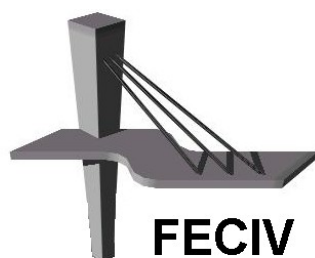


DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**APLICAÇÃO DA LOGISTICA URBANA NA  
MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE CORREDORES  
DO TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS**

ALEXSANDRO SILVA SOLON

UBERLÂNDIA, 22 DE MARÇO DE 2012



**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**



**Alexsandro Silva Solon**

**APLICAÇÃO DA LOGISTICA URBANA NA MODELAGEM  
E SIMULAÇÃO DE CORREDORES DO TRANSPORTE  
PÚBLICO POR ÔNIBUS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da  
Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos  
requisitos para a obtenção do título de **Mestre em  
Engenharia Civil**.

**Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Faria**

**Uberlândia, 22 de Março de 2012**



## ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ATA Nº:** 097/2012

**CANDIDATO:** Alexsandro Silva Solon

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. Carlos Alberto Faria

**TÍTULO:** "Aplicação da logística urbana na modelagem e simulação de corredores do transporte público por ônibus"

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:** Engenharia Urbana

**LINHA DE PESQUISA:** Planejamento e Operação de Transportes

**DATA DA DEFESA:** 23 de março de 2012

**LOCAL:** Sala de Projeção Prof. Celso Franco de Gouvêa

**HORÁRIO DE INÍCIO E TÉRMINO DA DEFESA:** 13:45 - 16:30

Após avaliação do documento escrito, da exposição oral e das respostas às arguições, os membros da Banca Examinadora decidem que o candidato foi:

☒ APROVADO

☐ REPROVADO

**OBS:** Fazer a revisão geral do texto, formatação e referências adequando e complementando as informações de simulação por esboçamento do procedimento realizado. Passar as tabelas ilustrativas do programa para os anexos, readequando capítulo 3. Reforçar as contribuições do ponto de vista técnico à aplicação direta pelos órgãos competentes.

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata que está assinada pelos membros da Banca:

*Carla A. R.*

Professor Orientador: **Prof. Dr. Carlos Alberto Faria – FECIV/UFU**

*Carla A. R.*

Membro externo: **Prof. Dr. Gustavo Peixoto Silva – UFOP**

*Gustavo Peixoto Silva*

Membro: **Prof. Dr. Cláudio Miotto – FAGEN/UFU**

Uberlândia, 23 de março de 2012.

*Aos meus pais pelo carinho e apoio, à minha esposa pelo incentivo e apoio incondicional e aos meus filhos pela presença constante neste período importante de transformação em minha vida.*

# AGRADECIMENTOS

---

Agradeço a todos os meus amigos e família pela força e paciência durante todo este período.

Agradeço principalmente à minha esposa Eva pelo apoio incondicional e paciência durante esse trabalho.

Aos meus colegas de mestrado da Faculdade de Engenharia Civil, que contribuíram de forma direta e indireta para a realização deste trabalho, principalmente ao colega Xilton Araújo de Deus que me auxiliou muito no desenvolvimento da parte prática e simulação.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Alberto Faria, pelas ideias e empenho no desenvolvimento da dissertação.

À Universidade Federal de Uberlândia e à Faculdade de Engenharia Civil, que forneceram o apoio necessário à realização da pesquisa.

À CAPES, pelo apoio financeiro.

SOLON, A. S. Aplicação da logística urbana na modelagem e simulação de corredores do transporte público por ônibus. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2012.

## RESUMO

---

O objetivo deste trabalho é modelar e simular o comportamento do transporte público em corredores de transporte público por ônibus com base em conceitos da logística urbana utilizando ferramentas computacionais dos programas ARENA e TransCAD. O corredor de ônibus utilizado no estudo de caso é o da Avenida João Naves de Ávila, em Uberlândia (MG). Para modelar o corredor procurou-se estabelecer o equilíbrio demanda/oferta garantindo o nível de serviço com lotação máxima de 80 pessoas e, também, utilizou-se os conceitos da logística urbana para análise, simulação e geração de cenários. A modelagem considerou os embarques e desembarques de passageiros e o deslocamento dos ônibus no corredor. Esses dados proporcionaram a simulação do corredor conforme demanda de passageiros e nível de serviço adotado na hora de pico. Como conclusões, o modelo mostrou-se consistente com os objetivos propostos e os valores obtidos do tempo de viagem e da lotação na hora de pico no programa ARENA foram muito similares aos obtidos no TransCAD.

**Palavras-chave:** Corredor de Ônibus – Modelagem e Simulação – Logística urbana – ARENA - TransCAD.

SOLON, A. S. Application of logistics in urban modeling and simulation of corridors for public transport buses. Master's Thesis, Faculty of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2012.

## ABSTRACT

---

The aim of this paper is to model and simulate the behavior of transit in corridors of public transport by bus based on city logistics concepts using the tools of ARENA and TransCAD softwares. The bus lane used in the case study is the Avenida João Naves de Ávila, in Uberlândia (MG). To model the corridor tried to establish the equilibrium demand / supply ensuring the level of service with a maximum capacity of 80 persons and also used the concepts of city logistics for analysis, simulation and scenario generation. The model considered the arrivals and departures of passengers and the movement of buses in the corridor. These data resulted in the simulation of the corridor as passenger demand and service level adopted in the peak hour. As conclusions noted that the objective was fully achieved and the values of travel time and loading at peak hour in the ARENA software were very similar to those obtained in TransCAD.

**Keywords:** Bus Corridor - Modeling and Simulation - Urban Logistics - ARENA – TransCAD.

# LISTA DE TABELAS

---

<b>Tabela 1</b> - Classificação dos modos de transporte urbano de passageiros .....	27
<b>Tabela 2</b> – Indicadores de eficiência dos modos de transporte de passageiros .....	29
<b>Tabela 3</b> - Exemplos de sistemas e seus componentes .....	42
<b>Tabela 4</b> - Dados Comparativos do Corredor Av. João Naves antes e depois de sua implantação .....	69
<b>Tabela 5</b> - Valores de Embarque/Desembarque de Passageiros por quarto de hora no sentido Bairro-Centro .....	71
<b>Tabela 6</b> - Valores de Embarque/Desembarque de Passageiros por quarto de hora no sentido Centro-Bairro .....	72
<b>Tabela 7</b> - Tempo de deslocamento e distância entre os pontos .....	73
<b>Tabela 8</b> - Tempo de parada nas estações .....	74
<b>Tabela 9</b> - Condições iniciais de lotação e atraso .....	77
<b>Tabela 10</b> - Tempo de parada em segundos nos Pontos .....	78
<b>Tabela 11</b> - Corredor Av J N Avila - 1º Ônibus - Sentido: Bairro/Centro .....	88
<b>Tabela 12</b> - Corredor Av J N Avila - 2º Ônibus - Sentido: Bairro/Centro .....	88
<b>Tabela 13</b> - Corredor Av J N Avila - 3º Ônibus - Sentido: Bairro/Centro .....	89
<b>Tabela 14</b> - Corredor Av J N Avila - 4º Ônibus - Sentido: Bairro/Centro .....	89
<b>Tabela 15</b> - Corredor Av J N Avila - 5º Ônibus - Sentido: Bairro/Centro .....	90



# LISTA DE FIGURAS

---

<b>Figura 1</b> - Pilares da <i>City Logistics</i> .....	22
<b>Figura 2</b> - Distribuição inter e intra-urbana de carga .....	23
<b>Figura 3</b> - Divisão modal do transporte urbano de passageiros no Brasil .....	28
<b>Figura 4</b> - Impactos da transferência de viagens entre modos de transporte .....	30
<b>Figura 5</b> - Número de passageiros transportados por mês no modo ônibus urbano .....	32
<b>Figura 6</b> - Metodologia de simulação .....	40
<b>Figura 7</b> - Barra de Menu do ARENA .....	45
<b>Figura 8</b> - Ambiente de Trabalho do ARENA .....	46
<b>Figura 9</b> - Barra de Ferramentas <i>Standard</i> do ARENA .....	47
<b>Figura 10</b> - Barra de Ferramentas <i>View</i> do ARENA .....	47
<b>Figura 11</b> - Barra de Projeto do ARENA .....	48
<b>Figura 12</b> - Módulo <i>Create</i> (Início do Processo) do ARENA .....	49
<b>Figura 13</b> - Módulo <i>Process</i> (Processo de Atendimento) do ARENA .....	50
<b>Figura 14</b> - Módulo <i>Dispose</i> (Término do Processo) do ARENA .....	50
<b>Figura 15</b> - Módulo <i>Decide</i> (Processo de Decisão) do ARENA .....	51
<b>Figura 16</b> - Módulo <i>Entity</i> (Entidades) do ARENA .....	52
<b>Figura 17</b> - Módulo <i>Resource</i> (Recursos) do ARENA .....	52
<b>Figura 18</b> - Módulo <i>Batch</i> (Agrupamento) do ARENA .....	53
<b>Figura 19</b> - Módulo <i>Separate</i> do ARENA .....	54
<b>Figura 20</b> - Módulo <i>Record</i> (Coleta) do ARENA .....	54
<b>Figura 21</b> - Módulo <i>Assign</i> (Atributos) do ARENA .....	55
<b>Figura 22</b> - Exemplo de Fluxograma de um Processo no ARENA .....	55
<b>Figura 23</b> - SIG (Sistemas de Informações Geográficas) .....	56
<b>Figura 24</b> - Ciclo para tomada de decisão com SIG .....	57
<b>Figura 25</b> - Estrutura do SIG .....	58
<b>Figura 26</b> - Apresentação do TransCAD .....	61
<b>Figura 27</b> - Apresentação da caixa <i>Vehicle Routing</i> do TransCAD .....	64
<b>Figura 28</b> - Caixa para criar e editar a tabela de veículos no TransCAD .....	65

<b>Figura 29</b> - Corredor Av. João Naves de Ávila – Uberlândia/MG .....	68
<b>Figura 30</b> - Fluxo do Corredor Av. João Naves de Ávila – Uberlândia/MG no ARENA..	76
<b>Figura 31</b> - Lotação e Tempos de Viagem do 1º Ônibus .....	80
<b>Figura 32</b> - Lotação e Tempos de Viagem do 2º Ônibus .....	81
<b>Figura 33</b> - Lotação e Tempos de Viagem do 3º Ônibus .....	82
<b>Figura 34</b> - Lotação e Tempos de Viagem do 4º Ônibus .....	83
<b>Figura 35</b> - Lotação e Tempos de Viagem do 5º Ônibus .....	84
<b>Figura 36</b> - Matriz de distancias do TransCAD .....	87
<b>Figura 37</b> - Tela da rota criada pelo TransCAD para o Corredor .....	87
<b>Figura 38</b> - Tela do relatório gerado pelo ARENA para a Estação 4 no trajeto de volta ...	91
<b>Figura 39</b> - Tela do gráfico gerado pelo ARENA .....	92

# SIGLAS E ABREVIATURAS

---

- 1 ANTP - Associação Nacional dos Transportes Públicos
- 2 E/D – Embarque/Desembarque
- 3 FICCDC - *Federal Interagency Coordinating Committee*
- 4 GISDK - *Geographic Information System Development's Kit.*
- 5 NTU - Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos
- 6 PlanMob - Plano de Mobilidade Urbana
- 7 PRV - Problema de Roteamento de Veículos
- 8 S - Segundos
- 9 SeMob - Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana
- 10 SESC - Serviço Social do Comércio
- 11 SETTRAN - Secretaria Municipal de Trânsito e Transportes
- 12 SIG - Sistemas de Informações Geográficas
- 13 SIG-T - Sistema de Informações Geográficas para Transportes
- 14 SIT - Sistema Integrado de Transporte
- 15 *TNOW* - Intervalo de Tempo

- 16      UAI - Unidade de Atendimento Integrado
- 17      UFU – Universidade Federal de Uberlândia
- 18      UTM – *Universal Transverse Mercator*

# SUMÁRIO

---

<b>1. Introdução.....</b>	<b>10</b>
1.1 Objetivos do Trabalho.....	14
1.2 Justificativas do Trabalho.....	14
1.3 Estrutura do Trabalho.....	15
<b>2. Revisão bibliográfica.....</b>	<b>17</b>
2.1 Mobilidade Urbana.....	17
2.2 Logística Urbana.....	19
2.3 Transporte Urbano.....	26
2.4 Transporte Coletivo Urbano por Ônibus.....	31
2.4.1 Evolução do Transporte Coletivo Urbano.....	32
2.4.2 Sistema de TCU por Ônibus.....	33
2.4.2.1 Classificação das Linhas.....	35
2.4.2.2 Pontos de Parada.....	36
<b>3. Simulação Computacional.....</b>	<b>38</b>
3.1 Elementos Básicos da Simulação Computacional.....	41
3.1.1 Eventos.....	43
3.1.2 ARENA.....	43

3.2 Sistemas de Informações Geográficas (SIG).....	56
3.2.1 TransCAD.....	59
3.2.1.1 Roteirização com o TransCAD.....	62
<b>4. Estudo de Caso.....</b>	<b>66</b>
4.1 Caracterização do Corredor.....	67
4.2 Coleta de Dados e Parametrização para Simulação do Corredor.....	69
4.3 Simulação Utilizando o Software ARENA.....	74
4.4 Simulação Utilizando o Software TransCAD.....	85
4.5 Análise e Discussão dos Resultados.....	91
<b>5. Conclusões Preliminares.....</b>	<b>94</b>
<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>96</b>

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

Todo cidadão possui o direito de ir e vir e o pratica com diversas finalidades: trabalho, estudo, saúde, lazer etc. Juntamente com essas necessidades que o cidadão possui, de se deslocar para o trabalho, para a escola, para o lazer, o crescimento populacional no Brasil e o aumento da frota de veículos, vários fatores situacionais foram desencadeados devido à circulação urbana, como aglomerações e congestionamentos de veículos. O inconveniente nas grandes cidades está relacionado à estrutura não adequada das vias de tráfego, bem como da falta de paciência dos usuários em vias congestionadas. Têm-se os acidentes de trânsito, congestionamentos, poluição atmosférica e sonora, conflitos entre veículos e pedestres. Esses problemas afetam negativamente a qualidade de vida da população.

Com a expansão das cidades tornou-se indispensável o deslocamento de pessoas em grandes distâncias, com o surgimento de regiões afastadas entre si dentro do perímetro urbano e assim, ocorrendo o uso e ocupação do solo de diferentes formas.

O cotidiano nas cidades e áreas metropolitanas brasileiras evidencia as necessidades de melhorias nos sistemas de transportes. Os congestionamentos diários, a baixa produtividade e qualidade dos serviços de transporte coletivo por ônibus evidenciam esse quadro de ineficiência nas atuações acerca dos aspectos ambientais e socioeconômicas das aglomerações urbanas brasileiras que são variáveis importantes no contexto da engenharia de tráfego e de transportes.

As distâncias cada vez maiores dos centros urbanos desencadeiam o aumento nos tempos de viagem e o tempo cada vez maior da população na espera pelo transporte público, no deslocamento das periferias para o centro, na ida para o trabalho, e posteriormente, no sentido inverso, no retorno do trabalho.

O nível de lotação dos ônibus e o tempo de espera pelo transporte cada vez maior evidenciam o baixo nível de serviço em relação ao serviço prestado à população.

O nível de serviço em logística é o atendimento da satisfação do consumidor final envolvendo variáveis como a qualidade do serviço prestado, a rapidez na entrega e/ou coleta, no horário previamente definido, na quantidade correta e no lugar acordado a um preço justo. Assim, pode-se fazer uma analogia do nível de serviço com o passageiro do transporte público, em que o mesmo além de ser o consumidor que deve ser satisfeito, também é o produto que deve ter sua movimentação realizada e sua segurança assegurada.

A oferta de transporte público de boa qualidade é resultante da integração entre os usuários desse transporte, os quais desejam um bom nível de serviço, das empresas de transporte público que buscam sempre reduzir seus custos de frota e mão-de-obra para obtenção de lucro, e, da prefeitura das cidades que necessita atender seus projetos de expansão e as necessidades de seus habitantes de se deslocarem dentro do perímetro urbano.

Segundo Ferraz e Torres (2004), o planejamento e a gestão adequada do sistema de transporte público por parte das prefeituras, são atividades fundamentais para obter qualidade e eficiência nesse tipo de transporte e nas atividades urbanas.

As atenções dos usuários do transporte público estão voltadas principalmente para o valor cobrado, o conforto proporcionado pelo serviço, o tempo de espera em pontos de parada de ônibus e o tempo da viagem. Segundo Ferraz e Torres (2004) são 12 os principais fatores



que influenciam na qualidade do transporte público: Acessibilidade (está associada à facilidade de chegar ao local de embarque no transporte coletivo e de sair do local de desembarque e alcançar o destino final); Frequência de atendimento (relacionada ao intervalo de tempo da passagem dos veículos de transporte público); Tempo de viagem (tempo gasto no interior dos veículos); Lotação (quantidade de passageiros no interior dos veículos); Confiabilidade (grau de certeza dos usuários de que o veículo de transporte público vai passar na origem e chegar ao destino no horário previsto); Segurança (acidentes envolvendo os veículos e atos de violência); Características dos veículos (a tecnologia e o estado de conservação); Características dos locais de parada (sinalização adequada, existência de bancos para sentar e cobertura); Sistema de informação (disponibilidade de folhetos com horários, itinerário das linhas e a indicação de estações); Conectividade (facilidade de deslocamento dos usuários de transporte público entre dois locais quaisquer da cidade); Comportamento dos operadores (postura dos motoristas e cobradores durante o desempenho de suas atividades); e Estado das vias (a qualidade da superfície de rolamento).

Ao observar tais características relacionadas ao transporte coletivo, outro aspecto que será abordado é avaliação dos corredores de ônibus com foco voltado para o seu comportamento logístico e analisar o seu dimensionamento com intuito de suprir adequadamente a demanda de passageiros.

O corredor de ônibus foi desenvolvido justamente para aumentar a qualidade no atendimento do transporte, pois reduz o tempo de espera, reduz o tempo de viagem e traz mais segurança aos usuários do transporte, bem como também traz mais fluidez ao tráfego, onde há uma faixa para o tráfego dos ônibus e geralmente com sistemas semafóricos que atuam para deixar o seu deslocamento livre e com o mínimo de paradas. Esses corredores possuem uma faixa exclusiva para os ônibus, separando-os dos outros veículos.

Para entender o comportamento de um corredor de ônibus, deve-se primeiro entender o sistema viário. O sistema viário é composto por um conjunto de vias de uma determinada região. Assim, pode-se afirmar que uma das principais causas do tamanho das cidades dá-se em função da tecnologia que permitiu o desenvolvimento dos sistemas de transportes na utilização do sistema viário. Se o homem não necessitasse efetuar seu deslocamento dentro das cidades, bem como de transportar produtos e objetos, não teriam as condições mínimas

indispensáveis ao crescimento de suas cidades, de maneira mais confortável e rápida, apresentando sistemas adequados, eficientes e modernos.

O conhecimento do sistema viário é de importância primordial para se estabelecer o zoneamento do uso do solo urbano. São as vias do sistema viário e as características naturais (lagos, rios, morros etc.) que delimitam as unidades de vizinhança, setores e distritos de uma cidade. Cada uso do espaço seja ele comercial, residencial, industrial, institucional ou misto, tem uma condição diferente de gerar ou atrair viagens. E, essa condição aliada à necessidade básica de trabalho da população faz com que também em determinados horários, denominados horários de pico nas cidades, tem-se um acúmulo na mesma hora de movimentação no trajeto entre o centro e o bairro e vice-versa. Exemplo disso é a demanda elevada de usuários que necessitam se deslocar dos bairros e periferias da cidade para o centro, para trabalho no início da manhã e sua volta no sentido contrário, do centro para os bairros, ao final da tarde.

Mesmo uma cidade que não possua planejamento adequado, é moldada por traçados impostos, seja por processo de ocupação irregular ou por urbanizações parciais através de intervenções imobiliárias públicas ou privadas.

De acordo com os requisitos da população, as vias se ajustam conforme as necessidades e condições que serão utilizadas. Isto não é um processo imediato, as mudanças no comportamento da população é que muitas vezes induzem as modificações no uso e na importância de uma via.

Diante disso, tais requisitos populacionais fizeram com que se considerasse que o processo de desenvolvimento urbano em sua evolução necessitasse de novas modificações para o seu sistema viário, o que configurou no planejamento de transportes.

Outro importante fator que determina a utilização e a importância da rede viária, e que foi abordado anteriormente, é a rede do transporte público urbano que tem por objetivo a acessibilidade da população a todos os setores da cidade por intermédio das vias existentes. De acordo com Ferraz e Torres (2004), o tipo e estado das vias influenciam diretamente na velocidade do atendimento do transporte público, pois, vias não pavimentadas ou pavimentadas, mas com imperfeições e desgastes, reduzem a velocidade, aumentando a necessidade de um maior número de ônibus para atender a demanda, reduzindo assim a eficiência.

## 1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

Modelar e simular um corredor de ônibus com base na logística urbana utilizando os *softwares* TransCAD e ARENA.

Os objetivos específicos são:

- ✓ Analisar e caracterizar um corredor de ônibus como objeto de estudo;
- ✓ Aplicar a logística urbana num corredor específico de ônibus;
- ✓ Utilizar os softwares ARENA e TransCAD para modelar e simular o corredor de ônibus para o atendimento em horário de pico;

## 1.2 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

A logística não está somente inserida no conceito empresarial de gestão da cadeia de suprimentos, e nem tampouco somente na análise de transporte e suas modalidades. O seu conceito pode também ser utilizado para avaliar o comportamento de oferta e demanda em uma área específica de Transporte Coletivo Urbano por ônibus.

De acordo com Ballou (2006), a logística trata de todas as atividades de movimentação e armazenagem que facilitam o fluxo de produtos desde o ponto de aquisição da matéria-prima até o seu destino. Pode-se interpretar então, que as atividades de movimentação são o fluxo de pessoas que utilizam o transporte coletivo por ônibus ou que possam vir a utilizar, e, ao invés de produtos, são os usuários, pessoas que necessitam de utilizar de um transporte público para transitar na cidade, levando-o de sua origem ao seu destino com conforto e a um custo acessível.

A logística une dois pontos que estão distantes geograficamente de uma forma planejada, envolvendo a análise da demanda através de ferramentas estatísticas para efetuar projeções, como também envolve atender ao nível de serviço do consumidor final, ou seja, do usuário e do produto a ser transportado por um sistema de transporte público ofertado pelo município em questão.

A abordagem moderna do planejamento da logística configura-se no ramo computacional, com a finalidade de aumentar a capacidade de trabalhar as grandes quantidades de dados presentes na análise. Logo, consiste na criação de modelos computacionais, com o intuito de trabalharem com o problema da localização em planejamento de rede, além da possibilidade de simulação da situação real e futura, os quais vêm conquistando significativa preferência.

Segundo Ballou (2006), existem dois tipos de modelos de simulação: a determinística e a estocástica. Os simuladores determinísticos são essencialmente calculadores de custos, já que os valores das variáveis estruturais são dados do modelo e que, por sua vez, calcula os custos, estatísticas de serviços e outras informações relevantes. Já os simuladores estocásticos procuram imitar fatos reais usando distribuições probabilísticas para representar a incerteza no tempo real de ocorrência dos fatos e o nível de suas variáveis.

Então, de acordo com essa abordagem, tem-se que é de suma importância a utilização de modelos de simulação estatística para efetuar a análise do transporte público e do comportamento dos corredores de ônibus, avaliando não somente a qualidade do atendimento como transporte público, mas também avaliando do ponto de vista logístico através de um movimento de entrega e coleta de produtos, que no caso, são os próprios usuários.

Portanto, nesse estudo aplicaram-se conceitos da logística urbana, como também da utilização e ferramentas estatísticas/computacionais para modelar e simular um corredor do transporte coletivo urbano por ônibus da cidade de Uberlândia/MG, para avaliar nível de atendimento em atender a demanda de passageiros.

### **1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Este trabalho é constituído de cinco capítulos, organizados da seguinte maneira: o primeiro capítulo apresenta uma abordagem sobre as necessidades de transporte nas cidades, as prioridades da população e a relação entre os sistemas viários e corredores de ônibus, utilizando para isso princípios logísticos. Em seguida foram apresentados os objetivos e a justificativa do trabalho.

O segundo capítulo descreve a mobilidade urbana com sua evolução através de leis e ações governamentais e de departamentos associados ao transporte e trânsito no Brasil, também apresenta a nova identificação da logística urbana (*city logistics*) no contexto do transporte coletivo urbano, especificando o tipo de ônibus e sua caracterização por meio de corredores específicos, mostrando a evolução desse sistema, a classificação das linhas e dos pontos de parada.

O terceiro capítulo apresenta a simulação computacional, sua classificação, metodologia, os elementos básicos, os eventos, e sua evolução, além também de apresentar os softwares específicos de simulação ARENA e o TransCAD, juntamente com uma abordagem sobre os Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

O quarto capítulo apresenta o estudo de caso, em que se utiliza o Corredor de Ônibus da Avenida João Naves de Ávila, em Uberlândia/MG. Neste capítulo será apresentado a caracterização desse corredor, o levantamento dos dados por meio de pesquisa em campo, a montagem da estrutura de dados necessária para alimentar a simulação a ser desenvolvida no ARENA e no TransCAD. Também será desenvolvida, passo a passo, a simulação do corredor através dos softwares utilizados e a apresentação dos resultados obtidos através de seus relatórios de saída. Em seguida será destacada a discussão desses resultados com a análise realizada utilizando conceitos de *city logistics* apresentando assim, as propostas para melhoria e adequação do atual corredor.

O quinto e último capítulo apresentam a conclusão final do trabalho, mostrando os objetivos alcançados, os resultados apresentados e as avaliações necessárias.

## CAPÍTULO 2

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 MOBILIDADE URBANA

A mobilidade urbana é um atributo associado às pessoas e aos bens. Correspondem também às diferentes respostas dadas por indivíduos e agentes econômicos às suas necessidades de deslocamento urbano, através de pesquisas e estudos, dadas as considerações das dimensões do espaço urbano e o desenvolvimento de atividades complexas nesse espaço urbano (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2007).

Corresponde, portanto, às soluções de deslocamento pela área urbana. Contudo, quando essa solução de mobilidade começa a ficar complexa ou sobrecarregada, criam-se entraves (congestionamentos, engarrafamentos etc.) no trânsito e verifica-se que o tráfego no local fica lento, muito ruidoso, interferindo no atendimento da qualidade do transporte. Foi então que o governo federal criou e aprovou o Estatuto da Cidade (Lei Federal nº 10.257/01) depois de treze anos da Constituição do Brasil (1988), e, organizou uma política urbana voltada para viabilizar uma adequada mobilidade urbana.

Através do Estatuto da Cidade, algumas ações de política pública se tornaram obrigatórias, preocupadas com o futuro da rede de transportes e da mobilidade das pessoas do centro urbano. O Plano Diretor é derivado desse estatuto, o qual é obrigatório para cidades com mais de 20 mil habitantes. Com esse plano, as cidades adquirem o direito de possuir um controle social sobre as ações do capital no que se refere principalmente ao uso do solo.

Dentre as obrigações presentes em relação à mobilidade no Plano Diretor as cidades que possuem mais de 500 mil habitantes deverão também elaborar um Plano de Transporte Urbano Integrado, atualmente substituído pelo Ministério das Cidades através da Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana (SeMob) para o Plano de Mobilidade Urbana (PlanMob). Essa substituição é importante na medida em que ela vem com uma nova proposta que é a de Mobilidade Urbana Sustentável.

A primeira entidade e/ou associação que se preocupou com a qualidade de vida em relação à situação do trânsito nas cidades brasileiras foi a Associação Nacional dos Transportes Públicos (ANTP). A ANTP publicou uma cartilha em 1996, com o título “*Projeto Transporte Humano*”, que resultou na publicação do livro “*Transporte Humano: cidade com qualidade de vida*”, em 1997.

É através dessa evolução nos estudos da mobilidade urbana e de suas soluções, de acordo com a ocupação das cidades, que foi criado em 2003, o Ministério das Cidades, reunindo áreas importantes do ponto de vista econômico e social, e de estratégia do desenvolvimento urbano. Tudo isso em torno de uma Política Nacional de Desenvolvimento Urbano que se pretende, como objetivo principal, a melhoria das condições materiais e subjetivas de vida social e a garantia da sustentabilidade ambiental, social e econômica (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2007).

O Ministério das Cidades através de uma proposta de mobilidade urbana sustentável busca programar ações de melhoria para as condições de mobilidade das pessoas, também se fundamenta na diminuição das crises econômicas das cidades seguindo quatro princípios que são: inclusão social, sustentabilidade ambiental, gestão participativa e democratização do espaço público. Esses quatro princípios definem o seu conceito como,

[...] entendida como um conjunto de políticas de transporte e de circulação que visam proporcionar o acesso amplo e democrático ao espaço urbano, por meio da priorização dos modos de transporte coletivo e os não-motorizados, de forma efetiva, socialmente inclusiva e ecologicamente sustentável; apoiar o desenvolvimento institucional, regulatório e de gestão do setor; coordenar ações para a integração das políticas de mobilidade urbana e destas com as demais

---

políticas de desenvolvimento urbano (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2006, p. 18).

Nesse cenário então, o transporte público, especialmente o transporte público por ônibus, entra para a discussão das políticas públicas, onde se identifica como sendo uma alternativa mais adequada para a nova organização das cidades e às novas exigências relacionadas à sustentabilidade, à inclusão social e à democratização do espaço público. Também se mostra uma alternativa atrativa e necessária de transporte para uma parcela da população caracterizada pelas classes socioeconômicas B e C.

A prioridade ao transporte público por ônibus tem se mostrado eficiente quando este é segregado nas vias, através de corredores específicos, com sinalização adequada e específica, possibilitando um fluxo operacional livre do trânsito com velocidade e organização maiores. Apresenta menor custo operacional e ganho da confiabilidade quando apresenta boa qualidade nos serviços, elevando o nível de satisfação do usuário. No entanto, é necessário especificar que existem critérios técnicos para a implementação desses corredores exclusivos.

## 2.2 LOGÍSTICA URBANA

Apesar da relevância da carga urbana no suporte à vida econômica das cidades, o transporte desse tipo de produto se encontra frequentemente subordinado a um papel secundário nas prioridades do planejamento das cidades. Os problemas das cidades são tão complexos e, na maioria das vezes, com causas que se encontram de tal maneira interligadas, que o transporte de cargas ou pessoas no perímetro urbano acaba não sofrendo nenhum tipo de regulamentação pelo poder público. Isso dificulta o estabelecimento de regras para a logística urbana que satisfaça tanto os operadores logísticos quanto aos usuários de qualquer espécie de veículo, moradores, pedestres, comerciantes que disputam desde as condições ambientais, até o espaço para se locomoverem, estacionarem e carregar/descarregar, normalmente ocorrendo no mesmo intervalo de tempo que é determinado horário de pico.

Os movimentos de mercadorias que são influenciados diretamente pelo trânsito urbano ao seu amplo desenvolvimento, segundo *Sustainable Distribution* (1999), é um campo da logística denominado Logística Urbana. Já para Taniguchi *et al.* (2001) transportar uma



mercadoria dentro de um centro urbano possui uma complexidade maior, pois envolve todas as características de distribuição física, assim sendo necessário um estudo para desenvolvimento dos conceitos de uma logística urbana.

É um processo de otimização das atividades logísticas e de transportes por empresas particulares em áreas urbanas em um ambiente de tráfego, congestionamento, de consumo de energia dentro de estrutura de uma economia de mercado – *City Logistics* (logística da cidade). A função principal da *City Logistics* é otimizar globalmente os sistemas logísticos em uma área urbana, levando em consideração os custos e os benefícios tanto dos setores públicos quanto dos privados. As empresas particulares de logísticas ganham na redução dos fretes, enquanto o setor público ganha na redução dos intensos tráfegos e problemas ambientais oriundos dos ruídos e poluição atmosférica.

Os objetivos do transporte urbano de pessoas e mercadorias (incluindo o *city logistics*) no perímetro urbano pode ser dividido em outros seis objetivos principais:

- a. Desempenho macro-econômico do setor público: visa contribuir com o desempenho econômico;
- b. Custos e qualidade: visa elevar a eficiência e a produtividade, na busca pela redução dos custos relativos aos transportes, em especial, àqueles que estão associados a possíveis congestionamentos do tráfego;
- c. Ambiental: visa reduzir ao máximo os efeitos advindos de atividades de movimentação de carga, como ruídos, emissões gasosas e vibrações que possam estar interferindo áreas residenciais próximas;
- d. Infraestrutura: visa fornecer uma adequada infraestrutura, em especial àquela que está voltada à manutenção do sistema viário e dos terminais nele dispostos, e a regularidade das operações de carga por caminhões na área em estudo;
- e. Segurança: visa reduzir o número de acidentes, bem como a gravidade destes;
- f. Estrutural: contribuir com a formação de uma estrutura urbana desejada, em especial na localização de atividades que possam gerar cargas e terminais.

O *city logistics* nasceu na Dinamarca no início da década de 1990 e em 1993 houve sua evolução como uma solução para elevar a qualidade de vida da população, envolvendo a organização das entidades que trabalham com a movimentação de mercadorias dentro das redes de transportes. Este conceito traz preocupação quanto à efetividade e eficiência das operações e movimentações que envolvem o transporte de cargas, porém, surge também

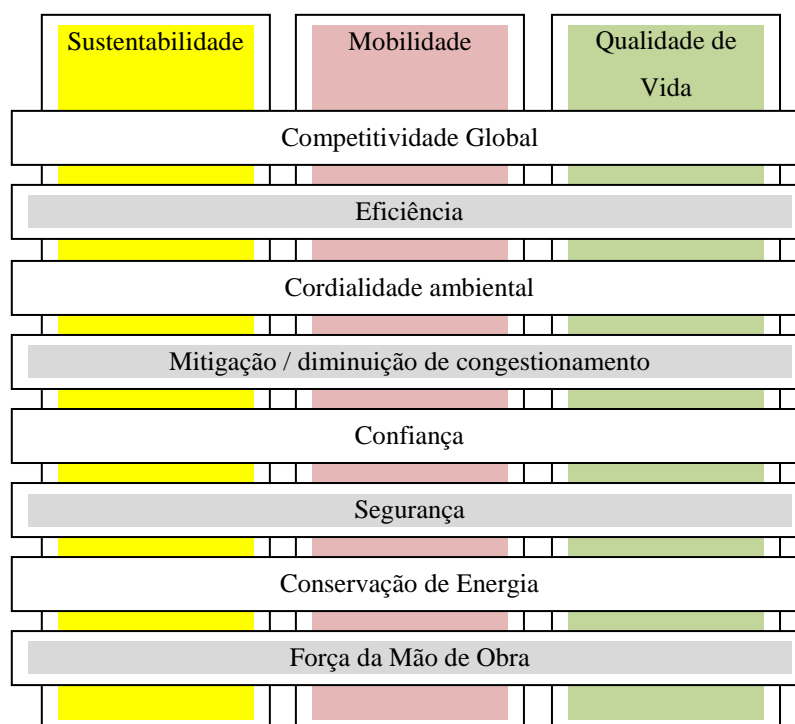
como uma ferramenta para otimizar as atividades e procedimentos que visam o bem estar geral do ambiente urbano, entre população e movimentação de mercadorias e cargas, as quais são necessárias à essa mesma população.

Pode-se dizer então que o *city logistics* se refere às técnicas e projetos que, objetivam a redução no número total de viagens por caminhões envolvendo cargas ou por ônibus envolvendo o transporte coletivo urbano, e a possível redução de seus impactos considerados negativos à população (RENSSELAER, 2002).

Taniguchi *et al.* (2001) definem *city logistics* como: “a otimização, pelas companhias privadas, de suas ações, dentro da área urbana, pela elevação e pelo congestionamento do tráfego, e aumento por exemplo do consumo de combustível”. Thompson (2003), diz ser o *city logistics* um processo de planejamento, baseado num sistema de integração, que promove inovações e reduz o custo (econômico, social e ambiental).

Ainda os mesmos autores entendem que se deva utilizar, no *city logistics*, conceitos como: integração e parceria de vários atores de tomada de decisão (autoridades, empresários, etc.); coordenação de planejamento e processos de decisão; consolidação de diferentes mercadorias, num mesmo veículo na entrega.

A técnica de *city logistics*, para Ricciardi *et al.* (2003), pode produzir: a redução dos congestionamentos e aumento da mobilidade, a redução da poluição e do nível de ruído, o não esvaziamento dos centros das cidades pela aplicação de excesso de penalidades para o transporte da carga urbana. Para os autores, *city logistics* abarca os conceitos de integração e parceria de vários atores de tomada de decisão (autoridades, empresários e população), coordenação de planejamento e processos de decisão e consolidação de diferentes mercadorias num mesmo veículo para a entrega. Ainda na explicitação do conceito, Taniguchi *et al.* (2003) em trabalho apresentado em congresso ocorrido em Madeira (Portugal), fundamentam a *city logistics* em três pilares: sustentabilidade, mobilidade e qualidade de vida (Figura 1).

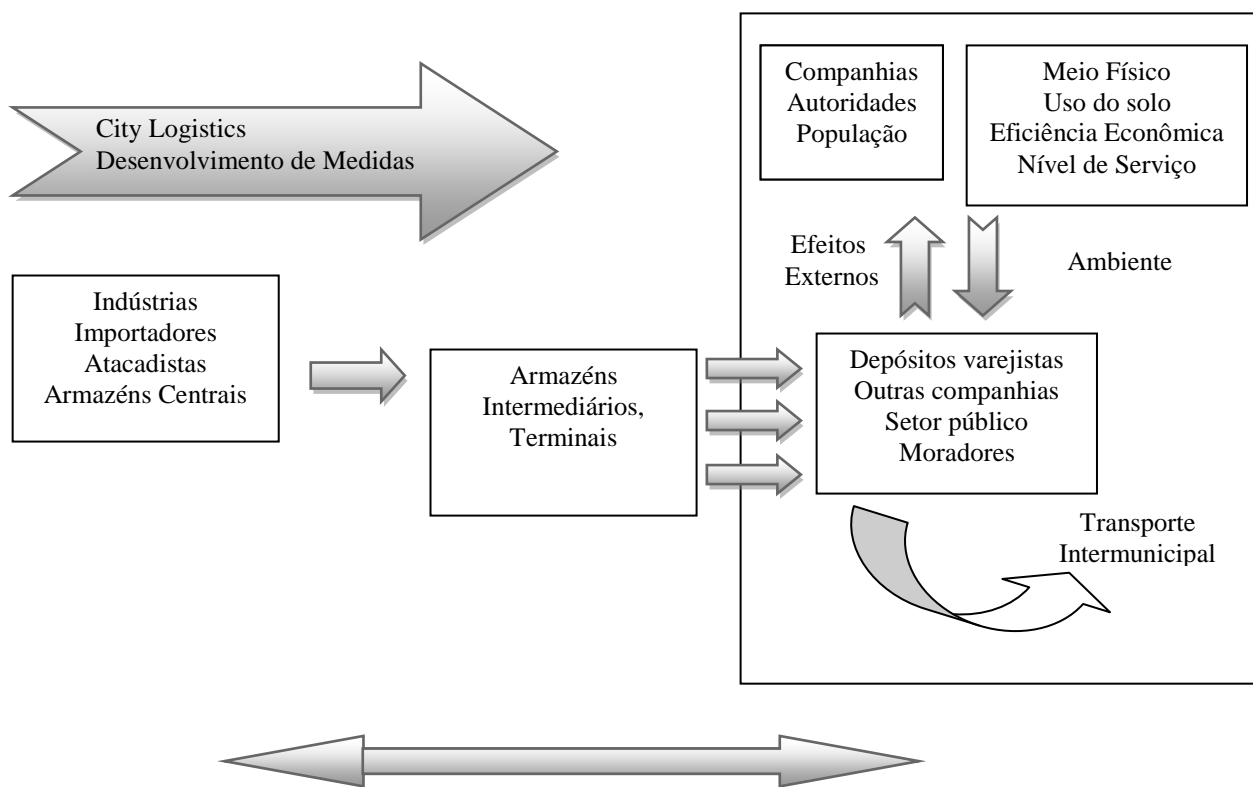
**Figura 1:** Pilares da *City Logistics***Fonte:** Taniguchi *et al*, 2003.

Taniguchi *et al.* (2003) afirmam ser a *city logistics* um processo de planejamento integrado para distribuição de carga urbana baseado em um sistema de aproximações (integração), os quais promovem esquemas inovadores, que reduzem o custo total (incluindo os econômicos, sociais e ambientais) dos movimentos de carga dentro das cidades. Permitem, ainda, a estimação de uma estrutura para planejadores de cidades (mobilidade urbana de pessoas e cargas), onde os impactos dos esquemas de *city logistics* envolvem, normalmente, o estabelecimento de parcerias entre os setores público e privado.

Os fluxos de carga, de dinheiro e de informação de sistema de distribuição inter e intra-urbano, oportuniza a interação de vários atores (companhias, autoridades, habitantes), todos influenciando e sendo influenciados pelo ambiente, padrões de uso e ocupação do solo, eficiência econômica geral e níveis de serviços logísticos. Tal afirmação é embasada, e foi comprovada, através de um grande projeto comparativo, de pesquisa de carga urbana, logística e planejamento do solo, efetuado na Europa. Tal projeto denomina-se *City Freight*, e foi elaborado em 2002 (Dutra, 2004).

Configura-se, assim, no final dos anos 1990, na Europa, conforme Figura 2, o *city logistics* como área de planejamento de transporte. Nele, ao mesmo tempo em que se busca a

eficiência no transporte urbano e de carga, busca-se, na mesma intensidade, a minimização dos custos sociais e ambientais, gerados pelo sistema (Robinson, 2002).



**Figura 2:** Distribuição inter e intra-urbana de carga

**Fonte:** *City Freight* (2002) *apud* Dutra (2004).

A gestão da logística urbana administra os interesses de vários atores desse processo e, para essa otimização ser considerável e eficiente há a necessidade de uma grande sinergia e interação entre as autoridades, o sistema de transporte público, as empresas de distribuição física, os consumidores finais e a comunidade.

A participação das autoridades no *city logistics* possui uma necessidade maior, pois na maior parte do tempo, as vantagens dessa gestão logística não atendem às vantagens individuais, e as autoridades então, deverão efetuar uma análise dentre as diversas variáveis que poderão ser modificadas favorecendo o desenvolvimento sustentável da logística urbana junto à sociedade. Segue algumas dessas variáveis:

**1 - Receptor** – é diferenciado de acordo com suas funções, tamanhos de empreendimento e sua localização.

**2 - Veículos de movimentação** – podem variar o tamanho (veículo urbano de carga, caminhão semi-pesado, caminhão pesado, caminhão extra-pesado, van's, ou seja pequenos e médios caminhões que circundam dentro do perímetro urbano) e tipo de propulsão (a pé, bicicletas, carros particulares).

**3 – Vias** – essa classificação varia com a função, podendo ser denominada em vias expressas, arteriais, coletoras ou locais, como também varia com a capacidade e o tipo de pavimento onde possíveis ciclovias e determinados calçadões são considerados.

**4 – Local para Estacionamento** – pode ser paralelo ao meio fio em ruas ou dentro de uma área determinada; pode ser público ou privado, podendo funcionar em horários e turnos específicos.

**5 - Rota** – a sua configuração possui forte influência nos tempos e nas velocidades, bem como na acessibilidade.

**6 –Carga ou Mercadorias** – diferentes tipos e diferentes formas de acondicionamentos. Suas formas determinam a facilidade ou a complexidade de um carregamento.

**7 -Motoristas** – estes devem cumprir os prazos e, em cada entrega é determinado um tempo médio a ser atendido. Em caso de haver algum imprevisto, a comunicação entre o motorista e a base no terminal se faz muito necessária.

**8 - Carregadores** – são utilizados para transportar a mercadoria do ponto de descarga ou caminhão, por exemplo, até o destino, podendo ser loja ou um comércio. Em alguns momentos esse carregador pode ser o próprio motorista, dependendo do tipo de carga.

**9 - Equipamentos** – são dispositivos utilizados para descarregar as cargas dos veículos e transportar até o destino. A escolha desses dispositivos dependerá da configuração do percurso e do tipo de carregamento.

**10 - Expedição** – é a rotina administrativa e documental necessária para liberar o veículo carregado (emissão de notas fiscais).

Então, o setor público e o privado, juntamente com a população, deverão trabalhar de forma sinérgica para alcançar qualquer tipo de resultado. Principalmente por parte das autoridades que deverão criar instrumentações econômicas, incluindo cobrança de

pedágios, criação de diretrizes para padronização e harmonia das atividades privadas e subsídios para facilitar as atividades ambientalmente mais amigáveis.

A concentração da população em áreas urbanas, observada na maioria dos países, impulsiona uma mudança nos padrões do consumidor. Lima Junior (2003) diz que o consumidor, diante de uma grande diversidade de produtos, reduz o tamanho dos pedidos. Isso gera uma ampliação dos números de compradores e pontos de coleta/entrega, aumentando a complexidade das operações logísticas que deverá atender os vários consumidores com um maior número de viagens.

Outro complicador é a difusão da tecnologia da informação, onde o consumidor começa a usufruir dos benefícios do comércio eletrônico, serviços de entrega em domicílio e *just-in-time* (ZUNDER, 2002). Os atuais hábitos urbanos de consumo tornam mais complexos o transporte de carga ao capilarizar a demanda da entrega em menores intervalos de tempo sem aumento nos custos operacionais.

Por outro lado, em países como o Brasil, a política de investimento privilegiou o transporte individual em detrimento do coletivo, congestionando as vias e ampliando os problemas de poluição sonora e atmosférica (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2000). É neste quadro do *just-in-time* ao Protocolo de Quioto que se problematiza a operacionalização da logística da cidade.

O termo roteirização de veículos, embora não encontrado nos dicionários de língua portuguesa, é a forma que vem sendo utilizada como equivalente ao inglês *routing* para designar o processo para a determinação de um ou mais roteiros ou seqüências de paradas a serem cumpridos por veículos de uma frota, objetivando visitar um conjunto de pontos geograficamente dispersos, em locais pré-determinados, que necessitam de atendimento. O termo roteamento de veículos também é utilizado alternativamente por alguns autores (CUNHA, 1997).

Segundo Laporte et al. (2000) o problema de roteirização de veículos consiste em definir rotas de veículos que minimizem o custo total de atendimento, cada um dos quais iniciando e terminando no depósito ou base dos veículos, assegurando que cada ponto seja visitado exatamente uma vez e a demanda em qualquer rota não exceda a capacidade do veículo que a atende.

Quando a definição dos roteiros envolve não só aspectos espaciais ou geográficos, mas também temporais, tais como restrições de horários de atendimento nos pontos a serem visitados, os problemas são então denominados roteirização e programação de veículos (CUNHA, 1997).

De acordo com Assad (1988), a roteirização de veículos consiste em uma das histórias de grande sucesso da Pesquisa Operacional nas últimas décadas. Isto pode ser medido pelo expressivo número de artigos que vêm sendo publicados ao longo dos anos na literatura especializada, incluindo os anais de congressos da ANPET.

O primeiro problema de roteirização a ser estudado foi o do clássico caixeiro viajante (no inglês *traveling salesman problem* ou TSP), que consiste em encontrar o roteiro ou sequência de cidades a serem visitadas por um caixeiro viajante que minimize a distância total percorrida e assegure que cada cidade seja visitada exatamente uma vez.

Desde então, novas restrições vêm sendo incorporadas ao problema do caixeiro viajante, de modo a melhor representar os diferentes tipos de problemas que envolvem roteiros de pessoas e veículos, entre as quais: restrições de horário de atendimento (conhecidas na literatura como janelas de tempo ou janelas horárias); capacidades dos veículos; frota composta de veículos de diferentes tamanhos; duração máxima dos roteiros dos veículos (tempo ou distância); restrições de tipos de veículos que podem atender determinados clientes.

Problemas de roteirização de veículos são muitas vezes caracterizados como problemas de múltiplos caixeiros viajantes com restrições adicionais de capacidade, além de outras que dependem de cada aplicação.

Problemas do tipo caixeiro viajante também são encontrados em outras áreas que não a logística ou operação de frotas, tais como em linhas de montagem de componentes eletrônicos, onde se busca encontrar, por exemplo, o roteiro de mínima distância para um equipamento cuja tarefa seja soldar todos os componentes de uma placa eletrônica. O menor percurso total do equipamento para percorrer todos os pontos da placa está diretamente associado ao desempenho da linha de montagem (SOUZA, 1993).

Sob a ótica de otimização, os problemas de roteirização de veículos, incluindo o caso particular do caixeiro viajante, pertencem à categoria conhecida como NP-difícil (do inglês “NP-hard”), o que significa que possuem ordem de complexidade exponencial. Em outras

palavras, o esforço computacional para a sua resolução cresce exponencialmente com o tamanho do problema (dado pelo número de pontos a serem atendidos). A título de ilustração, até hoje não são conhecidas as respectivas soluções ótimas para algumas instâncias de problemas de roteirização com restrições de janelas de tempo com apenas 100 nós, propostos por Solomon (1986) e que vêm sendo utilizadas para a avaliação comparativa de novos algoritmos de solução propostos na literatura (Cunha, 1997).

Em termos práticos, isto significa que não é possível resolver até a situação ótima de problemas reais pertencentes à classe NP-difícil. Consequentemente, os métodos de solução de todos os softwares e aplicativos comerciais encontrados no mercado para roteirização de veículos são heurísticos, isto é, não asseguram a obtenção da solução ótima do ponto de vista matemático.

Essa complexidade matemática dos problemas de roteirização, assim como a sua relevância no contexto logístico atual, explica o constante interesse em busca de novas estratégias de solução que vem sendo observado desde a década de 60, resultando em um número muito expressivo de artigos publicados na literatura especializada.

Isto decorre do fato de que, sendo as estratégias de solução heurísticas, muitas vezes se apoiam em uma abordagem intuitiva, na qual a estrutura particular do problema possa ser considerada e explorada de forma inteligente, para a obtenção de uma solução adequada (Cunha, 1997). Assim, na maioria dos casos, as heurísticas propostas são bastante específicas e particulares, e carecem de robustez, isto é, não conseguem obter boas soluções para problemas com características, condicionantes ou restrições às vezes um pouco diferentes daquelas para as quais foram desenvolvidas.

Em outras palavras, roteirização de veículos é uma área onde uma solução para um determinado tipo de problema e dados pode não ser adequada para outro problema similar, conforme apontado por Hall e Partyka (1997). Daí, em muitos casos, a necessidade de buscar soluções customizadas para cada problema.

Por outro lado, o interesse e a demanda pela aplicação de modelos de roteirização para problema real, através de softwares comerciais disponíveis no mercado, têm crescido muito nos últimos anos, em particular no Brasil, principalmente após a estabilização da economia, conforme discutido em detalhes por Cunha (1997). Entre as razões podem-se destacar as exigências dos clientes com relação a prazos, datas e horários de atendimento



(principalmente entregas); o agravamento dos problemas de trânsito, acesso, circulação e estacionamento de veículos nos centros urbanos, em particular caminhões; o aumento da competição pelo mercado e a busca de eficiência trazidas pela eliminação da inflação; o custo de capital levando à redução de estoques e ao aumento da frequência de entregas.

E, efetuando uma correlação entre logística urbana, o transporte coletivo urbano e a problemática do caixeiro viajante, tem-se que o atendimento de embarque e desembarque de passageiros nas estações na hora de pico é semelhante ao de entrega e coleta de cargas na logística. Onde, o atendimento do cliente é essencial, e, esse cliente é a própria carga a ser coletado e entregue. Assim, tem-se a relação entre logística urbana, o transporte coletivo urbano por ônibus e a problemática do caixeiro viajante. Além disso, para uma adequada projeção nesse atendimento é necessário a utilização de softwares específicos como é o caso do ARENA e do TransCAD.

### **2.3 TRANSPORTE PÚBLICO URBANO POR ÔNIBUS**

O termo transporte está associado ao traslado de pessoas ou bens entre um local de origem e outro de destino bem definidos, mediante uma retribuição previamente estabelecida. O deslocamento de pessoas é referido como transporte de passageiros, ao passo que o de bens é referido como transporte de cargas. Quando os deslocamentos ocorrem no interior das cidades é empregado o termo transporte urbano (FERRAZ e TORRES, 2004).

Para Melo (2000), o transporte está fortemente relacionado à natureza da cidade, influenciando a vida de grande parte da população em seus deslocamentos diários. As cidades brasileiras cresceram em demasia e muito rapidamente nas últimas décadas. Não foi possível realizar um planejamento urbano adequado, capaz de equacionar a elevação da taxa de urbanização com a infra-estrutura viária existente. Nesse contexto, Graeml e Graeml (1997) afirmam que, mesmo nas cidades brasileiras onde houve um planejamento de transportes, o tráfego urbano cresceu com ineficiência e com variáveis a serem consideradas para um replanejamento e uma atuação futura com eficiência.

No entender de Maciel (2008), o tráfego urbano se transformou num dos grandes problemas da humanidade, pois afeta todas as classes sociais, as categorias profissionais, a qualidade de vida e gera custos sociais tangíveis e intangíveis. Segundo o autor, um estudo

realizado pela Fundação Getúlio Vargas e divulgado no ano de 2008 estima que os custos sociais, oriundos do transporte urbano, atinjam R\$ 33,5 bilhões por ano.

A solução para melhorar a mobilidade das pessoas não é simples e muito menos imediata. É preciso que haja esforços coordenados e integrados de vários setores do governo, da sociedade e da indústria (MACIEL, 2008). Na visão de Melo (2000), a abordagem tradicional de gestão do tráfego nas cidades, baseada na expansão da malha viária, levará o problema, mais cedo ou mais tarde, à situação original, isto é, com as vias saturadas pelo tráfego.

A movimentação diária das pessoas nas cidades ocorre em função de diversas necessidades, tais como: trabalho, estudo, compras, lazer e serviço médico, dentre outras. Já a movimentação de produtos ocorre pelas seguintes razões: chegada e saída de insumos e produtos nas indústrias, chegada e saída de mercadorias dos estabelecimentos comerciais, coleta de lixo, movimentação de terra e entulhos etc.

Existem diversos modos empregados na realização do transporte. Segundo Ferraz e Torres (2004), a palavra modo é empregada para caracterizar a maneira como o transporte é realizado. Na tabela 1 apresentam-se as classes, as características e os modos comumente utilizados nos deslocamentos diários da população nos centros urbanos das cidades.

<b>Classes</b>	<b>Características</b>	<b>Modos</b>
Privado ou individual	Os veículos são conduzidos por um dos usuários, que pode escolher livremente o caminho e o horário de partida. Há, portanto, total flexibilidade de uso no espaço e no tempo. A capacidade do veículo é pequena e a posse pode ser momentânea.	A pé, bicicleta, motocicleta, carro (incluindo automóvel, perua/van ou camioneta/caminhonete).
Público, coletivo ou de massa	Os veículos pertencem, em geral, a uma empresa e operam em rotas predefinidas e horários fixos. Não há flexibilidade de uso no espaço e no tempo. A capacidade do veículo é grande.	Ônibus, bonde, pré-metrô, metrô e trem suburbano.
Semipúblico	O veículo pertence a uma empresa ou indivíduo e pode ser utilizado por determinado grupo de indivíduos ou por qualquer pessoa, tendo rota e horários adaptáveis aos desejos dos usuários em vários graus.	Táxi, moto táxi, carona programada, lotação, veículo fretado ou alugado.

**Tabela 1:** Classificação dos modos de transporte urbano de passageiros.

**Fonte:** Ferraz e Torres (2004), adaptado pelo autor.

Na visão de Lauletta (2006), cada modo de transporte tem sua característica própria. As pessoas devem optar por um ou outro que seja mais conveniente à sua necessidade de

deslocamento, sendo que, em condições normais de baixo volume de tráfego, todos esses veículos compartilham, de maneira quase harmônica, a utilização do espaço viário.

O deslocamento das pessoas até o início do século XVII era realizado a pé, por montaria em animal ou em carruagem própria puxada por animais. Os primeiros serviços de transporte coletivo urbano ocorreram nas cidades de Londres, em 1600 e em Paris, em 1612, por meio de carruagens de aluguel puxadas por animais. Em 1826, em Nantes, França, foi criada uma linha de transporte coletivo que ligava a cidade a uma casa de banho. O veículo utilizado era uma carruagem com comprimento e capacidade superiores aos existentes na época, e que foi denominado *omnibus*, que significa para todos, em latim (FERRAZ e TORRES, 2004).

No Brasil, segundo Silva (2000), o início do transporte coletivo urbano se deu no século XIX, com o surgimento dos bondes a tração animal, seguidos pelos bondes a vapor e elétricos. Com a implantação da indústria automobilística nacional consolidou-se a adoção do modelo norte-americano de transporte urbano de pessoas, baseado no consumo do petróleo. Como resultado, os bondes foram perdendo espaço para os automóveis, sendo, ao mesmo tempo, substituídos pelo ônibus a diesel, até a sua total desativação.

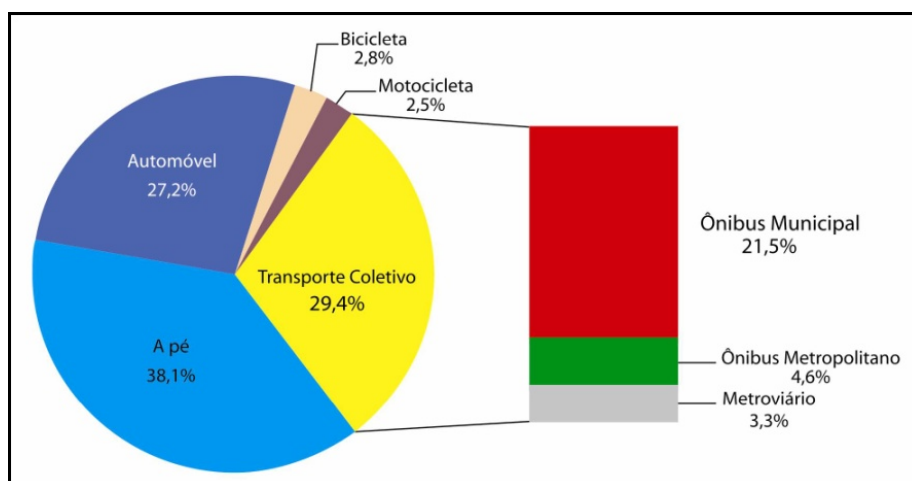
Segundo ANTP (2008), nas cidades brasileiras com mais de 60 mil habitantes, no ano de 2007, foram realizados 55,2 bilhões de viagens. Esse número de viagens corresponde a uma mobilidade média de 1,58 viagens por dia por habitante. O transporte coletivo representou 29,4% dos deslocamentos, com destaque para o ônibus municipal que apresenta 21,5% desse percentual total.

No entender de Schein (2003), a utilização massiva do ônibus no transporte coletivo está relacionada com sua flexibilidade, sua capacidade de adaptar-se às diferentes demandas, sua tecnologia simples e sua facilidade em trocar de rotas. O autor complementa que o ônibus, comparado a outros modos de transporte motorizados, apresenta baixo custo de fabricação, implementação e operação.

De acordo com a Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos (NTU) (2004), os veículos para transporte coletivo urbano podem ser divididos em dois grupos: veículos sobre pneus e veículos sobre trilhos. No primeiro grupo, destacam-se a perua ou *Van*, o micro-ônibus, o ônibus convencional, o ônibus padron, o ônibus articulado e o ônibus biarticulado. Esses veículos utilizam energia de origem fóssil ou biológica, com

exceção do trólebus, ônibus movido a energia elétrica, presente em algumas cidades brasileiras e em outras partes do mundo. No grupo dos veículos operados sobre trilhos, denominado sistema metroviário, encontra-se o veículo leve sobre trilho, o metrô e o trem convencional ou trem de subúrbio. Na tração desses veículos podem ser utilizadas energias de origem fóssil, biológica ou elétrica.

A divisão do transporte urbano de passageiros no ano de 2007, extraída do sistema de informações da mobilidade urbana publicado pela Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP) para municípios brasileiros que superaram o valor de 60 mil habitantes, apresenta dados alarmantes para os gestores públicos. Somente o transporte de pessoas realizado pelo automóvel equivale à quase totalidade do transporte coletivo de passageiros feito pelos ônibus implantado em nossas cidades, conforme gráfico apresentado na Figura 3 (ANTP, 2008).



**Figura 3:** Divisão modal do transporte urbano de passageiros no Brasil  
**Fonte:** ANTP (2008, p. 7)

Analisando detalhadamente o gráfico da Figura 3, pode-se constatar que o transporte individual representou 70,6% dos deslocamentos, dividido entre o transporte individual não motorizado, com 40,9% (a pé e de bicicleta) e o transporte individual motorizado, com 29,7% (automóvel e motocicleta). Já o transporte coletivo contribuiu com apenas 29,4% dos deslocamentos, sendo que desse índice.

A predominância do transporte individual sobre o coletivo nas cidades brasileiras pode ser explicada pela reduzida inovação tecnológica aplicada à gestão e aos serviços prestados aos usuários do transporte coletivo. Assim, a manutenção de grandes diferenças de qualidade entre o transporte público e o individual estimula o uso do automóvel e da

motocicleta, o que é agravado pela facilidade crescente de aquisição desses veículos (VASCONCELLOS, 2005).

Ainda de acordo com a ANTP (2008), a evolução da divisão dos modos do transporte urbano de passageiros no Brasil, apurada nos anos de 2003 e 2007, revela um preocupante indicador relativo à inversão de posições entre o transporte coletivo e o transporte individual motorizado. Em 2003, o transporte coletivo era o segundo modo, com 29,8% do total de viagens, enquanto em 2007, o posto de segundo colocado passou para o transporte individual motorizado, com 29,7% (Automóvel com 27,2% e motocicleta com 5,2%).

Segundo Vasconcellos (2005), caso esse crescimento se mantenha, as condições inadequadas hoje verificadas na mobilidade de nossas cidades, tais como acidentes, poluição, congestionamento, dentre outras, podem piorar sensivelmente. Um sistema de transporte urbano com predominância de meios coletivos é mais econômico para a sociedade, além de ser ambientalmente mais saudável (MELO, 2000).

Lacerda (2006) considera que o domínio das vias públicas pelos automóveis resulta em um pequeno número de usuários de transporte público por ônibus, provocando congestionamentos que atrasam um grande número de usuários desse modo de transporte. Segundo a *Internacional Energy Agency* (2002) *apud* Lacerda (2006), o espaço da infraestrutura viária ocupado por um automóvel com capacidade para cinco passageiros equivale a 62% do espaço ocupado por um ônibus urbano com capacidade para quarenta passageiros.

Para enfatizar a importância do transporte coletivo frente ao individual motorizado, Vasconcellos (2005) apresenta um quadro comparativo com índices relativos aos passageiros por quilômetro. Os indicadores estão descritos na Tabela 2 e foram estimados com dados da utilização real dos modos de transporte, declarados pelas cidades, constantes do Sistema de Informações da Mobilidade Urbana no ano de 2003 para cidades brasileiras com mais de 60 mil habitantes.

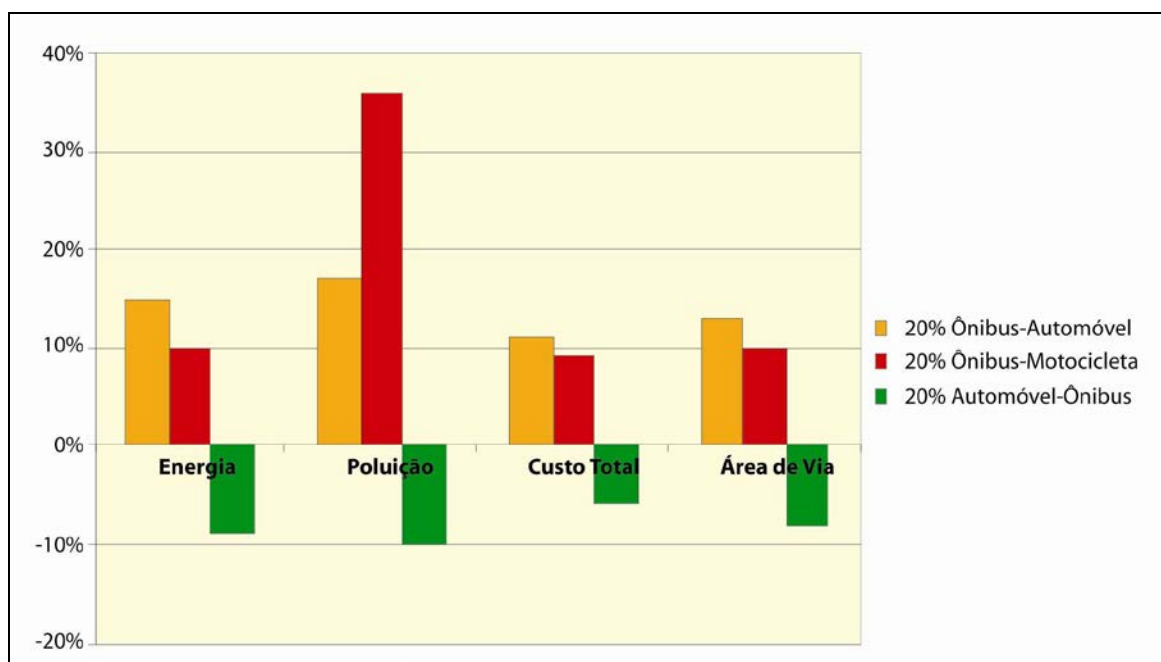
**Tabela 2** – Indicadores comparativos de eficiência dos modos de transporte de passageiros

<i>Índices Relativos por passageiro * km</i>				
Transporte	Energia	Poluição	Custo Total	Área de Via
Ônibus	1,0	1,0	1,0	1,0
Motocicleta	1,9	14,0	3,9	4,2
Automóvel	4,5	6,4	8,0	6,4

Obs: Ocupação de 50 passageiros por ônibus, 1 por motocicleta e 1,3 por automóvel. Base calculada em gramas equivalentes de petróleo (diesel e gasolina). Monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e material particulado (MP).

**Fonte:** Vasconcellos (2005, p. 21)

O mesmo autor apresenta outra forma de salientar a diferença entre o modo coletivo por ônibus e o privado por automóvel ou motocicleta. Nesse caso, é feita uma simulação considerando a transferência de 20% dos deslocamentos urbanos diários entre os respectivos modos. A Figura 4 apresenta os impactos da transferência de viagens entre os respectivos modos de transporte.



**Figura 4:** Impactos da transferência de viagens entre modos de transporte

**Fonte:** Vasconcellos (2005, p. 22)

Pode-se constatar, a partir da Figura 4, que a transferência de 20% do transporte coletivo por ônibus para o automóvel elevará a poluição em quase 20% e a área da via em 13%. O impacto da transferência para a motocicleta é menor do que ônibus, salvo no caso da poluição.

Para reforçar a importância do transporte coletivo no cenário de mobilidade urbana em países em desenvolvimento como o Brasil, o especialista americano Jonh Volpe declarou, em 1975 que há 50 anos havia a necessidade de transporte público em virtude da maioria dos americanos não possuir automóvel. Hoje, há a necessidade ainda maior desse tipo de transporte, devido ao fato de a maioria dos americanos possuírem automóveis (UTRB 1978 apud FERRAZ e TORRES, 2004).

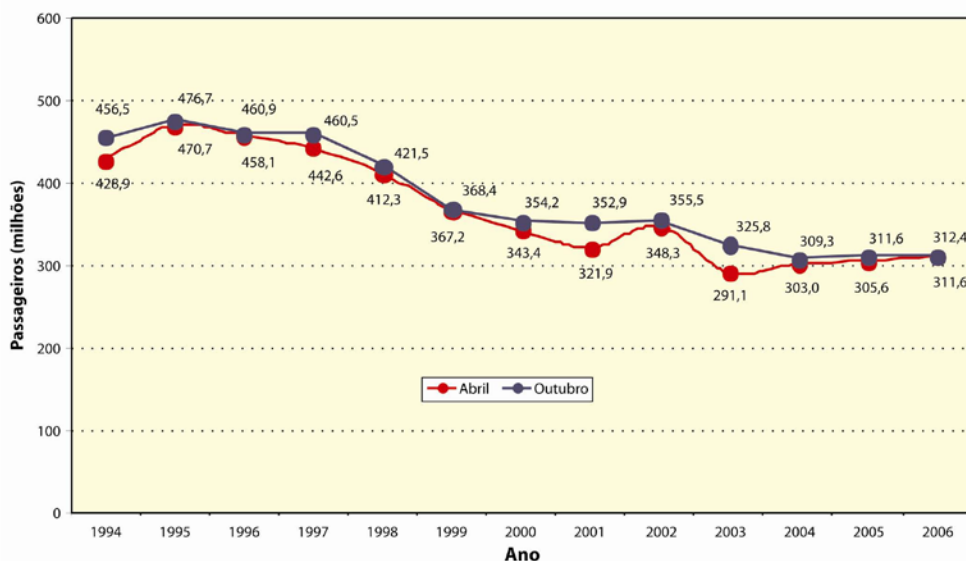
A Figura 4 reflete a importância que o modo ônibus possui na mobilidade urbana de pessoas nas cidades brasileiras. Segundo a ANTP (2008), o ônibus urbano, no ano de 2007, foi responsável por 73% dos deslocamentos de pessoas que utilizaram o transporte coletivo nas cidades brasileiras com mais de 60 mil habitantes, empregando uma frota de 74.860 veículos.

O aumento da participação e da eficiência do transporte coletivo feito por ônibus, nas áreas urbanas, surge como solução mais simples e não muito onerosa para garantir o acesso das pessoas ao emprego, a serviços, ao lazer e às compras (MELO 2000). O autor complementa, afirmando que priorizar o sistema de transporte urbano na elevação da participação do coletivo frente ao individual assegura o acesso de grande parcela da população às oportunidades que a cidade oferece.

Vários autores, dentre eles Melo (2000), Ferraz e Torres (2004), Vasconcellos (2005) e ANTP (2008), reforçam que é preciso que o poder público e as empresas operadoras do serviço de transporte coletivo iniciem um trabalho de melhoria no serviço prestado, a fim de atrair e fidelizar usuários do transporte individual motorizado para o coletivo, principalmente o realizado pelo modo ônibus, diante de sua elevada participação no percentual de deslocamentos.

Segundo a NTU (2007), a perda de passageiros transportados por ônibus urbanos em nove capitais brasileiras pesquisadas sofreu forte declínio na última década. De acordo com a pesquisa, no ano de 1995 eram transportados aproximadamente 473 milhões de passageiro/mês. No ano de 2006, o número de passageiros transportados por mês reduziu para 312 milhões.

A Figura 5 apresenta o gráfico do número de passageiros transportados no período de 1994 a 2006, nos meses de abril e outubro, nas seguintes capitais: São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Recife, Porto Alegre, Salvador, Fortaleza, Curitiba e Goiânia.



**Figura 5:** Número de passageiros transportados por mês no modo ônibus urbano  
**Fonte:** NTU (2007, p. 58).

Analizando o comportamento do gráfico apresentado na Figura 5 e traçando um paralelo com o crescimento demográfico, mais especificamente com a taxa de urbanização, pode-se concluir que a tendência seria exatamente oposta. Com o aumento da população urbana, a demanda por transporte coletivo deveria aumentar, no entanto, o que se observa é o oposto.

É necessário, portanto, que se desenvolvam políticas públicas capazes de reverter esse quadro, atraindo e fidelizando usuários para o transporte coletivo, principalmente pelo modo ônibus, presente hoje em várias cidades brasileiras (NTU, 2007).

E, esse sistema de transporte coletivo urbano por ônibus pode ser definido como o conjunto de serviços de transporte de passageiros pelo modo ônibus, gerenciados por operadores públicos ou privados na área urbana. O objetivo principal desse sistema de transporte é atender às necessidades de deslocamento da população, entre os diversos setores da cidade, pela oferta de um serviço eficaz, ao menor custo (SILVA e FERRAZ, 1991).

A produção do serviço de transporte coletivo urbano por ônibus envolve diversos atores, que estão direta ou indiretamente envolvidos no sistema: usuários, comunidade, governo, trabalhadores do setor e empresários do ramo. Para alcançar a qualidade do serviço prestado é preciso que cada um dos atores envolvidos tenha seus objetivos bem definidos, conheça os seus direitos e obrigações e saiba realizar com eficiência e qualidade as suas tarefas e ações (FERRAZ e TORRES, 2004).



Segundo Melo (2000), a indústria de transporte de passageiros é de capital intensivo, com poucas alternativas de utilização de seus investimentos, e que se diferencia das demais por não poder estocar o resultado de seu trabalho. Assim sendo, é importante que o órgão gestor, representante do poder público, e as empresas operadoras voltem sua atenção para o usuário, principal razão do sistema.

A realização de uma viagem simples por ônibus, sem mudança de veículo, pode ser traduzida, segundo Melo (2000), em tempo de viagem, com os seguintes componentes: o tempo de acesso, o tempo de espera e o tempo no veículo. No mesmo sentido, Ferraz e Torres (2004) consideram que a realização de uma viagem engloba as seguintes etapas: percurso a pé da origem até o local de embarque no sistema, espera pelo coletivo, locomoção dentro do coletivo e, por último, caminhada do ponto de desembarque até o destino final.

O tempo de acesso é o tempo gasto para chegar ao local de embarque no transporte coletivo, sair do local de desembarque e alcançar o destino final da viagem. Como o acesso ao sistema de transporte coletivo é realizado a pé, importa a distância percorrida pelo usuário. Melo (2000) recomenda uma faixa entre 400 m e 500 m para cada lado do eixo da via. Para Ferraz e Torres (2004), a acessibilidade menor que 300 m é considerada boa; de 300 m a 500 m, regular; e maior que 500 m, ruim.

Segundo Melo (2000), o tempo de espera é o que mais aborrece o usuário. Depende do intervalo de tempo entre os ônibus, do conhecimento do quadro de horários pelos passageiros e, no caso de serviços de elevada frequência, do espaçamento equilibrado entre os veículos.

Ferraz e Torres (2004) consideram que o tempo no veículo ou tempo de viagem corresponde ao tempo gasto no interior dos veículos e depende da velocidade média de transporte e da distância percorrida entre os locais de embarque e desembarque. Vários são os fatores que interferem no tempo no veículo: velocidade do veículo, distância entre os pontos de parada, condições do pavimento da via, trânsito e tipo de veículo.

De acordo com Vasconcellos (2000), com relação aos veículos utilizados no transporte coletivo urbano, o ônibus e suas variações são indiscutivelmente o mais empregado. São utilizados o ônibus convencional, com capacidade de até 75 passageiros, e o micro-ônibus com capacidade de até 35 passageiros. Ainda segundo o autor, na maior parte dos países da

América latina, exceto no Brasil, o veículo mais utilizado é o micro-ônibus com capacidade entre 28 a 35 lugares.

### 2.3.1 CLASSIFICAÇÃO DAS LINHAS

Na visão de Schein (2003), as linhas de transporte coletivo urbano devem passar pelos principais pólos de atração das áreas em que são destinadas a atender, bem como proporcionar uma cobertura satisfatória das áreas habitadas. Melo (2000), Schein (2003) e Ferraz e Torres (2004) classificam as linhas de transporte coletivo urbano segundo o traçado e a função destas.

#### Quanto ao traçado:

- Radial – linha que liga a área central aos bairros. Constitui a maior parte das linhas existentes e utiliza os mais importantes corredores das áreas urbanas;
- Diametral – linha que conecta duas regiões passando pela zona central;
- Circular – linha que liga várias regiões da cidade, formando um circuito fechado;
- Perimetral ou interbairros – linha que liga dois ou mais bairros sem passar pelo centro;
- Local – linha cujo percurso encontra-se totalmente dentro de uma região da cidade.

#### Quanto à função:

- Convencional – linha que executa simultaneamente as funções de captação dos usuários na região de origem, transporte da origem até o destino e distribuição na região de destino;
- Troncal – linha que opera num corredor onde há grande concentração de demanda, com a função principal de realizar o transporte de uma região a outra da cidade;
- Alimentadora – linha que opera recolhendo usuários numa determinada região da cidade, deixando-os numa estação/terminal de uma linha troncal e vice-versa;
- Expressa – linha que opera com poucas ou nenhuma parada intermediária para aumentar a velocidade operacional, reduzindo, assim, o tempo de viagem;
- Especial – linha que funciona apenas em determinados horários ou quando ocorrem eventos especiais;
- Seletiva – linha que realiza um serviço complementar ao transporte coletivo convencional, com preço maior e melhor qualidade.

### 2.3.2 PONTOS DE PARADA

Os locais de embarque e desembarque de passageiros de ônibus localizados nos passeios públicos são denominados pontos de parada. Quando nesses locais é realizado o controle de acesso ao sistema em instalações apropriadas por meio da cobrança da passagem, a denominação dada é estação ou terminal (MELO, 2000; FERRAZ e TORRES, 2004). De acordo com a ANTP (2002), o ponto de parada é conceituado como o local definido na via pública no qual se realiza a parada do veículo de transporte coletivo para o embarque e/ou desembarque dos passageiros.

Segundo a ANTP (2002), os pontos de parada são de grande importância para a operação de um serviço de transporte coletivo urbano. São nos pontos de parada que o usuário estabelece o primeiro contato físico com a rede de transporte e o seu espaçamento determinará o desempenho operacional das linhas e influenciará nos custos de operação.

Os pontos de parada podem ser simples, onde todos os ônibus param, ou seletivos, quando em cada ponto só param linhas pré-definidas. A identificação dos pontos de parada se dá com a colocação de placas indicativas afixadas em postes de energia ou de telefonia, com a colocação de um marco específico, geralmente um pequeno poste contendo placa com dizeres ou com a colocação de abrigos (SCHEIN, 2003; FERRAZ e TORRES, 2004).

No entender de Melo (2000), os pontos de parada são elementos críticos no desempenho dos coletivos, por responderem pela maior parte dos atrasos de linhas urbanas. De acordo com o mesmo autor, os pontos de parada devem receber atenção especial dos gestores do sistema quanto aos seguintes aspectos: localização, espaçamento e desempenho.

- Localização – por razões de segurança e racionalidade não se deve colocar pontos de parada dos coletivos em curvas, rampas acentuadas, em frente a garagens, muito próximas a cruzamentos etc. No que tange à posição, os pontos de parada podem estar antes do cruzamento, depois do cruzamento ou no meio da quadra (FERRAZ e TORRES, 2004).
- Espaçamento – para manter uma boa velocidade de operação, as paradas de ônibus das linhas convencionais devem, de preferência, ser espaçadas em intervalos de até 500 metros (MELO, 2000).

- Desempenho – a quantidade de ônibus, que pode ser atendida em uma parada, depende do tempo de serviço de cada veículo e do número de posições que oferece para estacionamento (MELO, 2000).

Quanto à posição do ponto de parada em relação à guia da via, pode-se ter: guia em posição normal (caso mais comum), guia recuada tipo baía e guia avançada. O posicionamento do ponto de parada em relação à guia da via deve observar os principais aspectos: fluidez do trânsito, quantidade de vagas de estacionamento, comodidade de pedestres e usuários esperando no ponto de parada e facilidade de retorno do ônibus à corrente de tráfego (FERRAZ e TORRES, 2004).

### 2.3.3 CORREDORES DE ÔNIBUS (BRT – *Bus Rapid Transit*)

*Bus Rapid Transit* é uma modalidade de transporte público por ônibus em vias rápidas a ser adotada na maioria das cidades-sede da Copa do Mundo de 2014 a ser realizada no Brasil.

Segundo sua definição, o modelo de Trânsito Rápido de Ônibus – TOR (HENSHER & GOLOB, 2008; GILBERT, 2008; UNEP, S/D; NESTLAC, S/D) é um sistema – que possui metodologia da *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) – Agência das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas) de acordo com a metodologia de transporte para projetos BRT- AM0031, e apenas três projetos em processo de validação mais um registrado – de transporte urbano de alta qualidade, confortável, baseado na rapidez e no bom custo-benefício, resultante de uma infraestrutura diferenciada e excelência de serviços.

Basicamente o sistema consiste na utilização de corredores exclusivos para ônibus, fornecendo uma alta infraestrutura, seja no pré-embarque, embarque ou translado. Os passageiros passam pelas catracas antes de entrarem nos veículos, tendo acesso a plataforma de embarque fechada. Os veículos são modernos e de alta capacidade de passageiros. Seus horários são exibidos em monitores nas estações de pré-embarque. Os ônibus possuem preferência em semáforos, rastreamento por GPS e há o monitoramento por uma central de logística das vias principais de circulação, contribuindo assim para a dinâmica do trânsito. As estações possuem bicicletário e interação com ponto de taxi.

Existem funcionários de orientação e prestadores de auxílio para pessoas com necessidades especiais. Suas rotas cruzam grandes distâncias em vias principais, sendo que as vias secundárias são atendidas por ônibus menores e de rápida circulação, já que nestes pontos se misturam aos demais veículos de passeio.

Em questão da infraestrutura de embarque, comparativamente com o metrô, a maioria dos modelos de BRT possui estações de pré-embarque a cada 500m, sendo o máximo registrado os exemplos da Austrália e USA, com aproximadamente 1,5km de distância entre as plataformas. Em muitas outras características se assemelha aos serviços encontrados no metrô.

Gilbert (2008) destaca ainda a importância do pioneirismo do modelo de transporte desenvolvido na cidade de Curitiba, sendo considerada a responsável pelo desenvolvimento da metodologia BRT. O autor levanta também questões pertinentes a uma análise mais profunda do funcionamento da metodologia BRT, como a relevância social para um projeto deste contexto; as implicações de um foco maior, do ponto de vista de investimento, para o transporte de superfície; a necessidade ou não de novas e diferenciadas políticas de transporte; o quanto o modelo é robusto para resistir a pressões políticas, econômicas e sociais; e por fim até onde vai o limite do escopo do projeto antes que ele sofra questionamentos econômicos e sociais da própria população quanto ao custo-benefício gerado.

Segundo trabalhos recentes apresentados pela Rede de Transportes Ambientalmente Sustentável da América Latina e Caribe – NESTLAC o planejamento para implantação para uma atividade de projeto BRT necessita passar por uma série de etapas estratégicas:

I. Preparação do projeto – início do projeto, com a apresentação da ideia geral e a declaração dos compromissos políticos a cerca do projeto BRT. As opções tecnológicas e os critérios para sua escolha devem ser apresentados. Definição das equipes envolvidas e as gerências responsáveis. Fixação dos cronogramas e das formas de financiamentos propostas. Seria necessária uma análise sobre a demanda de um projeto deste escopo, com detalhes estatísticos, metodologias e modelagens. Identificação dos corredores que seriam alvo do projeto. E por fim comunicar as partes, sendo eles os acionistas das instituições privadas, operadoras de serviços, agências públicas e sociedade civil;

II. Desenho operacional – elaboração do desenho do projeto, contando qual seria o modelo dos corredores (sistemas abertos ou fechados<sup>5</sup>), opções de serviços oferecidos e desenho das rotas. Apresentação da capacidade de transporte e velocidade que o sistema irá estabelecer, contando qual o modelo de veículo utilizado e como será a interface destes veículos com as estações. Determinação do modelo de controle de semáforos, com a função de dar prioridades ao fluxo dos corredores. Modelo de informações que serão prestadas aos usuários.

III. Desenho físico – apresentação das infraestruturas, como vias de acesso, estacionamentos, os terminais e pátios dos veículos, bem como a planilha de custos para manutenção desta infraestrutura. Divulgação das tecnologias presente nos veículos de transporte adotados e suas tarifas.

IV. Integração – como seria feita a integração do sistema BRT com os demais sistemas de transporte público em vigor. Estruturação integrada com os pontos de táxis e a destinação de área específica para o bicicletário. Elaboração de medidas que desestimulassem o usuário de transporte individual. Planejamento do uso do solo na fronteira do projeto.

V. Plano de negócios – realização da estruturação empresarial para a gestão do sistema, com os custos de financiamento, custos operacionais e todo o trabalho de marketing envolvido com a atividade do projeto.

VI. Implantação – avaliação dos impactos do projeto no trânsito local e regional. Planejamento contratual para a construção e exploração do sistema.

A tecnologia dos sistemas de transportes com operação exclusiva em corredores de ônibus proporciona alta qualidade, rapidez, conforto e eficiência, com redução de custos operacionais na infraestrutura de mobilidade e acessibilidade urbana.

Um ponto de partida lógico para a análise de opções de corredores é registrar a largura das vias e das “faixas de servidão” ao longo de cada potencial corredor. Ainda que larguras de ruas e de faixas de servidão possam ser constantes para longas extensões do corredor, flutuações podem ocorrer.

Não há regras fixas em relação à largura de via. Sistemas BRT de sucesso são construídos, até mesmo, em áreas em que toda a largura da rua é de apenas 3 metros. Em uma situação

ideal, a largura da via abrigará uma estação no canteiro central, uma ou duas faixas de ônibus, duas faixas de tráfego misto e um espaço adequado para pedestres e ciclistas.

Em Rouen na França, houve sucesso com a operação de um corredor de ônibus no canteiro central com apenas uma faixa reservada ao tráfego misto em cada sentido. Uma barreira semipermeável entre o corredor de ônibus e o tráfego misto permite que veículos particulares pulem temporariamente para a via de ônibus no caso de obstrução de sua faixa ou para mudança de faixa e sentido. Guayaquil no Equador implantou com sucesso uma opção de faixa única, mesmo com uma barreira impermeável entre a via de ônibus e a via de tráfego misto.

Essa solução assume que o corredor tem disponível uma faixa de passagem de pelo menos 14 metros para veículos e mais uma quantidade de espaço apropriado para pedestres. Espaço adicional é também necessário em áreas com estações, que provavelmente exigirá, no mínimo mais 2,2 metros de largura.

Pode haver uma oportunidade em muitos casos para restringir o acesso a um segmento apenas a veículos de transportes públicos. Carros particulares, motocicletas e caminhões são banidos de um segmento de corredor ou completamente ou durante horas de operação do transporte público. Uma alameda de transporte público é um segmento de corredor comercial onde apenas veículos de transporte público e não motorizados tem o trânsito permitido.

Como uma alternativa à alameda de transportes, cidades consideram dividir o serviço de transporte público em cada sentido por duas ruas (tipicamente paralelas). O sistema de transporte público operará assim em duas ligações de um sentido com cada via de ônibus operando ao lado da calçada. Nesse caso, uma faixa de tráfego misto pode tipicamente ser mantida.

Impactos adversos no tráfego serão obviamente minimizados se o novo sistema de BRT somar capacidade adicional à existente na rua e não tiver de converter uma faixa existente em uma faixa exclusiva de ônibus. No caso de Bogotá na Colômbia por exemplo, a maior parte, mas não todo o sistema TransMilenio foi construído nos canteiros centrais de uma larga via de passagem. O novo sistema de BRT, portanto, não reduziu o número de faixas de tráfego misto na maioria dos corredores.

Desde que o Brasil foi eleito a sede da Copa do Mundo de 2014, nove, entre as 12 cidades-sede, elegeram BRT's (*Bus Rapid Transit*), como solução a custos moderados para aliviar seus sistemas de tráfego urbano. Hoje, o BRT já consta do PAC (Programa de Aceleração do Crescimento) da mobilidade urbana e prevê R\$ 20 bilhões em investimentos do Governo Federal até 2014.

Além da rapidez de implantação - que pode ser feita em até dois anos -, outro atrativo do BRT é o custo. De acordo com o engenheiro Wágner Colombini, da Logit Consultoria e autor de diversos projetos internacionais de BRT, quando desconsiderada a necessidade de construção de obras de arte, análises técnicas muito específicas e desapropriações, o valor de implantação chega a US\$ 10 milhões por quilômetro. "Um valor bem aquém do metrô, cujo custo de implantação varia entre US\$ 100 milhões e US\$200 milhões", observa o engenheiro.

Segundo o ministro das Cidades, Márcio Fortes, cerca de 70% dos recursos federais serão investidos em sistemas de corredores exclusivos de ônibus, estações de transferência, terminais e sistemas de monitoramento e BRTs.



## CAPÍTULO 3

# SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

O uso de simulação iniciou nos anos 80 à medida que os computadores foram ficando mais rápidos e financeiramente acessíveis. Segundo Kelton *et al.* (2004) a simulação era usada principalmente como uma ferramenta para determinar a causa de acidentes e a quem culpar.

Ao final dos anos 80, com a introdução de computadores pessoais no mercado e a possibilidade de realizar animações, facilitando a visualização dos resultados, possibilitou a simulação a ganhar terreno nas grandes empresas. Apesar de ainda ser usada majoritariamente para analisar sistemas complexos, em muitos casos, a simulação passou a ser solicitada antes do início do funcionamento do sistema e, em algumas empresas maiores, passou a ser pré-requisito para grandes investimentos.

Atualmente, os *softwares* têm interfaces cada vez mais práticas que rodam com a plataforma *Windows*, e a simulação é usada como uma ferramenta padrão na maioria das empresas americanas. No Brasil, a simulação ainda é pouco difundida, sendo usada

principalmente por grandes empresas na análise de grandes investimentos para verificar sua viabilidade e potencial de retorno do investimento.

A simulação computacional tem se tornado uma ferramenta bastante conhecida e utilizada, uma vez que apresenta capacidade de avaliar sistemas complexos e considerar seu comportamento dinâmico.

A simulação foi definida por vários autores. Schriber (1974), define a simulação como a 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. Pode-se perceber que Schriber não define como necessário para a simulação o uso de um computador, Freitas (2001) explica isso com o fato de que na época, ainda era comum a utilização de modelos analógicos e físicos para se estudar e analisar o comportamento de sistemas.

Kelton *et al.* (2004) explicitaram a possibilidade do uso de computadores quando definiram a simulação com sendo uma vasta coleção de métodos e aplicações para imitar o comportamento do sistema real, geralmente em um computador com o software apropriado.

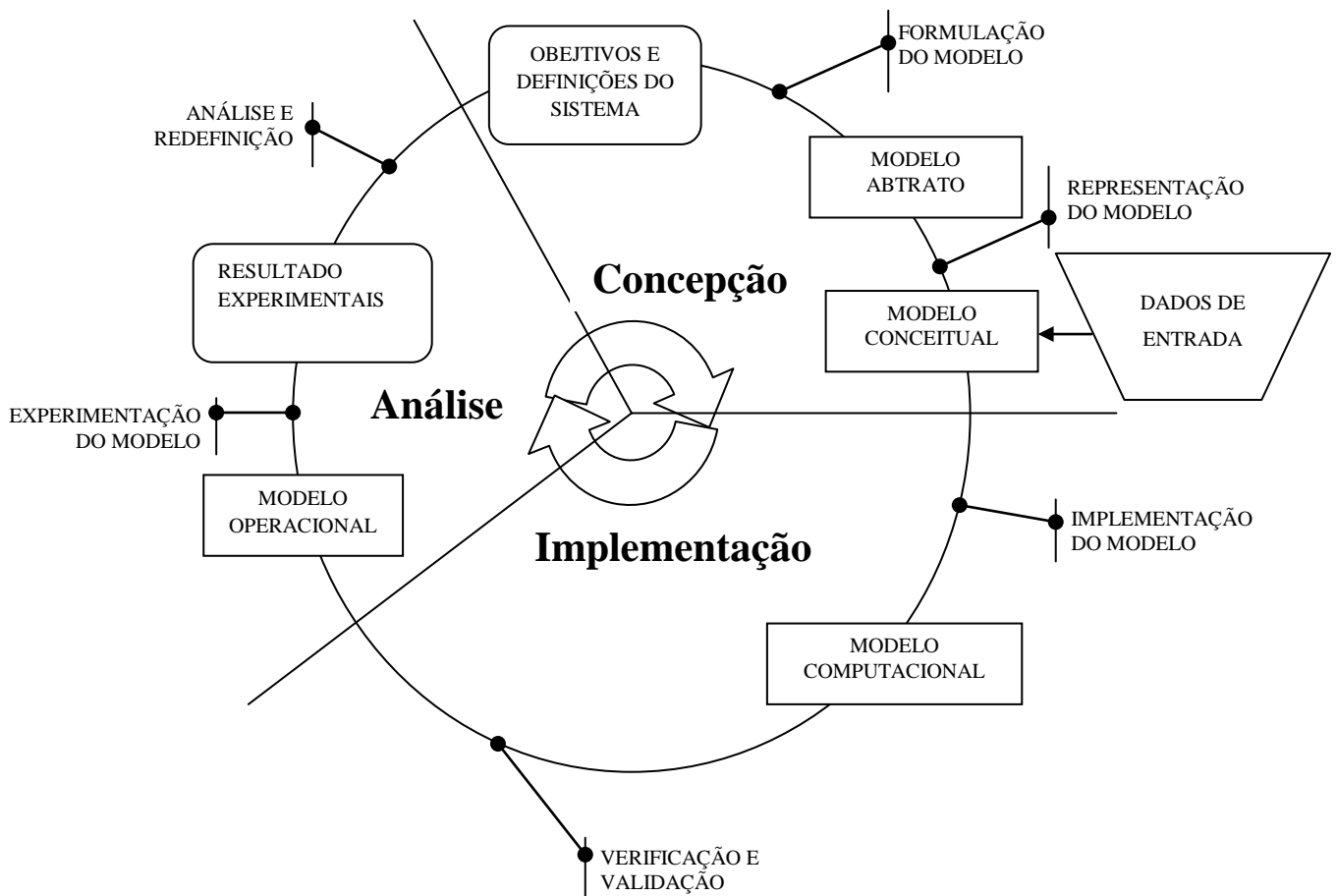
A metodologia de simulação computacional faz uso, em uma de suas fases, da modelagem conceitual de processos. O uso de técnicas de modelagem aumenta a qualidade dos modelos de simulação e ainda reduz o tempo necessário para a construção destes modelos computacionais. Esta é a principal razão para muitos pesquisadores como Perera e Liyanage (2000); Chwif e Medina (2006); e Leal (2008) focarem seus trabalhos na obtenção de uma interligação entre as ferramentas de modelagem e processos de simulação.

Segundo Law (2006), a etapa de criação do modelo conceitual é o aspecto mais importante de um estudo de simulação. Trabalhos como de Greasley (2006), Leal *et al.* (2008), Kumar e Phrommathed (2006), utilizam o mapeamento de processo como forma de descrever a lógica e determinar os pontos de decisão, antes mesmo do modelo computacional ser construído.

A simulação tem se tornado uma das mais populares técnicas para analisar problemas complexos em sistemas de manufatura. De acordo com Harrel *et al.* (2000), simulação é o processo de projetar um sistema real, modelado computacionalmente, para entender o comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação. Já para Montevechi *et al.* (2007), simulação é a importação da realidade para um ambiente controlado, onde seu

comportamento pode ser estudado sob diversas condições, sem riscos físicos e/ou altos custos envolvidos.

Chwif (1999) propõe três fases para a condução de um projeto de simulação: a concepção, a implementação e a análise dos resultados do modelo. Segundo o mesmo autor, na primeira fase, o analista de simulação deve entender claramente o sistema a ser simulado, decidir qual é a abrangência do modelo e o nível de detalhe, para enfim, transformar o modelo abstrato (na mente do analista) em modelo conceitual através de uma técnica apropriada de representação de modelo. Hoje se sabe que a simulação envolve muito mais que a simples construção de um programa, sendo esta atividade apenas uma, dentre as inúmeras atividades de um estudo de simulação.



**Figura 6:** Metodologia de simulação

**Fonte:** Chwif e Medina (2006)

Para Nethe e Stahlmann (1999), o desenvolvimento de modelos de processos antes do desenvolvimento dos modelos de simulação apresenta vantagens tais como grande auxílio

na coleta de informações relevantes, e redução de esforços e tempo consumido no desenvolvimento de um modelo de simulação.

Em seu trabalho, Sargent (2004) procura explicar a diferença entre o modelo conceitual e o modelo computacional. Segundo este autor, o modelo conceitual é a representação matemática, lógica ou verbal do problema, e o modelo computadorizado é o modelo conceitual implementado em um computador.

Para a representação do modelo conceitual, diversas técnicas podem ser empregadas. Para Hernandez-Matias *et al.* (2008), não há um único método de modelagem conceitual que pode modelar completamente um sistema complexo de manufatura. Como resultado das limitações destas técnicas, diferentes métodos integrados de modelagem têm sido desenvolvidos.

Com ou sem o uso de computadores, a simulação é uma ferramenta potente, mas possui algumas limitações. Os sistemas reais, geralmente, apresentam uma maior complexidade devida, principalmente, a sua natureza dinâmica e a sua natureza aleatória (CHWIF e MEDINA, 2006). No *website* a Paragon, representante do *software* de simulação ARENA no Brasil, mostra que pode não ser possível a representação total de um sistema ao definir simulação como a técnica de estudar o comportamento e reações de um determinado sistema através de modelos, que imitam na totalidade ou em parte as propriedades e comportamentos deste sistema em uma escala menor, permitindo sua manipulação e estudo detalhado.

### 3.1 ELEMENTOS BÁSICOS DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Banks e Carson II (2004) definem os elementos básicos da simulação como:

- **ENTIDADES** – 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.
- **ATRIBUTOS** - Os atributos são características próprias da entidade, ele é comum a todas as entidades, porém pode assumir valores diferentes diferenciando cada uma. Um exemplo de atributo é o horário de entrada no sistema, cada entidade terá seu próprio horário de chegada.

- **VARIÁVEIS** - As variáveis são informações que refletem algumas características do sistema, independente das entidades circulando. As variáveis podem ser números reais, vetores ou matrizes, de acordo com a necessidade de organizar as informações.
- **RECURSOS** - Os recursos fornecem serviços às entidades. No geral, as entidades competem entre si para ocupar os recursos que geralmente representam pessoas, máquinas ou espaço em área de estocagem.
- **FILAS** - As filas são os locais ocupados pelas entidades enquanto elas esperam por um recurso ocupado com outra atividade ou entidade. A fila pode ser processada de acordo com diferentes regras como prioridades e ordem de chegada, entre outros.
- **EVENTOS** – Eventos são acontecimentos, ocorrências, programados ou não, os quais, quando ocorrem, provocam uma mudança de estado em um sistema.

A tabela 3 a seguir apresenta exemplos dos elementos básicos de simulação para alguns sistemas.

**Tabela 3:** Exemplos de sistemas e seus componentes

<i>SISTEMA</i>	<i>ENTIDADES</i>	<i>ATRIBUTOS</i>	<i>ATIVIDADES</i>	<i>EVENTOS</i>	<i>VARIÁVEIS</i>
<i>Banco</i>	Clientes	Saldo em conta	Realizar um depósito	Chegada; Saída	Número de caixas ocupados; número de clientes esperando
<i>Trem Bala</i>	Passageiros	Origem e destino	Viajar	Chegada na estação; Chegada ao destino	Número de passageiros esperando em cada estação; número de passageiros em transito
<i>Produção</i>	Máquinas	Velocidade; capacidade; Taxa de quebra	Soldagem	Quebra	Estado da máquina (ocupada, livre, quebrada)
<i>Comunicações</i>	Mensagens	Tamanho; destino	Transmissão	Chegada ao destino	Número esperando para ser transmitido
<i>Inventário</i>	Estoque	Capacidade	Saídas	Demanda	Nível de estoque; pedidos atrasados

**Fonte:** Banks e Carson II (2004)

---

### 3.1.1 EVENTOS

De acordo com Chwif e Medina (2006), a simulação de eventos discretos é utilizada para modelar sistemas que mudam o seu comportamento em momentos discretos no tempo, a partir da ocorrência de eventos. A simulação de eventos discretos, diferentemente da simulação Monte Carlo, tem na passagem de tempo uma variável importante, e é usada para representar o comportamento de um modelo no decorrer do tempo.

Os modelos de simulação são desenvolvidos e executados, criando um histórico artificial de um sistema. (BANKS *et al.*, 2004).

Como a simulação é baseada em modelos reais, contem muitos dados e informações, sendo na maioria das vezes necessário o uso de computadores e *softwares* específicos para esta função. Entre os *softwares* mais conhecidos estão o ARENA, AutoMod, QUEST, ProModel, SIMUL8, entre outros.

### 3.1.2 ARENA

O *software* de simulação ARENA foi lançado em 1993 pela empresa *System Modeling* e foi o sucessor de outros dois *softwares* de simulação, o SIMAN e o CINEMA. O SIMAN foi lançado em 1982 e em 1984 recebeu o CINEMA como complemento, adicionando ao *software* habilidades de animação gráfica. Em 1993, os dois programas foram unificados e aperfeiçoados, dando origem ao ARENA.

Em 2000, a *System Modeling* foi comprada pela *Rockwell Software*, impulsionando o desenvolvimento do *software* através de lançamento de novas versões cada vez com mais recursos disponíveis.

Em uma simulação é construído um modelo lógico-matemático que representa a dinâmica do sistema em estudo. Este modelo normalmente incorpora valores para tempos, distâncias, recursos disponíveis etc. No ARENA, esta modelagem é feita visualmente com objetos

orientados à simulação e com o auxílio do mouse, não necessitando serem digitados comandos na lógica (programação).

O ARENA possui uma interface gráfica amigável utilizando módulos para descrever um sistema real. Tais módulos funcionam como comandos de uma linguagem de simulação e são estruturados de maneira que a construção do modelo seja muito similar à elaboração de um fluxograma do sistema, facilitando muito a construção do modelo computacional do sistema. Cada módulo possui uma série de parâmetros configuráveis de acordo com as especificações do modelo estudado.

Além de ser um *software* de simulação o ARENA possui ferramentas muito úteis para configurar o problema em estudo, dentre as quais, o *Input Analyser* que permite fazer a caracterização estatística do problema utilizando testes estatísticos como o teste *Chi* quadrado e o teste *Kolmogorov-Smirnov*; o *Output Analyser* permite analisar os resultados da simulação e o *OptQuest* tem atributos para a otimização do modelo conforme parâmetros desejados.

Segue abaixo o sequenciamento adequado para uma simulação:

1. **Formulação e análise do problema:** todo estudo de simulação inicia com a formulação do problema. Os propósitos e objetivos do estudo devem ser claramente definidos;
2. **Planejamento do projeto:** Pretende-se ter a certeza de que se possuem recursos suficientes no que diz respeito a pessoal, suporte, gerência, hardware e software para realização do trabalho proposto.
3. **Formulação do modelo conceitual:** Traçar um esboço do sistema, de forma gráfica (fluxograma, por exemplo) ou algorítmica, definindo componentes, descrevendo as variáveis e interações lógicas que constituem o sistema;
4. **Coleta de macroinformações e dados:** macroinformações são fatos, informações e estatísticas fundamentais, derivados de observações, experiências pessoais ou de arquivos históricos;
5. **Tradução do modelo:** codificar o modelo numa linguagem de simulação apropriada, como por exemplo, utilizando softwares como ARENA e TransCAD;
6. **Verificação e validação:** confirmar que o modelo opera de acordo com a intenção do analista e que os resultados por ele fornecidos possuam crédito e sejam representativos dos resultados do modelo real;

7. **Projeto experimental final:** projetar um conjunto de experimentos que produza a informação desejada, determinando como cada um dos testes deve ser realizado;
8. **Experimentação:** executar as simulações para a geração dos dados desejados e para a realização das análises de sensibilidade;
9. **Interpretação e análise estatística dos resultados:** traçar inferências sobre os resultados alcançados pela simulação. Estimativas para as medidas de desempenho nos cenários planejados são efetuadas;
10. **Comparação de sistemas e identificação das melhores soluções:** muitas vezes o emprego da técnica de simulação visa a identificação de diferenças existentes entre diversas alternativas de sistemas. Em algumas situações, o objetivo é comparar um sistema existente ou considerado como padrão, com propostas alternativas. Em outras, a ideia é a comparação de todas as propostas entre si;
11. **Documentação:** a documentação do modelo é sempre necessária, primeiro para servir como um guia para que alguém, familiarizado ou não com o modelo e os experimentos realizados, possa fazer uso do mesmo e dos resultados já produzidos, segundo, porque se forem necessárias futuras modificações no modelo, toda a documentação existente vem facilitar e muito os novos trabalhos;
12. **Apresentação dos resultados e implementação:** a apresentação dos resultados do estudo de simulação deve ser realizada por toda a equipe participante. Os resultados do projeto devem refletir os esforços coletivos e individuais realizados, considerando os seus diversos aspectos, isto é, levantamento do problema, coleta de dados, construção do modelo etc.

Na simulação, quanto mais confiáveis, ou seja, mais próximos do cenário real forem os dados e a modelagem do sistema, melhores serão os resultados obtidos. Não é diferente com o ARENA, quanto mais confiáveis e fiéis os dados forem, juntamente com a modelagem adequada do sistema, melhores serão os resultados obtidos e menores serão os índices de erros, aproximando-se da realidade.

No ARENA constrói-se visualizando o sistema que será modelado sendo constituído por um conjunto de estações de trabalho que servem a clientes ou determinadas entidades que se movem através do sistema. Isso pode ser usado de várias formas, podendo ter, por exemplo:



- Usuários, clientes ou pessoas (entidades) deslocando pelas diversas seções (*stations*) de um hipermercado onde efetuam compras;
- Um automóvel (entidade) sendo montado pelas diversas seções (*stations*) de uma montadora, ou empresa manufatureira;
- Usuários ou clientes (entidades) chegam a uma unidade bancária para utilizar os serviços dos seus diversos departamentos (*stations*).

Assim, para elaborar e criar um modelo de simulação com o ARENA, inicialmente é necessário a construção de um fluxograma, sendo que este deve ser constituído pelas estações de trabalho e pelas opções de fluxo para as entidades.

O programa ARENA tem a interface de fácil operação utilizando janelas, tendo até mesmo comandos e ícones que se assemelham, e menus com funções similares às encontradas em outros tipos de *softwares* que utilizam plataforma do Sistema Operacional Windows.

### 3.2 TransCAD

Os Sistemas de Informações Geográficas podem gerar informações para serem utilizadas graficamente num Sistema de Transporte, através de coordenadas cartesianas que podem ser relacionadas com diversas informações através de um banco de dados georeferenciado, disponibilizado pela tecnologia SIG (Sistemas de Informação Geográfica). Dessa maneira, é possível visualizar a situação presente e efetuar projeções em um ambiente de fácil operacionalidade, com grande apelo gráfico.

Os avanços computacionais das últimas décadas permitiram o surgimento de novas ferramentas computacionais, principalmente para o setor de logística. Neste contexto, estão os softwares que utilizam SIG's integrados a métodos eficientes de otimização, além de saídas gráficas como mapas (CÂMARA *et al.*, 1996).

Dentre os diversos softwares existentes, tem se destacado o TransCAD que é conhecido na literatura como sendo um SIG especialmente voltado para transportes. Alguns autores inclusive o classificam como um Sistema de Informações Geográficas para Transportes (SIG-T) (SILVA e WAERDEN, 1997). O TransCAD também apresenta uma linguagem de

programação conhecida como *Geographic Information System Development's Kit* (GISDK), não muito explorada na literatura.

Segundo Novaes (1989), o principal problema logístico associado ao transporte é o de roteamento de veículos, conhecido na literatura como Problema de Roteamento de Veículos (PRV). Este problema tem sido bastante estudado por diversos autores que buscam melhorias visando uma maximização dos lucros e/ou minimização dos custos. Nas duas últimas décadas, os avanços foram significativos, porém os problemas a serem considerados também cresceram. Fatores como o crescimento urbano sem um planejamento adequado, crescimento econômico e principalmente, o surgimento e crescimento do comércio eletrônico, tem afetado a distribuição de cargas em áreas urbanas (CUNHA, 2000).

Em um PRV clássico, veículos deixam um depósito e coletam mercadorias de um conjunto de clientes. Para facilitar a operacionalização, as empresas procuram agrupar os clientes em zonas segundo algum critério de similaridade, como por exemplo, a distância, e cada uma então é atendida por um veículo. Sob o ponto de vista teórico, essa estratégia é conhecida na literatura como Agrupar-Primeiro e Rotear-Depois (GILLET E MILLER, 1974) e vem apresentando bons resultados.

O estudo desse trabalho é de certa forma semelhante ao de um sistema de veículos que saem de um depósito para entrega e coleta em vários clientes, porém, os veículos são os ônibus de transporte coletivo urbano, os materiais de entrega são os próprios clientes e usuários do transporte que entram e saem dos ônibus em vários pontos, e o armazém e os depósitos são os terminais e as estações. Além do que não haverá necessidade de analisar roteamento, pois os ônibus circulam em um corredor pré-definido. Então, o software fará a análise em um horário específico do comportamento da demanda do corredor e mostrará a quantidade de ônibus necessária para atender esse período pré-definido.

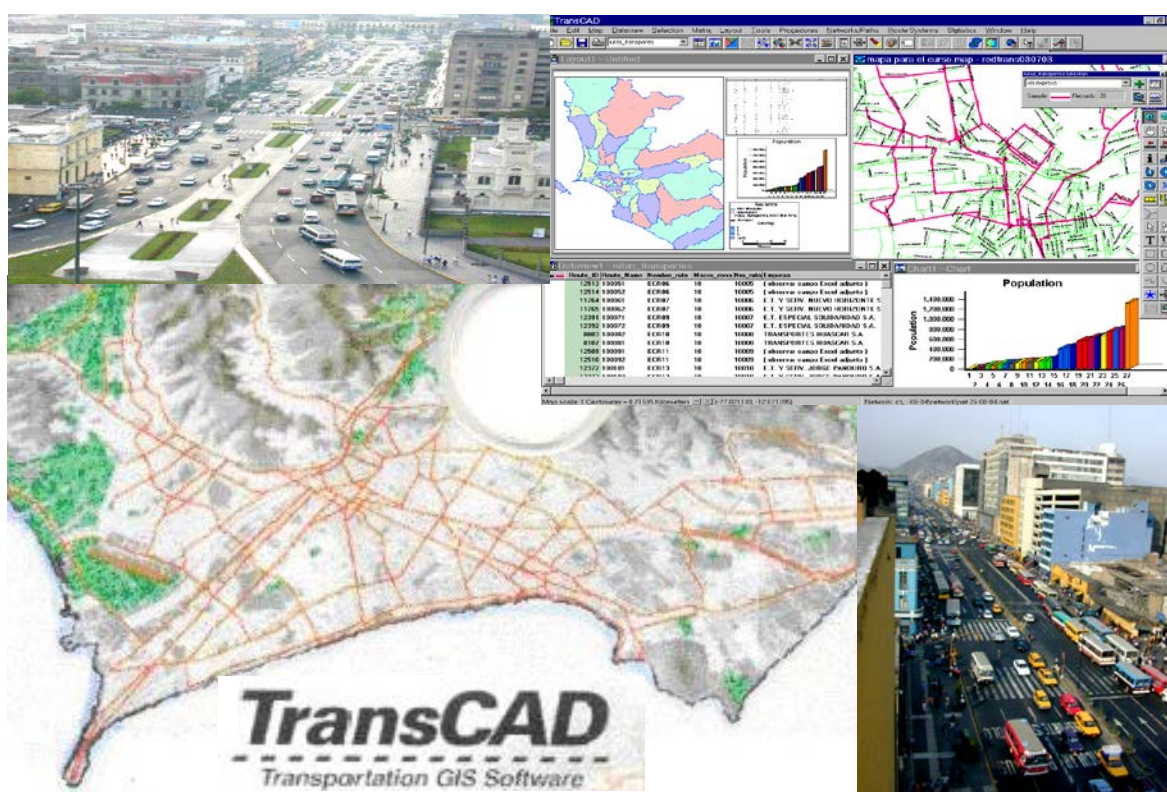
O TransCAD é uma poderosa ferramenta computacional para o planejamento, gerenciamento e análise de redes e sistemas de transporte, acoplada a um SIG que lhe permite uma combinação de competências para mapeamento digital, gestão de base de dados georeferenciados e apresentação gráfica. Possibilita a construção de layers, criação e personalização de mapas, além de vários tipos de análises espaciais. (CALIPER, 1996)

O TransCAD simula o comportamento agregado do tráfego e é adequado para a análise de grandes redes, como malhas rodoviárias ou urbanas. Possui recursos para definição de links unidirecionais, proibição de movimentos em interseções e atributos como velocidade e capacidade de tráfego, permitindo, por exemplo, a reprodução fiel do plano de circulação de um município.

O TransCAD é utilizado para planejar, analisar e gerenciar um sistema de transporte, e é ideal para suporte a tomadas de decisões. O TransCAD cria e edita mapas temáticos e dados geográficos, faz combinação de mapas digitais com bases de dados e produz gráficos. O seu modelo de dados inclui:

- Informação e direção do fluxo de cada trecho;
- Extensão de dados topológicos e não topológicos para representar os passos e desníveis;
- Dados de demora e restrições;
- Melhor representação de rotas;
- Gera e administra os dados mediante tabelas matriciais (fluxo, tempo de viagem e custos);
- Ferramenta para manutenção e cálculo de dados;

A Figura a seguir mostra uma ilustração da apresentação do sistema “fictício” do *software* TransCAD.



**Figura 7:** Apresentação do TransCAD

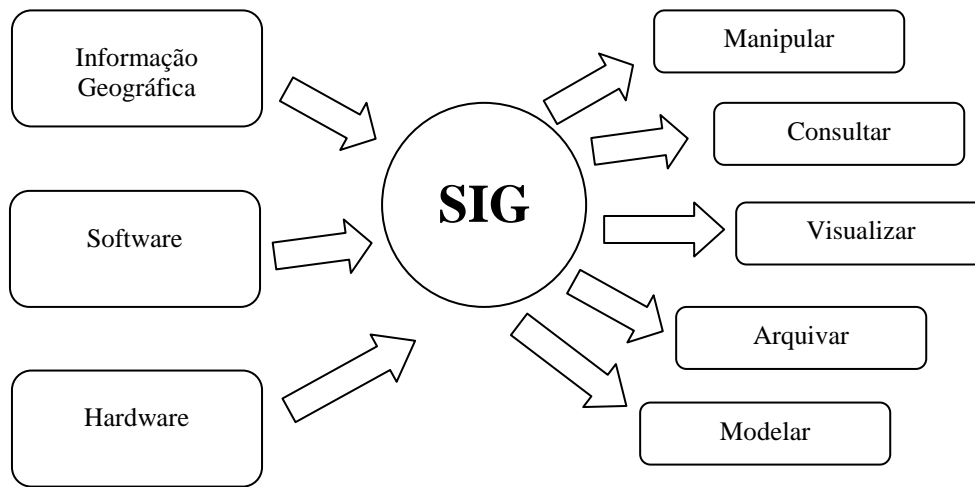
Através da disponibilização de tais recursos, o TransCAD pode ser utilizado em diversas aplicações: modelagem de um sistema de transporte, roteamento, análise de fluxos de cargas e passageiros, estudo de localização e de instalações, além de permitir a resolução de problemas de redes, de logística e a construção de modelos estatísticos. Além disso, pode ser utilizado para construir sistemas de apoio à decisão utilizando-se a linguagem de programação GISDK.

### 3.2.1 Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

Sistema de Informação Geográfica (SIG) são sistemas projetados especialmente para capturar, armazenar, manipular, atualizar, analisar, mapear os dados espaciais e apresentar todas as informações referenciadas geograficamente.

Segundo *Federal Interagency Coordinating Committee* (FICCDC): é um conjunto composto por *software* e *hardware* e procedimentos desenvolvidos para dar suporte à captura, ao gerenciamento, à manipulação, à análise e à apresentação de dados espaciais referenciados com o fim de resolver problemas complexos de gerenciamento e de planejamento.

Num SIG, a informação geográfica é organizada em camadas ou níveis de modelos de dados espaciais de informação (*layers*), consistindo cada uma num conjunto seleccionado de objetos associados e respectivos atributos.



**Figura 8:** SIG (Sistemas de Informações Geográficas)

O *Software* de um SIG é definido como um conjunto de programas que coleta, armazena, processa e analisa determinados dados geográficos, envolvendo o aumento da velocidade, a facilidade de seu uso e a segurança no manuseio destas mesmas informações, direcionando para uma perspectiva multidisciplinar de sua utilização. O *software* possui cinco módulos:

1. Coleta de Dados, Padronização, Entrada e Validação dos mesmos;
2. Armazenagem e Recuperação dos Dados;
3. Transformação ou Processamento de Dados;
4. Análise e Geração de Informação;
5. Saída e Apresentação de Resultados.

O *hardware* utilizado em um SIG é definido como conjunto de peças e equipamentos necessários para que se possam desenvolver as funções citadas acima. Compõe-se do computador e seus periféricos, como impressora, *plotter*, *scanner*, unidades de armazenamento. A comunicação entre computadores também pode ser realizada por meio de um ambiente de rede.

Os SIG's têm aplicações numa enorme variedade de campos: Logística, Geologia, Agricultura, Planejamento, Segurança Pública, Preservação de Recursos Naturais e muitos outros. Em quase todos esses campos, há necessidade de ênfase na coleta, integração e análise de dados espaciais, que naturalmente podem ser tratados por um SIG, razão pela qual a tecnologia dos SIG pode ser considerada uma *enabling technology*, no sentido que tem potencial de atender às necessidades supramencionadas.

### 3.2.2 ROTEIRIZAÇÃO COM O TransCAD

Cunha (2000) aborda que a roteirização é a forma que vem sendo utilizada para designar o processo para determinar uma ou mais rotas (sequências) a serem cumpridas por determinados veículos de uma frota, no qual se objetivam em ir ao encontro de clientes geograficamente dispersos e em locais previamente determinados.

De acordo com Galvão (2003), existe uma problemática em transporte e logística para determinar qual o sistema de distribuição de produtos e quais veículos serão utilizados para efetuarem entregas cobrindo determinada região, identificando clientes associados a veículos que percorrem determinada distância para satisfazer restrições espaciais e temporais com o intuito de minimizar o custo de operação da frota.

De acordo com essas informações sobre roteirização, SIG e o *software* TransCAD, tem-se então, um conjunto de ferramentas dispostas a simular e propor a melhor forma para otimizar uma rota, seja pelo custo, pela qualidade ou para atendimento ao total da demanda no menor tempo. O *software* TransCAD proporciona soluções para vários tipos de problemas de roteirização, inclusive para o problema proposto nesse trabalho.

A proposta é simular e modelar um corredor de ônibus para o transporte público urbano por ônibus, em um sistema com corredor exclusivo, com base na logística urbana.

Para utilizar o TransCAD nessa situação de simular um corredor exclusivo, há a necessidade de se determinar as variáveis e cumprir detalhes de programação que envolve a caracterização do objeto de estudo. Tem-se que os pontos determinados como *depots* que são os armazéns, depósitos iniciais, terminais etc., e os pontos a serem visitados

denominados *stops* ou paradas, assim configurando uma rota de um veículo que sai do terminal, visita os pontos ou paradas determinados e retorna ao terminal.

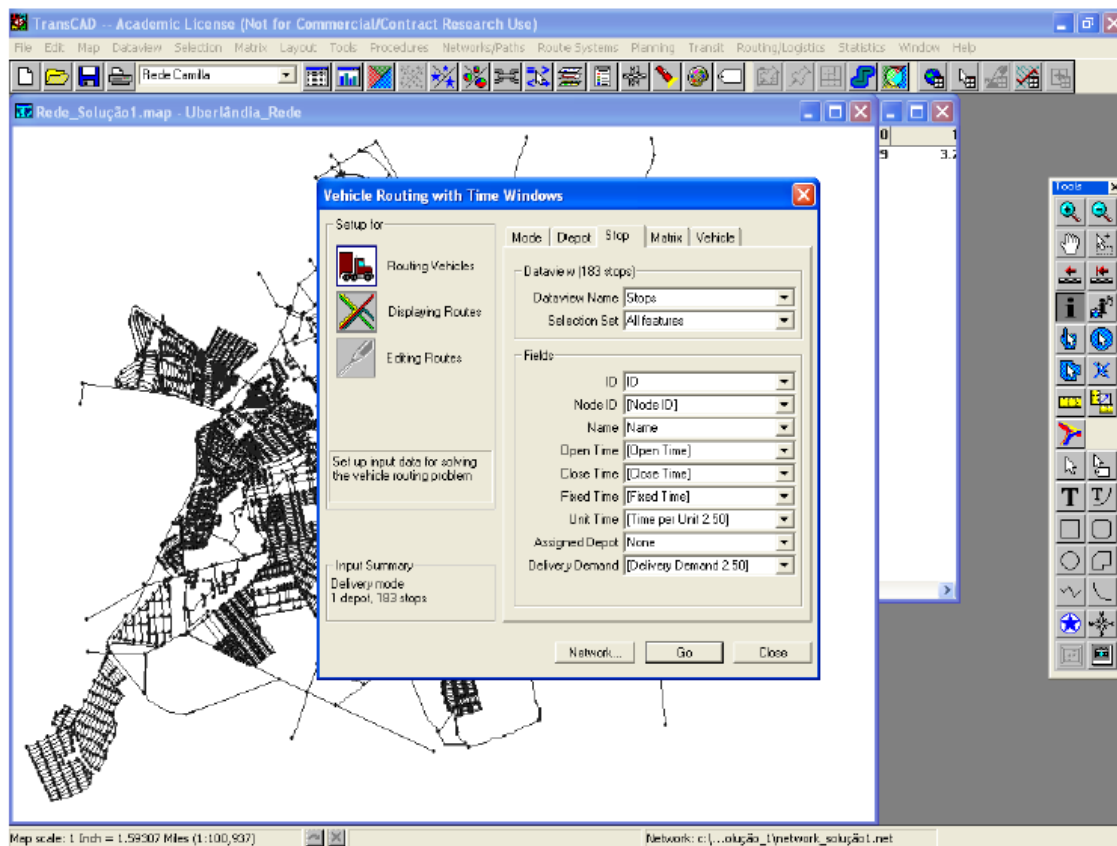
De acordo com Carrara (2007), esse procedimento determina um conjunto de rotas de forma a minimizar o tempo ou distância total viajada pela frota. Esses tempos de viagem e/ou as distâncias serão armazenados em uma Matriz de Roteirização de Veículos. Assim, ainda de acordo com Carrara (2007), pode-se utilizar uma rede (*network*) para calcular o tempo ou a distância percorrida na rede, ou usar essa distância para criar a matriz de roteirização de veículos.

Para utilizar o TransCAD com o intuito de simular uma roteirização, deve-se inicialmente obter e carregar um mapa criando os arquivos geográficos, os quais deverão conter as devidas localizações dos depósitos (*depots*) e das paradas (*stops*). Enquanto que outras informações necessárias deverão ser adicionadas em sua base de dados (*dataview*).

Esses arquivos geográficos criados deverão conter informações necessárias para a roteirização. Essas informações são:

- *ID* – número criado automaticamente pelo TransCAD que identifica e relaciona os dados com o mapa carregado e configurado;
- *Name* – são os nomes dados aos depósitos ou paradas para identificação na rede;
- *Open Time* – é a identificação da hora de abertura dos depósitos ou paradas;
- *Close Time* – é a identificação da hora de fechamento dos depósitos ou paradas;
- *Node ID* – é o ID do nó que se aproxima às localizações dos depósitos e paradas identificados no mapa;
- *Delivery Demand* – demanda gerada para entrega;
- *Pickup* – demanda gerada para coleta;
- *Fixed Time* – tempo fixo para realizar as entregas e/ou coletas nos pontos de paradas;
- *Time per Unit* – tempo unitário relativo exclusivamente à operação de entregas e/ou coletas nos pontos de paradas.

A Figura 9 a seguir mostra a caixa *Vehicle Routing* do TransCAD, onde a aba *stop* está selecionada.



**Figura 9:** Apresentação da caixa *Vehicle Routing* do TransCAD

**Fonte:** Carrara (2007, p. 77)

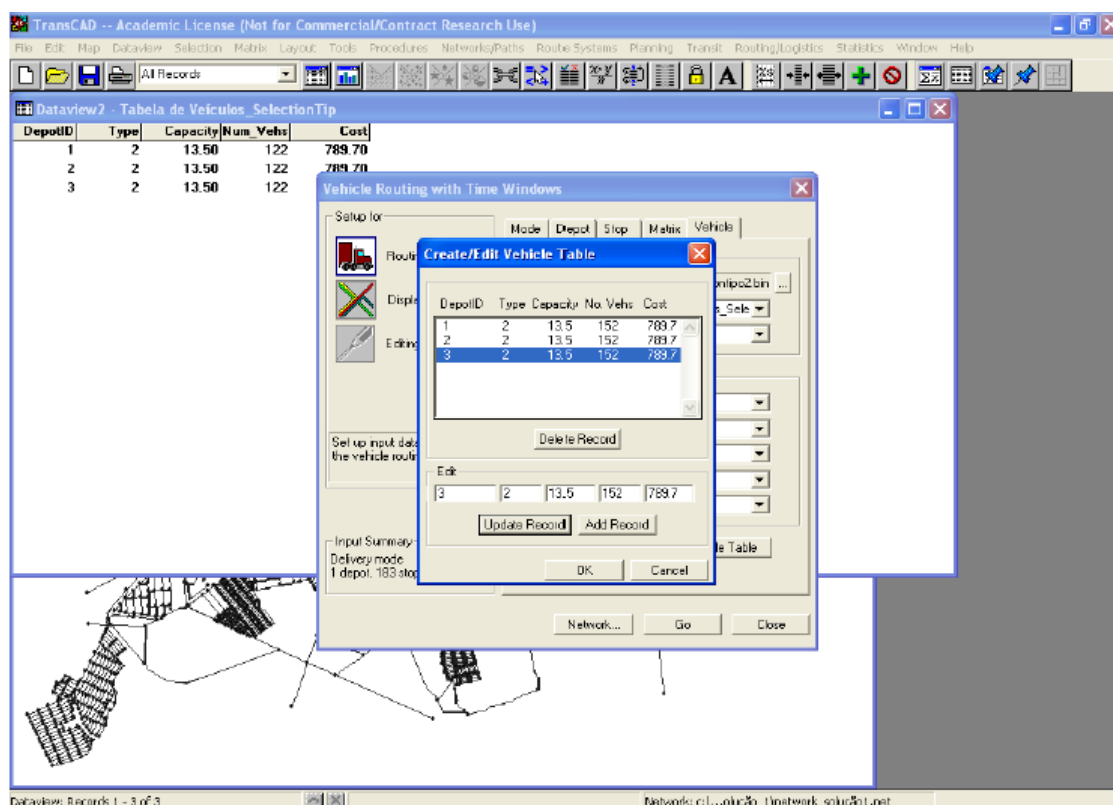
A matriz de roteirização é essencial para iniciar o procedimento de roteirização de veículos, e é um arquivo matricial (*matrix file*) que contém a distância e/ou o tempo de viagem entre cada depósito e parada entre cada par de paradas. (CARRARA, 2007)

Ainda segundo Carrara (2007), deve-se determinar os pontos de paradas para entrega e coleta que serão considerados, os depósitos ou terminais que serão considerados e o método que deverá ser utilizado para determinar a distância e tempo entre os pontos, para assim criar a matriz de roteirização. Deve-se ainda criar uma tabela com informações dos veículos disponíveis em cada depósito. Essa tabela de veículos deverá conter as seguintes informações:

- *Depot ID* – é o número da identificação do depósito ao qual o veículo está disponível;



- *Type* – corresponde à determinação do tipo do veículo, o qual deve ser único dentro de cada depósito;
- *Capacity* – é o número máximo de tonelagem transportada pelo veículo de acordo com o tipo especificado;
- *Number of Vehicles* – é a quantidade disponível de veículos nos depósitos de acordo com o tipo e capacidade;



**Figura 10:** Caixa para criar e editar a tabela de veículos no TransCAD

**Fonte:** Carrara (2007, p. 79)

O procedimento *Routing with Time Window* do TransCAD soluciona problemas de roteirização complexos com janela de tempo, frota heterogênea, restrições de rota e ainda considera múltiplos depósitos. Esse procedimento, de acordo com Carrara (2007), examina as restrições dentro da janela de tempo e os tempos de serviço nas paradas. As rotas geradas asseguram que as paradas são feitas dentro da janela de tempo determinada.

# CAPÍTULO 4

## ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi baseado no sistema integrado de transportes (SIT) de Uberlândia (MG), uma cidade de porte médio com população de 579.005 habitantes e frota de 289.502 veículos – 1 veículo para cada 2 habitantes (IBGE, 2010). O SIT é estruturado com base em 5 terminais sendo um localizado na área central e outros quatro localizados próximos à periferia segundo os vetores de crescimento da cidade. Esse sistema foi implantado em julho de 1997 com o objetivo de eliminar os transbordos de forma que o passageiro paga somente valor único independentemente da distância viajada e, também, com o propósito de adequar operacionalmente o sistema.

O sistema opera linhas troncais entre terminais identificados por veículos na cor amarela; linhas alimentadoras que transportam os passageiros até um dos terminais e são identificados por veículos na cor verde e as linhas interbairros identificados por veículos na cor vermelha. As linhas com caráter troncal operam em corredores de tráfego e o corredor da Avenida João Naves de Avila é o objeto de estudo que será modelado e simulado com base na logística urbana.

Nesse estudo pretende-se modelar o corredor de ônibus da Avenida João Naves de Ávila na cidade de Uberlândia/MG (que faz parte do Sistema Integrado de Transportes (SIT)). O SIT iniciou sua operação em julho de 1997 com o objetivo de eliminar os transbordos na área urbana e melhorar operacionalmente o sistema, e, o corredor da Avenida João Naves de Ávila iniciou sua operação em 2006.

O SIT é o sistema que operacionaliza o transporte coletivo urbano na cidade de Uberlândia. Foram construídos cinco terminais urbanos (Central, Santa Luzia, Umuarama, Industrial e Planalto) onde ocorre o embarque/desembarque dos usuários. No Sistema Integrado de Transportes existem veículos que fazem as linhas troncais (indicados pela cor amarela), as linhas alimentadoras (veículos verdes) e as linhas interbairros (veículos vermelhos).

A tarifa foi unificada (o usuário não paga duas ou mais passagens para chegar ao local desejado). Hoje, Uberlândia, conta com um transporte coletivo integrado e parte do sistema é dotada de bilhetagem eletrônica, tendendo a evoluir para ser completamente por bilhetagem eletrônica.

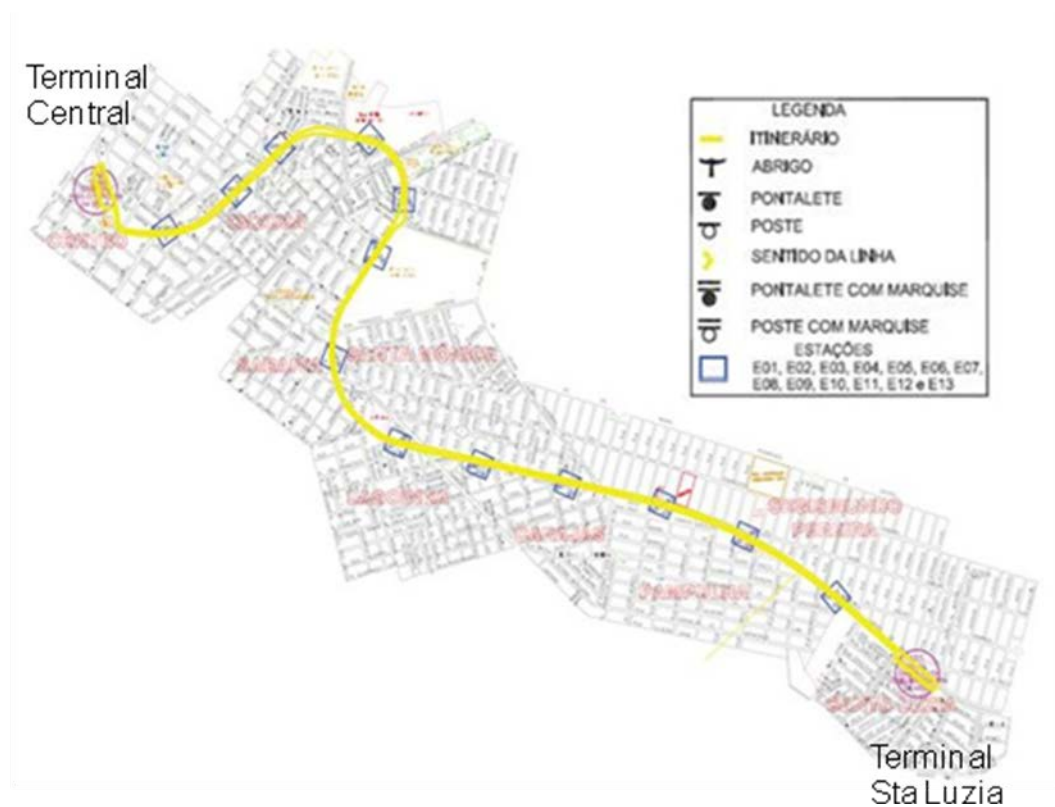
## **4.1 CARACTERIZAÇÃO DO CORREDOR**

No ano de 2006 foi inaugurado o corredor de ônibus ao longo do canteiro central da Avenida João Naves Ávila. Em cada sentido existem 3 faixas de tráfego e o corredor não é exclusivo para ônibus pois existem trechos onde é permitido a conversão à esquerda. O corredor conta com 13 estações de embarque/desembarque e tem extensão de 7,5 km ligando o Terminal Central ao Terminal Santa Luzia. A frota de ônibus que opera nesse corredor opera com 22 veículos distribuídos nas linhas T-131 (10 veículos) e T-132 (12 veículos). A frota é composta de ônibus tipo padron e articulados, sendo alguns de piso baixo.

As estações são nomeadas de acordo com alguma referência próxima. Os nomes são os seguintes:

- Estação 01: Cesário Alvim;
- Estação 02: Pereiras;

- Estação 03: SESC;
- Estação 04: Shopping;
- Estação 05: Centro Administrativo;
- Estação 06: UFU;
- Estação 07: Nicodemos;
- Estação 08: São Francisco;
- Estação 09: Lagoinha;
- Estação 10: Carajás;
- Estação 11: UAI;
- Estação 12: Pampulha;
- Estação 13: João Balbino.



**Figura 11:** Corredor Av. João Naves de Ávila – Uberlândia/MG

A Tabela 3 apresenta os dados comparativos do SIT em Uberlândia, antes e depois de sua implantação, sendo especificamente sobre o Corredor de ônibus da Av. João Naves de Ávila. Percebe-se que houve uma melhoria para os passageiros no que diz respeito à redução do tempo de espera nas estações e traslado entre os terminais, aumento no número de viagens dos veículos, e para o tráfego, reduziu o percentual de acidentes no trajeto e o tempo médio de espera em semáforos.

A Tabela 3 apresenta os dados do corredor da Av. João Naves de Ávila antes e depois da implantação do corredor.

**Tabela 3:** Dados Comparativos do Corredor Av. João Naves antes e depois de sua implantação

	<b>Antes</b>	<b>2009</b>	<b>%</b>
Embarques no Corredor (unidades)	30.924	35.100	Acréscimo de 13,5%
Frota Operante (unidades)	41	51	Acréscimo de 24%
Padron (unidades)	41	41	----
Articulado (unidades)	-----	8	Acréscimo de 100%
Piso Baixo (unidades)	-----	2	Acréscimo de 100%
Tempo Embarque/Desembarque (Hora Pico) – (s)	180	30	Redução de 83%
Tempo médio de viagem da linha T131 (min)	45	40	Redução de 11%
Capacidade de viagens por dia na linha T131 – Parador (viagens)	253	333	Acréscimo de 32%
Nº de viagens ofertadas no Corredor	772	931	Acréscimo de 21%
Nº de acidentes na Av. João Naves	84	70	Redução de 17%
Tempo médio espera no ponto de parada			
Pico (min)	5	3	Redução de 40%
Entre pico (min)	7	5	Redução de 29%
Cruzamento da Avenida João Naves de Ávila com Avenida Rondon Pacheco			
Tempo de ciclo médio semáforo (Horário de pico) – (s)	120	100	Redução de 17%
Acidentes de trânsito – (unidades)	12	04	Redução de 67%

**Fonte:** SETTRAN (Secretaria Municipal de Trânsito e Transportes) - Uberlândia/MG, 2009

## **4.2 COLETA DE DADOS E PARAMETRIZAÇÃO PARA SIMULAÇÃO DO CORREDOR**

A metodologia utilizada para a pesquisa de campo para coleta de dados consistiu na utilização de uma planilha para pesquisa E/D (embarque/desembarque) da escolha da hora de pico entre 07:00 e 08:00 horas e do movimento do ônibus nos dois sentidos, Bairro-Centro e Centro-Bairro.

Assim, a pesquisa de E/D foi realizada entre os dias 13 e 20 de setembro de 2010 na linha T131, em condições de tempo favorável (dia ensolarado) e o veículo selecionado foi do tipo Padron. A linha é troncal. O trajeto é realizado pela Avenida João Naves de Ávila, sentido centro, em faixa exclusiva para ônibus. Assim, o trajeto compreendeu a ida e volta do Terminal Santa Luzia, passando por treze estações até o Terminal Central.

A pesquisa foi realizada por três pesquisadores que realizaram a contagem do número de passageiros que embarcaram e desembarcaram e, também, mediam o tempo gasto para E/D nos terminais e nas estações. Assim, a contagem foi realizada da seguinte forma:

No Terminal Santa Luzia (início da pesquisa com sentido bairro-centro) foi feita a contagem por um pesquisador do embarque de passageiros na porta traseira e outro pesquisador o embarque na porta do meio. Cronometrou-se intervalo do tempo de embarque no terminal e outro pesquisador quantificou o embarque na porta da frente.

Nas Estações, três pesquisadores fizeram a contagem do número de passageiros embarcando e desembarcando pela porta traseira, do meio e da frente. O pesquisador da porta do meio cronometrou também o tempo de E/D em cada parada.

No Terminal Central (sentido centro-bairro) um pesquisador realizou a contagem do embarque de passageiros na porta traseira. Outro pesquisador cronometrou o intervalo do tempo de embarque/desembarque no terminal. A quantificação do embarque na porta da frente foi feita por um terceiro pesquisador.

Dessa forma, adotou-se o mesmo procedimento para a volta encerrando a pesquisa no Terminal Santa Luzia.

O período considerado para análise foi de oito dias, pois eliminou-se os dias que correspondiam ao final de semana (Sábados e Domingos) e baseou-se numa perspectiva de uma frequência de dados sem grandes desvios.

A coleta de informações ocorreu através da formação de equipes, que se fixaram nos quinze pontos de embarque-desembarque de passageiros na linha T131 (Parador). No terceiro dia, observou-se que os números de passageiros eram maiores no horário das 07h00min às 08h00min. E a partir dessa informação, houve a coleta das quantidades de embarque e desembarque de passageiros nesse período, o qual foi dividido em quatro Quartos da Hora de Pico (Tabelas 4 e 5).

O percurso foi dividido em dois trajetos: Trajeto Hora de Pico sentido Bairro-Centro (Viagem de Ida) e Trajeto Hora de Pico Centro-Bairro (Viagem de Volta).

Para parametrizar os dados na simulação adotou-se velocidade constante de 9,72 m/s ou 35 km/h.

**Tabela 4:** Distâncias e Tempos de deslocamento

Pontos de parada	Sentido: Bairro-Centro				Sentido: Centro-Bairro			
	Distâncias (m)		Tempo de deslocamento (s)		Distâncias (m)		Tempo de deslocamento (s)	
	entre pontos de parada	acumulada	entre pontos de parada	acumulado	entre pontos de parada	acumulada	entre pontos de parada	acumulado
Term. Sta Luzia	0,00	0,00	0,00	0,00	624,00	6.740,00	64,18	754,36
Est. 13	923,00	923,00	94,94	94,94	617,00	6.116,00	63,46	690,18
Est. 12	617,00	1.540,00	63,46	158,4	508,00	5.499,00	52,25	626,72
Est. 11	512,00	2.052,00	52,66	211,06	566,00	4.991,00	58,22	574,47
Est. 10	567,00	2.619,00	58,32	269,38	522,00	4.425,00	53,69	516,25
Est. 09	522,00	3.141,00	53,69	323,07	506,00	3.903,00	52,05	462,56
Est. 08	506,00	3.647,00	52,05	375,12	646,00	3.397,00	66,45	410,51
Est. 07	621,00	4.268,00	63,87	438,99	600,00	2.751,00	61,71	344,06
Est. 06	588,00	4.856,00	60,48	499,47	367,00	2.745,00	37,75	282,35
Est. 05	423,00	5.279,00	43,51	542,98	378,00	2.378,00	38,88	244,60
Est. 04	400,00	5.679,00	41,14	584,12	519,00	2.000,00	53,38	205,72
Est. 03	524,00	6.203,00	53,9	638,02	367,00	1.481,00	37,75	152,34
Est. 02	374,00	6.577,00	38,47	676,49	464,00	1.114,00	47,73	114,59
Est. 01	488,00	7.065,00	50,19	726,68	650,00	650,00	66,86	66,86
Term. Central	731,00	7.796,00	75,19	801,87	0,00	0,00	0,00	0,00



**Tabela 5:** Movimento de Embarque/Desembarque de Passageiros por quarto de hora

Pontos de parada	Sentido: Bairro-Centro								Sentido Centro-Bairro							
	1° Quarto		2° Quarto		3° Quarto		4° Quarto		1° Quarto		2° Quarto		3° Quarto		4° Quarto	
	Emb	Desemb	Emb	Desemb	Emb	Desemb	Emb	Desemb	Emb	Desemb	Emb	Desemb	Emb	Desemb	Emb	Desemb
Term. Sta Luzia	67	-	56	-	32	-	12	-	-	2	-	9	-	-11	-	-11
Est. 13	5	1	9	1	3	0	0	2	1	2	0	3	0	1	0	2
Est. 12	7	5	15	2	9	0	2	3	2	6	1	4	0	0	0	0
Est. 11	15	5	17	2	22	3	5	5	7	6	9	0	4	6	2	3
Est. 10	6	1	13	1	4	5	2	1	5	0	11	1	3	8	2	2
Est. 09	4	4	7	4	5	2	3	0	3	1	5	8	4	5	4	8
Est. 08	6	12	8	12	4	10	5	8	10	5	12	10	9	15	8	16
Est. 07	4	15	10	12	8	6	2	4	5	5	1	4	2	0	3	0
Est. 06	7	20	15	15	8	15	5	4	4	17	2	2	0	5	0	4
Est. 05	6	8	6	7	5	4	0	2	5	4	3	4	2	2	0	0
Est. 04	3	21	5	25	4	6	3	3	6	17	5	6	7	1	2	0
Est. 03	3	8	5	11	3	15	2	2	10	2	4	5	4	2	4	1
Est. 02	2	15	6	22	0	20	3	4	12	7	6	5	5	5	3	2
Est. 01	2	5	4	11	2	10	2	1	9	5	8	6	4	5	3	4
Term. Central	-	17	-	51	-	13	-	7	64	0	32	0	20	0	18	0

Outro parâmetro é o tempo de embarque e de desembarque dos passageiros nas estações. Adotou-se 3 segundos para o embarque por passageiro e 2 segundos para o desembarque por passageiro, de acordo com as informações dadas pelo SETTRAN, e conforme identificado *in loco* (pelo acompanhamento na pesquisa de campo realizada).

Assim sendo, a Tabela 7 apresenta o tempo de parada do ônibus (tempo gasto no embarque e desembarque por estação) em cada estação do corredor. Através da demanda das 13 estações por quarto de hora, conforme dados apresentados nas tabelas 4 e 5 e com o tempo padrão adotado, tem-se como resultado a Tabela 6.

Para a situação de desembarque dos ônibus na plataforma do terminal central ou terminal Santa Luzia, constatou-se na pesquisa de campo, que há no mínimo um desembarque de 5 passageiros ou cerca de 10 segundos (adotando-se 2 segundos para desembarque por passageiro), e um embarque com um intervalo mínimo de 3 segundos equivalente a pelo menos um passageiro embarcando.

**Tabela 6:** Tempo de parada nas estações.

Tempo de Embarque/Desembarque de Passageiros em segundos (s)									
Percurso Bairro-Centro					Percurso Bairro-Centro				
PONTO	1Q	2Q	3Q	4Q	PONTO	1Q	2Q	3Q	4Q
<b>Term. Sta Luzia</b>	100,5	84	48	18	<b>Term. Central</b>	96	48	30	27
<b>Est. 13</b>	8,5	14,5	4,5	2	<b>Est. 01</b>	18,5	18	11	8,5
<b>Est. 12</b>	15,5	24,5	13,5	6	<b>Est. 02</b>	25	14	12,5	6,5
<b>Est. 11</b>	27,5	27,5	36	12,5	<b>Est. 03</b>	17	11	8	7
<b>Est. 10</b>	10	20,5	11	4	<b>Est. 04</b>	26	13,5	11,5	3
<b>Est. 09</b>	10	14,5	9,5	4,5	<b>Est. 05</b>	11,5	8,5	5	0
<b>Est. 08</b>	21	24	16	15,5	<b>Est. 06</b>	23	5	5	4
<b>Est. 07</b>	21	27	18	7	<b>Est. 07</b>	12,5	5,5	3	4,5
<b>Est. 06</b>	30,5	37,5	27	11,5	<b>Est. 08</b>	20	28	28,5	28
<b>Est. 05</b>	17	16	11,5	2	<b>Est. 09</b>	5,5	15,5	11	14
<b>Est. 04</b>	25,5	32,5	12	7,5	<b>Est. 10</b>	7,5	17,5	12,5	5
<b>Est. 03</b>	12,5	18,5	19,5	5	<b>Est. 11</b>	16,5	13,5	12	6
<b>Est. 02</b>	18	31	20	8,5	<b>Est. 12</b>	9	5,5	0	0
<b>Est. 01</b>	8	17	13	4	<b>Est. 13</b>	3,5	3	1	2

Os ônibus ao ocuparem as plataformas dos terminais para o embarque/desembarque dos passageiros gastam um tempo mínimo, mas necessário para a análise, esse fato ocorre devido ao grande fluxo de outros veículos que também necessitam de se movimentarem

dentro dos terminais. Enquanto que, nas estações, tem-se apenas a abertura/fechamento das portas automáticas no ato do sobe/desce dos passageiros. Sendo assim, adotou-se 10 segundos como o tempo de parada mínimo nos terminais e 4 segundos nas Estações.

### 4.3 SIMULAÇÃO UTILIZANDO O SOFTWARE ARENA

Para a simulação deve-se construir o modelo lógico-matemático que representa a dinâmica do sistema em estudo e a modelagem deve ser feita visualmente com objetos orientados à simulação e auxílio do mouse, não necessitando da digitação de comandos na lógica de programação.

O ARENA visualiza o sistema a ser modelado como sendo constituído por um conjunto de estações de trabalho que prestam serviços a clientes ou entidades que se movem no sistema. Esta característica pode ser utilizada de diversas maneiras, como por exemplo as pessoas, que são caracterizadas por entidades que percorrem as diversas seções (*stations*).

Assim, para configurar um modelo para simulação com o ARENA, inicialmente na área de trabalho deve-se construir o fluxograma (ver Figura 1) com as estações de trabalho e opções de fluxo das entidades (ARENA, 2009).

Na Área de Trabalho inseriu-se o módulo *Create* Criação dos cinco Ônibus, no campo tempo entre chegadas (*Time Between Arrivals*) que se tem a orientação de criação das cinco entidades a cada um segundo, resultando num tempo inicial de 5 segundos e que elas serão necessariamente representadas pelos ônibus.

Prossegue-se com a adição do primeiro módulo *Decide* 1 que se baseia em cinco condições diferentes de acordo com a expressão *EntitiesIn*, ou seja, cada ônibus que passa pelo módulo é separado dos demais de acordo com a ordem de chegada. Por serem cinco entidades, existem quatro condições do primeiro ao quarto ônibus e um caminho alternativo para o quinto veículo.

Ao mesmo tempo, todos passam pelos módulos *Delay* - tempo de espera do Primeiro ao Quinto Ônibus, resumindo-se todos os ônibus ao passar pela estação 4 (Shopping) no Trajeto Bairro-Centro pela primeira vez, tem tempos de espera diferente. Este fato se torna

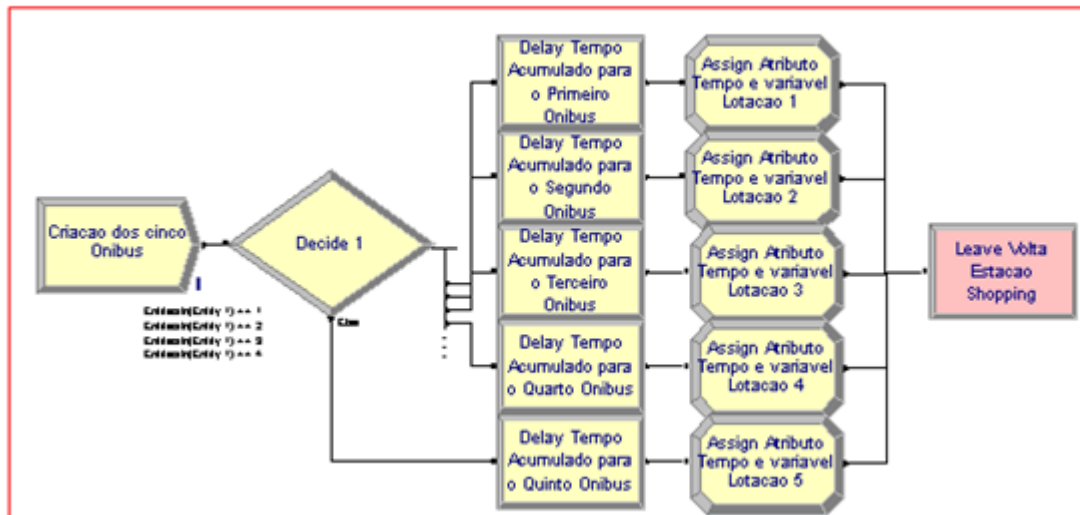
evidente porque cada veículo possuía um tempo acumulado anteriormente, os mesmos estão informados na Tabela 7.

**Tabela 7:** Condições iniciais de lotação e atraso.

Entidade	Atraso (s)	Lotação Inicial
1º Ônibus	1.561,59	34
2º Ônibus	381,21	80
3º Ônibus	565,55	1
4º Ônibus	1.626,65	0
5º Ônibus	2.831,83	4

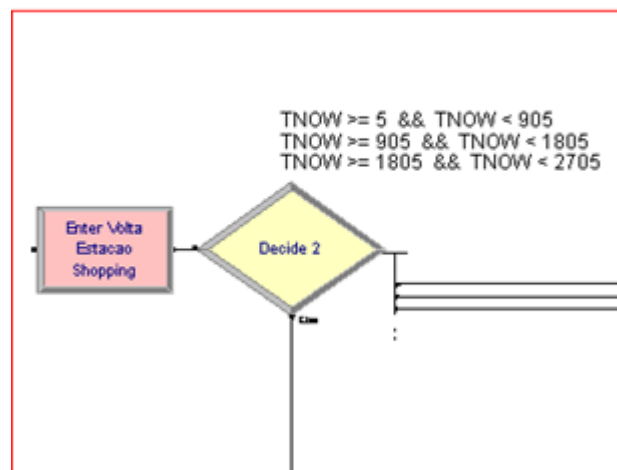
Cada entidade caminhará para um módulo *Assign* “Atributo Tempo e variável Lotação” de 1 a 5, cada ônibus receberá um *Attribute* de T1 a T5 e com valores que correspondem a expressão *TNOW* (Intervalo de Tempo) e o atributo Ônibus de 1 a 5. Também se tem a adição de uma *Variable* “Lotação” com valores iniciais, que foram retirados do conjunto de tabelas de lotação dos ônibus e indicados na Tabela 7.

Finalizando-se essa primeira parte, todos os cinco caminhos percorridos pelas entidades se juntarão no módulo *Leave* Volta Estação Shopping, no qual se escolhe uma conexão por uma *Route* (rota) seguida de uma estação com o nome de “Volta Estação Shopping”. Como o objetivo é apenas estudar o tempo de parada desta estação, digitou-se no campo *Move Time* o valor de 0 segundo para que a entidade seja transferida e que todo esse contexto se verifica na Figura 12.



**Figura 12:** Primeira Parte do Fluxograma.

Nessa próxima etapa (Figura 13), os ônibus entrarão definitivamente na estação do Shopping, iniciando-se pelo módulo *Enter* “Volta Estação Shopping” em que se confirma a entrada das entidades na *Station* “Volta Estação Shopping”. Logo, também se digita uma espera de 2 segundos no campo *Delay*, interpretando-se o tempo em que as portas automáticas da estação se abrem com o ônibus parado.



**Figura 13:** Segunda Parte do Fluxograma

Segue-se para o segundo módulo *Decide 2* e que se fundamenta em quatro condições baseadas na expressão *TNOW* para que seja respeitada a condicionante dos quatro quartos de hora de pico e estão indicadas a seguir:

- $TNOW \geq 5 \ \&\& \ TNOW < 905$  (intervalo de 0 a 15 minutos adicionando-se sempre os 5s de criação das entidades);
- $TNOW \geq 905 \ \&\& \ TNOW < 1805$  (intervalo de 15 a 30 minutos adicionando-se sempre os 5s de criação das entidades);
- $TNOW \geq 1805 \ \&\& \ TNOW < 2705$  (intervalo de 30 a 45 minutos adicionando-se sempre os 5s de criação das entidades);

E por último, a condição que simula o intervalo de 45 a 60 minutos e esse módulo caracteriza-se que conforme o tempo de chegada de cada veículo, ele seguirá um caminho diferente.

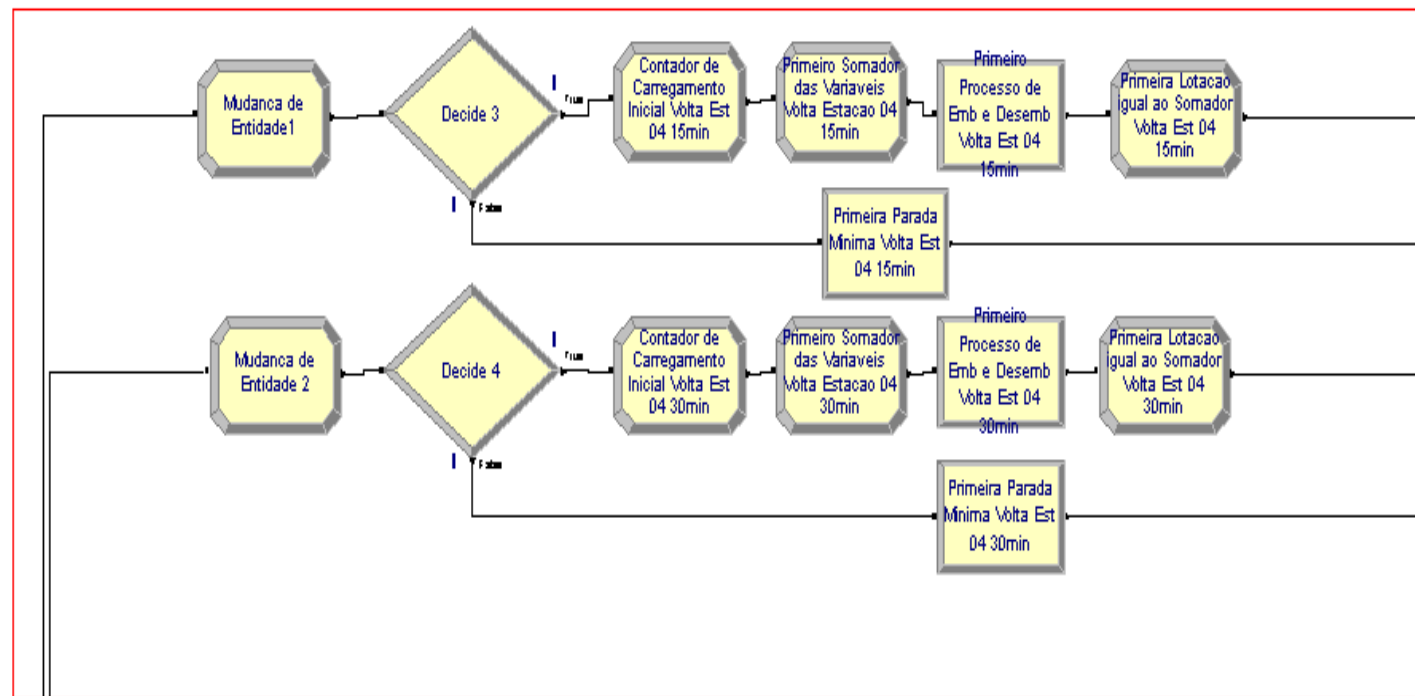
Entretanto cada percurso determinado pelo intervalo já descrito dependerá automaticamente se o valor da variável Carregamento Inicial é positivo ou negativo, onde considera-se que nos valores acumulados de embarque e desembarque de passageiros, soma-se ou subtrai-se, ficando o acumulado com valores positivos, ou negativos, ou seja, os valores negativos representam que desceram mais passageiros do que subiram.

Antes de desenvolver essa parte do fluxograma analisou-se que a variável Carregamento no primeiro quarto da Hora Pico era negativa, ou seja, os números de desembarques superavam os de embarques e que foi proposta pela programação abaixo (Figura 14).

Tem-se primeiramente a mudança de entidade no módulo *Assign* “Mudança de Entidade 1” para *Entity 2* e segue-se com a inserção do módulo *Decide 3*; que se utiliza da expressão *EntitiesIn (Entity2)* para separar o primeiro ônibus de acordo com a ordem de chegada.

No trajeto para a condição verdadeira sobrepõe-se um módulo *Assign* “Contador de Carregamento Inicial Volta Est 04 15min” com o objetivo de adicionar uma variável “Carregamento\_Volta\_Est\_04\_15min” com valor de -11.

A seguir tem-se também um módulo *Assign* “Primeiro Somador das Variáveis Volta Estação 04 15min” com a *Variable* “Somador\_1\_Volta\_Est\_04\_15min” que se opera de acordo com a soma das variáveis “Carregamento\_Volta\_Est\_04\_15min” e “Lotação”.

**Figura 14:** Terceira Parte do Fluxograma.

O próximo passo se baseia na criação do módulo *Delay* “Primeiro Processo de Emb e Desemb Volta Est 04 15min” com uma espera de 26 segundos. Nesse caminho, tem também o módulo “Primeira Lotacao igual ao Somador Volta Est 04 15min” que iguala a Lotação de acordo com o resultado do “Somador\_1\_Volta\_Est\_04\_15min”, e consequentemente a lotação inicial diminuirá.

E para o caminho que representa a condição do *Decide* 3, as demais entidades seguem para o módulo *Delay* “Primeira Parada Mínima Volta Est 04 15min” com o valor de 3 segundos (esse parâmetro foi adotado anteriormente).

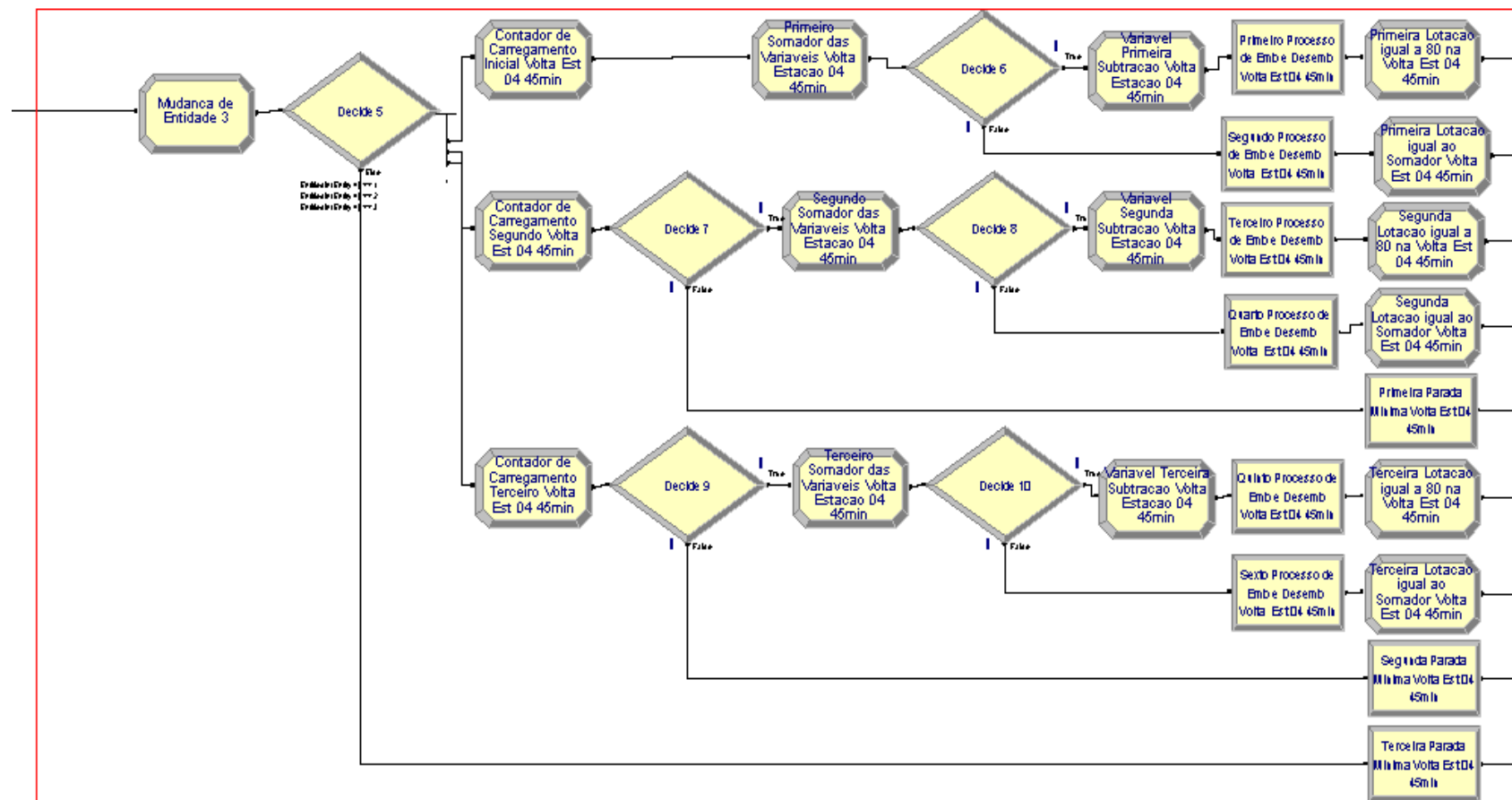
Complementando-se essa parte, o trecho correspondente ao segundo quarto da Hora de Pico por ter um Carregamento negativo segue-se o mesmo esquema anterior. Mas observa-se o manuseio das seguintes variáveis “Carregamento\_Volta\_Est\_04\_30min” que vale -1 e também a “Somador\_1\_Volta\_Est\_04\_15min”. E não se esquecendo de acrescentar uma espera de 13,5 segundos no módulo *Delay*.

Nesta parte do fluxograma serão analisados os caminhos adotados pela primeira entidade a chegar ao trecho indicado pelo intervalo de 30 a 45 minutos (Carregamento Positivo) e que está representado na Figura 15.

De acordo com as informações obtidas anteriormente, tem-se um carregamento positivo (ou seja, no acumulado, houve mais embarque do que desembarque de passageiros) para o terceiro caminho correspondente ao *Assign* “Mudança de Entidade 3” com a adoção da entidade 4. Prossegue-se com *Decide* 5 que se opera por ordem de chegada de cada entidade e apenas separando os três primeiros ônibus dos demais.

Para o primeiro ônibus ao se transitar nesse percurso tem o módulo *Assign* “Contador de Carregamento Inicial Volta Est 04 45min” que se adiciona a variável “Carregamento\_Volta\_Est\_04\_45min” com o valor 6 e que representa necessariamente o valor do carregamento inicial.





**Figura 15:** Processo do Intervalo de 30 a 45 minutos.

Então, essa entidade caminhará para o também módulo *Assign* “Primeiro Somador das Variáveis Volta Estação 04 45min” que se insere a variável “Somador\_1\_Volta\_Est\_04\_45min” fundamentada na soma de duas variáveis (“Lotação” e “Carregamento\_Volta\_Est\_04\_45min”).

No caso em que a variável do primeiro somador seja maior ou igual a 80 tem-se um percurso diferente e que se analisa na condição verdadeira do módulo *Decide* 6. Complementando-se a condição falsa analisa o somador com o valor menor que a máxima condição da Lotação.

No caminho adotado pelo ônibus que superou a condição da lotação máxima coloca-se um módulo *Assign* “Variável Primeira Subtração Volta Estação 04 45min” com a inserção da variável “Primeira\_Subtração\_Volta\_Est\_04\_45min” que se representa pela subtração do “Somador\_1\_Volta\_Est\_04\_45min” menos o valor 80 e que provavelmente será utilizado pelos demais ônibus.

Caminhando-se nesse mesmo trajeto, apresenta-se um módulo *Delay* “Primeiro Processo de Emb e Desemb Volta Est 04 45min” que se acrescenta uma espera de 11,5 segundos de e sempre subtraindo-se o mesmo pelo valor da variável “Primeira\_Subtração\_Volta\_Est\_04\_45min” multiplicada por 3. Daí proponha-se que o tempo de embarque/desembarque tenha a retirada do tempo dos passageiros que não embarcaram naquela situação.

No encerramento desse caminho coloca-se o módulo *Assign* “Primeira Lotação igual a 80 na Volta Est 04 45min” que iguala a variável Lotação ao valor 80 e caracteriza-se o ônibus com lotação máxima.

Para o caminho que se optou pela condição falsa do módulo *Decide* 6, tem-se o módulo *Delay* “Segundo Processo de Emb e Desemb Volta Est 04 45min” que possui uma espera com o valor do tempo de embarque/desembarque de 11,5 segundos. Seguindo-se do módulo *Assign* “Primeira Lotacao igual ao Somador Volta Est 04 45min” igualando-se a “Lotação” igual ao “Somador\_1\_Volta\_Est\_04\_45min”.

Agora, o esquema estudado pelo modelo será para a segunda entidade ao chegar ao módulo *Decide 5* e que nesse caso, pode-se obter também uma provável situação de um ônibus com lotação esgotada.

Como esse veículo não poderá receber o carregamento inicial, tem-se o módulo *Assign* “Contador de Carregamento Segundo Volta Est 04 45min” que se cria a variável “Segundo\_Carregamento\_Volta\_Est\_04\_45min” equivalendo-se ao valor da variável “Primeira\_Subtração\_Volta\_Est\_04\_45min”. Ou seja, o segundo carregamento poderá ser nulo ou o restante de passageiros que não embarcaram no primeiro ônibus.

Na verificação se o segundo carregamento é nulo ou não, insere-se um módulo *Decide 7*. No caminho em que a condição se torna falsa tem-se um módulo *Delay* “Primeira Parada Mínima Volta Est 04 45min” com uma espera mínima de 3 segundos.

Para o caminho da alternativa verdadeira propõem-se a mesma programação proposta pelo segundo ônibus da ordem de chegada, mas criando as seguintes variáveis: “Somador\_2\_Volta\_Est\_04\_45min” e “Segunda\_Subtração\_Volta\_Est\_04\_45min”; e todos os outros módulos correspondentes daquele trecho.

Mas, tem-se que para o módulo *Delay* “Terceiro Processo de Emb e Desemb Volta Est 04 60min” propõem-se a espera baseada na variável “Segundo\_Carregamento\_Volta\_Est\_04\_45min” subtraída pela também *Variable* “Segunda\_Subtração\_Volta\_Est\_04\_45min” e esse resultado se multiplica por 3. Ou seja, simula o tempo do carregamento em que o segundo ônibus necessita para alcançar a demanda de lotação máxima.

Ainda de acordo com o *Decide 5* tem-se condição falsa que abrange os ônibus a partir do quarto da fila de chegada. Eles seguem para um módulo *Delay* “Terceira Parada Mínima Volta Est 04 45 min” em que acrescenta no campo *Delay* o valor de 3 segundos.

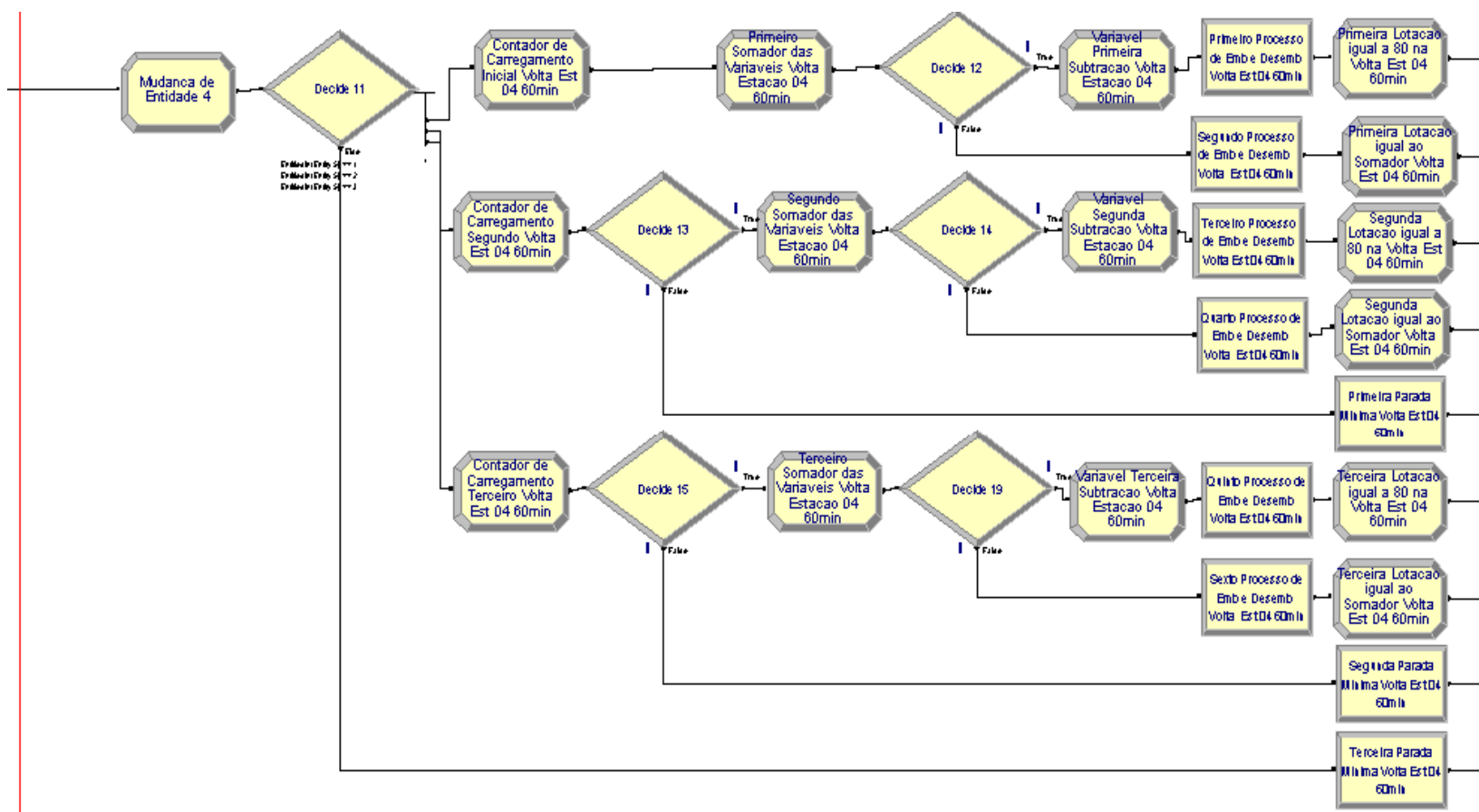


Figura 16: Processo do Intervalo de 45 a 60 minutos.

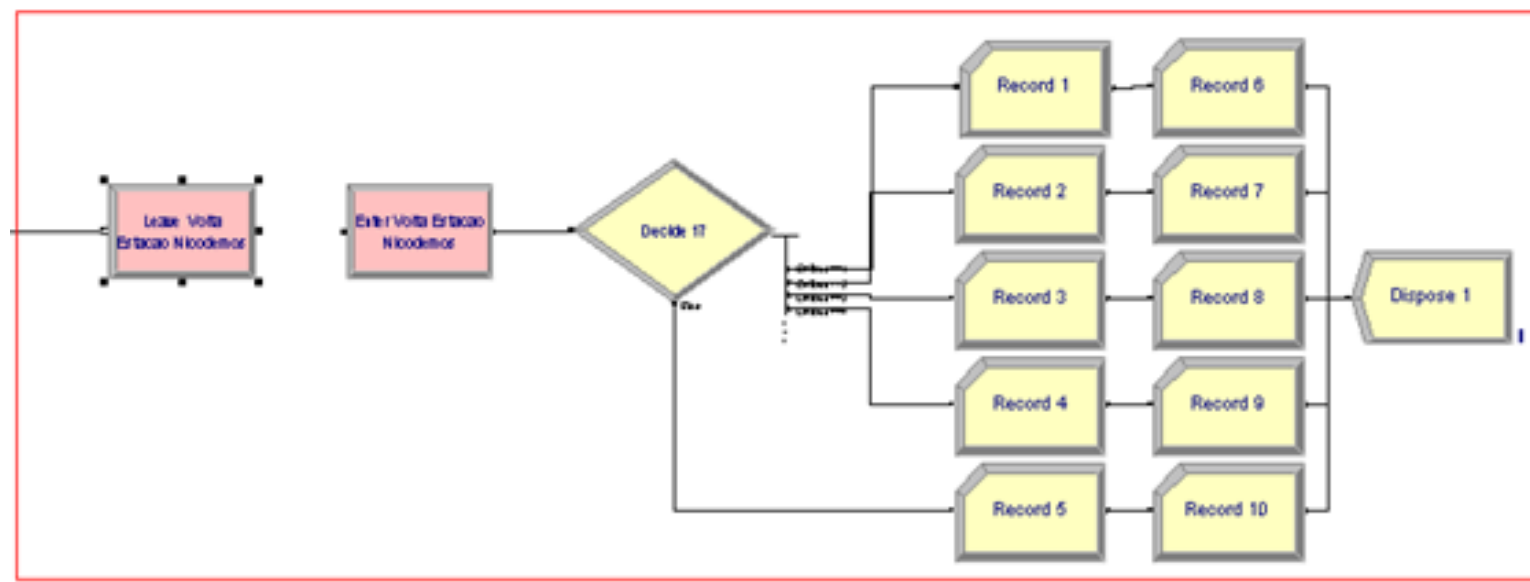
Concluindo-se essa fase da programação, todos os parâmetros utilizados na parte que envolve os caminhos percorridos pela entidade no intervalo de 45 a 60 minutos (Figura 16) se fundamentam no esquema dos percursos adotados no intervalo anterior e devido ao fato da variável *Carregamento* ser positiva. Somente observando-se que a variável “*Carregamento\_Volta\_Est\_04\_60min*” vale 2, também a espera pelo carregamento inicial vale 3 segundos e que esses resultados estão indicados nas suas respectivas tabelas.

A última parte do fluxograma (Figura 17) se resume na entrada de cada veículo no módulo *Leave* “Volta Estação Nicodemos” caracterizando-se pela adição da espera de 2s (situação em que as portas fecham) e digitando-se a *Station* de destino como “Volta Estação Nicodemos”. E não se esquecendo do tempo de transferência que é de 38.88 segundos.

Logo, as entidades partem para a entrada na estação 05 através do módulo *Enter* e são separadas de acordo com o valor do atributo “Ônibus” de 1 a 5 no módulo *Decide* 17. Agora, cada ônibus passa por dois módulos *Report* com o intuito de se contar os números finais da variável *Lotação* na estação 04 e também realizar a contagem do intervalo de tempo naquele exato ponto do fluxograma resultando-se no *Tempo Total*.

Na conclusão dessa programação tem-se um último módulo *Dispose* que possui a função de eliminação de todas as entidades e encerrando-se a simulação.

Na simulação, devido às características de forte demanda nos dois sentidos do corredor, na hora de pico, liberou-se dois ônibus, um no sentido bairro/centro e outro no sentido centro/bairro. Além disso, para o cálculo do tempo parado nos pontos adotou-se como tempo de embarque de 3 s e de desembarque de 2 s por passageiro porque a plataforma é no mesmo nível do piso dos ônibus.



**Figura 17:** Última Parte do Fluxograma.

Os valores foram multiplicados pelas demandas em cada ponto de parada e, divididos pelo número de portas dos ônibus e que respectivamente vale 2. Pois, Como o objetivo se argumenta no desenvolvimento do Tempo de Parada (tempo embarque/desembarque) em cada ponto do corredor, tem-se que além de multiplicar os respectivos números de pessoas com os tempos descritos anteriormente, analisar que todos os ônibus possuem entradas/saídas para o trânsito de seus passageiros e com isso, diminui consideravelmente esse intervalo. Os valores obtidos estão apresentados na Tabela 8. Quando o tempo de parada for pequeno, deve-se adotar o tempo mínimo de 3s para os pontos e 10 s para os terminais.

**Tabela 8:** Tempo de parada em segundos nos Pontos.

Percurso Bairro-Centro					Percurso Centro-Bairro				
Ponto de parada	1º Q	2º Q	3º Q	4º Q	Ponto de parada	1º Q	2º Q	3º Q	4º Q
Term. Sta Luzia	100,5	84,0	48,0	18,0	Term. Central	96,0	48,0	30,0	27,0
Est. 13	8,5	14,5	4,5	2,0	Est. 01	18,5	18,0	11,0	8,5
Est. 12	15,5	24,5	13,5	6,0	Est. 02	25,0	14,0	12,5	6,5
Est. 11	27,5	27,5	36,0	12,5	Est. 03	17,0	11,0	8,0	7,0
Est. 10	10,0	20,5	11,0	4,0	Est. 04	26,0	13,5	11,5	3,0
Est. 09	10,0	14,5	9,5	4,5	Est. 05	11,5	8,5	5,0	0,0
Est. 08	21,0	24,0	16,0	15,5	Est. 06	23,0	5,0	5,0	4,0
Est. 07	21,0	27,0	18,0	7,0	Est. 07	12,5	5,5	3,0	4,5
Est. 06	30,5	37,5	27,0	11,5	Est. 08	20,0	28,0	28,5	28,0
Est. 05	17,0	16,0	11,5	2,0	Est. 09	5,5	15,5	11,0	14,0
Est. 04	25,5	32,5	12,0	7,5	Est. 10	7,5	17,5	12,5	5,0
Est. 03	12,5	18,5	19,5	5,0	Est. 11	16,5	13,5	12,0	6,0
Est. 02	18,0	31,0	20,0	8,5	Est. 12	9,0	5,5	0,0	0,0
Est. 01	8,0	17,0	13,0	4,0	Est. 13	3,5	3,0	1,0	2,0

Além disso, quando a lotação do ônibus atingisse o valor acumulado de 80 passageiros era sempre liberado outro ônibus a partir do terminal de origem, pois o ônibus em questão estaria lotado não tendo mais condições de embarques. Esse ônibus que estava com lotação de 80 passageiros somente voltaria a pegar novos passageiros quando ocorressem desembarques reduzindo a lotação do ônibus. Essa condição foi adotada para garantir um nível de serviço adequado na hora de pico. Depois que o percurso foi completado calculou-se os tempos totais de viagem e a lotação média, em cada sentido Bairro/Centro e

Centro/Bairro. O tempo total de viagem é a soma do tempo de deslocamento e do tempo de parada. Os valores de cada viagem estão apresentados nas figuras 23, 24, 25, 26 e 27.

Os ônibus ao ocuparem as plataformas para o embarque/desembarque dos passageiros sofrem um pequeno acréscimo de tempo, nos terminais esse fato ocorre devido ao grande fluxo de outros veículos que atrapalham o tráfego do mesmo e nas estações temos o abertura/fechamento das portas de vidro automáticas. Contudo, essa situação resolveu-se adicionando 10s no Tempo de Parada para os terminais e nas estações tem-se o intervalo de 4s; contudo a soma dos Tempos de Parada com os Tempos de Deslocamento resultam no processo do Tempo Total em cada ponto de cada ônibus.

Um aspecto fundamental está no aumento do Tempo de Parada (células preenchidas na cor verde) em algumas estações, devido ao fato em que o ônibus obteve a condição de lotação máxima, não conseguindo embarcar mais passageiros. Também adiciona-se nesse parâmetro em que há o caso de mudança de Quarto de Hora acontecendo a situação de que a demanda não absorvida pelos ônibus anteriores será automaticamente “acumulada” com a demanda de Tempo de Parada do Quarto atual.

Outro fundamento se baseia na diminuição do Tempo de Parada inicial na estação em que o veículo possui a lotação máxima, nesse intervalo de tempo retira-se o número de passageiros que não embarcaram e multiplica-se esse valor pelo tempo adotado de embarque (3s) e averiguando-se nas células preenchidas na cor rosa. Já as células de cor azul referem ao momento em que se houve a mudança contínua do Quarto de Hora Pico.

Uma questão que se analisou foi a da lotação, ou seja, na condição em que o ônibus ultrapassa sua capacidade de acomodação de 80 passageiros e nesse contexto adicionou-se a uma variável denominada Carregamento Inicial. Ela se baseia na subtração dos valores do embarque (sempre positivos) pelos do desembarque (sempre negativos). Quando se criou essa variável teve-se o intuito de se questionar que estações podem ocorrer uma provável situação de lotação através dos valores dos carregamentos consecutivos.

O estudo do processo de lotação ainda se baseia no fato em que o ônibus lotado sempre ocupará as estações por um tempo mínimo de 3s ou um carregamento nulo. Essa condição se impôs devido que cada ônibus é obrigado a parar em todos os pontos de embarque/desembarque e o mesmo permanece nessa situação até que o Carregamento Inicial torne negativo (ou seja, que haja mais desembarque do que embarque).



Com a soma dos carregamentos em cada estação ou terminais presentes no Corredor da João Naves de Ávila configura-se o processo de lotação, daí tem-se o conjunto descrito nas figuras de 18 a 22 representativas da simulação utilizando o MS Excel. E todas as questões envolvendo o preenchimento das células abaixo estão identificadas conforme os seguintes tópicos:

- carregamento acumulado – células preenchidas de verde;
- lotação máxima – células preenchidas de rosa;
- carregamento no momento de mudança de Quarto de Hora de Pico (células preenchidas de azul).

No caso do carregamento acumulado coincidir muito com os padrões do Tempo Total, podem-se ter as seguintes alternativas: ocorre devido a mudança no Quarto de hora com a demanda não solicitada nos ônibus daquele período ou pelos passageiros que não embarcaram pois o veículo já estava lotado.

1º Ônibus		Primeira Viagem		Segunda Viagem	
Pontos de parada		Carregamento Lotação		Carregamento Lotação	
Term. Sta. Luzia	67	67	67	0	0
Est. 13	4	71	71	3	3
Est. 12	2	73	73	0	3
Est. 11	7	80	80	0	3
Est. 10	0	80	80	0	3
Est. 09	0	80	80	0	3
Est. 08	-6	74	74	-3	0
Est. 07	-11	63	63	-2	0
Est. 06	-13	50	50	1	0
Est. 05	-2	48	48	0	0
Est. 04	-18	30	30	0	0
Est. 03	-11	19	19	0	0
Est. 02	-29	0	0	0	0
Est. 01	-10	0	0	1	0
Valores médios		53	53		2

1º Ônibus		Primeira Viagem		Segunda Viagem	
Pontos de parada		Tempo de viagem (s)		Tempo de viagem (s)	
Term. Sta. Luzia	205.44	205.44	107.94	Emb + deslós	Total
Est. 13	75.96	281.40	71.96	Emb + deslós	2398.67
Est. 12	72.16	353.56	70.16	Emb + deslós	2470.63
Est. 11	80.82	434.38	65.32	Emb + deslós	2540.79
Est. 10	60.69	495.07	60.69	Emb + deslós	2606.11
Est. 09	59.03	554.12	59.03	Emb + deslós	2666.80
Est. 08	88.87	642.99	83.37	Emb + deslós	2725.85
Est. 07	85.48	728.47	71.48	Emb + deslós	2809.22
Est. 06	78.01	806.48	59.01	Emb + deslós	2880.70
Est. 05	62.14	868.63	48.14	Emb + deslós	2939.71
Est. 04	83.40	952.02	60.90	Emb + deslós	2987.85
Est. 03	73.47	1025.49	47.47	Emb + deslós	3048.75
Est. 02	103.19	1128.69	57.19	Emb + deslós	3096.22
Est. 01	104.19	1232.87	83.19	Emb + deslós	3153.41
Term. Central	10.00	1242.87	10.00	Emb + deslós	3236.60
Tempo Total (min)	20.71			Emb + deslós	3246.60

1º Ônibus		Primeira Viagem		Segunda Viagem	
Pontos de parada		Tempo de viagem (s)		Tempo de viagem (s)	
Term. Central	124.86	1367.73	103.86	Emb + deslós	Total
Est. 01	69.73	1437.46	54.73	Emb + deslós	3350.46
Est. 02	55.75	1493.21	44.75	Emb + deslós	3405.19
Est. 03	68.38	1561.59	60.38	Emb + deslós	3449.93
Est. 04	56.38	1617.97	45.88	Emb + deslós	3510.32
Est. 05	50.25	1668.22		Emb + deslós	3562.20
Est. 06	70.71	1738.93		Emb + deslós	3600.95
Est. 07	75.95	1814.88		Emb + deslós	
Est. 08	112.53	1927.42		Emb + deslós	
Est. 09	60.69	1988.11		Emb + deslós	
Est. 10	74.72	2062.83		Emb + deslós	
Est. 11	68.25	2131.08		Emb + deslós	
Est. 12	70.46	2201.55		Emb + deslós	
Est. 13	71.18	2272.73		Emb + deslós	
Term. Sta. Luzia	18.00	2290.73		Emb + deslós	
Tempo Total (min)	38.18			Emb + deslós	

Figura 18 – Lotação e Tempos de Viagem do 1º Ônibus

2º Ônibus Pontos de parada	Primeira Viagem			Segunda Viagem		
	Carregamento	Lotação	Carregamento	Lotação	Carregamento	Lotação
Term Central	64	64	64	0	0	0
Est 01	4	68	0	0	0	0
Est 02	5	73	0	0	0	0
Est 03	7	80	0	0	0	0
Est 04	-11	69	6	6	6	6
Est 05	1	70	0	0	0	0
Est 06	-13	57	0	0	0	0
Est 07	0	57	0	0	0	0
Est 08	5	62	-8	-8	-8	-8
Est 09	2	64	0	0	0	0
Est 10	5	69	0	0	0	0
Est 11	1	70	0	0	0	0
Est 12	-7	63	0	0	0	0
Est 13	-4	59	0	0	0	0
Valores médios		67				2

2º Ônibus Pontos de parada	Primeira Viagem			Segunda Viagem		
	Tempo de viagem (s)	Emb + desloc	Total	Tempo de viagem (s)	Emb + desloc	Total
Term Central	172,86	172,86	172,86	79,86	79,86	2391,59
Est 01	70,23	243,08	243,08	54,73	2446,31	2446,31
Est 02	66,75	309,83	309,83	44,75	2491,06	2491,06
Est 03	71,38	381,21	381,21	60,38	2551,44	2551,44
Est 04	68,88	450,09	450,09	54,38	2605,82	2605,82
Est 05	53,25	503,34	503,34	44,75	2650,57	2650,57
Est 06	88,71	592,06	592,06	68,71	2719,29	2719,29
Est 07	82,95	675,00	675,00	73,45	2792,73	2792,73
Est 08	76,05	751,05	751,05	84,05	2876,78	2876,78
Est 09	63,19	814,24	814,24	60,69	2937,47	2937,47
Est 10	69,72	883,96	883,96	65,22	3002,69	3002,69
Est 11	72,75	956,71	956,71	66,22	3068,90	3068,90
Est 12	76,46	1033,17	1033,17	70,46	3139,37	3139,37
Est 13	71,68	1104,85	1104,85	71,18	3210,55	3210,55
Term Sta Luzia	59	1163,85	1163,85	10,00	3220,55	3220,55
Tempo Total (min)		19,40			53,68	

2º Ônibus Pontos de parada	Primeira Viagem			Segunda Viagem		
	Tempo de viagem (s)	Emb + desloc	Total	Tempo de viagem (s)	Emb + desloc	Total
Term Sta Luzia	188,94	1352,79	1352,79	107,94	3328,49	3328,49
Est 13	70,46	1423,25	1423,25	69,46	3397,95	3397,95
Est 12	81,16	1504,42	1504,42	62,66	3460,61	3460,61
Est 11	65,32	1569,74	1569,74	74,82	3535,43	3535,43
Est 10	75,19	1644,93	1644,93	60,69	3596,12	3596,12
Est 09	59,05	1703,97	1703,97	59,05	3655,17	3655,17
Est 08	70,87	1774,85	1774,85			
Est 07	91,48	1866,33	1866,33			
Est 06	50,51	1916,84	1916,84			
Est 05	56,64	1973,48	1973,48			
Est 04	69,90	2043,38	2043,38			
Est 03	61,97	2105,35	2105,35			
Est 02	57,19	2162,54	2162,54			
Est 01	92,19	2254,73	2254,73			
Term Central	57,00	2311,73	2311,73			
Tempo Total (min)		38,53				

Figura 19 – Lotação e Tempos de Viagem do 2º Ônibus



3º Ônibus	Primeira Viagem				Segunda Viagem			
	Carregamento		Lotação		Carregamento		Lotação	
	Carregamento	Lotação	Carregamento	Lotação	Carregamento	Lotação	Carregamento	Lotação
Term. Central	0	0	0	20	0	20	0	20
Est. 01	0	0	0	-1	0	-1	0	19
Est. 02	0	0	0	0	0	0	0	19
Est. 03	1	1	1	2	1	2	1	21
Est. 04	0	1	1	0	0	0	0	21
Est. 05	0	1	1	0	0	0	0	21
Est. 06	0	1	1	-5	0	-5	0	16
Est. 07	0	1	1	5	0	5	0	21
Est. 08	0	1	1	0	0	0	0	21
Est. 09	0	1	1	-4	0	-4	0	17
Est. 10	10	11	11	0	0	0	0	17
Est. 11	9	20	20	-1	0	-1	0	16
Est. 12	0	20	20	0	0	0	0	16
Est. 13	0	20	20	-2	0	-2	0	14
Valores médios		6						19

3º Ônibus	Primeira Viagem				Segunda Viagem			
	Tempo de viagem (s)		Tempo de viagem (s)		Tempo de viagem (s)		Tempo de viagem (s)	
	Emb + desloc	Total	Emb + desloc	Total	Emb + desloc	Total	Emb + desloc	Total
Term. Central	79,86	405,69	107,94	1342,62	106,86	405,69	122,94	3335,35
Est. 01	54,73	460,41	81,96	1424,59	68,73	460,41	70,46	3405,81
Est. 02	44,75	505,16	59,66	1484,25	54,25	505,16	59,66	3465,48
Est. 03	60,38	565,55	60,69	1634,76	65,38	565,55	65,32	3530,80
Est. 04	45,88	611,43	70,55	1705,31	45,88	611,43	61,69	3592,49
Est. 05	50,25	661,67	91,87	1797,18	46,75	661,67	60,55	3653,03
Est. 06	68,71	730,39	67,48	1864,66	70,71	730,39		
Est. 07	73,45	803,83	74,51	1939,17	77,95	803,83		
Est. 08	59,05	862,88	48,14	1987,31	59,05	862,88		
Est. 09	60,69	923,57	60,90	2048,21	71,69	923,57		
Est. 10	79,72	1003,29	45,47	2093,68	67,22	1003,29		
Est. 11	69,75	1073,04	74,19	2167,87	62,25	1073,04		
Est. 12	70,46	1143,50	82,19	2250,06	70,46	1143,50		
Est. 13	71,18	1214,69	10,00	2260,06	71,18	1214,69		
Term. Sta. Luzia	20,00	1234,69			14,00	1234,69		
Tempo Total (min)	20,58		37,67		20,58		37,67	

3º Ônibus	Primeira Viagem				Segunda Viagem			
	Tempo de viagem (s)		Tempo de viagem (s)		Tempo de viagem (s)		Tempo de viagem (s)	
	Emb + desloc	Total	Emb + desloc	Total	Emb + desloc	Total	Emb + desloc	Total
Term. Central	79,86	405,69	107,94	1342,62	106,86	405,69	122,94	3335,35
Est. 01	54,73	460,41	81,96	1424,59	68,73	460,41	70,46	3405,81
Est. 02	44,75	505,16	59,66	1484,25	54,25	505,16	59,66	3465,48
Est. 03	60,38	565,55	60,69	1634,76	65,38	565,55	65,32	3530,80
Est. 04	45,88	611,43	70,55	1705,31	45,88	611,43	61,69	3592,49
Est. 05	50,25	661,67	91,87	1797,18	46,75	661,67	60,55	3653,03
Est. 06	68,71	730,39	67,48	1864,66	70,71	730,39		
Est. 07	73,45	803,83	74,51	1939,17	77,95	803,83		
Est. 08	59,05	862,88	48,14	1987,31	59,05	862,88		
Est. 09	60,69	923,57	60,90	2048,21	71,69	923,57		
Est. 10	79,72	1003,29	45,47	2093,68	67,22	1003,29		
Est. 11	69,75	1073,04	74,19	2167,87	62,25	1073,04		
Est. 12	70,46	1143,50	82,19	2250,06	70,46	1143,50		
Est. 13	71,18	1214,69	10,00	2260,06	71,18	1214,69		
Term. Sta. Luzia	20,00	1234,69			14,00	1234,69		
Tempo Total (min)	20,58		37,67		20,58		37,67	

Figura 20 – Lotação e Tempos de Viagem do 3º Ônibus

4º Ônibus	Primeira Viagem			Segunda Viagem		
	Carregamento		Lotação	Carregamento		Lotação
	Carregamento	Lotação		Carregamento	Lotação	
Term Sta Luzia	0	0	0	32	32	32
Est 13	0	0	0	0	0	32
Est 12	0	0	0	0	0	32
Est 11	3	3	0	0	0	32
Est 10	3	3	0	0	0	32
Est 09	0	3	0	0	0	32
Est 08	0	3	0	0	0	32
Est 07	0	3	0	0	0	32
Est 06	0	3	0	0	0	32
Est 05	-1	7	-2	0	30	30
Est 04	-20	0	0	0	30	30
Est 03	0	0	0	0	0	30
Est 02	0	0	-1	0	29	29
Est 01	0	0	0	0	29	29
Valores médios		4			32	32

4º Ônibus	Primeira Viagem			Segunda Viagem		
	Tempo de viagem (s)		Total	Tempo de viagem (s)		Total
	Emb + desloc	Emb + desloc		Emb + desloc	Emb + desloc	
Term Sta Luzia	107,94	482,00	589,94	152,94	2431,73	2584,67
Est 13	70,46	552,46	622,92	70,46	2502,19	2572,65
Est 12	59,66	612,13	671,79	59,66	2561,85	2621,51
Est 11	71,32	683,45	754,77	65,32	2627,17	2692,49
Est 10	67,69	751,14	818,83	60,69	2687,87	2748,56
Est 09	66,05	817,18	883,23	59,05	2746,91	2805,96
Est 08	70,37	888,06	958,43	70,37	2817,79	2888,16
Est 07	67,48	955,34	1022,82	67,48	2885,27	2952,75
Est 06	85,01	1040,55	1125,56	50,51	2935,77	3016,33
Est 05	61,14	1101,69	1162,83	48,14	2983,92	3052,75
Est 04	90,40	1192,09	1282,49	65,40	3049,31	3114,71
Est 03	45,47	1237,55	1283,02	45,47	3094,78	3140,25
Est 02	57,19	1294,75	1351,94	62,69	3157,48	3219,42
Est 01	82,19	1376,94	1459,13	82,19	3239,67	3321,80
Term Central	10,00	1386,94	1396,94	29,00	3268,67	3297,61
Tempo Total (min)	23,12			54,48		

4º Ônibus	Primeira Viagem			Segunda Viagem		
	Tempo de viagem (s)		Total	Tempo de viagem (s)		Total
	Emb + desloc	Emb + desloc		Emb + desloc	Emb + desloc	
Term Central	79,86	1466,79	1546,65	79,86	3348,52	3428,38
Est 01	54,73	1521,52	1576,25	60,23	3408,75	3463,48
Est 02	44,73	1566,27	1611,00	44,73	3453,50	3498,23
Est 03	60,38	1626,65	1687,03	60,38	3513,88	3574,21
Est 04	45,88	1672,53	1718,41	45,88	3559,76	3605,64
Est 05	44,75	1717,28	1762,03	44,75	3604,51	3649,26
Est 06	68,71	1785,99	1854,70			
Est 07	73,43	1859,44	1932,87			
Est 08	59,05	1918,49	1977,54			
Est 09	84,19	2002,68	2086,87			
Est 10	65,22	2067,89	2133,11			
Est 11	59,25	2127,15	2186,40			
Est 12	70,46	2197,61	2268,07			
Est 13	71,18	2268,79	2339,97			
Term Sta Luzia	10,00	2278,79	2288,79			
Valores médios			98			

Figura 21 – Lotação e Tempos de Viagem do 4º Ônibus



5º Ônibus	Primeira Viagem		Segunda Viagem	
	Carregamento		Carregamento	
	Lotação	Lotação	Lotação	Lotação
Term Sta Luzia	0	0	0	0
Est 13	0	0	0	0
Est 12	0	0	0	0
Est 11	0	0	0	0
Est 10	19	0	0	0
Est 09	-1	18	0	0
Est 08	3	21	0	0
Est 07	-6	15	0	0
Est 06	2	17	0	0
Est 05	0	17	0	0
Est 04	0	17	0	0
Est 03	0	17	0	0
Est 02	0	17	0	0
Est 01	0	17	0	0
Valores médios		14		

5º Ônibus	Primeira Viagem		Segunda Viagem	
	Tempo de viagem (s)		Tempo de viagem (s)	
	Emb + deslóc	Total	Emb + deslóc	Total
Term Sta Luzia	107,94	1694,17	107,94	3569,40
Est 13	70,46	1764,64	101,94	3671,34
Est 12	59,66	1824,30		
Est 11	98,32	1922,62		
Est 10	68,69	1991,31		
Est 09	65,55	2056,86		
Est 08	83,87	2140,73		
Est 07	82,48	2223,21		
Est 06	50,51	2273,72		
Est 05	48,14	2321,86		
Est 04	60,90	2382,76		
Est 03	45,47	2428,23		
Est 02	57,19	2485,42		
Est 01	82,19	2567,61		
Term Central	17,00	2584,61		
Tempo Total (min)		43,08		

Term Central	79,86	2664,47
Est 01	54,73	2719,19
Est 02	48,25	2767,44
Est 03	64,38	2831,83
Est 04	45,88	2877,71
Est 05	44,75	2922,45
Est 06	69,71	2992,17
Est 07	73,45	3065,61
Est 08	59,05	3124,66
Est 09	60,69	3185,35
Est 10	65,22	3250,57
Est 11	59,25	3309,82
Est 12	70,46	3380,28
Est 13	71,18	3451,47
Term Sta Luzia	10,00	3461,47
Tempo Total (min)		57,69

Figura 22 – Lotação e Tempos de Viagem do 5º Ônibus

## 4.4 SIMULAÇÃO UTILIZANDO O SOFTWARE TransCAD

O TransCAD é um software de simulação que utiliza de informações geográficas para a configuração de um sistema de transportes. Tal configuração pode utilizar mapas criados no AutoCAD em extensões dwg, porém sendo posteriormente convertidos para extensões dxf.

Ao carregar o mapa no TransCAD, deve-se também prepará-lo para a sua utilização no próprio programa. Para isso, selecionam-se as opções de *All layers*, escolhendo todos os *layers* apresentados no Mapa e é dado um nome (no caso, criando um *layer* de linha inicialmente). Em seguida, configuram-se as coordenadas para a região local, que no caso selecionou-se *Universal Transverse Mercator* (UTM). Na opção *Zone* selecionou-se UTM 22; Longitudes 54W to 48W. Em *Elipsoid* selecionou-se GRS 1967. Na opção *Unit Conversion – Interpret* selecionou-se *Meters* e ajustou-se com a opção *Adjust for southern hemisphere*.

Assim, o arquivo contendo o mapa carregado ficou pronto para ser utilizado dentro do TransCAD, para a simulação do sistema de transporte, ou no caso, para a simulação do atendimento no corredor da Av. João Naves de Ávila.

Para iniciar a utilização, foi criado então, inicialmente, uma base de dados de pontos, ou *layer* de pontos, onde, nessa base de dados posicionaram-se exatamente os depósitos e clientes em suas devidas localizações, que nesse caso são os terminais central e Santa Luzia, além das 13 estações do corredor João Naves de Ávila, totalizando 15 pontos no mapa, onde para o TransCAD ele mantém a ordem da Criação, portanto para o mesmo, o terminal Sta Luzia foi o ponto 1, a estação 13 foi o ponto 2 e assim por diante até chegar no terminal central que foi o ponto 15 no TransCAD.

Nessa mesma base de dados de pontos, criaram-se as seguintes variáveis:

- Embarque;
- Desembarque;
- *Open Time*;
- *Unit Time*;

- *Close Time*;
- *Node\_Id*;
- *Nome*.

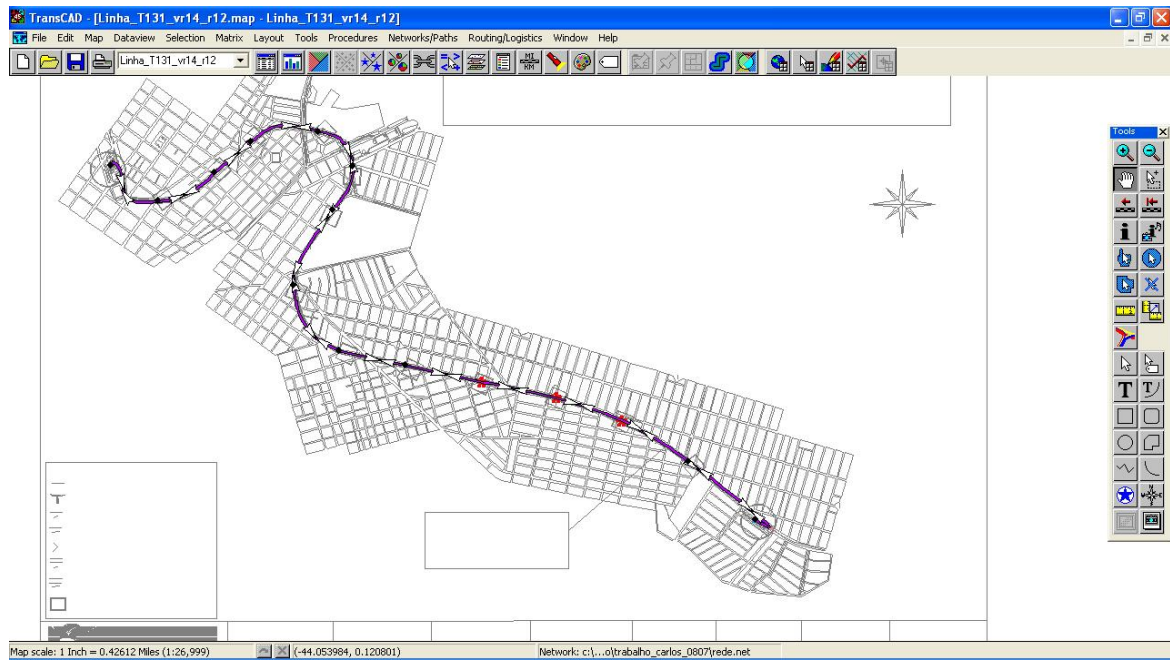
Preencheu-se essa base de dados de cada ponto de acordo com os dados da pesquisa feita anteriormente, conforme demonstrado no relatório.

Depois do *Layers* de pontos devidamente criado e configurado, com suas variáveis identificadas e com os dados inseridos, criou-se então a base de dados da rede viária, (em *Layer* de Linha), onde, nessa base de dados, foi traçado o trajeto a percorrer do ônibus, sendo no sentido bairro-centro, ou, do terminal Santa Luzia ao terminal central, e no sentido centro-bairro, ou, do terminal central ao terminal Santa Luzia. Assim, preencheu-se essa base de dados com os dados da rede. Foi traçado o itinerário percorrido pelo ônibus no corredor da Av João Naves de Avila, nos sentidos Centro-Bairro e Bairro-Centro, ligando o Terminal Central ao Terminal Sta Luzia e, vice-versa.

Como o objetivo do trabalho é simular e avaliar o comportamento do sobe e desce no corredor Avenida João Naves de Ávila, e analisar o atendimento da demanda pelos veículos a serem ofertados para atender o corredor no horário de pico da manhã no sentido bairro-centro, criou-se então, uma matriz de roteirização através do *Route System* e *Vehicle Routing* do TransCAD e essa matriz foi preenchida com os dados dos ônibus da linha T-131 do Corredor João Naves de Ávila, conforme pesquisa realizada em campo e apresentada anteriormente entre as páginas 71 e 76.

Com isso, obteve-se no TransCAD a matriz de distância e a rota apresentada pela Figura 23.





**Figura 23:** Tela da rota criada pelo TransCAD para o Corredor

Segue então os resultados obtidos pelo TransCAD para o corredor estudado, através das Tabelas 10 a 14, apresentando as necessidades de ônibus na linha e em qual momento no horário de pico entre 07:00 horas e 08:00 horas da manhã.

**Tabela 10:** Corredor Av J N Avila - 1º Ônibus - Sentido: Bairro/Centro

Estações		Tempos (horários)		Distâncias	Embarque	Desembarque	Lotação
De	Para	Saída	Chegada	(metros)	(pessoas)	(pessoas)	(pessoas)
T. Sta Luzia	Est. 13	07:03	07:04	923,00	67		67
Est. 13	Est. 12	07:05	07:06	617,00	5	1	71
Est. 12	Est. 11	07:06	07:07	512,00	7	5	73
Est. 11	Est. 10	07:07	07:08	567,00	12	5	80
<b>Total</b>		<b>9 minutos</b>		<b>2619,00</b>	<b>91</b>	<b>11</b>	<b>80</b>

**Tabela 11:** Corredor Av J N Ávila - 2º Ônibus - Sentido: Bairro/Centro

Estações		Tempos (horários)		Distâncias	Embarque	Desembarque	Lotação
De	Para	Saída	Chegada	(metros)	(pessoas)	(pessoas)	(pessoas)
Est. 11	Est. 10	07:08	07:09	567,00	3	0	3
Est. 10	Est. 09	07:09	07:11	522,00	6	1	8
Est. 09	Est. 08	07:12	07:13	506,00	4	4	8
Est. 08	Est. 07	07:13	07:15	621,00	14	12	10
Est. 07	Est. 06	07:16	07:17	588,00	14	12	12
Est. 06	Est. 05	07:17	07:19	423,00	22	15	19
Est. 05	Est. 04	07:21	07:22	400,00	12	7	24
Est. 04	Est. 03	07:23	07:24	524,00	8	25	7
Est. 03	Est. 02	07:25	07:26	374,00	8	11	4
Est. 02	Est. 01	07:27	07:28	488,00	8	9	3
Est. 01	T. Central	07:29	07:30	731,00	6	6	3
<b>Total</b>		<b>21 minutos</b>		<b>5.177,00</b>	<b>105</b>	<b>102</b>	<b>3</b>

**Tabela 12:** Corredor Av J N Ávila - 3º Ônibus - Sentido: Bairro/Centro

Estações		Tempos (horários)		Distâncias	Embarque	Desembarque	Lotação
De	Para	Saída	Chegada	(metros)	(pessoas)	(pessoas)	(pessoas)
T. Sta Luzia	Est. 13	07:15	07:17	923,00	56	0	56
Est. 13	Est. 12	07:17	07:18	617,00	9	1	64
Est. 12	Est. 11	07:18	07:19	512,00	15	2	77
Est. 11	Est. 10	07:19	07:20	567,00	5	2	80
<b>Total</b>		<b>5 minutos</b>		<b>2.619,00</b>	<b>85</b>	<b>5</b>	<b>80</b>

**Tabela 13:** Corredor Av J N Ávila - 4º Ônibus - Sentido: Bairro/Centro

Estações		Tempos (horários)		Distâncias	Embarque	Desembarque	Lotação
De	Para	Saída	Chegada	(metros)	(pessoas)	(pessoas)	(pessoas)
Est. 11	Est. 10	07:19	07:20	567,00	12	0	12
Est. 10	Est. 09	07:24	07:25	522,00	13	1	12
Est. 09	Est. 08	07:26	07:27	506,00	7	4	15
Est. 08	Est. 07	07:27	07:28	621,00	0	0	15
Est. 07	Est. 06	07:28	07:29	588,00	0	0	15
Est. 06	Est. 05	07:29	07:30	423,00	0	0	15
Est. 05	Est. 04	07:30	07:31	400,00	5	4	16
Est. 04	Est. 03	07:31	07:32	524,00	4	6	14
Est. 03	Est. 02	07:32	07:33	374,00	3	15	2
Est. 02	Est. 01	07:33	07:34	488,00	0	0	2
Est. 01	T. Central	07:34	07:35	731,00	0	2	0
<b>Total</b>		<b>11 minutos</b>		<b>5177,00</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>0</b>

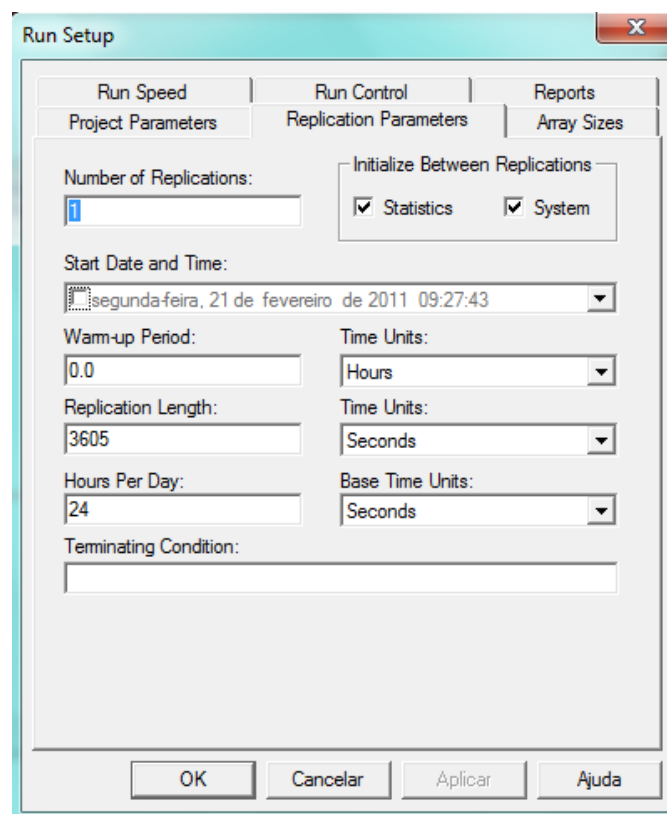
**Tabela 14:** Corredor Av J N Ávila - 5º Ônibus - Sentido: Bairro/Centro

Estações		Tempos (horários)		Distâncias	Embarque	Desembarque	Lotação
De	Para	Saída	Chegada	(metros)	(pessoas)	(pessoas)	(pessoas)
T. Sta Luzia	Est. 13	07:45	07:47	923,00	12	5	7
Est. 13	Est. 12	07:47	07:48	617,00	0	2	5
Est. 12	Est. 11	07:48	07:49	512,00	2	3	4
Est. 11	Est. 10	07:49	07:50	567,00	5	5	4
Est. 10	Est. 09	07:50	07:51	522,00	2	1	5
Est. 09	Est. 08	07:51	07:52	506,00	3	0	8
Est. 08	Est. 07	07:52	07:53	621,00	5	8	5
Est. 07	Est. 06	07:53	07:54	588,00	2	4	3

Est. 06	Est. 05	07:54	07:55	423,00	5	4	4
Est. 05	Est. 04	07:55	07:56	400,00	0	2	2
Est. 04	Est. 03	07:56	07:57	524,00	3	3	2
Est. 03	Est. 02	07:57	07:58	374,00	2	2	2
Est. 02	Est. 01	07:58	07:59	488,00	3	4	1
Est. 01	T. Central	07:59	08:00	731,00	2	1	2
<b>Total</b>		<b>15 minutos</b>		<b>7796,00</b>	<b>46</b>	<b>44</b>	<b>2</b>

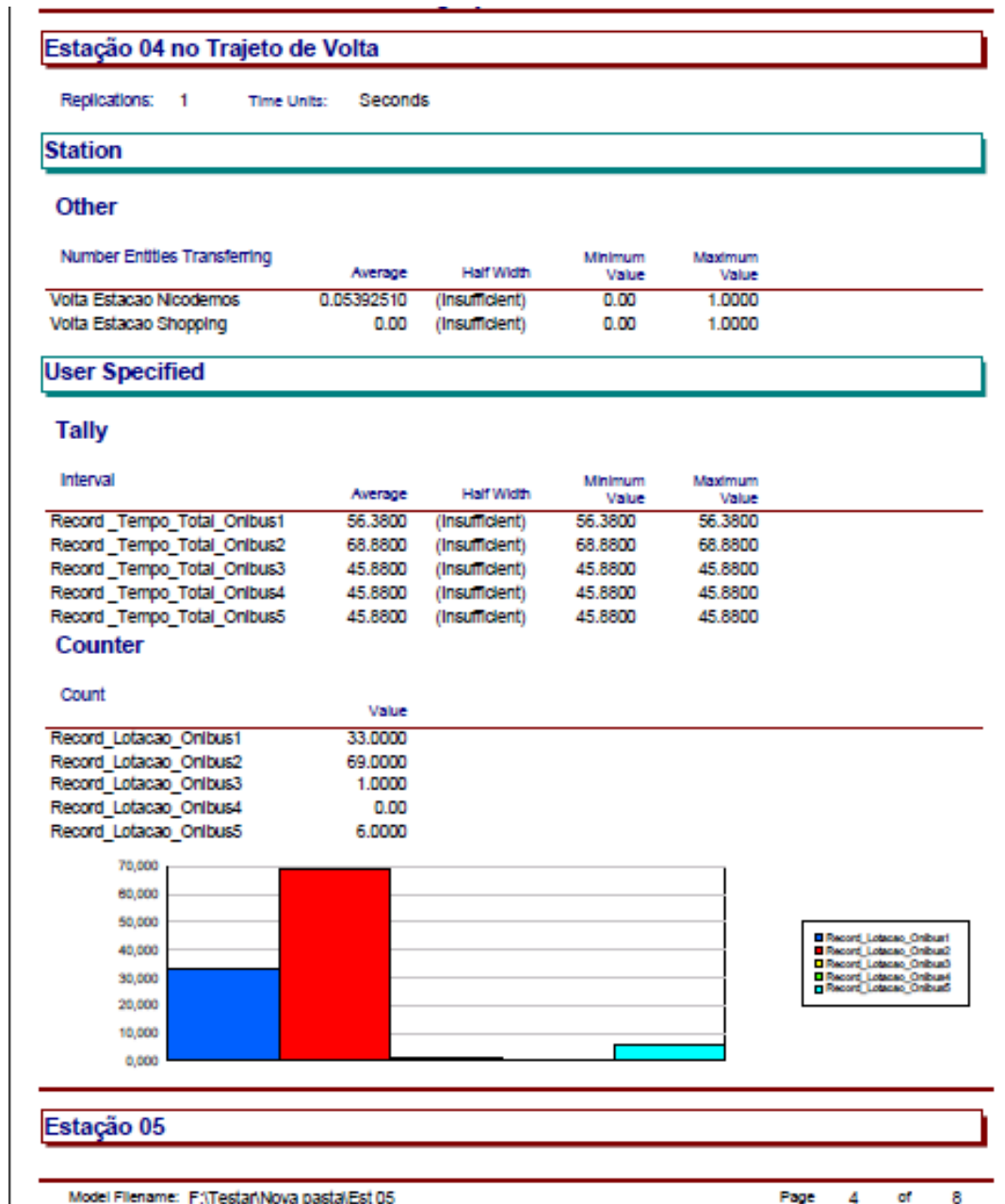
## 4.5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A discussão dos dados obtidos nas simulações inicia com a ferramenta *Run Setup* do ARENA, em que se formula a simulação no campo *Replication Parameters* (Figura 24) no qual tem uma duração da simulação de 3605 segundos; com 24 horas por dia; e a base da simulação e conjunto dos relatórios são em segundos.



**Figura 24:** Ferramenta da Simulação.

Após a simulação concluída gera-se um conjunto de relatórios, e que necessariamente se tem os *Records* da Lotação e Tempo Total de cada ônibus, conforme pode ser verificado na Figura 25 no campo *Tally*.



**Figura 25:** Página do Relatório.

De acordo com a Tabela 15 que descreve resumidamente os valores do Tempo Total e Lotação de cada veículo na estação 04, no trajeto bairro-centro e durante a primeira volta. Juntamente com a figura 30 verifica-se que o ARENA interpreta através do fluxograma precisamente as movimentações dos veículos e fornece os resultados exatos.

**Tabela 15:** Valores do Tempo Total e Lotação da Estação 04

<b>Estação 04</b>	<b>Tempo Total (s)</b>	<b>Lotação</b>
<b>1 Ônibus</b>	56,38	33
<b>2 Ônibus</b>	68,88	69
<b>3 Ônibus</b>	45,88	1
<b>4 Ônibus</b>	45,88	0
<b>5 Ônibus</b>	45,88	6

No corredor da Av João Naves de Ávila para as demandas de embarques e desembarques nos pontos de parada os programas Arena e TransCAD, a medida que a lotação no interior do ônibus atingia a capacidade do ônibus (80 passageiros), era acionado a entrada de outro ônibus para garantir o atendimento no corredor mantendo o nível de serviço adotado. Por isso, para a operação na hora de pico, os programas Arena e TransCAD indicaram a necessidade de 5 ônibus com capacidade de 80 passageiros. A Figura 30 (resultados do Arena) e Tabela15 (resultados do TransCAD) mostram que os valores de tempo total de deslocamento e lotação média de cada ônibus durante o horário de pico são similares.

No ARENA pode-se comparar e comprovar a identidade existente entre a simulação modelada nele e a simulação desenvolvida no Excel conforme figuras 23 a 27. Foi feito um processo de programação envolvendo somente a Estação 4 como modelo, onde identifica-se também claramente através do relatório demonstrado na figura 30 a necessidade de 5 ônibus para atender essa situação.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES

No final de todo esse desenvolvimento tem-se o resultado de que os dois *softwares* agindo em comum tornam-se uma ferramenta sólida para descrição e simulação de qualquer processo envolvendo a área de transportes.

O TransCAD é mais solicitado e preciso para definição de rotas, mostrando a rota mínima, os custos mínimos para atender uma demanda necessária, seja de entrega ou coleta, o que nesse estudo de caso, envolvendo um corredor de ônibus, teve-se tanto entrega quanto coleta, e, os próprios passageiros usuários do ônibus são os objetos ou produtos, além de serem os próprios clientes. Sendo assim o TransCAD foi utilizado para avaliar a quantidade de veículos necessária para atender o trecho do corredor de ônibus da Av João Naves de Ávila em Uberlândia/MG, já que a rota é fixa entre os dois terminais nesse corredor. Foi identificado então a necessidade de 5 ônibus para atender o corredor no horário de pico.



O ARENA pode simular qualquer processo, no caso da logística e de transportes, dessa forma, pode ser uma ferramenta muito útil para redução de custos, atendimento de determinado nível de serviço ou otimização de uma rede de transportes por exemplo. Permite uma avaliação precisa da situação e uma verificação da situação ideal para o objeto de estudo. E, no estudo em questão foi utilizado para simular um corredor de ônibus, e, tomou-se como base a estação 4, onde comprovou-se através do relatório final que também é necessário a quantidade de 5 ônibus para atender o corredor estudado no horário de pico.

Pode-se concluir que o uso dos *softwares* ARENA e TransCAD em conjunto permitiu uma análise mais precisa e confiável dentro da filosofia do *city logistics*, onde verifica-se o comportamento do corredor de ônibus dentro do horário de pico para atendimento do nível de serviço desejado dos passageiros, como também para otimizar esse corredor do ponto de vista da logística urbana.

Fica também evidenciado que a filosofia do caixeiro viajante se adequa a este estudo do corredor, do ponto de vista da redução do tempo no atendimento de todas as estações no horário de pico com demanda elevada de passageiros, interagindo assim com a logística urbana.

Então ficou evidenciado nas duas simulações que há uma necessidade de durante o horário de pico no Corredor de ônibus da Av. João Naves de Ávila em Uberlândia/MG serem disponibilizados 5 ônibus para o atendimento completo do sistema, reduzindo o tempo de espera dos passageiros nas estações e reduzindo o tempo total do percurso por ônibus entre os terminais Santa Luzia e central.

O sistema real apresenta um atendimento com tempos específicos entre os ônibus sem considerar a lotação, ou seja, o carregamento de cada ônibus. Assim, não atende completamente o corredor, deixando passageiros esperando mais tempo nas estações, ou superlotando ônibus no trajeto não atendendo a qualidade necessária pelo passageiro.

Sendo assim, pode-se concluir que a utilização dos *softwares* ARENA e TransCAD para modelar e simular um corredor de ônibus com base na logística urbana obteve-se sucesso, pois o corredor foi devidamente caracterizado, seus dados coletados e conferidos e o comportamento logístico desse corredor analisado, modelado e simulado em sua melhor situação, mostrando dessa forma que o uso dos *softwares* de simulação são de suma

---

importância para qualquer modelagem e simulação envolvendo logística e transportes, além do que a logística está aplicada a qualquer situação que envolva depósitos, paradas, entregas, coletas, rotas e frotas determinadas.

---

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES PÚBLICOS (ANTP). *Transporte Humano: cidades com qualidade*. São Paulo: ANTP, 1997.

BALLOU, R. H. *Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial*. Porto Alegre, 2006.

BANKS, J. & CARSEN, J. S., (1984). *Discret Event System Simulation*, Prentice-Hall.

BRASIL. *Estatuto da Cidade – Lei nº 10.257*, de 10 de julho de 2001.

BRASIL. Ministério das Cidades – “*Curso – Gestão Integrada da Mobilidade Urbana*”. Brasília: Ministério das Cidades, 2006.

BRASIL. Ministério das Cidades – “*PlanMob: construindo a cidade sustentável*” – Caderno de Referências para Elaboração de Plano de Mobilidade Urbana. Brasília: Ministério das Cidades, 2007.

BANKS, J., CARSON II, J. S., 1984, *Discrete-Event System Simulation*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall.

BORGES, Cláudia. *Ministério das Cidades debate projeto de lei em todo o País*. In: JORNAL DO COMÉRCIO JC Logística Edição de 20 abr. 2006. Porto Alegre. Disponível em: <<http://www.jc.plugin.com.br/noticias.aspx?pCodigoArea=47>>. Acesso em: 21 abril de 2011.

CALIPER. *Routing and Logistics with TransCAD*. Caliper Corporation, USA: Newton, 2006.

CARRARA, C. M. *Uma aplicação do SIG para a localização e a alocação de terminais logísticos em áreas urbanas congestionadas*. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CHWIF, L., MEDINA, A. C., 2006, *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações*, São Paulo, Editora Bravarte.

DENATRAN - *Manual de Procedimentos para o Tratamento de Pólos Geradores de Tráfego*. Departamento Nacional de Trânsito, Ministério da Justiça, Brasília, DF, 2001.

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito. *Registro Nacional de Acidentes e Estatísticas de Trânsito - Relatório Anual - 2006*. Retirado de: <http://201.24.24.73:8080/renaest/detalheNoticia.do?noticia.codigo=245>. Acesso em: 18 jul. 2009.

DUTRA, N. G. S. *O Enfoque de “City Logistics” na Distribuição Urbana de Encomendas*. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

FERRAZ, A. C. P, TORRES, I. G. E. *Transporte público urbano*. São Carlos, 2004.

FREITAS FILHO, P. J. *Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em ARENA*, 1 ed, São Paulo, Visual Books, 2001.

GAVIRA, M. O. *Simulação Computacional como uma ferramenta de Aquisição de Conhecimento*, Tese de M.Sc, PUC-Rio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2003.

GRAGNANI, S.; VALENTI, G; VALENTINI, M. P.; *City Logistics in Italy: a National Project*. In: The 3rd International Conference on City Logistics, Portugal, 2003.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE / Cidades. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat>>. Acesso em: 01 nov. 2009.

KELTON, W. D., SADOWSKI, R. P., SADOWSKI, D. A.. *Simulation with ARENA*. 3ª Edição. McGraw-Hill : Science/Engineering/Math, 2003. ISBN-10: 0072919817.

KELTON, W. D., SADOWSKI, R. P., SADOWSKI, D. A., 2004, *Simulation with ARENA*. 3 Ed, New York, McGraw-Hill Companies Inc. MRS Logística, Disponível em <<http://www.mrs.com.br>>, Acesso em: 5 de junho de 2011.

- 
- LIMA JUNIOR, O. F. *A carga na cidade: hoje a amanhã*. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~lalt/>. Acesso em: 01 jun. 2010.
- MELO, A. C. S. (2000) *Avaliação do Uso de Sistemas de Roteirização de Veículos*. Dissertação de M. Sc, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, R. J., Brasil.
- NOGUEIRA, C. E. C. e NÓBREGA, E. W. Tarifa Diferenciada. In: *Congresso Nacional de Transportes Públicos*, 9. Florianópolis, abril de 1993. ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos, São Paulo-SP, 1993. p.106-110.
- NOVAES, A. G. N. (1995) *Análise de Mercado de Serviços de Transportes com Dados de Preferência Declarada*. IX ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Anais, São Carlos, SP, 20-25 de novembro de 1995, p. 573-584.
- NOVAES, G. *Pesquisa Operacional e Transportes: Modelos Probabilísticos*. São Paulo: Ed. McGraw – Hill. 1975. PARAGON. < <http://www.paragon.com.br>>. Acesso em: 01 ago. 2010.
- O'MALLEY B.; eC. S. SELINGER (1973) *Staggered Work Hours in Manhattan*. Traffic Engineering and Control, jan-1973, p. 418-423.
- OLIVEIRA, C. C. de. Tarifa Única: *Solução Ideal, Panacéia ou Apenas uma Opção?* Revista de Transporte e Tecnologia, Campina Grande, v.5, n.10, p.49-61, jan. 1993.
- ORAM, R. L., MITCHELL, E. C., BECKER, A. J. *Management Framework for Transit Pricing*. Transportation Research Record, n. 1521, p.77-83, 1996.
- ORTÚZAR, J. de D. (ed.) (1999). *Stated Preference Modelling Techniques*. PTRC Education and Research Services Limited, UK.
- ORTÚZAR, J. De D.; e WILLUMSEN, L. G. (1994) *Modelling Transport*. 2. ed., John Willey, New York.
- PIERCE, J. L. e DUNHAM, R. B. (1992) The 12-Hour Work Day: a 48-Hour, Eight-Day Week. *Academy of Management Journal*, v. 35, n. 5, p. 1086-1098.
- PLOEGER, J., BAANDERS, A. *Land Use and transport Planning in the Netherlands*. In: European Transport Forum, 23, 1995, Warwick, England. Proceedings of Seminar C: Transport Policy and its Implementation. London, U.K., PTRC Education and Research Services, 1995, p.45-57.
- PRADO, D. S.. *Usando o ARENA em Simulação*. 2ª edição. INDG: Série Pesquisa Operacional, 2002. ISBN 85-98254-04-5.
- RENSSELAER (2002) *Polytechnic Institute and Institute for City logistics* (Kyoto University), Short course on city logistics.

RICCIARDI, N. CRAINIC, T. G. STORCHI, G. *Models for Evaluating and Planning City Logistics Systems*. Transportation Science; Vol. 43, No. 4, November 2009, pp. 432-454. Disponível em: <http://transci.journal.informs.org/cgi/content/abstract/43/4/432>. Acesso em: 20 out. 2010.

RICHARDSON, A. J., AMPT, E. S., GLEAVE, S. D., et al. *Survey Methods for Transport Planning*. London, U. K.: Eucalyptus Press Paperback, 1998, 233p.

ROBINSON, R. *Integrated and intermodal freight systems: a conceptual framework*, artigo apresentado no International Association of Maritime Economists (IAME) Conference, novembro 2002, República do Panamá. Disponível em: <[http://www.eclac.cl/transporte/perfil/iamc\\_papers/proceedings/Robinson.doc](http://www.eclac.cl/transporte/perfil/iamc_papers/proceedings/Robinson.doc)>. Acesso em: 10 maio de 2011.

SANCHES JUNIOR, P. F. *Logística de Carga Urbana: uma análise da realidade brasileira*. Unicamp – Tese de Doutorado, 2008.

SHAFFELER, U.; WICHSER, J. *Transporte Urbano de Mercadorias*. Instituto de Tecnologia Federal Suíço, Suíça, 2001.

SILVA, A.N.R. (2004). *Os Aglomerados Urbanos*. Curso de Pós Graduação. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. Notas de aula.

SOUZA, H.H.H. *Avaliação do Desempenho de Sistemas de Transporte Público Urbano sob a Ótica da Eficiência*. Dissertação de Mestrado, IME, Rio de Janeiro, Brasil, 2001.

VIEIRA, A. B. *Roteirização de Ônibus Urbano: Escolha de um Método para as Grandes Cidades Brasileiras*. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1999.

TANIGUCHI, E. THOMPSON, R.G. YAMADA, T. *City Logistics ----Network Modelling and Intelligent Transport Systems*. Pergamon, Oxford. Elsevier, 2001.

TANIGUCHI, E., THOMPSON, R., YAMADA, T. *Predicting the effects of city logistics schemes*. Transport Reviews, vol. 23 nº 04. Reino Unido: Taylor & Francis Ltda, 2003(a).

TANIGUCHI, E.; THOMPSON, R.G.; YAMADA, T. *City Logistics*. In: *Congresso de City Logistics*. Portugal: Madeira, 2003(b).

TANIGUCHI, E.; THOMPSON, R.G.; YAMADA, T. (2003) *Visions for City Logistics*. In: The 3rd International Conference on City Logistics. Madeira, Portugal. 25-27 jun 2003 (c).

VASCONCELLOS, E. A. *Circular é preciso, viver não é preciso*. São Paulo: Annablume/FAPESP, 1999.

---

VASCONCELLOS, E. A. *Transporte urbano, espaço e equidade: análise das políticas públicas*. São Paulo, 2001.

VASCONCELLOS, E. A. de. *Transporte e Meio Ambiente. Conceitos e Informações para Análise de Impactos*. São Paulo: Ed. do Autor, 2006.

VIEIRA, A. B. *Roteirização de Ônibus Urbano: Escolha de um Método para as Grandes Cidades Brasileiras*. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1999.

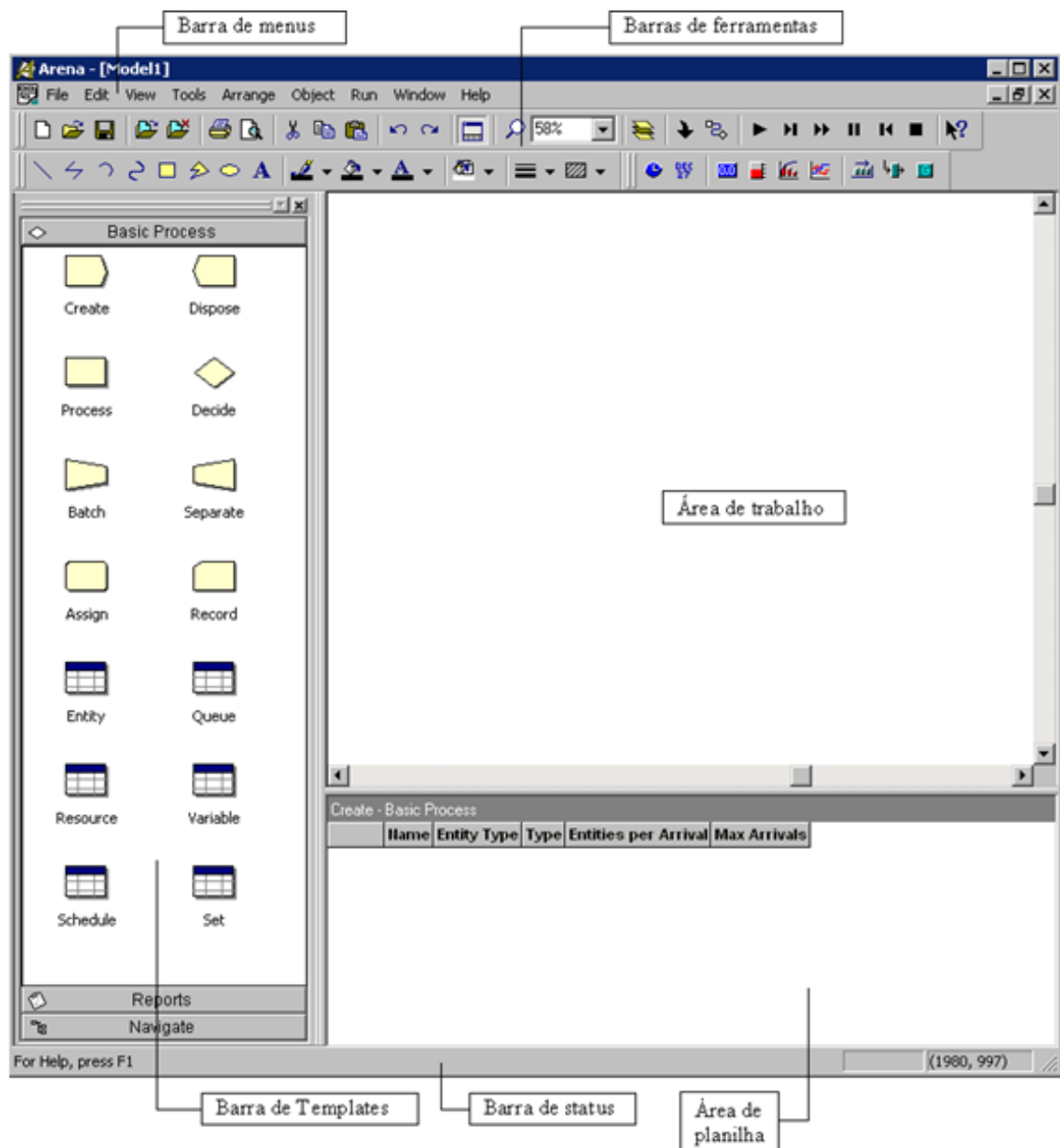
ZUNDER, T. *Active partnerships; the key to sustainable urban freight transport. ManagEnergy Annual Conference: Sustainable Transport Good practice at local and regional level*. European Commission, Directorate-General for Energy & Transport, 186 Brussels, 2002. Disponível em: <<http://www.managenergy.net/conference/transport0602.html>> Acesso em: 01 ago. 2010.

# **A**NEXO A

## **Apresentação do software ARENA**



Ao abrir um arquivo ou modelo, ou quando um arquivo novo é criado, o ARENA apresenta o ambiente de trabalho conforme a Figura 26.



**Figura 26:** Ambiente de Trabalho do ARENA

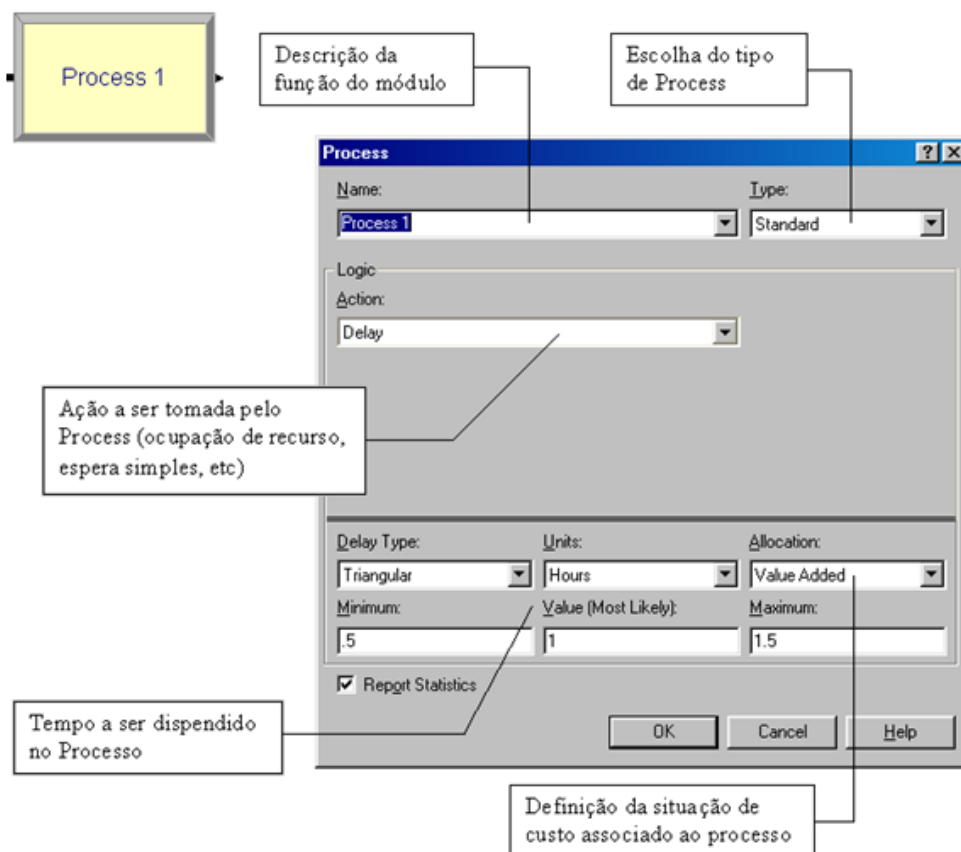
As barras do ARENA estão nos seguintes formatos:

- *Standard* (Padrão) - É a barra que contém os comandos gerenciais de arquivos, impressão e edição. Também possui as opções de navegar dentro da área de trabalho e outros comandos para controlar a simulação.

- 
- *View* (Visualizar), – A barra View possui funções que são úteis para navegar pela área de trabalho do *software*.
  - *Project Bar* (Barra de Projeto – *Templates*), – A *Project Bar* contém elementos que são usados para construir o modelo dentro da área de trabalho do ARENA. Estes elementos são organizados em um conjunto de elementos, denominados módulos ou *templates*. Ao associar um *template* ao modelo, este aparece na *Project bar* como mais uma subjanela. Esta barra ainda possui outras subjanelas: a que apresenta os relatórios disponíveis para o modelo ou *Reports*, e a que apresenta as opções de navegação do modelo.

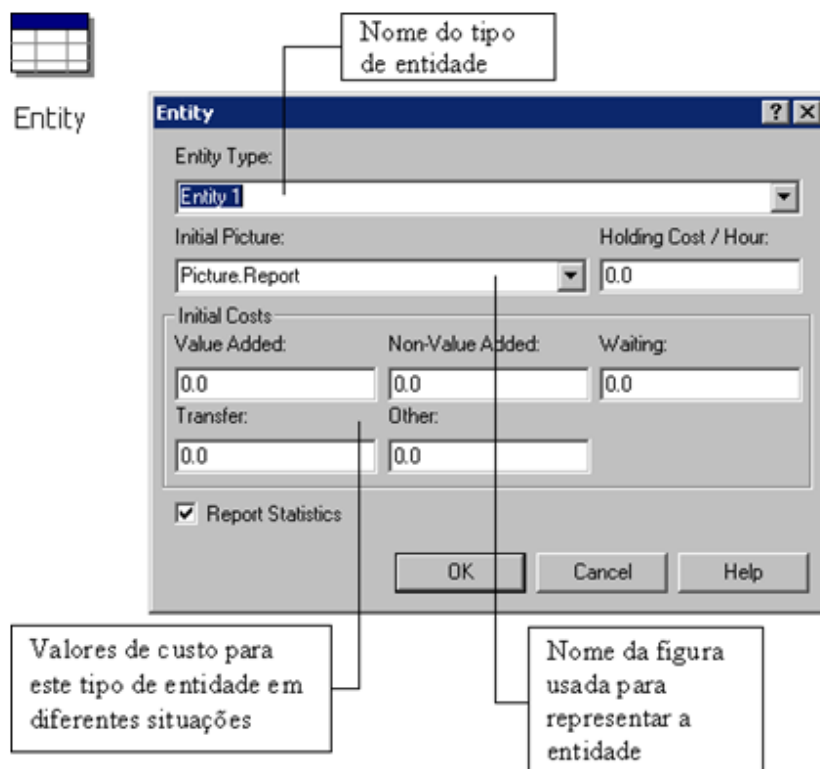
Para a elaboração ou montagem do modelo no ARENA, tem-se os seguintes módulos básicos:

- *Create* (Início do Processo)- Este representa o início de um processo ou fluxo dentro do fluxograma.
- *Process* (Processo de Atendimento) - Este representa uma operação ou um ciclo de processo. Seus dados podem ser fornecidos na Área de Planilha. Na figura 27 é apresentado o Módulo *Process* do ARENA.

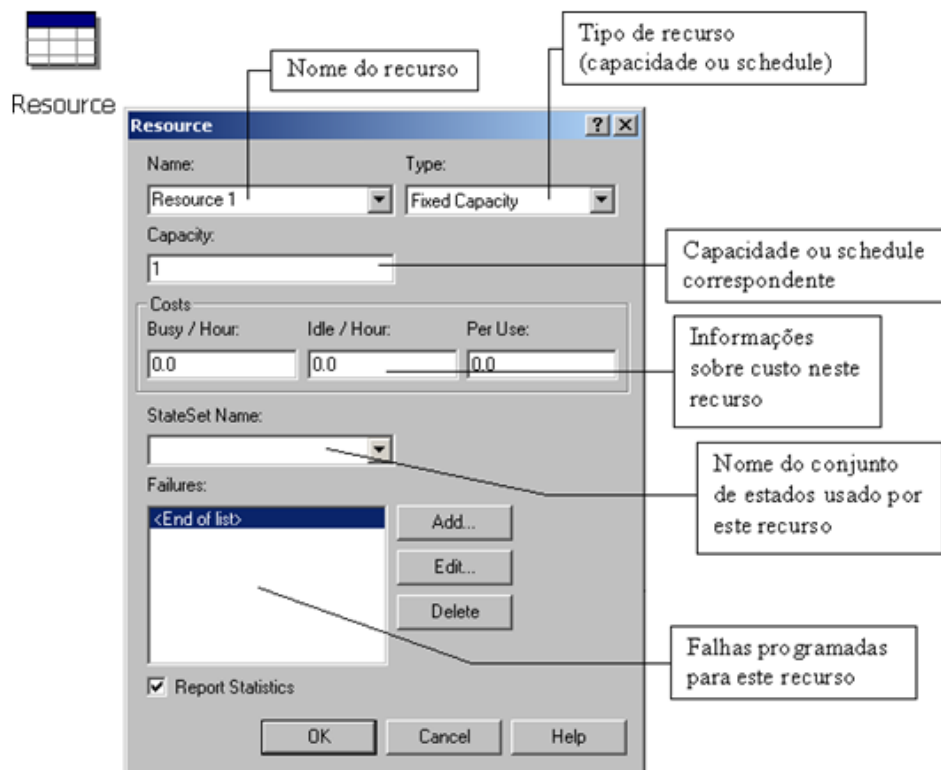


**Figura 27:** Módulo *Process* (Processo de Atendimento) do ARENA

- *Dispose* (Término do Processo)- Este representa o término de um ciclo ou processo, podendo sempre ser colocado no final do fluxograma.
- *Decide* (Processo de Decisão) - Este elemento incorpora ou não um desvio através de uma decisão na sequência do fluxograma. Caso uma determinada condicionante esteja satisfeita, o processo é desviado para outra parte em seu fluxo, caso contrário, continua em seu sequenciamento.
- *Entity* (Módulo das Entidades - Esse módulo de dados visualizado na figura 28 junta definições e parâmetros que referenciam a todas as entidades usadas).
- *Resource* (Módulo dos Recursos) – Esse módulo de dados visualizado na figura 10 faz uma relação com todos os recursos do modelo. Entende-se por recurso sendo uma estrutura a ser utilizada pela entidade que esta irá gastar certa quantidade de tempo neste processo. Um recurso, então, pode ser um caixa de banco atendendo a clientes, uma estação de ônibus onde movimentam-se passageiros ou uma máquina onde determinada peça sofre um processo.



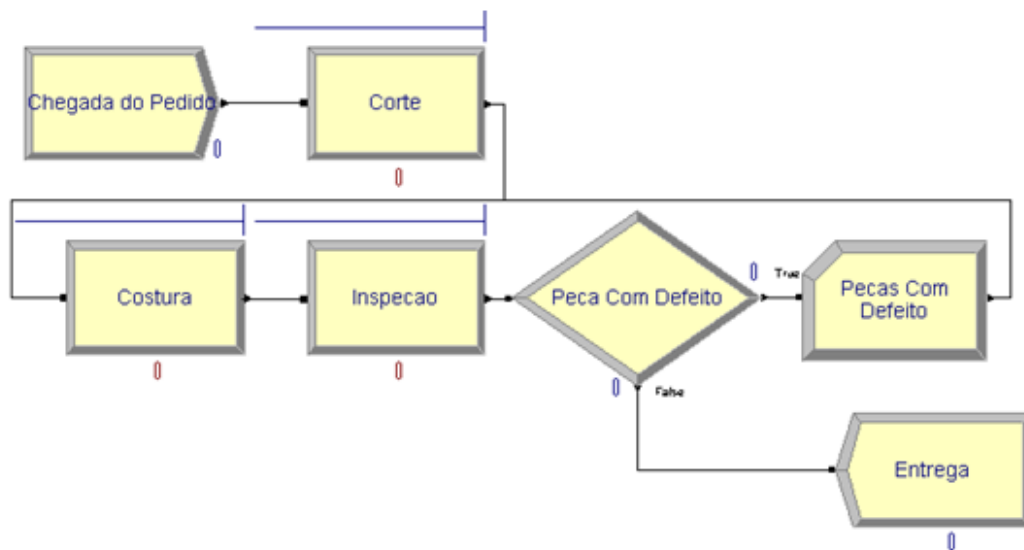
**Figura 28:** Módulo *Entity* (Entidades) do ARENA



**Figura 29:** Módulo *Resource* (Recursos) do ARENA

- 
- *Batch* (Módulo de Agrupamento) - Este módulo é utilizado para construir determinados agrupamentos com entidades. Assim que é colocado no processo, acumula essas entidades em fila até que chegue na quantidade pré-determinada. Assim que isso ocorre, essas entidades são retiradas da fila e são agrupadas em uma única entidade ou lote, o qual segue em frente no processo. Esse lote pode ser temporário ou permanente. Caso seja permanente, essas entidades que o compõem serão retiradas, apenas a entidade configurada como lote continuará. Caso seja temporário, esse lote pode ser eliminado em outro momento através do módulo denominado *Separate*.
  - *Separate* - Este módulo é totalmente inverso à função do módulo *Batch*. Ele serve para eliminar os lotes temporários formados pelo *Batch*, mas também pode criar outros lotes duplicados. Essas duplicatas, como o próprio nome diz, mantêm as mesmas características dos originais.
  - *Record* (Módulo de Coleta) – Esse módulo é utilizado para coletar dados estatísticos em determinados pontos selecionados do modelo. Dentre as informações estão, por exemplo, a contagem das entidades, a possível frequência e os determinados intervalos de tempo.
  - *Assign* (Módulo de Atributos) – Esse módulo altera ou associa determinados valores às variáveis, como também pode alterar os atributos de entidades ou, por exemplo, a Figura das entidades.

A seguir, a Figura 30 mostra um fluxo completo com a utilização dos módulos básicos em sua área de trabalho.



**Figura 30:** Exemplo de Fluxograma de um Processo no ARENA

Inicialmente a ordem de fabricação será enviada à estação de corte onde, uma vez processada, deixa essa estação não mais na forma de uma ordem, mas de um produto semi-acabado. Depois da estação de corte, o produto semi-acabado e cortado é direcionado à estação de costura, a qual será transformada em uma nova variável de semi-acabado, agora cortado e costurado, e, será direcionado então à estação de inspeção, aí será feita uma condicionante de decisão, onde será avaliado se a peça está com defeito após passar pelo corte e costura. Caso a peça esteja com defeito ela alimentará a estação de peças com defeito e retornará para o corte e/ou costura, caso contrário será encaminhada para a entrega final. Todos os resultados das estações são gravados após a passagem pela estação e o processo é contínuo à medida que os pedidos chegam.