apenas um índice operacional. Como piores resultados tem-se o 40% I x 80% T e 60% I x 100% T, respectivamente.

TAB. 5.17: Tempo médio de fila para entrada na plataforma C (em minutos)

	Intervalo de Chegada			
Atendimento	100%	80%	60%	40%
100%	0.36	0.38	0.70	0.76
80%	0.41	0.29	0.66	0.76
60%	0.09	0.41	0.43	0.76
40%	0.24	0.29	0.58	0.76

Para a entrada na plataforma C os tempos de fila foram todos abaixo de 1 minuto, o que afirma que o sistema não precisaria ser modificado. Mas o que se destaca é o cenário 100% I

x 60% T, tido como o melhor deles. Todos os cenários em que a distribuição de probabilidade do intervalo de chegada teve redução de 60% foram considerados os piores resultados, porém ainda com valor considerado baixo, pois é inferior a 1 minuto.

TAB. 5.18: Tempo médio de fila para entrada na plataforma D (em minutos)

	Intervalo de Chegada			
Atendimento	100%	80%	60%	40%
100%	---	0.34	0.34	0.17
80%	---	0.17	0.17	0.17
60%	---	0.17	0.34	0.17
40%	---	---	0.17	0.34

O tempo de fila para entrada na plataforma D também tem bom desempenho em todos os cenários. Porém em alguns deles não há existência de fila pelo fato da plataforma não ter sido ocupada em nenhum momento da simulação, são eles: 100% I x 100% T, 100% I x 80% T, 100% I x 60% T, 100% I x 40% T e 80% I x 40% T. Assim, dentre os cenários em que houve registro de utilização da plataforma D, houve apenas dois resultados: 0.17 e 0.34 minutos. Como maiores valores tiveram-se os seguintes cenários: 80% I x 100% T, 60% I x 100% T, 60% I x 60% T e 40% I x 40% T. O restante teve o resultado mais satisfatório, sendo o 80% I x 80% T como o melhor dele por necessitar de menor alteração na operação atual em relação aos outros.

TAB. 5.19: Tempo médio de fila para saída da plataforma A (em minutos)

	Intervalo de Chegada			
Atendimento	100%	80%	60%	40%
100%	2.01	3.78	3.26	2.08
80%	0.97	4.31	3.03	3.10
60%	0.31	1.13	1.78	1.89
40%	0.17	0.50	1.48	3.97

O tempo de fila para saída das plataformas afetam clientes que, teoricamente, estão voltando para sua origem, visto que o local da estação terminal Central do Brasil se encontra no centro da cidade, em que há mais estabelecimentos comerciais, órgãos públicos e

escritórios, ou seja, as pessoas se deslocam até lá para irem ao seu trabalho ou fazerem integração com outro meio de transporte, mas também com destino o seu local de trabalho ou de estudo. Quatro cenários apresentaram tempo menor do que 1 minuto, são eles em ordem crescente: 100% I x 40% T, 100% I x 60% T, 80% I x 40% T e 100% I x 80% T. Assim, o melhor deles é o 100% I x 40% T. O pior cenário é o 40% I x 40% T, apresentando 3.97 minutos como tempo médio para liberação de saída da plataforma A.

TAB. 5.20: Tempo médio de fila para saída da plataforma B (em minutos)

Atendimento	Intervalo de Chegada			
	100%	80%	60%	40%
100%	0.48	2.17	3.12	5.52
80%	0.58	0.33	2.27	2.79
60%	0.59	1.40	1.39	3.25
40%	0.07	0.73	0.74	1.07

Para a saída da plataforma B sete cenários apresentaram tempo menor que 1 minuto, foram eles em ordem crescente: 100% I x 40% T, 80% I x 80% T, 100% I x 100% T, 100% I x 80% T, 100% I x 60% T, 80% I x 40% T e 60% I x 40% T. Assim, o melhor deles é o 100% I x 40% T. Por outro lado, o pior deles é o 40% I x 100% T, com 5.52 minutos de tempo de fila, valor considerado alto.

TAB. 5.21: Quantidade média de trens para entrada no pátio (fila)

Atendimento	Intervalo de Chegada			
	100%	80%	60%	40%
100%	0.77	2.29	3.63	6.32
80%	0.53	1.35	2.18	5.13
60%	0.04	0.55	1.24	3.09
40%	0.0001	0.08	0.37	2.02

Esse índice operacional quantifica a quantidade de trens que esperam para entrar no sistema (pátio da estação terminal). É desejável que esse valor não ultrapasse 1 unidade, pois caso o valor seja superior a esse refletirá no decorrer da via. Assim, os cenários que satisfazem essa condição são, em ordem crescente: 100% I x 40% T, 100% I x 60% T, 80% I

x 40% T, 60% I x 40% T, 100% I x 80% T, 80% I x 60% T e 100. Sendo o primeiro deles (100% I x 40% T) considerado o melhor cenário. O pior cenário é o 40% I x 80% T, com uma quantidade média de 5.13 trens na fila para entrada no pátio, o que significa que 6.156 passageiros podem esperar para chegar ao seu destino.

TAB. 5.22: Quantidade máxima de trens para entrada no pátio (fila)

	Intervalo de Chegada			
Atendimento	100%	80%	60%	40%
100%	8	10	13	15
80%	5	8	9	14
60%	3	4	9	13
40%	1	3	4	12

Essa última tabela apresentada diz respeito à quantidade máxima de trens na fila para entrada no sistema. O ideal seria que apenas 1 trem esperasse para entrar ou, no máximo 2. Porém, não houve cenário em que esse valor fosse 2; assim, o melhor cenário para esse índice operacional é o 100% I x 40% T, com apenas 1 trem na fila. O pior cenário foi o 40% I x 100% T, com 15 trens na fila para entrada no pátio, ou seja, 18.000 passageiros esperando.

A partir das tabelas acima apresentadas foi possível identificar que o grande gargalo do sistema é o alto tempo de atendimento, ou seja, é demasiado o tempo que o trem permanece nas plataformas, fazendo com que diminua a capacidade da estação terminal. Além disso, ocasiona geração de filas para entrada das entidades no sistema, o que pode ocasionar problemas de operacionalidade no decorrer da via, visto que os trens precisam ter sinal liberado para continuarem sua rota. Fazendo uma breve análise dos dados de saída de todos os cenários para cada índice operacional destacado nesse tópico, foram identificados os que apresentaram melhor resultado, ou seja, as condições de tempos de atendimento e de intervalos de chegada entre trens que provocariam melhor desempenho para a estação terminal em estudo. A tabela 5.18 destaca o melhor cenário para cada um deles:

TAB. 5.23: Relação do melhor cenário para cada índice operacional

Índice Operacional	Cenário
Quantidade de trens atendidos	100% I x 60% T
Tempo médio de fila para entrada no pátio	100% I x 60% T
Tempo médio de fila para entrada na plataforma A	100% I x 40% T
Tempo médio de fila para entrada na plataforma B	100% I x 40% T
Tempo médio de fila para entrada na plataforma C	100% I x 60% T
Tempo médio de fila para entrada na plataforma D	80% I x 80% T
Tempo médio de fila para saída da plataforma A	100% I x 40% T
Tempo médio de fila para saída da plataforma B	100% I x 40% T
Quantidade média de trens para entrada no pátio	100% I x 40% T
Quantidade máxima de trens para entrada no pátio	100% I x 40% T

Dos 10 índices operacionais analisados, nenhum deles teve melhor operacionalidade com o cenário atual. Apenas 1 índice operacional (tempo médio de fila para entrada na plataforma D) teve a distribuição de probabilidade do intervalo de chegada reduzido. Dos 9 restantes, 3 tiveram como melhor cenário 100% I x 60% T e 6 deles o cenário 100% I x 40% T. O primeiro deles tem como vantagem o atendimento a um maior número de trens, ou seja, mais usuários serão atendidos, e o segundo deles tem como destaque o menor número de trens na fila para entrar no sistema, gerando um melhor fluxo durante toda a linha, e ele também apresenta a mesma capacidade do cenário 100% I x 60% T. A formulação de propostas de configuração da operação ferroviária e a determinação do melhor cenário serão apresentados no próximo tópico.

5.11 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E DETERMINAÇÃO DO MELHOR CENÁRIO

A partir da análise dos dados de saída dos cenários construídos, identificou-se que o melhor cenário para operacionalizar o sistema é o 100% I x 40% T; porém, reduzir em 60% o tempo despendido dos trens nas plataformas requer uma mudança brusca de comportamento. Assim, como primeiro desafio propõe-se diminuir esse tempo em 40% (segundo melhor cenário), passando a executar o cenário 100% I x 60% T.

Determinado esse cenário como primeira ação para melhorar a operação ferroviária, abaixo será descrita a avaliação do resultado obtido, explicitado no relatório gerado pelo *software* Arena após a rodada de 5 replicações, de 150 minutos cada, da simulação.

A distribuição de probabilidade para o intervalo de chegadas foi $0.5 + \text{GAMM}$ (1.61, 3.42) e para o tempo de atendimento das plataformas A e B foi $(0.6) * (3 + 158 * \text{BETA}$ (0.412, 7.83)). O valor adotado para a distribuição do tempo de atendimento das plataformas C e D (trens avariados) foi TRIA (3,4,5) e para os desvios foi a UNIFORM (10,120).

TAB. 5.24: Dados de saída da simulação do cenário 100% I x 60% T – Pico 1

	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
Tempo de ciclo	5.7424	15.7807	140.64
Tempo de atendimento - PA	1.8044	6.4319	37.3419
Tempo de atendimento - PB	1.8004	6.4513	32.0995
Tempo acumulado PA	50.0894	73.7451	102.02
Tempo acumulado PB	28.4037	74.7451	127.29
Fila – entrada no pátio	0	0.2227	14.2260
Fila – entrada PA	0	0.7815	21.5734
Fila – entrada PB	0	0.3342	3.1127
Fila – entrada PC	0	0.0920	0.8440
Fila – saída PA (1ª parte)	0	4.5208	68.2447
Fila – saída PA (2ª parte)	0	0.3191	2.3071
Fila – saída PB (1ª parte)	0	2.9817	28.2534
Fila – saída PB (2ª parte)	0	0.5943	6.0548
Nº de trens em fila na entrada do sistema	0	0.0356	3

O tempo de atendimento, que teve sua distribuição de probabilidade modificada, apresenta o tempo médio equivalente ao que é programado pela empresa. Porém, o tempo mínimo verificado nas rodas de simulação é impraticável, pois não há como realizar os serviços de embarque e desembarque em menos de 2 minutos, conforme pode ser verificado na tabela 5.12. Assim, teria que se observarem no histórico os menores valores mais frequentes para essa parte do processo, verificando o que, de fato, é aplicável ao caso. Além disso, é fundamental manter uma uniformidade do tempo de permanência das composições nas plataformas.

A taxa média de utilização da plataforma A foi de 37,28% e da plataforma B de 37,44%. Os tempos de fila para sair das plataformas foram considerados baixos, ocasionando bom fluxo do sistema. Os valores altos de tempo para saída das plataformas ainda persistentes refletem que houve momento em que a quantidade de entidades que esperavam a liberação de recursos para entrarem no sistema pode ter sido alta. Porém, de uma maneira geral, os valores foram satisfatórios, pois na média a espera foi irrisória, o que mostra que ainda há condições de melhorar o nível de serviço da operação com os recursos existentes.

Após conseguir colocar esse cenário proposto em prática, pretende-se diminuir os problemas operacionais que são causadores dos gargalos do sistema. Conseguindo superar essa etapa, o passo seguinte é otimizar o tempo de atendimento nas plataformas, passando a operar com o cenário 100% I x 40% T.

Ainda para esse cenário em análise obteve-se uma média de 23 entidades (trens) atendidas completamente, ou seja, que saíram do sistema durante o período de tempo simulado. Considerando um nível de conforto de 6 passageiros/m², o trem composto por 4 carros transporta uma média de 1200 passageiros; assim, teve-se uma média de 27.600 usuários atendidos no horário de pico da manhã, o que equivale a 11.040 passageiros embarcando na estação terminal Central do Brasil.

Destaca-se que, segundo a Supervia, o número de passageiros transportados teve um crescimento de 8% no ano de 2014 em relação ao ano de 2013. Em números, foi da ordem de 164.001.690 passageiros neste ano, uma média de 449.319 passageiros por dia. Sua grande maioria circula pela estação terminal Central do Brasil, que é a principal delas. A tendência, com a melhoria do serviço prestado, é que esse crescimento continue ao longo dos anos, aumentando a necessidade de aumentar ao máximo a capacidade do terminal, porém, sem comprometer a qualidade do serviço.

Para esse cenário é possível considerar que os valores foram satisfatórios, pois na média a espera foi irrisória. Assim, isso mostra que ainda há condições de melhorar o nível de serviço da operação com os recursos existentes; porém, isso requer um grande trabalho desde o técnico até a gestão, envolvendo toda a equipe.

As figuras 5.23 e 5.24 mostram os gráficos de tempo médio de atendimento acumulado e taxa de utilização das plataformas e dos desvios:

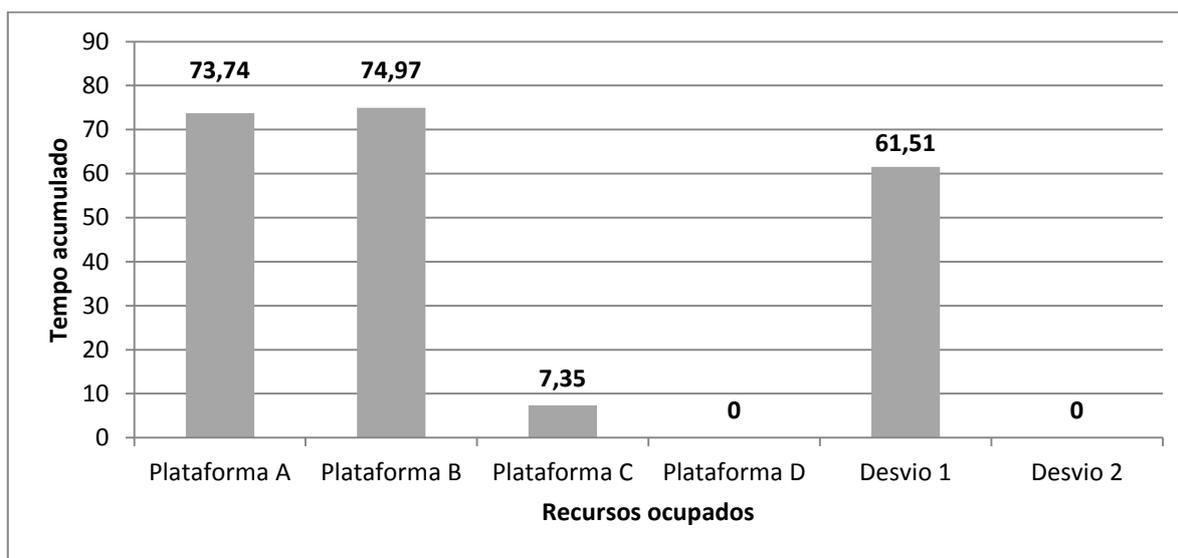


FIG. 5.24: Tempo médio de atendimento acumulado das plataformas e dos desvios

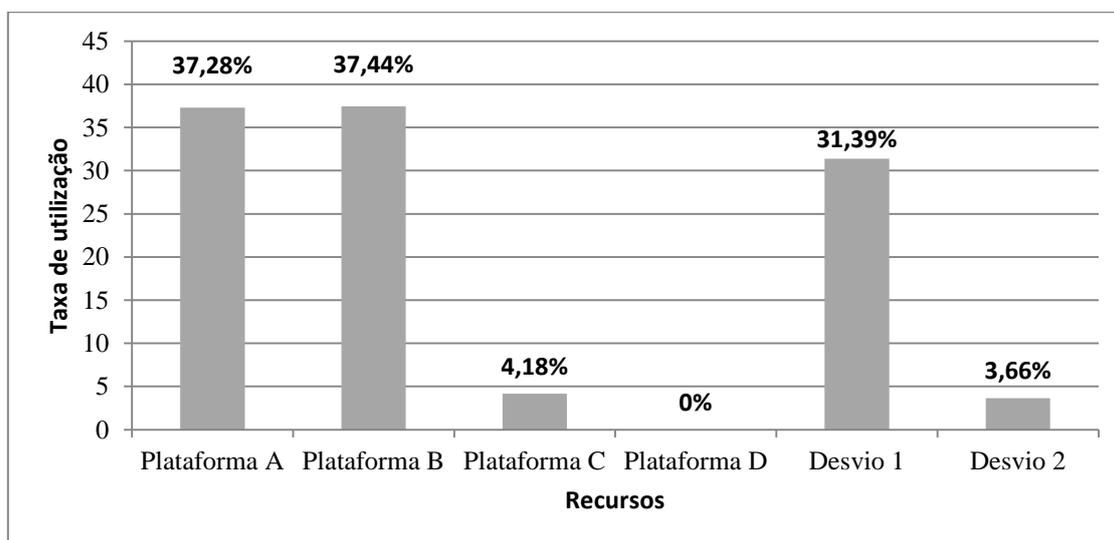


FIG. 5.25: Taxa de utilização das plataformas e dos desvios

Após a implementação dessa nova configuração da operação (redução de 40% do tempo de atendimento), a operação terá passado por grandes mudanças e o próprio sistema tenha

sofrido alterações devido a diversos fatores, tais como aumento da demanda, aquisição de novos equipamentos, solicitações diversas da secretaria de transportes do município e/ou estado, dentre outros. Porém, cabe aqui expor e comentar quais seriam os dados de saídas da simulação com o cenário 100% I x 40% T, que foi o que apresentou melhores resultados para os principais índices operacionais em estudo.

Desta forma, a distribuição de probabilidade para o intervalo de chegadas foi 0.5 + GAMM (1.61, 3.42) e para o tempo de atendimento das plataformas A e B foi $(0.4) \cdot (3 + 158 \cdot \text{BETA} (0.412, 7.83))$. O valor adotado para a distribuição do tempo de atendimento das plataformas C e D (trens avariados) foi TRIA (3,4,5) e para os desvios foi a UNIFORM (10,120). Todas as unidades são em minutos. A rodada também teve 5 replicações de 150 minutos cada.

TAB. 5.25: Dados de saída da simulação do processo do cenário 100% I x 40% T – Pico 1

	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
Tempo de ciclo	5.1408	11.4866	112.52
Tempo de atendimento - PA	1.2029	4.6153	29.2098
Tempo de atendimento - PB	1.2004	4.7386	31.2066
Tempo acumulado PA	35.3658	54.1816	68.0159
Tempo acumulado PB	18.9358	52.5753	93.5427
Fila – entrada no pátio	0	0.0011	0.1371
Fila – entrada PA	0	0.2125	1.3688
Fila – entrada PB	0	0.1369	1.3254
Fila – entrada PC	0	0.2421	0.8440
Fila – saída PA (1ª parte)	0	0.7405	8.4887
Fila – saída PA (2ª parte)	0	0.1692	1.3995
Fila – saída PB (1ª parte)	0	0.6014	12.8248

Fila – saída PB (2ª parte)	0	0.0713	1.0699
Nº de trens em fila na entrada do sistema	0	0.0001	1

Observando-se os valores mínimo e médio do tempo de atendimento nas plataformas, verifica-se que esse cenário, com base nos dados históricos atuais, pode ser considerado impraticável, pois eles foram muito menores do que ocorre atualmente. Os valores mínimos foram pouco acima de 1 minuto, ou seja, na prática isso não tem condições de acontecer, pois o sistema atende uma grande quantidade de passageiros, o que dispense maior tempo para a execução das atividades de embarque e desembarque.

Apesar de verificar que o tempo de atendimento com esse cenário é impraticável é importante versar sobre os demais dados de saída da rodada de simulação. A taxa média de utilização da plataforma A foi de 25,87% e da plataforma B foi de 24,14%. Já foi possível perceber o valor reduzido consideravelmente para saída da parte 1 da plataforma A, mostrando que a mesma esvazia com maior frequência, diminuindo assim a sua taxa média de utilização e aumentando a possibilidade de mais trens ingressarem. Na plataforma B também houve diminuição do tempo de fila para liberação da plataforma nas duas partes da mesma, com destaque para a parte 1. A taxa média de utilização reduziu bastante, possibilitando maior fluxo de novos trens no sistema.

Os valores reduzidos das filas refletem que houve momento uma grande melhoria no desempenho do sistema, prova disso é que a quantidade de entidades que esperaram a liberação de recursos para entrarem no sistema ter tido valor médio de 0.0001 e um valor máximo de 1 entidade. Isso significa que o fluxo foi satisfatório e o que nível de serviço aumentou, visto que assim os passageiros estariam mais satisfeito com o serviço prestado.

Para essa simulação também se obteve uma média de 23 entidades (trens) atendidas completamente, ou seja, que saíram do sistema durante o período de tempo simulado. Considerando um nível de conforto de 6 passageiros/m², o trem composto por 4 carros transporta uma média de 1200 passageiros; assim, teve-se uma média de 27.600 usuários atendidos no horário de pico da manhã, o que equivale a 11.040 passageiros embarcando na estação terminal Central do Brasil. O que se destaca é que o sistema foi menos utilizado, o que dá condições para aumentar o número de composições que chegam ao sistema.

As figuras seguintes mostram os gráficos de tempo médio de atendimento acumulado e taxa de utilização das plataformas e dos desvios:

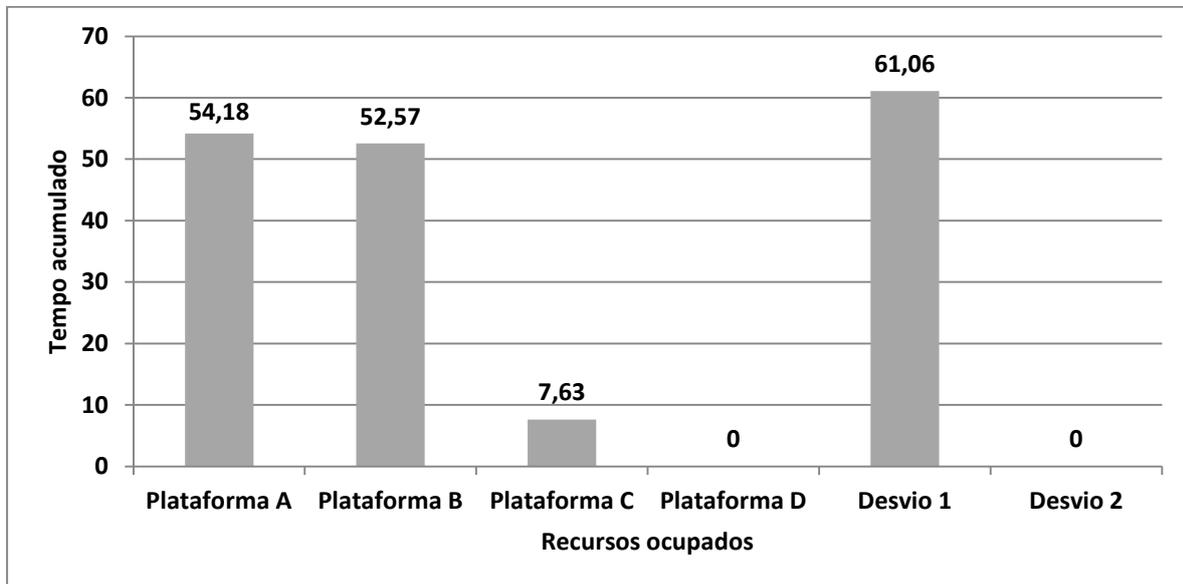


FIG. 5.26: Tempo médio de atendimento acumulado das plataformas e dos desvios

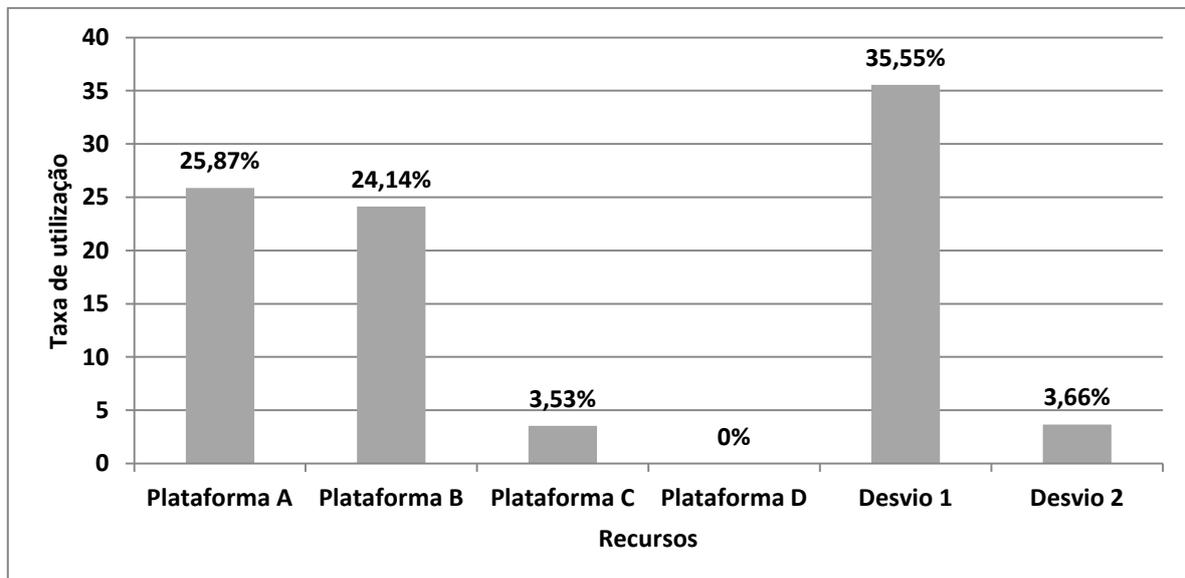


FIG. 5.27: Taxa de utilização das plataformas e dos desvios

Com base na análise dos dados de saída, o cenário considerado como o melhor a partir da análise separada dos indicadores (100% I x 40% T) não é aplicável. Assim, escolheu-se o segundo melhor cenário como o mais adequado para garantir uma melhor operação ferroviária

do terminal de passageiros que foi objeto de estudo (Central do Brasil) – 100% I x 60% I, conseqüentemente alcançar um bom nível de serviço para o mesmo.

No entanto, é imprescindível verificar se o mesmo, de fato, poderá ser aplicado no sistema, o que requer novas reuniões com funcionários do sistema, a nível operacional e estratégico, para assim verificar quais os primeiros passos que podem/devem ser dados para a concretização desse novo modo de operar. Em seguida, deve-se elaborar um plano de ação, que conterá todos os passos necessários para a implementação do novo cenário.

Como sugestão da verificação da aplicabilidade tem-se a pesquisa em campo para identificar quais problemas atuais que fazem com que as composições permaneçam mais tempo do que o programado nas plataformas, suas causas e maneiras de solucioná-los. Ou seja, será feito um diagnóstico da situação atual, que envolva outros fatores além dos envolvidos na simulação. Elaboração de um cronograma condizente com as condições de executá-lo, que envolve recursos humanos e materiais disponíveis.

O plano de ação confiável requer um esforço considerável dos elaboradores, que irão determinar as atividades a serem executadas, os responsáveis por cada uma delas, os prazos e alocar os recursos necessários. O detalhamento para implantação da estratégia deverá ser claro, facilitando o entendimento de todos os envolvidos.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Este último capítulo tem como finalidade expor as conclusões que foram possíveis chegar após a finalização deste trabalho, bem como as recomendações para trabalhos futuros que abordem a mesma temática. Para isso, ele foi dividido em tópicos, para assim facilitar o entendimento do leitor, são eles: objetivos alcançados, respostas aos questionamentos, procedimento elaborado, estudo de caso e trabalhos futuros.

6.1 OBJETIVOS ALCANÇADOS

O estudo realizado neste trabalho, que teve como motivação a ausência de trabalhos brasileiros que analisasse a operação ferroviária em terminais de passageiros sob a perspectiva do operador teve resultado satisfatório.

O objetivo principal – propor um procedimento para análise da operação ferroviária em terminais de passageiros – foi alcançado, uma vez que o mesmo foi desenvolvido, explicado passo a passo e aplicado em uma estação terminal de passageiros, sendo o mesmo analisado em todos os aspectos levantados como importante sob o enfoque deste trabalho.

Em relação aos objetivos secundários, todos também foram atendidos. Os índices operacionais foram identificados a partir da revisão de literatura, e destacando a possibilidade de acrescentar outros de acordo com as características específicas do terminal em estudo; o modelo de simulação foi elaborado e testado; foram construídos 16 cenários a partir da identificação dos aspectos operacionais que mais influenciam na qualidade da operação ferroviária em um terminal; o procedimento foi aplicado na estação terminal Central do Brasil, localizado na cidade do Rio de Janeiro; e os resultados gerados a partir de cada cenário foram analisados, e assim foi possível identificar a melhor maneira de operar o mesmo.

6.2 RESPOSTAS AOS QUESTIONAMENTOS

Quatro questionamentos foram levantados na formulação do problema desta dissertação, que deveriam ser respondidos quando esta fosse finalizada. Desta forma, seguem as respostas:

1. **Como analisar a operação dos terminais ferroviários de passageiros de forma efetiva?** Através do cumprimento das doze etapas definidas no procedimento proposto. A partir dele tem-se primeiramente uma visão completa do sistema em estudo, definição dos dados a serem coletados e dos índices operacionais, modelo conceitual desenvolvido, bem como o modelo computacional (caso utilize o mesmo desta dissertação), dentre outras etapas também importantes. A avaliação final se dá através do relatório gerado pelo modelo computacional, que será interpretado pelo profissional que o desenvolver, como também por outros que trabalham na sua gestão e/ou operação. Ele trará os dados de saída referente aos índices operacionais que foram definidos. Feito isso, é possível identificar qual deles pode ser alterado para a construção de cenários e, posterior à análise dos mesmos a partir dos novos relatórios, fazer a formulação de propostas para melhorar a operação e, conseqüentemente, seu nível de serviço.
2. **Quais os índices operacionais mais adequados para serem utilizados no método desenvolvido?** Os indicadores operacionais mais adequados para o tipo de avaliação que esse trabalho se propôs a fazer foi definido no procedimento proposto, e diz respeito à sua oitava etapa. Teve-se como base o trabalho de DANTAS (1983), e os definidos foram esses: tempo ocioso do sinal do pátio, tempo total de espera dos trens de cada origem no sinal do pátio, tempo médio de espera no sinal do pátio por trem de cada origem, tempo ocioso das plataformas, número de trens que chegam, por origem, frequência acumulada dos tempos de atendimento e média dos tempos de atendimento por origem. Porém, alguns outros podem ser adicionados conforme houver necessidade de outras informações do terminal que estiver sendo avaliado.
3. **Quais aspectos operacionais afetam o nível de serviço?** Três aspectos operacionais em especial afetam o nível de serviço, são eles: tempo de fila para entrada no pátio, tempo de atendimento e tempo de fila para saída das plataformas. Os dois índices que envolvem filas afetam o nível de serviço pelo fato de gerar espera para os passageiros, o que causaria insatisfação com o serviço que lhe é

oferecido. O índice de tempo de atendimento, caso seja em um intervalo maior que o programado, compromete as demais operações que fazem parte do processo como o todo, inclusive a fila para entrada da composição no sistema. Considerando isso, na construção de cenários decidiu-se por variar as duas distribuições de probabilidade que foram geradas a partir do recurso *Input Analyzer*: intervalo entre chegadas e tempo de atendimento das plataformas A e B. as variações foram de 20, 40 e 60%. Ao todo foram 16 cenários, em que o período simulado foi do pico da manhã (das 05h37m às 07h59m). Analisados e comparados os resultados gerados, escolheu-se o que trouxe os melhores índices operacionais. A partir da formulação de propostas percebeu-se que se alterando esses aspectos operacionais é possível melhorar significativamente a operação ferroviária do terminal de passageiros e, como consequência, aumentar o seu nível de serviço, visto que uma boa operação gera satisfação dos passageiros sobre o serviço oferecido a eles.

4. **Quais as ferramentas ideais que devem ser utilizadas para se chegar a um resultado satisfatório do procedimento proposto?** A primeira ação que se deve ter para poder analisar corretamente a operação ferroviária de um terminal é a observação do mesmo (infraestrutura, passageiros e operação), seguido da busca em conhecer o sistema mais tecnicamente com os operadores e gestores, para assim conhecer o funcionamento do sistema em estudo. Além disso, faz-se necessário uma revisão de literatura adequada sobre a temática. Em se tratando de ferramenta técnica, escolheu-se por adotar a simulação computacional, por ela permitir que se conheça o comportamento do sistema a partir do seu histórico de dados, e assim identificar os gargalos que diminuem a capacidade do terminal e geram insatisfação nos clientes. Feito isso, é possível criar cenários modificando as variáveis que podem sofrer alterações e estão ocasionando redução da produtividade do sistema. A grande vantagem é que esses cenários podem ser testados computacionalmente antes que sejam colocados em prática, evitando maiores custos e conflitos entre operador (empresa e funcionários) e clientes (passageiros), além de serem mais chamativos do ponto de vista visual.

Com isso, os gerenciadores de terminais de passageiros terão mais um subsídio para executarem seus trabalhos, e o meio acadêmico ganhará mais uma contribuição sobre essa temática.

6.3 ELABORAÇÃO DO PROCEDIMENTO

O procedimento foi criado a partir da revisão da literatura e testado a partir de alguns passos citados por CHWIF E MEDINA (2006). Como principal etapa teve-se a simulação computacional, em que foi criado um modelo de simulação, que incluiu o modelo conceitual, que pode ser usado em qualquer *software*, fazendo-se somente os ajustes que sejam específicos do programa.

O modelo computacional, desenvolvido no *software* Arena, foi capaz de gerar um relatório com dados de saída dos índices operacionais definidos no procedimento como fundamentais para a avaliação da operação de um terminal de passageiros.

Por meio deste procedimento foi possível analisar a operação atual da estação terminal em estudo e construir cenários para análise de diferentes configurações, verificando assim se é possível melhorar a operação com os recursos existentes, sem a necessidade de alterar a infraestrutura do local. Desta forma, as duas hipóteses levantadas no primeiro capítulo foram confirmadas.

6.4 ESTUDO DE CASO

Na aplicação do procedimento proposto na estação terminal Central do Brasil foi possível fazer a análise da operação atual da mesma, em que se verificou que o terminal em estudo estava sobrecarregado devido a alta demanda de passageiros, conseqüentemente de trens, precisando de alterações em sua configuração de operação para melhorar o serviço oferecido aos passageiros. Com base nessa análise decidiu-se por modificar dois índices operacionais: intervalo entre chegadas e tempo de atendimento nas plataformas A e B. Assim, foram construídos 16 cenários, em que as duas distribuições de probabilidade variaram em até 60%.

A partir disso, verificou-se que o cenário 100% (distribuição de intervalo entre chegadas) x 40% (distribuição de tempo de atendimento) foi o que apresentou os melhores dados de saída para 10 índices operacionais escolhidos para análise. Porém, o segundo melhor deles - 100% (distribuição de intervalo entre chegadas) x 60% (distribuição de tempo de atendimento) - foi sugerido como a primeira alteração a ser feita, por exigir menor esforço

(embora ainda alto) para mudança da operação atual, ou seja, seria menos complicado de ser implementado em um primeiro momento. Porém, verificou-se que o melhor cenário (100% I x 40% T) não é aplicável.

Como limitações do trabalho teve-se a versão do *software* utilizado, que foi a versão estudante. Assim, foi estudado apenas 1 ramal da estação terminal Central do Brasil na aplicação do procedimento proposto, sendo que o mesmo é composto por 5 ramais. O ideal seria que o histórico de dados fosse de 1 ano, mas foi utilizado apenas de 2 meses. Porém, foram meses que podem ser considerados bons; no intervalo em estudo houve 1 mês sem feriados em dias úteis (maio) e com feriados (abril e junho).

Não foi realizada juntamente com a empresa concessionária a verificação das condições operacionais para saber se é possível colocar em prática as mudanças propostas a partir do melhor cenário. Assim, isso foi considerado um *gap* desta pesquisa, que deve ser preenchido em trabalhos posteriores.

6.5 TRABALHOS FUTUROS

Com base nos resultados obtidos ao final desta dissertação, têm-se as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- Abordagem de outros fatores: este trabalho foi limitado à operação ferroviária dos terminais de passageiros, ou seja, apenas o movimento realizado pelos trens (entrada no pátio, percurso interno, tempo de embarque e desembarque de passageiros e saída do pátio); porém, esse sistema é muito mais complexo e tem um grande leque para pesquisas. Alguns fatores são a mudança de *layout* (alteração da infraestrutura), os custos operacionais e de manutenção e a percepção dos passageiros;
- Realizar uma revisão de literatura abordando esses outros fatores, para que os mesmos sejam trabalhados de forma correta e o procedimento seja aprimorado;
- Utilização de filmes para a coleta de dados: o objetivo é que os dados utilizados na simulação sejam os obtidos pelos próprios pesquisadores, garantindo assim maior confiabilidade dos mesmos;

- Análise de dados desagregada: analisar e tratar os dados de maneira desagregada, para que assim as características do sistema sejam analisadas por partes, de modo que a visão do processo não seja geral, mas de cada parte separadamente.
- Abrangência do estudo: inclusão de todos os ramais da estação terminal Central do Brasil no estudo de caso, visto que é um terminal de bastante importância do setor ferroviário brasileiro. Caso não seja possível estudar este terminal específico, que seja realizada a análise completa de um outro terminal, pois desta forma o procedimento será considerado mais abrangente;
- Elaboração de plano de ação: neste trabalho determinou-se apenas o melhor cenário para a operação atual, necessitando de um plano de ação para colocar em prática o que foi proposto. Esse plano envolverá diretamente os funcionários da empresa, que são detentores do conhecimento e da prática do funcionamento do sistema, podendo assim contribuir para que o mesmo seja elaborado conforme o que é possível executar.

Com isso, objetiva-se que seja dada uma maior contribuição ao setor ferroviário e à área acadêmica, como complemento ao trabalho realizado nesta pesquisa e apresentado nesta dissertação.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMKO, N. KLIMA, V. **Optimisation of railway terminal design and operations using villon generic simulation model.** *Transport.* 23:4, páginas 335-340. 2008.

ALMEIDA, P. M. S. de. **Utilização de simulação na análise de componentes de terminais de passageiros de aeroportos brasileiros.** 1998. 88 p. Dissertação (Mestrado em Ciência na área de Transporte Aéreo e Aeroportos do curso de pós-graduação em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica). Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos-SP, 1998.

AMIKURA, N. A. S. **Caracterização da operação de canais de inspeção de segurança aeroportuários: proposta de modelagem a partir de um caso real.** Abril, 2012, 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Distrito Federal-DF, 2012.

ANPTTrilhos. **Panorama do sistema metroferroviário nacional e os principais investimentos previstos.** Disponível em: <http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl_1376396725.pdf>. Acessado em: 10 de outubro de 2014.

ASSAD, A. A. **Models for rail transportation.** *Transportation Research Part A*, 14, pp. 205-220, 1980.

ANDRADE, C. E. S. **Avaliação do desempenho de sistemas metroferroviários sob a ótica da qualidade dos serviços prestados aos usuários: aplicação no metrô do Rio de Janeiro.** Maio de 2009, 168 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro-RJ, 2009.

BANDEIRA, M. C. G. S. P. **Análise do nível de serviço em terminais de passageiros aeroportuários.** Dissertação. 2008, 134 p. (Mestrado em Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica). Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos-SP, 2008.

BANKS, J. et al. **Discret-Event system simulation.** 4ª edição. *Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.* 2005.

BORILLE, G. M. R. **Método para avaliar fatores determinantes no nível de serviço oferecido em terminais de passageiros de aeroportos: componentes operacionais de desembarque.** Tese de doutorado. IV Prêmio Marechal-Do-Ar Casimiro Montenegro Filho.

CANCA, D. et. al. **Design and analysis of demand-adapted railway timetables.** *Journal of Advanced Transportation*. Volume 48, edição 2, páginas 199-137, edição especial SI. Março, 2014.

CHWIF, L. MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e prática.** São Paulo: Ed. Dos Autores, 2006.

DANTAS, C. G. **Simulação de terminais ferroviários suburbanos de passageiros.** Julho de 1983, 226 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro-RJ, 1983.

DENATRAN. **Frota Nacional.** Disponível em: <
<http://www.denatran.gov.br/frota2014.htm>>. Acessado em: 19 de outubro de 2014.

DICEMBRE, A. RICCI, S. **Railway traffic on high density urban corridors: capacity, signalling and timetable.** *Journal of rail transport planning & management*. Páginas 59-68. 2011.

FIORONI, M. M. **Simulação em ciclo fechado em malhas ferroviárias e suas aplicações no Brasil: avaliação de alternativas para o direcionamento de composições.** 2008. 216 p. Tese. (Doutorado em Engenharia Naval e Oceânica). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

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

GAVIRA, M. O. **Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento.** 2003. 163 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo-SP, 2003.

GONÇALVES, A. F. M. **Análise de configurações de terminais ferroviários suburbanos de passageiros com o emprego de simulação.** Maio, 1986. 199 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro-RJ, 1986.

GOUVEA, V. C. **Contribuição ao estudo de implantação de terminais urbanos de passageiros.** Dezembro, 1980, 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro-RJ, 1980.

- GUAZZELLI, C. S. **Contribuição ao dimensionamento e à avaliação operacional de terminais urbanos de passageiros metroviários e ferroviários.** 2011, 117 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo-SP, 2011.
- GUIMARÃES, A. M. C. **Empresas de gestão conservadora: potencial da previsão de demanda e simulação computacional.** 2008.100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro-RJ, 2008.
- HILLIER, F. S. LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional.** Tradução: Ariovaldo Griesi; revisão técnica: Pierre J. Ehrlich. 9ª edição. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico: sinopse.** Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>>. Acessado em: 19 de outubro de 2014.
- LANDEX, A., JENSEN, L. W. **Measures for track complexity and robustness of operation at stations.** *Journal of Rail Transport Planning & Management.* Páginas 22-35. 2013.
- LOPES, H. S. **Modelagem e simulação como ferramentas ao diagnóstico operacional de sistemas: estudo aplicado ao transporte de minério de ferro na hidrovía do Araguaia-Tocantins.** 2008, 129 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza-CE, 2008.
- MARINOV, M. et al. **Railway operations, time-tabling and control. Research in Transportation Economics.** Páginas 59-75. 2013.
- MARINOV, M. VIEGAS, J. **A simulation modelling methodology for evaluating flat-shunted yard operations. Simulation Modelling Practice and Theory.** Volume 17, Issue 6, páginas 1106-1129. Julho, 2009.
- MEDAU, J. C. **Análise de capacidade do lado aéreo de aeroportos baseada em simulação computacional: aplicação ao aeroporto de São Paulo – Congonhas.** Julho, 2011. 120 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Departamento de Engenharia de Transportes, Escola politécnica da Universidade de São Paulo. Edição revisada. São Paulo-SP, 2011.

MEDEOSSO, G. et al. **A method for using stochastic blocking times to improve timetable planning.** *Journal of Rail Transport Planning & management*. Páginas 1-13. 2011.

MENDONÇA, F. V. T. **Nível de serviço nos terminais de passageiros dos aeroportos.** Março, 2009, 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro-RJ, 2009.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Disponível em: <
<http://www.transportes.gov.br/noticia/conteudo/id/110157>>. Acessado em 12 de novembro de 2014.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Projeto de reavaliação de estimativas e metas do Plano Nacional de Logística e Transportes. Relatório Final.** 2012. Brasília-DF, 2012.

SOUZA, H. H. H. **Avaliação do desempenho de sistemas de transporte público urbano sob a ótica da eficácia.** 2001, 195 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro-RJ, 2001.

Supervia Concessionária de Transportes Ferroviários S./A – SUPERVIA (2015). Disponível em: <<http://www.supervia.com.br/>>. Acessado em: 20 de maio de 2015.

WINSTON, W. L. (1994). **Operations Research, Applications and Algorithm.** 3rd Ed.. Belmont (CA): Duxbury Press.

YUAN, J. HANSEN, I. A. **Optimizing capacity utilization of stations by estimating knock-on train delays.** *Transportation Research. Parte B: Methodological*, Volume 41, Issue 2, páginas 202-217. Fevereiro, 2007.

WORONIUK, C. MARINOV, M. **Simulation modeling to analyse the current level of utilization of sections along a rail route.** *Journal of transport literature*. Volume 7, n. 2, páginas 235-252. Abril, 2013.