

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES - UCAM
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Anna Christine Azevedo Cordeiro Marques

SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS PARA ANÁLISE DE
EMISSÕES DE GASES EM SISTEMAS LOGÍSTICOS

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ
Dezembro de 2013

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES - UCAM
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Anna Christine Azevedo Cordeiro Marques

SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS PARA ANÁLISE DE
EMISSÕES DE GASES EM SISTEMAS LOGÍSTICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Candido Mendes – Campos / RJ, para obtenção do grau de MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Orientador: Prof. João José de Assis Rangel, DSC

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ
Dezembro de 2013

ANNA CHRISTINE AZEVEDO CORDEIRO MARQUES

SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS PARA ANÁLISE DE
EMISSIONES DE GASES EM SISTEMAS LOGÍSTICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Candido Mendes – Campos / RJ, para obtenção do grau de MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Aprovada em 20 de dezembro de 2013.

BANCA EXAMINADORA

Prof. João José de Assis Rangel - Orientador
Universidade Candido Mendes

Prof^a. Denise Cristina de Oliveira Nascimento
Universidade Candido Mendes

Prof. André Luiz Policani Freitas
Universidade Estadual do Norte Fluminense

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ
2013

Dedico este trabalho a Deus que sempre esteve ao meu lado. Aos meus pais Joaquim Elias Martins Cordeiro e Rose Mary de Sousa Azevedo Cordeiro e ao meu marido Marcos de Oliveira Marques, que sempre me apoiaram, ajudaram e incentivaram para o meu crescimento. Ao meu professor, orientador e amigo João José de Assis Rangel que sempre se dedicou nos ensinamentos e me ajudou neste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a FAPERJ, por tornar possível a conclusão do curso através da bolsa concedida. Agradeço a Universidade Candido Mendes, por fornecer conhecimento e confiança nos estudos oferecidos. Assim como todos os funcionários e todo corpo docente da universidade que oferecem um ótimo ambiente de trabalho.

Agradeço a minha avó Evane de Sousa Azevedo, que também é responsável por mais esse passo. Não posso deixar de agradecer aos meus irmãos Mary Anne, Anne Elise e Elias Júnior.

Agradeço a todos os familiares que também contribuíram de alguma forma para que eu pudesse alcançar meus objetivos. Não posso deixar de agradecer, ao professor Eduardo Shimoda e, também, ao Túlio pela disposição e auxílio nas horas em que precisei.

“Porque melhor é a sabedoria do que os rubis; e tudo o que mais se deseja não se pode comparar com ela.” Provérbios 8:11

RESUMO

SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS PARA ANÁLISE DE EMISSÕES DE GASES EM SISTEMAS LOGÍSTICOS

Devido ao expressivo aumento na emissão de gases na atmosfera, muitas alterações climáticas são percebidas em nível global, regional e local. Com o desenvolvimento mundial e a crescente satisfação das necessidades do homem, foi notório o aumento considerável no consumo de energia. No Brasil, de um modo mais agravante, o modal rodoviário tem sido o mais utilizado, impactando diretamente nas emissões de gases poluentes. Vários métodos de análises são utilizados para captar o quantitativo de gases emitidos. O objetivo do presente trabalho é utilizar o método de simulação a eventos discretos através do *software* Ururau, que possui código aberto e livre de custos, e por meio deste contabilizar o total de gases emitidos em um sistema logístico hipotético. Assim, possibilita a comparação de variáveis de desempenho logístico em relação aos gases emitidos. Após análises estatísticas de 4 cenários, constatou-se que nem sempre o sistema logístico que emite menos gases poluentes será o que possui menor *lead time*. Com isso, observa-se que, quando analisados *trade-offs* de variáveis econômicas e ambientais, há necessidade de avaliar qual será o cenário que terá o melhor “custo benefício sustentável”, ou seja, de avaliar o cenário que atenderá aos limites de tempo dentro da programação da empresa e que também esteja dentro dos limites sustentáveis de emissão de gases poluentes. O presente estudo poderá auxiliar as pequenas e médias empresas que utilizam o transporte de cargas rodoviário, tanto o próprio quanto o terceirizado, a contabilizarem suas emissões de gases geradas em seu sistema logístico. Assim, viabiliza a identificação dos aspectos logísticos que possuem maior influência em suas emissões de gases, sem a necessidade de grandes investimentos.

PALAVRAS-CHAVE: Simulação a Eventos Discretos, Sistemas Logísticos, Emissão de Gases, Transportes.

ABSTRACT

DISCRETE EVENT SIMULATION FOR ANALYSIS OF EMISSIONS OF GREENHOUSE GASES FOR LOGISTICS SYSTEMS

Many climate changes are noticed at global, regional and local levels, due to the significant increase in the emission of greenhouse gases in the atmosphere. With the developing world and the growing satisfaction of human needs, it was notorious the substantial increase in energy consumption. In Brazil, in a more aggravating manner, road transportation has been the most used, therefore, directly impacting on emissions of greenhouse gases. Several methods of analysis are used to capture the amount of gases emitted. The aim of this work is to use the method of discrete event simulation, using free and open source software Ururau, and by means of this, account for the total of gases emitted in a hypothetical logistics system. Thus, it enables the comparison of logistics performance variables in relation to gases emitted. After statistical analysis of 4 scenarios, it was observed that not always the logistics system that emits less greenhouse gases will be the one with the lowest lead time. With this, it is observed that, when analyzed trade-offs of economic and environmental variables, there is a need to assess what will be the scenario that has the best "sustainable cost benefit", that is, to evaluate the scenario that will meet the time limits on schedule of the company and that is also within the sustainable limits of greenhouse gas emissions. This study can help small and medium enterprises that use the road freight transports, both their own and the outsourced, to account for their greenhouse gas emissions generated in their logistics system. Thus, it enables the identification of the logistics aspects, which have the greatest influence on their greenhouse gas emissions, with no need for large investments.

KEYWORDS: Discrete Event Simulation, Logistics Systems, Emission of Greenhouse Gases, Transport

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA.....	11
1.2	OBJETIVO GERAL.....	17
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.4	JUSTIFICATIVA E CONSIDERAÇÕES.....	18
1.5	DELIMITAÇÕES DO TRABALHO	18
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1.1	Simulação Computacional.....	20
2.1.1.1	Simulação Contínua	21
2.1.1.2	Simulação a Eventos Discretos	22
2.1.2	Softwares de Simulação	24
2.1.2.1	Arena	25
2.1.2.2	Ururau	26
2.1.2.3	ProModel	28
2.1.3	Inventário de Emissões.....	28
2.1.4	Cadeia de Suprimentos e Sistemas Logísticos	32
2.2	BIBLIOMETRIA	36
2.3	ESTADO DA ARTE	39
2.4	CONCLUSÃO DA REVISÃO DA LITERATURA.....	42
3	MATERIAIS E MÉTODOS	44

3.1	SISTEMAS LOGÍSTICOS PARA EXPERIMENTAÇÃO	44
3.1.1	Modelo Esquemático 1	46
3.1.2	Modelo Esquemático 2.....	47
3.1.3	Modelo Esquemáticos 3 e 4.....	48
3.2	CÁLCULO DAS EMISSÕES GASOSAS	50
3.3	METODOLOGIA PARA SIMULAÇÃO PROPOSTA	55
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4.1	MODELOS DE SIMULAÇÃO.....	60
4.1.1	Modelo de Simulação - Cenário 1	61
4.1.2	Modelo de Simulação - Cenário 2	63
4.1.3	Modelo de Simulação - Cenário 3	64
4.1.4	Modelo de Simulação - Cenário 4	65
4.2	DESCRIÇÃO DAS SITUAÇÕES LOGÍSTICAS.....	66
4.3	PARAMETROS DE EXECUÇÃO DA EXPERIMENTOS SIMULADOS...	68
4.4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	68
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
5.1	CONCLUSÕES	75
5.2	LIMITAÇÕES DO TRABALHO	76
5.3	TRABALHOS FUTUROS.....	77
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
	APÊNDICE A: DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO MODELO CONCEITUAL DO CENÁRIO 1	82
	APÊNDICE B: DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO MODELO CONCEITUAL DO CENÁRIO 2	83
	APÊNDICE C: PUBLICAÇÃO ORIGINADA.....	84

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

Devido ao expressivo aumento na emissão de gases na atmosfera, muitas alterações climáticas são percebidas em nível global, regional e local. Segundo Teixeira et al (2008) “em regiões congestionadas, o tráfego de veículos responde por cerca de 90% das emissões de CO, 80 a 90% das emissões de NOx, hidrocarbonetos e uma boa parcela de particulados.”

Conforme a Figura 1 pode-se observar que, os principais combustíveis da matriz energética mundial são o petróleo, carvão mineral e gás natural (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2011). Estes combustíveis são de origem fóssil e, conseqüentemente, emissores de CO₂ e outros gases poluentes após a combustão. Veículos pesados (ônibus e caminhões) são responsáveis pela maior fração das emissões de óxidos de nitrogênio e de enxofre, enquanto que os veículos leves (automotores de passeio e de uso misto), movidos a gasolina e a álcool, são os principais emissores de monóxido de carbono e hidrocarbonetos (TEIXEIRA et al, 2008).

Note na Figura 1, que o consumo de energia cresce ao longo do tempo. Assim, pode-se esperar para as próximas décadas, um aumento crescente na emissão de gases poluentes na atmosfera.

O desenvolvimento mundial e a crescente satisfação das necessidades do homem geraram um aumento considerável no consumo de energia. Conforme demonstrado no gráfico da Figura 2, para a sobrevivência do homem primitivo, era apenas consumida alimentação (GOLDEMBERG E LUCON, 2011). Já o homem

tecnológico precisa de alimentação, moradia, indústria/agricultura e transporte em grandes proporções. Segundo Goldemberg e Lucon (2011) há necessidades que precisam ser supridas para a sobrevivência além da alimentação. Quando o nível de satisfação cresce, aumenta a intensidade e as necessidades se tornam mais abrangentes, o que caracteriza a “sobrevivência produtiva”. O consumo de energia através da Indústria/Agricultura e do Transporte geram emissões de gases, que tem impactado direto na poluição atmosférica.

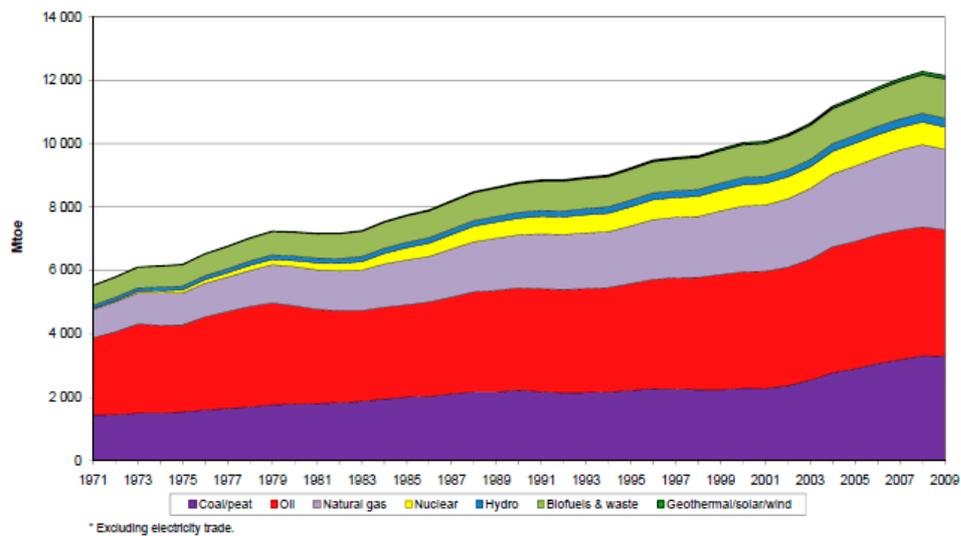


Figura 1 – Matriz Energética Mundial
Fonte: *International Energy Agency* (2011)

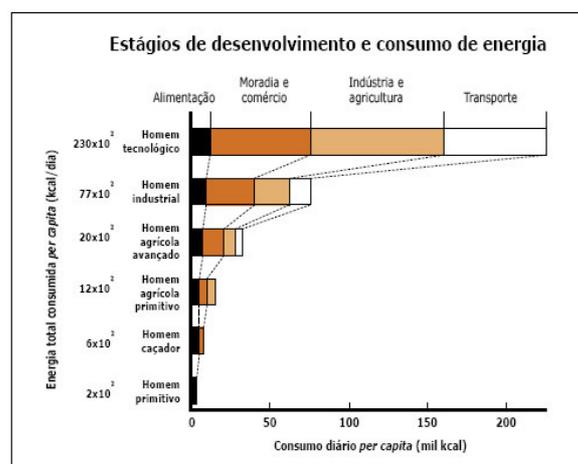


Figura 2 – Desenvolvimento Humano e Consumo de Energia
Fonte: Goldemberg e Lucon (2011)

Segundo dados da Agência Internacional de Energia (em inglês, IEA) (2011), dentre as muitas atividades humanas que produzem gases poluentes, a utilização de energia representa de longe a maior fonte de emissões, sendo 83% contra 6% de processos industriais, 8% da agricultura e 3% de desperdícios. Observado no gráfico da Figura 3 esta distribuição percentual.

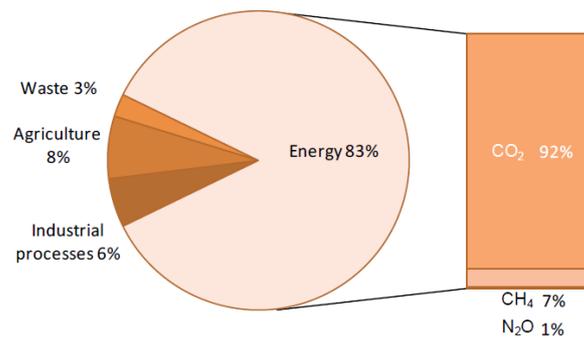


Figura 3 – Atividades Humanas que Produzem Gases de Efeito Estufa
Fonte: *International Energy Agency* (2011)

Devido à utilização em larga escala dos combustíveis fósseis, tornam-se frequentes as emissões de gases poluentes na atmosfera. De acordo com a *International Energy Agency* (2011), as emissões mundiais de CO₂ têm origem em 41% na geração de eletricidade e calor, 23% no transporte, 20% nas indústrias e 6% nas residências, conforme mostra a Figura 4.

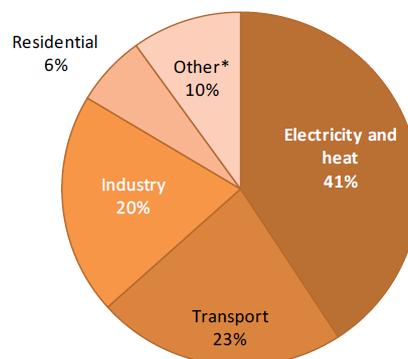


Figura 4 – Emissões Mundiais de CO₂ por setor em 2009
Fonte: *International Energy Agency* (2011)

No Brasil, a matriz energética é diferenciada devido à expressiva participação do potencial hidráulico na geração de energia elétrica e, também, da utilização de biocombustíveis e resíduos (principalmente biomassa), como demonstrado no gráfico da Figura 5. Desta forma, a matriz brasileira é considerada uma das mais limpas do mundo (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2011), pois, há pouca emissão de gases poluentes comparada a outras fontes de energia como o carvão mineral e petróleo.

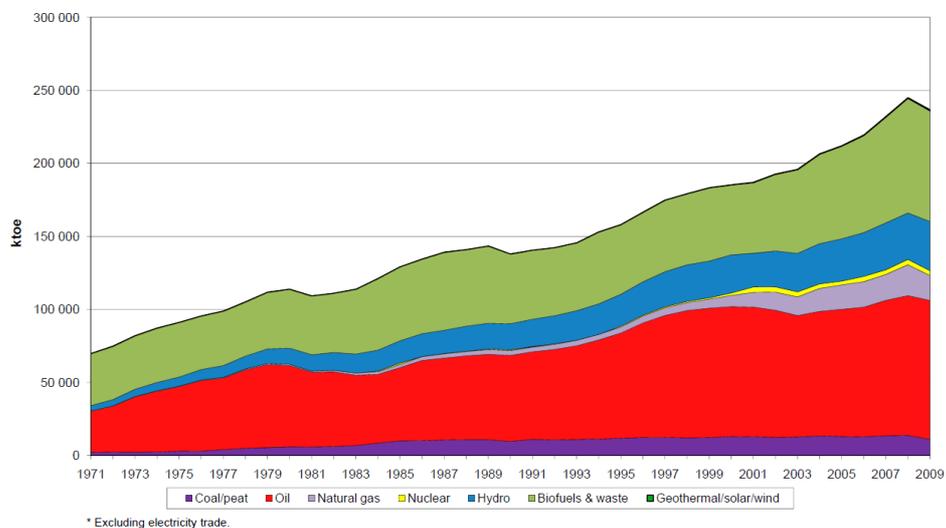


Figura 5 – Matriz energética no Brasil
 Fonte: *International Energy Agency* (2011)

No entanto, no Brasil, o principal transporte utilizado para passageiros e cargas é o rodoviário, onde, especificamente para cargas, grande parte das empresas utiliza em sua logística caminhões. Além disso, esta frota é antiga e com baixa manutenção, conseqüentemente, conduzindo assim, para uma parcela de 44% das emissões desses gases. Um resumo das emissões por setor em equivalente a CO₂ é mostrado na Figura 6, sobre a variação ao longo do período 1990 a 2009. Considerando, ainda, que no setor de transporte a participação dos combustíveis de origem fóssil é alta e deverá alterar pouco nas perspectivas de curto e médio prazo. (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2011).

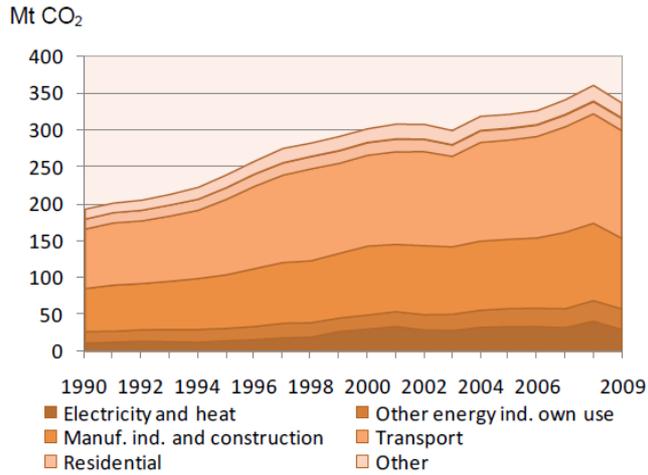


Figura 6 – Resumo das emissões por setor equivalente a CO₂ no Brasil.
 Fonte: International Energy Agency (2011)

A Figura 7 mostra a projeção da Matriz Energética Brasileira até 2030, em relação às emissões de CO₂ por setor das atividades produtivas do país.

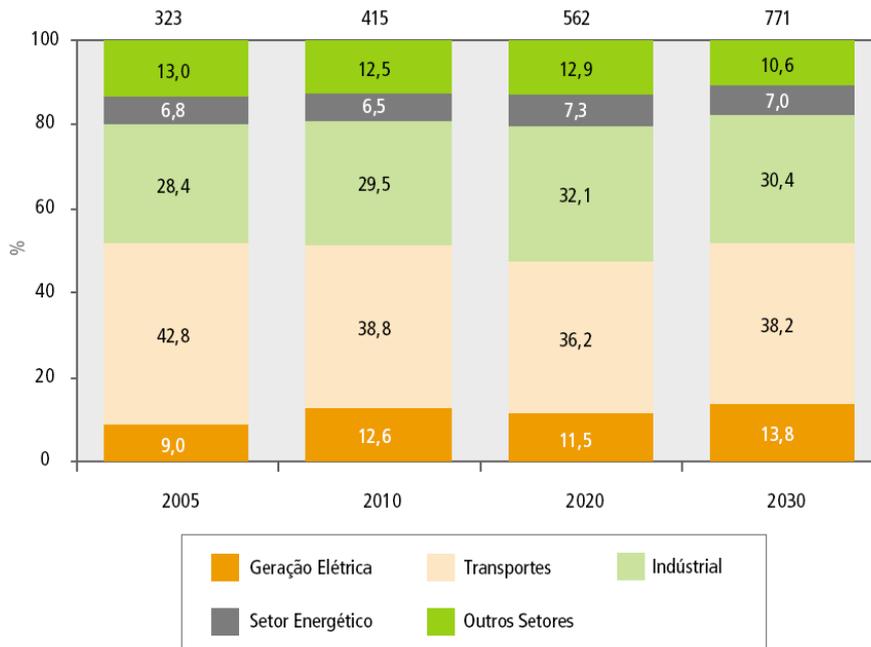


Figura 7: Matriz Energética Brasileira 2030
 Fonte: Brasil. Ministério de Minas e Energia (2008)

O Diesel, principal combustível utilizado nesta logística, é derivado do petróleo, constituído basicamente por hidrocarbonetos. Tem como principal poluente

após a combustão o Dióxido de carbono (CO_2), um dos causadores do efeito estufa, entre outros como Monóxido de carbono (CO), Composto Orgânicos Voláteis (COV) e óxido de Nitrogênio (NO_x) (GOLDEMBERG E LUCON, 2011).

Independente dos efeitos da emissão de CO_2 , em nível global, é indiscutível a poluição provocada em nível local e regional. Desta forma, encontrar mecanismos para contabilizar as emissões gasosas provocada pelo setor de transporte é sempre uma necessidade clara.

Nos últimos anos diversos trabalhos têm buscado identificar indicadores que permitam contabilizar as emissões gasosas de maneira que se saiba a quantidade de gases que são lançados na atmosfera. O Inventário de Emissões é uma ferramenta de planejamento energético-ambiental com este propósito. Com ele se pode conhecer a intensidade de emissões ao longo do tempo, podendo identificar a origem, setores emissores, dentre outros itens de interesse para atender as políticas para um planejamento energético mais sustentável (GOLDEMBERG E LUCON, 2011).

De forma mais específica, alguns trabalhos tem buscado formas de inserir o cálculo das emissões gasosas em análise de sistemas logísticos e cadeias de suprimentos. Dentre os métodos utilizados, a simulação computacional a eventos discretos se destaca por se tornar possível a criação de um ambiente “virtual” para a análise. Através da modelagem das propriedades e características do sistema real, o simulador permite então, usá-lo para testar teorias e cenários desejados e elaborar estimativas para o cálculo do Inventário de Emissões (CHWIF E MEDINA, 2007).

Para a análise de sistemas logísticos, um método apropriado é a simulação a eventos discretos, pois se trata de sistemas estocásticos, ou seja, aqueles que seguem uma distribuição probabilística. Desta forma, alguns trabalhos tem demonstrado a eficácia deste método na análise das variáveis logísticas (FREITAS FILHO, 2008)

A simulação a eventos discretos pode ser apropriada para o cálculo das emissões em sistemas logísticos na cadeia de suprimentos. (ZHOU, 2009; BYRNE, 2010; ZHOU, 2011; CARDOSO, 2011; SILVA, 2009). Porém atualmente os *softwares* comerciais utilizados possuem alto custo, dificultando a utilização por empresas de pequeno e médio porte.

A partir do problema identificado, o trabalho proposto pretende utilizar o *software* Ururau que possui código aberto e livre de custos. Assim, pode-se então auxiliar as empresas transportadoras de pequeno e médio porte que utilizam o transporte rodoviário a incorporarem na análise das operações os custos envolvidos com as emissões gasosas e também a cumprirem as normas ambientais vigentes.

1.2 OBJETIVO GERAL

Definir e testar os mecanismos de cálculo para análise de emissões gasosas associadas às medidas de desempenho de sistemas logísticos na cadeia de suprimentos com *software* de simulação a eventos discretos de código aberto e livre de custos.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir estruturas físicas típicas de sistemas logísticos na cadeia de suprimentos;
- Encontrar modelo matemático para calcular emissões de gases em veículos automotivos;
- Definir medidas de desempenho na cadeia de suprimentos para associar às medidas de emissões de gases;
- Construir modelos de simulação para as diferentes situações dos sistemas logísticos propostos com o *software* Ururau;
- Realizar experimentos com os modelos de simulação e analisar os resultados.

1.4 JUSTIFICATIVAS E CONSIDERAÇÕES

Atualmente há um aumento considerável na emissão de gases poluentes para satisfazer às diversas necessidades humanas, dentre estas o transporte tanto coletivo quanto de cargas. No Brasil, uma parte considerável dessa poluição é gerada pelos automóveis e caminhões que circulam diariamente nas rodovias. Um

agravante é a utilização do modal rodoviário como principal meio de locomoção das cargas.

Como medida para minimizar os impactos ambientais, o governo criou normas a fim de regulamentar os limites para as emissões. Apesar de não haver fiscalização freqüente, há atualmente, a nível mundial, a valorização de empresas que possuem práticas sustentáveis e se preocupam com o meio ambiente.

Este trabalho pode auxiliar as pequenas e médias empresas que utilizam o transporte de cargas rodoviário, tanto próprio quanto o terceirizado, à contabilizarem suas emissões gases geradas em seu sistema logístico através da simulação a eventos discretos. Possibilitando então identificar qual aspecto logístico tem maior influência em suas emissões de gases, sem a necessidade de grandes investimentos, pois será utilizado um simulador de código aberto.

1.5 DEMILITAÇÕES DO TRABALHO

A pesquisa se restringiu a apenas sistemas logísticos hipotéticos, já que a intenção da mesma é verificar os mecanismos de cálculo para análise de emissões gasosas associadas às medidas de desempenho de sistemas logísticos na cadeia de suprimentos com *software* Ururau.

O cálculo quanto às emissões de gases foram preliminares e aproximados, pois o foco é testar os mecanismos de cálculo para análise de emissões gasosas do *software* Ururau.

Não foram utilizados testes exaustivos com o Ururau, uma vez que a proposta inicial é verificar a utilização deste método para esta análise. Tendo em vista também que o *software* é uma nova ferramenta.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em 5 capítulos.

O capítulo 1 (Introdução) apresenta a contextualização do tema e motivação, objetivo da pesquisa, justificativas e considerações como também a delimitação da pesquisa.

O capítulo 2 (Revisão de literatura) apresenta a simulação computacional, a partir da descrição da simulação contínua, simulação a eventos discretos e softwares utilizados para as simulações. Descreve sobre inventário de emissões, cadeia de suprimentos e sistemas logísticos, apresenta a bibliometria, bem como o estado da arte e conclusões da revisão da literatura.

O capítulo 3 (Materiais e Métodos) descreve os sistemas logísticos para experimentação, através dos modelos esquemáticos 1, 2 e 3, como foi definido o cálculo das emissões gasosas, e as metodologias para a simulação.

O capítulo 4 (Resultados e discussão) apresenta os modelos de simulação a partir dos conceituais dos cenários 1, 2, 3 e 4. Descreve sobre as situações logísticas, os parâmetros de execução dos experimentos simulados e analisa os resultados obtidos.

O capítulo 5 (Considerações finais) apresenta as conclusões, as limitações do trabalho e a proposta para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1.1 Simulação Computacional

A simulação computacional ou apenas simulação por Freitas Filho (2008), consiste na utilização de determinadas técnicas matemáticas, empregadas em computadores digitais, as quais permitem imitar o comportamento de, praticamente, qualquer tipo de operação ou processo (sistemas) do mundo real. Já a Paragon (2005), representante do software de simulação Arena no Brasil, define 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”.

A simulação é uma importante ferramenta, mas possui algumas limitações, como:

Os sistemas reais, geralmente, apresentam uma maior complexidade devida, principalmente, a sua natureza dinâmica (que muda seu estado ao longo do tempo) e a sua natureza aleatória (CHWIF E MEDINA, 2007, p 25)

Porém para Freitas Filho (2008), a simulação permite que os estudos feitos sejam realizados sobre sistemas que ainda não existem, levando ao

desenvolvimento de projetos eficientes antes que qualquer mudança física aconteça, descrevendo assim, uma das principais vantagens da simulação.

Chwif e Medina (2007) descrevem que a simulação computacional pode ser classificada em três categorias básicas: simulação de “Monte Carlo”, simulação contínua e simulação a eventos discretos.

Dentre as classificações da simulação computacional, a simulação de “Monte Carlo” é particularmente útil para a solução de problemas matemáticos, pois utiliza-se a geração de números aleatórios para simular os sistemas. Já a simulação contínua e simulação a eventos discreto levam em consideração a mudança de estado do sistema ao longo do tempo (CHWIF E MEDINA, 2007). Sendo assim estas serão detalhadas nos tópicos 2.1.1.1 e 2.1.1.2.

2.1.1.1 Simulação Contínua

Segundo Harrel et al (2002) um evento contínuo é uma ação que não cessa, pois ele continua ininterruptamente com relação ao tempo.

A simulação contínua segundo Chwif e Medina (2007), é utilizada para modelar sistemas cujo estado varia continuamente no tempo, muito embora ela seja feita a pequenos intervalos de tempo. Utiliza-se de equações diferenciais para o cálculo das mudanças das variáveis de estado ao longo do tempo, como demonstrado no gráfico da Figura 8.

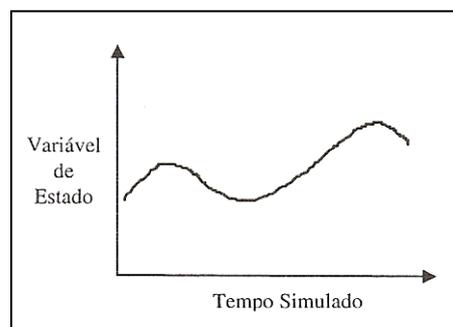


Figura 8 – Mudanças de estado em modelos contínuos
Fonte: Freitas Filho (2008)

- A simulação é, geralmente, mais fácil de aplicar do que métodos analíticos;
- Os sistemas de simulação podem ser quase tão detalhados quanto os sistemas reais, e podem ser avaliados sem que o sistema real seja perturbado;
- Hipóteses sobre como ou por que certos fenômenos acontecem podem ser testados para confirmação
- O tempo pode ser controlado, comprimido ou expandido, permitindo reproduzir os fenômenos de maneira lenta ou acelerada;
- A auxilia na identificação de gargalos;
- Pode ser financeiramente viável.

Desvantagens:

- A construção de modelos requer um treinamento especial, portanto, o aprendizado se dá ao longo do tempo, com aquisição de experiência;
- Os resultados são, muitas vezes, de difícil interpretação;
- A modelagem e a experimentação, principalmente, consomem muito tempo.

A SED apresenta aplicações em diversas áreas como: manufaturas, manuseio de materiais, engenharia civil, indústrias automobilísticas, transportes, sistemas de comunicação e computacional, saúde, militar, serviços, alocação de pessoal, entre outras (CHWIF E MEDINA, 2007).

Segundo Harrel et al (2002) e Freitas Filho (2008) embora cada estudo de simulação seja único, para proporcionar uma ferramenta útil para a tomada de decisão são necessários o cumprimento de alguns passos. Sendo estes: Formulação e análise do problema, planejamento do projeto, formulação do modelo conceitual, coleta dos dados, tradução do modelo, verificação e validação, projeto experimental, experimentação e análise estatística das dados.

A Figura 10 exemplifica estes passos dividindo em três etapas: Planejamento, modelagem e experimentação.

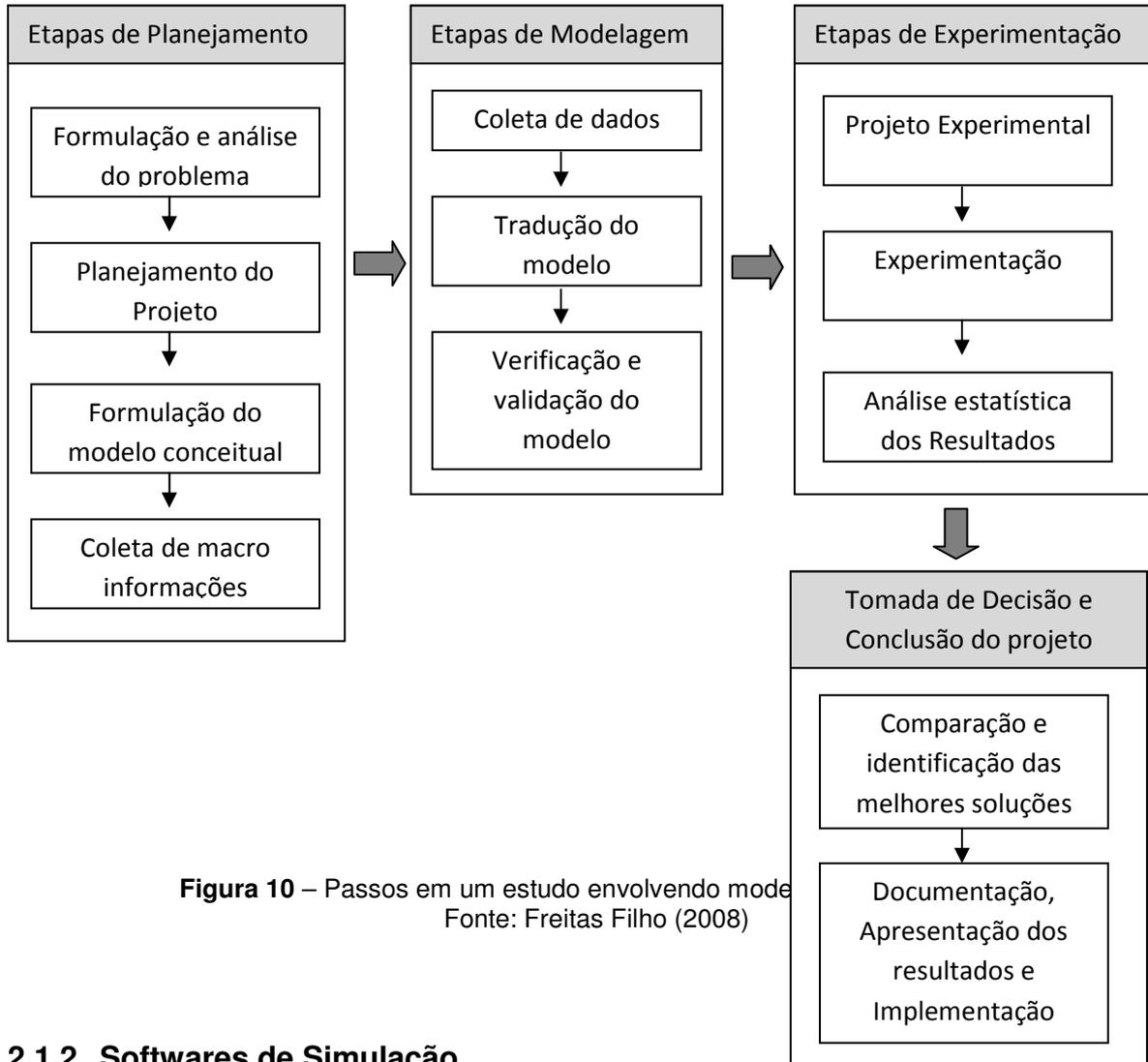


Figura 10 – Passos em um estudo envolvendo modelagem
 Fonte: Freitas Filho (2008)

2.1.2 Softwares de Simulação

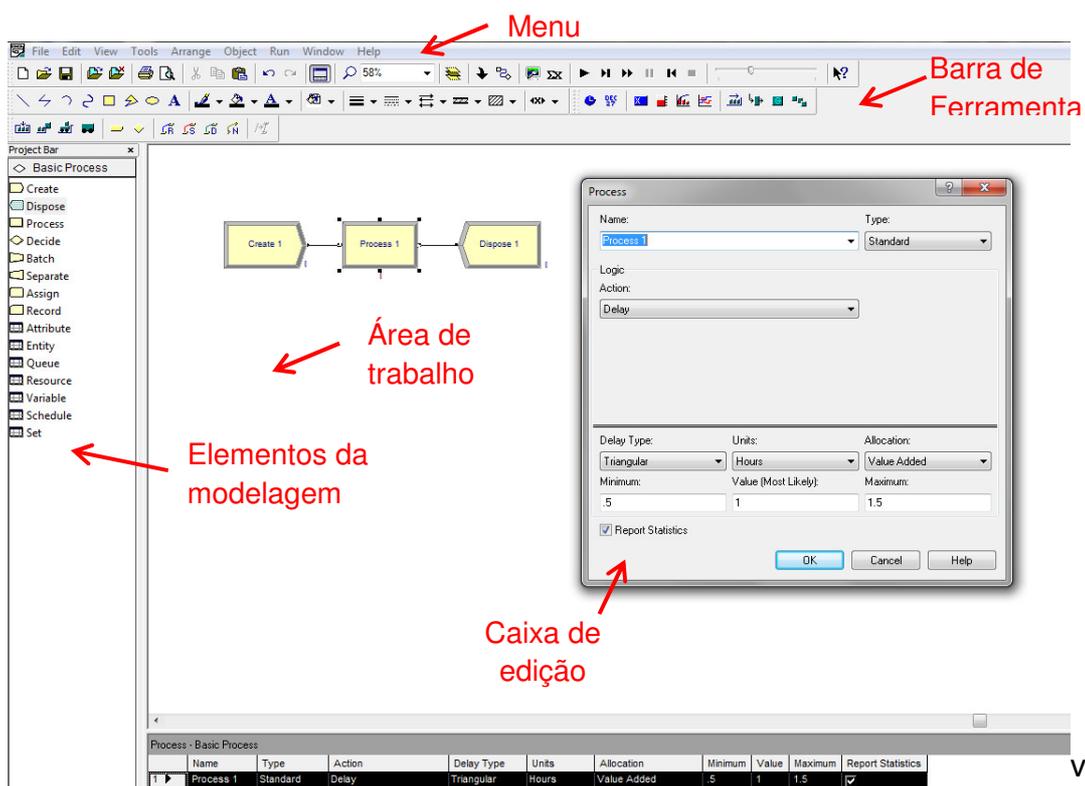
Atualmente existem diversos *softwares* no mercado, que auxiliam a execução das simulações computacionais. Os *softwares* listados nos itens 2.1.2.1, 2.1.2.2 e 2.1.2.3 foram escolhidos por se destacarem como: o mais utilizado e reconhecido mundialmente (Arena), o primeiro *software* brasileiro (Ururau) e o *software* comercializado com versão em português (ProModel).

2.1.2.1 Arena

Um dos *softwares* utilizados para a análise do sistema será o Arena. Segundo informações da Paragon (2005), o 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.

O Arena possui uma interface gráfica amigável utilizando módulos para descrever um sistema real. Observe na Figura 11 que 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 (PARAGON, 2005).



vido ao seu elevado custo e necessidade de renovação de licença anualmente, impossibilita pequenas e médias empresas utilizarem os benefícios da simulação para melhorar seu desempenho.

2.1.2.2 Ururau

O Ururau é um *software* de código aberto e livre de custos. Proposto inicialmente por Peixoto et al (2011). Trata-se do primeiro ambiente para construção de modelos de simulação a eventos discretos elaborado no Brasil.

O ambiente de desenvolvimento do Ururau (Figura 12) utiliza como base a biblioteca de construção de modelos orientados a processo e, quando necessário, a adição de novos comandos, caso o modelo de simulação exija maior grau de complexidade. Também utiliza a linguagem Java, que é multiplataforma. O *software* desenvolvido tem licença GPL (General Public License), o que permite desenvolvimento em código livre (PEIXOTO et al, 2011).

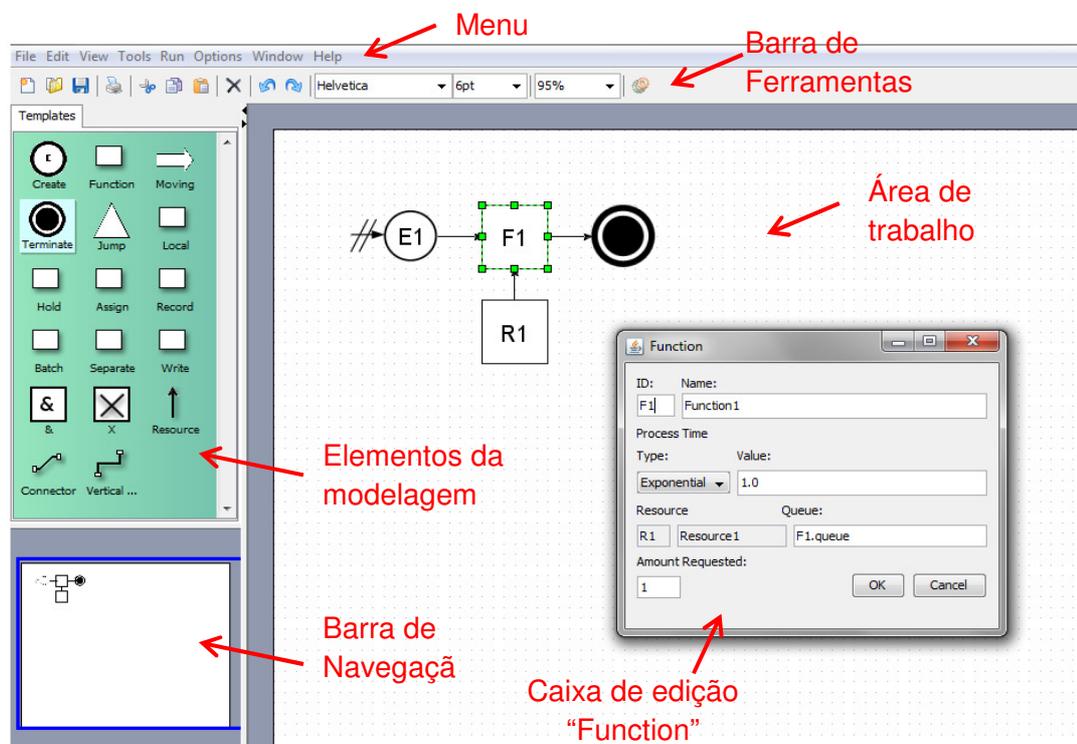


Figura 12 – Ambiente de desenvolvimento do simulador Ururau

O Ururau pode ser obtido através do site <https://bitbucket.org/tulioap/ururau>. É necessário baixar o arquivo, descompacta-lo em um diretório e executar o `ururau.jar`. Também é preciso ter instalado no computador o JRE versão 6.0 ou superior que pode ser obtido em <http://java.com/getjava>. Para desenvolver usando o código

fonte, é necessário um ambiente de desenvolvimento (IDE), de preferência o NetBeans 7.0 que pode ser obtido em <http://www.netbeans.org>.

2.1.2.3 ProModel

O ProModel é um *software* de simulação a eventos discretos comercializado no Brasil pela Belge Consultorias. Fundada em 1995 pelo Engenheiro Alain de Norman et d'Audenhove, a Belge é proveniente da divisão de engenharia do grupo Siemens. No Brasil a empresa possui diversos projetos em grandes empresas, com um histórico de melhoria em seus processos (BELGE, 2013).

Além de possuir todas as vantagens de um *software* de simulação o ProModel disponibiliza uma versão na língua portuguesa, facilitando a adaptação dos usuários brasileiros à esta ferramenta. O desenvolvimento desta versão foi motivada pela grande procura do *software* no país, e com esta versão, a empresa objetiva popularizar cada vez mais o uso dessa tecnologia (BELGE, 2013).

Segundo informações no site da empresa, o ProModel é comumente utilizado em: teste de validação dos investimentos; balanceamento de Linhas; projeto de células e *layout*; apoio ao Planejamento e Controle da Produção (PCP) e ao Planejamento de Operações e Vendas (S&OP); movimentação e armazenagem de materiais; movimentação de materiais; Centros de Distribuições: projeto, dimensionamento e otimização; planejamento de transportes; distribuição e *supply chain* entre outros (BELGE, 2013).

2.1.3 Inventário de Emissões

A intensificação do efeito estufa é a principal causa do aquecimento global e consequência direta do aumento das emissões de gases poluentes. Esse aumento é provocado principalmente por atividades antrópicas, indústrias, veículos em circulação e sistemas domésticos de aquecimento, além de atividades agropastoris, lixões e aterros sanitários (MACEDO et al, 2010).

Uma importante ferramenta para a medição desses poluentes é o inventário de emissões. Pois auxilia o planejamento energético-ambiental, possibilitando o conhecimento de intensidade de emissões ao longo do tempo e suas origens, permitindo assim, um melhor controle de poluição (GOLDEMBERG E LUCON, 2008).

Segundo Loureiro (2005) o fator de emissão é definido como uma estimativa das emissões médias para um dado poluente para uma certa categoria de veículo, numa dada condição de operação.

As emissões de um veículo automotor podem ocorrer pelo escapamento (emissões diretas) ou podem ser de natureza evaporativa do combustível, aparecendo durante o uso e o repouso do veículo. São influenciadas por vários fatores, dentre os quais podemos destacar: tecnologia do motor, porte e tipo de uso do veículo, idade do veículo, projeto e materiais do sistema de alimentação de combustível, tipo e qualidade do combustível (pressão de vapor), condições de manutenção e condução, além de fatores meteorológicos (pressão e temperatura ambientes) (BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2011).

Segundo Goldemberge e Lucon (2008) inventário de emissões são basicamente uma somatória de emissões de poluentes. Com o inventário pode-se estabelecer comparações entre diferentes combustíveis e tecnologias, políticas sobre combustíveis ou até negociações internacionais sobre limites de emissões de gases de efeito estufa.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2011), as emissões de escapamento decorrem da queima dos combustíveis pelo motor, compreendendo uma série de substâncias como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrocarbonetos (HC), aldeídos (RCHO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP). As emissões evaporativas são constituídas pelos hidrocarbonetos (HC) que evaporam do sistema de alimentação de combustível do veículo. Tais emissões ocorrem pelos seguintes processos:

- Emissões diurnas: são as geradas no sistema de combustível com o veículo em repouso, devido às mudanças de temperatura ambiente ao longo das 24 horas do dia. Conforme a temperatura se eleva, aumenta o escape de vapores de combustível pelo sistema de alimentação, quer pela

permeabilidade inerente aos materiais empregados, quer pela estanqueidade imperfeita de conexões.

- Perdas em movimento: são as emissões de vapores de combustível que ocorrem enquanto o veículo está em circulação pelo sistema de alimentação. Também se devem ao aumento da pressão e da temperatura do combustível durante o funcionamento do automóvel.
- Emissões evaporativas do veículo em repouso com o motor quente: emissões de vapores de combustível que ocorrem após o uso do veículo, caracterizam-se pelo fato do combustível estar parado e despressurizado, porém ainda aquecido devido à circulação no período em que o veículo estava em funcionamento e ao calor residual desprendido do motor (BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2011).

O Quadro 1 descreve detalhadamente os principais gases poluentes e os impactos ambientais inerentes de suas emissões.

Quadro 1 - Emissões típicas da combustão em veículos automotores

Gases Poluentes	Descrição
Monóxido de carbono (CO)	As emissões de CO resultam da combustão incompleta do carbono (C) contido no combustível.
Hidrocarbonetos não metano (NMHC)	A queima incompleta do combustível no motor gera também emissões de NMHC. A classificação desses compostos abrange toda a gama de substâncias orgânicas presentes <i>in natura</i> nos combustíveis, bem como subprodutos orgânicos derivados da combustão, exceto o metano. São substâncias precursoras da formação de ozônio (O ₃) no nível troposférico.
Aldeídos (RCHO)	O processo de combustão pode levar também à geração de compostos com o radical carbonila, os mais comuns são o acetaldeído e o formaldeído. Também participam na formação de ozônio (O ₃) no nível troposférico.
Óxidos de nitrogênio (NO_x)	Grupo de gases altamente reativos, compostos por nitrogênio (N) e oxigênio (O) em quantidades variadas. São formados pela reação de oxigênio (O ₂) e nitrogênio (N ₂) presentes no ar sob condições de alta temperatura e elevada pressão. Juntamente com os hidrocarbonetos não metano (NMHC) e os aldeídos (RCHO), são precursores da formação de ozônio (O ₃) no nível troposférico.

Material particulado (MP)	São partículas de material sólido ou líquido que podem conter uma variedade de componentes químicos. São classificados de acordo com seu tamanho, sendo que grande parte do MP de origem veicular tem diâmetro menor do que 2,5 µm, podendo ser referido como MP2,5.
Metano (CH4)	O processo de combustão pode levar também à geração de CH4, o mais simples dos hidrocarbonetos. É considerado um expressivo gás de efeito estufa.
Dióxido de carbono (CO2)	Produto da oxidação completa do carbono (C) presente no combustível durante sua queima. Também é considerado um gás de efeito estufa expressivo.

Fonte: Brasil. Ministério do Meio Ambiente (2011)

2.1.4 Cadeia de suprimentos e sistemas logísticos

Segundo Bowersox e Closs (2007) a gestão da cadeia de suprimentos consiste na colaboração entre empresas para impulsionar o posicionamento estratégico e para melhorar a eficiência operacional. Em contraste a logística é o trabalho necessário para transportar e posicionar o estoque ao longo da cadeia de suprimentos. A Figura 13 possibilita observar a ilustração esta definição.

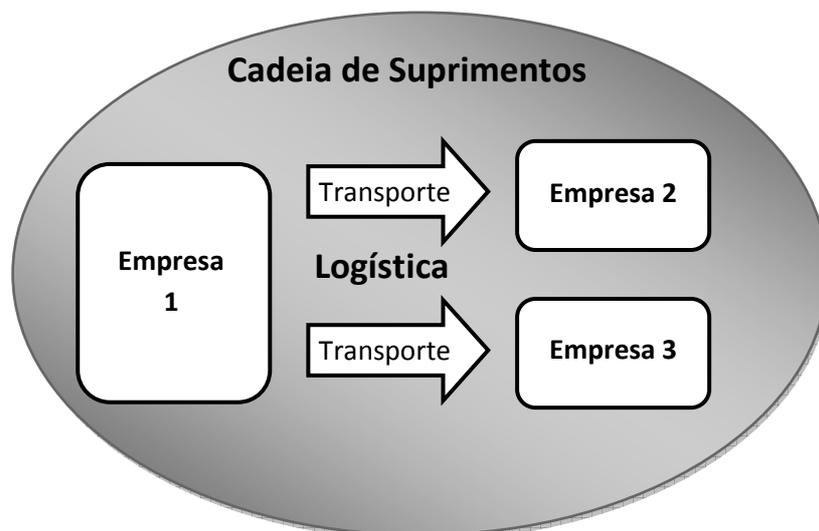


Figura 13 – Esquema Cadeia de Suprimentos *versus* Logística
Fonte: Adaptado Bowersox e Closs (2007)

A Figura 13 demonstra que a cadeia de suprimentos parte do relacionamento entre as empresas fornecedoras e clientes, agindo de maneira estratégica para que seja eficiente. Já a logística está relacionada à movimentação de estoques dentro desta cadeia de suprimentos, através de transportes internos (dentro de uma mesma empresa) e transporte externos (entre empresas) (BOWERSOX E CLOSS, 2007).

Para Ballou (2006), o transporte normalmente representa o elemento mais importante em termos de custos logísticos totais para inúmeras empresas; por isso, aumentar a eficiência por meio da máxima utilização dos equipamentos e pessoal de transportes é uma das maiores preocupações do setor.

Bowersox e Closs (2007) ainda afirmam que o transporte é a área operacional da logística que geograficamente movimenta e posiciona os estoques, sendo de fundamental importância para o seu desempenho os custos envolvidos, a velocidade e a consistência.

Custos e velocidade estão diretamente ligados. A velocidade é o tempo necessário para completar uma movimentação, pode ser considerado também como o tempo de percurso ou lead time do transporte. Seu valor pode ser variado a partir dos seguintes fatores: distância percorrida, rota escolhida, peso da carga e tamanho do veículo (BOWERSOX E CLOSS, 2007).

A consistência reflete a confiabilidade do serviço de transporte. Em decorrência das variações de tempo no transporte da carga. Quanto mais variações, menos confiável é o transporte. Nesses casos há necessidade de manter estoques de segurança devido às incertezas, gerando custos extras (BOWERSOX E CLOSS, 2007).

Segundo Figueiredo et al (2006) os custos logísticos relacionados ao transporte representam, em média, 64% do custo logístico total, sendo a principal fonte de despesas logísticas.

Caixeta-Filho e Martins (2011) afirmam ainda que a diminuição dos custos logísticos com transporte geram ganhos de escala que se estendem por toda a cadeia produtiva. Por outro lado, um sistema de transporte ineficiente acarreta altos custos de deslocamento e é um entrave ao desenvolvimento.

A partir das afirmações anteriores, conclui-se que estudos para aperfeiçoamento dos sistemas logísticos são fundamentais para a empresa, tanto para redução do tempo de processo, quanto para redução dos custos envolvidos.

O transporte envolve tanto grandes e pequenas empresas, podendo operar com: frota particular, contratos com especialistas dedicados ao transporte, ou serviços de ampla variedade de transportadoras de acordo com suas necessidades de embarque (BOWERSOX E CLOSS, 2007).

No Brasil o transporte rodoviário de cargas é responsável por mais de 60% do volume das mercadorias movimentadas, com o seu custo representando cerca de 6% do Produto Interno Bruto do país. Para as empresas, o deslocamento de carga pelas estradas nacionais equivale a mais da metade da sua receita líquida, chegando a mais de 60% da receita na Agroindústria e entre as indústrias de alimentos (ARAÚJO, 2011).

Segundo Caixeta-Filho e Martins (2011) a variável principal que envolve a movimentação de cargas é a circulação dos veículos na rede de transportes. Para os caminhões este termo é medido com o número de viagens feitas durante um determinado período de tempo.

Porém deve-se ter atenção especial em casos de coleta e entrega, quando há necessidade do caminhão fazer inúmeras paradas durante o percurso do dia, pois neste caso, cada uma delas representa uma viagem (CAIXETA-FILHO E MARTINS, 2011).

Por isso a importância da melhor roteirização durante a escolha dos trajetos que serão percorridos. Neste caso a escolha da rota, ou seja, o percurso a ser utilizado, influencia no custo e no *lead time* total do transporte.

Ballou (2006) também afirma que embora sejam muitas variações de roteirização, é possível reduzi-los a alguns modelos básicos:

- (1) Um ponto de origem e um ponto de destino;
- (2) Pontos de origem e destino múltiplos;
- (3) Pontos de origem e destino coincidentes;
- (4) Caixeiro viajante.

A Figura 14 ilustra os modelos básicos de roteirização descrito por Ballou (2006):

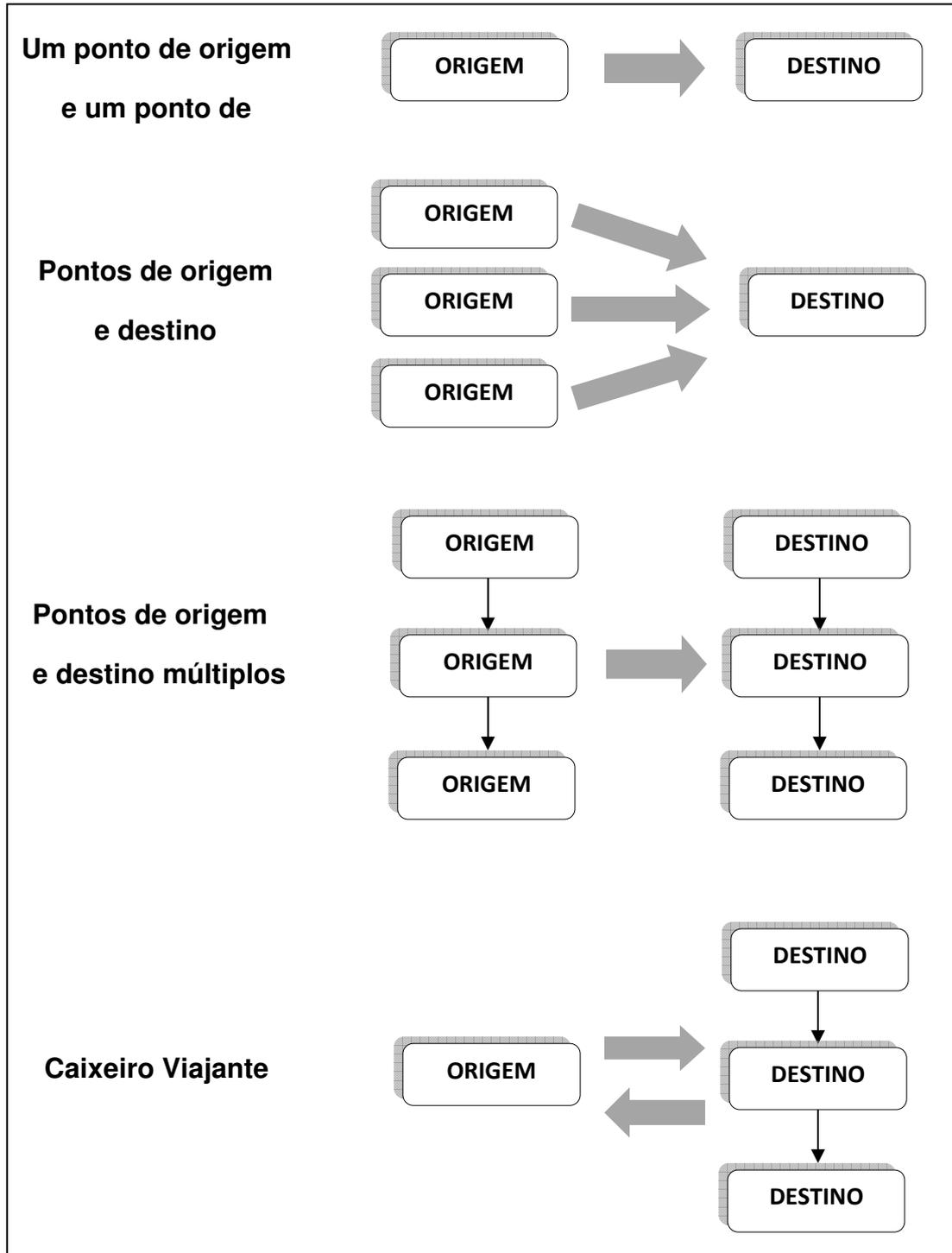


Figura 14 – Modelos básicos de roteirização
 Fonte: Adaptado de Ballou (2006)

2.2 BIBLIOMETRIA

O levantamento de dados para as referências bibliográficas desta dissertação ocorreu da seguinte forma: (a) utilizou-se como critério de escolha os artigos que apresentassem as palavras chaves “simulação eventos discretos”, “simulação discreta”, “emissão de gases”, “inventário de emissões”, “simulação de gases” no título, no resumo ou nas palavras-chave; (b) examinou-se a bibliografia referenciada nos artigos relacionados ao tema pesquisado.

A pesquisa foi desenvolvida por meio de consultas a periódicos científicos acessíveis por meio eletrônico. Dentre os sites pesquisados, para a procura de periódicos nacionais utilizou-se o banco de dados do site da CAPES, SCIELO e outras revistas nacionais relacionadas ao tema, tais como, GEPROS, Gestão e Produção, entre outras. Para a pesquisa de periódicos internacionais utilizou-se o site Scopus (Science Direct) e site de Revistas (Journal of Simulation, entre outras). Os anais publicados pelos congressos nacionais e internacionais também foram incluídos na pesquisa (WinterSim, SBPO, Enegep, Simpep, Emepro, entre outros).

Houve em geral dificuldade para encontrar artigos diretamente relacionados ao tema proposto. Assuntos como simulação ou emissão de gases, quando buscados separados, encontravam-se muitos artigos, porém não relacionados diretamente ao tema. Quando foram buscados artigos relacionados à “simulação discreta de gases” ou “simulação de gases”, reduziu a quantidade e de um modo mais agravante em sites de periódicos nacionais. Os artigos encontrados estavam relacionados com emissão de gases, porém nenhum deles abordava simulação da emissão dos gases. Nos artigos Internacionais do banco de dados do *Science Direct* e alguns outros jornais de destaque nesta área, a pesquisa obteve maior êxito. Porém a maior parte deles foi referente à simulação contínua, comumente utilizada para a simulação de emissão de gases.

A emissão de gases pode ser observada em diversas situações, como exemplo nas indústrias, transporte, geração de energia, lixo entre outras. Porém os mais observados são através das chaminés das indústrias e pela descarga dos veículos. Quando é feito um inventário de gases, por exemplo, a emissão de gases de uma indústria, realmente não há melhor método a não ser a simulação contínua,

pois neste modelo o estado do sistema pode ser alterado continuamente com o passar do tempo.

Porém no trabalho em questão além da simulação da emissão dos gases, o objetivo é analisar um sistema logístico, e neste caso a simulação discreta seria mais apropriada por utilizar o modelo estocástico, facilitando assim a modelagem e análise do problema.

Dentre os trabalhos encontrados, a Tabela 1 relaciona os artigos encontrados com relevância ao tema pesquisado. Agrupados por nacionais, e Internacionais.

Tabela 1 – Total de artigos encontrados durante a pesquisa.

Classificação	Publicação Nacional	Publicação Internacional
Periódico	5	13
Congresso	5	6
Total	10	19

Através da Tabela 1 pode-se observar a carência, de modo geral, das publicações de artigos relacionando simulação discreta à emissão de gases. Dentre os artigos nacionais, a falta de publicações é ainda maior. A Figura 15 distribui percentualmente os artigos encontrados, demonstrando que 48% dos artigos pertencem aos periódicos internacionais. Confirmando então que a maior parte dos artigos encontrados foram internacionais.

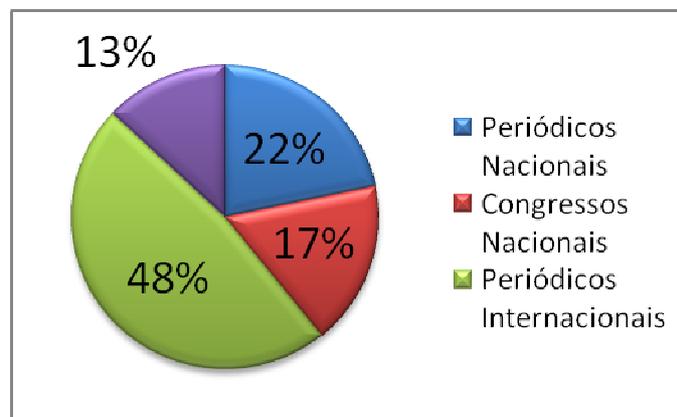


Figura 15 – Classificação dos artigos encontrados

O Quadro 2 relaciona em ordem cronológica crescente os principais artigos encontrados durante a pesquisa bibliográfica. Alguns dos artigos encontrados foram descartados por se distanciarem do tema proposto, o foco principal foi a busca de artigos diretamente relacionados à simulação de emissão de gases, simulação discreta de gases e sistemas logísticos. Os artigos que abordavam mesmo que indiretamente esses assuntos estão listados no Quadro 2.

Quadro 2 – Artigos selecionados por ano de publicação.

Título do artigo	Ano	Periódico ou Congresso	Autores
Simulating greenhouse gas (GHG) allowance cost and GHG emission reduction in Western Europe	2007	Energy / Elsevier	Erik Delarue, Hans Lamberts, William D'haeseleer
Greenhouse gas emissions from heavy-duty vehicles	2008	Atmospheric Environment / Elsevier	Lisa A. Graham, Greg Rideout, Deborah Rosenblatt, Jill Hendren
Impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras: Um estudo de caso.	2008	Revista de Economia e Sociologia Rural	Daniela Bacchi Bartholomeu, José Vicente Caixeta-Filho
Sustainability toolkit for simulation-based logistics decisions	2009	Winter Simulation Conference	Michael E. Kuhl Xi Zhou
Sustainable supply chain design: capturing dynamic input factors	2010	Journal of Simulation	PJ Byrne, C Heavey, P Ryan, P Liston
Design and Development of a Sustainability Tooling for Simulation	2010	Winter Simulation Conference	Michael E. Kuhl Xi Zhou
Modelo de Simulação a eventos discretos para análise inventário de emissões de CO	2011	SIMPEP	Leonardo das D, Cardoso, Elaine Cristina G. Moreira, João José de A. Rangel
A sustainability toolkit for simulation: Recent developments and future capabilities	2011	Winter Simulation Conference	Michael E. Kuhl Xi Zhou

2.3 ESTADO DA ARTE

A seguir serão detalhadas as propostas dos autores dos artigos pesquisados, por ordem cronológica da publicação, destacando as afinidades com o projeto.

Durante a pesquisa bibliográfica, constatou-se que em 2007 foram publicados os primeiros artigos referentes a métodos e análises de emissões de gases poluentes causadores do efeito estufa.

Em 2007 foram publicados pela editora Elsevier dois artigos de novos métodos para o cálculo e inventário de emissões de gases poluentes. Samaali et al (2007) desenvolveram um novo software dedicado ao processamento de inventário de emissões de maneira fácil e rápida, porém o método utiliza a simulação contínua. Já Delaure et al (2007) desenvolveram um modelo de simulação para avaliar a geração de energia e as emissões de gases relacionadas, analisando também os custos envolvidos. Também utilizaram o método de simulação contínua para o cálculo proposto.

Nota-se que dentre os artigos relacionados acima, há uma preocupação com as emissões de gases poluentes e utiliza-se de métodos de simulação. Porém não são citadas as emissões provenientes do transporte, que também tem grande influência no aquecimento global.

Segundo Graham et al (2008) traz um dos primeiros artigos a propor um estudo sobre as emissões de gases de efeito estufa de veículos pesados. O artigo faz um paralelo sobre as emissões e os tipos de combustíveis utilizados, avaliando seus impactos. Porém não foi feita simulação dos gases emitidos.

Ainda Bartholomeu e Caixeta-Filho (2008) desenvolveram uma pesquisa sobre a influência do estado de conservação das rodovias em relação às emissões de gases poluentes. Porém foi feito apenas o cálculo das emissões, e não a simulação do sistema logístico.

Silva e Botter (2009) apresentaram em seu artigo a utilização de métodos de simulação a eventos discreta para a análise de sistemas logísticos empresariais. Através de softwares como o Arena, ProModel e Risk. O artigo trata apenas das variáveis logísticas, não aborda o cálculo das emissões dos gases envolvidos neste processo.

Kuhl (2009), relacionando às questões de sustentabilidade a simulação a eventos discretos e ferramentas de análise a decisão. Apresentou no artigo o conceito de um conjunto de ferramentas para simular e modelar os aspectos de sustentabilidade de logística e sistemas de transporte. Sendo este o primeiro artigo a relacionar o tema de simulação a eventos discretos e inventário de emissões de gases poluentes. Utilizando assim esta simulação para o cálculo de emissão de gases.

Segundo Byrne et al (2010), sendo a simulação a eventos discretos uma das ferramentas utilizadas para a análise da cadeia de suprimentos. Sua proposta foi investigar o uso potencial da SED como um método de capturar a natureza dinâmica do modelo e operação da cadeia de suprimentos. Em sua metodologia, o artigo, analisou as variáveis da cadeia de suprimento como lead time, tipo de transporte, tamanho da compra entre outros, e em paralelo os custos envolvidos e emissões do processo em geral. Como resultado os autores avaliam o uso de análise quantitativa para apoiar os tomadores de decisão na escolha de cadeias de suprimento mais respeitadores do meio-ambiente, onde são utilizados modelos de SED, a qual ilustra o benefício econômico versus *trade-offs* de projetos alternativos de cadeia de suprimento “ambientais”.

Kuhl e Zhou (2011), continuaram sua pesquisa sobre sistemas logísticos versus sustentabilidade, porém com o objetivo de incluir também os aspectos sociais e econômicos na análise.

Dentre as publicações nacionais, Cardoso et al (2011) desenvolveu no trabalho, um modelo de simulação discreta com o objetivo de analisar o índice de CO emitido por uma frota de caminhões, tipicamente utilizadas em sistemas de transporte de cana de açúcar em usinas sucroalcooleiras. O artigo também cita normas e questões ambientais, como o controle da emissão de gases causadores do efeito estufa, que estão no centro dos principais decisões empresariais, através de punições, incentivos governamentais ou pela visão empreendedora e sustentável das empresas. Sendo este, o primeiro artigo nacional, a abordar o tema de inventário de emissões de gases com a utilização da simulação a eventos discretos. Porém trata emissão do sistema como um todo, sem comparar as variáveis do sistema, de maneira que, possibilite identificar, qual variável do sistema tem maior

impacto na emissão dos gases poluentes. Já Cardoso (2013) publicou a nível internacional, o mesmo tema, porém, desta vez aplicou a metodologia proposta no *software* Ururau.

Os demais artigos encontrados, publicados entre os anos de 2010 e 2013, tratam de temas relacionados a inventário de emissão de gases de efeito estufa, com aplicações de modelos matemáticos e de simulação contínua. Estes artigos serão utilizados para comparações e, verificações do modelo proposto pelo projeto em questão.

2.4 CONCLUSÃO DA REVISÃO DA LITERATURA

A partir dos resultados obtidos pela pesquisa bibliográfica, conclui-se que o tema, “simulação de emissões de gases poluentes”, apesar de estar recente dentre as publicações, há muito a ser explorado. Muitos artigos abordaram o tema, mas, utilizaram a simulação contínua ou outro método para o cálculo das emissões e, poucos aplicam a simulação de gases em sistemas logísticos.

Este projeto utilizará a simulação a eventos discretos para analisar o impacto de cada medida de desempenho do sistema logístico, na emissão de gases poluentes. Assim, proporcionando aos tomadores de decisão, avaliarem qual variável possui maior influência nas emissões totais e, a partir de então, customizar os sistemas tornando-os mais sustentáveis.

As medidas de desempenho, dos sistemas logísticos, utilizadas são: tempo de percurso, rota utilizada, distância percorrida, tamanho do veículo. Estas medidas foram escolhidas, visto que, são consideradas como as principais variáveis que estão diretamente relacionadas com o transporte e ao custo total logístico.

Como diferencial, este projeto, também, utiliza o modelo de simulação em Ururau, um simulador de código aberto e livre de custos. Viabilizando, assim, esta análise, a pequenas e médias empresas. Para que, estas empresas, possam avaliar suas emissões sem a necessidade de grandes investimentos com simuladores licenciados.

Assim, pequenas e médias transportadoras e, pequenas e médias empresas, que possuem frota própria, avaliem suas emissões e cumpram as determinações de limites de emissões impostas pelo governo. Tornando-se, também, praticantes de medidas sustentáveis para o meio ambiente.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 SISTEMAS LOGÍSTICOS PARA EXPERIMENTAÇÃO

No estudo em questão, são analisados modelos de sistemas logísticos hipotéticos. Nos modelos propostos, considera-se uma fábrica localizada em Campos dos Goytacazes/RJ. Possuindo três fornecedores de materiais, sendo estes em Curitiba/PR, Santos/SP e Belo Horizonte/MG, conforme demonstrado na Figura 16 e no Quadro 3.

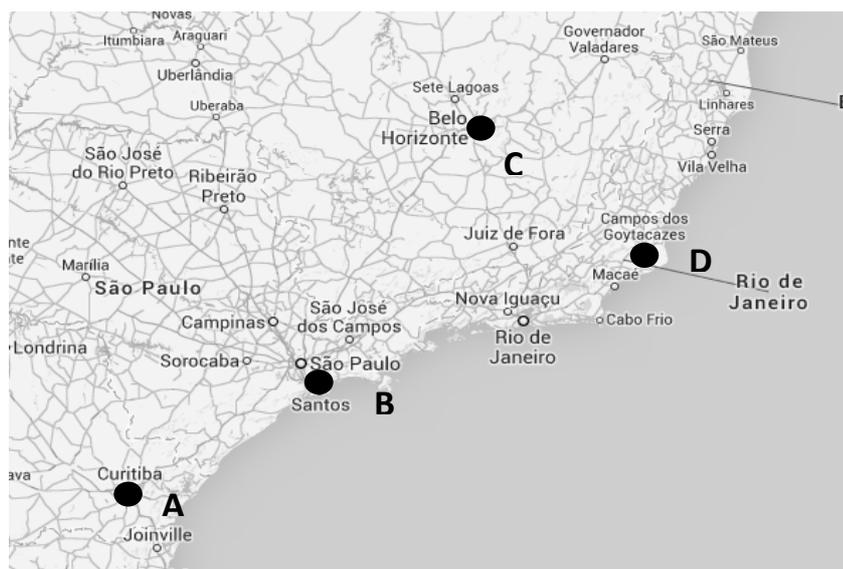


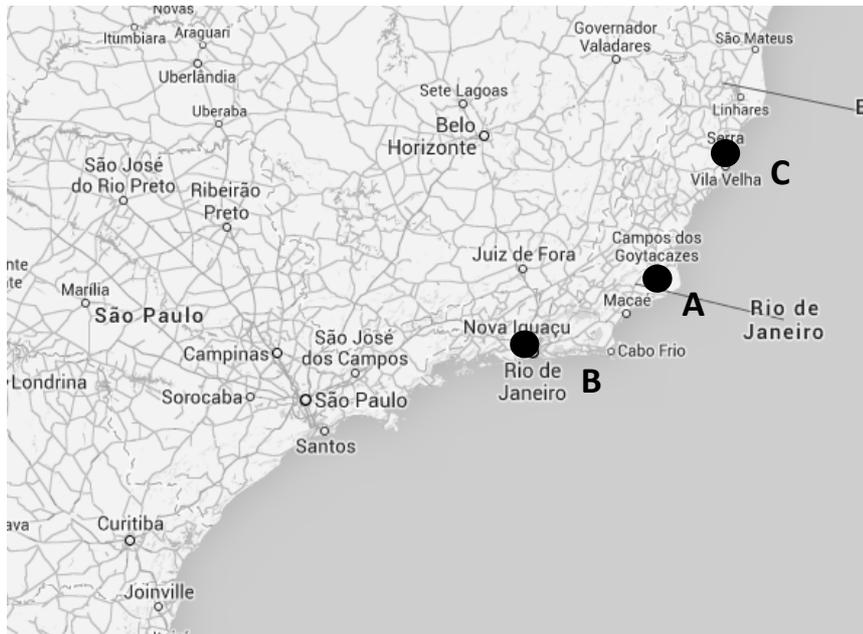
Figura 16 – Relação entre fábrica e fornecedores

Fonte: Disponível em: <<http://maps.google.com.br>>, acessado em 2013.

Quadro 3 – Legenda da Figura 1

Legenda	Localização	Ponto de referência no mapa
Fornecedor 1	Curitiba/PR	Ponto A
Fornecedor 2	Santos/SP	Ponto B
Fornecedor 3	Belo Horizonte/MG	Ponto C
Fábrica	Campos dos Goytacazes/RJ	Ponto D

Possuindo dois centros de distribuição (CD) de produtos acabados, sendo estes em Vitória/ES e Rio de Janeiro/RJ. Conforme demonstrado na Figura 17 e no Quadro 4.

**Figura 17 – Relação entre fábrica e CDs**

Fonte: Disponível em: <<http://maps.google.com.br>>, acessado em 2013.

Quadro 4 – Legenda da Figura 2

Legenda	Localização	Ponto de referência no mapa
Fábrica	Campos dos Goytacazes/RJ	Ponto A
CD 1	Rio de Janeiro/RJ	Ponto B
CD 2	Vitória/ES	Ponto C

Estas cidades foram escolhidas por estarem entre os principais centros industriais e logísticos brasileiros e, posicionados nas regiões onde se encontram os grandes centros urbanos.

Adiante seguem algumas propostas de possíveis rotas entre Fornecedores, Fábrica e Centros de Distribuição para a aplicação em sistemas logísticos diversos.

Estas rotas são adaptadas a partir das estruturas básicas de roteirização propostas por Ballou (2006). As mesmas serão descritas através de 4 modelos esquemáticos, que exemplificam estas estruturas típicas de sistemas logísticos: (1) Um ponto de origem e um ponto de destino, (2) Pontos de origem e destinos múltiplos, (3) Pontos de origem e destinos coincidentes.

3.1.1 Modelo Esquemático 1

Neste caso, a rota segue um modelo básico, onde tem-se um ponto de origem e um ponto de destino. No modelo exposto, três caminhões pequenos coletam os materiais, um em cada fornecedor, efetuam o transporte e os entregam na fábrica. Por sua vez, coletam os produtos acabados na fábrica, novamente efetuam o transporte, porém desta vez os entregam um em cada CD. A Figura 18 representa o modelo esquemático e o Quadro 5 detalha as quilometragens e tempos de viagem para cada transporte descrito no modelo esquemático 1.

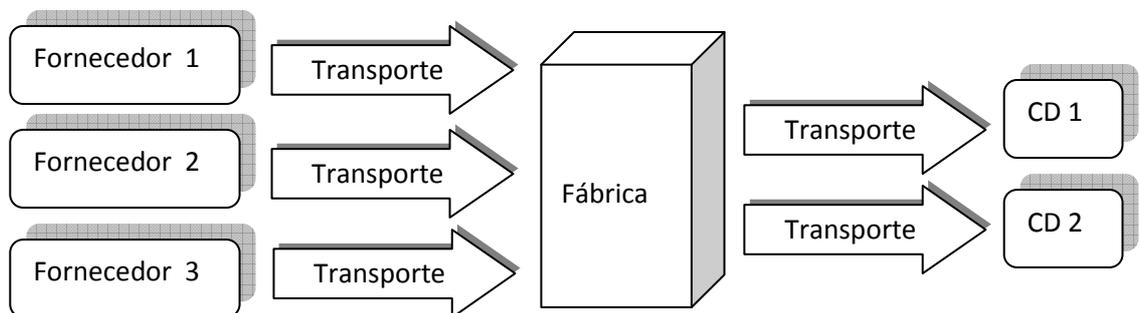


Figura 18 – Modelo Esquemático do cenário 1

Quadro 5 – Distâncias e tempos dos transportes do modelo esquemático 1

Transporte	Origem	Destino	Distância	Tempo estimado (h)
Fornec. 1 / Fábrica	Curitiba/PR	Campos/RJ	1109 Km	8,85
Fornec. 2 / Fábrica	Santos/SP	Campos/RJ	772 Km	12,45
Fornec. 3 / Fábrica	Belo Horizonte/MG	Campos/RJ	546 Km	7,02
Fábrica / CD 1	Campos/RJ	Rio de Janeiro/RJ	275 Km	3,45
Fábrica / CD 2	Campos/RJ	Vitória/ES	243 Km	3,17

Fonte: Disponível em <<http://maps.google.com.br>>, acessado em 2013.

Neste modelo, prioriza-se o tempo de entrega dos materiais e dos produtos acabados, ou seja, o *lead time* mais curto tanto no recebimento quanto na entrega. Os materiais e os produtos são entregues no momento desejado, sem atrasos para a produção e para os clientes, também sem necessidade de estoques muito altos. Porém, seu custo é mais elevado, uma vez que, cargas cheias não são necessariamente utilizadas.

3.1.2 Modelo Esquemático 2

A Figura 19 mostra o modelo esquemático 2. Nesta situação, duas rotas são exemplificadas: a coleta nos fornecedores parte de pontos de origem e destino coincidentes; e a entrega nos CDs parte de um ponto de origem e destinos múltiplos. No modelo demonstrado, um único caminhão grande coleta o material nos três fornecedores, seguindo uma rota entre eles durante o transporte, e os entrega na fábrica. Da mesma forma, um único caminhão grande coleta os produtos acabados da fábrica, segue nova rota e os entrega aos dois CDs. O Quadro 6, detalha as quilometragens e tempos de viagem para cada transporte, descrito no modelo esquemático 2 da Figura 19.

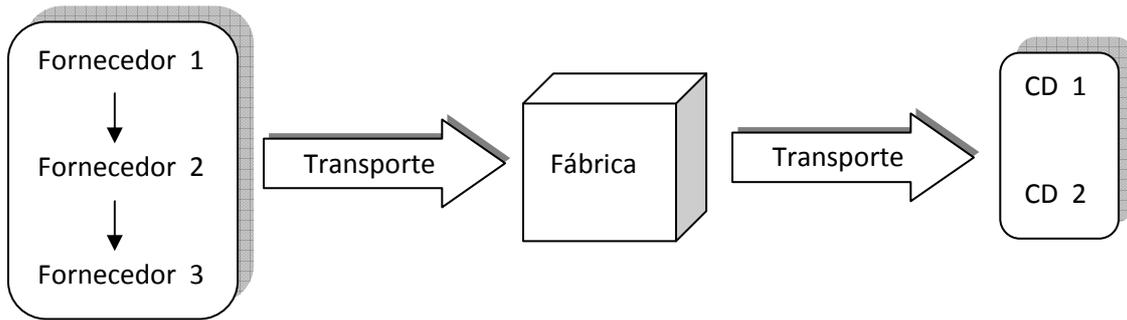


Figura 19 – Modelo Esquemático do cenário 2

Quadro 6 – Distâncias e tempos dos transportes do modelo esquemático 2.

Transporte	Origem	Destino	Distância	Tempo estimado (h)
Fornec. 1 / Fornec. 2	Curitiba/PR	Santos/SP	396 Km	4,77
Fornec. 2 / Fornec. 3	Santos/SP	Belo Horizonte/MG	650 Km	7,25
Fornec. 3 / Fábrica	Belo Horizonte/MG	Campos/RJ	546 Km	7,02
Fábrica / CD 1	Campos/RJ	Rio de Janeiro/RJ	275 Km	3,45
CD 1 / CD 2	Rio de Janeiro/RJ	Vitória/ES	517 Km	6,57

Fonte: Disponível em: <<http://maps.google.com.br>>, acessado em 2013.

Neste modelo, a fábrica prioriza a redução de custos com o transporte, uma vez que utiliza apenas um caminhão para a coleta dos materiais nos fornecedores e, depois, para entrega dos produtos nos CDs. O benefício é a coleta e entrega utilizando carga cheia, porém o risco de possíveis atrasos é maior. Nesta situação, é recomendável a empresa utilizar estoques de segurança para o caso de imprevistos.

3.1.3 Modelo esquemáticos 3 E 4

Os modelos esquemáticos 3 e 4, descritos a seguir, são a junção entre os dois modelos anteriores.

A Figura 20 expõe o modelo esquemático 3. Neste caso, há priorização da entrega de materiais do fornecedor. A coleta dos materiais no fornecedor é feita por três caminhões pequenos, um para cada fornecedor, como no modelo 1. Os materiais são descarregados na fábrica e a distribuição dos produtos acabados para os CDs é feita por apenas um caminhão grande, formando uma rota com destinos múltiplos.

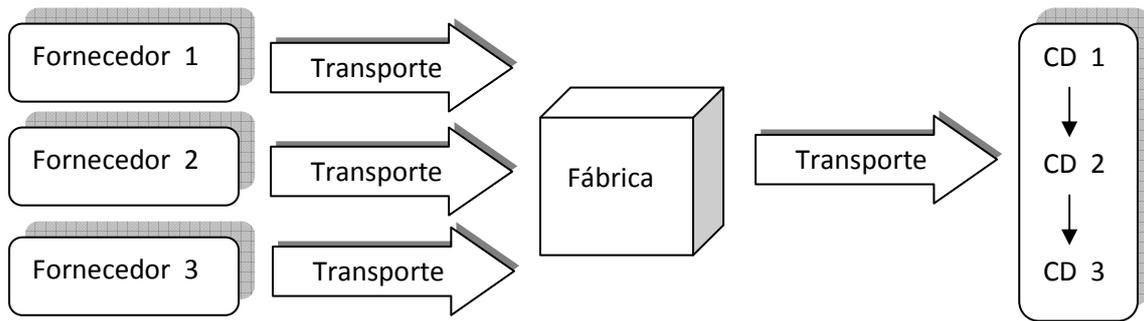


Figura 20 – Modelo Esquemático do cenário 3

O Quadro 7 detalha as quilometragens e tempos de viagem para cada transporte descrito no modelo esquemático 3.

Quadro 7 – Distâncias e tempos dos transportes do modelo esquemático 3.

Transporte	Origem	Destino	Distância	Tempo estimado (h)
Fornec. 1 / Fábrica	Curitiba/PR	Campos/RJ	1109 Km	8,85
Fornec. 2 / Fábrica	Santos/SP	Campos /RJ	772 Km	12,45
Fornec. 3 / Fábrica	Belo Horizonte/MG	Campos/RJ	546 Km	7,02
Fábrica / CD 1	Campos/RJ	Rio de Janeiro/RJ	275 Km	3,45
CD 1 / CD 2	Rio de Janeiro/RJ	Vitória/ES	517 Km	6,57

Fonte: Disponível em: <<http://maps.google.com.br>>, acessado em 2013.

Nesta circunstância, os riscos de atrasos referentes à entrega dos materiais são minimizados, porém a distribuição deve ser efetuada de maneira que os erros sejam reduzidos, evitando assim problemas com atrasos nas entregas aos clientes.

A Figura 21 exhibe o modelo esquemático 4. Este tem como foco a distribuição dos produtos acabados. A entrega dos materiais é feita com apenas um caminhão grande, seguindo, durante o transporte, uma rota entre os fornecedores, conforme proposto, também, no modelo 2. Após coleta dos produtos acabados na fábrica, a distribuição é feita por dois caminhões pequenos, destinando seu transporte um para cada CD.

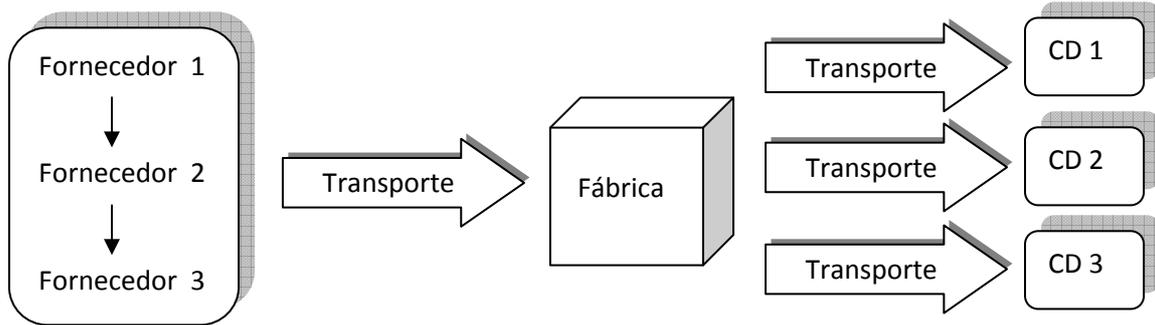


Figura 21 – Modelo Esquemático 4

O Quadro 8 detalha as quilometragens e tempos de viagem para cada transporte descrito no modelo esquemático 4.

Quadro 8 – Distâncias e tempos dos transportes do modelo esquemático 4

Transporte	Origem	Destino	Distância	Tempo estimado (h)
Fornec. 1 / Fornec. 2	Curitiba/PR	Santos/SP	396 Km	4,77
Fornec. 2 / Fornec. 3	Santos/SP	Belo Horizonte/MG	650 Km	7,25
Fornec. 3 / Fábrica	Belo Horizonte/MG	Campos/RJ	546 Km	7,02
Fábrica / CD 1	Campos/RJ	Rio de Janeiro/RJ	275 Km	3,45
Fábrica / CD 2	Campos/RJ	Vitória/ES	243 Km	3,17

Fonte: Disponível em: <<http://maps.google.com.br>>, acessado em 2013.

Como, neste caso, prioriza-se a distribuição dos produtos, há o risco de possíveis atrasos na entrega dos materiais dos fornecedores, sendo necessária uma boa comunicação com os mesmos, permitindo, assim, a redução de possíveis problemas relacionados à falta de material para a produção.

3.2 CÁLCULO DE EMISSÕES GASOSAS

O transporte é o setor de maior peso nas emissões de CO₂ no Brasil e têm o maior consumo final de combustíveis fósseis. Este é o setor que mais influenciou no aumento do crescimento das emissões em anos recentes.

Existem diversas normas para delimitar as emissões provenientes dos veículos automotores no âmbito mundial. O Brasil iniciou a implantação destas normas em 1989, com a fase 1 (P1) do Programa de Controle de Emissões Veiculares (PROCONVE), desde então foram iniciados outros programas até o mais recente P7. Em 1994 a União Europeia desenvolveu o Euro 0, e a partir de então as normas brasileiras passaram a seguir as normas Euro relativas às regras de emissões de poluentes dos automóveis vendidos nos países da União Européia. Atualmente o Brasil segue-se o P7 com níveis de emissões bem menores se comparados aos permitidos desde o início. O Quadro 9 descreve as principais normas e resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Quadro 9 – Normas Ambientais Brasileiras

Norma / Órgão	Data da Publicação	Resolução
<i>RESOLUÇÃO CONAMA nº 18, de 6 de maio de 1986</i>	17 de junho de 1986,	<i>Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores – PROCONVE.</i>
RESOLUÇÃO CONAMA nº 8, de 31 de agosto de 1993	31 de dezembro de 1993	<i>Complementa a Resolução no 18/86, que institui, em caráter nacional, o programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE, estabelecendo limites máximos de emissão de poluentes para os motores destinados a veículos pesados novos, nacionais e importados.</i>
RESOLUÇÃO CONAMA nº 315, de 29 de outubro de 2002	20 de novembro de 2002	<i>Dispõe sobre a nova etapa do Programa de Controle de Emissões veiculares – PROCONVE.</i>
RESOLUÇÃO CONAMA no 403, de 11 de novembro de 2008	12 de novembro de 2008	<i>Dispõe sobre a nova fase de exigência do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores- PROCONVE para veículos pesados novos (Fase P-7) e dá outras providências.</i>

Fonte: Brasil. Ministério do Meio Ambiente, 2011

Observe que a primeira resolução foi no ano de 1986, com a iniciação do PROCONVE, e a última em 2008 com as exigências para a fase P7.

A Tabela 2 apresenta o limite de emissões de CO para veículos pesados a diesel de acordo com os programas do PROCONVE da fase P1 a P7. Já a Tabela 3 descreve os limites das emissões dos principais gases poluentes dos veículos a diesel entre as fases P5 e P7.

Tabela 2 – Limite de Emissões de CO para veículos pesados a diesel (g/kW.h).

PROCONVE	Euro	Emissão de CO	Vigência	Norma (CONAMA)
P1	-	14,00	1989/1993	Res. 18/86
P2	Euro 0	11,20	1994/1995	Res. 08/93
P3	Euro 1	4,90	1995/1999	Res. 08/93
P4	Euro 2	4,00	2000/2005	Res. 08/93
P5	Euro 3	2,10	2006/2008	Res. 315/02
P6	Euro 4	1,50	2009/2012	Res. 315/02
P7	Euro 5	1,50	A partir de 2012	Res. 403/08

Fonte: Adaptado Brasil. Ministério do Meio Ambiente, 2011

Tabela 3 – Limites de emissões de veículos pesados

Poluentes	Limites		
	Fase P5	Fase P6	Fase P7
CO	2,1	1,5	1,5
THC	0,66	0,46	0,46
CH ₄	5	3,5	2,00
NO _x	0,10	0,02	0,02
MP	0,8	0,5	0,5

Fonte: Brasil. Ministério do Meio Ambiente, 2011

Dentre os principais gases poluentes emitidos pelos veículos a diesel, foi contemplado apenas o fator CO para o cálculo das emissões, por ser considerado um dos principais gases no aumento do efeito estufa. Desconsiderando então as emissões de THC, CH₄, NO_x e MP. Como referência para o cálculo das emissões,

foram utilizados os limites das fases P5 e P7, devido a boa parte da frota rodoviária brasileira ser antiga.

Com base nas hipóteses descritas, foram considerados dois modelos de caminhões (médio e grande porte). Os caminhões utilizados nas frotas de cada cenário foram definidos de acordo com o seu Peso Bruto Total Combinado Legal (PBTC). Este peso representa ao peso máximo transmitido ao pavimento pela combinação de um caminhão-trator mais seu semirreboque ou do caminhão e seu(s) reboque(s), com a respectiva potência máxima.

As potências em quilowatts (kW) utilizadas nos percursos foram as equivalentes à rotação por minuto (rpm) do motor próxima ao ponto de descontinuidade do gráfico potência x rpm das especificações técnicas de cada caminhão. A Tabela 4 descreve as especificações técnicas de cada modelo analisado.

Tabela 4 – Principais especificações dos caminhões

Categoria	Marca/Modelo	PBTC (kg)	Potência Máxima (kW)
Pequeno	MERCEDES	23.000	136,0
	ATRON 1319 4X2		
Grande	SCANIA	56.000	265,0
	P 360 CB6x4		

Fonte: Disponível em: <<http://www.scania.com.br>>, acessado em 2013 e disponível em: <<http://www.mercedes-benz.com.br>>, acessado em 2013

De acordo com Manicom et al (1993) as emissões geradas no transporte pela queima de combustível é uma função que inclui diversos parâmetros como: tipo de combustível, potência do motor e o tempo que o motor está funcionando. Os resultados obtidos pela pesquisa fornecem uma lista de coeficientes de emissão na unidade de gramas por quilowatt hora (g/kW·h) para vários tipos de combustíveis, incluindo diesel.

Assim, tem-se as relações apresentadas na Equação 1: (ZHOU E KUHL, 2010)

$$E(t) = CE * Pt * t \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

E(t): Emissões produzidas do veículo “x” ao longo do intervalo de tempo;

CE: Coeficiente de emissão (do veículo x);

Pt: Potência do caminhão em quilowatts (kW);

t: tempo “t” percorrido durante a viagem.

Já Bartholomeu e Caixeta-Filho (2008) propõe que os fatores de emissão dos veículos dependem das características do tráfego local, tais como o volume, a velocidade média, a inclinação da pista, do número de faixas de rolamento, tipos de veículos e classes de peso e indicativos do nível de serviço da pista. Além disso, os fatores de emissão de veículos também dependem da idade e tecnologia do veículo, assim como das condições de manutenção e operação (carga, velocidade e modo de conduzir).

A partir de então o autor utiliza a Equação 2 para este cálculo:

$$E = (CE * FE)/100 \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

E: Emissão média de CO pelos caminhões em kg CO₂/t.100 km;

CE: Consumo específico médio dos caminhões, em l/t.100km;

FE : Fator de emissão de CO pelo diesel

O consumo específico anula o possível efeito da variabilidade do peso da carga transportada, e indica a quantidade de litros consumida por tonelada transportada a cada 100 quilômetros, conforme a Equação 3:

$$CE = CC/(P*D*100) \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

CE = Consumo específico de combustível (l/t.100 km);

CC = Consumo de combustível (l);

P = Peso Bruto Total Combinado (t); e

D = Distancia percorrida (km)

As Equações 1 e 2 foram calculadas, e comparadas nos diferentes cenários propostos no item 4.1.

3.3 METODOLOGIA PARA SIMULAÇÃO PROPOSTA

Conforme descrito anteriormente, A emissão de gases é caracterizada como um modelo de simulação contínua, pois a saída de gases no escapamento dos veículos, a partir do momento que ele está ligado, é emitida de maneira ininterrupta. Para conciliar esta simulação contínua no sistema logístico, próprio da simulação a eventos discretos, foi utilizado, nos simuladores, um módulo específico para o cálculo. Este módulo, através de uma fórmula matemática, contabiliza e acumula a emissão de cada veículo, e, no final, faz um somatório, chegando a um valor total de gases emitidos.

A Figura 22 exemplifica como o módulo do simulador faz este cálculo do total de gases emitidos:

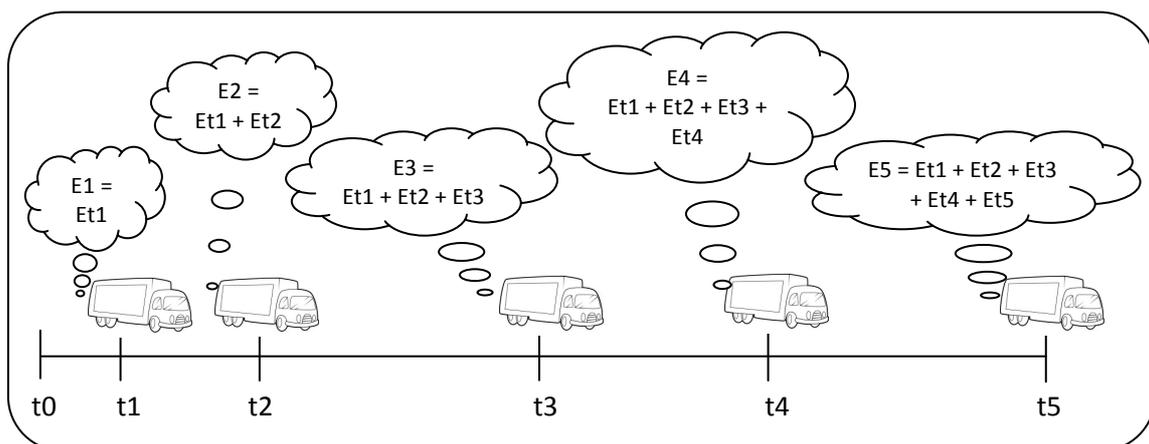


Figura 22 – Esquema que exemplifica a função do simulador
Fonte: Adaptado Freitas Filho, 2008.

onde,

$E1 = Et1$

$$E2 = Et1 + Et2$$

$$Ei = Et1 + Et2 + \dots + Etn$$

Logo: Etn é a emissão do veículo no instante i

Desta forma, o veículo percorre a rota no modelo, e a emissão é computada cumulativamente no decorrer do tempo. Ou seja, o veículo é a entidade e , em cada instante que ocorre um evento associado à lógica do sistema, um módulo do modelo calcula a emissão acumulada até aquele instante, chegando ao final com o somatório de todas as emissões veiculares. Assim, o modelo computa a emissão dos gases emitidos no sistema, além das outras variáveis relacionadas a aspectos logísticos, como *lead time* e tamanho do veículo.

O modelo de simulação contabiliza as emissões através da criação de variáveis. No funcionamento do modelo, cada vez que uma entidade, ou seja, o veículo, efetua o transporte de uma carga neste evento, essa variável calcula o quanto de gás foi emitido neste percurso. O cálculo é feito através de dados que são atribuídos à entidade como a potência do caminhão, o coeficiente de emissão, peso da carga e o tempo de transporte. Na Figura 23, o esquema exemplifica o cálculo das emissões gasosas no decorrer dos eventos no modelo de simulação.

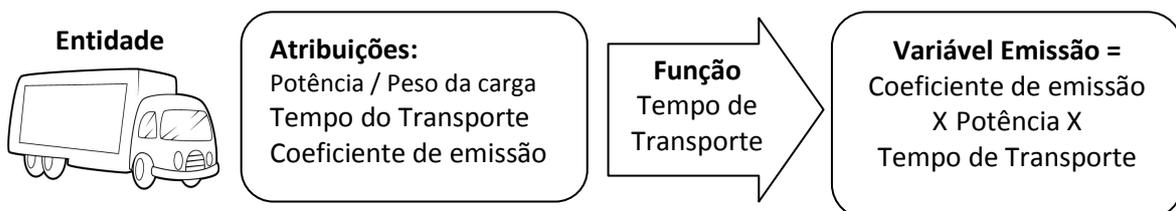


Figura 23 – Esquema que exemplifica ao cálculo das emissões gasosas no modelo de simulação

Observe que no momento em que a entidade é criada, no mesmo instante são atribuídos valores fixos a ela. Após a função tempo de transporte, calculada segundo os tempos previstos para determinada distância percorrida incluindo possíveis variações de tempo na viagem, a variável emissão calcula, a partir dos dados inseridos, o total de gás emitido no determinado percurso.

No ambiente de simulação do *software* Ururau, esse cálculo é feito através do elemento *Assign*, que permite a criação de atributos e variáveis no modelo.

Observe, na Figura 24, que o módulo E1 representa a entidade e, o módulo C1 o *Assign* do atributo de potência.

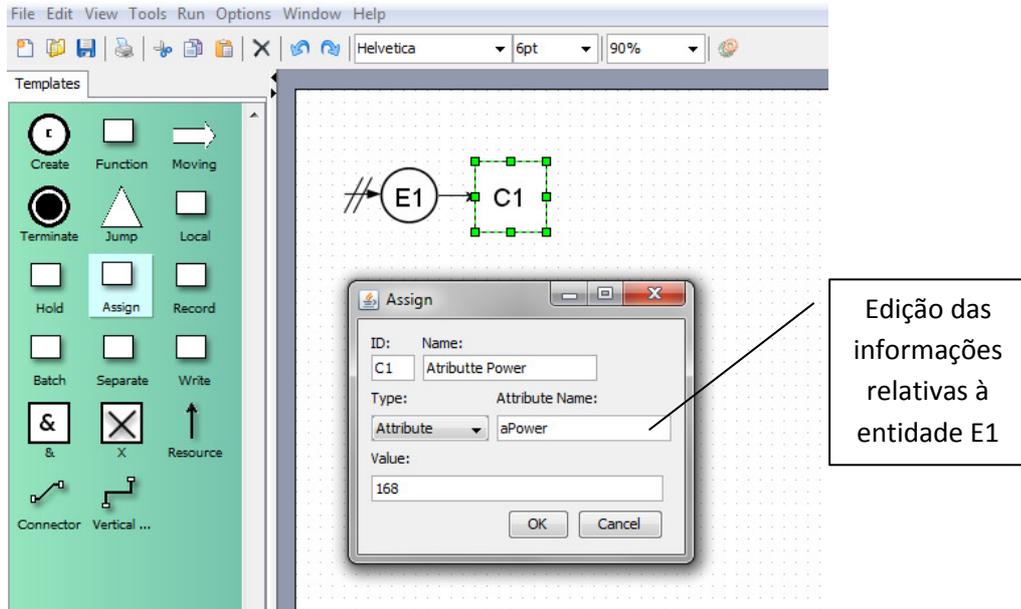


Figura 24 – Módulo *Assign* do atributo potência no ambiente de simulação do Ururau

Da mesma maneira, são criados os atributos de coeficiente de emissão e tempo de transporte, representados na Figura 25 pelos módulos C2 e C3. O módulo F1 representa o cálculo do tempo de transporte, através da função Normal.

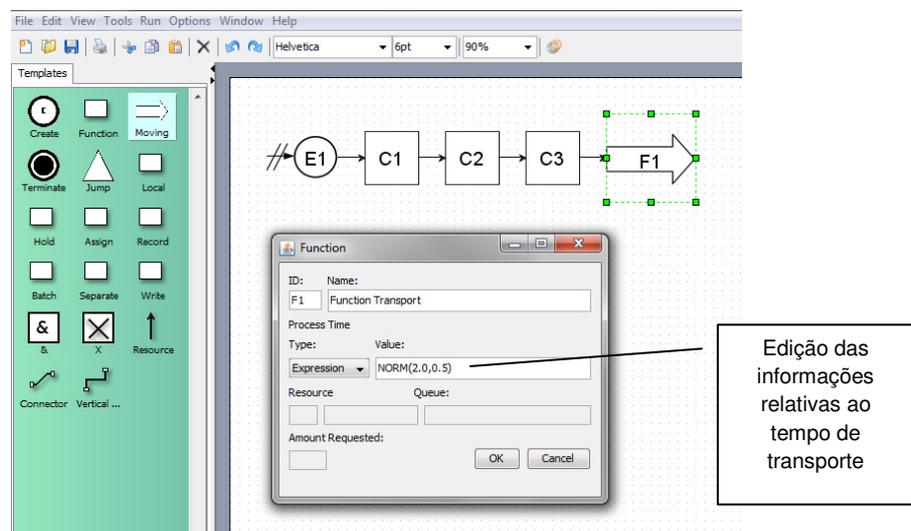


Figura 25 – Módulo *function* do tempo de transporte no ambiente de simulação do Ururau

Desta forma, o módulo F1 (seta cheia, Figura 25) permite computar a componente estocástica do sistema, através dos tempos relacionados à movimentação do veículo contabilizando, assim, o tempo do transporte com suas possíveis variações. Como exemplo, na Figura 25, “NORM” representa o tipo de função utilizada, “2.0” o tempo em horas do transporte e “0.5” a variação em horas deste transporte.

Observe, na Figura 26, que após a entidade percorrer módulo que representa o tempo de transporte, utilizando os valores atribuídos anteriormente, é feito o cálculo das emissões, neste percurso, pelo módulo *Assign C4* através da variável emissão.

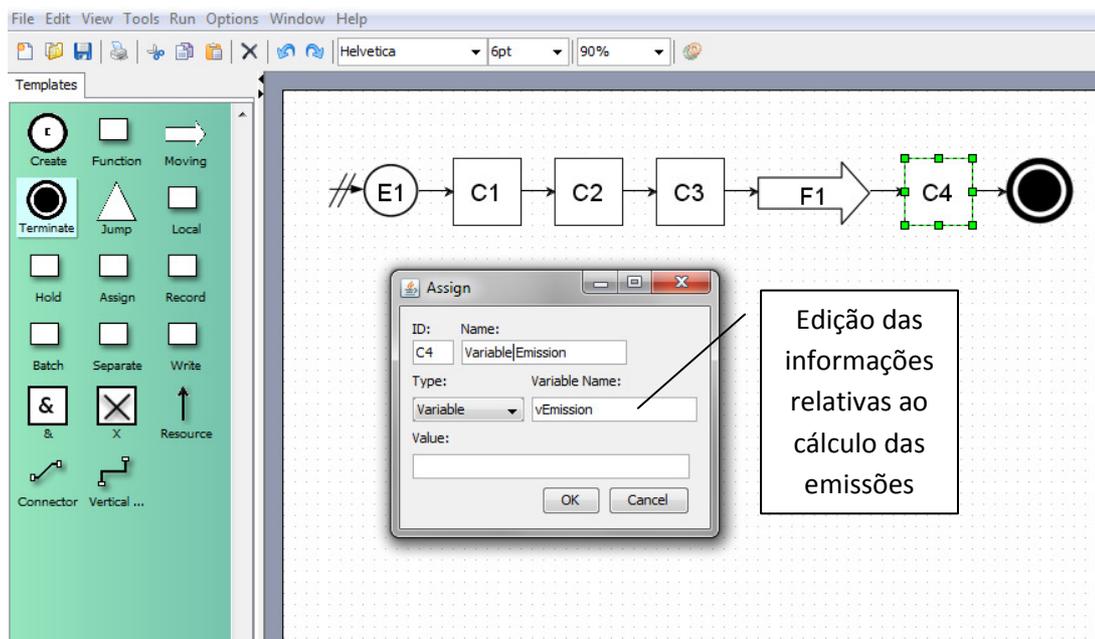


Figura 26 – Módulo *assign* da variável emissão no ambiente de simulação do Ururau

Caso ocorra um novo evento, ou seja, um novo transporte, a variável emissão contabiliza os valores referentes as emissões do primeiro transporte e, por sua vez, acumula com o valor referente ao segundo transporte. Isto possibilita, o cálculo do total de emissões em vários eventos de sistemas logísticos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MODELOS DE SIMULAÇÃO

A elaboração dos modelos de simulação, descritos a seguir, foram desenvolvida a partir da metodologia proposta por Freitas Filho (2008) de acordo com os seguintes passos: formulação e análise do problema hipotético, construção do modelo conceitual; construção do modelo de simulação, verificação e validação, experimentação e interpretação e análise estatística dos resultados.

Os modelos conceituais foram traduzidos para os *softwares* Ururau versão 0.5 e Arena versão *Free*. A linguagem utilizada para a construção dos modelos em Ururau é semelhante à linguagem conceitual IDEF-SIM proposto por Montevechi (2010), que representa sua dinâmica, bem como as funções existentes. Devido ao fato de o *software* Ururau utilizar os elementos lógicos desta linguagem conceitual, há facilidade em compreender o modelo em relação aos cenários descritos.

A partir dos dados descritos no item 3 e, também, através de entrevistas com empresas transportadoras, foi possível estabelecer as funções e as atribuições necessárias para os cálculos nos modelos logísticos simulados. As funções utilizadas nos modelos de simulação dos cenários 1, 2, 3 e 4 estão expostas nos Apêndices A e B. Os Apêndices são referente apenas aos cenários 1 e 2, uma vez que as funções utilizadas nos cenários 3 e 4 são semelhantes a estas, podendo, assim, ser compreendidos facilmente.

4.1.1 Modelo de Simulação – Cenário 1

A Figura 27 apresenta o modelo de simulação referente ao modelo esquemático 1. Observe a legenda de cores que relaciona os elementos do modelo em Ururau com a descrição do cenário respectivo, descrito no item 3.1.1. Assim, pode-se comparar a Figura 27 com a Figura 18. Note que, a parte com hachura clara em cinza, na Figura 27, é exatamente o Fornecedores 1, 2 e 3 na Figura 18. Também, observe que, a parte branca, na Figura 27, representa o Transporte na Figura 18. A parte com hachura no tom de cinza médio, na Figura 27, corresponde a Fábrica na Figura 18. Por fim, a parte com hachura cinza escuro, na Figura 27, equivale ao Centro de Distribuição CD1 e CD2 na Figura 18. Através desta demonstração, é possível identificar facilmente cada parcela, do modelo esquemático 1, no modelo de simulação representado na Figura 27.

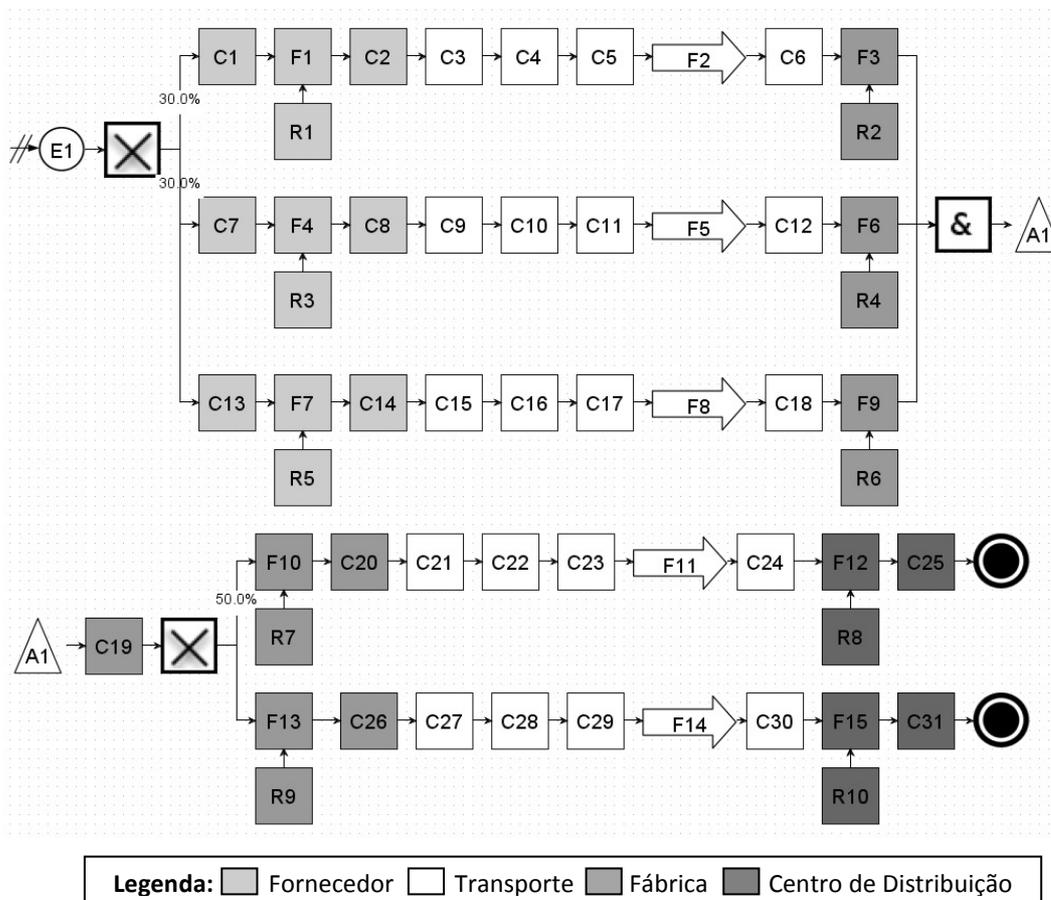


Figura 27 – Modelo em Ururau do cenário 1

Ainda, na Figura 27, observe que, as entidades são criadas pelo módulo E1, representando os caminhões pequenos utilizados para transporte dos materiais e dos produtos acabados. Ao passarem pelos módulos C1, C7 e C13 cada entidade recebe um valor atribuído de carga. Os carregamentos dos materiais são executados pelos módulos F1, F4 e F7, cada um com seu respectivo recurso de mão de obra. Nos módulos C2, C8 e C14, são criadas as variáveis referentes às cargas atribuídas anteriormente, finalizando, assim, os processos referentes ao fornecedor.

Nos módulos C3, C4, C9, C10, C15 e C16, são atribuídos os valores das potências e dos coeficientes de emissão. Nos módulos C5, C11 e C17, são atribuídas as funções tempo de transporte. Para contabilizar o tempo de transporte, foram utilizados os módulos F2, F5 e F8. O cálculo das emissões é contabilizado pelos módulos C6, C12 e C18. Por fim, o descarregamento dos materiais na fábrica é executado pelos módulos F3, F6 e F9, também utilizando recursos de mão de obra.

O módulo C19 atribui valor da carga produzida pela fábrica (produto acabado). Após a distribuição dos valores, os carregamentos são feitos pelos módulos F10 e F13, com seus respectivos recursos de mão de obra, são criadas as variável da carga que será transportada (C20 e C26).

Para a distribuição dos materiais, novamente são atribuídos valores para as potências e coeficientes de emissão (módulos C21, C22, C27 e C28), para as funções tempo de transporte (C23 e C29) e, efetuado o transporte dos produtos para os clientes pelos módulos F11 e F14. O cálculo da emissão corresponde aos módulos C24 e C30 e, por fim, são feitos os descarregamentos pelos módulos F12 e F15, também utilizando recursos de mão de obra.

Os módulos C25 e C31 contabilizam a variável tempo de transporte, a partir das funções tempo de transporte de cada trecho percorrido.

4.1.2 Modelo de Simulação – Cenário 2

O segundo modelo, Figura 28, corresponde ao modelo esquemático 2. Da mesma forma que na Figura 27, a legenda de cores, segue o mesmo padrão. Porém, neste modelo, as entidades criadas representam um caminhão que perfaz o transporte de todos os fornecedores de materiais para a fábrica e dos produtos acabados da fábrica para todos os clientes.

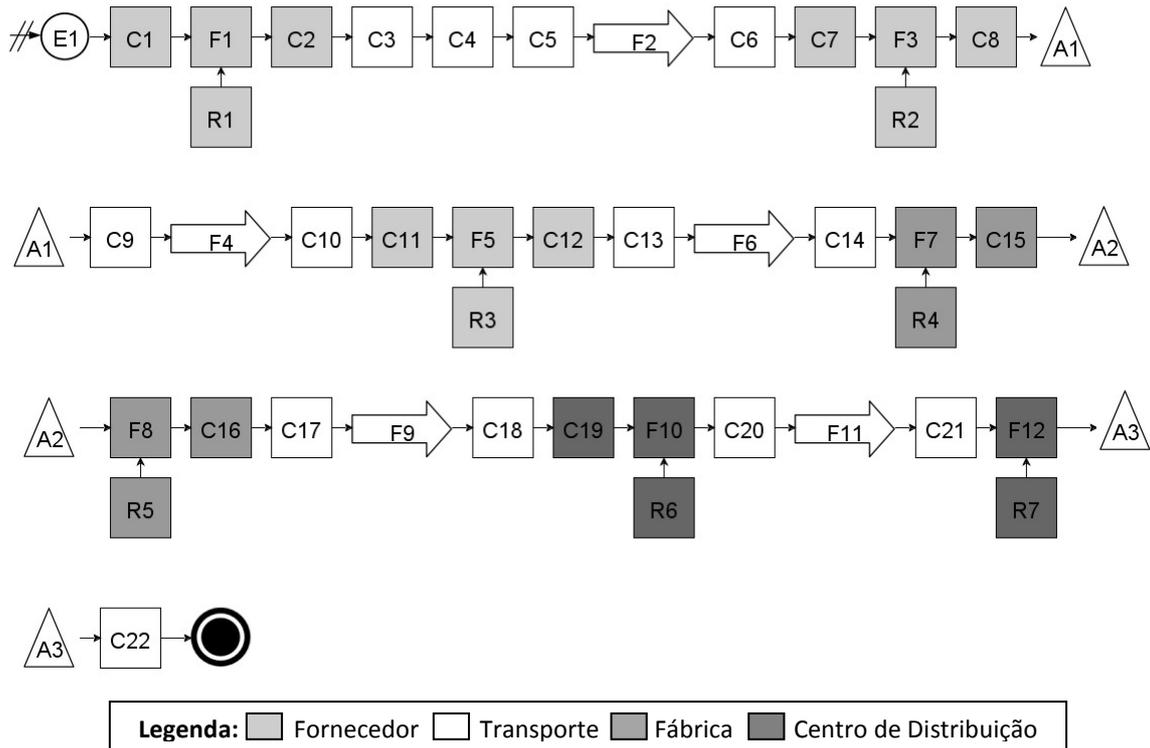


Figura 28 – Modelo em Ururau do cenário 2

Os caminhões, criados pelo módulo E1, recebem o valor atribuído à carga do fornecedor 1 no módulo C1 e, a partir de então, executa o carregamento do material na função F1. Cria a variável da carga referente ao fornecedor 1 no módulo C2 e, recebe os valores atribuídos potência e coeficiente de C3 e C4, respectivamente. O módulo C5, atribui a função tempo de transporte do fornecedor 1 para o fornecedor 2, o transporte é executado pelo módulo F2 e a emissão contabilizada no módulo C6. O módulo C7 cria novo atributo de carga, desta vez, para o fornecedor 2. O carregamento é feito pela função F3 e, então, a variável da carga é criada pelo módulo C8. O módulo C9 cria o atributo tempo de transporte do fornecedor 2 para o

fornecedor 3, o transporte é efetuado pelo módulo F4 e a emissão computada pelo módulo C10.

Para o fornecedor 3, os novos atributos de carga são criados pelo módulo C11. O carregamento é feito pelo módulo F5 e, a variável da carga pelo módulo C12. O atributo de transporte referente ao percurso do fornecedor 3 para a fábrica é representado pelo módulo C13, o transporte é feito pelo módulo F6 e a emissão contabilizada pelo módulo C14. O descarregamento de toda a carga de materiais é executado pelo módulo F7, o atributo correspondente aos produtos acabados pelo módulo C15 e, o módulo F8 realiza o carregamento de todos os produtos disponíveis.

O módulo C16 corresponde a variável da carga da fábrica. O atributo da função de transporte da fábrica para o cliente 1, corresponde ao módulo C17 e, então, é executado o transporte pelo módulo F9. O módulo C18 contabiliza as emissões e, o C19 cria a variável que será descarregada pelo módulo F10. O módulo C20 cria novos atributos de transporte, desta vez, do cliente 1 para o cliente 2 e, o módulo F11, executa o último transporte.

As emissões são calculadas pelo módulo C21 e, o descarregamento no cliente 2 é finalizado pelo módulo F12. Por fim, o módulo C22 contabiliza a variável tempo de transporte, a partir das funções tempo de transporte de cada trecho percorrido.

4.1.3 Modelo de Simulação – Cenário 3

O terceiro modelo, apresentado pela Figura 29, representa a fusão dos modelos 1 e 2 descritos anteriormente, nos itens 4.1.1 e 4.1.2, sendo neste, o foco na coleta de materiais. Note também que, a legenda de cores, segue o mesmo padrão que nos modelos anteriores.

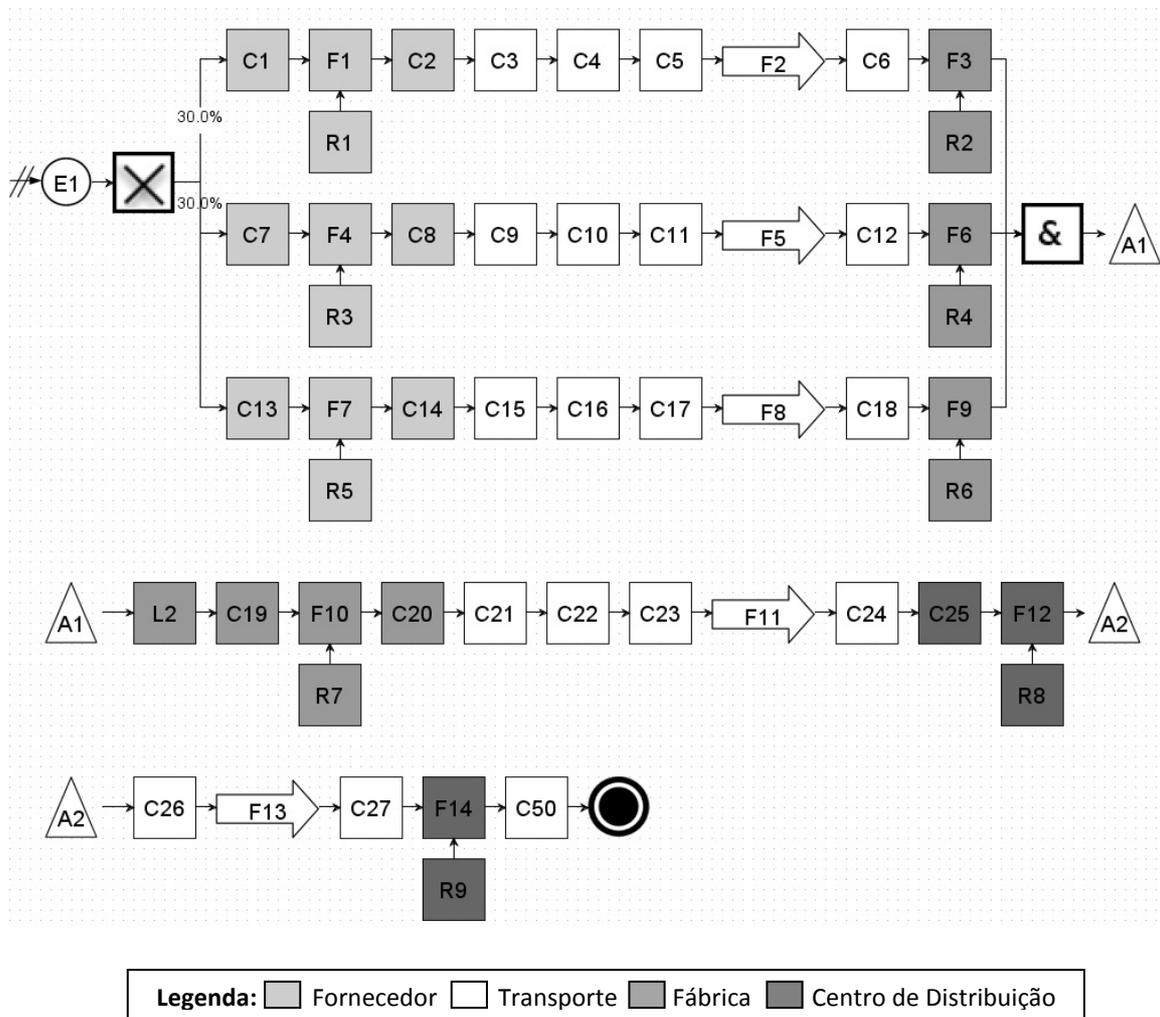


Figura 29 – Modelo em Ururuá do cenário 3

Observe, na Figura 29, que sua parte inicial (coleta de materiais) se assemelha ao modelo do cenário 1 e sua distribuição de materiais é semelhante ao modelo do cenário 2. A construção do seu modelo pode ser baseado nas descrições dos cenários anteriores.

4.1.4 Modelo de Simulação – Cenário 4

Da mesma maneira que no modelo 3, o modelo 4, representado pela Figura 30, expressa a fusão dos modelos anteriores, sendo, neste caso, o foco na

distribuição dos produtos acabados. Observe também que, a legenda de cores, corresponde ao mesmo parâmetro dos modelos anteriores.

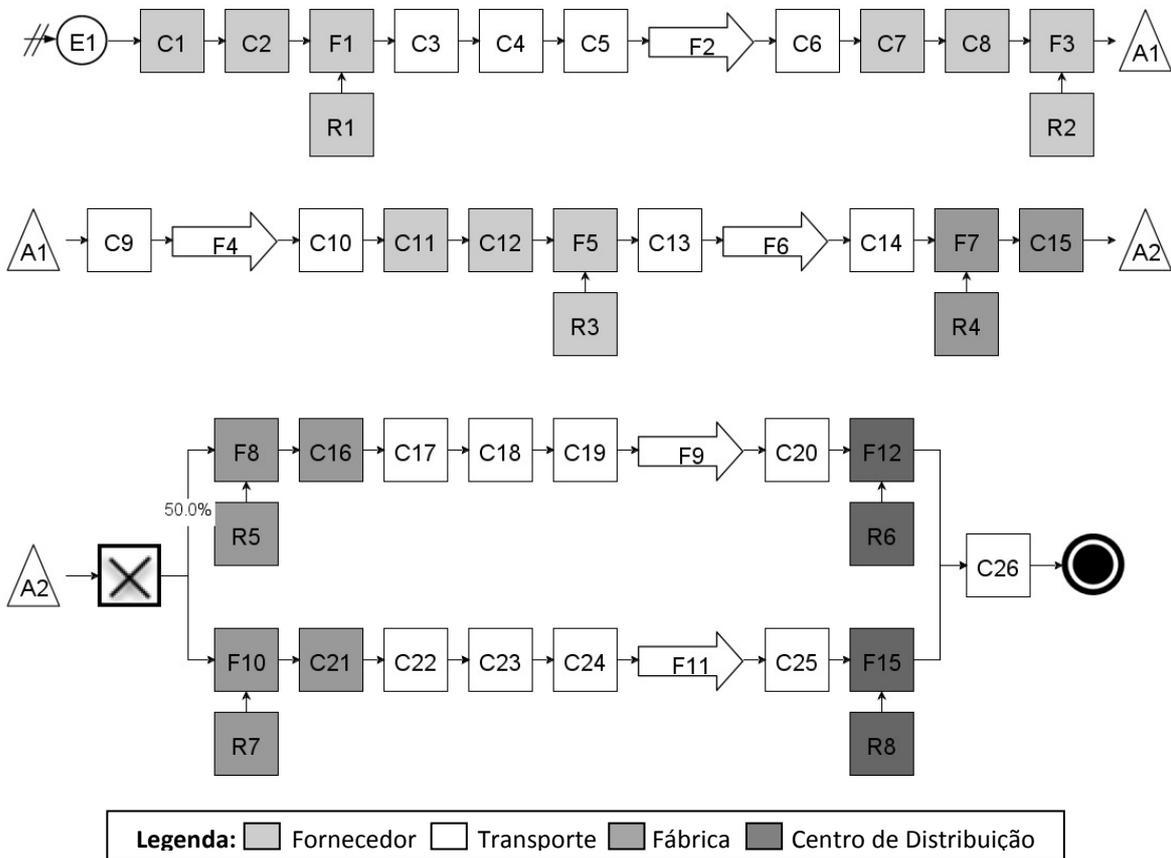


Figura 30 – Modelo em Ururuá do cenário 4

Na Figura 30, é possível observar que sua parte inicial (coleta de materiais) é semelhante ao modelo do cenário 2 e sua distribuição de materiais é corresponde à distribuição do modelo do cenário 1. Logo, a construção do seu modelo pode apoiar-se nas descrições dos cenários anteriores.

4.2 DESCRIÇÃO DAS SITUAÇÕES LOGÍSTICAS

A partir dos dados resultantes das informações descritas no capítulo 3 e, também, em entrevistas com empresas transportadoras, foi possível estabelecer as

funções e as atribuições necessárias para os cálculos nos modelos logísticos simulados.

Para o cálculo do tempo de transporte de cada viagem, foi utilizada a Função Normal. A função Normal pode ser utilizada sempre que a aleatoriedade for causada por várias fontes independentes, agindo de forma aditiva em torno de um ponto médio (FREITAS FILHO, 2008).

Na função do tempo de transporte, relacionou-se o tempo total do deslocamento em horas e o desvio padrão deste valor. A Tabela 5 descreve as funções utilizadas para cada viagem simulada.

Tabela 5 – Funções utilizadas no cálculo do Tempo de Transporte

Viagem	Função
Fornecedor 1 > Fábrica	NORM(8.85,2.0)
Fornecedor 2 > Fábrica	NORM(12.45,3.0)
Fornecedor 3 > Fábrica	NORM(7.02,1.5)
Fábrica > CD 1	NORM(3.45,1.0)
Fábrica > CD 2	NORM(3.17,1.0)
Fornecedor 1 > Fornecedor 2	NORM(4.77,1.5)
Fornecedor 2 > Fornecedor 3	NORM(7.25,2.0)
Fornecedor 3 > Fábrica	NORM(7.02,2.0)
Fábrica > CD 1	NORM(3.17,1.5)
CD 1 > CD 2	NORM(6.57,2.0)

O valor atribuído ao peso das cargas dos fornecedores (matéria prima) e da fábrica (produto acabado) foram estimados a partir de valores médios, em Kg, decorrente do tipo de caminhão escolhido como transporte. A Tabela 6 demonstra o valor destas cargas.

Tabela 6 – Valores das cargas

	Peso (Kg)
Fornecedor 1	20.000
Fornecedor 2	25.000
Fornecedor 3	10.000
Fábrica	50.000

Como função para o carregamento e descarregamento das cargas, foi estabelecido o valor que representa o tempo em que o recurso (equipe operacional) executa a operação.

Para a equipe que desenvolve o carregamento foi considerado que a atividade era executada em 4.000 Kg por hora, ou seja, para efetuar o carregamento de uma carga de 20.000 Kg, seriam necessárias 5 horas. Já para a equipe do descarregamento, foi considerada que a atividade era desenvolvida em 6.000 Kg por hora.

A partir dos dados descritos, às funções para o carregamento e descarregamento foram obtidas através da razão entre o peso da carga transportada e, o tempo gasto com a execução da atividade por hora, resultando no tempo total gasto com a atividade em horas.

4.3 PARÂMETROS DE EXECUÇÃO DOS EXPERIMENTOS SIMULADOS

Durante a etapa de verificação e validação, os modelos conceituais foram testados nos ambientes de simulação dos *softwares* Arena e Ururau, e por sua vez comparados os resultados obtidos, sendo assim considerados aptos para a etapa de experimentação e análise dos resultados. Na etapa de experimentação, os modelos simulados foram executados apenas no *software* Ururau.

Na construção do modelo foi considerado que um dia possui 24h, caracterizando assim, o modelo como de um sistema terminal. Foram utilizados como parâmetros para a execução do modelo 10 replicações, possibilitando melhores resultados médios nos relatórios de análises.

4.4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para a análise dos resultados dos cenários simulados, foram contabilizadas 4 variáveis, sendo estas: tempo de transporte; *lead time*; emissão total com frota de veículos antigos (utilizando o coeficiente de emissão da fase P5); e emissão total com frota de veículos novos (utilizando o coeficiente de emissão da fase P7). O

tempo de transporte representa o tempo total percorrido pela entidade durante as viagens; o *lead time*, o tempo total desde o primeiro carregamento, incluindo as viagens percorridas, até o último descarregamento; e a emissão total contabiliza as emissões de todas as viagens percorridas com a frota antiga e com a nova, a partir do somatório das emissões contabilizadas pelos 5 trechos percorridos. Para caracterizar a diferença das frotas antiga versus nova, foi utilizado os coeficientes de emissão das fases P5 e P7, considerando assim, frota antiga como os veículos entre os anos de 2006 a 2008 e a frota nova como os veículos a partir de 2012. Os resultados obtidos estão demonstrados na Tabela 7 a seguir.

Tabela 7 – Resultados dos cenários simulados

Variável	Cen. 1	95% IC*	Cen. 2	95% IC*	Cen. 3	95% IC*	Cen. 4	95% IC*
Tempo de Transporte (h)	15,46	3,64	28,77	2,91	19,74	4,86	22,05	3,20
Lead Time (h)	80,56	5,16	95,68	3,46	62,30	1,47	96,22	3,64
Emissão 1 (frota antiga)	8801,92	4149,08	5469,99	2650,82	12735,72	6940,42	8274,00	2764,25
Emissão 2 (frota antiga)	17468,53	4894,17	17318,55	2624,76	25234,66	8618,02	27140,81	4575,22
Emissão 3 (frota antiga)	5463,01	1365,68	27779,62	5459,74	7706,95	2967,93	38464,51	5314,58
Emissão 4 (frota antiga)	8417,43	2265,35	9088,77	1180,99	8686,02	2328,71	5173,84	1176,51
Emissão 5 (frota antiga)	6205,94	1717,25	8734,68	453,67	9020,98	815,45	4450,24	1261,11
Emissão Total Frota Antiga (g)	46356,81	14346,53	68391,61	12369,98	63384,31	21670,53	83503,40	15091,67
Emissão 1 (frota nova)	6287,08	2454,10	3907,14	1050,27	9096,94	4957,46	5910,00	1974,47
Emissão 2 (frota nova)	12477,52	3345,05	12370,39	1304,27	18024,75	6155,73	19386,29	3268,01
Emissão 3 (frota nova)	3902,15	943,30	19842,58	5512,32	5504,96	2119,95	27474,65	3796,13
Emissão 4 (frota nova)	6012,45	959,03	6491,98	1114,88	6204,30	1663,36	3695,60	840,37
Emissão 5 (frota nova)	4432,81	705,35	6239,06	1070,66	6443,56	582,47	3178,74	900,79
Emissão Total Frota Nova (g)	33112,01	8406,83	48851,15	10052,40	45274,51	15478,97	59645,28	10779,77

*IC: Intervalo de Confiança

A partir dos resultados apresentados na Tabela 7, os valores obtidos para o cenário 1 (usando 5 caminhões pequenos) apresentam o menor tempo de transporte dentre os demais cenários, porém não possui o menor *lead time* devido ao maior número de carregamentos e descarregamentos durante o processo. Já, em relação às emissões de gases, o mesmo cenário, dispõe do menor valor em relação aos outros, em virtude de possuir viagens de menor percurso com caminhões pequenos.

O cenário 2 (usando 2 caminhões grandes) possui o maior tempo de transporte dentre os demais; apresenta, também, lead time e emissões elevados. Já, o cenário 3 (usando 3 caminhões pequenos e 1 grande) detém o menor *lead time* entre os demais cenários, porém não possui a menor quantidade de gases emitidos. Por fim, o cenário 4 (usando 1 caminhão grande e dois pequenos) apresenta a maior quantidade de gases emitidos, tendo também o maior *lead time* dentre todos os cenários simulados.

Como esperado, os valores obtidos pelas variáveis tempo de transporte e emissões totais são proporcionais, pois à medida que aumenta o tempo de transporte verifica-se, também, o aumento das emissões.

Há, também, relação proporcional entre as variáveis emissão total com frota antiga e emissão total com frota nova. Pode-se observar, na Tabela 8, que, ao serem alterados os valores dos coeficientes de emissão entre os cenários simulados, obtém-se redução de 29% em relação aos valores adquiridos. Como previsto, quanto mais antiga a frota, maior será a emissão de gases.

Tabela 8 – Proporção entre as emissões dos cenários simulados com frota antiga e frota nova

Emissão Total (g/kWh)	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Frota Antiga	46356,814	68391,608	63384,314	83503,397
Frota Nova	33112,010	48851,149	45274,511	59645,284
Diferença Percentual	-29%	-29%	-29%	-29%

No entanto, entre as variáveis *lead time* e emissão total, não há relações de proporcionalidades bem definidas. Observa-se, até mesmo, que alguns cenários são inversamente proporcionais, ou seja, em alguns casos o *lead time* aumenta quando comparado de um cenário para outro e, a emissão ao invés de aumentar, diminui na comparação entre os cenários. Também, é possível observar, que estas relações não seguem um padrão bem definido quando comparadas.

A Figura 31 reproduz os resultados descritos pela Tabela 7 aos valores obtidos pelas variáveis *lead time* e emissão total com frota nova, proporcionando, assim, auxílio na comparação entre os cenários.

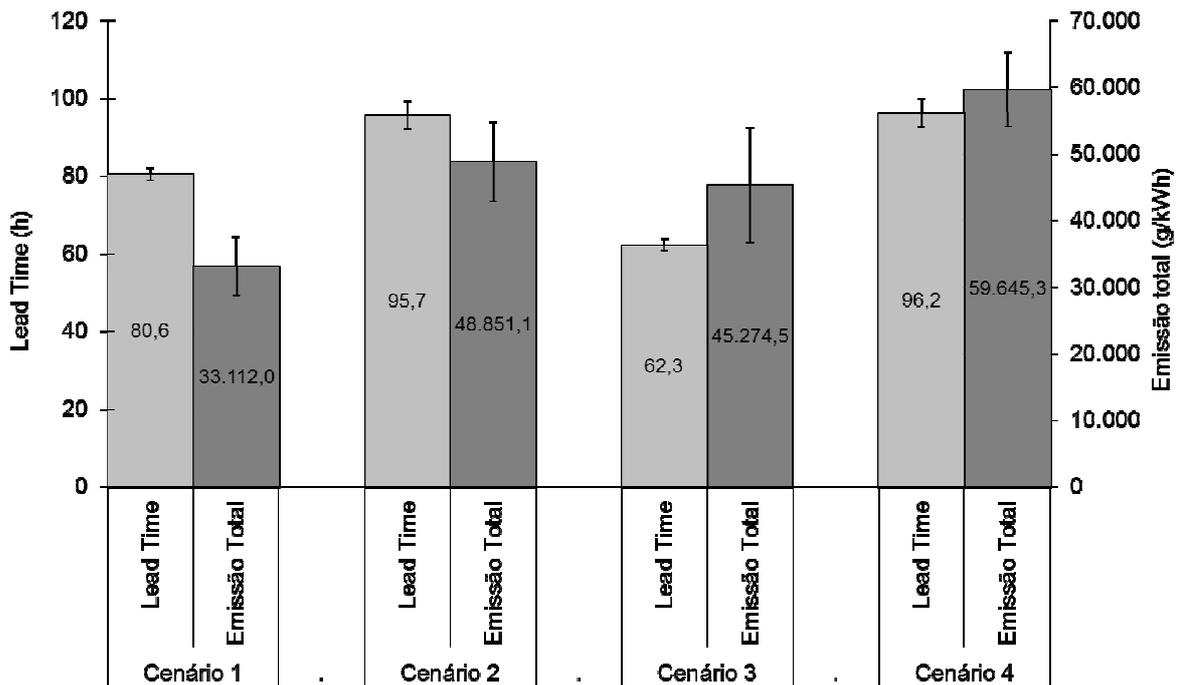


Figura 31 – Comparação entre os cenários

Observe, na Figura 31, que, quando comparado o cenário 1 com o cenário 2, ocorre aumento do *lead time*, de 80,6 h para 95,7 h, assim como aumento na emissão total, de 33.112,0 g/kWh para 48.851,1 g/kWh. Porém, quando relaciona-se o cenário 1 com o cenário 3, os valores são inversamente proporcionais, ou seja, apesar de haver redução no *lead time* de 80,6 h para 62,3 h, a emissão caracteriza o aumento de 33.112,0 g/kWh para 45.274,5 g/kWh. Com isso, é possível identificar que não há relações proporcionais entre as variáveis comparadas dos cenários simulados.

A Figura 32 mostra a comparação entre a mudança percentual (% Δ C) de um cenário fixo em relação aos demais. Esta razão é feita entre as variáveis *lead time* e a emissão total a partir dos resultados representados na Tabela 6. A % Δ Cé calculada pela equação 3, onde o cenário de referência é chamado de cenário fixo (CF) e os outros são chamados de novos cenários (NC).

$$\% \Delta C = [(NC / CF) - 1] * 100\% \quad (3)$$

Assim, torna-se possível compará-las percentualmente, analisando as oscilações destas variáveis.

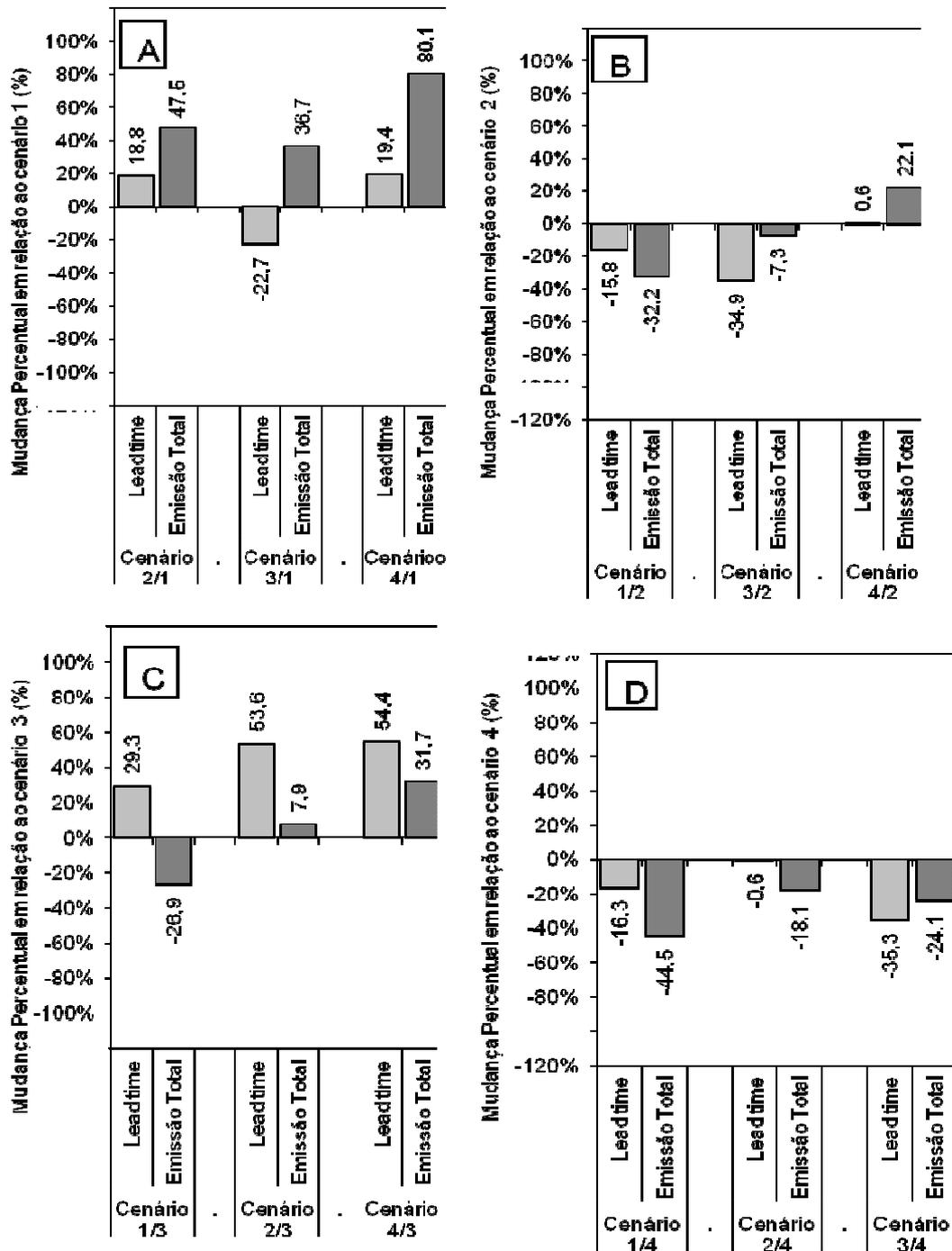


Figura 32 – Mudança percentual de um cenário fixo em relação aos demais cenários. (a) Mudança do cenário 1 em relação aos demais cenários. (b) Mudança do cenário 2 em relação aos demais cenários. (c) Mudança do cenário 3 em relação aos demais cenários. (d) Mudança do cenário 4 em relação aos demais cenários.

No item A da Figura 32, observa-se a comparação do cenário 1 em relação aos demais. Note que, quando fixado em relação ao cenário 2, o valor percentual do *lead time* teve um aumento de 18,8%, porém, a emissão total obteve o acréscimo de 47,5%. Já, em relação ao cenário 3, o *lead time* foi reduzido em 22,7%, sendo que a emissão aumentou em 36,7%. Quando comparado com o cenário 4, o *lead time* aumentou apenas 19,4% e a emissão, 80,1%, comprovando, assim, que as mudanças percentuais entre os cenários não são proporcionais.

Já, no item B da Figura 32, verifica-se também que, quando fixado o cenário 2 e, por sua vez, comparado, em relação aos outros, as diferenças percentuais em sua maioria são negativas. Pode-se observar que houve a redução tanto do *lead time* quanto das emissões em relação aos cenários 1 e 3, porém, estas alterações não foram proporcionais. Repare que, relacionado ao cenário 1, houve reduções de 15,8% no *lead time* e de 32,2% na emissão total. Já, em relação ao cenário 3, a redução do *lead time* foi para 34,9% e a emissão total, para apenas 7,3%. Quando comparado com o cenário 4, há aumento tanto no *lead time* quanto nas emissões, permitindo, assim, também conferir que essas variações não são proporcionais.

Como observado nas figuras anteriores, o mesmo ocorre nas comparações demonstradas pelo item C da Figura 32, quando o cenário 3 é relacionado com os demais. Com destaque para as variações em relação ao cenário 1, onde houve o aumento de 29,3% no *lead time* e redução de 26,9% na emissão total. Quando equiparado ao cenário 2, o *lead time* e a emissão total caracterizaram aumento de 53,6% e 7,9%, respectivamente.

No item D da mesma Figura, o cenário 4 é igualado aos demais, e todas as comparações indicam a redução das variáveis. Porém, note que quando relacionado ao cenário 1, há maior redução na emissão total com o valor de 44,5% e menor, no *lead time* com 16,3%. No entanto, em relação ao cenário 3, essas reduções são invertidas com 35,3% no *lead time* e 24,1% na emissão total.

Através dos resultados encontrados, constata-se que nem sempre o sistema logístico que emite menos gases poluentes será o que possui menor *lead time*. O melhor cenário, do ponto de vista econômico, é aquele que demanda menos tempo do *lead time* representado através do cenário 3. Porém, o que corresponde ao

sistema logístico mais sustentável é o cenário 1, por ser aquele que emite menos gases poluentes.

Observa-se, também, que, quando analisados *trade-offs* de variáveis econômicas e ambientais, surge a necessidade de avaliar qual será o cenário que terá a melhor relação “custo benefício sustentável”, ou seja, de avaliar o cenário que atenderá aos limites de tempo dentro da programação da empresa e que também esteja dentro dos limites sustentáveis de emissão de gases poluentes.

A partir dos resultados apresentados, é possível destacar que não existe um padrão entre os valores obtidos para interpretar a relação de uma variável de desempenho logístico com as emissões gasosas, ou seja, cada arranjo logístico apresentado pode gerar uma melhoria no aspecto do desempenho ou custo, e contrastar com o aspecto ambiental, confirmando a hipótese levantada por Byrne et al (2010). Porém, nesta dissertação foi dada maior ênfase às estruturas típicas da cadeia de suprimentos, comparando-as e, constatando esta hipótese em vários sistemas logísticos.

Portanto, esta pesquisa apurou que, simples cálculos que contabilizem emissões de sistemas logísticos não são suficientes para capturar as variáveis dinâmicas do processo. Porém, com o uso da SED, é possível comparar quais cenários possuem maiores benefícios ambientais, além de analisar as variações econômicas do sistema.

Ainda analisando os principais resultados encontrados, não é possível identificar o melhor cenário, pois para isso seria necessário a utilização de métodos de otimização. Porém, neste caso, há possibilidade de através de *trade offs* indicar o modelo mais econômico, ou mais sustentável. Então, partindo desde conceito, o cenário 3 possui o menor *lead time*, assim, pode ser considerado o mais econômico. Por outro lado, o cenário 4 com o menor nível de emissão total, pode ser considerado o mais sustentável.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

O trabalho testou a possibilidade de cálculo com o *software* Ururau como um mecanismo para análises de emissões gasosas em sistemas logísticos, concluindo que o *software* pode realizar esta atividade. A utilização do *software* Ururau proporciona a pequenas e médias empresas uma ferramenta que avalia seus sistemas logísticos e contabiliza suas emissões sem custos relacionados às simulações.

Durante muitos anos, os estudos relacionados às análises de sistemas logísticos estavam voltados à verificação de variáveis temporais e financeiras como: *lead time*, tempo de transporte, custo de transporte dentre outros. Estas análises proporcionaram maior eficiência dos sistemas, levando ao aumento em larga escala de sua utilização e, conseqüentemente, ao aumento dos impactos ambientais.

Algumas publicações recentes abordaram esta análise através da SED, permitindo contabilizar o impacto ambiental. Porém, não foram verificados, através dos modelos, as influências que as variações dos sistemas logísticos acarretariam nessas emissões.

Por outro lado, a utilização de *softwares* de SED por empresas que possuem sistemas logísticos envolvem custos altos com licenças anuais, impossibilitando pequenas e médias empresas de praticarem tais análises ambientais de seus sistemas logísticos.

O trabalho em questão, definiu estruturas de sistemas logísticos na cadeia de suprimentos, desenvolvendo 4 modelos esquemáticos de sistemas logísticos hipotéticos a partir dos modelos de roteirização propostos por Ballou (2006). Encontrou modelos matemáticos que, possibilitaram o cálculo das emissões gasosas em veículos automotivos através da equação definida por Zhou e Kuhl (2009).

Definiu também, como medida de desempenho na cadeia de suprimentos as variáveis: tempo de percurso e *lead time*, que foram utilizadas como parâmetros dos modelos simulados e associadas às variáveis de emissões de gases. Assim, foi possível a construção dos modelos de simulação para as diferentes situações dos sistemas logísticos propostos que, após serem introduzidas no *software* Ururau, realizaram-se os experimentos descritos possibilitando então a análise dos resultados.

O estudo proporcionou a comparação entre sistemas, avaliando variáveis temporais, comumente utilizadas por profissionais de logística, permitindo também analisar seu impacto ambiental. Possibilitou-se assim, o apoio em decisões na escolha de sistemas logísticos mais sustentáveis.

Apesar de o trabalho não apresentar o cálculo completo das emissões gasosas com todos os gases que, normalmente, são emitidos por veículos, a estrutura do artigo permite que, uma vez estabelecido o mecanismo completo de cálculo, o mesmo seja facilmente inserido aos modelos.

Outra questão que vale destacar relaciona-se com a possibilidade de construção de outros modelos de estruturas logísticas, ou seja, baseado na estrutura do trabalho, outros analistas podem baixar o *software* livre e de código aberto Ururau. Assim, sendo possível, elaborar diferentes sistemas de transporte de cargas e analisar as variáveis de interesse associadas às emissões gasosas produzidas pelos veículos. Desta maneira, possibilitando obter o melhor sistema logístico com equilíbrio entre custo e sustentabilidade.

5.2 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

O trabalho limitou-se na utilização de apenas 4 cenários de sistemas logísticos hipotéticos, apesar dos cenários representarem modelos genéricos com dados próximos dos reais, os mesmos não representaram um sistema real.

Quanto às emissões de gases, utilizou-se apenas o gás poluente CO como base de cálculo, desconsiderando os demais gases, pois a intenção era de testar os mecanismos de cálculo do *software* Ururau.

Utilizou-se também como parâmetro para simulações apenas coeficientes de emissões de veículos movidos a diesel, uma vez que a intenção era simular a frota de veículos de carga, que em sua maioria são movidos à este combustível.

Apesar dos resultados obtidos terem sido comparados com o *software* Arena, outra limitação do trabalho foi a não realização de testes exaustivos com o *software* Ururau. O software é uma nova ferramenta para este tipo de análise, logo a proposta inicial era verificar a sua utilização neste tipo de análise.

5.3 TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros propõem-se a comparação de outros sistemas logísticos, incluindo também a análise de outras variáveis como custos logísticos envolvidos e utilização de outras roteirizações.

Algo que poderia também ser realizado em próximos trabalhos seria a comparação entre combustíveis da frota como o cálculo utilizando o diesel comum e depois utilizando o biodiesel. Ou também a inclusão de outros gases poluentes no cálculo das emissões.

Além disso, trabalhos futuros poderão ser realizados aplicando-se novos testes em Ururau com outras metodologias de cálculo para emissões gasosas.

Outra opção para novos trabalhos seria a análise dos modelos utilizando o método de otimização, possibilitando a escolha do melhor sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, J. G.; **Transporte rodoviário de cargas no Brasil: Mercado atual e próximas tendências**. ILOS: Instituto de Logística e Supply Chain, Rio de Janeiro, 10 jan. 2011. Artigos. Disponível em: <<http://www.ilos.com.br>>. Acesso em 5 ago. 2013.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BARCELOS, M. W. ; PEIXOTO, T. A. ; RANGEL, J. J. A.. Simulação a eventos discretos para análise da emissão de monóxido de carbono em um sistema de transporte de carga. In: ENCONTRO MINEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2013, Juiz de Fora - MG. **Anais...** Juiz de Fora-MG: EMEPRO, 2013.

BARTHOLOMEU, D. B. **Quantificação dos impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras**. 2006. Tese. Universidade Estadual de São Paulo (USP), Piracicaba-SP, 2006.

BARTHOLOMEU, D. B.; CAIXETA-FILHO, J. V.. Impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras: um estudo de caso. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, SP, vol. 46, n. 03, p. 703-738, jul/set 2008.

BOWERSOX, D. J. & CLOSS, D. J. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento**. São Paulo: Atlas, 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução n. 18, de 06 de maio de 1986. Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores – PROCONVE. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 17 de junho de 1986.

_____. Resolução n. 8, de 31 de agosto de 1993. Complementa a Resolução no 18/86, que institui, em caráter nacional, o programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), estabelecendo limites máximos de emissão de poluentes para os motores destinados a veículos pesados novos, nacionais e importados. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 31 de dezembro de 1993.

_____. Resolução n. 315, de 29 de Outubro de 2002. Dispõe sobre a nova etapa do Programa de Controle de Emissões Veiculares (PROCONVE). **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 20 de novembro de 2002.

_____. Resolução n. 403, de 11 de novembro de 2008. Dispõe sobre a nova fase de exigência do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) para veículos pesados novos (Fase P-7) e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 12 de novembro de 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Manual do Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008.

BYRNE, P. J.; HEAVEY, C.; RYAN, P.; LISTON, P.; Sustainable supply chain design: capturing dynamic input factors. **Journal of Simulation**, Palgrave Macmillan, 2010, v. 4, p. 213–221.

CAIXETA-FILHO, J. V.; MARTINS, R. S.; **Gestão logística do transporte de cargas**. São Paulo: Atlas, 2011.

CAMIOTO, F. C.; REBELATTO, D. A. N.; Emissões de CO₂ pelos setores industriais: um auxílio às políticas públicas ante ao desafio das mudanças climáticas globais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Belo Horizonte/MG, 2011. **Anais...** Belo Horizonte-MG: ENGENEP, 2011, p. 1- 14.

CARDOSO, L. D.; MOREIRA, E. C. G.; RANGEL, J. J. A.; Modelo de simulação a eventos discretos para análise de inventário de emissões de CO. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Bauru - SP, 2011. **Anais...** Bauru-SP: SIMPEP, 2001.

CARDOSO, L. D. ; RANGEL, J. J. A. ; GUIMARAES, E. R. S.; VIANNA, D. S.. Simulation optimization model for analysis of inventory of carbon monoxide emissions. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND OPERATIONS MANAGEMENT. Guimarães - Portugal., 2012. **Proceedings...** Guimarães-PT: ICIENGOM, 2012. p. 1-10.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações.** São Paulo: Bravarte, 2006.

DELARUE, E.; LAMBERTS, H.; D'HAESELEER, W.; Simulating greenhouse gas (GHG) allowance cost and GHG emission reduction in Western Europe. **Journal Energy**, Boston-US, 2007, v. 32, p. 1299–1309.

FIGUEIREDO, K. F.; FLEURY, P. F.; WANKE, P.; **Logística e gerenciamento das cadeias de suprimentos: planejamento do fluxo de produtos e dos recursos.** São Paulo: Atlas, 2006.

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

GARCIA, J. C. C.; SPERLING E. V.; Emissão de gases de efeito estufa no ciclo de vida do etanol: estimativa nas fases de agricultura e industrialização em Minas Gerais. **Journal of the Sanitary Engineering Division**, Boston-US, v.15, n.3, 2010, p. 217-222.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O.; **Energia, meio ambiente e desenvolvimento.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2011.

GRAHAM, L. A.; RIDEOUT, G.; ROSENBLATT, D; HENDREN, J. Greenhouse gas emissions from heavy-duty vehicles. **Journal Atmospheric Environment**, Boston-US, v. 42, 2008, p. 4665–4681.

HARREL, C. R.; MOTT, J. R. A; BATEMAN, R. E.; BOWDEN, R. G.; GOGG, T. J.; **Simulação: otimizando os sistemas.** 2. ed.. São Paulo: IMAM – Belge, 2002.

IANNONI, A.P.; MORABITO, R. Análise do Sistema Logístico de Recepção de Cana-de-Açúcar: Um Estudo de Caso Utilizando Simulação Discreta. **Revista Gestão e Produção**, São Carlos, SP, V. 9, N. 2, 2002, p.107-128.

IEA STATISTICS. **CO₂ Emissions from Fuel Combustion**. Paris: Highlights, 2011.

IGNACIO, A. A. V.; SIMÃO R. S.; Custos de transporte e emissão de CO₂ no escoamento da soja no corredor noroeste. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Bauru - SP, 2011. Anais.... Bauru-SP: SIMPEP, 2011.

KLOESS, M.; MÜLLER, A.; Simulating the impact of policy, energy price sand technological progress on the passenger car fleet in Austria - A model based analysis 2010–2050. **Journal Energy Policy**, Elsevier, 2011, v. 39, p. 5045–5062.

COSTA, F. S.; GOMES, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; Métodos para avaliação das emissões de gases do efeito estufa no sistema solo-atmosfera. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.2, 2006, p.693-700.

KULAY, L. A.; MIRAGLIA S. G. E. K.; HUMMEL, N. L.; Critérios de sustentabilidade dos projetos brasileiros de mecanismo de desenvolvimento limpo; **Revista Gestão da Produção, Operação de Sistemas**, v. 4, n. 1, 2009, p. 43-57.

LI, G. C.; HUANG, G.H.; LIN, Q. G.; ZHANG, X. D.; TAN, Q.; CHEN, Y. M.; Development of a GHG-mitigation oriented inexact dynamic model for regional energy system management. **Journal Energy**, Boston-US, v. 36, 2011, p. 3388-3398.

LOUREIRO, L.N. **Panorâmica sobre emissões atmosféricas estudo de caso:** avaliação do inventário emissões atmosféricas da região metropolitana do Rio de Janeiro para fontes móveis. 2005. Dissertação. (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2005.

LUGATO, E.; ZULIANI, M.; ALBERTI, G.; VEDOVE G. D.; GIOLI, B.; MIGLIETTA, F.; PERESSOTTI, A.; Application of DNDC biogeochemistry model to estimate greenhouse gas emissions from Italian agricultural areas at high spatial resolution. **Journal Agriculture, Ecosystems and Environment**, Boston-US, v. 139, 2010, p. 546–556.

MACEDO, M. A.; MELLO, J. C. C. B. S.; GOMES, E. G.; Modelo para redistribuição de cotas de emissão de gases do efeito estufa baseado em medidas de eficiência técnica. **Revista Gestão e Produção**, São Carlos, v. 17, n. 3, p. 513-524, 2010.

MANICOM, B., C. GREEN, C., AND W. GOETZ. Methyl Soyate Evaluation of Various Diesel Blends in a DDC 6v-92 TA Engine. In: ORTECH INTERNATIONAL, Mississauga, Ontario - Canadá: 1993. **Proceedings...** Mississauga, Ontario – Canadá: ORTI, 1993

MERCEDES BENZ. **Informações técnicas**. Disponível em: <<http://www.mercedes-benz.com.br>>. Acesso em: 25 de maio de 2013

MONTEVECHI, J. A. B.; Conceptual Modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: an application in a brasilian company. In WINTER SIMULATION CONFERENCE, Arizona, USA. 2010. **Proceedings...** Arizona-US: WSC, 2010. p. 1624 – 1635.

PARAGON. Introdução à simulação. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (15). Porto Alegre, 2005.. **Anais....** Porto Alegre: ENGENEP, 2005.

PARRA, R.; JIME´NEZ, P.; BALDASANO, J. M.; Development of the high spatial resolution EMICAT2000 emission model for air pollutants from the north-eastern Iberian Peninsula (Catalonia, Spain). **Journal Environmental Pollution**. Boston-US, 2006, v. 146, p. 200-219.

PEIXOTO, T. A.; RANGEL, J. J. A.; MATIAS, I. O. Ururau - um ambiente de simulação a eventos discretos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2011, Ubatuba - SP. **Anais...** Ubatuba-SP: SBPO, 2011.

PEIXOTO, T. A.; RANGEL, J. J. A.; MATIAS, I. O.; MONTEVECHI, J. A. B.; MIRANDA, R. C.. Ururau - Um ambiente para desenvolvimento de modelos de simulação a eventos discretos. **Revista Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, São Paulo, v. 5, p. 373-405, 2013.

PROMODE. **Otimization suite**. Disponível em: <<http://www.belge.com.br>>. Acesso em: 20 de maio de 2013

RANGEL, J. J. A.; OLIVEIRA, G. L.; PEIXOTO, T. A.; CARDOSO, L. D.; MATIAS, I. O.; SHIMODA, E.. Simulation model in a free and open-source software for carbon monoxide emissions analysis. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE. Washington, 2013. **Proceedings**.... Washington,-US: WSC, 2013

RENTZIOU, A.; GKRTZA, K.; SOULEYRETTE, R. R.; VMT, energy consumption, and GHG emissions forecasting for passenger transportation. **Journal Transportation Research**. Boston-US, v. Part A 46, p. 487–500, 2012.

SAMAALI, M.; FRANÇOIS, S.; VINUESA, J. F.; PONCHE J. L.; A new tool for processing atmospheric emission inventories: Technical aspects and application to the ESCOMPTE study area. **Journal Environmental Modelling & Software**. Arizona-US, v. 22, p. 1765-1774, 2007.

SARGENT, R. G. Verifications and validation of simulations models. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, Miami-US, 2007. **Proceedings**... Miami-US: WSC, 2007. p. 124-137.

SCANIA, **Informações técnicas**. Disponível em: < <http://www.scania.com.br> >. Acesso em: 25 de maio de 2013

SILVA, A. K.; BOTTER R. C.; Method for assessing and selecting discrete event simulation software applied to the analysis of logistic systems. **Journal of Simulation**, Palgrave Macmillan, 2009, v. 3, p. 95–106.

TANG, P.; CASS, D.; MUKHERJEE, A.. Using schedule simulation approaches to reduce greenhouse gas emissions in highway construction project. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, Washington,-US , 2011. **Proceedings**... Washington,-US: WSC, 2011.p. 805-815.

TAVARES, F. V. F.; BARRETO, A. A.; DUTRA E. G.; JACOMINO V. M. F. Estudo do processo de dispersão de emissões veiculares em uma microrregião de Belo Horizonte (MG) utilizando simulação numérica. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**. Belo Horizonte-MG, v.15, n.4, p. 315-324. 2010.

TEIXEIRA, E. C.; FELTES, S.; SANTANA, E. R. R.; Estudo das emissões de fontes móveis na região metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. **Revista Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 244-248. 2008.

ZENG, Y.; CAI, Y.; HUANG, G.; DAI, J.; A Review on Optimization Modeling of Energy Systems Planning and GHG Emission Mitigation under Uncertainty. **Journal Energie**, Washington,-US, v. 4, p. 1624-1656. 2011.

ZHOU, X.; KUHL, M. E.; Sustainability toolkit for simulation-based logistics decisions. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, Arizona, USA. 2009. **Proceedings...** Arizona-US: WSC, 2009. p. 1466-1473.

_____. Design and development of a sustainability toolkit for simulation. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, Arizona, USA, 2010. **Proceedings...** Arizona-US: WSC, 2010. p. 1601–1612.

_____. A sustainability toolkit for simulation: recent developments and future capabilities. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, Arizona, USA, 2011. **Proceedings...** Arizona-US: WSC, 2011. p. 850-858.

APÊNDICE A: DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO MODELO CONCEITUAL DO CENÁRIO 1.

	Legenda	Funções		Legenda	Funções
E1	Entrada da entidade	20 caminhões	C29	Variável Carga 5	Atributo Carga da Fábrica/2
C1	Atributo Carga 1	20000 Kg	C30	Variável Emissão 5	Emissao 5 = Emissao 5 + Atributo Transporte 5 * Atributo CE5 * ((Variável carga 5/23000) * Atributo Potência 5)
C2	Atributo Potência 1	136 kW	C31	Variável Lead Time 2	Lead Time 2 = Atributo Transporte 1 + Atributo Transporte 2 + Atributo Transporte 3 + Atributo Transporte 4 + Atributo Transporte 5
C3	Atributo Coeficiente de Emissão 1	1.5 g/kW.h	F1	Processo de carregamento 1	Atributo carga 1/4000
C4	Atributo Transporte 1	NORM(8.85,2.0)	F2	Processo de transporte 1	NORM(8.85,2.0)
C5	Variável Carga 1	Atributo Carga 1	F3	Processo de descarregamento 1	Atributo carga 1/6000
C6	Variável Emissão 1	Emissao 1 = Emissao 1 + Atributo Transporte 1 * Atributo CE1 * ((Variável carga 1/23000) * Atributo Potência 1)	F4	Processo de carregamento 2	Atributo carga 2/4000
C7	Atributo Carga 2	23000 Kg	F5	Processo de transporte 2	NORM(12.45,3.0)
C8	Atributo Potência 2	136 kW	F6	Processo de descarregamento 2	Atributo carga 2/6000
C9	Atributo Coeficiente de Emissão 2	1.5 g/kW.h	F7	Processo de carregamento 3	Atributo carga 3/4000
C10	Atributo Transporte 2	NORM(12.45,3.0)	F8	Processo de transporte 3	NORM(7.02,1.5)
C11	Variável Carga 2	Atributo Carga 2	F9	Processo de descarregamento 3	Atributo carga 3/6000
C12	Variável Emissão 2	Emissao 2 = Emissao 2 + Atributo Transporte 2 * Atributo CE2 * ((Variável carga 2/23000) * Atributo Potência 2)	F10	Processo de carregamento 4	Atributo carga 4/4000
C13	Atributo Carga 3	13000 Kg	F11	Processo de transporte 4	NORM(3.45,1.0)
C14	Atributo Potência 3	136 kW	F12	Processo de descarregamento 4	Atributo carga 4/6000
C15	Atributo Coeficiente de Emissão 3	1.5 g/kW.h	F13	Processo de carregamento 5	Atributo carga 5/4000
C16	Atributo Transporte 3	NORM(7.02,1.5)	F14	Processo de transporte 5	NORM(3.17,1.0)
C17	Variável Carga 3	Atributo Carga 3	F15	Processo de descarregamento 5	Atributo carga 5/6000
C18	Variável Emissão 3	Emissao 3 = Emissao 3 + Atributo Transporte 3 * Atributo CE3 * ((Variável carga 3/23000) * Atributo Potência 3)	R1	Recurso equipe para o carregamento 1	Capacidade 1
C19	Atributo Carga da Fábrica	46000 Kg	R2	Recurso equipe para o descarregamento 1	Capacidade 1

C20	Atributo Potência 4	136 kW	R3	Recurso equipe para o carregamento 2	Capacidade 1
C21	Atributo Coeficiente de Emissão 4	1.5 g/kW.h	R4	Recurso equipe para o descarregamento 2	Capacidade 1
C22	Atributo Transporte 4	NORM(3.45,1.0)	R5	Recurso equipe para o carregamento 3	Capacidade 1
C23	Variável Carga 4	Atributo Carga da Fábrica/2	R6	Recurso equipe para o descarregamento 3	Capacidade 1
C24	Variável Emissão 4	$Emissao\ 4 = Emissao\ 4 + Atributo\ Transporte\ 4 * Atributo\ CE4 * ((Variável\ carga\ 4/23000) * Atributo\ Potência\ 4)$	R7	Recurso equipe para o carregamento 4	Capacidade 1
C25	Variável Lead Time 1	$Lead\ Time\ 1 = Atributo\ Transporte\ 1 + Atributo\ Transporte\ 2 + Atributo\ Transporte\ 3 + Atributo\ Transporte\ 4 + Atributo\ Transporte\ 5$	R8	Recurso equipe para o descarregamento 4	Capacidade 1
C26	Atributo Potência 5	136 kW	R9	Recurso equipe para o carregamento 5	Capacidade 1
C27	Atributo Coeficiente de Emissão 5	1.5 g/kW.h	R10	Recurso equipe para o descarregamento 2	Capacidade 1
C28	Atributo Transporte 5	NORM(3.17,1.0)			

APÊNDICE B: DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DO MODELO CONCEITUAL DO CENÁRIO 2.

	Legenda	Funções		Legenda	Funções
E1	Entrada da entidade	10 caminhões	F5	Processo de carregamento 3	Atributo carga 3/4000
C1	Atributo LT	TNOW	F6	Processo de transporte 3	NORM(7.02,2.0)
C2	Atributo Carga 1	20000 Kg	F7	Processo de descarregamento 3	Variável carga 3/6000
C3	Atributo Potência	165.6 kW	F8	Processo de carregamento 4	Atributo carga fabrica/4000
C4	Atributo Coeficiente de Emissão	1.5 g/kW.h	F9	Processo de transporte 4	NORM(3.17,1.5)
C5	Atributo Transporte 1	NORM(4.77,1.5)	F10	Processo de descarregamento 4	Atributo carga 4/6000
C6	Variável Carga 1	Atributo Carga 1	F11	Processo de transporte 5	NORM(6.57,2.0)
C7	Variável Emissão 1	$Emissao\ 1 = Emissao\ 1 + Atributo\ Transporte\ 1 * Atributo\ CE * ((Variável\ carga\ 1/56000) * Atributo\ Potência)$	F12	Processo de descarregamento 5	Atributo carga 5/6000
C8	Atributo Carga 2	23000 Kg	R1	Recurso equipe para o carregamento 1	Capacidade 1
C9	Atributo Transporte 2	NORM(7.25,2.0)	R2	Recurso equipe para o carregamento 2	Capacidade 1
C10	Variável Carga 2	Variável carga 1+Atributo Carga 2	R3	Recurso equipe para o carregamento 3	Capacidade 1
C11	Variável Emissão 2	$Emissao\ 2 = Emissao\ 2 + Atributo\ Transporte\ 2 * Atributo\ CE * ((Variável\ carga\ 2/56000) * Atributo\ Potência)$	R4	Recurso equipe para o descarregamento 3	Capacidade 1
C12	Atributo Carga 3	13000 Kg	R5	Recurso equipe para o carregamento 4	Capacidade 1
C13	Atributo Transporte 3	NORM(7.02,2.0)	R6	Recurso equipe para o descarregamento 4	Capacidade 1
C14	Variável Carga 3	Variável carga 1+ Variável carga 2 +Atributo Carga 3	R7	Recurso equipe para o descarregamento 2	Capacidade 1
C15	Variável Emissão 3	$Emissao\ 3 = Emissao\ 3 + Atributo\ Transporte\ 3 * Atributo\ CE * ((Variável\ carga\ 3/56000) * Atributo\ Potência)$			
C16	Atributo Carga da Fábrica	46000 Kg			
C17	Atributo Transporte 4	NORM(3.17,1.5)			
C18	Variável Carga 4	Atributo Carga da Fábrica/2			

C19	Variável Emissão 4	Emissao 4 = Emissao 4 + Atributo Transporte 4 * Atributo CE * ((Variável carga 4/56000) * Atributo Potência)
C20	Atributo Transporte 5	NORM(6.57,2.0)
C21	Variável Carga 5	Atributo Carga da Fábrica - Variável carga 4
C22	Variável Emissão 5	Emissao 5 = Emissao 5 + Atributo Transporte 5 * Atributo CE * ((Variável carga 5/56000) * Atributo Potência)
F1	Processo de carregamento 1	Atributo carga 1/4000
F2	Processo de transporte 1	NORM(4.77,1.5)
F3	Processo de carregamento 2	Atributo carga 2/4000
F4	Processo de transporte 2	NORM(7.25,2.0)

APÊNDICE C: PUBLICAÇÃO ORIGINADA

Esta dissertação produziu um artigo submetido e aceito ao periódico *Journal of Simulation* sob o título: *Free and Open-Source Software for Analysis Sustainable Supply Chain Design*.

Manuscript Home
Author Instructions
Reviewer Instructions
Help
Tips
Login/Logout
Journal Home



Detailed Status Information

Manuscript #	JOS-14-0009-R3-LL
Current Revision #	3
Other Versions	JOS-14-0009 JOS-14-0009-R1 JOS-14-0009-R2
Submission Date	9th Jun 14 00:00:00
Current Stage	Manuscript Sent to Production
Title	Free and open-source software for sustainable analysis in the logistics systems design
Running Title	Sustainable analysis in the logistics systems design
Manuscript Type	Original Article
Special Issue	N/A
Corresponding Author	Prof. Joao Rangel (UCAM-Campos)
Contributing Author	Mrs. Anna Christine Cordeiro The objective of this paper is to demonstrate how calculations of Greenhouse Gas emissions from transports in logistics systems can be analyzed with Discrete Event Simulation models. For this, a modeling was performed by considering the discrete aspects associated with transport systems with continuous component of the carbon monoxide emission from the fleet. The simulation models were constructed with the Free and Open-Source Software Ururau. The simulations searched to compare trade-offs of economic and environmental variables, contrary to what is usually done in these types of systems, such as economic variables compared with inventory variables. The results indicated there is no direct relationship of proportionality between, for example, the delivery time and the total of emissions produced by trucks.
Abstract	
Associate Editor	Assigned
Keywords	Simulation, Logistics, Environmental Studies, Transport
Subject Areas	Environmental studies, Logistics, Transport
Conflict of Interest	No , there is no conflict of interest that I should disclose, having read the above statement.
Decision	Accept / 9th Jun 14

Stage	Start Date
Manuscript Sent to Production	10th Jun 14 02:19:08
Manuscript Ready for Publication	9th Jun 14 10:01:49
Decision Sent to Author	9th Jun 14 10:01:48
Processing Decision	9th Jun 14 09:31:26