

Universidade Estadual de Maringá
Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção

**Simulação dinâmica de processo de atendimento para serviços de
assistência técnica em equipamentos de automação bancária – uso
do software Arena®: estudo de caso**

Alexandre Sabadin

TCC-EP-02-2012

Universidade Estadual de Maringá
Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção

**Simulação dinâmica de processo de atendimento para serviços de
assistência técnica em equipamentos de automação bancária – uso
do software Arena®: estudo de caso**

Alexandre Sabadin

TCC-EP-02-2012

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como
requisito de avaliação no curso de graduação em
Engenharia de Produção na Universidade Estadual de
Maringá – UEM.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Francisco Carreira

**Maringá - Paraná
2012**

Dedico este trabalho aos meus pais Ivo e Maria Elisabeth
e à minha esposa Dionéia.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Ivo e Maria Elisabeth, por todo o amor e carinho que sempre me proporcionaram; pelos seus ensinamentos ao longo da vida, especialmente em educação, respeito e valores morais; por seus incansáveis esforços a fim de proporcionar-me sempre acesso a estudo de boa qualidade e por seus exemplos de dedicação, trabalho, persistência, boa vontade e infinitos outros belos adjetivos.

Aos meus avós João (*in memoriam*), Rosa (*in memoriam*), Ivânio (*in memoriam*) e Diva por todo incentivo, amor e carinho que só avós sabem presentear.

De forma muito especial, à minha esposa Dionéia, exemplar e companheira, pelo seu incentivo e amor incondicionais, em todos os momentos que temos passado juntos.

À minha irmã Fabiane, pelo seu amor, amizade e constantes incentivos.

A todos os membros da família, seja por laços de sangue ou de amor, por todo o amparo e incentivo nesta caminhada.

Aos amigos, que sempre estiveram e estarão ao meu lado, em todos os momentos.

Aos colegas de turma que foram companheiros nos momentos necessários desta importante etapa de nossas vidas.

À minha prima Cinara, pela sua imensa contribuição nas correções deste trabalho.

Aos professores, em especial ao professor Manoel Francisco Carreira, pela sua enorme colaboração, paciência, bom senso e contribuição, proporcionando-me ensinamentos técnicos indispensáveis para o desenvolvimento deste trabalho.

Se os senhores da guerra
Mateassem ao pé do fogo
Deixando o ódio pra trás,
Antes de lavar a erva
O mundo estaria em paz!

Silvio Aymone Genro & João Chagas Leite

RESUMO

Este trabalho é um estudo de caso sobre os processos de atendimento aos clientes de uma empresa prestadora de serviços de manutenção de equipamentos de automação bancária. Seus clientes são agências bancárias que necessitam de manutenção *in loco* em seus equipamentos. Portanto, o técnico de manutenção sempre se desloca até o cliente para realizar seu trabalho.

O processo compreendido pela ocorrência do defeito em um equipamento (que pode estar localizado em qualquer cliente inserido em uma região de abrangência), pelo deslocamento do técnico de manutenção e inclusive pelo serviço de reparo, foi modelado e simulado dinamicamente utilizando-se o *software* Arena®. A ideia de utilizar simulação dinâmica é ter uma ferramenta que auxilie na previsão de possíveis deficiências e demandas que o processo de atendimento de chamados técnicos possa possuir caso sofra alterações inerentes à sua realidade.

Foram efetuadas coletas de dados estatísticos referentes aos tempos e métodos envolvidos no processo real estudado, bem como se procedeu à compilação desses dados e geração de gráficos de distribuições de probabilidades, os quais foram inseridos no modelo criado, para que este pudesse representar o caso real, produzindo a aleatoriedade de entrada de dados, dentro dos parâmetros de médias e desvios padrão obtidos.

Como resultado, foi obtido um modelo do caso real, elaborado com recursos de fluxograma e também de animação, do *software* Arena®. O modelo foi simulado com nove cenários distintos e dez replicações cada um. Em cada cenário, foi acrescentado o número de chamados técnicos gerados pelo sistema e verificado o comportamento do número de chamados atendidos, taxas de utilização dos recursos, como os tempos de trabalho do técnico de manutenção em relação ao tempo disponível pelo seu turno de trabalho e taxas de utilização do seu meio de transporte.

Pôde ser verificado que há um número máximo de aproximadamente 2,35 chamados diários atendidos por técnico de manutenção, sem que haja formação de filas consideráveis e atrasos significativos nos atendimentos aos clientes.

Palavras-chave: simulação, Arena, atendimento, cliente.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	JUSTIFICATIVA	1
1.2	DEFINIÇÃO E DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA	2
1.3	OBJETIVO GERAL.....	4
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.5	SEQUÊNCIA LÓGICA DO TRABALHO	4
2	REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1	PESQUISA OPERACIONAL	6
2.1.1	<i>Origens da pesquisa operacional.....</i>	<i>6</i>
2.1.2	<i>Aplicações da pesquisa operacional</i>	<i>7</i>
2.2	MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS	8
2.2.1	<i>Classificação dos sistemas para modelagem e simulação</i>	<i>11</i>
2.2.2	<i>O Método de Monte Carlo.....</i>	<i>12</i>
2.2.3	<i>Geradores de Números Aleatórios</i>	<i>13</i>
2.2.4	<i>Variáveis de estado.....</i>	<i>13</i>
2.2.5	<i>Eventos.....</i>	<i>14</i>
2.2.6	<i>Entidades e atributos.....</i>	<i>14</i>
2.2.7	<i>Recursos e filas de recursos</i>	<i>14</i>
2.3	TEORIA DAS FILAS	15
2.3.1	<i>Terminologia e notação básica da teoria das filas</i>	<i>16</i>
2.3.2	<i>Notação de Kendall.....</i>	<i>17</i>
2.4	GRÁFICO DE PARETO.....	19
2.4.1	<i>Tipos de gráficos de Pareto.....</i>	<i>19</i>
2.5	O SOFTWARE ARENA®.....	20
3	DESENVOLVIMENTO	25
3.1	METODOLOGIA.....	25
4	CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO	27
4.1	ESQUEMAS DO PROCESSO	27
4.2	ABRANGÊNCIA DOS SERVIÇOS	28
4.3	ESCOLHA DO GRUPO DE EQUIPAMENTOS A SIMULAR	30
5	DADOS DA MODELAGEM E APLICAÇÃO	31
5.1	DISTÂNCIAS ENTRE OS CLIENTES.....	31
5.2	QUANTIDADE DE CHAMADOS TÉCNICOS	35
5.3	TEMPOS DE ATENDIMENTO	43
5.4	CONSTRUÇÃO DO MODELO NO ARENA®	45
5.4.1	<i>Animação.....</i>	<i>47</i>
5.4.2	<i>O técnico e sua base.....</i>	<i>51</i>
5.4.3	<i>Geração e distribuição de chamados técnicos.....</i>	<i>51</i>
5.4.4	<i>Processos de atendimento dos chamados.....</i>	<i>55</i>
6	RESULTADOS OBTIDOS	63
6.1	CENÁRIO ZERO	63
6.2	DEMAIS CENÁRIOS	64

CONCLUSÃO.....	69
REFERÊNCIAS.....	71

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<i>Figura 1 – Maneiras de estudar um sistema</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2 – Classificação dos sistemas para modelagem e simulação.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 3 – Representação simbólica de um sistema de fila simples: FIFO.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 4 – Centro com uma fila e múltiplos servidores.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 5 – Centro com múltiplas filas e um servidor</i>	<i>16</i>
<i>Figura 6 – Sistema de fila com regra de atendimento LIFO.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 7 – Gráfico de Pareto para causas.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 8 – Gráficos de distribuições normal e uniforme.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 9 – Gráficos de distribuições triangular e exponencial.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 10 – Gráficos de distribuições lognormal e erlang.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 11 – Gráficos de distribuições gamma e Beta.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 12 – Gráfico de distribuição Weibull</i>	<i>22</i>
<i>Figura 13 – Tela principal do Arena®.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 14 – Barra de templates.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 15 – Esquema geral de abertura de chamados</i>	<i>28</i>
<i>Figura 16 – Processo de chamado, na perspectiva do técnico</i>	<i>28</i>
<i>Figura 17 – Diagrama de Pareto para os equipamentos atendidos.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 18 – Rede de distâncias entre clientes</i>	<i>32</i>
<i>Figura 19 – Agrupamento dos clientes.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 20 – Áreas dos agrupamentos</i>	<i>34</i>
<i>Figura 21 – Distribuição de probabilidades para criação dos chamados de ATM.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 22 – Distribuição de probabilidades para criação dos chamados de IMP.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 23 – Distribuição de probabilidades para criação dos chamados de TMF.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 24 – Gráfico de distribuição de frequências, conforme a hora de abertura de chamados</i>	<i>42</i>
<i>Figura 25 – Distribuição de probabilidades para tempos de atendimento de ATM</i>	<i>43</i>
<i>Figura 26 – Distribuição de probabilidades para tempos de atendimento de IMP.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 27 – Distribuição de probabilidades para tempos de atendimento de TMF</i>	<i>44</i>
<i>Figura 28 – Visão geral do modelo.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 29 – Animação do modelo.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 30 – Configuração dos módulos Stations</i>	<i>48</i>
<i>Figura 31 – Configuração do módulo Network Link.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 32 – Configuração dos módulos Network e Transporter.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 33 – Pontuação do cliente.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 34 – Fluxogramas do modelo: etapa cria TR e Base do TR.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 35 – Geração e distribuição de chamados.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 36 – Configuração dos módulos Create para chamados.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 37 – Configuração dos módulos Decide, para ATM, IMP e TMF.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 38 – Configuração dos módulos Assign, para tempos de atendimento.....</i>	<i>53</i>

<i>Figura 39 – Configuração dos módulos Decide para distribuição dos chamados</i>	54
<i>Figura 40 – Configuração do módulo Route</i>	55
<i>Figura 41 – Processos de atendimentos de chamados (Área 1 até Área 10)</i>	56
<i>Figura 42 – Configuração dos módulos Enter do técnico e Decide verifica hora</i>	58
<i>Figura 43 – Configuração do módulo Signal cheguei e Hold aguarda término do processo</i>	59
<i>Figura 44 – Configuração dos módulos Decide verifica se há chamados e Request AREA_X</i>	59
<i>Figura 45 – Configuração do módulo PickStation AREA_X e Enter AREA_X</i>	60
<i>Figura 46 – Configuração dos módulos Decide separa ATM, IMP e TMF</i>	60
<i>Figura 47 – Configuração dos módulos Assign registra ATM, IMP e TMF</i>	61
<i>Figura 48 – Configuração dos módulos Assign atualiza pontuação</i>	61
<i>Figura 49 – Configuração dos módulos Assign registra ATM, IMP e TMF atendidos</i>	61
<i>Figura 50 – Configuração dos módulos Hold Aguarda chegada do técnico e Process atende AREA_X</i>	62
<i>Figura 51 – Configuração do módulo Decide separa ATM, IMP e TMF</i>	62
<i>Figura 52 – Gráfico que representa o número de chamados</i>	65
<i>Figura 53 – Gráfico da utilização dos recursos</i>	66
<i>Figura 54 – Gráfico de tempos acumulados por área</i>	67
<i>Quadro 1 - Algumas aplicações da pesquisa operacional</i>	8
<i>Quadro 2 – Cidades atendidas pela equipe de Maringá</i>	29

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 – Quantidade de chamados de ATM em 2011.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabela 2 – Quantidade de chamados de IMP em 2011.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabela 3 – Quantidade de chamados de TMF em 2011.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabela 4 – Distribuição de chamados de ATM por área, em 2011</i>	<i>41</i>
<i>Tabela 5 – Distribuição de chamados de IMP por área, em 2011</i>	<i>41</i>
<i>Tabela 6 – Distribuição de chamados de TMF por área, em 2011</i>	<i>42</i>
<i>Tabela 7 – Quantidade de chamados.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabela 8 – Taxas de utilização.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabela 9 – Tempos médios de atendimento para cada área</i>	<i>68</i>

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATM	Automatic Teller Machine
CHAMA	Sistema para controle de chamados, pertencente à empresa Brasil S/A
CPU	Central Processing Unit
ERP	Enterprise Resource Planning
FGVA	Funções Geradoras de Variáveis Aleatórias
FIFO	First In, First Out
GNA	Gerador de Números Aleatórios
GPSS	General Purpose Simulation System
HTML	Hypertext Markup Language
IBM	International Business Machines
IMP	Impressora
IP	Internet Protocol
LIFO	Last In First Out
MMC	Método de Monte Carlo
OS	Ordem de Serviço
PO	Pesquisa Operacional
®	Marca Registrada
SD	Simulação Dinâmica
SI	Sistemas de Informação
TAA	Terminal de Auto Atendimento
TI	Tecnologia da Informação
TMF	Terminal de Múltiplas Funções
TR	Técnico Residente
VoIP	Voz sobre IP

1 INTRODUÇÃO

Toda empresa precisa ser competitiva no mercado. Para isso é imprescindível que sejam identificados e otimizados os detalhes de seu processo produtivo.

Constantemente empresas passam por alterações em seus processos, comumente encontrados em todos os níveis da organização. Tais processos são constituídos pelas mais diversas naturezas, são os processos produtivos, operacionais e muitos outros, tanto em empresas de manufatura de bens quanto em prestadoras de serviços. No entanto, essas alterações ou adequações são baseadas em quê? Muitas vezes são efetivadas de forma empírica, sem um trabalho adequado e preciso a respeito do assunto ou do problema instalado.

Nessa perspectiva, com o intuito de embasar cientificamente o estudo e a análise do problema em questão e tornar tais adequações mais eficientes, o uso da simulação computacional dinâmica se consolida como uma poderosa ferramenta.

Dessa forma, dados e informações acerca do processo da empresa estudada (uma prestadora de serviços de manutenção) são, neste estudo, analisados e registrados. A partir da abstração desse processo, é criado um modelo computacional, que, por sua vez, é simulado dinamicamente, com várias hipóteses, baseando-se nos recursos disponíveis. Como resposta, é possível identificar possíveis gargalos e propor melhorias, para que o gestor possa implementá-las com mais segurança.

1.1 Justificativa

Como uma forte justificativa ao uso da simulação computacional, destaca-se que questões como “o que aconteceria se?” podem ser respondidas sem que o sistema sob investigação sofra alterações, pois todos os estudos são realizados no computador. Ou seja, alterações no processo podem ser feitas primeiramente no modelo criado, de forma muito mais ágil, rápida e com custos significativamente baixos. Após realizados os testes e obtidos os resultados com várias hipóteses de melhorias no modelo, essas alterações podem ser implementadas no sistema real, com grande probabilidade de acerto.

Um processo de atendimento de chamados para assistência técnica é significativamente complexo, especialmente no caso estudado, onde existem inúmeras variáveis a serem analisadas e consideradas.

1.2 Definição e delimitação do problema

Este trabalho será baseado em uma empresa que desenvolve tecnologia e é prestadora de serviços na área de *sistemas de informação* (SI) e tecnologia bancária, atuante em todo o território nacional há mais de trinta anos e com mais de três mil colaboradores.

A empresa em questão será referenciada pelo nome fictício Brasil S/A. Dentre os diversos serviços prestados pela empresa Brasil S/A, destacam-se:

- assistência técnica, com mais de quarenta unidades distribuídas em todo o Brasil;
- suporte a processos de negócios, tais como gerenciamento eletrônico de documentos, impressão de documentos, microfilmagem e *contact center*;
- sistemas e aplicações de *tecnologia da informação* (TI), tais como *data center*, tecnologia *voz sobre IP* (VoIP), segurança de TI e desenvolvimento e migração para *software* livre.

A simulação dinâmica dos processos de serviços será efetuada abrangendo apenas um dos serviços citados: o de assistência técnica, atendido pela regional Londrina.

A regional Londrina atende mais de 130 clientes, localizados na metade norte do estado do Paraná e é compreendida pelas mesorregiões: Noroeste paranaense, Norte Central paranaense, Norte Pioneiro paranaense, Centro Ocidental paranaense e Centro Oriental paranaense. Cada mesorregião é composta por um grupo de cidades vizinhas e por microrregiões, conforme será visto com mais detalhes no desenvolvimento do trabalho.

Há dezesseis técnicos de manutenção disponíveis na regional Londrina para o atendimento das cinco mesorregiões citadas. Alguns residem fora dessa cidade, o que os caracteriza como técnicos residentes (TR). No ano de 2011 (período considerado para o presente trabalho), a cidade de Maringá possuía dois TRs, compondo uma equipe que atende predominantemente a mesorregião Noroeste paranaense e parte da mesorregião Norte Central paranaense. Na prática (caso real), cada mesorregião pode ser atendida por uma ou mais equipes de técnicos, sendo possível o intercâmbio de atendimento entre técnicos, bem como é possível existir “sombras” sobre as mesorregiões, que podem ser atendidas por mais de uma equipe, conforme a demanda.

Em termos de modelagem, esse caso pode tornar-se bastante complexo para o presente trabalho, razão pela qual essa realidade será simplificada, fazendo com que no modelo a ser

construído os TRs de Maringá atendam somente a mesorregião Noroeste paranaense e parte da mesorregião Norte Central e que essas mesorregiões sejam atendidas somente por esses técnicos. Mais detalhes sobre essas distribuições serão apresentados na seção deste trabalho denominada desenvolvimento.

Nem as demais mesorregiões, nem os técnicos de manutenção pertencentes à regional Londrina serão considerados no modelo. Posteriormente, os resultados obtidos poderão ser replicados às demais microrregiões, mesorregiões, outras regionais e nacionalmente, pois tendem a possuir o mesmo comportamento da amostra abordada.

Os técnicos deslocam-se diariamente até as cidades-destino para realizar seu trabalho, conforme a chegada de chamados para assistência técnica. A lógica de distribuição (ou alocação) de chamados aos técnicos de manutenção é efetuada de forma empírica e conforme o conhecimento *tácito* de um colaborador que atua há vários anos na função de *analista de chamados*. Nessa perspectiva, **o enfoque principal deste trabalho direciona-se justamente à abordagem da otimização do processo de alocação dos chamados aos técnicos de manutenção, atentando-se às suas localizações geográficas, com o objetivo de reduzir tempos e custos e de aumentar o número de chamados atendidos mensalmente, aumentando, por conseguinte, a lucratividade da empresa e a satisfação do cliente. Busca-se, também, a ampliação de melhorias que por ventura possam ser decorrentes dessa nova organização.**

O *software* Arena® será utilizado como ferramenta computacional, com o propósito de auxiliar na identificação de restrições e possibilidades de melhorias no processo de atendimento técnico, abrangendo seus tempos e métodos.

A fim de tornar possível a conclusão deste trabalho, serão abordados os chamados relacionados às mesorregiões e microrregiões atendidas pelos três técnicos residentes na cidade de Maringá.

Mais detalhes sobre esses últimos tópicos serão abordados na seção *Desenvolvimento*.

A simulação dinâmica (SD) estará restrita à utilização do *software* Arena®.

1.3 Objetivo geral

Simular dinamicamente o processo para atendimento aos clientes, com serviços de assistência técnica em equipamentos de automação bancária e propor melhorias no sistema, a fim de otimizar tal processo.

1.4 Objetivos específicos

Com a finalidade do desdobramento do objetivo geral em tarefas menores, de menor complexidade e exequíveis, são listadas algumas metas delimitadas no intuito de que seja atingido o objetivo geral, quais sejam:

- ✓ revisar a literatura;
- ✓ delimitar o cenário a ser simulado;
- ✓ compreender e caracterizar o processo a ser abordado;
- ✓ coletar as informações pertinentes, tais como tempos e métodos envolvidos;
- ✓ gerar as tabelas e curvas de dados para alimentar o sistema a ser simulado;
- ✓ criar o modelo do sistema;
- ✓ simular o sistema;
- ✓ criar cenários de análise sistematicamente;
- ✓ armazenar os resultados obtidos;
- ✓ formatar e analisar periodicamente os resultados obtidos;
- ✓ propor melhorias no sistema, com base nos resultados dos cenários simulados.

Após cumprir todos os objetivos específicos (ou metas), será possível agrupá-los, atingindo, dessa forma, o objetivo geral de maneira satisfatória e de acordo com o proposto.

1.5 Sequência lógica do trabalho

Nesta seção serão apresentados brevemente os assuntos tratados em cada capítulo.

Capítulo 1 – Introdução e objetivos do trabalho: esse capítulo inicial apresenta uma breve descrição do mercado e do tema do trabalho. Os objetivos gerais e específicos apresentam as diretrizes para que o propósito do trabalho seja atingido.

Capítulo 2 – Revisão de literatura: o segundo capítulo apresenta os conceitos de todos os assuntos necessários para o desenvolvimento e a compreensão do trabalho, com base em

bibliografia reconhecidamente oficial. Esse capítulo aborda conceitos introdutórios de pesquisa operacional e sua aplicação com simulação; modelagem e simulação de sistemas e suas aplicações; teoria das filas; gráfico de Pareto e o *software* Arena®.

Capítulo 3 – Desenvolvimento: nesse capítulo são descritos a metodologia da pesquisa e seu enquadramento quanto a natureza, abordagem, objetivos, procedimentos técnicos e fontes de informação, além do processo do trabalho como um todo, com a finalidade de atingir os objetivos.

Capítulo 4 – Contextualização do estudo de caso: no quarto capítulo procede-se à delimitação da empresa no cenário geográfico em que ela atua; abordagem dos clientes e equipamentos escolhidos para simular, com suas justificativas; apresentação dos fluxogramas esquemáticos, que servirão de base lógica para construir o modelo a ser simulado.

Capítulo 5 – Dados da modelagem e aplicação: nesse capítulo os olhares são direcionados para a apresentação dos dados reais coletados na empresa abordada, bem como para sua formatação de maneira a serem úteis para a utilização na modelagem e análise de dados; bem como na modelagem e simulação de cenários distintos, com base nos dados reais coletados.

Capítulo 6 – Resultados obtidos: esse tópico contempla a apresentação dos resultados das simulações efetuadas.

Conclusão – apresenta as análises conclusivas do trabalho como um todo.

Referências – apresenta a lista das bibliografias consultadas para a elaboração do trabalho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Pesquisa operacional

De acordo com Winston (2004), pesquisa operacional (PO) (por vezes chamada de *management science*, ou *ciência da gestão* – tradução livre) é uma abordagem científica para a tomada de decisão que busca aperfeiçoar um projeto e explorar um sistema, geralmente sob condições que exigem a alocação de recursos escassos.

Todavia, Silva et al. (2010) destacam que “Pesquisa Operacional é um método científico de tomada de decisões. Em linhas gerais, consiste na descrição de um sistema organizado com o auxílio de um modelo, e através da experimentação com o modelo, na descoberta da melhor maneira de operar o sistema”.

Andrade (2009), por sua vez, afirma que a “Pesquisa Operacional é uma metodologia administrativa cujo arcabouço teórico agrega quatro ciências fundamentais para o processo de preparação, análise e tomada de decisão: a economia, a matemática, a estatística e a informática”.

2.1.1 Origens da pesquisa operacional

As primeiras atividades formais de pesquisa operacional são atribuídas aos serviços militares ingleses na Segunda Guerra Mundial, onde os cientistas britânicos decidiram aplicar decisões com bases científicas para alocar recursos escassos de guerra para as várias operações militares e para as atividades dentro de cada operação de uma forma eficaz (HILLIER, F. S.; LIEBERMAN G. J, 2001). “Após a guerra, as ideias propostas para operações militares foram adaptadas para melhorar a eficiência e a produtividade no setor civil” (TAHA, 2008), o que ocorreu no início da década de 1950, com uma rápida disseminação nos setores comercial, industrial e governamental.

Dois fatores fundamentais para o rápido crescimento da PO nesse período podem ser identificados. O primeiro foi o importante progresso em termos de melhoria das técnicas da PO, desenvolvidas por muitos dos cientistas que participaram da guerra ou os que simpatizavam com o assunto. Um exemplo é o método simplex para solução de problemas com programação linear, desenvolvido em 1947 por George Dantzig. Por consequência, ferramentas-padrão da PO, como programação linear, programação dinâmica, teoria das filas

e teoria do inventário, atingiram estado relativamente bem desenvolvido antes do final daquela década. O segundo fator, extremamente importante para o crescimento desse campo, foi a revolução computacional, pois a PO requer um grande volume de cálculos matemáticos para tratar os problemas, permitindo que a PO ficasse cada vez mais ao alcance das pessoas, principalmente a partir da década de 1980, com o rápido desenvolvimento dos computadores pessoais (HILLIER, F. S.; LIEBERMAN G. J, 2006).

A simulação, portanto, que é uma das últimas técnicas-chave da pesquisa operacional, se destaca como sendo a mais usada delas e envolve o uso do computador para “imitar” (simular) a operação de um inteiro processo ou sistema.

2.1.2 Aplicações da pesquisa operacional

As aplicações da PO podem ser constatadas nas mais diversas áreas da ciência e do mundo empresarial. Devido ao fato de uma empresa sempre buscar o aumento da sua lucratividade por meio de redução de custos, aumento da eficiência de seus processos, aumento da satisfação do cliente, redução de desperdícios, redução do consumo de recursos e vários outros fatores, a PO tem sua extrema importância auxiliando no alcance desses objetivos.

E como a pesquisa operacional frequentemente tem como finalidade encontrar uma melhor solução (conhecida como solução ótima – ou a mais adequada) para um determinado problema, maximizando ou minimizando algo, essa ciência enquadra-se nas demandas citadas.

Algumas aplicações organizacionais de pesquisa operacional, citadas por Hillier e Lieberman (2006), que utilizaram como método a simulação e por consequência as economias geradas pelas respectivas empresas, são demonstradas no Quadro 1.

Quadro 1 - Algumas aplicações da pesquisa operacional

Organização	Natureza da aplicação	Ano da publicação	Economia anual (US\$)
The Netherlands Rijkswaterstaat	Desenvolver a política nacional de gestão de recursos hídricos, inclusive combinação de novas instalações, procedimentos operacionais e tarifas.	1985	15 milhões
IBM	Integrar uma rede nacional de inventários de peças de reposição para melhorar os serviços de suporte.	1990	20 milhões + 250 milhões em decorrência de inventários menores
Yellow Freight System, Inc.	Otimizar o desenho de uma rede nacional de transporte rodoviário e suas rotas.	1992	17,3 milhões
AT&T	Desenvolver um sistema baseado em PCs para orientar clientes comerciais no projeto de <i>call centers</i> .	1993	750 milhões
Taco Bell	Programar, de forma otimizada, a escala de funcionários para fornecer um nível de atendimento ao cliente adequado a um custo mínimo.	1998	13 milhões
Merril Lynch	Desenvolver opções de cotações online diretas e baseadas em ativos para fornecimento de serviço na área financeira.	2002	80 milhões a mais em receita

Fonte: Adaptado de Hillier, 2006.

Dessa forma, percebe-se a expressiva importância do emprego de técnicas de PO, particularmente com uso da simulação nos mais diversos ambientes de negócios e suas substanciais vantagens, a fim de torná-los cada vez mais competitivos e rentáveis.

No tópico a seguir, o assunto modelagem e simulação de sistemas será tratado em detalhes, para que possa ser bem compreendido e também para servir de base para os demais temas tratados neste trabalho.

2.2 Modelagem e simulação de sistemas

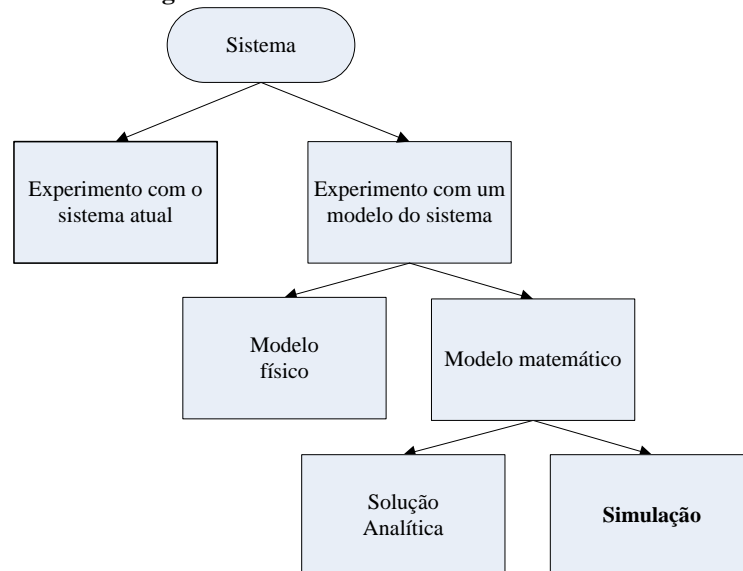
Shmidt e Taylor (1970) *apud* Law e Kelton (2000) afirmam que “um sistema pode ser definido por uma coleção de entidades, como pessoas ou máquinas, que agem e interagem juntos, para a realização de um objetivo final”. Sistemas podem ser classificados como discretos ou contínuos e podem ser analisados por duas formas: experimentação com o sistema atual e experimentação com modelos do sistema.

Um sistema discreto é aquele no qual as variáveis de estado mudam instantaneamente, sem possuir valores intermediários ao longo do tempo. Um exemplo de sistema discreto é a chegada de peças para serem usinadas em um torno.

Um sistema contínuo, por sua vez, pode ser caracterizado como aquele cujas variáveis de estado estão continuamente sofrendo alterações ao longo do tempo. Um exemplo pode ser descrito pelo preenchimento de um balde com água, onde o volume do líquido está constantemente sofrendo alteração.

As diferentes maneiras pelas quais um sistema pode ser estudado são apresentadas na Figura 1.

Figura 1 – Maneiras de estudar um sistema



Fonte: Adaptado de Law e Kelton, 2000.

Na análise por experimentação com o sistema atual todas as mudanças necessárias e suas consequências são implementadas e analisadas no próprio sistema físico existente, no entanto, esse tipo de experimento é consideravelmente custoso e demorado quando comparado ao experimento com um modelo do sistema. Como exemplos de experimentos com modelos físicos podem ser citadas as maquetes de projetos arquitetônicos ou, dentre outros, os protótipos para estudos aerodinâmicos em túneis de vento na indústria automobilística.

No caso da experimentação com modelos do sistema, esses podem ser físicos ou matemáticos e são capazes de realizar simplificações da realidade, com representações em termos lógicos e relações quantitativas, que são manipuladas e mudadas para observar-se como o modelo reage e, assim, como o sistema reagiria (LAW A. M.; KELTON W. D., 2000). Caso um modelo

matemático seja extremamente simples de ser resolvido com, por exemplo, lápis e papel, opta-se por utilizar solução analítica. Entretanto, se essa solução analítica para um modelo matemático torna-se consideravelmente complexa, a ponto de fugir do trivial, torna-se necessário recorrer ao recurso de simulação computacional.

Modelos de um sistema são concebidos por meio de uma abstração da realidade, onde apenas aspectos relevantes do sistema real são considerados (PARAGON, 2012). Segundo Shriber *apud* Freitas Filho (2008), “simulação implica na modelagem de um processo ou sistema, de tal forma que o modelo imite as respostas do sistema real numa sucessão de eventos que ocorrem ao longo do tempo”.

Com base na definição acima, é possível perceber que a simulação de sistemas não necessariamente está ligada a sistemas computacionais, pois na época dos primeiros relatos acerca do assunto ainda não existiam computadores e toda a simulação era feita em papel.

O primeiro *software* de simulação comercial do mundo foi o GPSS (*General Purpose Simulation System*), distribuído pela empresa IBM (*International Business Machines*) e que foi muito popular durante a década de 1960 e o início da década de 1970. A linguagem de programação GPSS teve como um de seus desenvolvedores Thomas J. Shriber, que publicou o livro *Simulation Using GPSS*, em 1974.

A partir dessa época ficou praticamente impossível definir simulação sem relacioná-la com sistemas computacionais. De acordo com Kelton et al. (1998), simulação refere-se a uma ampla coleção de métodos e aplicações e tem como objetivo imitar o comportamento de sistemas reais, executado geralmente em computador, com *software* apropriado.

Law e Kelton (2000) relatam que a simulação computacional é uma das técnicas mais utilizadas da área da pesquisa operacional, na qual se constrói um modelo computacional, que traduz um caso real específico, objetivando o entendimento antecipado do comportamento do sistema em questão. Por meio disso, é possível embasar e apoiar decisões em diversas áreas do conhecimento.

Para Prado (2006, p. 98), a “simulação é a técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital”.

Andrade (2009, p. 123) aponta que “A simulação de um sistema é a operação de um modelo que representa esse sistema, geralmente em computadores, respeitando-se todas as regras e condições reais que o sistema está submetido”.

Outra linguagem de programação voltada para modelagem e simulação de sistemas é o SIMAN, que, além de muito parecido com o GPSS, possibilita que sejam realizadas simulações animadas, por meio do *software* CINEMA.

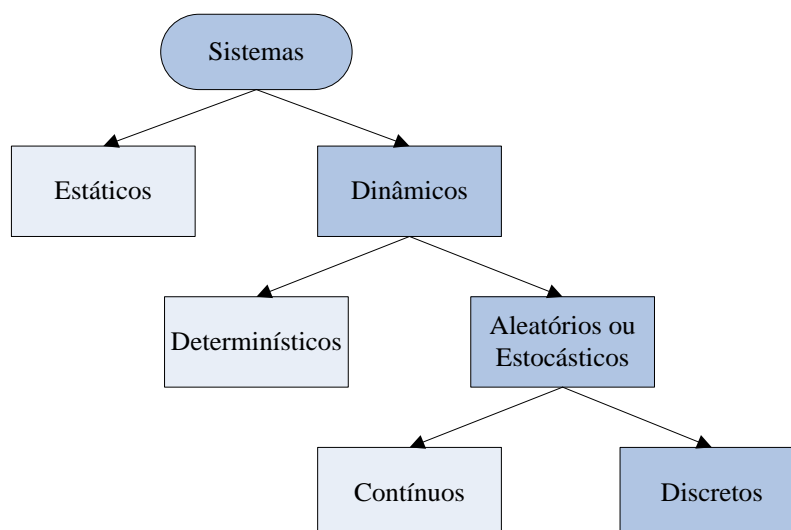
Freitas Filho (2008) relata em seu livro que, em 1992, trouxe dos Estados Unidos para o Brasil uma cópia do SIMAN/CINEMA e que, muito provavelmente, foi a primeira vez que esse *software* foi empregado em uma universidade brasileira, substituindo a já então fora de moda linguagem GPSS.

Em meados do final do ano de 1993, a empresa *Systems Modeling*, então produtora do SIMAN, lança um novo ambiente de simulação: o Arena®, que é até hoje um dos mais populares *softwares* de simulação do mundo, inclusive no Brasil.

2.2.1 Classificação dos sistemas para modelagem e simulação

Modelos de simulação podem ser classificados como estáticos ou dinâmicos, determinísticos ou estocásticos (aleatórios), ou, ainda, como contínuos ou discretos. A Figura 2 representa esquematicamente essa afirmação.

Figura 2 – Classificação dos sistemas para modelagem e simulação



Fonte: Adaptado de Freitas Filho, 2008.

Modelos determinísticos são aqueles que não contêm variáveis aleatórias, ou seja, para um conjunto conhecido de dados de entrada, tem-se um único conjunto de resultados de saída (PARAGON, 2012).

Modelos estocásticos possuem como entrada uma ou mais variáveis aleatórias, que levam a saídas também aleatórias. Pelo menos uma das características operacionais é dada por uma função de probabilidade.

Silva (2010, p. 138) afirma que “a simulação em sistemas que incorporam elementos aleatórios é denominada Simulação Estocástica ou de Monte Carlo, e na prática é viabilizada com o uso de computadores devido à grande massa de dados a ser processada”.

Os simuladores Estocásticos como o Arena, (...) são capacitados a imitar a aleatoriedade do sistema real através de distribuições probabilísticas, as quais representam matematicamente as chances de ocorrência de todos os valores possíveis para um determinado processo do sistema. Em conjunto com um sistema gerador de números aleatórios como o denominado “Método de Monte Carlo”, ou outros, os simuladores estocásticos permitem reproduzir o comportamento do sistema com todas as possibilidades e combinações, e sem limite no período de tempo desejado pelo usuário (PARAGON, 2012).

2.2.2 O Método de Monte Carlo

Von Neumann e Ulam, em 1940, associaram a expressão “análise de Monte Carlo” a uma técnica matemática que utilizaram para resolver problemas de blindagem em reatores nucleares. E, portanto, o uso moderno do termo “simulação” no sentido em que é empregado em pesquisa operacional tem origem nesse trabalho (ANDRADE, 2009).

O Método de Monte Carlo (MMC) teve como origem a revisão de uma técnica matemática, por meio de um trabalho secreto de cientistas envolvidos no desenvolvimento da bomba atômica dos aliados durante a Segunda Guerra Mundial. Suas pesquisas estavam relacionadas à difusão aleatória de nêutrons em material radioativo. Essa técnica recebeu o código de “Monte Carlo” pelos autores Metropolis e Ulam, que a divulgaram em um artigo científico em 1949. Dados gerados artificialmente, a partir do emprego de um gerador de números aleatórios (GNA), e uma distribuição de frequências da variável de interesse são aplicados nessa técnica (FREITAS FILHO, 2008).

2.2.3 Geradores de números aleatórios

Freitas Filho (2008, p. 78) comenta que “Um GNA é um programa computacional que deve ser capaz de gerar valores aleatórios independentes e uniformemente distribuídos (isto é, todos com a mesma probabilidade de ocorrência) no intervalo de 0 a 1” e que todo programa de simulação é dotado de função para geração de números aleatórios, isto é, uma GNA e também uma grande variedade de outras funções matemáticas, descritas como Funções Geradoras de Variáveis Aleatórias (FGVA).

As FGVA são, pelos programas de simulação, utilizadas em todos os tipos de distribuições teóricas de probabilidades. As distribuições teóricas de probabilidades podem possuir diferentes características, como normal, uniforme, triangular, exponencial e algumas outras, que serão, neste trabalho, contempladas mais adiante.

Nesta pesquisa, será utilizada simulação dinâmica, pois se faz necessário obter respostas de um sistema que a todo o momento está desenvolvendo alterações e atualizações de estado. Nesse sentido, serão, a seguir, apresentadas algumas terminologias utilizadas em simulação de sistemas.

2.2.4 Variáveis de estado

Segundo Freitas Filho (2008), “as variáveis de estado constituem o conjunto de informações necessárias à compreensão do que está ocorrendo no sistema”. O autor afirma, ainda, que são os valores dessas variáveis que determinam o estado de um sistema. A execução de um programa de simulação somente poderá ser retomada após ser interrompida, se e somente se os valores de todas as variáveis de estado forem conhecidos no momento exato da interrupção.

Alguns exemplos de variáveis de estado são:

- número de clientes aguardando para serem atendidos, na fila de um caixa de banco;
- número de peças aguardando em uma fila para serem processadas em uma máquina;
- o estado de uma máquina: ocupada ou livre;
- número de tarefas aguardando na fila de uma CPU (*Central Processing Unit*) de um servidor, para serem processadas etc.

2.2.5 Eventos

Eventos são ocorrências ou acontecimentos que podem ou não ser programados. Sempre que um evento ocorre, pelo menos uma variável de estado é alterada.

2.2.6 Entidades e atributos

Segundo Freitas Filho (2008), “em se tratando de modelagem e simulação de sistemas, uma entidade representa um objeto que necessita de uma clara e explícita definição. Ela pode ser dinâmica, movendo-se através do sistema, ou estática, servindo a outras entidades”.

As características das entidades são chamadas de atributos. Entidades semelhantes possuem os mesmos atributos e são exatamente esses atributos que as diferenciam entre si. Por exemplo, uma entidade que é processada em uma máquina é chamada de peça e os atributos da entidade peça podem ser a cor, o peso, ou o tempo de processamento em uma determinada máquina.

Observa ainda Freitas Filho (2008) que “o uso de atributos permite não apenas caracterizar e individualizar entidades, como também possibilita a obtenção de estatísticas importantes para quem deseja analisar o comportamento dos sistemas sob investigação”.

2.2.7 Recursos e filas de recursos

O autor afirma, ainda, que “um recurso é considerado uma entidade estática que fornece serviços às entidades dinâmicas. Um recurso pode ter a capacidade de servir uma ou mais entidades dinâmicas ao mesmo tempo, operando como um servidor paralelo”.

Podem ser citados como exemplo de recurso os funcionários necessários para carregar uma caixa pesada (entidade), de um ponto a outro do processo produtivo. Esses funcionários (recursos) podem servir também a outras entidades, como por exemplo a operação de uma máquina, em outro ponto do processo, em um horário distinto.

Caso uma entidade não puder fazer uso de um recurso em um determinado instante, ela deverá aguardar por ele em uma fila.

Na visão de Freitas Filho (2008), o gerenciamento de uma fila depende das políticas operacionais adotadas no sistema ou no modelo que o representa. “A política de tratamento de

filas mais comum é a FIFO (sigla em inglês para *first in, first out*), onde o primeiro a chegar à fila será o primeiro a ser atendido pelo recurso”.

Os estados mais comuns para recursos são o de ocupado e de livre; no entanto, estados como indisponível, bloqueado, falhado etc., também podem ser definidos.

2.3 Teoria das filas

É praticamente impossível encontrar alguém que desconheça o que são filas, formadas e utilizadas nas mais diversas situações do dia a dia, tais como quando se aguarda para pagar as compras em um supermercado, para pagar pedágio em uma estrada, para ser atendido em um banco, pagar a conta no restaurante e em muitas outras situações cotidianas.

Filas também são formadas em indústrias, onde peças ficam aguardando para serem processadas. Sistemas computacionais também formam filas, mas de processos a serem executados pela unidade central. Enfim, existem inúmeros tipos de fila que podem ser citados como exemplo. É muito desagradável quando uma fila torna-se importuna para os elementos que se encontram nela, razão pela qual se faz necessário um gerenciamento desta, a fim de minimizar seus efeitos maléficos e implicações negativas ao sistema.

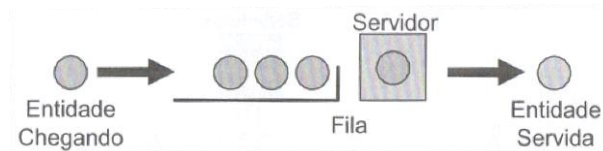
Foi devido a essas necessidades que o matemático dinamarquês A. K. Erlang, enquanto trabalhava na Cia. Telefônica de Copenhage, entre 1909 e 1917, começou a aplicar teoria de probabilidades a problemas de tráfego de telefonia, com o propósito de dimensionar uma quantidade ideal de linhas telefônicas e de telefonistas para que o tamanho das filas de espera por uma ligação fosse reduzida. Hoje em dia em praticamente todo o processo ou sistema que envolva, de alguma forma, a possibilidade de formação de filas, essa teoria é aplicada (FREITAS FILHO, 2008).

Prado (2004, p. 18) destaca que “a modelagem de sistemas pode ser feita por duas abordagens inteiramente diferentes entre si: Teoria das filas e Simulação”. Apesar de a modelagem do estudo de caso deste trabalho ser feita baseando-se em simulação, é muito importante abordar alguns conceitos básicos da teoria das filas, pois o *software* Arena® baseia-se em filas para sua execução.

2.3.1 Terminologia e notação básica da teoria das filas

Tem-se como os principais componentes de um sistema de fila: servidores (um ou mais provedores de algum tipo de serviço) e área de espera (a fila propriamente dita) para as entidades (ou clientes) que estiverem esperando para serem servidas (FREITAS FILHO, 2008). O aspecto estático de uma fila, representado na Figura 3, é apenas uma representação de uma situação dinâmica, onde o tamanho da fila sofre variações aleatórias com tempo e em função das chegadas de clientes que são servidos e deixam o sistema (GUNTHER, 2000 *apud* FREITAS FILHO, 2008).

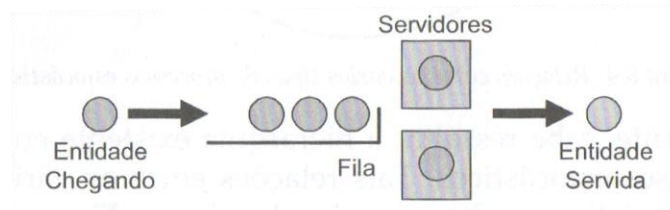
Figura 3 – Representação simbólica de um sistema de fila simples: FIFO



Fonte: Freitas Filho (2008)

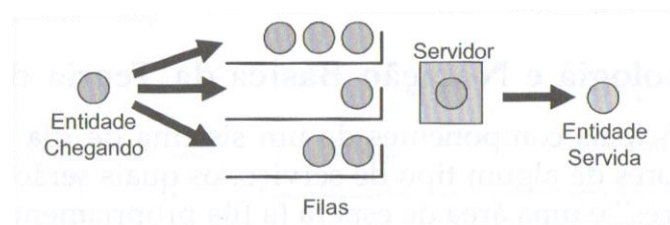
Esse modelo de fila apresentado na Figura 3 pode apresentar variações quanto a seus elementos, suas regras de operação e o comportamento das variáveis aleatórias ali presentes. Essas variações do modelo são apresentadas nas Figuras 4, 5 e 6.

Figura 4 – Centro com uma fila e múltiplos servidores



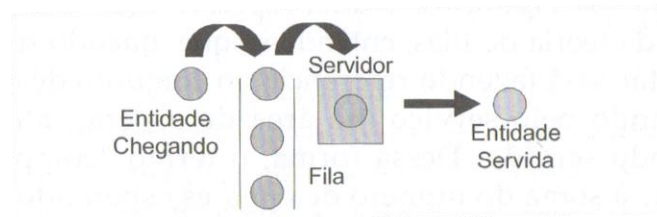
Fonte: Freitas Filho (2008)

Figura 5 – Centro com múltiplas filas e um servidor



Fonte: Freitas Filho (2008)

Figura 6 – Sistema de fila com regra de atendimento LIFO



Fonte: Freitas Filho (2008)

2.3.2 Notação de Kendall

Com o intuito de representar as características ou parâmetros físicos de uma fila, utiliza-se a Notação de Kendall. Essa notação possui a forma $A/S/m/B/K/SD$, onde:

- A:** distribuição do tempo de chegada (distribuição de probabilidades dos períodos de tempo decorridos entre as chegadas de clientes no sistema de fila);
- S:** distribuição do tempo de serviço (distribuição de probabilidade dos períodos de tempo de serviço para cada cliente servido);
- m:** número de servidores (quantidade de servidores disponíveis);
- B:** capacidade do sistema ou tamanho da fila (número máximo de clientes que podem entrar e permanecer na fila. Em geral, é finito. Quando a capacidade é muito grande, pode-se simplificar a análise considerando-se um sistema com capacidade infinita);
- K:** tamanho da população (número total de clientes que, potencialmente, podem vir a utilizar os recursos do sistema da fila. Para os sistemas reais, esse número é, em geral, finito. Para fins de facilidade de modelagem e tratamento, é comum, se este número é grande, considerar o tamanho da população como infinito);
- SD:** disciplina de serviço (a ordem como os clientes aguardam para acessar os serviços. A disciplina mais comum é a do tipo FIFO. Outros tipos de disciplinas de fila podem ser empregados, tais como LIFO, randômico, menor tempo de serviço primeiro (SPTF – na sigla em inglês));

Os tipos de distribuição para os tempos de chegada (**A**) e de serviço (**S**) costumam ser representados pela seguinte nomenclatura:

- M:** exponencial (ou processo de Poisson) – a notação *M* vem do inglês *memoryless*;

E_k : erlang com parâmetro k ;

H_k : hiperexponencial com parâmetro k ;

D: determinística;

G: geral.

Quando a distribuição é especificada como geral, o modelo teórico não é especificado e os resultados são válidos para todas as distribuições estatísticas. A distribuição determinística é aquela em que os tempos são constantes e com variância zero. Quando não especificados, a capacidade do sistema (**D**) e o tamanho da população (k) são considerados infinitos, enquanto que o tipo de disciplina de serviço (**SD**) é considerado como FIFO. Finalizando, as chegadas são entendidas como sendo individuais, isto é, os clientes não chegam agrupados, mas individualmente (FREITAS FILHO, 2008).

Se tivermos um caso de notação de Kendall como sendo $M/M/1/\infty/\infty/\text{FIFO}$, suas características serão:

A	S	m	B	K	SD
M	M	1	∞	∞	FIFO

- Disciplina de serviço do tipo "o primeiro a chegar é o primeiro a ser atendido"
- População ilimitada
- Tamanho da fila (capacidade do sistema) sem limitações
- Servidor único
- Tempo de serviço com distribuição exponencial
- Tempos entre chegadas com distribuição exponencial

Quando essa notação é aplicada, comumente aplica-se uma forma ainda mais reduzida para representar o sistema caso os três últimos parâmetros forem $\infty/\infty/\text{FIFO}$. Assim, eles simplesmente são ocultados e a notação fica M/M/1 (o modelo mais empregado) (FREITAS FILHO, 2008).

2.4 Gráfico de Pareto

O gráfico de Pareto (ou curva ABC) é um gráfico de barras verticais que dispõe a informação de modo a tornar evidente e visual a priorização de problemas e projetos, e também permite o estabelecimento de metas numéricas viáveis de serem alcançadas (WERKEMA, 1995).

Os itens apontados no gráfico de Pareto podem ser classificados em duas categorias: os “poucos vitais” e os “muitos triviais”. “Os *poucos vitais* representam um pequeno número de problemas, mas que no entanto resultam em grandes perdas para a empresa. Já os *muitos triviais* são uma extensa lista de problemas, mas que apesar de seu grande número, convertem-se em perdas pouco significativas” (WERKEMA, 1995, grifo do autor).

Por fim, “o gráfico de Pareto dispõe a informação de forma a permitir a concentração dos esforços para melhoria nas áreas onde os maiores ganhos podem ser obtidos” (WERKEMA, 1995).

2.4.1 Tipos de gráficos de Pareto

Os gráficos de Pareto são classificados em dois tipos: para efeitos e para causas.

O gráfico de Pareto para efeitos pode ser utilizado para detectar problemas relacionados às cinco dimensões da qualidade total:

- ✓ Qualidade;
- ✓ Custos;
- ✓ Entrega;
- ✓ Moral;
- ✓ Segurança.

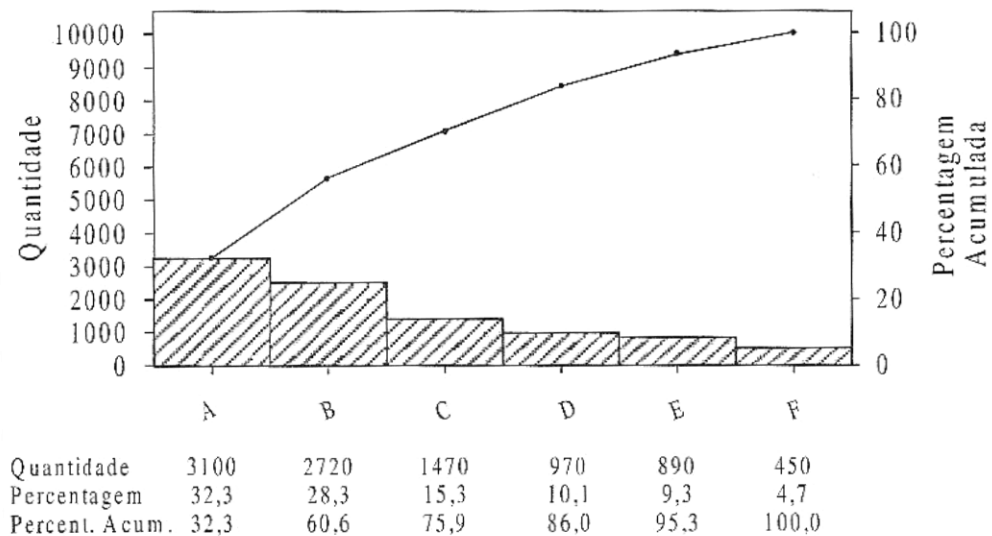
Já o gráfico de Pareto para causas é utilizado na identificação das principais causas de um problema. Essas causas são relacionadas a:

- ✓ Equipamentos;
- ✓ Insumos;

- ✓ Informações de processos ou medidas;
- ✓ Condições ambientais;
- ✓ Pessoas;
- ✓ Métodos ou procedimentos.

A Figura 7 apresenta o gráfico de Pareto para causas.

Figura 7 – Gráfico de Pareto para causas



Legenda:

- | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| A = Troca de ferramentas | D = Ocorrência de defeitos elétricos |
| B = Falta de material refrigerante | E = Falta de estoque de matéria-prima |
| C = Ocorrência de defeitos mecânicos | F = Outros |

Fonte: Werkema, 1995.

2.5 O software Arena®

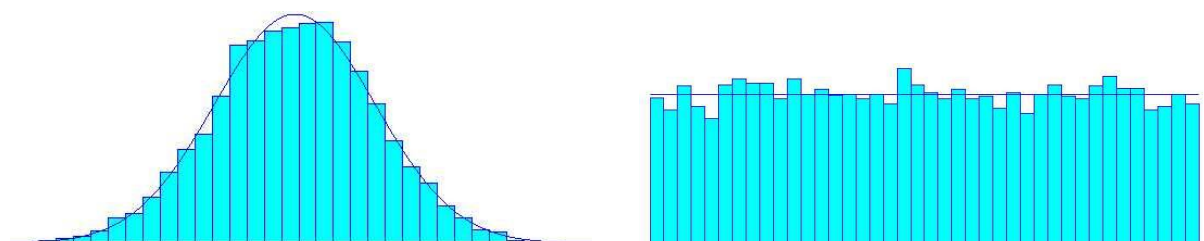
Lançado nos Estados Unidos da América em 1993 pela Systems Modeling, o Arena® sucedeu o SIMAN e CINEMA. Hoje, é um dos mais populares *softwares* de simulação utilizados, tanto no Brasil, como no resto do mundo, tanto em empresas quanto em universidades (PRADO, 2004; FREITAS FILHO, 2008). A versão atual é produzida pela empresa Rockwell Software (parte da Rockwell Automation), que incorporou a System Modeling em 1998 e hoje é distribuída pela empresa Paragon.

“O Arena® é um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém todos os recursos para modelagem de processos, desenho & animação, análise estatística e análise de resultados” (PARAGON, 2012). Esse software possui um conjunto de blocos (ou módulos) que são utilizados para se descrever uma aplicação real. Utilizando uma *interface* gráfica para o

usuário (ou GUI – *Graphical User Interface*) o Arena® simplifica bastante o processo de construção dos modelos. Além disso, ainda possui duas ferramentas de muita utilidade: o analisador de dados de entrada (*Input Analyzer*) e o analisador de resultados (*Output Analyzer*) (PRADO, 2004).

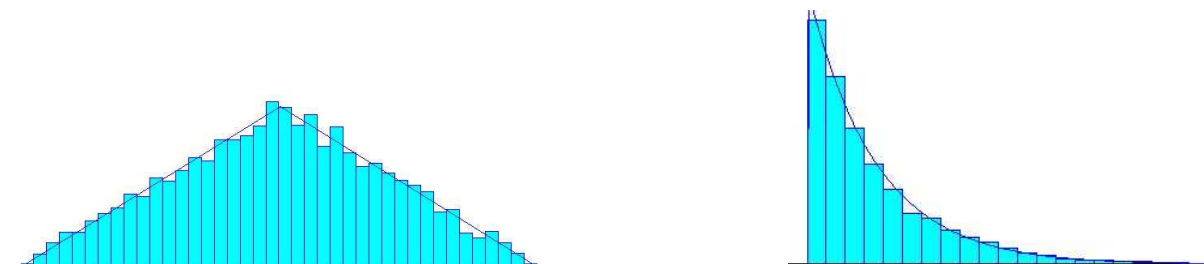
O *Input Analyzer* permite analisar dados reais do funcionamento do processo e determinar automaticamente qual distribuição de probabilidade estatística melhor representa o conjunto de dados apresentado. Essa distribuição pode ser incorporada diretamente ao modelo. O tratamento estatístico dos dados analisados por esse recurso pode ser adequado tanto a distribuições de probabilidades contínuas quanto a discretas. As principais distribuições de probabilidades contínuas são: Normal, Uniforme, Triangular, Exponencial, Lognormal, Erlang, Gamma, Beta e Weibull. Por sua vez, as principais distribuições de probabilidades discretas são: Poisson, Uniforme Discreta, Empírica Contínua, Empírica Discreta e Johnson. As representações gráficas das distribuições de probabilidades contínuas citadas são apresentadas nas Figuras 8 a 12.

Figura 8 – Gráficos de distribuições normal e uniforme



Fonte: adaptado do tutorial do *software* Arena®

Figura 9 – Gráficos de distribuições triangular e exponencial



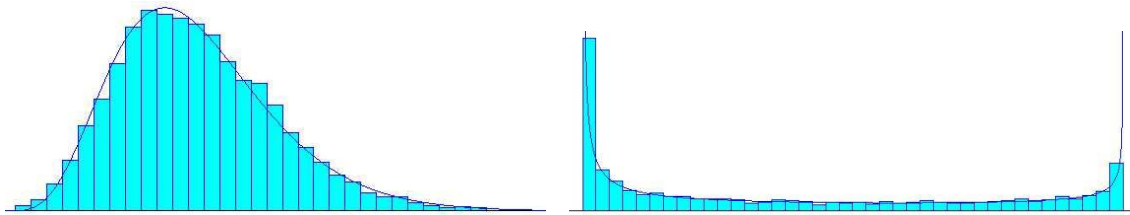
Fonte: adaptado do tutorial do *software* Arena®

Figura 10 – Gráficos de distribuições lognormal e erlang



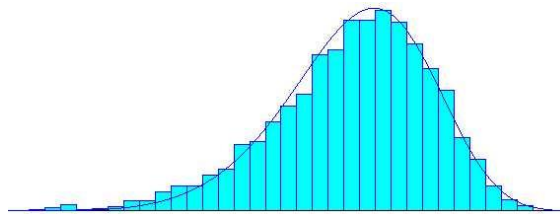
Fonte: adaptado do tutorial do *software* Arena®

Figura 11 – Gráficos de distribuições gamma e Beta



Fonte: adaptado do tutorial do *software* Arena®

Figura 12 – Gráfico de distribuição Weibull



Fonte: adaptado do tutorial do *software* Arena®

O *Output Analyzer* é uma ferramenta com inúmeros recursos que permitem analisar dados coletados durante a simulação (podendo tal análise ser gráfica) e ainda possui recursos para efetuar importantes comparações e análises estatísticas, como intervalos de confiança, análise de variância, testes de aderência e comparações de múltiplos sistemas.

A tela principal do Arena® é mostrada na Figura 13, na qual são apresentados seus principais módulos e funcionalidades, tais como “área de trabalho”, “barra de *templates*”, “menu principal e barra de ferramentas” e “área de planilha”.

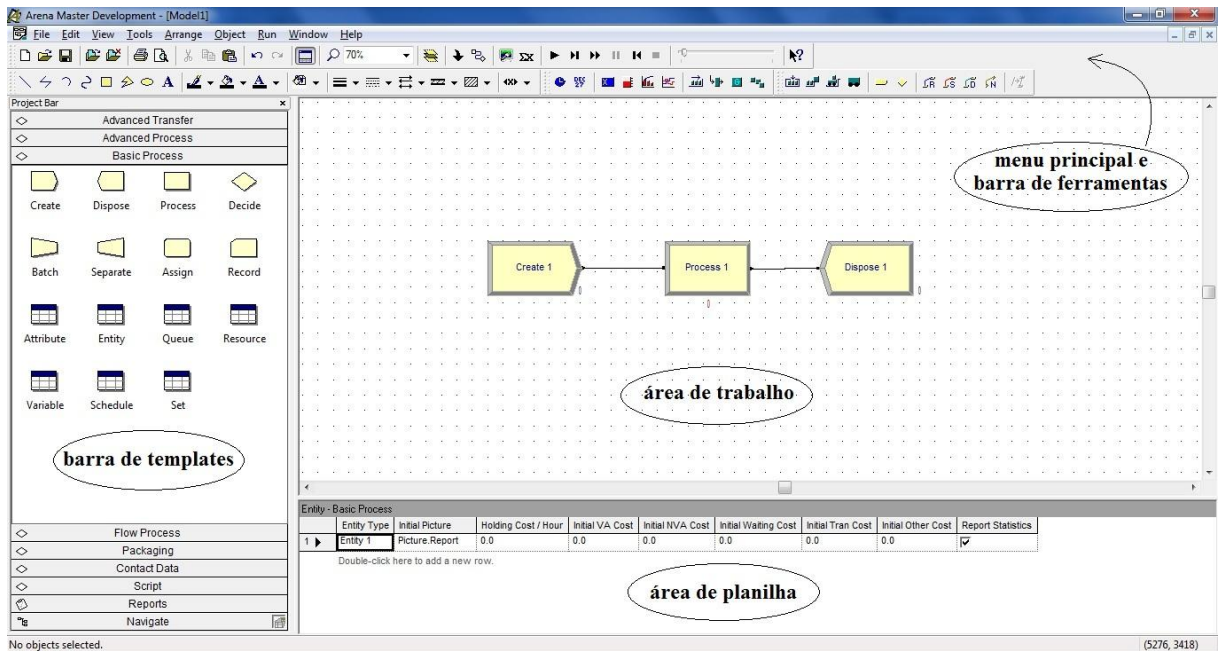
Na área de trabalho (ou *contents Area*) serão inseridos todos os módulos e suas conexões lógicas necessárias à construção e simulação de um modelo, em formato de fluxograma e também de animação.

Os campos que reúnem os módulos usados para a construção do modelo são chamados de *templates* (Figura 14) e são de dois tipos:

- módulos de fluxo: usados para estabelecer interconexões e criar o fluxo de processo;

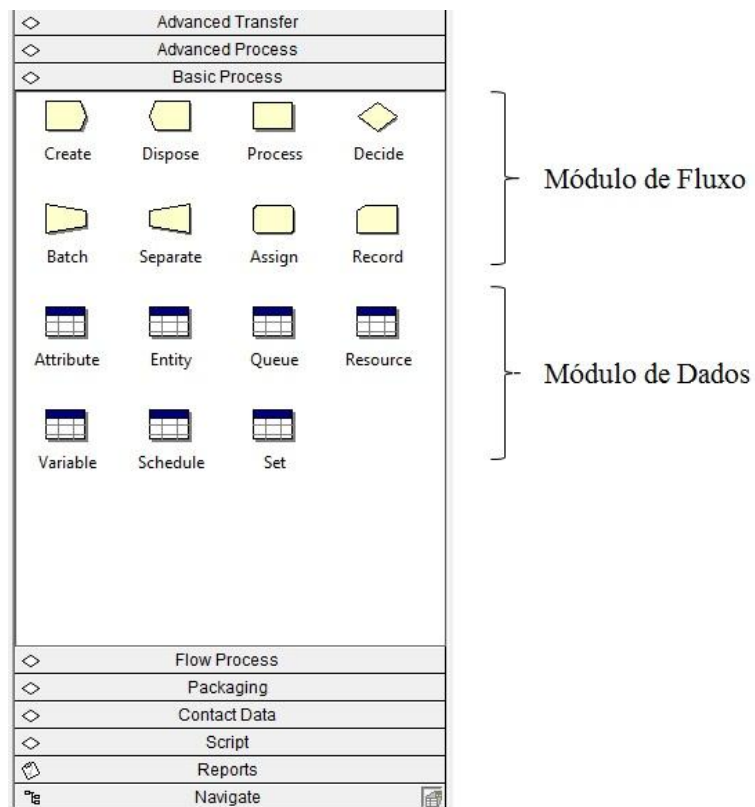
- módulos de dados: usados para editar, inserir e excluir as especificações de cada elemento do fluxo.

Figura 13 – Tela principal do Arena®



Fonte: Primária

Figura 14 – Barra de templates



Fonte: Primária

Na área de planilha são mostrados os detalhes daquele módulo que se ativou na área de trabalho ou na barra de *templates*, sendo possível alterar os parâmetros do fluxo do modelo nesse espaço.

Os demais recursos do Arena®, como testes de aderência, análise de resultados, relatórios e outros, serão vistos e tratados em momentos oportunos, durante o desenvolvimento deste trabalho.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Metodologia

Segundo Gil (2002), uma pesquisa pode ser definida como um procedimento racional e sistemático que tem como objetivo procurar respostas aos problemas propostos.

Este capítulo apresentará o estudo dos métodos utilizados para desenvolver o trabalho aplicado à simulação dinâmica do sistema proposto e esta pesquisa acadêmica será classificada de acordo com sua *natureza, abordagem do problema, objetivos, procedimentos técnicos e fontes de informação*.

Quanto à natureza, a pesquisa classifica-se como aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigida à solução de problemas específicos. Quanto à abordagem do problema, classifica-se como quantitativa, utilizando-se de quantificação tanto na coleta de dados quanto na utilização de técnicas estatísticas para o tratamento destes, procurando descobrir e classificar a relação de causalidade entre as variáveis das hipóteses estabelecidas, bem como estabelecer a causalidade entre fenômenos.

No que diz respeito aos objetivos, é classificada como exploratória, pois visa proporcionar maior familiaridade com o problema, explicitando-o e construindo hipóteses. Já em relação aos procedimentos técnicos, trata-se de um estudo de caso, pois é um estudo aprofundado e exaustivo de um caso específico e relevante pelo potencial de abrangência, permitindo um detalhado conhecimento do caso.

As fontes de informação para desenvolver este estudo serão a coleta de dados em campo e em laboratório. Para tal, a base de dados do sistema de chamados técnicos da empresa em questão será consultada, tratada e analisada. Informações de alguns colaboradores da empresa envolvidos no processo também serão muito valiosas para compor as fontes de informação.

O cenário a ser simulado será delimitado a apenas clientes atendidos pela empresa Brasil S/A, pois, após essa amostra ser replicada ao todo, a análise global será verdadeira.

Além da experiência de campo do autor, maiores detalhes acerca do processo abordado neste trabalho serão obtidos por meio de consultas e reuniões com gestores e com colaboradores mais experientes da empresa.

Os tempos e métodos envolvidos na modelagem serão consultados no sistema integrado de gestão empresarial (ERP – *Enterprise Resource Planning*) da empresa Brasil S/A, abrangendo um histórico de um ano de trabalho. Consultas de informações com a gerência e colaboradores da empresa também serão necessárias. Após a coleta desses dados e informações, serão geradas as tabelas e curvas estatísticas que servirão de fontes de informação para o modelo a ser simulado.

Será utilizado o *software* Arena® (versão 13.9) para o desenvolvimento do fluxograma do modelo e sua simulação. As curvas estatísticas serão geradas utilizando-se o recurso *Input Analyzer* do Arena®, o qual é capaz de encontrar e ajustar automaticamente a distribuição de frequências adequada para cada grupo de dados coletado. Alguns cenários distintos (baseados no modelo criado) serão simulados sistematicamente, com a finalidade de construir hipóteses para modificar o processo real.

A escolha pela utilização do *software* Arena® para o desenvolvimento deste trabalho foi motivada por ser este um dos mais populares *softwares* de simulação do mercado; pelo curso de Engenharia de Produção da Universidade Estadual de Maringá já utilizar esse *software* há um tempo considerável; pelo fato de o autor deste trabalho ter conhecimento básico prévio da ferramenta e pelo alto custo que implicaria eventual aprendizado de outro *software* de mesmo propósito.

Segundo o ponto de vista de Winston (2004), o processo de simulação consiste, geralmente, nos seguintes estágios:

1. Formular o problema.
2. Coletar dados e desenvolver um modelo.
3. Informatizar o modelo.
4. Verificar o modelo informatizado.
5. Validar o modelo de simulação.
6. Desenhar o experimento.
7. Realizar a execução da simulação.
8. Documentar e implementar.

Para o presente trabalho, pretende-se executar os passos um a oito. A implementação poderá ser abordada em um trabalho futuro e dependerá dos resultados obtidos neste estudo, bem como da aceitação dos colaboradores a nível gerencial e estratégico da organização.

4 CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

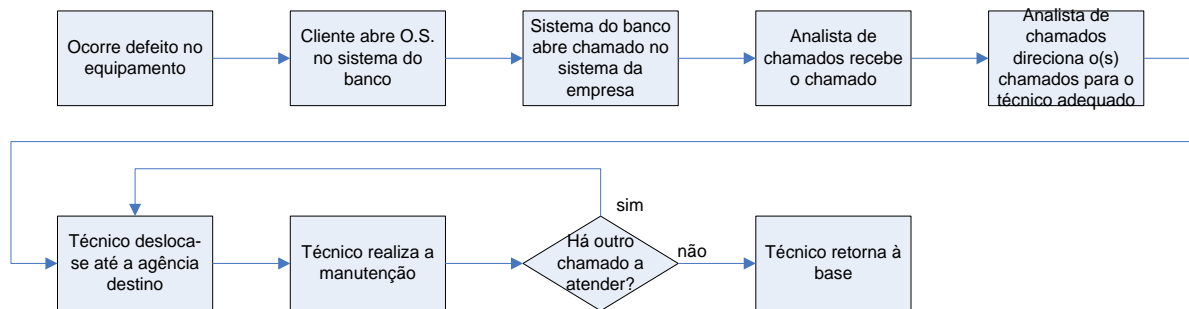
4.1 Esquemas do processo

Conforme relatado no tópico “Definição e delimitação do problema”, da Introdução, a modelagem e simulação abordará o processo de atendimento dos chamados técnicos, abrangendo desde a detecção de defeito no equipamento até o término do conserto deste (sendo que o conserto é feito no cliente). Isso envolve deslocamentos dentro da cidade de origem do técnico de manutenção (ou técnico residente – TR) e, na maioria das vezes, deslocamentos intermunicipais. Portanto, serão considerados os tempos e métodos envolvidos nesse processo, que está detalhado a seguir.

- 1) assim que um defeito em um equipamento é detectado pelo cliente (geralmente um dos gerentes da agência), esse realiza a abertura de uma ordem de serviço no sistema do banco (servidor alocado em Brasília - DF). Nesse momento, uma ordem de serviço (OS) é gerada pelo sistema, contendo dados como: número patrimonial e tipo do equipamento, data e hora da geração da OS, nome e matrícula do solicitante, defeito reclamado, identificação do cliente e outras informações irrelevantes neste momento;
- 2) automaticamente, o sistema do banco realiza a abertura de um chamado técnico no sistema ERP (*Enterprise Resource Planning*) da empresa Brasil S/A (servidor alocado no Rio de Janeiro - RJ), com a qual possui contrato de manutenção para seus equipamentos;
- 3) esse chamado é visualizado pelo controlador de chamados da filial (alocado em Londrina - PR), que o direciona para o TR adequado, por meio do aplicativo *OSMobile*, instalado no telefone celular do TR;
- 4) o TR, por sua vez, desloca-se para o cliente de destino para realizar a manutenção (que pode ser na sua cidade de origem ou em outra cidade);
- 5) estando no cliente, o TR efetua a manutenção do equipamento, gastando o tempo necessário para tal, de acordo com o tipo de equipamento;
- 6) o TR retorna para sua base ou desloca-se até o próximo cliente, caso necessário;

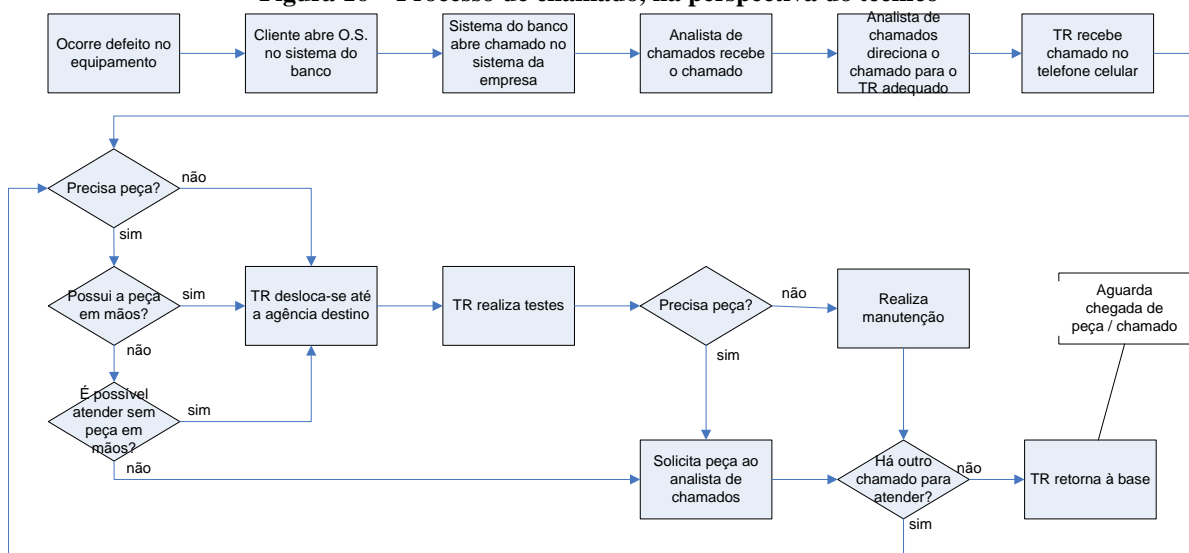
Mais detalhes do processo estão abordados a seguir. A Figura 15 apresenta o fluxograma com o esquema geral de abertura de chamados técnicos e a Figura 16 apresenta o fluxograma com o esquema desse chamado técnico, na perspectiva do TR.

Figura 15 – Esquema geral de abertura de chamados



Fonte: Primária

Figura 16 – Processo de chamado, na perspectiva do técnico



Fonte: Primária

4.2 Abrangência dos serviços

Os dois técnicos residentes em Maringá (ano base 2011) são responsáveis por atender clientes localizados em algumas cidades da mesorregião Noroeste paranaense e algumas da mesorregião Norte Central paranaense. Dessa forma, esses dois técnicos atendem mais de cinquenta clientes, amostra consideravelmente significativa no que diz respeito à simulação.

A relação das cidades atendidas por esses técnicos está descrita no Quadro 2. As localizações geográficas desses clientes são demonstradas simplificada e no esquema em rede da Figura 18 (Capítulo 5).

Quadro 2 – Cidades atendidas pela equipe de Maringá

Mesorregião	Microrregião	Cidade
Noroeste paranaense	Paranavaí	1 Alto Paraná
		2 Amaporã
		3 Diamante do Norte
		4 Guairaçá
		5 Inajá
		6 Itaúna do Sul
		7 Loanda
		8 Nova Aliança do Ivaí
		9 Nova Londrina
		10 Paraíso do Norte
		11 Paranacity
		12 Paranapoema
		13 Paranavaí
		14 Planaltina do Paraná
		15 Porto Rico
		16 Querência do Norte
		17 Santa Cruz de Monte Castelo
		18 Santa Isabel do Ivaí
		19 São Carlos do Ivaí
		20 São João do Caiuá
		21 Tamboara
		22 Terra Rica
	Cianorte	23 Cianorte
		24 Indianópolis
		25 Japurá
		26 Jussara
		27 Rondon
		28 São Tomé
		29 Tapejara
Norte Central paranaense	Astorga	30 Ângulo
		31 Astorga
		32 Atalaia
		33 Colorado
		34 Iguaraçu
		35 Itaguajé
		36 Lobato
		37 Mandaguacu
		38 Nova Esperança
		39 Presidente Castelo Branco
		40 Santa Fé
		41 Santo Inácio
		42 Uniflor
		Floraí
	44 Floraí	
	45 Floresta	
	46 Itambé	
	47 Ivatuba	
	48 Ourizona	
	49 São Jorge do Ivaí	
	Maringá	50 Mandaguari
		51 Marialva
		52 Maringá
		53 Paiçandu
		54 Sarandi
	Apucarana	55 Jandaia do Sul
	Faxinal	56 Bom Sucesso
	Ivaiporã	57 São João do Ivaí
58 São Pedro do Ivaí		

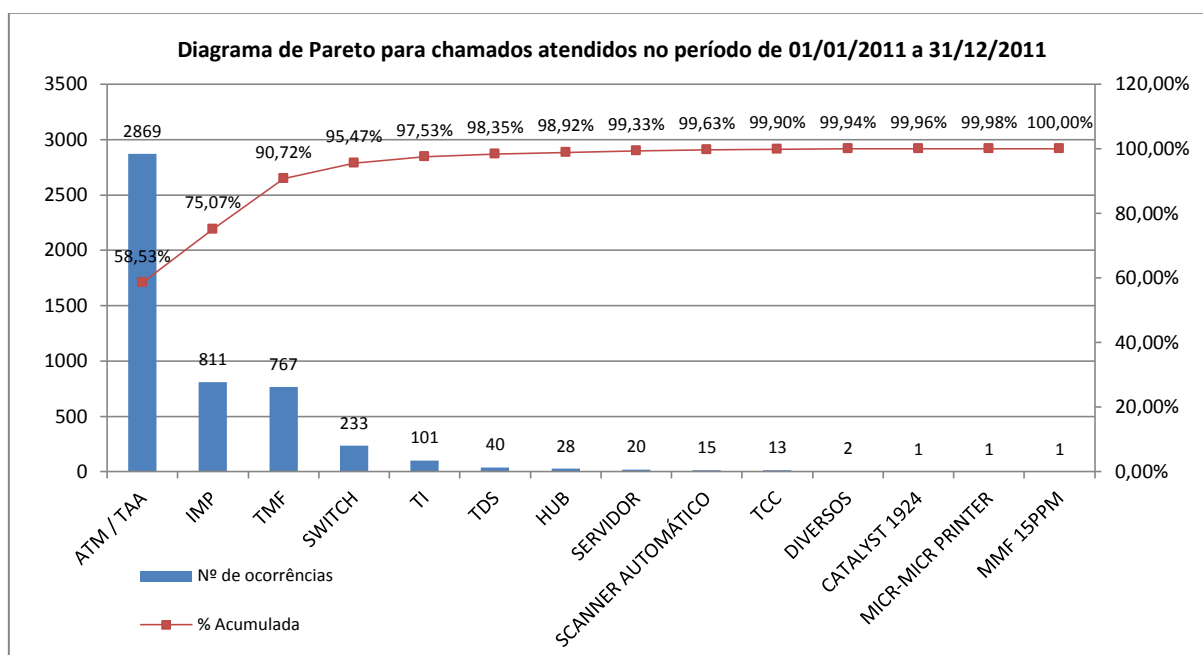
Fonte: Primária

4.3 Escolha do grupo de equipamentos a simular

O parque tecnológico atendido pela empresa Brasil S/A é composto por diversos tipos de equipamentos distintos, mas há um grupo de equipamentos que representa a grande maioria dos chamados técnicos atendidos pela empresa.

A Figura 17 apresenta, na forma de diagrama de Pareto, esse grupo predominante de equipamentos atendidos.

Figura 17 – Diagrama de Pareto para os equipamentos atendidos



Fonte: Primária

Conforme pode ser visualizado no diagrama de Pareto da Figura 17, o grupo de equipamentos que representou mais de 90% dos atendimentos, durante o ano de 2011, foi composto por terminal de autoatendimento (ATM/TAA), impressora (IMP) e terminal de múltiplas funções (TMF). A modelagem e simulação do sistema serão baseados nesse grupo mais significativo de equipamentos.

A fonte de dados para gerar o gráfico da Figura 17 foi o sistema para controle de chamados (Oracle® ERP) da empresa Brasil S/A. Os dados foram coletados em formato HTML (*Hypertext Markup Language*) e exportados para planilha eletrônica. Posteriormente, gerou-se o gráfico. Destaca-se, nesse sentido, que a tabela da planilha gerada não será apresentada neste trabalho, uma vez que possui mais de quatro mil linhas.

5 DADOS DA MODELAGEM E APLICAÇÃO

Neste tópico serão abordados os dados necessários para alimentar o modelo a ser simulado com o *software* Arena®, tais como: as distâncias envolvidas no processo e os tempos necessários para percorrê-las; tempos de atendimento em chamados técnicos e demais tempos e métodos considerados relevantes.

5.1 Distâncias entre os clientes

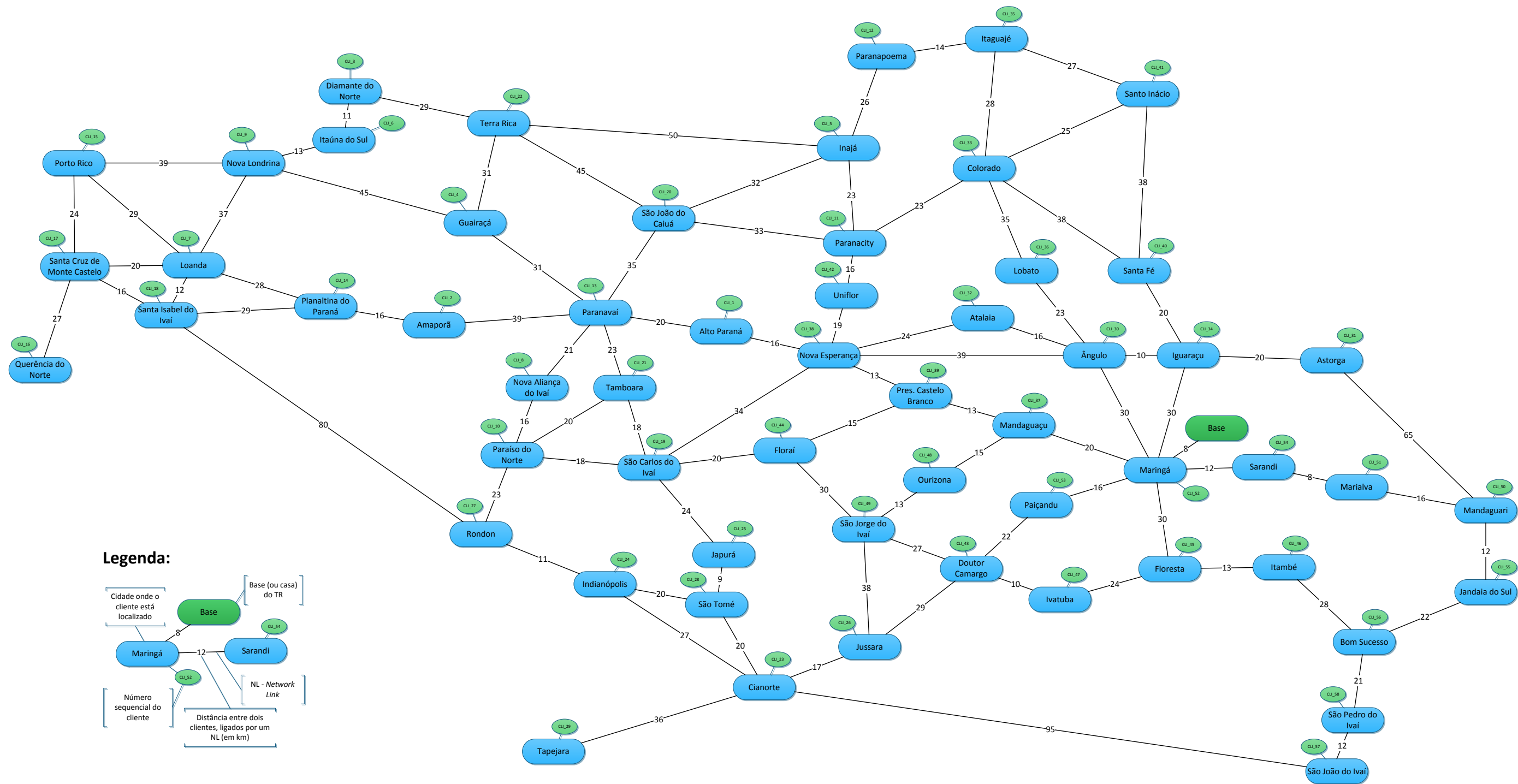
O *software* Arena® necessita da informação das distâncias entre as estações (clientes) que serão atendidas, bem como o relacionamento entre elas. Dessa forma é possível obter o tempo gasto para percorrer os trechos percorridos, com base na velocidade do transportador utilizado. As distâncias apresentadas são em quilômetros.

Como pode ser visualizado na Figura 18, é formado um esquema de rede representando os relacionamentos entre os clientes atendidos pelos dois TRs de Maringá. Esse tipo de esquema é denominado de *Network* pelo Arena® e o segmento que liga uma cidade à outra é referenciado como *Network Link*.

Como forma de simplificar a modelagem no Arena®, as cinquenta e oito cidades atendidas foram agrupadas em dez áreas distintas, como pode ser visualizado na Figura 19.

As áreas, representadas por “Área 1” até “Área 10”, possuem como referência a principal cidade de cada agrupamento. As distâncias entre as áreas foram obtidas das distâncias entre os pontos médios de cada área formada (valor aproximado). O número de chamados técnicos de cada área equivale ao somatório dos chamados de cada cidade compreendida por aquela área. O esquema das áreas pode ser verificado na Figura 20.

Figura 18 – Rede de distâncias entre clientes

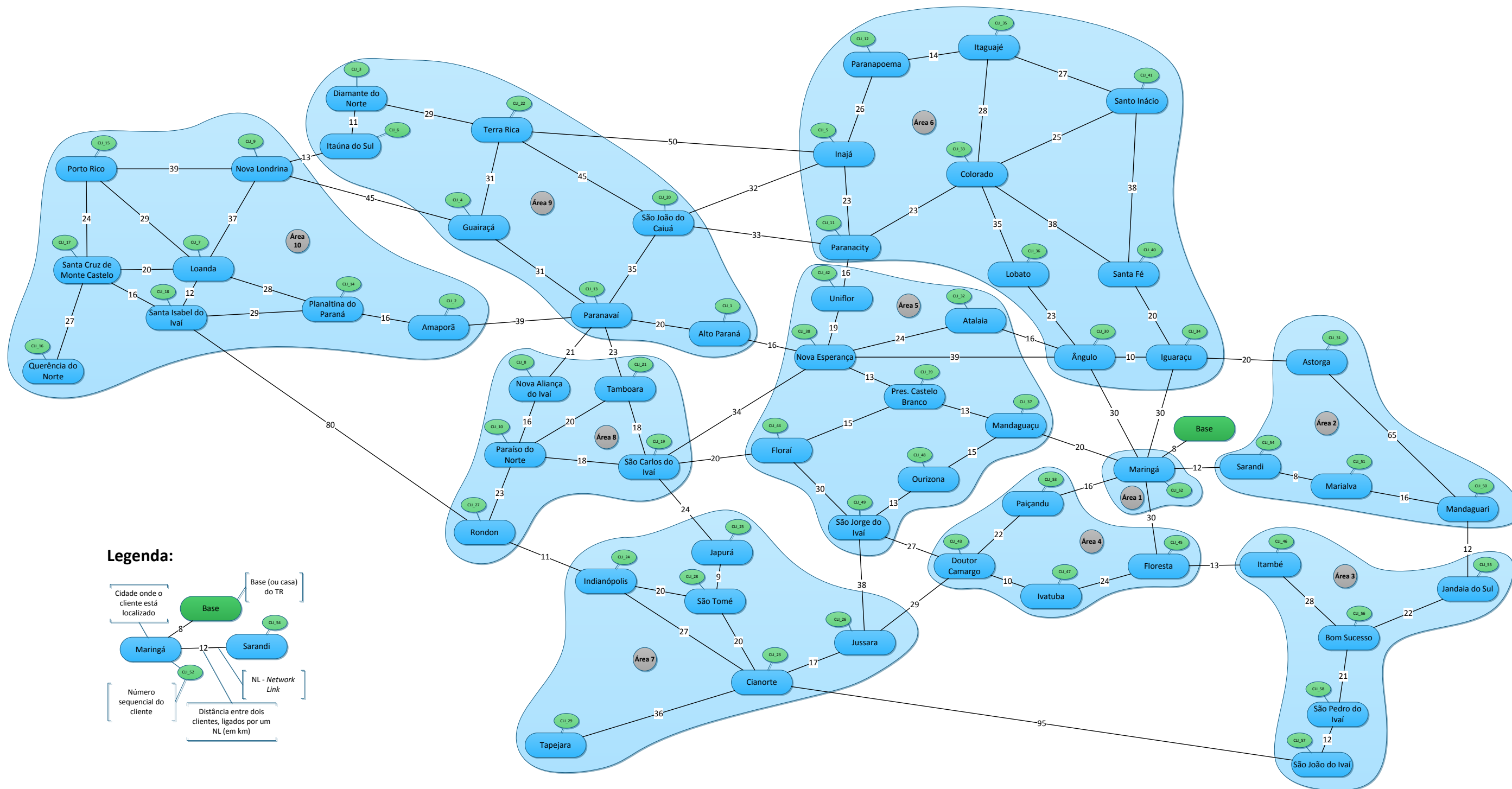


Legenda:

- Base (ou casa) do TR
- Cidade onde o cliente está localizado
- Número sequencial do cliente
- NL - Network Link
- Distância entre dois clientes, ligados por um NL (em km)

Fonte: Primária

Figura 19 – Agrupamento dos clientes

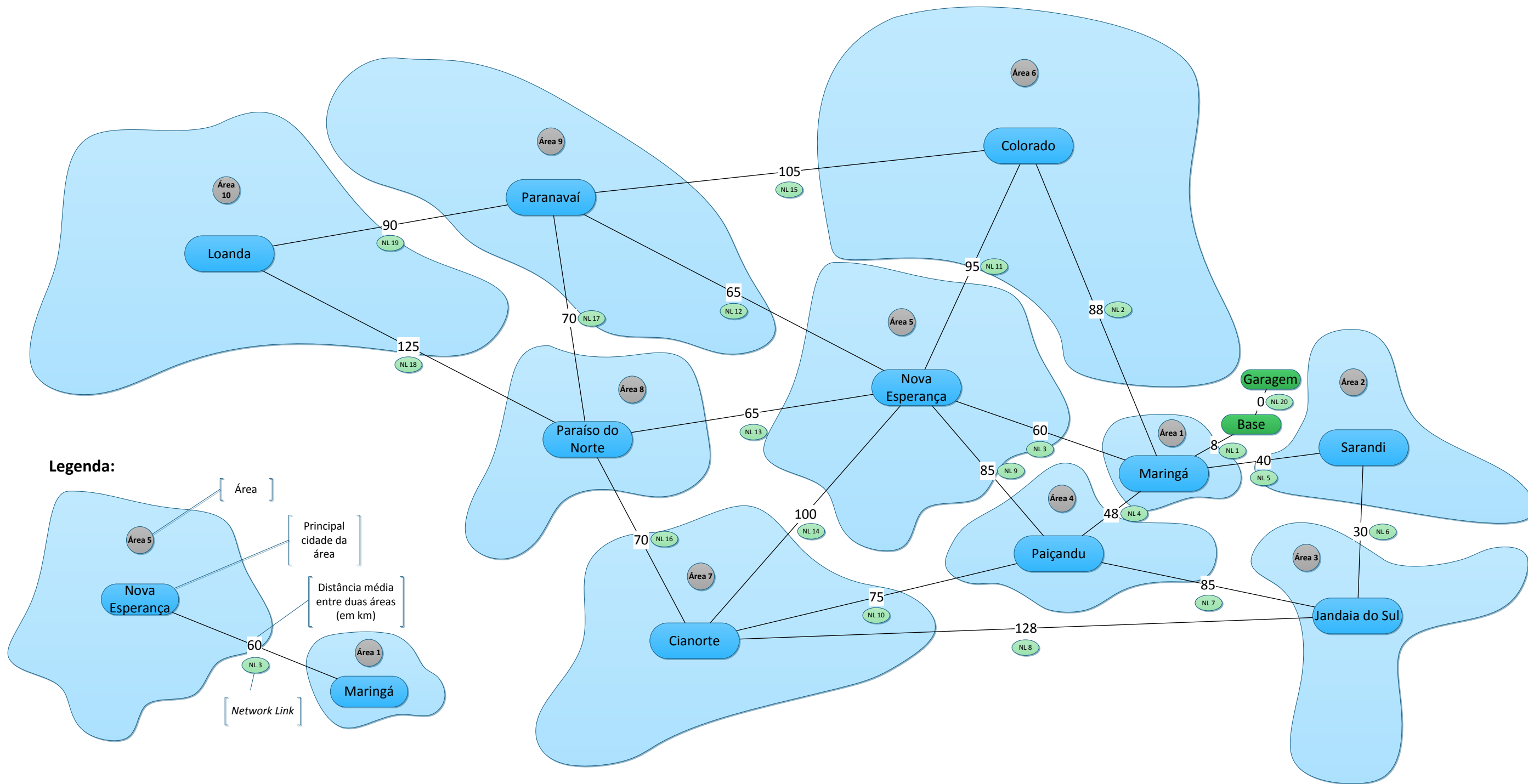


Legenda:

- Base (ou casa) do TR
- Cidade onde o cliente está localizado
- Número sequencial do cliente
- Distância entre dois clientes, ligados por um NL (em km)
- NL - Network Link

Fonte: Primária

Figura 20 – Áreas dos agrupamentos



Fonte: Primária

5.2 Quantidade de chamados técnicos

Consultando-se o sistema ERP da empresa, foi obtido o histórico dos chamados por tipo de equipamento, separados por cliente (cidade) e, conseqüentemente, agrupados pelas áreas correspondentes, tendo como base o ano de 2011.

O agrupamento foi efetuado conforme o dia do mês, pois a atividade bancária possui sazonalidade sensível ao dia do mês e evitou-se, assim, uma distribuição multimodal caso fosse efetuada uma distribuição de probabilidades considerando-se todos os dias do ano em um só gráfico. As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam os dados coletados.

Os espaços em branco nessas tabelas significam que não existiram determinados dias em alguns meses. Por exemplo, o mês de abril não possui o dia 31.

Chamados técnicos também são atendidos, esporadicamente, em sábados, domingos e feriados, pois existe regime de plantão para atendimentos.

Tabela 1 – Quantidade de chamados de ATM em 2011

Dia do mês	Mês												Total
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
1	0	2	4	2	0	3	5	3	4	0	5	2	30
2	0	0	5	0	6	2	2	5	2	0	0	4	26
3	3	1	5	0	3	7	0	5	0	5	4	0	33
4	5	4	2	7	1	0	4	5	0	1	4	0	33
5	0	0	0	5	4	0	7	6	4	1	0	2	29
6	4	0	0	4	3	4	3	0	4	4	0	4	30
7	4	4	0	1	0	4	2	1	1	8	6	4	35
8	0	2	0	2	0	5	7	8	6	0	6	5	41
9	0	0	6	1	3	4	0	6	6	0	7	5	38
10	0	2	4	0	4	2	0	4	1	4	4	0	25
11	1	1	6	1	5	0	12	7	0	2	2	1	38
12	5	0	0	4	3	0	1	0	3	0	1	2	19
13	3	0	0	1	1	4	5	0	11	6	0	12	43
14	3	2	3	9	0	3	4	0	2	7	4	4	41
15	0	1	1	1	0	1	9	5	3	0	0	4	25
16	0	2	1	0	3	5	0	3	1	1	7	2	25
17	2	2	3	0	9	2	0	1	0	3	2	0	24
18	3	1	3	5	0	0	6	4	0	7	3	1	33
19	1	0	0	1	1	0	5	3	2	5	0	2	20
20	6	0	0	4	1	3	7	0	1	1	0	3	26
21	2	0	3	0	0	2	6	0	2	4	2	5	26
22	0	1	3	0	0	3	5	3	2	0	7	2	26
23	0	3	4	0	8	0	0	6	1	0	5	2	29
24	3	2	5	0	0	1	0	3	0	3	2	0	19
25	2	1	4	3	2	0	4	1	0	1	1	0	19
26	0	0	1	4	4	0	5	3	3	3	0	2	25
27	2	0	0	2	2	5	6	0	2	1	1	0	21
28	0	4	3	4	0	4	5	0	6	3	2	4	35
29	0		19	4	0	0	2	6	2	0	4	3	40
30	0		2	0	6	6	0	5	3	0	4	4	30
31	1		3		3		0	3		4		0	14
Total	50	35	90	65	72	70	112	96	72	74	83	79	898

Fonte: Primária

Tabela 2 – Quantidade de chamados de IMP em 2011

Dia do mês	Mês												Total
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
1		1	0	0	0	1	1	0	0	0	2	1	6
2		1	3	0	1	0	0	0	0	0	0	2	7
3	2	2	0	0	2	1	0	0	0	0	4	0	11
4	2	2	0	3	1	0	3	2	0	1	1	0	15
5	2	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	8
6	3	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	7
7	0	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	6
8	0	0	0	2	0	2	2	1	0	0	2	1	10
9	0	0	0	0	2	0	0	3	1	0	1	1	8
10	0	1	4	0	1	2	0	1	0	1	0	0	10
11	1	0	1	0	2	0	0	2	0	4	0	0	10
12	1	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	2	9
13	2	0	0	2	1	0	1	0	1	1	0	1	9
14	2	0	0	2	0	0	0	0	1	0	1	2	8
15	0	1	0	2	0	1	0	2	2	0	0	2	10
16	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	4
17	2	0	2	0	1	1	0	3	0	2	1	0	12
18	1	2	1	2	0	0	2	0	0	3	2	0	13
19	4	0	0	2	0	0	0	0	0	3	0	1	10
20	2	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	4
21	1	3	3	0	0	0	1	0	0	2	1	1	12
22	0	2	1	0	0	1	1	1	0	0	1	2	9
23	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	3
24	2	2	1	0	0	3	0	0	0	0	1	0	9
25	5	1	5	0	3	0	0	0	0	0	0	0	14
26	1	0	0	0	1	0	1	1	3	1	0	2	10
27	0	0	0	1	2	0	2	0	0	1	0	0	6
28	2	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	8
29	0		1	1	0	2	0	0	1	0	0	0	5
30	0		3	0	1	2	0	3	0	0	1	0	10
31	2		1		3		0	1		1		0	8
Total	37	24	27	26	29	18	17	20	10	21	19	23	271

Fonte: Primária

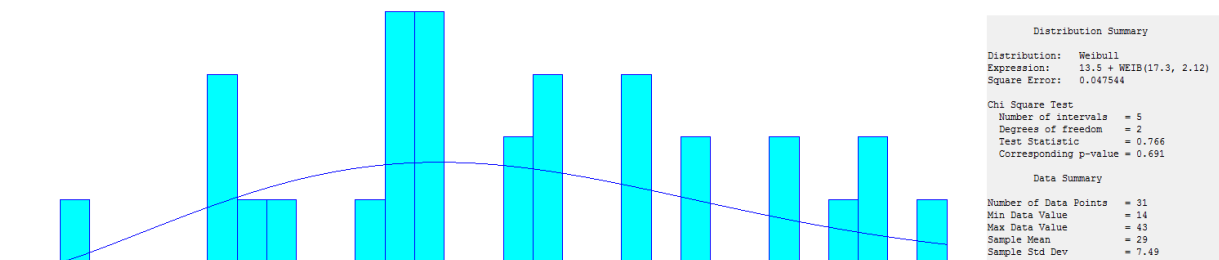
Tabela 3 – Quantidade de chamados de TMF em 2011

Dia do mês	Mês												Total
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
1		2	0	2	0	1	0	1	0	0	0	0	6
2		1	0	0	0	1	0	5	0	0	0	0	7
3	2	1	6	0	3	0	0	3	0	1	0	0	16
4	3	4	5	1	0	0	0	2	0	1	0	0	16
5	3	0	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	8
6	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	3
7	0	4	0	0	0	3	1	0	0	0	1	0	9
8	0	2	0	1	0	0	0	1	2	0	0	0	6
9	0	3	3	0	0	4	0	2	0	0	0	0	12
10	0	5	0	0	1	3	0	0	0	1	0	0	10
11	2	1	1	3	1	0	2	1	0	1	0	0	12
12	2	0	0	2	1	0	1	1	0	0	0	1	8
13	3	0	0	3	1	1	1	0	1	0	0	0	10
14	0	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	4
15	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	2	8
16	0	2	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	7
17	0	0	1	0	3	3	0	0	0	1	0	0	8
18	1	0	0	0	5	0	1	0	0	0	1	0	8
19	0	0	0	3	2	0	1	1	0	1	0	0	8
20	0	0	0	0	2	2	1	0	1	0	0	0	6
21	1	3	1	0	0	1	6	0	2	1	0	1	16
22	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4
23	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
24	2	5	4	0	3	1	0	0	0	0	1	0	16
25	2	1	0	0	2	0	2	1	0	0	0	0	8
26	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
27	2	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	5
28	2	0	0	2	0	7	4	0	0	0	0	0	15
29	0		0	1	0	1	0	3	0	0	0	0	5
30	0		1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2
31	2		2		5		0	1		0		0	10
Total	28	37	39	23	31	33	24	22	7	8	3	5	260

Fonte: Primária

Utilizando-se o recurso Input Analyzer do Arena®, os valores da coluna “Total” (Tabelas 1, 2 e 3) serviram como entrada de dados para gerar as distribuições de probabilidades e descobrir qual distribuição melhor se ajusta aos dados de entrada. As Figuras 21, 22 e 23 ilustram os gráficos das distribuições de probabilidades para a criação dos chamados diários.

Figura 21 – Distribuição de probabilidades para criação dos chamados de ATM



Fonte: Primária

O ajuste da distribuição de probabilidades para criação dos chamados de ATM adequou-se à distribuição contínua Weibull de probabilidades e teve o valor apresentado na equação 1.

$$13.5 + \text{WEIB}(17.3, 2.12) \quad (1)$$

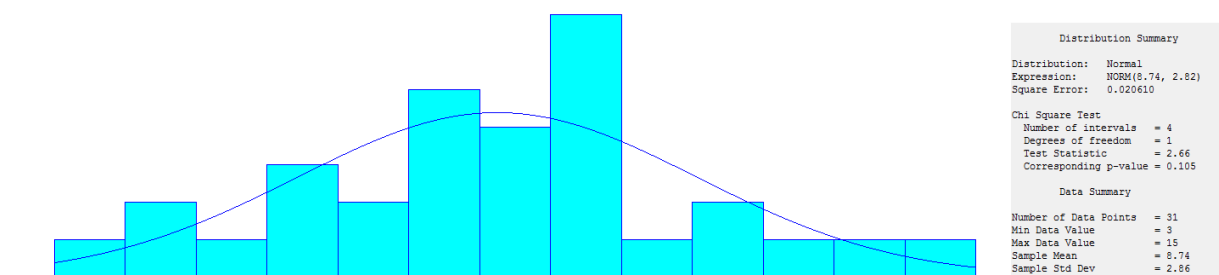
Onde:

$\text{WEIB}(a,b)$

a : Parâmetro de escala

b : Parâmetro de forma

Figura 22 – Distribuição de probabilidades para criação dos chamados de IMP



Fonte: Primária

O ajuste da distribuição de probabilidades para criação dos chamados de IMP adequou-se à distribuição contínua Normal de probabilidades e teve o valor apresentado na equação 2.

$$\text{NORM}(8.74, 2.82) \quad (2)$$

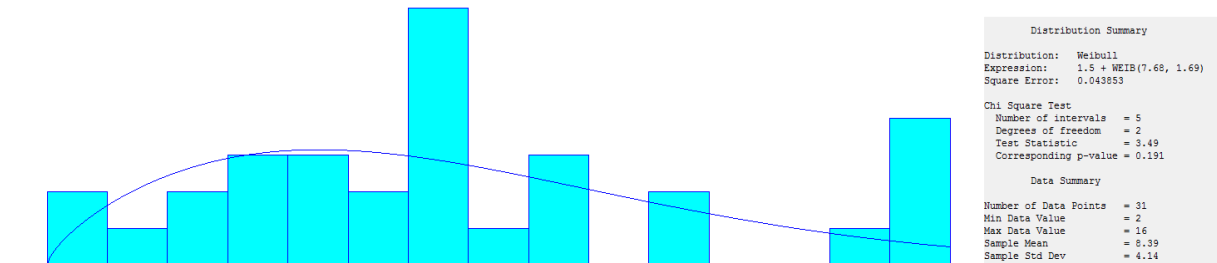
Onde:

$\text{NORM}(\mu,\sigma)$

μ : média

σ : desvio padrão

Figura 23 – Distribuição de probabilidades para criação dos chamados de TMF



Fonte: Primária

O ajuste da distribuição de probabilidades para criação dos chamados de TMF adequou-se à distribuição contínua Weibull de probabilidades e teve o valor apresentado na equação 3.

$$1.5 + \text{WEIB}(7.68, 1.69) \quad (3)$$

Onde:

$\text{WEIB}(a,b)$

a : Parâmetro de escala

b : Parâmetro de forma

Como pode ser identificado nos gráficos de distribuição de probabilidades para geração de chamados técnicos (Figuras 21, 22 e 23), há sazonalidade no que diz respeito ao dia do mês em que mais ocorrem defeitos nos equipamentos. Essa sazonalidade será aplicada no modelo construído, por meio das equações de distribuição de probabilidades apresentadas para cada tipo de equipamento. O período de tempo compreendido nesses gráficos é de trinta e um dias.

Ainda tendo como fonte de informação o sistema ERP da empresa Brasil S/A, foram coletados os dados referentes às distribuições dos chamados técnicos no ano de 2011, referente a cada uma das cidades descritas na Figura 18. O passo seguinte foi reunir esses chamados, de acordo com o agrupamento das áreas apresentadas na Figura 19. O resultado da distribuição percentual dos chamados, de acordo com o tipo de equipamento e conforme as áreas abordadas, é apresentado nas Tabelas 4, 5 e 6.

Tabela 4 – Distribuição de chamados de ATM por área, em 2011

Área	Nome da Área	Quantidade de chamados	Proporcional ao total
1	Maringá	255	28,40%
2	Sarandi	99	11,02%
3	Jandaia do Sul	56	6,24%
4	Paiçandu	24	2,67%
5	Nova Esperança	50	5,57%
6	Colorado	81	9,02%
7	Cianorte	60	6,68%
8	Paraíso do Norte	82	9,13%
9	Paranavaí	125	13,92%
10	Loanda	66	7,35%
Total		898	100%

Fonte: Primária

Tabela 5 – Distribuição de chamados de IMP por área, em 2011

Área	Nome da Área	Quantidade de chamados	Proporcional ao total
1	Maringá	121	44,65%
2	Sarandi	18	6,64%
3	Jandaia do Sul	21	7,75%
4	Paiçandu	8	2,95%
5	Nova Esperança	18	6,64%
6	Colorado	23	8,49%
7	Cianorte	35	12,92%
8	Paraíso do Norte	6	2,21%
9	Paranavaí	11	4,06%
10	Loanda	10	3,69%
Total		271	100%

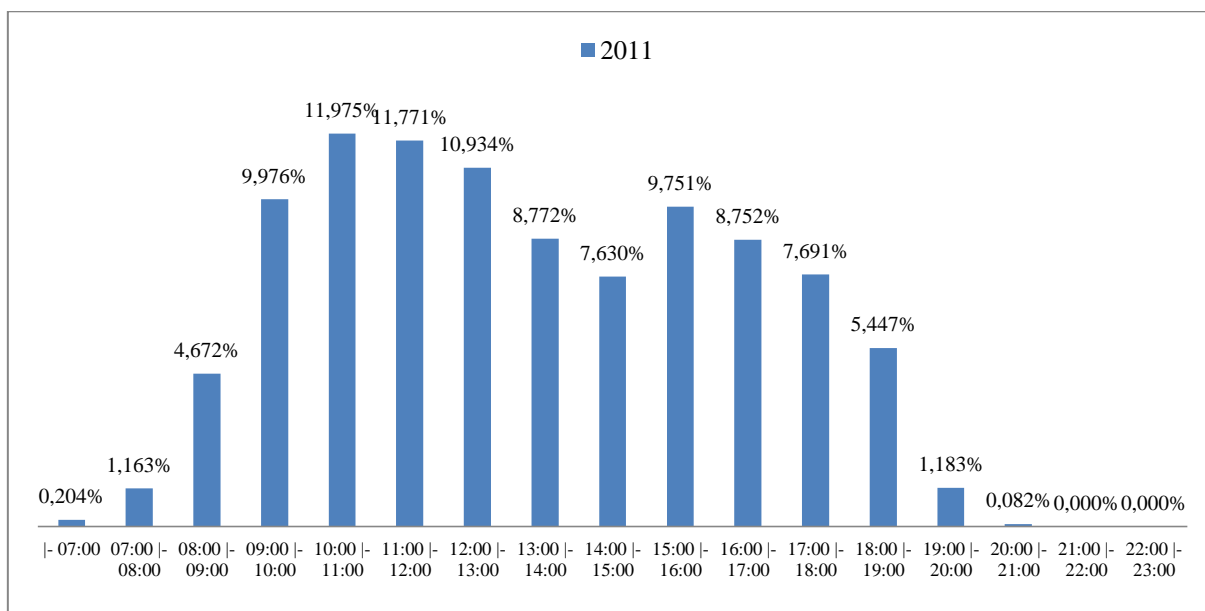
Fonte: Primária

Tabela 6 – Distribuição de chamados de TFM por área, em 2011

Área	Nome da Área	Quantidade de chamados	Proporcional ao total
1	Maringá	39	15,00%
2	Sarandi	40	15,38%
3	Jandaia do Sul	22	8,46%
4	Paçandu	18	6,92%
5	Nova Esperança	21	8,08%
6	Colorado	30	11,54%
7	Cianorte	39	15,00%
8	Paraíso do Norte	7	2,69%
9	Paranavaí	11	4,23%
10	Loanda	33	12,69%
Total		260	100%

Fonte: Primária

Foi constatado que o horário de abertura dos chamados técnicos por parte do cliente (banco) possui uma sazonalidade conforme a hora do dia e obedece a uma distribuição de frequências característica à apresentada no gráfico da Figura 24, conforme dados do sistema ERP da empresa Brasil S/A.

Figura 24 – Gráfico de distribuição de frequências, conforme a hora de abertura de chamados

Fonte: Primária

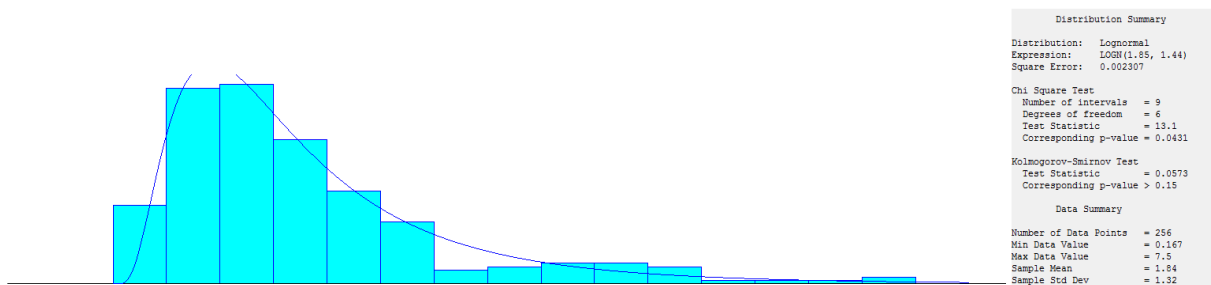
Foi verificado que se trata de uma amostra multimodal, com dois picos de chamados em horários distintos, coincidindo-se com os horários de abertura e fechamento das agências bancárias. O eixo das abscissas representa os intervalos dos horários detectados pelos

chamados abertos. O eixo das ordenadas representa as porcentagens referentes ao número de chamados abertos no intervalo de horário indicado, em relação ao total de chamados abertos no dia. Essa informação não será aplicada no modelo criado, mas será importante caso abordada em trabalhos futuros sobre o tema.

5.3 Tempos de atendimento

Para cada tipo de equipamento (ATM, IMP ou TMF) tem-se um tempo de atendimento (ou conserto) distinto, devido às suas características intrínsecas. Os dados dos tempos de atendimento também foram coletados no sistema ERP da empresa Brasil S/A, compilados e elaboradas curvas de distribuições de probabilidades no recurso Input Analyzer do Arena®, análogo ao que foi feito para a geração de chamados técnicos. As distribuições de probabilidades obtidas para os tempos de atendimento são apresentadas nas Figuras 25, 26 e 27.

Figura 25 – Distribuição de probabilidades para tempos de atendimento de ATM



Fonte: Primária

O ajuste da distribuição de probabilidades para tempos de atendimento de ATM adequou-se à distribuição contínua Lognormal de probabilidades e teve o valor apresentado na equação 4.

$$\text{LOGN}(1.85, 1.44) \quad (4)$$

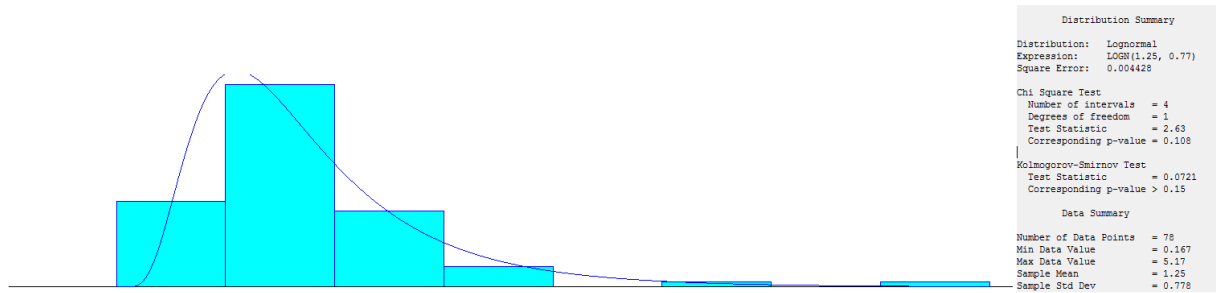
Onde:

$$\text{LOGN}(\mu, \sigma)$$

μ : média

σ : desvio padrão

Figura 26 – Distribuição de probabilidades para tempos de atendimento de IMP



Fonte: Primária

O ajuste da distribuição de probabilidades para tempos de atendimento de IMP adequou-se à distribuição contínua Lognormal de probabilidades e teve o valor apresentado na equação 5.

$$\text{LOGN}(1.25, 0.77) \quad (5)$$

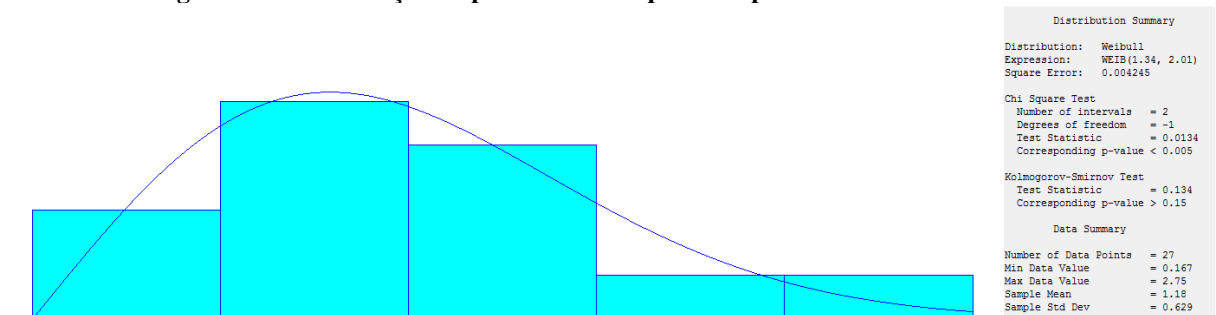
Onde:

$\text{LOGN}(\mu, \sigma)$

μ : média

σ : desvio padrão

Figura 27 – Distribuição de probabilidades para tempos de atendimento de TMF



Fonte: Primária

O ajuste da distribuição de probabilidades para tempos de atendimento de TMF adequou-se à distribuição contínua Weibull de probabilidades e teve o valor apresentado na equação 6.

$$\text{WEIB}(1.34, 2.01) \quad (6)$$

Onde:

$\text{WEIB}(a, b)$

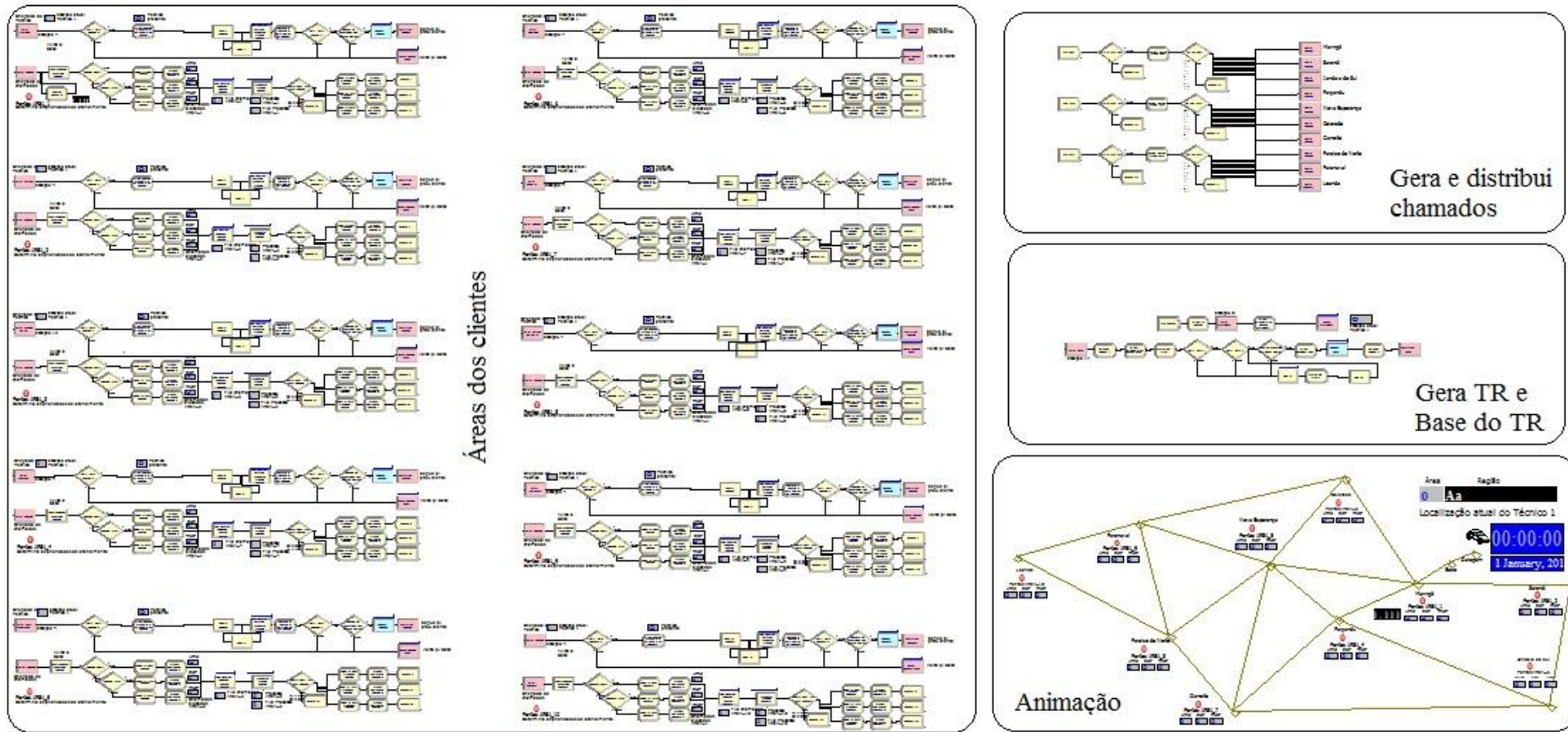
a : Parâmetro de escala

b : Parâmetro de forma

5.4 Construção do modelo no Arena®

Uma abstração da realidade do caso sob estudo foi efetuada e, a partir disso, foi construído um modelo que pudesse representar da forma mais fidedigna possível o caso real. O modelo foi construído utilizando-se o *software* Arena®, em sua versão 13.9, e tal modelo é apresentado, em sua totalidade, na Figura 28. Posteriormente, cada parte deste será apresentada com mais detalhes.

Figura 28 – Visão geral do modelo

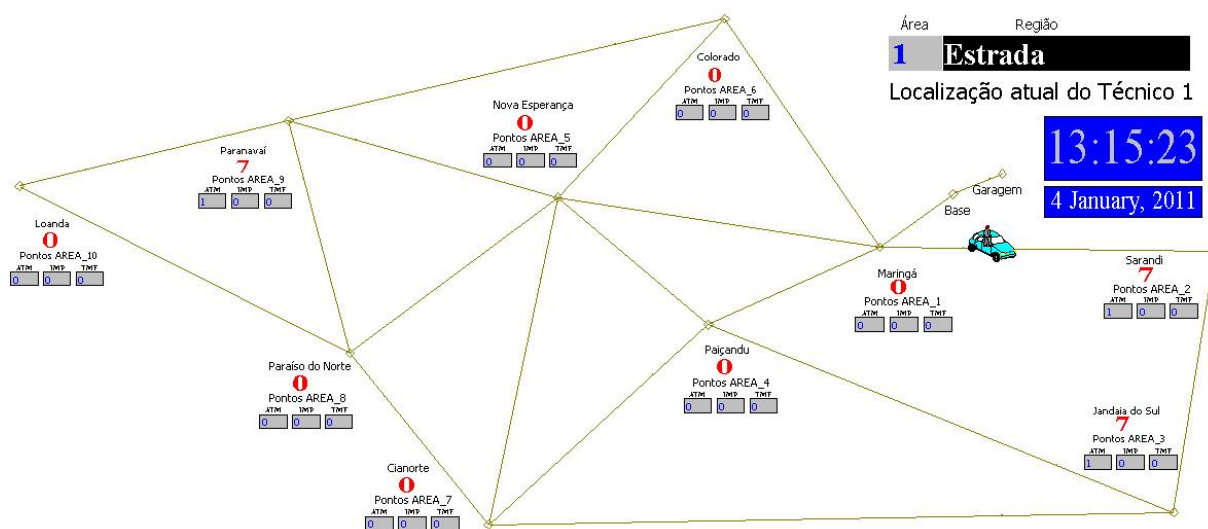


Fonte: Primária

5.4.1 Animação

Apresenta-se, inicialmente, o resultado da animação (que na modelagem, foi um dos últimos passos percorridos) pois, assim, pode se ter uma visão holística do processo e permitir a compreensão dos modelos de fluxograma construídos no Arena®, que serão apresentados subsequentemente. A imagem da animação é mostrada na Figura 29 e retrata o modelo das distribuições das áreas atendidas, apresentado na Figura 20.

Figura 29 – Animação do modelo



Fonte: Primária

Como pode ser visualizado na Figura 29, um modelo de rede foi formado, interligando-se todas as áreas atendidas, seguindo o proposto que consta na Figura 20. Essa configuração é chamada de *Network* pelo Arena® e está contida no *Template Advanced Transfer*. Para se configurar um *Network*, é necessário que o meio de transporte seja do tipo guiado. E assim foi configurado. Um *Network* (ou uma rede) é composto por intersecções (ou *Intersections*) e *links* (*NL – Network Links*) que os interligam. É necessário relacionar uma Estação (ou *Station*) a uma intersecção para que o Arena® reconheça os pontos por onde deve passar. As *Intersections* são relacionadas a *Stations*, que, por sua vez, são relacionadas às áreas propostas na Figura 20. No caso do presente trabalho, há 12 *Intersections* e vinte *Network Links*. As distâncias entre *Stations*, bem como seus inter-relacionamentos, são configurados no módulo *Network Link*.

Essas configurações podem ser verificadas consultando-se as Figuras 30, 31 e 32.

Figura 30 – Configuração dos módulos Stations

Enter - Advanced Transfer												
	Name	Station Type	Station Name	Parent Activity Area	Associated Intersection	Report Statistics	Delay	Allocation	Units	Transfer In	Transporter Name	Unit Number
1	Enter AREA_1	Station	Enter AREA_1 Station			<input checked="" type="checkbox"/>	0	Value Added	Hours	None		
2	Enter AREA_2	Station	Enter AREA_2 Station			<input checked="" type="checkbox"/>	0	Value Added	Hours	None		
3	Enter AREA_3	Station	Enter AREA_3 Station			<input checked="" type="checkbox"/>	0	Value Added	Hours	None		
4	Enter AREA_4	Station	Enter AREA_4 Station			<input checked="" type="checkbox"/>	0	Value Added	Hours	None		
5	Enter AREA_5	Station	Enter AREA_5 Station			<input checked="" type="checkbox"/>	0	Value Added	Hours	None		
6	Enter AREA_6	Station	Enter AREA_6 Station			<input checked="" type="checkbox"/>	0	Value Added	Hours	None		
7	Enter AREA_7	Station	Enter AREA_7 Station			<input checked="" type="checkbox"/>	0	Value Added	Hours	None		
8	Enter AREA_8	Station	Enter AREA_8 Station			<input checked="" type="checkbox"/>	0	Value Added	Hours	None		
9	Enter AREA_9	Station	Enter AREA_9 Station			<input checked="" type="checkbox"/>	0	Value Added	Hours	None		
10	Enter AREA_10	Station	Enter AREA_10 Station			<input checked="" type="checkbox"/>	0	Value Added	Hours	None		
11	Enter Base	Station	Enter Base Station		Intersection Base	<input checked="" type="checkbox"/>	0	Value Added	Hours	Free Transporter	CARRO	1
12	Enter Cianorte	Station	Enter Cianorte Station		Intersection 7	<input checked="" type="checkbox"/>	0	Value Added	Hours	Free Transporter	CARRO	1
13	Enter Colorado	Station	Enter Colorado Station		Intersection 6	<input checked="" type="checkbox"/>	0	Value Added	Hours	Free Transporter	CARRO	1
14	Enter Garagem	Station	Enter Garagem Station		Intersection Garagem	<input checked="" type="checkbox"/>	0	Value Added	Hours	None	CARRO	1
15	Enter Jandaia do Sul	Station	Enter Jandaia do Sul Station		Intersection 3	<input checked="" type="checkbox"/>	0	Value Added	Hours	Free Transporter	CARRO	1
16	Enter Loanda	Station	Enter Loanda Station		Intersection 10	<input checked="" type="checkbox"/>	0	Value Added	Hours	Free Transporter	CARRO	1
17	Enter Maringa	Station	Enter Maringa Station		Intersection 1	<input checked="" type="checkbox"/>	0	Value Added	Hours	Free Transporter	CARRO	1
18	Enter Nova Esperanca	Station	Enter Nova Esperanca Station		Intersection 5	<input checked="" type="checkbox"/>	0	Value Added	Hours	Free Transporter	CARRO	1
19	Enter Paicandu	Station	Enter Paicandu Station		Intersection 4	<input checked="" type="checkbox"/>	0	Value Added	Hours	Free Transporter	CARRO	1
20	Enter Paraiso do Norte	Station	Enter Paraiso do Norte Station		Intersection 8	<input checked="" type="checkbox"/>	0	Value Added	Hours	Free Transporter	CARRO	1
21	Enter Paranaval	Station	Enter Paranaval Station		Intersection 9	<input checked="" type="checkbox"/>	0	Value Added	Hours	Free Transporter	CARRO	1
22	Enter Sarandi	Station	Enter Sarandi Station		Intersection 2	<input checked="" type="checkbox"/>	0	Value Added	Hours	Free Transporter	CARRO	1

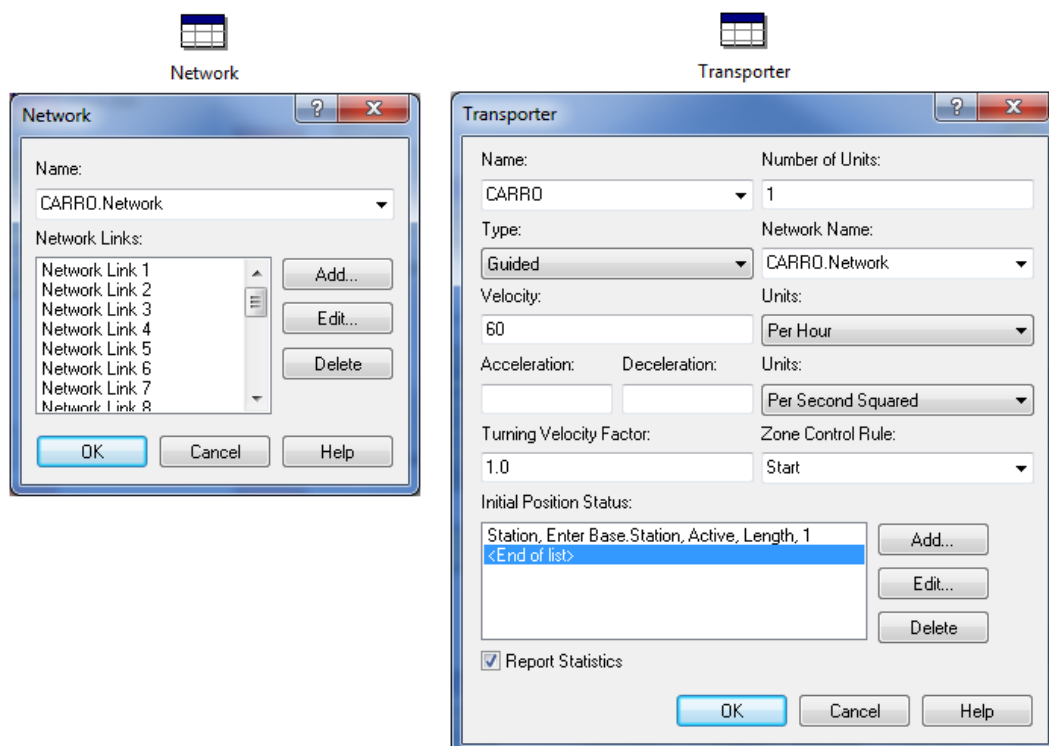
Fonte: Primária

Figura 31 – Configuração do módulo Network Link

Network Link - Advanced Transfer										
	Name	Type	Beginning Intersection Name	Ending Intersection Name	Beginning Direction	Ending Direction	Number Of Zones	Zone Length	Velocity Change Factor	
1	Network Link 1	Bidirectional	Intersection Base	Intersection 1	0		8	1	1.0	
2	Network Link 2	Bidirectional	Intersection 1	Intersection 6	0		88	1	1.0	
3	Network Link 3	Bidirectional	Intersection 1	Intersection 5	0		60	1	1.0	
4	Network Link 4	Bidirectional	Intersection 1	Intersection 4	0		48	1	1.0	
5	Network Link 5	Bidirectional	Intersection 1	Intersection 2	0		40	1	1.0	
6	Network Link 6	Bidirectional	Intersection 2	Intersection 3	0		30	1	1.0	
7	Network Link 7	Bidirectional	Intersection 3	Intersection 4	0		85	1	1.0	
8	Network Link 8	Bidirectional	Intersection 3	Intersection 7	0		128	1	1.0	
9	Network Link 9	Bidirectional	Intersection 4	Intersection 5	0		85	1	1.0	
10	Network Link 10	Bidirectional	Intersection 4	Intersection 7	0		75	1	1.0	
11	Network Link 11	Bidirectional	Intersection 5	Intersection 6	0		95	1	1.0	
12	Network Link 12	Bidirectional	Intersection 5	Intersection 9	0		65	1	1.0	
13	Network Link 13	Bidirectional	Intersection 5	Intersection 8	0		65	1	1.0	
14	Network Link 14	Bidirectional	Intersection 5	Intersection 7	0		100	1	1.0	
15	Network Link 15	Bidirectional	Intersection 6	Intersection 9	0		105	1	1.0	
16	Network Link 16	Bidirectional	Intersection 7	Intersection 8	0		70	1	1.0	
17	Network Link 17	Bidirectional	Intersection 8	Intersection 9	0		70	1	1.0	
18	Network Link 18	Bidirectional	Intersection 8	Intersection 10	0		125	1	1.0	
19	Network Link 19	Bidirectional	Intersection 9	Intersection 10	0		90	1	1.0	
20	Network Link 20	Bidirectional	Intersection Garagem	Intersection Base	0		1	1	100	

Fonte: Primária

Figura 32 – Configuração dos módulos *Network* e *Transporter*



Fonte: Primária

No caso real existem níveis de prioridades de atendimento conforme cada tipo de equipamento, que são proporcionais às multas rescisórias pagas pela empresa pelo atraso na conclusão do serviço, ou, ainda, por bônus recebidos em caso de conclusões significativamente precoces. Essa decisão, na prática, é tomada de forma empírica pelo TR ou pelo colaborador controlador de chamados.

Para tornar a decisão de qual cliente atender prioritariamente com mais clareza e objetividade, na modelagem, não bastou estabelecer níveis de prioridades para as entidades, pois se o número de chamados por área for maior que um, o sistema pode não escolher de forma correta.

Dessa forma, foi criado um sistema de pesos para cada tipo de equipamento a ser consertado, onde:

ATM	→	alta prioridade	→	peso 7
IMP	→	média prioridade	→	peso 3
TMF	→	baixa prioridade	→	peso 1

Portanto, a área que possuir a maior pontuação será a primeira área a ser atendida e assim sucessivamente, enquanto perdurar o horário de expediente do TR. Esse sistema de pesos é proporcional ao valor das multas rescisórias do caso real.

O cálculo da pontuação de cada área segue uma equação bastante simples e é determinado pela equação 7.

$$\text{Pontos da área} = (n^{\circ}ATM * \text{pesoATM}) + (n^{\circ}IMP * \text{pesoIMP}) + (n^{\circ}TMF * \text{pesoTMF}) \quad (7)$$

Onde:

$$\text{pesoATM} = 7$$

$$\text{pesoIMP} = 3$$

$$\text{pesoTMF} = 1$$

$n^{\circ}ATM$ = quantidade de ATM recebido em uma determinada área

$n^{\circ}IMP$ = quantidade de IMP recebido em uma determinada área

$n^{\circ}TMF$ = quantidade de TMF recebido em uma determinada área

Por exemplo, se a Área 1 receber um conjunto de chamados composto por um ATM, uma IMP e um TMF e a Área 2 receber dois ATMs, nenhuma IMP e nenhum TMF, o cálculo da pontuação de cada área e, conseqüentemente, a prioridade de atendimento será:

$$\text{Pontos da Área 1} = (2 * 7) + (0 * 3) + (0 * 1)$$

$$\text{Pontos da Área 1} = 14$$

$$\text{Pontos da Área 2} = (1 * 7) + (1 * 3) + (1 * 1)$$

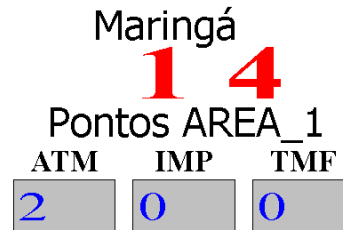
$$\text{Pontos da Área 2} = 11$$

Portanto, a Área 1 será a primeira a receber o atendimento técnico e, se houver horário de expediente disponível naquele dia, a Área 2 será atendida; caso contrário, os chamados da Área 2 acumularão para o dia seguinte. Em caso de empate, a primeira área a ser atendida será a que estiver mais próxima do local atual do técnico.

A Figura 33 representa o sistema de pontuação que foi criado para determinar as prioridades de atendimento às áreas. Os números contidos nos retângulos cinzas representam a quantidade de chamados de ATM, IMP e TMF presentes na área correspondente. A pontuação da área é

mostrada logo acima, em vermelho e determinará o nível de prioridade de atendimento para aquela área.

Figura 33 – Pontuação do cliente

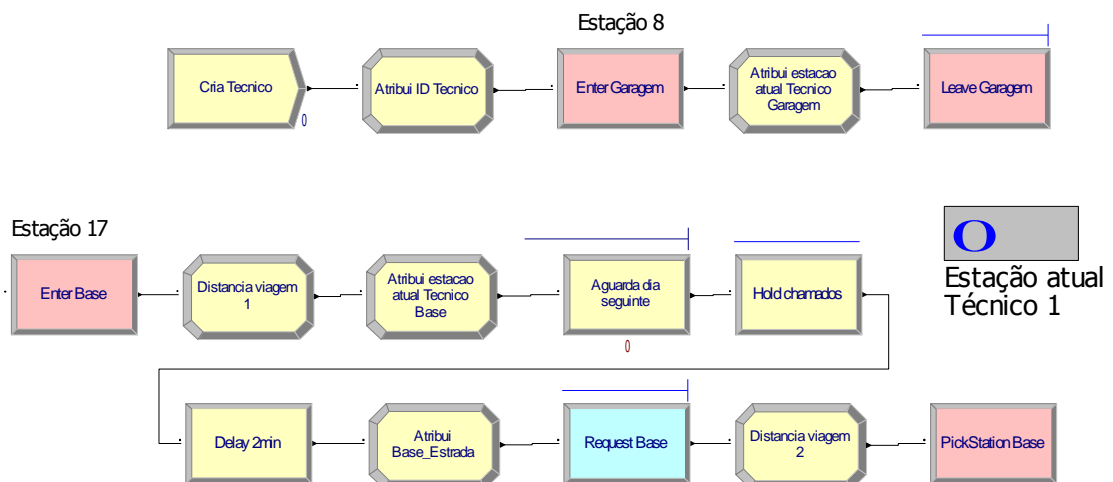


Fonte: Primária

5.4.2 O técnico e sua base

A entidade “Técnico” é gerada apenas uma vez e “nunca morre”, ou seja, o técnico tem sua base e lá fica até que se inicie seu horário de expediente (Figura 34). O técnico sai da sua base e percorre o caminho até a área de destino de carro (transportador), por meio dos *Network Links*, e viaja a uma velocidade média (configurado no módulo *Transporter*, do *template Advanced Transfer*).

Figura 34 – Fluxogramas do modelo: etapa cria TR e Base do TR



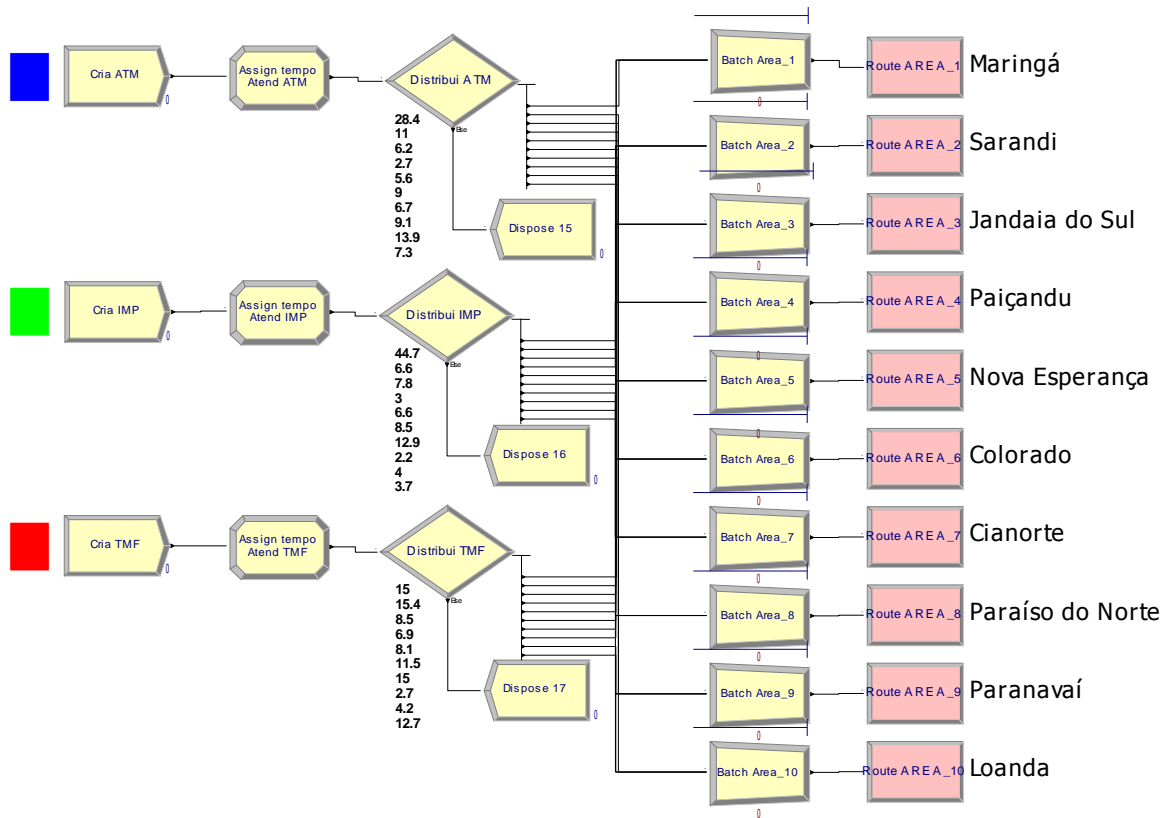
Fonte: Primária

5.4.3 Geração e distribuição de chamados técnicos

O passo incipiente para a construção do modelo a ser simulado no *software* Arena® foi gerar os chamados técnicos, conforme o tipo de equipamento e baseando-se nas distribuições de frequências das Figuras 21, 22 e 23, ou seja, $13.5 + WEIB(17.3, 2.12)$, $NORM(8.74, 2.82)$ e $1.5 + WEIB(7.68, 1.69)$ chamados diários gerados, para ATM, IMP e TMF respectivamente.

Posteriormente, foram proporcionalmente distribuídos a cada uma das dez áreas compostas por grupos de cidades, conforme descrito nas Tabelas 4, 5 e 6. A Figura 35 mostra o fluxograma do conjunto referente à geração e à distribuição dos chamados.

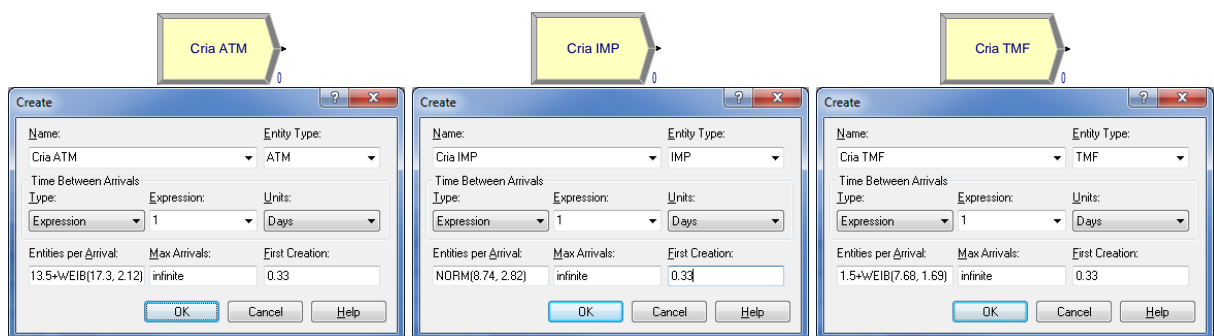
Figura 35 – Geração e distribuição de chamados



Fonte: Primária

Os módulos *Create* “Cria ATM”, “Cria IMP” e “Cria TMF” foram configurados conforme apresentado na Figura 36.

Figura 36 – Configuração dos módulos *Create* para chamados



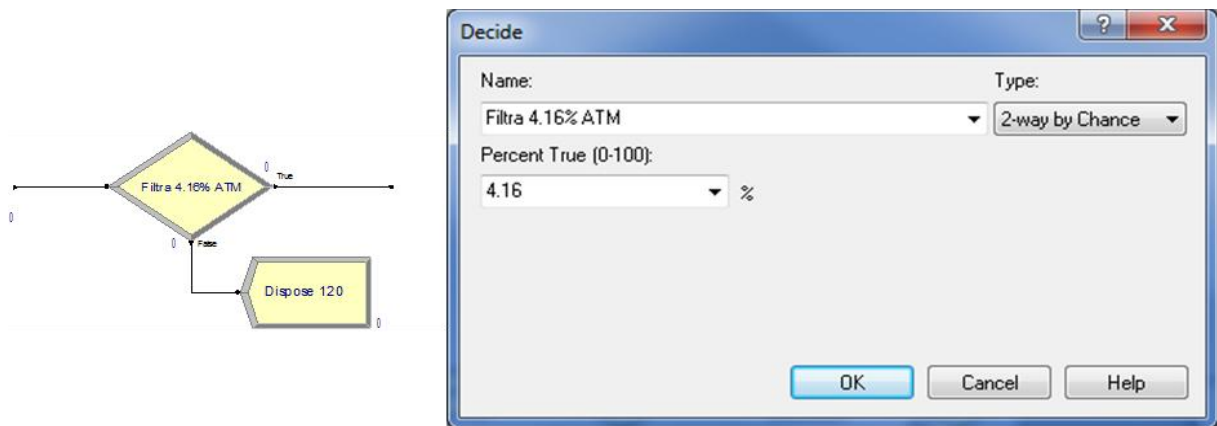
Fonte: Primária

O passo seguinte à criação dos chamados consiste em deixar passar somente uma parcela deles, pois sua geração é considerada a cada dia do mês e compreendida pelos doze meses do

ano. Ou seja, para ATM, no primeiro dia do mês (somatória dos doze meses), gera-se 30 chamados. No segundo dia, 26 chamados. No terceiro dia, 33 chamados e assim sucessivamente, conforme consta na Tabela 1. Outro fator importante é que a construção do modelo foi efetuada considerando-se o trabalho de um TR apenas. Portanto, para a totalidade dos chamados criados diariamente, divide-se por doze meses e divide-se novamente por dois TRs. Como resultado, tem-se 4,16% dos chamados diários para cada TR. Para melhor compreensão deste ponto, as Tabelas 1, 2 e 3 podem ser consultadas.

A Figura 37 mostra a configuração dos módulos *Decide*, para ATM, IMP e TMF.

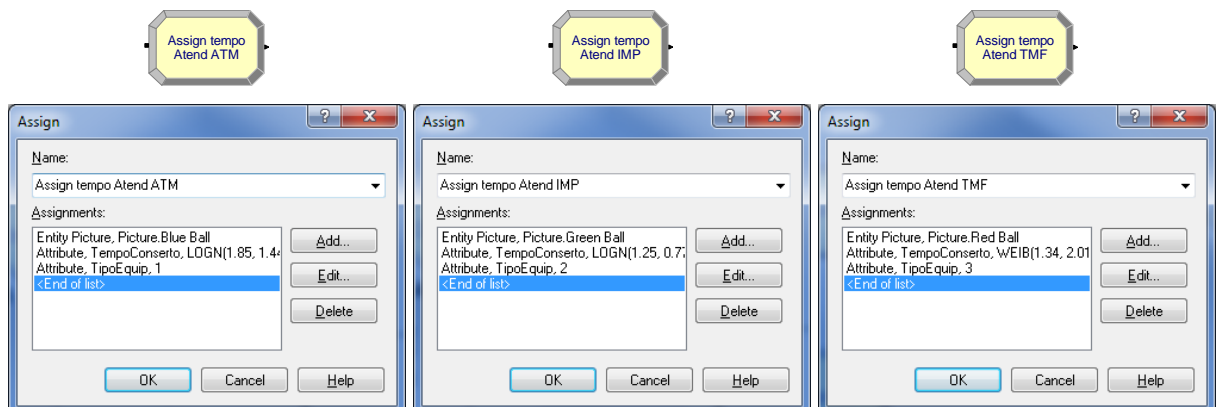
Figura 37 – Configuração dos módulos *Decide*, para ATM, IMP e TMF



Fonte: Primária

Como os tempos de conserto (ou atendimento) para cada tipo de equipamento são distintos, isso foi estabelecido já na geração dos chamados, por meio de um módulo *Assign* e não diretamente no módulo *Process* que o atenderá. Isso foi feito setando-se o atributo *TempoConserto* de cada entidade (ATM, IMP ou TMF) criada. A Figura 38 apresenta a configuração dos módulos *Assigns* citados.

Figura 38 – Configuração dos módulos *Assign*, para tempos de atendimento

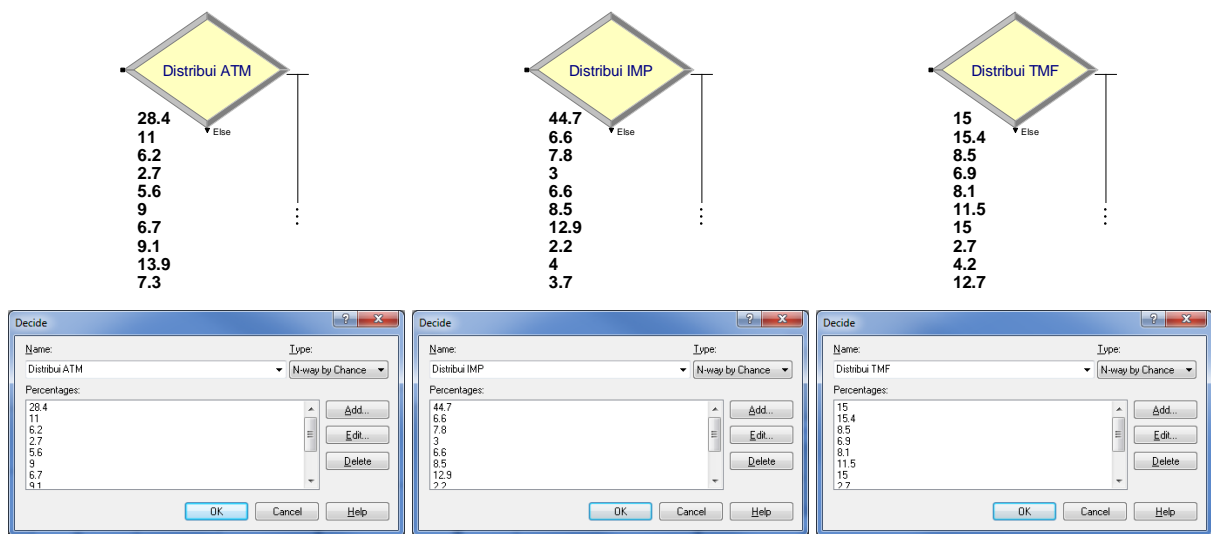


Fonte: Primária

A próxima etapa trata de distribuir os chamados proporcionalmente a cada área atendida, conforme registrado nas Tabelas 4, 5 e 6. Ou seja, a Área 1 receberá 28,4% dos chamados de ATM, 44,7% dos chamados de IMP e 15,0% dos chamados de IMP. Área 2 receberá 11,0% dos chamados de ATM, 6,6% dos chamados de IMP e 15,4% dos chamados de IMP, e assim sucessivamente até a Área 10.

A configuração dos módulos *Decide* que executam essa tarefa pode ser verificada na Figura 39.

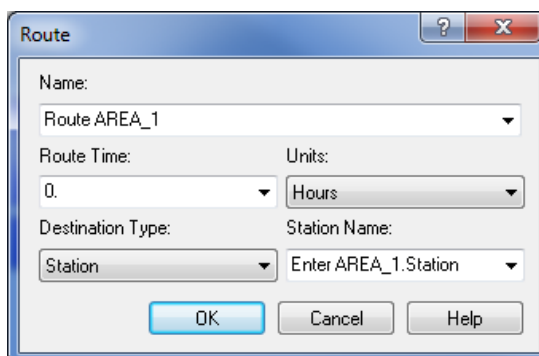
Figura 39 – Configuração dos módulos *Decide* para distribuição dos chamados



Fonte: Primária

E, finalizando esta seção, há os módulos *Route*, que executam o envio dos chamados (entidades *ATM*, *IMP* e *TMF*) às *Stations* das áreas correspondentes (*Area_1.Station* à *Area_10.Station*), conforme essas entidades chegam nesses módulos. Não é gasto tempo algum para o envio das entidades pelos módulos *Route*, sendo análogo a chamados que chegam no sistema de informação do cliente.

A configuração de um dos dez módulos *Route* é demonstrada na Figura 40.

Figura 40 – Configuração do módulo *Route*

The image shows a software dialog box titled "Route". It contains the following fields and controls:

- Name:** A dropdown menu with the selected value "Route AREA_1".
- Route Time:** A dropdown menu with the selected value "0.".
- Units:** A dropdown menu with the selected value "Hours".
- Destination Type:** A dropdown menu with the selected value "Station".
- Station Name:** A dropdown menu with the selected value "Enter AREA_1.Station".

At the bottom of the dialog, there are three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

Fonte: Primária

5.4.4 Processos de atendimento dos chamados

Para cada área atendida há um conjunto de módulos de fluxograma que compõem o processo de atendimento dos chamados técnicos daquela localidade.

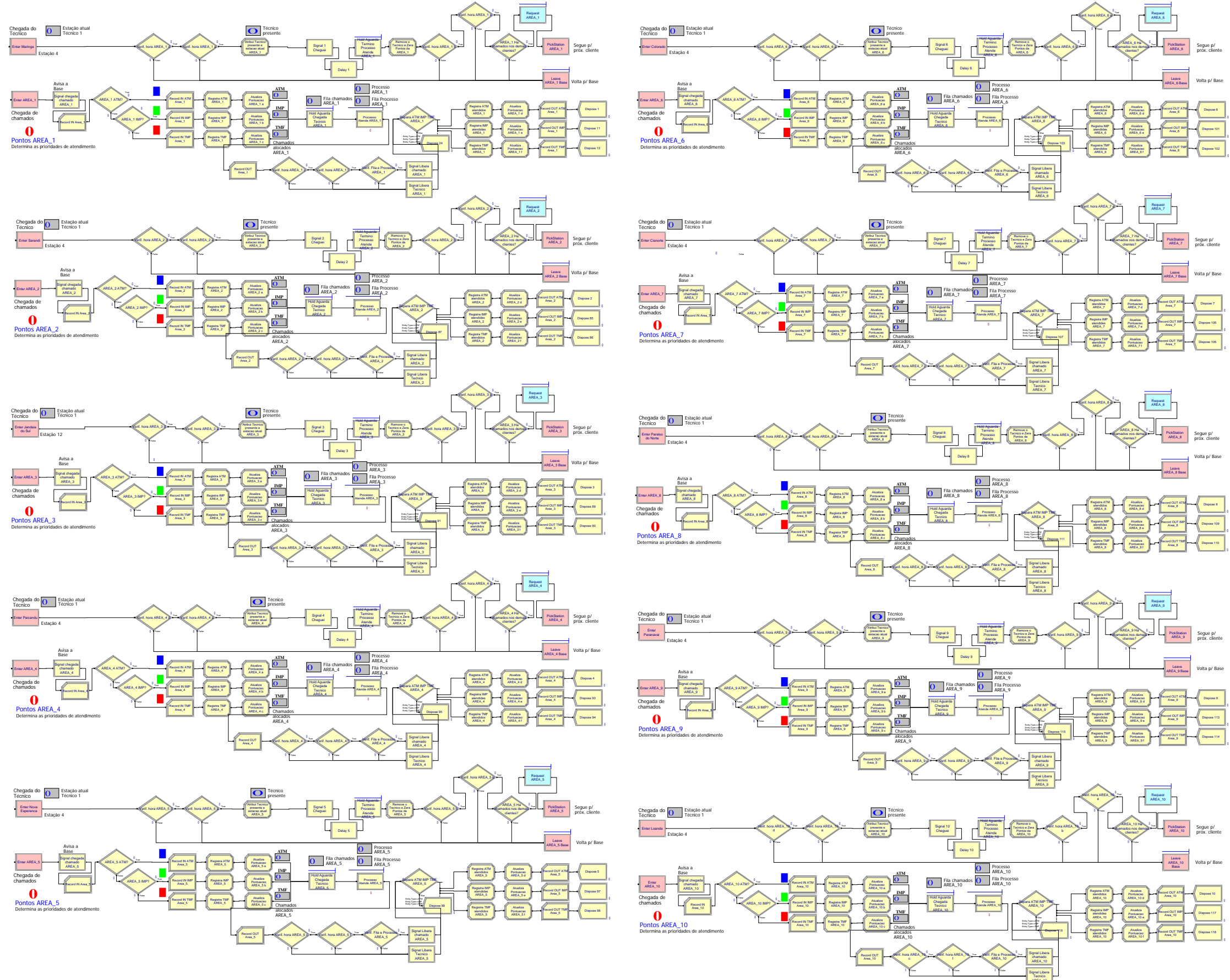
Como exemplo, será mencionado o conjunto da “Área 5” (ver Figura 19). Essa área é referente ao conjunto composto pelas cidades: Atalaia, Florai, Mandaguaçu, Nova Esperança, Ourizona, Presidente Castelo Branco, São Jorge do Ivaí e Uniflor. A cidade referência para essa área é Nova Esperança (ver Figura 20).

Vale lembrar que os chamados técnicos que chegam de uma determinada área compreendem a soma dos chamados recebidos por cada uma das cidades pertencentes àquela área. Isso foi realizado para simplificar significativamente a construção do modelo, pois, caso contrário, haveria cinquenta e oito conjuntos de atendimento.

A cidade de Maringá, por si só, compreende uma área, pois nesta cidade há mais de oito clientes a serem atendidos, ao contrário das demais cidades, que possuem apenas um cliente.

O fluxograma do modelo que contém os processos para atendimento aos clientes (Área 1 a Área 10) é demonstrado na Figura 41.

Figura 41 – Processos de atendimento de chamados (Área 1 até Área 10)



Fonte: Primária

As entidades relacionadas aos chamados (que podem ser *ATM*, *IMP* ou *TMF*) e ao TR (entidade *Tecnico_entidade*) entram em uma área por meio de seus respectivos módulos *Enter*.

Assim que um chamado chega a uma determinada área, ele é contabilizado de acordo com seu tipo (*ATM*, *IMP* ou *TMF*). Assim sendo, o sistema de pontos daquela área imediatamente fará o registro da sua pontuação, para fins de critérios de prioridade de atendimento (conforme explicado na seção 5.4.1). Logo em seguida, o(s) chamado(s) aguardará(ão) na fila de um módulo *Hold* referenciado por *Hold Aguarda Chegada Tecnico AREA_X* (sendo *X* o número da área correspondente), até a chegada da entidade *Tecnico_entidade* para disparar o processo de conserto.

Assim que a entidade *Tecnico_entidade* chega a uma área (por meio do módulo *Enter.Station* correspondente), a hora atual é verificada e, se for menor que 17, o técnico prossegue para seu atendimento. Caso contrário, ele retorna à sua base (*Base.Station*) e volta no dia seguinte para realizar o conserto dos equipamentos que aguardam na fila – obedecendo-se aos critérios de prioridade. O retorno do técnico para a base é efetuado pelo módulo *Leave AREA_X Base*. O módulo *Leave*, ao contrário do *PickStation*, possui embutido um módulo *Request*, que realiza a solicitação do transportador *CARRO*, que envia a entidade do técnico até sua base, utilizando-se o critério de menor distância, percorrendo a malha viária construída e com a velocidade determinada nas configurações do transportador *CARRO*.

Se o técnico prossegue para o atendimento do chamado, ele chegará no módulo *Signal X Cheguei*. Este módulo *Signal* emite um sinal ao módulo *Hold Aguarda Chegada Tecnico AREA_X* em que os chamados estão aguardando em sua fila e este, por sua vez, os libera para serem atendidos no processo *Processo Atende AREA_X*.

O técnico passa para o módulo *Hold Aguarda Termino Processo Atende AREA_X*, onde fica constantemente analisando o *Processo Atende AREA_X* e sua fila para que, quando não houver mais chamados a serem atendidos naquela área, ele possa prosseguir para o próximo cliente ou retornar à sua base. O módulo *PickStation AREA_X* é o responsável por alocar o transportador *CARRO*, que enviará a entidade *Tecnico_entidade* até a próxima área a ser atendida, se for o caso. Para que o transportador seja alocado, antes ele é solicitado pelo módulo *Request AREA_X*. A configuração do módulo *Request AREA_X* pode ser verificada na Figura 44.

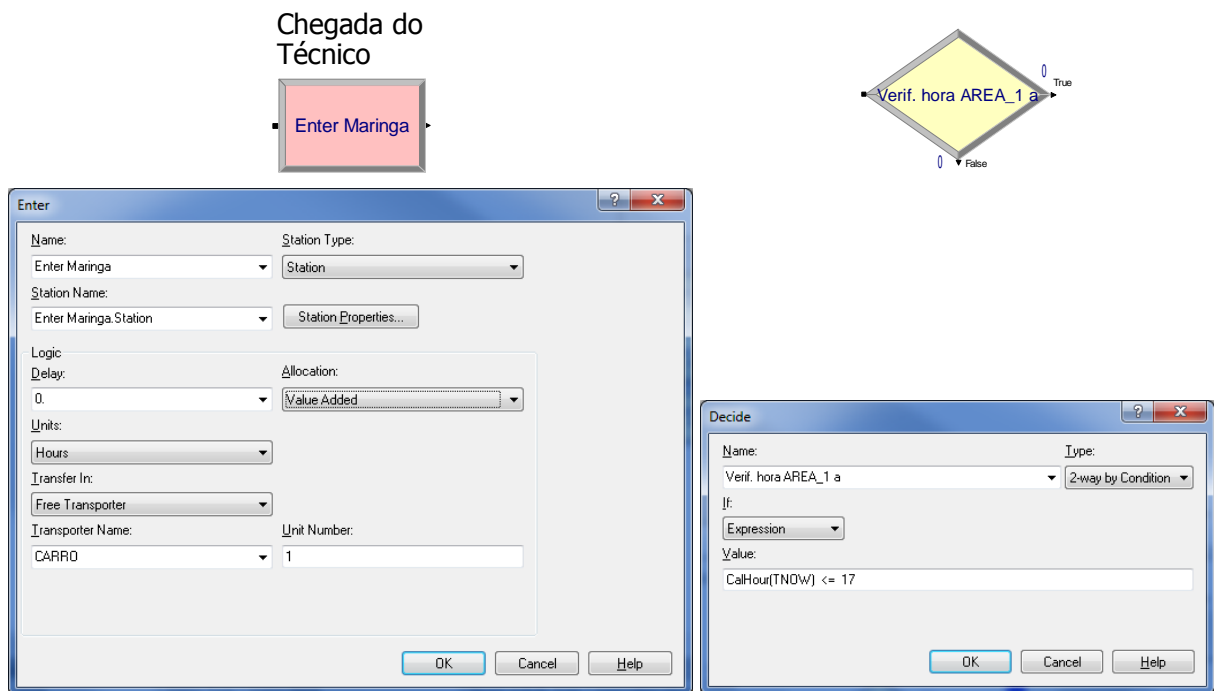
O módulo *PickStation* foi configurado de forma a escolher a estação de destino baseando-se no critério da área com maior pontuação naquele momento, ou seja, com maior nível de prioridade para receber o atendimento. A configuração do módulo *PickStation* pode ser verificada na Figura 45.

Cada chamado (ou entidade – *ATM*, *IMP* ou *TMF*) a ser atendido no módulo *Process* possui o seu tempo distinto de atendimento. Esse tempo foi setado no atributo *TempoConserto* de cada entidade e chamado, pelo módulo *Assign* correspondente, em sua criação (para mais detalhes, ver seção 5.4.3).

Assim que cada chamado é processado (ou atendido), este segue para um módulo *Dispose*, para receber um “fim” ou sair do sistema. Mas, antes disso, passa por módulos *Assign* que executarão o registro de seu conserto (ou seja, subtrairá uma unidade dos chamados correspondentes, que estavam alocados naquela área) e também, a atualização da pontuação da área. Esse processo segue enquanto houver chamados a serem atendidos naquela área que está sob atendimento.

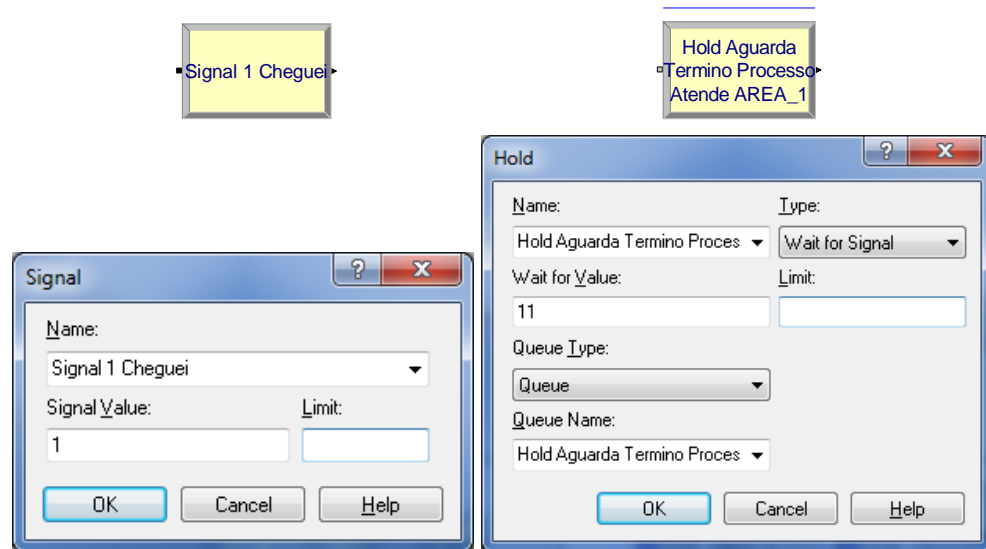
Todas as configurações referentes a esta seção estão demonstradas nas Figuras 42 a 51.

Figura 42 – Configuração dos módulos *Enter* do técnico e *Decide* verifica hora



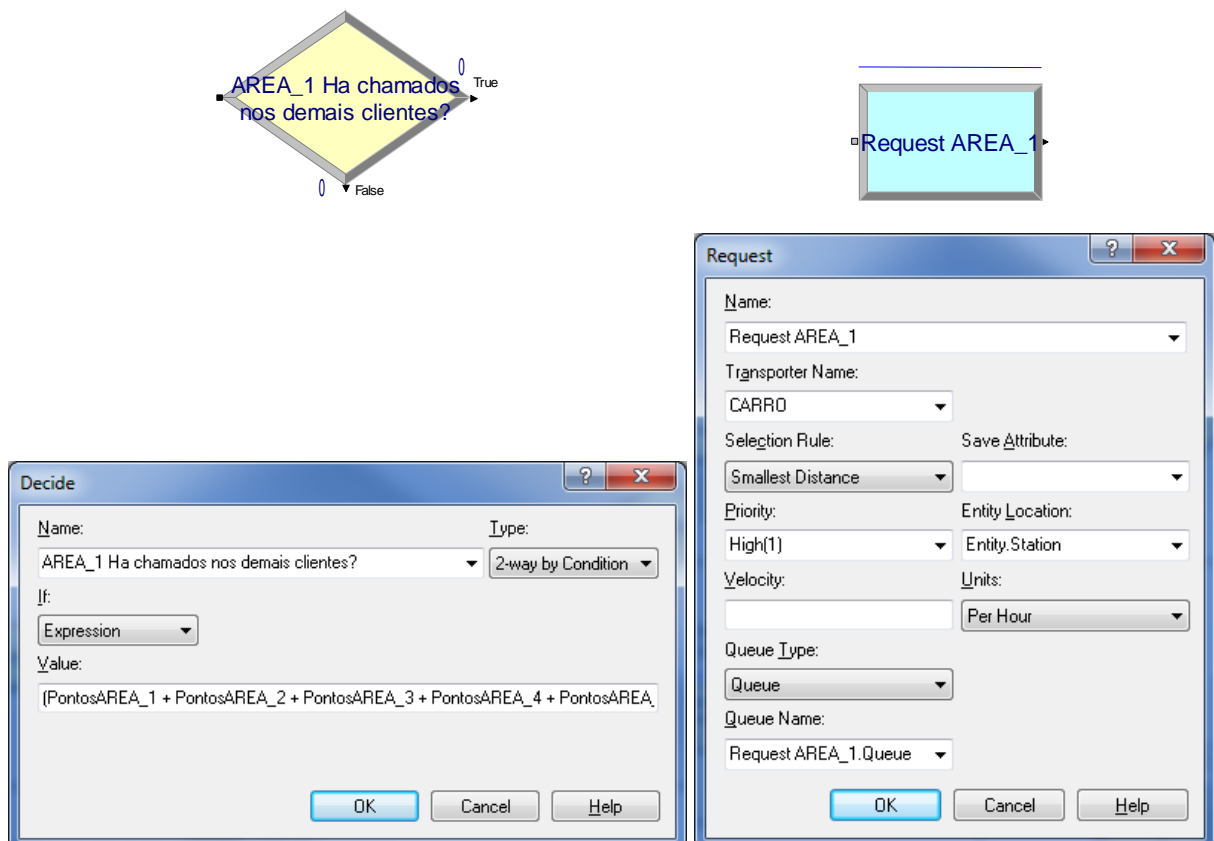
Fonte: Primária

Figura 43 – Configuração do módulo *Signal* cheguei e *Hold* aguarda término do processo



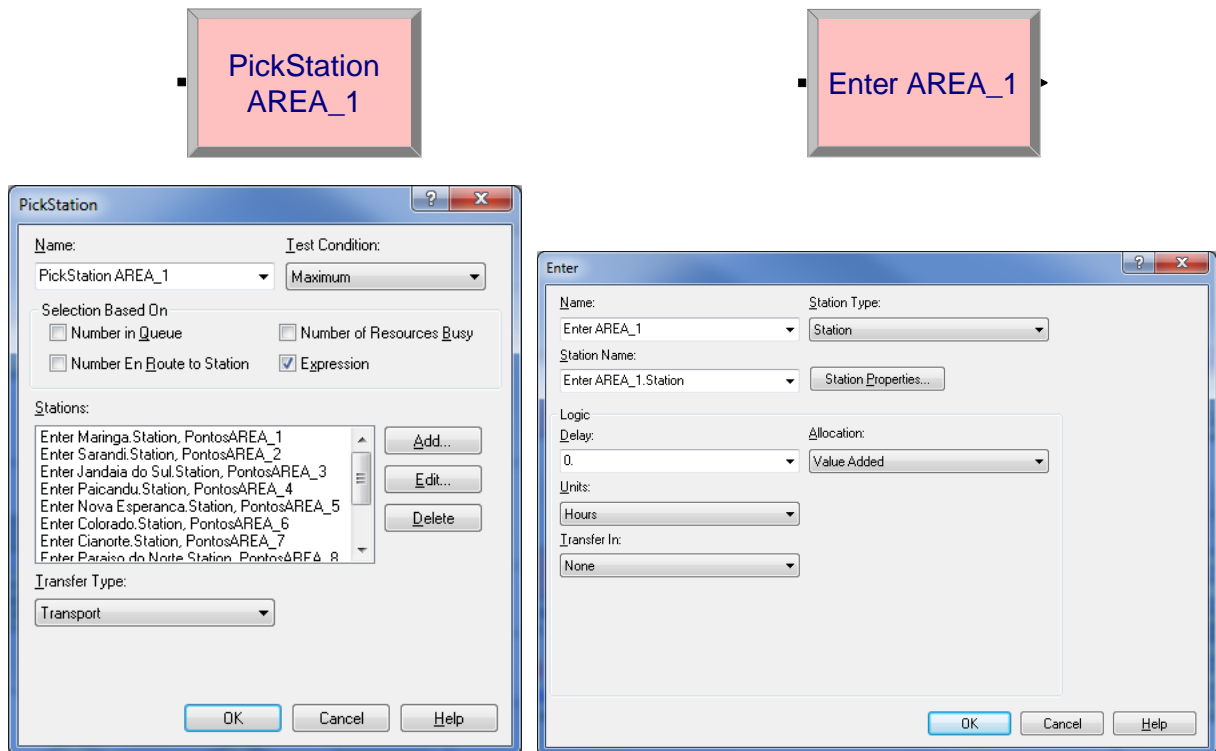
Fonte: Primária

Figura 44 – Configuração dos módulos *Decide* verifica se há chamados e *Request* AREA_X



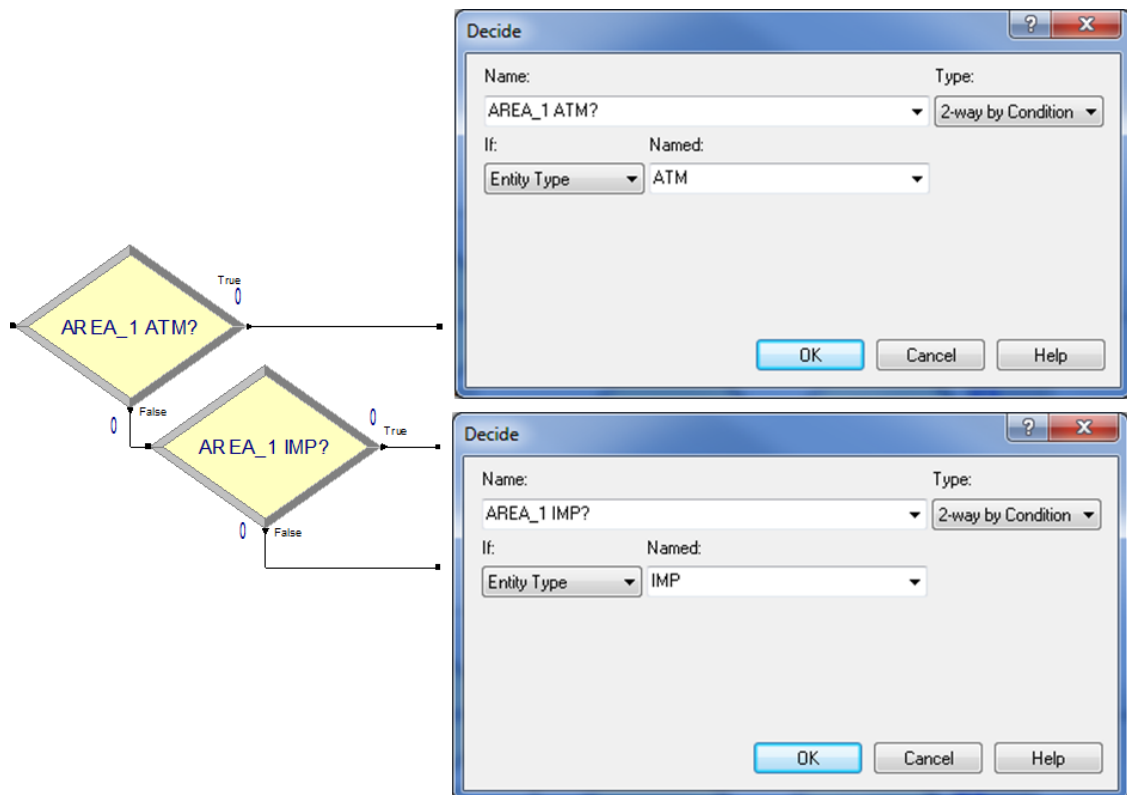
Fonte: Primária

Figura 45 – Configuração do módulo *PickStation* AREA_X e *Enter* AREA_X



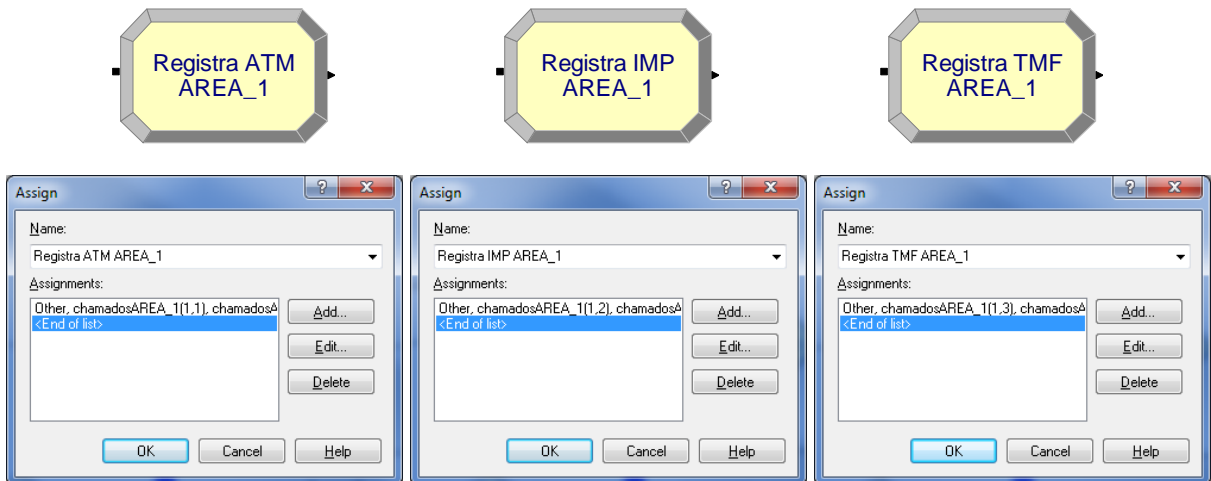
Fonte: Primária

Figura 46 – Configuração dos módulos *Decide* separa ATM, IMP e TMF



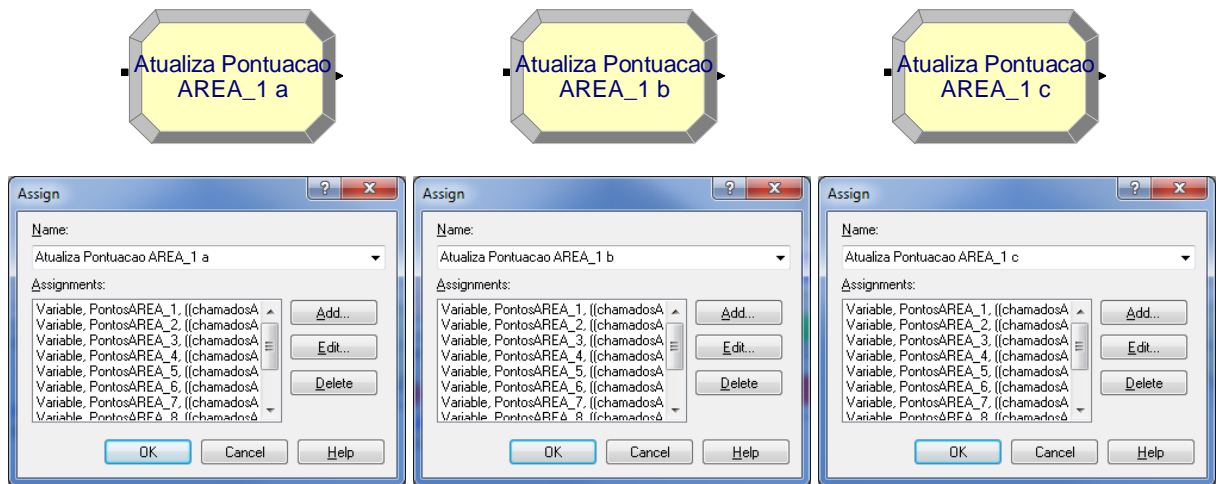
Fonte: Primária

Figura 47 – Configuração dos módulos Assign registra ATM, IMP e TMF



Fonte: Primária

Figura 48 – Configuração dos módulos Assign atualiza pontuação



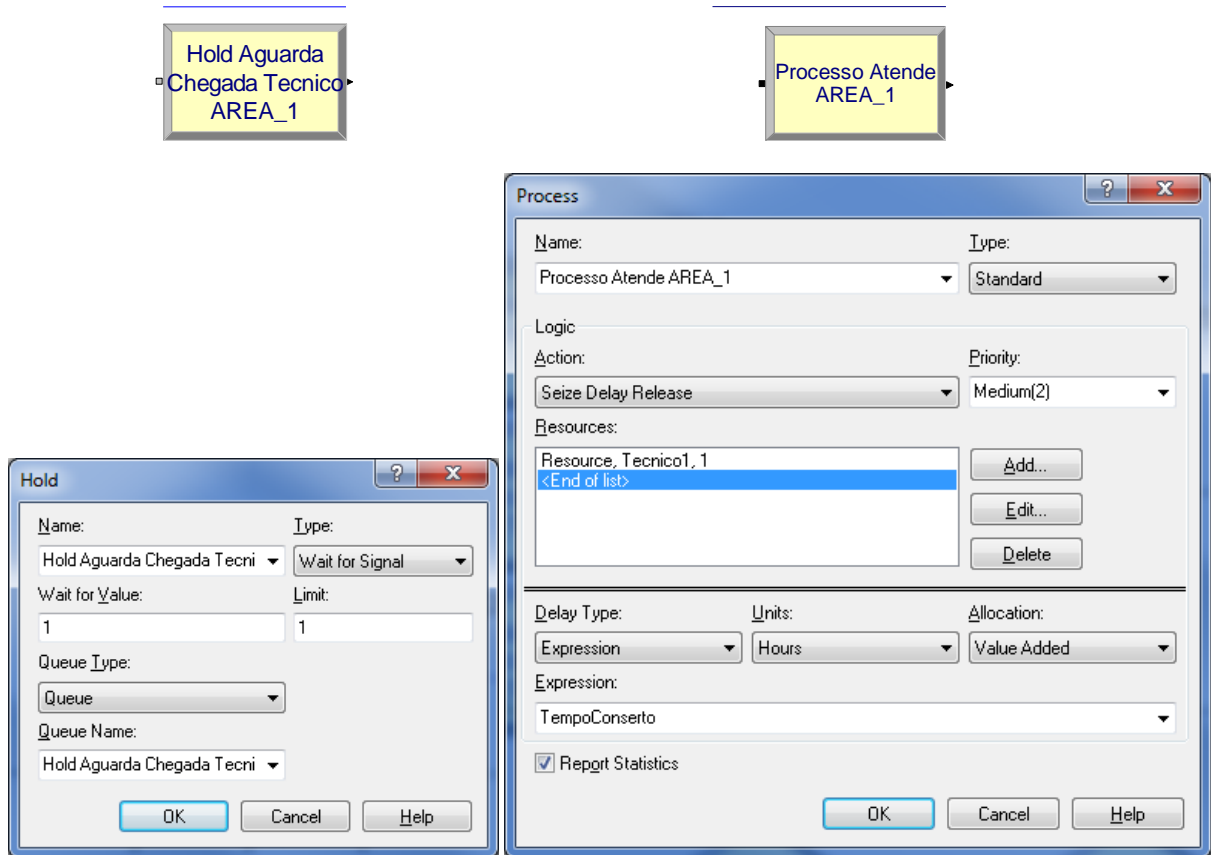
Fonte: Primária

Figura 49 – Configuração dos módulos Assign registra ATM, IMP e TMF atendidos



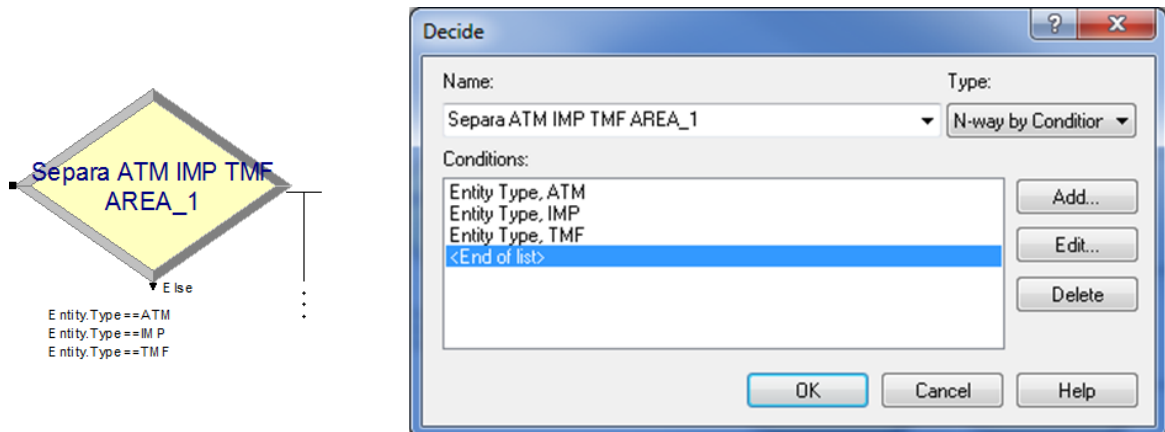
Fonte: Primária

Figura 50 – Configuração dos módulos *Hold* Aguarda chegada do técnico e *Process* atende AREA_X



Fonte: Primária

Figura 51 – Configuração do módulo *Decide* separa ATM, IMP e TMF



Fonte: Primária

6 RESULTADOS OBTIDOS

O modelo construído no *software* Arena® neste trabalho é uma abstração significativamente sucinta da realidade dos processos da empresa Brasil S/A. Portanto, é importante ressaltar que, por consequência, os resultados obtidos com base nos cenários das simulações realizadas adequam-se aos parâmetros aplicados neste estudo de caso.

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos com as simulações sistemáticas do modelo criado. Cenários distintos foram elaborados, sendo um para cada hipótese de alteração do modelo. Por exemplo: se o número de chamados técnicos aumentar em uma determinada proporção, qual será o impacto dessa alteração na realidade? Os recursos humanos da área técnica serão suficientes para atender essa nova demanda? Novos colaboradores precisarão ser contratados? Quantas horas diárias o TR utilizará nas manutenções? Quantas horas serão consumidas em viagens? Qual a distância total percorrida em um tempo determinado? Quais serão os custos dos processos? Enfim, inúmeras perguntas como essas surgirão e as análises de relatórios disponibilizados pelo *software* Arena® a cada cenário simulado ajudará a aos questionamentos inerentes ao processo.

Foram abordadas, neste trabalho, as análises das quantidades de chamados gerados, chamados atendidos, tempos gastos nos processos e utilização dos recursos e do transportador.

Cada cenário construído foi simulado por um período compreendido por trinta e um dias (conforme apresentado nas Tabelas 1, 2 e 3) e replicado por dez vezes. Portanto, os valores apresentados na Tabela 7 referem-se às médias aritméticas dos resultados das dez replicações de cada cenário.

A partir da próxima seção serão apresentados os resultados obtidos dos cenários simulados.

6.1 Cenário zero

Este cenário representa o caso real apresentado no presente trabalho, sem alterações nos dados do modelo. Foi constatado, para esse cenário simulado, que o sistema funciona sem gargalos, ou seja, as filas formadas são aceitáveis. Foi verificado, também, que o TR é capaz de atender os chamados sem que haja acúmulo significativo destes.

Uma replicação é compreendida por um período de tempo pré-estabelecido (que neste caso é de trinta e um dias). A configuração desses parâmetros pode ser efetuada no caminho

Run/Setup do Arena®. Em toda replicação, a aleatoriedade do sistema é aplicada ao modelo (devido às características estocásticas do *software*), sendo que, a cada nova replicação o número de chamados gerados é distinto, podendo, dessa forma, representar o mundo real, abordando suas variações e respeitando-se os limites aceitáveis estipulados nas equações de entrada.

6.2 Demais cenários

Nos cenários simulados, compreendidos por cenário um a cenário nove, foram constatadas algumas alterações significativas no comportamento do modelo, assim como quantidade de chamados atendidos em relação aos chamados gerados, tempo de ocupação do TR em relação ao total de horas do dia e também em relação às horas do seu turno de trabalho e taxa de utilização do carro.

Os dados compilados dos relatórios do Arena® são apresentados nas Tabelas 7 e 8.

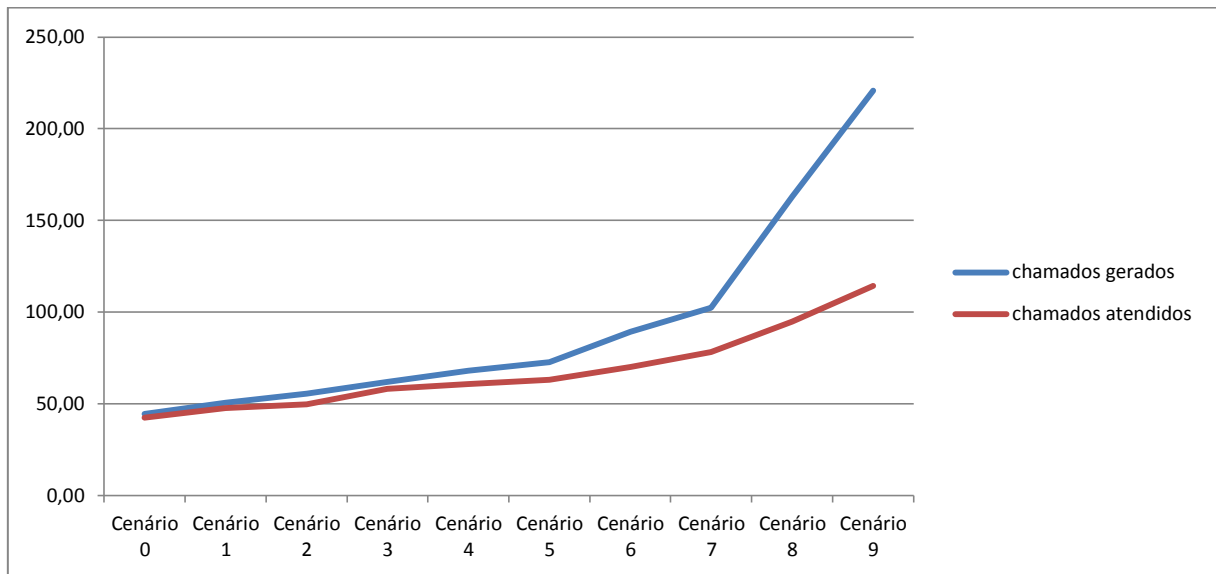
Tabela 7 – Quantidade de chamados

	Cenário 0	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 7	Cenário 8	Cenário 9
Chamados gerados (unid.)	44,50	50,80	55,70	62,10	68,20	72,90	89,50	102,40	162,90	220,90
Chamados atendidos (unid.)	42,60	47,90	49,80	58,40	60,90	63,20	70,30	78,40	94,80	114,50
Chamdos atendidos em relação aos gerados	95,73%	94,29%	89,41%	94,04%	89,30%	86,69%	78,55%	76,56%	58,20%	51,83%

Fonte: Primária

É possível perceber, por meio dos dados da Tabela 7, que os chamados atendidos acompanham o número de chamados gerados até certo ponto (cenário cinco) e que, a partir do cenário seis, há uma discrepância grande dos chamados atendidos em relação aos chamados gerados. Isso significa que há um acúmulo importante de chamados na fila para serem atendidos e, por isso, o prazo de atendimento acaba ficando comprometido.

O ponto do cenário cinco também indica a capacidade do sistema, ou seja, o limite máximo de operação para o modelo proposto. Isso pode ser verificado mais claramente no gráfico da Figura 52, a qual ilustra os dados apresentados na Tabela 7.

Figura 52 – Gráfico que representa o número de chamados

Fonte: Primária

Para a Figura 52, o eixo das abscissas representa cada cenário simulado e o eixo das ordenadas representa a quantidade média (em unidades) de chamados gerados e atendidos.

Outra informação importante trata das taxas de utilização, que se referem à ocupação do recurso em relação às horas disponíveis no turno de trabalho. A Tabela 8 apresenta os valores das taxas de utilização, tanto para o TR quanto para o carro (transportador).

Tabela 8 – Taxas de utilização

	Cenário 0	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 7	Cenário 8	Cenário 9
Taxa de utilização do TR (1)	26,66%	31,35%	32,39%	34,97%	38,80%	38,61%	43,85%	49,22%	59,41%	71,90%
Taxa de utilização do carro (2)	13,13%	14,35%	14,29%	15,45%	16,42%	15,64%	15,36%	14,80%	11,48%	9,17%

Fonte: Primária

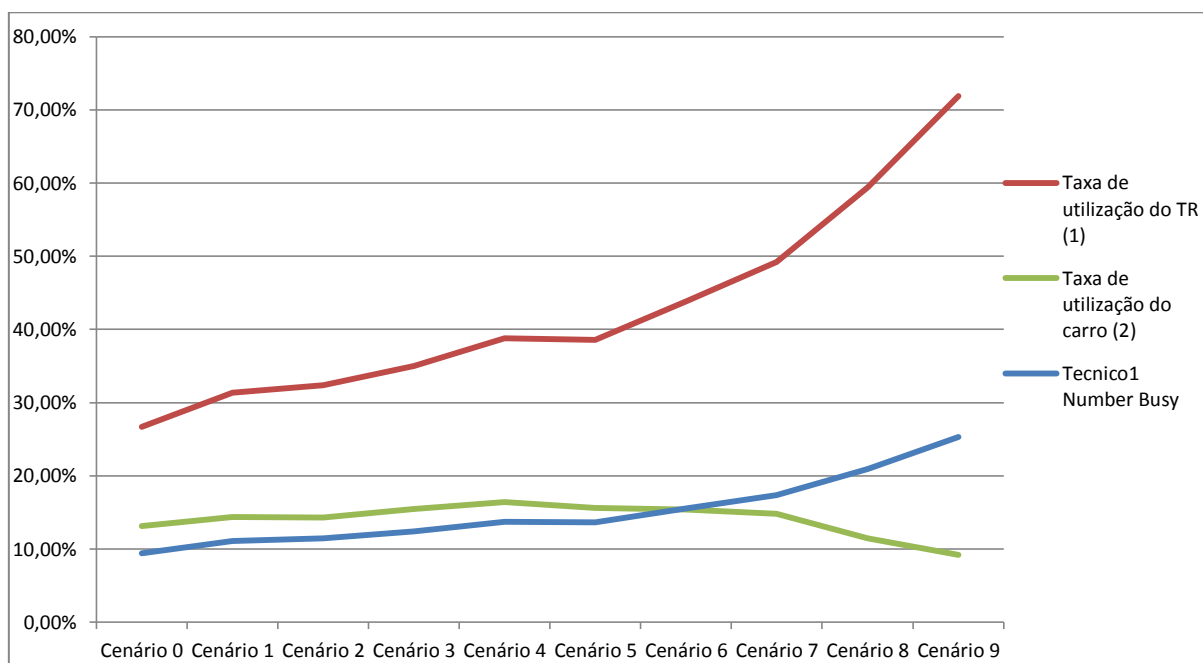
Notas: (1) horas trabalhadas (executando manutenção) em relação às horas de expediente;

(2) horas gastas com deslocamentos em relação às horas de expediente.

Constata-se, na Tabela 8, que a taxa de utilização do carro (transportador) cresce proporcionalmente até o cenário cinco e depois começa a decrescer. Quanto menor for a utilização do carro e maior o tempo de atendimento do técnico, teoricamente mais produtivo esse técnico será. Por outro lado, se o carro está sendo muito pouco utilizado, significa que estão sendo atendidos vários chamados em uma só área e as demais estão sem atendimento. É importante ressaltar que essa análise é feita baseando-se em um nível baixo ou inexistente de ociosidade do TR.

A Figura 53 ilustra com um gráfico as taxas de utilização dos recursos apresentados na Tabela 8.

Figura 53 – Gráfico da utilização dos recursos



Fonte: Primária

Para o gráfico da Figura 53, o eixo das abscissas representa cada cenário simulado e o eixo das ordenadas representa a porcentagem de ocupação de cada recurso mencionado.

Onde:

- *Técnico1 Schedule Utilization* é a taxa de ocupação do TR em relação às horas do seu turno de trabalho (conforme a programação do módulo *Schedule_Técnico1*);
- *Técnico1 Number Busy* é a taxa de ocupação do TR em relação às vinte e quatro horas do dia;
- *CARRO Utilization* é a taxa de ocupação do transportador *CARRO* em relação às vinte e quatro horas do dia.

Nota-se, no gráfico da Figura 53, que há um ponto em que a taxa de utilização do transportador está decrescendo e torna-se igual à taxa de ocupação do TR. Este é um ponto importante, pois a partir daí nota-se uma rápida queda na taxa de utilização do transportador, o que sugere que o TR não esteja deslocando-se satisfatoriamente para atender todas as áreas que necessitam de atendimento. O momento anterior ao cruzamento dessas duas linhas refere-se ao cenário cinco, o qual foi simulado com média de 72,90 chamados gerados em 31 dias.

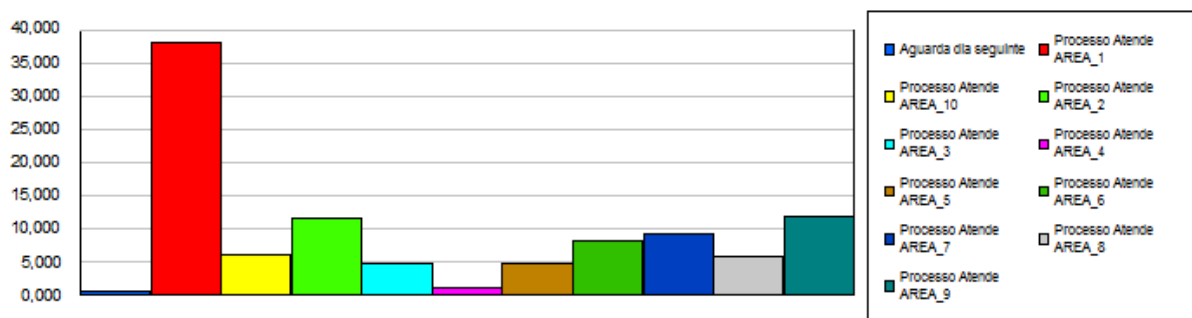
Ou seja, o cenário cinco caracteriza-se por um caso satisfatório de atendimento, em que a média diária de atendimentos de chamados por um TR seria:

$$\frac{72,90 \text{ chamados}}{31 \text{ dias}} \cong 2,35 \text{ chamados atendidos diariamente (média)}$$

Caso o número de chamados ultrapasse esse valor, talvez seja necessário contratar mais colaboradores para a mesma área ou efetuar um estudo para alocação de TRs em áreas estratégicas, conforme as necessidades e tempos de atendimento gastos em cada área, por exemplo.

A Figura 54 apresenta um gráfico que se utiliza de outro recurso de análise fornecido pelos relatórios do Arena®, no qual é possível visualizar os tempos acumulados gastos no atendimento de cada área, para um cenário simulado.

Figura 54 – Gráfico de tempos acumulados por área



Fonte: Primária

Onde:

- AREA_1: Maringá;
- AREA_2: Sarandi;
- AREA_3: Jandaia do Sul;
- AREA_4: Paiçandu;
- AREA_5: Nova Esperança;
- AREA_6: Colorado;
- AREA_7: Cianorte;
- AREA_8: Paraíso do Norte;
- AREA_9: Paranavaí;
- AREA_10: Loanda.

O eixo das abscissas representa cada área atendida e o eixo das ordenadas representa o tempo médio acumulado (em horas) que foi gasto em atendimento, em cada cliente, para um cenário simulado, em quantas replicações forem necessárias.

O gráfico da Figura 54 apresenta os dados simulados no cenário cinco do modelo criado. Os valores de tempos foram os que estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Tempos médios de atendimento para cada área

Área de atendimento	Nome do processo	tempo médio gasto (h)
Maringá	Processo Atende AREA_1	38,04
Sarandi	Processo Atende AREA_2	11,63
Jandaia do Sul	Processo Atende AREA_3	4,79
Paçandu	Processo Atende AREA_4	1,18
Nova Esperança	Processo Atende AREA_5	4,73
Colorado	Processo Atende AREA_6	8,31
Cianorte	Processo Atende AREA_7	9,19
Paraíso do Norte	Processo Atende AREA_8	5,91
Paranavaí	Processo Atende AREA_9	11,85
Loanda	Processo Atende AREA_10	6,05

Fonte: Primária

Como é possível perceber na Figura 54, a área que mais demandou tempo de atendimento foi a Área 1.

O *software* Arena® oferece, ainda, inúmeros outros recursos de informação para serem utilizados em tomadas de decisão e que poderão ser amplamente abordados e utilizados em trabalhos futuros.

CONCLUSÃO

Este trabalho deixa um grande aprendizado ao seu autor no que diz respeito ao tema estudado. É importante registrar que o assunto abordado não se esgota neste trabalho e que o tema poderá ser considerado como um ponto de partida para autores interessados em desenvolver trabalhos sobre o mesmo assunto, podendo, o modelo criado, ser ampliado e mais recursos e informações mais detalhadas poderão ser incluídos no modelo. Essas informações podem ser consideradas como a abordagem completa de uma região de atendimento, com a inclusão dos demais técnicos de manutenção, abordar individualmente todas as cidades envolvidas no processo, com os dados de chamados independentes por cliente e inúmeras outras informações relevantes.

Gradativamente, o modelo poderá ser aumentado e enriquecido em detalhes, com a finalidade de torná-lo cada vez mais fiel com a realidade dos processos vivenciados na empresa Brasil S/A.

Acredita-se que dificilmente será obtido um modelo de “versão final” para este estudo de caso, pois o mercado em questão é extremamente dinâmico e sofre constantes alterações, como modificações do parque tecnológico atendido, novos fatores mercadológicos, alterações dos prazos de entrega dos serviços executados, tempos de atendimento e inúmeros outros fatores podem sofrer alterações no dia a dia, justificando-se a constante necessidade de alterações do modelo, a fim de mantê-lo sempre atualizado e capaz de fornecer os resultados estrategicamente relevantes para as tomadas de decisão da empresa. No entanto, quanto mais for trabalhado no modelo, mais representativo com a realidade ele será, e decisões cada vez mais acertadas a nível estratégico poderão ser tomadas com base nas simulações efetuadas e colaborar para o constante sucesso da empresa, com otimizações de seus processos produtivos e consideráveis reduções de custos.

Uma funcionalidade extremamente importante que o *software* Arena® trata-se da inserção de informações relativas a custos, onde cada elemento, entidade ou processo envolvido no sistema possui um custo monetário inerente à sua atividade, sendo ele um recurso humano ou material. A análise de custos é de vital importância para qualquer empresa que pretende manter-se competitiva no mercado, principalmente uma empresa de grande complexidade operacional como o caso da Brasil S/A. Pode-se afirmar que é extremamente difícil prever alterações em seus custos com precisão quando seus processos sofrem alterações de forma

dinâmica, sem lançar mão de um *software* de simulação. Portanto, simulação dinâmica abordando o tema custos também pode ser considerado como um importante trabalho futuro e que este trabalho pode deixar a base como legado.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, E. L. de. **Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para análise de decisões**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 202 p. ISBN 978-85-216-1665-8.
- FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas**. Com aplicações em Arena. 2. ed. Florianópolis: Visual Books, 2008. 384 p. ISBN 978-857502-228-3.
- GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo, SP: Atlas, 2002. 176 p. ISBN 9788522431694.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN G. J. **Introduction to Operations Research**. 7. ed. New York: McGraw-Hill, 2001. ISBN 0072321695.
- _____. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 8. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006. ISBN 85-868046-81.
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. www.mapas.ibge.gov.br. Acesso em 08/10/2012.
- IPARDES. **Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social**. www.ipardes.gov.br. Acesso em 09/09/2012.
- KELTON W. D.; SADOWSKI D.A.; SADOWSKI R. P. **Simulation with Arena**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1998. 631 p. ISBN 0075612593.
- LAW A. M.; KELTON W. D. **Simulation Modeling and Analysis**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2000. ISBN 0070592926.
- MENEGOLLA, Maximiliano; SANT'ANNA, M., Ilza. **Por Que Planejar? Como Planejar?** 12. ed. Petrópolis: Vozes, 2002. ISBN 85.326.0776-4.
- PARAGON.
http://www.paragon.com.br/padrao.aspx?arena_academico_content_ct_2483_2364_.aspx.
 Acesso em 03/06/2012.
- _____. http://www.paragon.com.br/padrao.aspx?apresentacao_content_ct_1685_2139_.aspx.
 Acesso em 06/10/2012.
- PRADO, D. S. do. **Teoria das Filas e Simulação**. Série Pesquisa Operacional. V2. 2. ed. Nova Lima: INDG, 2004. 126 p. ISBN 85-98254-01-00.
- _____. **Usando o Arena em Simulação**. V3. Belo Horizonte: INDG, 2004. 305 p. ISBN 85-98254-04-5.
- SILVA, E. M. da et al. **Pesquisa operacional para os cursos de administração e engenharia: programação linear: simulação**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 208 p. ISBN 978-85-224-5963-6.
- TAHA, Hamdy A. **Pesquisa operacional: uma visão geral**. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. 384 p., 21x28cm. ISBN 978-85-7605-150-3.

WINSTON, W. L. **Operations Research**. Applications and Algorithms. 4. ed. Arizona: Thomson, 2004. 1418 p. ISBN 0-534-42362-0.

WERKEMA, M. C. C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Werkema, 1995. 304 p. ISBN 85-85447-15-X.

Universidade Estadual de Maringá
Departamento de Engenharia de Produção
Av. Colombo 5790, Maringá-PR CEP 87020-900
Tel: (044) 3011-4196/3011-5833 Fax: (044) 3011-4196