

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

Geísa Pereira Marcilio Nogueira

ANÁLISE DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL NO TRANSPORTE  
RODOVIÁRIO DE CARGA APLICANDO SIMULAÇÃO A EVENTOS  
DISCRETOS

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ.  
Dezembro de 2016

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

Geísa Pereira Marcilio Nogueira

ANÁLISE DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL NO TRANSPORTE  
RODOVIÁRIO DE CARGA APLICANDO SIMULAÇÃO A EVENTOS  
DISCRETOS

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.

Coorientador: Prof. Claudio Luiz Melo de Souza, DSc.

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ.  
Dezembro de 2016

## FICHA CATALOGRÁFICA

N776a Nogueira, Geísa Pereira Marcilio.

Análise de sustentabilidade ambiental no transporte rodoviário de carga aplicando simulação a eventos discretos/. Geísa Pereira Marcilio Nogueira – 2017.

125 f. il.

Orientador: João José de Assis Rangel  
Coorientador: Claudio Luiz Melo de Souza

Dissertação apresentado ao Curso de Mestrado em Engenharia de Produção da Universidade Candido Mendes - Campos dos Goytacazes, RJ, 2016.

Bibliografia: f. 107-114

1: Cana-de-açúcar. 2. Ecocondução. 3. Emissões. 4. Logística verde. 5. Simulação (eventos discretos). 6. Transporte.. I. Universidade Candido Mendes – Campos. II. Título.

CDU – 504.06:656.135 + 004.383.4

GEÍSA PEREIRA MARCILIO NOGUEIRA

ANÁLISE DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL NO TRANSPORTE  
RODOVIÁRIO DE CARGA APLICANDO SIMULAÇÃO A EVENTOS  
DISCRETOS

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.

Aprovado em 16 de dezembro de 2016.

BANCA EXAMINADORA

---

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

---

Prof.: Claudio Luiz Melo de Souza, DSc - Coorientador  
Universidade Candido Mendes

---

Prof.: Túlio Almeida Peixoto, MSc.  
Universidade Candido Mendes

---

Prof. Bruno S. Silvestre, DSc.  
University of Manitoba (Canadá)

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ.  
Dezembro de 2016

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ter permitido que eu alcançasse mais esta conquista, na certeza de que sem Ele nada posso em minha vida. Obrigada meu Deus e Pai por todo amor e fidelidade, por renovar minhas forças a cada manhã e por me levar a lugares onde jamais pensei que andaria.

Dedico à minha amada mãezinha, Janilça, que sempre esteve ao meu lado me apoiando, me incentivando e confiando em mim.

Aos meus irmãos, Maísa e Josias, por terem me inspirado para servir sempre de bom exemplo e para honrar da melhor forma cada oportunidade a mim concedida.

Ao meu esposo Mateus pelo apoio e incentivo, em todos os momentos, principalmente nos mais difíceis desta caminhada. Pela compreensão nos momentos de ausência e por sempre acreditar em mim. Amo você!

Aos meus sogros, Arlene e Jales, por todo carinho, intercessão, palavras de ânimo e encorajamento.

Dedico, ainda, a todos os que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste projeto.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu Deus e Pai agradeço, sinceramente, por ter me abençoado para a realização deste objetivo.

À minha família pela confiança depositada em mim, por todo o amor, paciência e compreensão.

Ao meu orientador, João Rangel, e coorientador, Cláudio Melo, por toda atenção e carinho, ajudando-me a tornar possível a concretização deste trabalho.

Ao Túlio Almeida e Bruno Silvestre por aceitarem o convite para participar da banca examinadora deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional e Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pelo apoio financeiro para esta pesquisa.

À empresa Canabrava Agrícola que colaborou conosco com a disponibilização dos dados para enriquecer este trabalho.

Aos meus amigos pessoais e aqueles adquiridos no período do mestrado, por todo apoio e companheirismo nos momentos de dificuldades e principalmente pelos momentos de risos e descontração.

Em tudo dai graças, porque esta é a vontade de Deus em Cristo Jesus para convosco.

1 Tessalonicenses 5:18. – Bíblia ACR

Nem olhos viram, nem ouvidos ouviram, nem jamais penetrou em coração humano o que Deus tem preparado para aqueles que o amam.

1 Coríntios 2.9 – Bíblia ACR

## RESUMO

### ANÁLISE DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGA APLICANDO SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS

Este trabalho analisou o comportamento de variáveis ambiental e de desempenho no contexto *Lean Manufacturing* versus *Green Manufacturing* no transporte rodoviário de carga. Utilizou-se Simulação a Eventos Discretos para simular diversos cenários de um sistema de transporte real, que utilizou como exemplo uma usina sucroalcooleira e, um sistema de transporte hipotético de *Supply Chain* (SC) comumente encontrado na literatura. O sistema de transporte de cana-de-açúcar para a usina foi simulado considerando cinco cenários cujas características foram: tipo de veículo, capacidade de carga, potência do veículo, tempo de tráfego e distância entre as frentes de serviço e a usina. Nessas simulações foram analisadas três variáveis de resposta, as emissões de gases, o tempo de transporte e a carga transportada. Já as análises feitas sobre o sistema de SC foram iniciadas com uma análise *survey* a partir da aplicação de questionário a fim de avaliar a percepção de consumidores, trabalhadores e gestores do setor com respeito às questões ambientais. Verificou-se a viabilidade de gestores elaborarem diferentes estratégias sustentáveis, considerando o tipo de veículo comercial disponível na empresa, as idades dos veículos e o estilo de condução dos motoristas. Também empregou-se simulação discreta para investigar o comportamento de cenários típicos de operações de transporte no SC envolvendo emissões de gases do efeito estufa e tempo de transporte de rotas de operação. Para saber quais fatores influenciaram as emissões realizou-se um projeto experimental com os modelos de simulação. As análises dos resultados mostraram que não se pode generalizar o comportamento das estruturas de transporte, pois, verificou-se que diferentes cenários tiveram diferentes resultados sobre o desempenho do SC quando foram analisados fatores como Tipo de frota, Idade da frota e Estilo de condução. Observou-se também que algumas simulações com baixa emissão possuem maior tempo de transporte. Com isso, o comportamento *green* do consumidor passa a ter maior peso nas decisões dos gestores e, desse modo, pode-se estabelecer ações que atendam à produção *lean* e *green* de forma que ambas as práticas possam agregar valor de ecoeficiência ou maior sustentabilidade ao SC.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cana-de-açúcar. Ecocondução. Emissões. Logística verde, Simulação a Eventos Discretos. Transporte.

## **ABSTRACT**

### **ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY ANALYSIS IN ROAD FREIGHT TRANSPORT APPLYING DISCRETE EVENT SIMULATION**

This paper analyzes the behavior of environmental and performance variables in the Lean Manufacturing versus Green Manufacturing context in a road freight system. The Discrete Event Simulation was employed to simulate different scenarios of a real transport system, which applied as an example a sugarcane mill and a hypothetical transport system of Supply Chain (SC) found in literature. The transport system of sugarcane to the manufacture was simulated considering five scenarios whose characteristics were type of vehicle, load capacity, vehicle power, time of traffic and distance between the service locations and the manufacturing. Three variables of answer were analyzed in those simulations: gas emissions, time of transport and the load transported. A *survey* analysis was carried out on the SC system by applying a satisfaction questionnaire to evaluate the customers, workers and managers perception concerning some environmental issues. It was verified the manager feasibility to develop different sustainable strategies considering the type of commercial vehicle available in the company, the vehicle age and the eco driving behavior of drivers. Discrete Simulation was also applied to investigate the behavior of typical scenarios of transport operations in the SC involving greenhouse gases emissions and the transport time of operation routes. In order to verify which factors most influenced the emissions, an experimental project with simulation models was employed. Investigating the results, it could be seen that the behavior of the transport structures cannot be generalized because different scenarios had different results on the performance of the SC when analyzing factors such as Types of Delivery Fleet, Age of the Fleet and Driving Style. It was also identified that some simulations that present low emission have greater transport time. Thus, the green consumer behavior will carry greater weight in manager's decisions, this way, actions that attend to lean and green can be established in a way that both practices can add value to eco-efficiency or greater sustainability to the SC.

**KEYWORDS:** Sugarcane. Ecodriving. Emissions. Green logistic. Discrete Event Simulation. Transport.

## LISTA DE EQUAÇÃO E FIGURAS

<b>Equação 1:</b>	Cálculo das Variáveis de Resposta.	<b>92</b>
<b>Figura 1:</b>	Módulo do Ururau 1.1 para calcular as emissões de CO.	<b>53</b>
<b>Figura 2:</b>	Localização da usina Canabrava Agrícola.	<b>57</b>
<b>Figura 3:</b>	Esquema do sistema de transporte da cana-de-açúcar.	<b>59</b>
<b>Figura 4:</b>	Estruturas tipicamente utilizadas em indústrias de transporte e logística: configuração 1 - ênfase nos menores tempos de transporte e configuração 2 – Cana-de-açúcar: ênfase nos menores custos para fornecedores e clientes.	<b>67</b>

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1:</b>	Publicações por área do conhecimento, utilizando técnicas de simulação voltadas para sustentabilidade nos transportes.	<b>27</b>
<b>Gráfico 2:</b>	Artigos publicados por ano envolvendo sustentabilidade, simulação, transporte e emissões.	<b>28</b>
<b>Gráfico 3:</b>	Artigos publicados por ano envolvendo SED, transporte e emissões.	<b>29</b>
<b>Gráfico 4:</b>	Frequência das distâncias das FS em relação à usina Canabrava Agrícola.	<b>60</b>
<b>Gráfico 5:</b>	Estabilização do Modelo Computacional.	<b>73</b>
<b>Gráfico 6:</b>	Resultado do Teste de Normalidade para o Modelo Computacional.	<b>75</b>
<b>Gráfico 7:</b>	Resultado do Teste de Normalidade do Sistema Real.	<b>75</b>
<b>Gráfico 8:</b>	Gráfico Individual analisando a Média da Quantidade Transportada pelo Modelo com a Média Transportada pelo Sistema Real.	<b>77</b>
<b>Gráfico 9:</b>	Gráfico Boxplot com a comparação da média da quantidade transportada pelo modelo com a média transportada pelo sistema real.	<b>77</b>
<b>Gráfico 10:</b>	Resultados das simulações referentes às emissões e tempo de transporte.	<b>78</b>
<b>Gráfico 11:</b>	Resultados das simulações referentes às emissões e carga transportada.	<b>80</b>
<b>Gráfico 12:</b>	Resultados das simulações e teste de Tukey para as configurações 1 e 2.	<b>98</b>
<b>Gráfico 13:</b>	Resultados das simulações e teste de Tukey para as configurações 1 e 2.	<b>99</b>

## LISTA DE FLUXOGRAMAS

<b>Fluxograma 1:</b>	Estrutura da Base Conceitual.	<b>35</b>
<b>Fluxograma 2:</b>	Classificação dos sistemas para modelagem e simulação.	<b>37</b>
<b>Fluxograma 3:</b>	Visão geral dos Materiais e Métodos utilizados.	<b>51</b>
<b>Fluxograma 4:</b>	Arquitetura do Ambiente de Simulação Ururau 1.1.	<b>52</b>
<b>Fluxograma 5:</b>	Passos para estruturar um estudo de simulação.	<b>56</b>
<b>Fluxograma 6:</b>	Funcionamento de uma usina sucroalcooleira.	<b>58</b>
<b>Fluxograma 7:</b>	Etapas para o abastecimento de cana-de-açúcar..	<b>59</b>
<b>Fluxograma 8:</b>	Estrutura do Sistema de Corte, carregamento e transporte de Cana-de-açúcar.	<b>62</b>
<b>Fluxograma 9:</b>	Esquematização do Modelo Proposto Referente ao Sistema.	<b>71</b>
<b>Fluxograma 10:</b>	Modelo Computacional de Um sistema CCT de Cana-de-açúcar.	<b>72</b>
<b>Fluxograma 11:</b>	Modelo computacional desenvolvido para a configuração 1.	<b>91</b>
<b>Fluxograma 12:</b>	Modelo computacional desenvolvido para a configuração 2.	<b>91</b>

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1:</b>	Resultados para os termos de pesquisa na base Scopus.	<b>26</b>
<b>Quadro 2:</b>	Periódicos e autores das nove publicações envolvendo SED, transportes e emissões.	<b>30</b>
<b>Quadro 3:</b>	Tipos de pesquisa.	<b>31</b>
<b>Quadro 4:</b>	Vantagens e limitações do uso de simulação computacional.	<b>38</b>
<b>Quadro 5:</b>	Resumo de estratégias para execução de um projeto experimental..	<b>41</b>
<b>Quadro 6:</b>	Artigos selecionados por ano de publicação	<b>43</b>
<b>Quadro 7:</b>	Composições de veículos mais comuns no transporte de cana-de-açúcar.	<b>61</b>
<b>Quadro 8:</b>	Resultado do Teste T analisado à Média do Modelo Computacional com a Média do Sistema real.	<b>76</b>
<b>Quadro 9:</b>	Produções originadas neste Trabalho.	<b>106</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b>	Visão geral dos cinco cenários simulados.	<b>65</b>
<b>Tabela 2:</b>	Escala de Likert adotada nos questionários.	<b>66</b>
<b>Tabela 3:</b>	Cenários simulados para as configurações 1 e 2 com frota simples e mista.	<b>69</b>
<b>Tabela 4:</b>	Resultados gerados pelo Ururau 1.1 comparado com o sistema real.	<b>74</b>
<b>Tabela 5:</b>	Resultados dos cinco cenários simulados.	<b>78</b>
<b>Tabela 6:</b>	Caracterização do público entrevistado	<b>82</b>
<b>Tabela 7:</b>	Percepção dos respondentes sobre a preocupação da população com o meio ambiente.	<b>83</b>
<b>Tabela 8:</b>	Percepção dos respondentes com relação ao próprio nível de conhecimento sobre emissões de GEE.	<b>83</b>
<b>Tabela 9:</b>	Percepção dos respondentes sobre quais os impactos decorrentes das emissões de GEE.	<b>84</b>
<b>Tabela 10:</b>	Percepção dos respondentes sobre as fontes responsáveis por emissões de GEE.	<b>85</b>
<b>Tabela 11:</b>	Percepção dos respondentes quanto à influência da forma de dirigir nas emissões de GEE.	<b>85</b>
<b>Tabela 12:</b>	Intenção dos respondentes em adaptar a forma de condução de um veículo para reduzir as emissões de GEE.	<b>86</b>
<b>Tabela 13:</b>	Preferência dos respondentes por operações logísticas com menor emissão de GEE em relação ao custo.	<b>87</b>
<b>Tabela 14:</b>	Preferência dos respondentes por operações logísticas com menor emissão de GEE em relação ao prazo de entrega.	<b>87</b>
<b>Tabela 15:</b>	Preferência dos respondentes pelo tempo de espera adicional para a chegada de um produto via operações logísticas com menor emissão de GEE.	<b>88</b>

<b>Tabela 16:</b>	Percepção dos respondentes sobre a influência exercida pelo tipo de produto no respectivo tempo de espera.	<b>89</b>
<b>Tabela 17:</b>	Média das EM (Significância, kgCO) da frota de veículos e TT (Significância, h) obtidas nos cenários simulados para as configurações 1 e 2.	<b>96</b>
<b>Tabela 18:</b>	Vantagens do uso de frota mista em relação à frota simples para EM (Significância, kg de CO) e TT (Significância, h) obtidas nos cenários simulados para as configurações 1 e 2	<b>97</b>
<b>Tabela 19:</b>	Módulos e dados de Configuração do Modelo da Usina Canabravo Agrícola (Tabela B1)	<b>118</b>
<b>Tabela 20:</b>	Parâmetro dos Experimentos da Configuração 1(Tabela C1)	<b>122</b>
<b>Tabela 21:</b>	Parâmetros dos Experimentos da Configuração 2 (Tabela B2)	<b>124</b>
<b>Tabela 22:</b>	Anova com seus resultados dos Experimentos da Configuração 1 (Tabela D1)	<b>125</b>
<b>Tabela 23:</b>	Anova com seus resultados dos Experimentos da Configuração 2. (Tabela D2).	<b>125</b>

## LISTAS DE ABREVIATURAS

A – Tipo de frota  
B – Idade da frota  
C – Estilo de condução  
CCT – Corte Carregamento e Transporte  
CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono  
CS – Cenários Simulados  
CT – Carga Transportada  
DoE – *Design of Experiments*  
EM – Emissão  
FS – Frente de Serviço  
FS1 – Frente de Serviço 1  
FS2 – Frente de Serviço 2  
FS3 – Frente de Serviço 3  
FS4 – Frente de Serviço 4  
FS5 – Frente de Serviço 5  
GEE – Gases de Efeito Estufa  
GM – *Green Manufacturing*  
HC<sub>4</sub> – Metano  
IEA – *International Energy Agency*  
JSL – *Java Simulation Library*  
LM – *Lean Manufacturing*  
LSP – Provedores de Serviços Logísticos  
N<sub>2</sub>O – Óxido nitroso  
SC – *Supply Chain*

SED – Simulação a Eventos Discretos

SO<sub>2</sub> – Dióxido de enxofre

TBL – *Triple Bottom Line*

TT – Tempo de Transporte

WEO – *World Energy Outlook*

## SUMÁRIO

<b>1:</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>21</b>
1.1:	CONTEXTUALIZAÇÃO	21
1.2:	OBJETIVOS	22
<b>1.2.1:</b>	<b>Objetivo Geral</b>	<b>22</b>
<b>1.2.2:</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>23</b>
1.3:	JUSTIFICATIVAS	23
1.4:	QUESTÕES DE PESQUISA	30
1.5:	MÉTODOLOGIA DA PESQUISA	31
1.6:	DELIMITAÇÕES DA PESQUISA	33
1.7:	ESTRUTURA DO TRABALHO	34
<b>2:</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>35</b>
2.1:	BASE CONCEITUAL	35
<b>2.1.1:</b>	<b>Simulação Computacional</b>	<b>36</b>
2.1.1.1:	Vantagens e Limitações da Simulação	37
2.1.1.2:	Softwares de Simulação	38
2.1.1.3:	Design of Experiments com Modelos de Simulação	39
2.2:	ESTADO DA ARTE	42
2.3:	CONCLUSÃO DA REVISÃO DA LITERATURA	49
<b>3:</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>50</b>
3.1:	EQUIPAMENTO E SOFTWARE DE SIMULAÇÃO	51
3.2:	METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO	53
3.3:	SISTEMA REAL: USINA CANABRAVA AGRÍCOLA	57
<b>3.3.1:</b>	<b>Descrição do Sistema</b>	<b>57</b>
3.3.1.1:	Localização e Funcionamento da Usina	57

3.3.1.2:	Abastecimento de cana-de-açúcar	59
<b>3.3.2:</b>	<b>Descrição dos Cenários</b>	<b>62</b>
3.3.2.1:	Cenário 1	63
3.3.2.2:	Cenário 2	63
3.3.2.3:	Cenário 3	63
3.3.2.4:	Cenário 4	64
3.3.2.5:	Cenário 5	64
3.3.2.6:	Análise dos Cenários Apresentados	64
3.4:	SISTEMA HIPOTÉTICO: SUPPLY CHAIN	65
<b>3.4.1:</b>	<b>Estrutura dos Questionários</b>	<b>65</b>
<b>3.4.2:</b>	<b>Descrição do Sistema</b>	<b>66</b>
<b>3.4.3:</b>	<b>Descrição dos Cenários e Experimentos</b>	<b>68</b>
<b>4:</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>70</b>
4.1:	RESULTADOS DO SISTEMA REAL: USINA CANABRAVA AGRÍCOLA	70
<b>4.1.1:</b>	<b>Modelo de simulação</b>	<b>70</b>
4.1.1.1:	Parâmetros de Rodada do Modelo	72
4.1.1.2:	Verificação do Modelo	73
4.1.1.3:	Validação do Modelo	73
<b>4.1.2:</b>	<b>Análise dos Resultados</b>	<b>78</b>
4.2:	RESULTADOS DO SISTEMA HIPOTÉTICO: SUPPLY CHAIN	81
<b>4.2.1:</b>	<b>Questionários</b>	<b>81</b>
<b>4.2.2:</b>	<b>Modelos de Simulação</b>	<b>89</b>
4.2.2.1:	Parâmetros de Rodada dos Modelos	91
<b>4.2.3:</b>	<b>Experimentos Simulados</b>	<b>92</b>
<b>4.2.4:</b>	<b>Análise dos Resultados</b>	<b>93</b>
<b>5:</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A DISSERTAÇÃO</b>	<b>102</b>
5.1:	CONCLUSÕES	102
5.2:	LIMITAÇÕES DO TRABALHO	104
5.3:	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	105
5.4:	PRODUÇÕES ORIGINADAS NESTE TRABALHO	106
<b>6:</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>107</b>
	<b>APÊNDICE A: ALGUNS CONCEITOS SOBRE SUPPLY CHAIN, LEAN MANUFACTURING E GREEN MANUFACTURING.</b>	<b>115</b>

<b>APÊNDICE B: MODELO DO QUESTIONÁRIO APLICADO NA CIDADE DE CAMPOSDOS GOYTACAZES</b>	<b>117</b>
<b>APÊNDICE C: DESCRIÇÃO DO MODELO CONCEITUAL DO SISTEMA HIPOTÉTICO</b>	<b>118</b>
<b>APÊNDICE D: DESCRIÇÃO DO MODELO CONCEITUAL DO SISTEMA REAL</b>	<b>122</b>
<b>APÊNDICE E: ANÁLISE DE VARIÂNCIA</b>	<b>125</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Dados do relatório *World Energy Outlook/WEO* (2015) da Agência Internacional de Energia (IEA da sigla em inglês *International Energy Agency*) têm demonstrado um possível desacoplamento entre expansão econômica e emissões de gases do efeito estufa (GEE) em níveis mundiais pelo segundo ano consecutivo (2014 e 2015). Isso parece indicar que as medidas mitigadoras adotadas internacionalmente estão surtindo efeito para reduzir o avanço dessas emissões. Essa informação pode, então, representar um progresso sob o aspecto sustentável uma vez que o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) é o gás com maior nível de emissão em relação à outros como metano ( $\text{HC}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) (DEKKER; BLOEMHOF; MALLIDIS, 2012).

Um dos principais responsáveis pelas emissões globais de  $\text{CO}_2$  é o setor de transporte, como informa o relatório da IEA (2015). O respectivo relatório apontou que em 2013, o setor de transporte foi responsável pela segunda maior parcela emissora de GEE, com participação equivalente a 23% das emissões totais mundiais, perdendo apenas para o setor de eletricidade e calor, que juntos representaram 42% das emissões. Sendo que, no setor de transporte, no mesmo período, 75% das emissões referiram-se à participação do transporte rodoviário.

Com foco no setor do transporte rodoviário, há intensa contribuição para a eficiência, principalmente do *Supply Chain* (SC), uma vez que é utilizado para a movimentação do estoque e escoamento da produção (SAIF; ELHEDHLI, 2016).

Neste aspecto, o SC possui uma relação de dependência com o setor de transporte, principalmente em *Lean Manufacturing* (LM), devido à necessidade de se fornecer materiais no tempo e na quantidade adequados. Contudo, LM contribui consideravelmente com emissões de GEE no SC (BERGENWALL; CHEN; WHITE, 2012).

Nessa perspectiva, estudos têm demonstrado que LM versus *Green Manufacturing* (GM) têm sido alvo de investigações com o objetivo de verificar quais as vantagens e/ou dificuldades no uso dessas técnicas e avaliar a correlação existente entre elas, no cenário das emissões (DÜES; TAN; LIM, 2013). Modelos de LM podem em certas situações provocar aumento de emissões por aumentarem a frequência dos transportes. Em contrapartida, as práticas de inventário gerenciadas pelo fornecedor podem minimizar essas emissões no SC (UGARTE; GOLDEN; DOOLEY, 2016). Dessa forma, alterações na estrutura de sistemas de logística e SC podem ajudar a reduzir emissões de GEE sem a necessidade de gastos com investimentos em novas tecnologias, apenas com modificações em estruturas operacionais.

Diante do que foi exposto, a proposta geral da presente dissertação foi analisar variáveis no contexto de sustentabilidade ambiental e de desempenho do transporte de cargas, utilizando simulação discreta para compor diversos cenários logísticos e analisar o impacto causado pela mudança dessas variáveis no sistema.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa foi realizar uma análise de sustentabilidade no transporte rodoviário de carga através do estudo do comportamento de variáveis ambiental e de desempenho por meio de modelos de Simulação a Eventos Discretos (SED).

### 1.2.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa foram:

- (I). Analisar emissões de GEE provenientes de diversos cenários logísticos em um sistema de transporte rodoviário de carga por meio de SED;
- (II). Aplicar a análise de emissões de GEE em cenários de um sistema real de transporte bem como em um sistema hipotético;
- (III). Realizar uma pesquisa *survey* na cidade de Campos dos Goytacazes para captar a opinião dos respondentes com relação às questões ambientais envolvendo o setor de transporte;
- (IV). Avaliar a possibilidade de que gestores possam utilizar estratégias logísticas sustentáveis ambientalmente com o auxílio de informações obtidas de seus potenciais consumidores;
- (V). Identificar a influência do tipo de frota, da idade da frota e do estilo de condução do motorista, nas emissões de GEE por meio de um projeto experimental;
- (VI). Mostrar a aplicação de um *software* livre e de código aberto para calcular emissões de GEE.

### 1.3. JUSTIFICATIVAS

Os problemas ambientais têm se mostrado um assunto com crescente repercussão, principalmente no que se refere às atividades antropogênicas responsáveis pelo aumento dos impactos ambientais como as alterações climáticas. (BORDONAL *et al.*, 2015). Neste contexto, a sociedade e as organizações têm buscado desenvolver maneiras de atender as necessidades sociais sem aumentar o efeito estufa, promovendo um desenvolvimento social sustentável e a mitigação das emissões de GEE (LONGO, 2012).

Frente a essa necessidade, a utilização de técnicas de simulação apresenta-se como uma ferramenta capaz de imitar o funcionamento de inúmeros tipos de

operações para compreender o seu comportamento e, com isso, auxiliar nas decisões ambientais (ARJONA; BUENO; SALAZAR, 2001). Um modelo de simulação computacional bem construído permite uma análise consistente de sistemas, como o SC, por exemplo, possibilitando melhor compreensão dos fenômenos envolvidos, com baixo custo, quando comparado com outros tipos de modelos (RANGEL; CORDEIRO, 2015). Por meio de modelos computacionais é possível testar vários cenários e, assim, verificar os impactos que aconteceriam no sistema caso determinada decisão fosse tomada.

Nesse contexto, Byrne *et al.* (2010) propôs a aplicação de SED para avaliar e projetar SC mais sustentáveis ambientalmente analisando quantitativamente desempenho, custo e impacto ambiental. Esse trabalho serviu de inspiração para a presente dissertação, uma vez que mostrou a viabilidade de se utilizar SED envolvendo emissões de GEE. Assim, optou-se por utilizar um *software* de SED como ambiente de teste para as simulações.

O sistema de transporte que foi investigado neste trabalho abrangeu um caso real, uma usina sucroalcooleira, e um caso hipotético tipicamente consultado na literatura, em Ballou (2004). O objetivo, então, foi obter resultados de duas vertentes distintas, permitindo maior abrangência da pesquisa, tanto no campo teórico como no prático. A indústria canavieira foi utilizada pois a região Norte Fluminense, onde seria viável realizar a pesquisa *in loco*, não conta com muitas opções de indústrias. Assim, esta foi a opção que mais atendeu às condições de localização e disponibilidade no momento da pesquisa.

Dada a importância do setor de transportes e sua elevada participação nas emissões de GEE em nível mundial, ainda nesta seção realizou-se um trabalho de bibliometria para corroborar no aspecto de relevância da pesquisa em questão, uma vez que há poucos estudos acerca da utilização de SED para tratar de aspectos sustentáveis no setor de transportes. Neste contexto, Bryman; Bell (2007) apontaram que a bibliometria objetiva dar confiabilidade ao que está sendo pesquisado em diversas áreas do conhecimento por meio de informações das quais se possa argumentar e embasar o assunto de interesse.

A metodologia da revisão de literatura apresentada foi baseada no trabalho de

Méxas, Quelhas, and Costa (2012). A base de dados bibliográfica adotada para esta produção foi a SCOPUS, que contém, entre outros tipos de documentos, artigos de periódicos acadêmicos. O parâmetro inicial da pesquisa foi contemplar os artigos publicados no período de 1960 a dezembro de 2016. Todas as áreas disponíveis no banco de dados da base foram pesquisadas, sendo as seguintes: Ciências da Vida, Ciências Físicas, Ciências da Saúde e Ciências Sociais e Humanidades.

Os termos “*sustainab\*\**” AND “*simulation\*\**” foram pesquisados, no banco de dados, em títulos, resumos e palavras-chave. Desta pesquisa a base SCOPUS retornou 6986 artigos. A utilização do asterisco em alguns termos serviu para investigar palavras similares, mudando apenas o final delas. Deste modo, a pesquisa foi capaz de cobrir as variações dos termos examinados.

Para refinar a pesquisa de artigos específicos, o termo “*transport\*\**” foi adicionado aos termos anteriores através do elemento conectivo “AND” e, isto trouxe como resultado 640 artigos. Posteriormente adicionou-se um quarto termo, “*emission\*\**”, o que restringiu o resultado para apenas 160 publicações. A substituição do termo “*transport\*\**” por “*supply chain\*\**” diminuiu ainda mais o número de artigos, limitando-os a 17 artigos, apenas. Quando foram combinados os termos “*sustainab\*\**” AND “*simulation\*\**” AND “*lean manufacturing*” OR “*green manufacturing*” a base Scopus retornou 14 artigos.

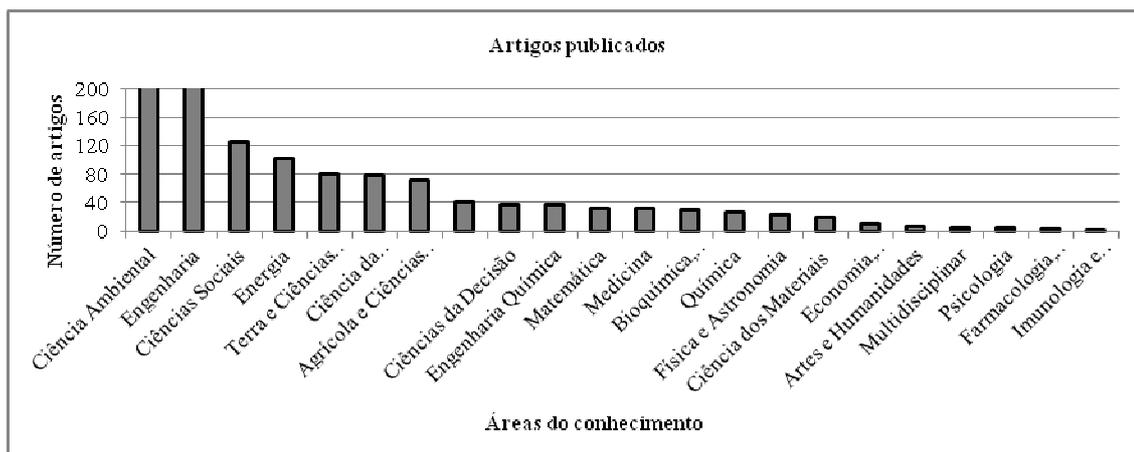
Posteriormente, foi usado o termo de pesquisa “*discrete event simulation*” para a busca dos artigos, com o intuito de examinar as publicações que utilizaram esta técnica, associando-o a termos já utilizados para as combinações anteriores. Esta dissertação utilizou SED como ferramenta para as análises de sustentabilidade, logo, a utilização deste termo é devido o interesse em abranger outras pesquisas com foco semelhante. Uma vez utilizados os termos “‘*discrete event simulation*’ AND ‘*transport\*\**’ AND ‘*emission\*\**’” a base Scopus retornou 10 publicações. A substituição do termo “*emission\*\**” por “*transport\*\**” reduziu o resultado da busca para 6 artigos. Por fim, a união dos quatro termos trouxe a menor quantidade entre os resultados de todas as combinações, 4 publicações, reiterando o fato de que há poucas pesquisas com foco similar à esta dissertação. O Quadro 1 apresenta a lista de termos de pesquisa utilizados e os respectivos números de publicações.

Termos de Pesquisa	Publicações
"sustainab*" AND "simulation*"	6986
"sustainab*" AND "simulation*" AND "transport*"	640
"sustainab*" AND "simulation*" AND "transport*" AND "emission*"	160
"sustainab*" AND "simulation*" AND "supply chain*" AND "emission*"	17
"sustainab*" AND "simulation*" AND "lean manufacturing" OR "green manufacturing"	14
"discrete event simulation" AND "transport*" AND "emission*"	10
"discrete event simulation" AND "sustainab*" AND "transport*"	6
"discrete event simulation" AND "sustainab*" AND "transport*" AND "emission*"	4

**Quadro 1.** Resultados para os termos de pesquisa na base Scopus.  
Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>1</sup>

Os resultados exibidos no Quadro 1 foram analisados com o propósito de realizar um levantamento quantitativo, que mostrasse por área do conhecimento, as publicações sobre sustentabilidade que empregaram técnicas de simulação no setor de transporte. Os 640 artigos, então, foram agrupados em 22 áreas classificadas pela base Scopus, mostradas no Gráfico 1: ciência ambiental; engenharia; ciências sociais; energia; terra e ciências planetárias; ciência da computação; agrícola e ciências biológicas; engenharia química; ciências da decisão; negócios, gestão e contabilidade; matemática; medicina; bioquímica, genética e biologia molecular; química; ciências dos materiais; física e astronomia; economia, econometria e finanças; artes e humanidades; multidisciplinar; psicologia; imunologia e microbiologia; farmacologia, toxicologia e farmacêutica.

<sup>1</sup> Segundo a base Scopus no portal dos periódicos Capes (12/2016).



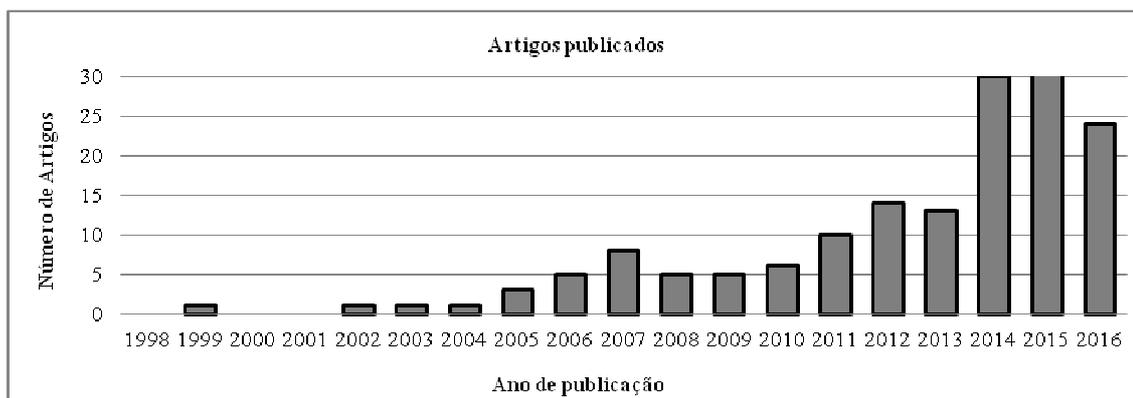
**Gráfico 1.** Publicações por área do conhecimento, utilizando técnicas de simulação voltadas para sustentabilidade nos transportes.

Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>2</sup>

Nota-se que as áreas de ciência ambiental e engenharia ocuparam as primeiras posições quando o tema é sustentabilidade. A primeira publicação deste grupo de 640 artigos data do ano de 1989, revelando que neste período já se utilizavam as técnicas de simulação para análises de aspectos sustentáveis nos transportes.

O Gráfico 2 descreve os valores encontrados com relação ao ano de publicação do grupo de 160 artigos cujo foco foi sustentabilidade na área de transportes utilizando simulação e, que ainda, abordaram a questão das emissões de GEE. Como pode ser visto, apesar de em 1989 já se falar em sustentabilidade dentro do setor de transporte, a problemática das emissões gasosas só passou a ser estudada dez anos mais tarde (em 1999). Entretanto, a partir do final da primeira década do século XXI, este assunto ganhou maior notoriedade. O que pode ser visto pelo aumento no número de publicações que trataram sobre esta temática a partir do ano de 2010.

<sup>2</sup> Segundo a base Scopus no portal dos periódicos Capes (12/2016).



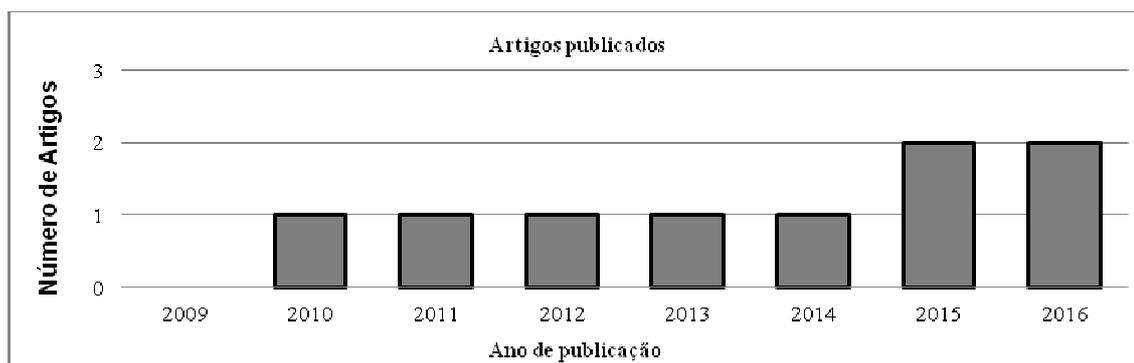
**Gráfico 2.** Artigos publicados por ano envolvendo sustentabilidade, simulação, transporte e emissões.

Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>3</sup>

Percebeu-se, então, uma tendência crescente nos anos seguintes mostrando que os aspectos sustentáveis possuíam cada vez mais visibilidade junto às emissões de GEE. Os anos de 2014 e 2015 contaram com os maiores números de publicações, o que coincide com os anos subsequentes à criação da norma ISO 14067 que aborda a pegada de carbono.

O Gráfico 3 ilustra a evolução no número de publicações ao longo do tempo, desta vez, utilizando SED para análise de emissões no setor de transportes. Observou-se que quando se utilizou o termo “*discrete event simulation*” em vez de apenas “*simulation*” a quantidade de artigos retornada reduziu em aproximadamente 94%, sendo registradas apenas 10 publicações. Deste grupo de artigos, um foi descartado por não ser aderente ao tema da pesquisa.

<sup>3</sup> Segundo a base Scopus no portal dos periódicos Capes (12/2016).



**Gráfico 3:** Artigos publicados por ano envolvendo SED, transporte e emissões.  
 Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>4</sup>

Este percentual evidencia recente utilização do método de SED para abordar as emissões nos transportes, de acordo com a base de dados utilizada para a captação dos artigos. Contudo, é uma questão que relevante em níveis mundiais pois esses artigos foram submetidos por países como Brasil, Itália, Estados Unidos, Canadá, Finlândia, França, Alemanha, Irlanda e Emirados Árabes. Cabe ressaltar que alguns artigos foram escritos, em parceria, por autores de diferentes nacionalidades.

O Quadro 2 mostra a relação periódicos e autores que publicaram os 9 artigos envolvendo SED, transporte e emissões, listados a partir de 2010 pela base Scopus, conforme visto na Figura 3. O periódico *Journal of Simulation* teve 2 publicações, enquanto os demais tiveram uma publicação, cada. Ao lado de cada periódico encontram-se os autores dos artigos e o respectivo número de citações de cada um deles. Os artigos mais citados foram os de Mueller e Sgouridis (2011), com 27 citações, e Lättilä, Henttu e Hilmola (2013), com 20 citações.

<sup>4</sup> Segundo a base Scopus no portal dos periódicos Capes (12/2016).

ARTIGOS PUBLICADOS POR PERIÓDICO		ARTIGOS PUBLICADOS POR AUTOR	
Veículo	Número de publicações	Autor	Nº de citações
Journal Of Simulation	2	Rangel e Cordeiro (2015)	0
		Byrne <i>et al.</i> (2010)	5
IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems	1	Sebastiani, Luders e Fonseca (2016)	1
Journal of Advanced Transportation	1	Mueller e Sgouridis (2011)	27
Journal of Cleaner Production	1	Mobini <i>et al.</i> (2014)	12
Mobile Networks and Applications	1	Santamaria <i>et al.</i> (2015)	4
Production Planning and Control	1	Jaegler e Burlat (2012)	12
Simulation Modelling Practice and Theory	1	Iannone <i>et al.</i> (2016)	0
Transportation Research Part E Logistics and Transportation Review	1	Lättilä, Henttu e Hilmola (2013)	20

**Quadro 2.** Periódicos e autores das nove publicações envolvendo SED, transportes e emissões.  
Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>5</sup>

#### 1.4. QUESTÕES DE PESQUISA

Neste contexto, as seguintes questões de pesquisa foram elaboradas:

- (A). Qual o perfil comportamental de consumidores de Campos dos Goytacazes sobre questões ambientais envolvendo o sistema de transporte?
- (B). É possível que gestores utilizem informações de seus potenciais consumidores para o desenvolvimento de estratégias logísticas sustentáveis ambientalmente no transporte rodoviário de carga?
- (C). Qual a influência dos fatores tipo de frota, idade da frota e estilo de condução do motorista nos níveis de emissões de GEE?
- (D). A relação entre LM e GM é conflitante ou não dentro do sistema logístico investigado neste trabalho?
- (E). O *software* Ururau 1.1 permite a realização satisfatória de uma análise de sustentabilidade ambiental no transporte rodoviário de carga?

<sup>5</sup> Segundo a base Scopus no portal dos periódicos Capes (12/2016).

## 1.5. MÉTODOLOGIA DA PESQUISA

A aplicação do método de pesquisa proporciona economia de tempo e de recursos, fornece segurança na ação para se alcançar o objetivo desejado e possibilita o aperfeiçoamento do conhecimento a partir de trabalhos anteriores. Através do método é possível projetar uma linguagem universal capaz de ser entendida por toda a comunidade científica e acadêmica além de possibilitar a compreensão da análise dos fenômenos observados e a reprodução das hipóteses para se atestar a veracidade dos resultados alcançados (SANTOS, 2009).

Prodanov; Freitas (2013) definem as metodologias do trabalho científico a partir de uma classificação acerca da natureza da pesquisa, da abordagem do problema e quanto aos fins da pesquisa, conforme pode ser visto no Quadro 3.

TIPO DE PESQUISA		
QUANTO À NATUREZA	QUANTO À ABORDAGEM	QUANTO AOS FINS
Básica	Quantitativa	Exploratória
Aplicada	Qualitativa	Descritiva
		Explicativa

**Quadro 3.** Tipos de pesquisa.  
Fonte: Adaptado de Prodanov; Freitas (2013).

Gerhardt e Silveira (2009) explicam cada classificação:

**(I). Quanto à natureza:** a pesquisa básica: tem por finalidade gerar novos conhecimentos, úteis ao avanço da ciência, sem previsão de aplicação prática. A pesquisa aplicada objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, direcionados à resolução de problemas específicos.

**(II). Quanto à abordagem:** a pesquisa qualitativa: preocupa-se com o aprofundamento da compreensão de um grupo social ou organização sem se preocupar com a representatividade numérica, opondo-se ao pressuposto que defende um modelo único de pesquisa para todas as ciências sem a intervenção do pesquisador. A pesquisa quantitativa centra-se na objetividade e compreensão da

realidade com base na análise de dados brutos, com frequente recorrência à linguagem matemática, obtidos por meio de ferramentas padronizadas e neutras.

**(III). Quanto aos fins:** a pesquisa exploratória: objetiva explicitar o problema ou construir hipóteses. A pesquisa descritiva preocupa-se em descrever fatos e fenômenos de determinada realidade. A pesquisa explicativa centra-se na identificação de fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência de fenômenos e explicar o porquê através dos resultados encontrados.

Neste contexto, no presente trabalho, empregou-se pesquisa aplicada, qualitativa e descritiva para a obtenção de dados de alguns grupos de pessoas. Para isso, foi utilizada a pesquisa *survey* para a busca de informações sobre a percepção de grupos de interesse a respeito de aspectos sustentáveis. O instrumento de pesquisa usado foi a aplicação de questionário.

Para a elaboração do projeto experimental também seguiu-se o método de pesquisa quantitativo e descritivo com formulação do problema e das hipóteses, delimitação das variáveis controladas que atuariam sobre o fenômeno estudado influenciando-o e, por fim, a observação do efeitos que as variáveis produziram no objeto.

Já as etapas de modelagem e simulação seguiram o método básico, quantitativo e exploratório, com uso de técnicas matemáticas e computacionais, respectivamente, para descrever e simular os sistemas investigados.

A partir de uma visão mais aprofundada sobre os métodos quantitativos Bertrand; Fransoo (2002) e Morabito Neto; Pureza (2012) classificam esses modelos em quatro tipos de pesquisa, combinadas a seguir:

**(A). Empírica Descritiva:** o foco do pesquisador consiste no desenvolvimento de modelos que descrevem as relações casuais dos sistemas reais com o objetivo de compreender os processos modelados;

**(B). Empírica Normativa:** o pesquisador está voltado para o desenvolvimento de novas estratégias, ações e/ou políticas para aprimorar sistemas reais;

**(C). Axiomática Descritiva:** o pesquisador está focado em desenvolver modelos

conceituais e explicar suas características;

**(D). Axiomática Normativa:** o pesquisador desenvolve estratégias, ações e/ou políticas capazes de melhorar resultados encontrados na literatura.

Assim, o trabalho aqui desenvolvido é classificado como uma pesquisa Empírica Normativa, pois utiliza um modelo hipotético e um estudo de caso para melhor entendimento de um sistema.

## 1.6. DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

A pesquisa aqui realizada abordou aspectos de sustentabilidade na logística de transporte de cargas mediante duas aplicações: a primeira correspondeu à análise de um sistema real de corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar (CCT) e a segunda a um sistema hipotético de SC. Nos dois casos, a pesquisa não abordou todas as questões relacionadas aos sistemas, apenas o componente logístico referente ao setor de transporte rodoviário de carga. As variáveis estudadas dentro deste setor foram emissões gasosas e tempo de transporte das mercadorias entre fornecedores e fábrica e entre fábrica e clientes (diretos ou indiretos) para o sistema hipotético. No caso do sistema real, além das duas variáveis já mencionadas, a carga transportada também foi uma variável analisada.

Para as análises do transporte de cana-de-açúcar, foram utilizados dados de uma usina sucroalcooleira localizada na região Norte Fluminense, contemplando características locais que podem ser diferentes em outras usinas e/ou outras regiões, tais como localização das Frentes de Serviço (FS) e frota de caminhões disponível.

Para a pesquisa *survey* foi escolhida a cidade de Campos dos Goytacazes e cinco grupos de interesse (população em geral, universitários, motoristas de ônibus, motoristas de caminhão e profissionais em logística) para a captação das informações desejadas.

O projeto experimental foi composto por três fatores (Tipo de frota, Idade da frota e Estilo de condução) os quais foram relacionados com as emissões de GEE e

o tempo de transporte.

Para as simulações computacionais em ambos os sistemas de transporte foi utilizada SED como ferramenta de apoio, através do *software* Ururau 1.1, entretanto, não fez parte do escopo desta pesquisa definir qual a melhor técnica ou método de análise.

## 1.7. ESTRUTURA DO TRABALHO

O primeiro capítulo apresentou a introdução do trabalho composta pela contextualização, objetivos geral e específicos, justificativa, questões de pesquisa, método empregado, delimitações e estrutura do trabalho.

O segundo capítulo trata-se da revisão de literatura com exposição da base conceitual, estado da arte e conclusão da revisão de literatura. O primeiro aborda questões básicas referentes à simulação computacional. O segundo descreve os artigos publicados na base bibliográfica de dados Scopus que tratam de simulação e sustentabilidade. O último apresenta algumas conclusões sobre o tema que indicam o originalidade relacionada a esta dissertação de mestrado.

O terceiro capítulo refere-se aos materiais e métodos utilizados no trabalho. Foram apresentadas a metodologia de simulação proposta, equipamento e *software* de simulação, descrição dos sistemas investigados, descrição dos cenários e estrutura dos questionários.

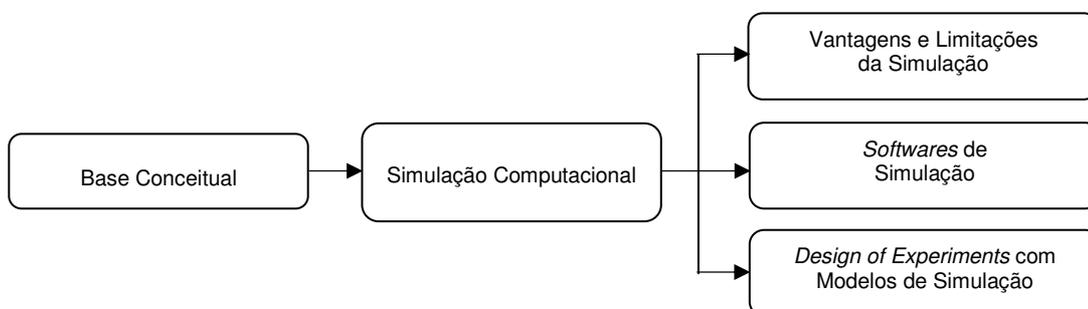
O quarto capítulo mostra os modelos de simulação utilizados, os parâmetros utilizados nos modelos computacionais, os experimentos simulados e a análise dos resultados.

Por fim, o quinto capítulo mostra as considerações finais do trabalho e responde às questões de pesquisa levantadas inicialmente. Também são apresentadas suas limitações, sugestões para trabalhos futuros e produções originadas.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. BASE CONCEITUAL

Nesta seção é apresentada a revisão de literatura, com o objetivo de apresentar os conceitos e fundamentos dos aspectos abrangidos pelo tema central, conforme o Fluxograma 1. Foram descritos alguns conceitos básicos sobre simulação computacional, mostrando vantagens e desvantagens do uso dessa ferramenta para análise de sistemas, apresentação de alguns *softwares* de simulação e *design of experiments* com modelos de simulação. Uma breve conceituação sobre SC e aspectos sobre LM e GM podem ser encontrados no Apêndice A em função de alguns trabalhos sobre esses temas estarem presentes ao longo dessa dissertação.



**Fluxograma 1.** Estrutura da Base Conceitual.  
Fonte: Elaborado pela autora (2016).

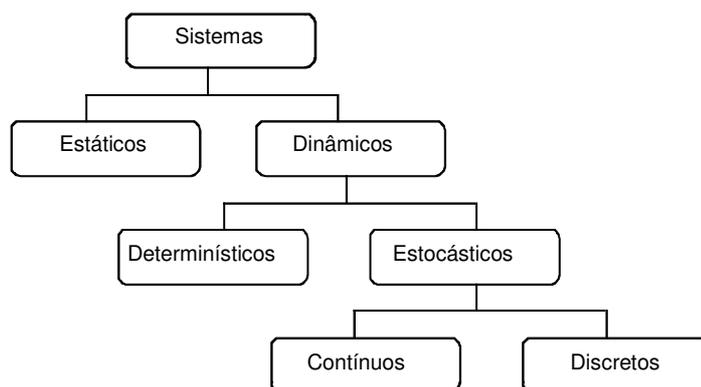
### 2.1.1. Simulação Computacional

De acordo com Freitas Filho (2008), a simulação computacional consiste na utilização de determinados modelos matemáticos que empregados em computadores permitem imitar o funcionamento de inúmeros tipos de operações, processos ou sistemas produtivos do mundo real. Para isso, são realizados experimentos com o modelo utilizado, a partir de um conjunto de variáveis, com o propósito de compreender seu comportamento e definir a melhor estratégia para sua operação mediante as variáveis envolvidas.

Segundo Banks *et al.* (2010), através da técnica de simulação computacional é possível estudar detalhadamente o comportamento de um determinado sistema por meio do uso de modelos que imitam total ou parcialmente o que acontece na prática.

Dentre as diferentes maneiras encontradas na literatura para se classificar os sistemas para modelagem e simulação computacional, Kelton; Sadowski; Zupick (2015) apresentam uma das mais usuais, conforme o Fluxograma 2.

- (1). **Sistemas estáticos e dinâmicos:** no primeiro, o tempo não desempenha um papel natural, no segundo ocorre o inverso;
- (2). **Sistemas determinísticos e aleatórios (ou estocásticos):** no primeiro, os possíveis estados das variáveis podem ser descritos e predeterminados, no segundo ocorre o inverso, as variáveis de entrada são randômicas;
- (3). **Sistemas contínuos e discretos:** no primeiro, o estado do sistema pode mudar continuamente ao longo do tempo, no segundo, essa mudança ocorre em pontos separados no tempo a partir da ocorrência de eventos.



**Fluxograma 2.** Classificação dos sistemas para modelagem e simulação.  
Fonte: Adaptado de Freitas Filho (2008).

Chwif e Medina (2015) classificam a simulação computacional em três categorias básicas: simulação de “Monte Carlo”, simulação contínua e SED.

**(I). Simulação de “Monte Carlo”:** utiliza-se de geradores de números aleatórios para simular sistemas físicos ou matemáticos, nos quais não se considera o tempo explicitamente como uma variável.

**(II). Simulação contínua:** é utilizada para modelar sistemas cujo estado varia continuamente no tempo, através de equações diferenciais para calcular as mudanças das variáveis de estado.

**(III). SED:** é utilizada para modelar sistemas que mudam o seu estado em momentos discretos no tempo, a partir da ocorrência de eventos. Os modelos de SED são analisados numericamente e não analiticamente, isto é, empregam-se procedimentos computacionais para “solucionar” modelos matemáticos. Desta maneira, os modelos de simulação que utilizam métodos numéricos são complexos e possuem grande quantidade de dados armazenados e processados.

#### 2.1.1.1. Vantagens e Limitações da Simulação

A utilização de simulação pode apresentar muitas vantagens, como também limitações, ainda que seja uma ótima ferramenta de avaliação. Freitas Filho (2008) lista alguns pros e contras sobre esta ferramenta, conforme o Quadro 4.

VANTAGENS	LIMITAÇÕES
Após a criação do modelo computacional o mesmo pode ser utilizado inúmeras vezes;	A construção de modelos computacionais requer treinamento especial;
A simulação, geralmente, possui maior facilidade de aplicação em relação aos métodos analíticos;	Possível dificuldade de interpretação dos resultados da simulação;
Os modelos de simulação não requerem um número grande de simplificações e, desta forma, é possível analisar praticamente qualquer medida concebível;	A modelagem e a experimentação de modelos de simulação consomem muitos recursos, principalmente tempo;
Hipóteses sobre o por quê ou como certos fenômenos acontecem podem ser testados para confirmação;	Cada modelo de simulação é único, portanto, não é possível utilizá-lo em diferentes situações e obter ganhos de escala;
É possível reproduzir fenômenos de maneira lenta ou acelerada para melhor estudo;	A simulação não gera bons resultados se o modelo não for alimentado criteriosamente;
É possível compreender a performance e a interação entre as variáveis e os demais elementos do sistema;	Apesar do uso de <i>softwares</i> , a simulação não é uma técnica otimizante;
A metodologia de análise utilizada pela simulação permite a avaliação de um sistema, ainda que os dados de entrada estejam sob a forma de esquemas ou rascunhos;	A simulação pode ser usada de forma inapropriada quando outras soluções mais simples resolveriam o problema em menor tempo;
Podem-se identificar gargalos em sistemas produtivos;	O tamanho de modelo de simulação, quando este se torna grande e demasiadamente complexo;
A simulação contrasta a real forma de operação de um sistema com a ideia preliminar do seu funcionamento;	Necessidade de utilização de grandes valores para a construção e os testes do modelo;
É possível prever o comportamento de novos sistemas antes que estes sejam construídos.	Necessidade de potentes equipamentos de <i>software</i> e <i>hardware</i> para a rodagem e validação do modelo.

**Quadro 4.** Vantagens e limitações do uso de simulação computacional.  
Fonte: Freitas Filho (2008).

#### 2.1.1.2. Softwares de Simulação

Os *softwares* de simulação disponíveis são empregados nas mais diversas áreas, como previsão meteorológica, treinamento de estratégia para militares, pilotagem de veículos, entre outras aplicações que permitem estudar o comportamento e reações de um determinado sistema. Tais *softwares* podem ser comerciais (*Commercial-Off-The-Shelf – COTS*) ou livres (*Free and Open-Source Software – FOSS*) ou ainda se apresentarem em ambas as versões .

Há um grande número de *softwares* comerciais de simulação e não faz parte do escopo desta pesquisa discutir cada um deles. Portanto, será apresentado, nesta seção, de forma concisa apenas um exemplo de *software* comercial, o Arena. Este *software* será citado por ser uma das ferramentas de SED mais utilizadas e reconhecidas mundialmente.

O Arena é um *software* estatístico pertencente à *Rockwell Software* que permite, através da análise dinâmica e da interação entre os elementos do sistema, determinar gargalos, melhorar condições de operações, visualizar tamanhos de filas, ocupação de recursos e verificar o comportamento de sistemas. O Arena possui um ambiente gráfico integrado, recursos para análise estatística, modelagem de processos, animação e análise de resultados. Todo o processo de criação de um modelo em Arena é realizado através de blocos e caixas, permitindo representar o fluxo de informações e os processos das empresas (PARAGON, 2016).

Por outro lado, com relação aos *softwares* de simulação livres, existem disponíveis 44, conforme relatado por Dagkakis; Heavey (2015). Os autores apresentaram uma revisão de literatura com uma lista de 10 *softwares* livres de SED, descrevendo características como funções, linguagem de programação, aplicabilidade, entre outros. Os *softwares* elencados foram: OMNeT++C, NS-3C, SimPy, JaamSim, JAPROSIM, DESMO-J, Facsimile, SharpSim, PowerDEVS e Ururau.

O *software* Ururau, que aparece listado, é o primeiro *FOSS* brasileiro de SED e foi utilizado na presente dissertação para a elaboração de modelos computacionais para análise de emissões de GEE em sistemas de transporte rodoviário de carga (PEIXOTO *et al.*, 2016). Maiores detalhes estão disponíveis no item 3 (Materiais e Métodos).

### 2.1.1.3: Design of Experiments com Modelos de Simulação

O processo ou técnica estatística de experimentação é empregado com o propósito de determinar como o comportamento do sistema pode ser influenciado pelos possíveis valores de uma ou mais variáveis (FREITAS FILHO, 2008). Alguns termos frequentemente utilizados em projeto experimental são descritos a seguir para melhor entendimento sobre o assunto.

**(1). Variável de resposta:** São os resultados de um experimento, expressos por meio de algumas variáveis previamente eleitas. Elas permitem ao experimentador observar o comportamento de um sistema;

**(2). Fator:** São as variáveis controladas pelo experimentador e que afetam a(s) variável(eis) de resposta. Cada fator apresenta ao menos duas alternativas.

**(3). Nível:** Correspondem aos valores que um fator pode assumir. Isto é, cada nível de um fator constitui uma alternativa para aquele fator.

**(4). Replicação:** Refere-se ao número de repetições ao qual um experimento é submetido.

**(5). Projeto:** É a especificação da estratégia de ação utilizada que resulta no número de experimentos, de replicações e da forma de efetivação dessas replicações.

Montgomery (2013) definiu experimento como um teste ou uma série de testes nos quais alterações controladas e que são realizadas sobre os fatores envolvidos, em um sistema ou processo, para identificar as razões das mudanças ocorridas sobre as respostas. O autor ainda destaca quatro objetivos pretendidos no processo experimental.

(I). Determinar quais variáveis têm mais influência sobre as respostas;

(II). Determinar os valores a serem associados às variáveis para que as respostas permaneçam próximas a seus valores nominais;

(III). Determinar os valores a serem associados às variáveis para que a variabilidade das respostas seja mínima;

(IV). Determinar os valores a serem associados às variáveis para minimizar a influência dos fatores não controláveis.

De acordo com Freitas Filho (2008), há várias estratégias que podem ser adotadas para a execução de um projeto experimental, conforme o Quadro 5.

ESTRATÉGIA	DESCRIÇÃO
Bom senso	É uma estratégia comumente utilizada no dia-a-dia de engenheiros e pesquisadores. É empregada quando o experimentador possui um bom conhecimento do sistema e das diversas variáveis envolvidas no processo.
Um fator por vez	O experimentador inicia com uma configuração típica para todos os fatores e observa o resultado. Neste tipo de experimentação, um fator varia enquanto os demais permanecem fixos e, quando se esgotam as possibilidades de variação do primeiro fator, este se torna fixo e o segundo passa a variar.
Projeto fatorial completo	É uma estratégia indicada para situações em que há interações a serem avaliadas. São testadas todas as combinações possíveis entre os fatores e seus diferentes níveis, de forma que esses fatores são variados juntos, ao invés de um por vez.
Projeto fatorial fracionário	É uma estratégia utilizada quando o projeto fatorial completo é muito grande, quando se deseja reduzir os custos ou por limitação de tempo. Esta situação pode ser simbolicamente representada por $n^{k-1}$ , em que "n" é o número de níveis e "k" é o número de fatores.
Projeto fatorial com replicações	Neste tipo de estratégia, cada ensaio é replicado "r" vezes. O número de experimentos provenientes da combinação de "n" níveis e "k" fatores deve ser multiplicado por "r" replicações, para obter-se o número total de experimentos a serem realizados.

**Quadro 5.** Resumo de estratégias para execução de um projeto experimental.  
Fonte: Freitas Filho (2008).

Nesta temática, o projeto fatorial  $2^k$  é um tipo de projeto fatorial completo muito popular que utiliza apenas dois níveis e "k" fatores. Esta classe de estratégia é importante pois possui fácil implementação, facilidade de compreensão por parte de analistas menos experientes, facilidade de entendimento dos efeitos provocados por cada fator sobre as variáveis de resposta e possibilidade de ordenação dos fatores por ordem de importância. O caso mais simples dessa classe de experimentos é o que possui apenas dois fatores. Sendo assim, o projeto experimental  $2^2$  é um caso especial e é o mais simples do projeto fatorial  $2^k$ , com  $k = 2$ . Esse tipo de experimento, com a utilização de menos recursos, auxilia a decidir se é realmente necessário um exame mais detalhado com mais fatores ou não (MONTGOMERY, 2013).

Os modelos experimentais podem ser empregados em modelos de simulação com a finalidade de conferir-lhes maior validade científica. De acordo com Freitas Filho (2008), a importância de se aliar o emprego de modelos de simulação a técnicas estatísticas decorre da necessidade de se analisar estatisticamente os resultados dos modelos de simulação para assegurar sua eficiência e diminuir erros.

## 2.2. ESTADO DA ARTE

O levantamento bibliográfico realizado em Dezembro de 2016, na base de dados Scopus, com as palavras-chave “*discrete event simulation*” AND “*transport*” AND “*emission*” retornou 10 artigos, os quais foram analisados para verificar semelhanças com o tema da presente dissertação e nove foram aderentes. Outros sete artigos que nortearam esta pesquisa também foram incluídos nesta sessão, tais artigos foram obtidos a partir de outras pesquisas realizadas durante o período da dissertação. Assim, o Quadro 6 relaciona, em ordem cronológica crescente, 16 publicações internacionais que utilizaram SED para analisar aspectos sustentáveis e de emissões de GEE no setor de transportes.

TÍTULO DO ARTIGO	PERIÓDICO	AUTOR (ES)	NUMERO DE CITAÇÕES
Sustainable supply chain design: Capturing dynamic input factors	Journal of Simulation	Byrne <i>et al.</i> (2010)	5
A case study of lean, sustainable manufacturing	Journal of Industrial Engineering and Management	Miller, Pawloski e Standridge (2010)	37
Simulation-based analysis of personal rapid transit systems: Service and energy performance assessment of the Masdar City PRT case	Journal of Advanced Transportation	Mueller e Sgouridis (2011)	27
Carbon friendly supply chains: a simulation study of different scenarios	Production Planning & Control	Jaegler e Burlat (2012)	12
Sustainable supply chain design: An application example in local business retail	Simulation	Longo (2012)	16
Exploring the environmental modeling of road construction operations using discrete-event simulation	Automation in Construction	González e Echaveguren (2012)	17
Hinterland operations of sea ports do matter: Dry port usage effects on transportation costs and CO <sub>2</sub> emissions	Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review	Lättilä, Henttu e Hilmola (2013)	20
What is the impact of sustainable development on the re-localization of manufacturing enterprises?	Production Planning and Control	Jaegler e Burlat (2014)	1
Assessing the integration of torrefaction into wood pellet production	Journal of Cleaner Production	Mobini <i>et al.</i> (2014)	12
A tradeoff model for green supply chain planning: A leanness-versus-greenness analysis	Omega	Fahimnia, Sarkis e Eshragh (2015)	12
Greenhouse gas reduction in transport: analyzing the carbon dioxide performance of different freight forwarder networks	Journal of Cleaner Production	Kellner e Igl (2015)	7
Free and Open-Source Software for sustainable analysis in logistics systems design	Journal of Simulation	Rangel e Cordeiro (2015)	0
Safety Enhancement and Carbon Dioxide (CO <sub>2</sub> ) reduction in VANETs	Mobile Networks and Applications	Santamaria <i>et al.</i> (2015)	4
Evaluating electric bus operation for a real-world BRT public transportation using simulation optimization	IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems	Sebastiani, Luders e Fonseca (2016)	1
Proposal for a flexible discrete event simulation model for assessing the daily operation decisions in a Ro-Ro terminal	Simulation Modelling Practice and Theory	Iannone <i>et al.</i> (2016)	0
Lean versus green: The impact of lean logistics on greenhouse gas emissions in consumer goods supply chains	Journal of Purchasing and Supply Management	Ugarte, Golden e Dooley (2016)	2

**Quadro 6.** Artigos selecionados por ano de publicação  
Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Segundo a base Scopus no portal dos periódicos Capes (09/2016).

Byrne *et al.* (2010) propôs o uso de SED como um método para capturar a natureza dinâmica da operação de SC e auxiliar tomadores de decisão a avaliar e projetar SC mais amigáveis ambientalmente. O objetivo foi quantificar os *trade-offs* entre custo, desempenho e impacto ambiental, estudando os efeitos das decisões operacionais relacionadas com os transportes e o seu impacto sobre o ambiente, os níveis de serviço e os custos.

Miller; Pawloski; Standridge (2010) realizaram um estudo de caso integrando ferramentas de produção *lean* e conceitos de sustentabilidade à um modelo de SED e otimização para superar deficiências em estratégias operacionais. Os estudos demonstraram que a produção *lean* transcende a *green* e evidenciaram um impacto positivo mais significativo quando as medidas *lean* e *green* foram aplicadas concomitantemente. Como exemplo, práticas *lean* de redução de estoques e de índices de produção reduziram o consumo energético, ou, a redução no número de fornecedores tornou a atividade de abastecimento mais sustentável, pois reduziu a quantidade de transportes e, conseqüentemente, as emissões. Nesses casos, as medidas *lean* adotadas conseqüentemente trouxeram benefícios *green*.

Mueller; Sgouridis (2011) elaboraram um modelo de cidade com zero emissão, através de um sistema totalmente automatizado para demanda de trânsito rápido intermunicipal, através de uma rede rodoviária subterrânea para transporte de passageiros e mercadorias. Para isso, foi construído um modelo de SED com o objetivo de suportar a concepção e implementação de uma cidade com esse sistema inovador. Através das simulações foi possível estimar o impacto de diferentes algoritmos de alocação de veículos, estratégias de carga das baterias dos veículos e suas taxas de ocupação, além de antecipar o comportamento desse sistema sob condições adversas. Os modelos ajudaram a melhorar a utilização da frota, o consumo de energia e os custos gerais do sistema.

Jaegler; Burlat (2012) concentraram-se nas emissões de CO<sub>2</sub> ao longo do SC desde as emissões dos transportes até o armazenamento dos estoques. Desenvolveu-se um modelo de SED para simular um SC de três elos, com quatro variáveis sintonizáveis fornecidas: capacidade de produção, localizações, meio de transporte e tipos de produtos. Os dados foram obtidos de um grande fabricante e distribuidor de ventilação e sistemas de ar condicionado. O objetivo do estudo foi

comparar os níveis de emissões de CO<sub>2</sub> em diferentes configurações e cenários, ajudando gestores a selecionar os SC mais sustentáveis.

Longo (2012) demonstrou a necessidade de se considerar diferentes aspectos de sustentabilidade em problemas de redesenho e otimização do SC. Para isso, construiu-se um modelo de SED utilizando como exemplo de aplicação o sistema de varejo da indústria farmacêutica. O trabalho considerou três aspectos diferentes de sustentabilidade (técnica, econômica e ambiental) ao investigar dois problemas distintos. O primeiro referiu-se à adição de novas farmácias para o SC e o segundo a otimização das rotas existentes do SC. Os principais objetivos foram entender como novos potenciais clientes podem ser adicionados ao SC para reduzir os impactos negativos sobre os níveis de satisfação dos clientes (sustentabilidade técnica), como otimizar as rotas seguidas por cada vetor de transportes (sustentabilidade técnica, econômica e ambiental) e como comparar diferentes soluções de frotas de caminhões a fim de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> (sustentabilidade ambiental e econômica).

González; Echaveguren (2012) relataram que a aplicação prática da sustentabilidade na indústria da construção é um desafio para o qual tem havido vários esforços de pesquisa, principalmente para a elaboração de modelos sustentáveis. Neste contexto, os autores elaboraram um modelo dinâmico com base em SED para descrever adequadamente a natureza dinâmica do ambiente produtivo da construção. Esse modelo incorporou explicitamente metas ambientais na concepção de operações de construção de estradas, como as emissões geradas pelas condições de produção e trânsito. Os principais resultados mostraram que um número ótimo de caminhões e carregadores podem minimizar os níveis de emissão.

Lättilä; Henttu; Hilmola (2013) destacaram que a diminuição nas emissões de CO<sub>2</sub> é uma das tarefas mais importantes da sociedade do século XXI. Os autores acreditam, então, que uma alternativa seria a utilização de um terminal intermodal terrestre (portos secos). O estudo comparou duas configurações: na primeira, os carregadores dirigiam-se diretamente a um porto marítimo, já na segunda eles utilizaram portos secos. Na avaliação de ambos os sistemas, feita por modelos de SED, os autores estavam interessados em duas questões: os níveis de emissões de CO<sub>2</sub> e os custos para transportar as mercadorias em diferentes configurações. Os

resultados encontrados foram comparados com uma situação em que as emissões eram minimizadas em vez dos custos. Também foram discutidas implicações em maior escala em regiões onde há rígidas restrições de emissões de enxofre.

Jaegler; Burlat (2014) continuaram sua pesquisa concentrando-se nas emissões equivalentes de CO<sub>2</sub> ao longo do SC. Os autores desenvolveram um modelo de SED que utiliza a política de gestão de produção de ponto de reabastecimento para atender a demanda através de estoques. O modelo, aplicado a dois casos industriais (indústria têxtil e de refrigeração), considerou a capacidade de produção por meio de um indicador de eficácia global do equipamento (OEE, em inglês), a localização das empresas e os tipos de produtos. O objetivo foi comparar as emissões de CO<sub>2</sub> equivalentes de diferentes configurações.

Mobini *et al.* (2014) desenvolveram um modelo de SED com simulação contínua para avaliar a integração de torrefação na produção e distribuição de aglomerados de madeira. A abordagem de simulação dinâmica foi utilizada para permitir considerar incertezas, interdependências e limitações de recursos ao longo de todo o SC desde as fontes de matérias-primas até a distribuição dos produtos finais. O modelo avaliou o custo de pelotas torrificadas entregues a diversos mercados, a procura energética e as emissões de CO<sub>2</sub>, comparando-as com as pelotas regulares. Neste estudo de caso, em uma cidade canadense, os resultados indicaram que a integração do processo de torrefação levou a um menor custo de entregas para os mercados existentes e potenciais e à diminuição da emissão de CO<sub>2</sub> devido ao transporte mais eficiente das pelotas torrificadas.

Fahimnia; Sarkis; Eshragh, (2015) apresentam uma análise exploratória que investigou algumas questões críticas envolvendo o debate de produção *lean* versus *green* no nível tático do planejamento. Um modelo de planejamento do SC foi utilizado para investigar compensações entre custo e degradação ambiental, incluindo emissões de carbono, consumo energético e geração de resíduos. O modelo também incorporou aspectos como dimensionamento de lotes para transporte e capacidade de retenção de armazéns. Os resultados indicaram que embora algumas práticas *lean* provoquem resultados *green*, principalmente com a redução de desperdícios e *lead time*, nem todas as práticas *lean* do nível tático estão alinhadas com resultados *green*. Os autores ainda destacam que uma

situação estritamente *lean* se apresenta como uma alternativa pouco vantajosa do ponto de vista sustentável se empregado em SC não flexíveis, ao passo que seria preferível, sob o aspecto ambiental, uma situação menos *lean* em um sistema de SC mais flexível.

Kellner; Igl (2015) afirmaram que existe uma crescente preocupação na indústria de alimentos sobre como gerenciar SC de forma mais sustentável. Os autores apresentaram uma metodologia para avaliação de provedores de serviços logísticos (LSP, em inglês) que representam as empresas terceirizadas para a realização das atividades de distribuição. Os autores examinaram, através de 125 cenários de um modelo quantitativo de rede de distribuição, como a pegada de carbono de um sistema de distribuição real pode ser afetada pelos LSP. Os resultados mostraram que as estruturas de LSP atuando geograficamente descentralizadas são mais eficientes na redução das emissões de GEE.

Rangel; Cordeiro (2015) demonstraram como calcular emissões de GEE provenientes dos transportes em sistemas logísticos por meio de SED. A modelagem, desenvolvida em um *software* livre e de código aberto, considerou os aspectos discretos associados aos sistemas de transporte e os aspectos contínuos referentes às emissões de CO pela frota. As simulações procuraram comparar os *trade-offs* entre variáveis ambientais e econômicas. Os resultados indicaram não haver uma relação direta de proporcionalidade entre o tempo de entrega e o total de emissões produzidas pelos caminhões.

Santamaria *et al.* (2015) apresentaram uma arquitetura de cooperativa que permite aos veículos estabelecerem uma comunicação entre si e com uma conexão de infraestrutura. Os autores propuseram um protocolo para obter dados importantes sobre o ambiente como colisões, blocos de tráfego e níveis de emissões, entre outros. Além disso, um sistema de gestão inteligente do tráfego foi abordado no quadro proposto para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> dos veículos. Para fins de validação os autores utilizaram um modelo de SED com um gerador de mobilidade dinâmica que permitiu alterar áreas de controle de referências, tamanho da área e taxas de carga.

Sebastiani; Luders; Fonseca (2016) elaboraram um modelo de SED para

avaliar o consumo de energia de ônibus elétricos alimentados por bateria. Foi utilizado um modelo matemático que levou em consideração diferentes forças de carga e fricção em uma abordagem de otimização de simulação para minimizar o número de estações de carga e o tempo extra médio do veículo parado para carregar. Os dados utilizados nos modelos de simulação foram obtidos do transporte público da cidade de Curitiba, incluindo demandas de passageiros, velocidades dos ônibus e distâncias. Os resultados mostraram diferentes arranjos para o número de estações, a localização das estações e atrasos nos horários de ônibus.

Lannone *et al.* (2016) desenvolveram um estudo cujo objetivo foi avaliar o impacto das decisões de gestores no planejamento operacional com foco particular sobre a movimentação dos veículos. Devido a alta complexibilidade do problema, causada principalmente pela natureza estocástica das variáveis envolvidas, utilizou-se um modelo de SED construído em Arena Rockwell. Foram descritas as operações do terminal, as decisões de operação e os custos envolvidos em processos terminais não formalizados. O trabalho avaliou o impacto econômico das diferentes alternativas operacionais sobre custos logísticos e as emissões de GEE.

Ugarte; Golden; Dooley (2016) relataram que os SC de bens de consumo têm incorporado princípios de ME para identificar e reduzir atividades sem valor agregado e para promover melhorias em termos de custos, qualidade e capacidade de resposta à demanda. No entanto, os autores consideram que certas práticas de transporte e distribuição podem ter um impacto negativo sobre o ambiente. Dentro deste contexto, duas hipóteses de investigação foram propostas. A primeira, afirmou que o uso de um gerenciamento de inventário do tipo *just-in-time* aumenta significativamente a frequência dos transportes e, por consequência, aumentam as emissões de GEE no SC. A segunda, afirmou que a gestão de inventário feita pelos fornecedores diminui as emissões de GEE no SC porque melhoram a flexibilidade do sistema. Essas hipóteses foram testadas por meio de um modelo de simulação de um SC do ramo do varejo. Os resultados sugeriram que melhorias feitas nos processos podem acarretar aumentos não intencionais nas emissões totais do sistema.

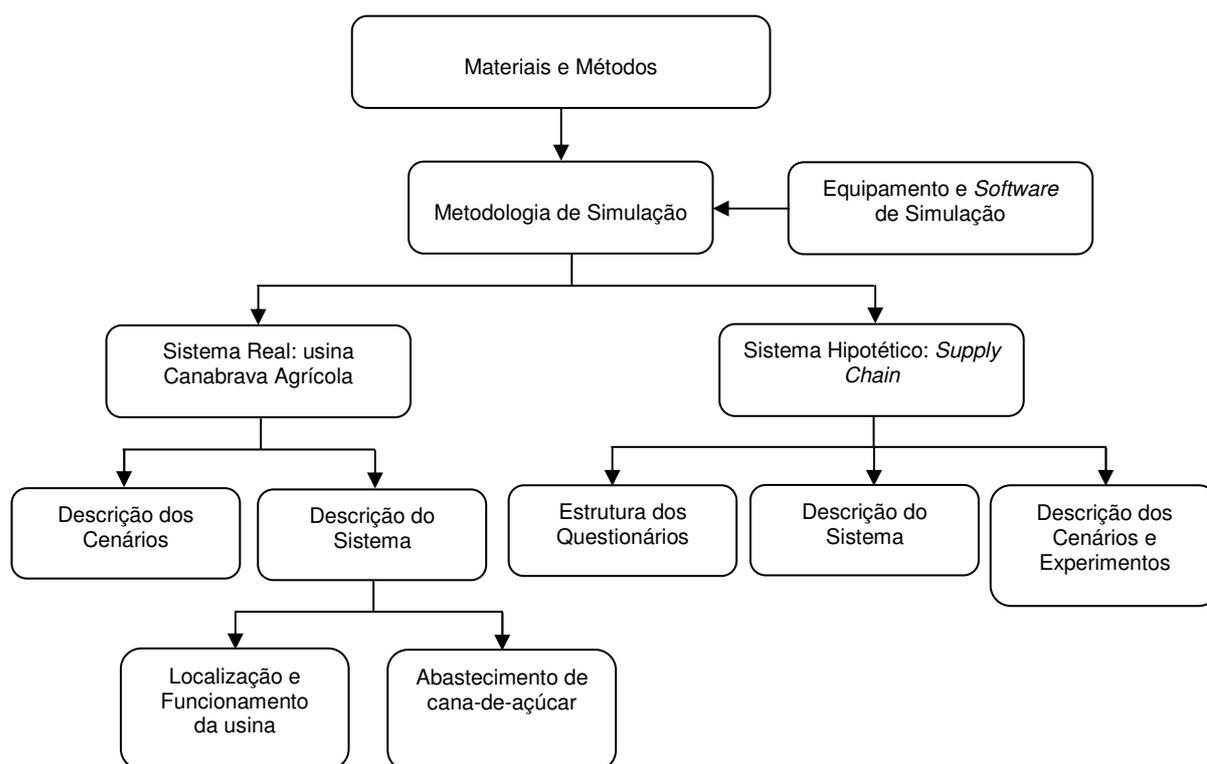
### 2.3. CONCLUSÃO DA REVISÃO DA LITERATURA

Com base nos 16 artigos analisados concluiu-se que os estudos envolvendo SED em sistemas logísticos para tratar de aspectos sustentáveis ambientalmente podem ser ampliados. O primeiro artigo encontrado na base Scopus foi publicado em 2010, não sendo registrado pela base artigos de anos anteriores. O que sugere que o assunto possui recente exploração em termos mundiais, apesar das emissões de GEE provenientes dos transportes representarem 23% das emissões totais mundiais, conforme dados da IEA.

Durante a elaboração deste trabalho, a pesquisa direcionada à SED, transporte e emissões agrupou 16 publicações, no período entre 2010 e 2016, sendo 9 artigos obtidos por meio da base Scopus e os demais incluídos de outras pesquisas realizadas durante o período da dissertação. Deste total, observou-se que os anos de 2015 e 2016 foram os que apresentaram o maior número de publicações, 4 e 3, respectivamente. Através da leitura dos resumos destes 16 artigos (Quadro 6) foi possível identificar os principais assuntos abordados pelos autores envolvendo sustentabilidade ambiental e transportes. Assim, foram encontrados artigos sobre SC sustentáveis, produção *lean* e *green* como formas de tornar as operações industriais mais limpas, utilização de veículos elétricos, reestruturação logística com foco em redução de emissões de GEE entre outros. A verificação do estado da arte serviu para melhor compreensão sobre qual a visão, em termos mundiais, que estudiosos e pesquisadores têm a respeito desta temática. Com isso, foi possível perceber que há pesquisadores interessados em evidenciar a necessidade de implementar estratégias capazes de conter as emissões de GEE, trazendo, em seus trabalhos, diversas alternativas embasadas, inclusive, por modelos de SED. Estes resultados, então, não tiveram o objetivo de apontar um estudo quantitativo conclusivo a respeito do tema proposto, mas utilizar um levantamento bibliográfico para identificar como este assunto tem sido explorado, quais as tendências deste campo de estudo e, poder embasar a proposta desta dissertação. Assim, concluiu-se que a sustentabilidade ambiental no setor de transporte oferece um vasto campo de pesquisa de interesse para a comunidade científica e, que ainda carece de estudos que possam alargar os conhecimentos referentes às emissões de GEE e à criação de estratégias ambientais no setor de transportes.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção são apresentados os materiais e métodos utilizados na presente dissertação. Conforme ilustrado no Fluxograma 3, foram abordadas duas aplicações, a primeira utilizou um sistema real, CCT de cana-de-açúcar, tomando como base uma usina sucroalcooleira do Norte Fluminense. A segunda aplicação, um sistema hipotético de SC, abrangeu as respectivas operações de transporte tendo como base duas configurações logísticas encontradas em Ballou (2004). Em ambos os casos, foram explicitados: equipamento e *software* de simulação, metodologia de simulação, descrição do sistema e descrição dos cenários. No sistema hipotético ainda explicou-se a estrutura dos questionários aplicados nesta pesquisa.



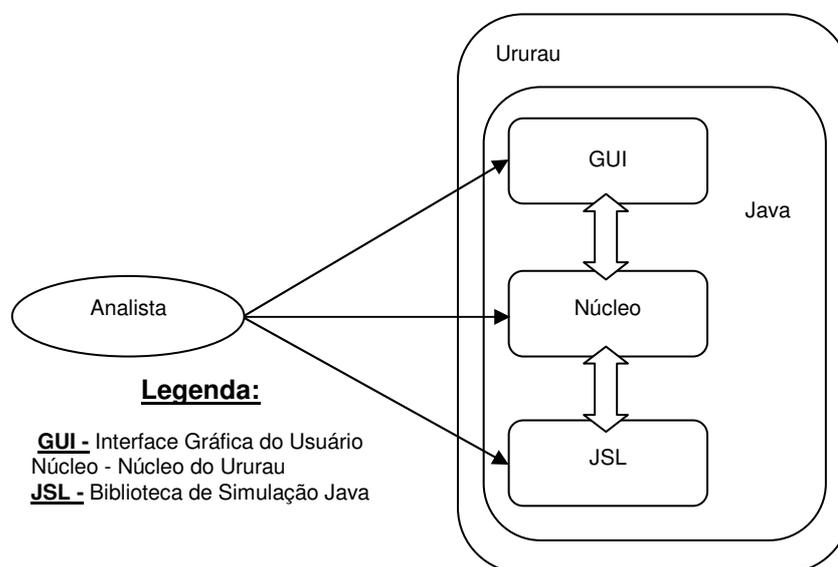
**Fluxograma 3:** Visão geral dos Materiais e Métodos utilizados.  
Fonte: Elaborado pelo autora.

### 3.1. EQUIPAMENTO E SOFTWARE DE SIMULAÇÃO

A execução dos modelos de simulação foi realizada em uma máquina Dell com processador AMD Athlon™ 64 X2 Dual Core Processador 4200+ 2.20 GHz, memória instalada (RAM) 4,00 GB, sistema operacional Windows 7 Professional 64 bits.

O *software* de simulação utilizado para a construção dos modelos de simulação presentes nesta pesquisa foi o Ururau 1.1. Trata-se de um *software* de código aberto e sem custo de licença que utiliza a biblioteca de *software Java Simulation Library* (JSL) proposta por Rosseti (2008). Conforme apresentado por Peixoto *et al.* (2016), o Ururau 1.1 é dividido em três camadas, ilustrado no Fluxograma 4. A camada inferior faz a conversão do modelo e é composta por uma série de comandos de processos que utiliza uma sequência de eventos discretos. A camada intermediária, chamada núcleo, é composta por comandos para a criação, por exemplo, de entidades. Por último, a camada superior é a conversão do modelo

gráfico, que compreende um gráfico dirigido a uma sequência de comandos no núcleo do Ururau 1.1 e facilita a criação dos modelos de simulação.

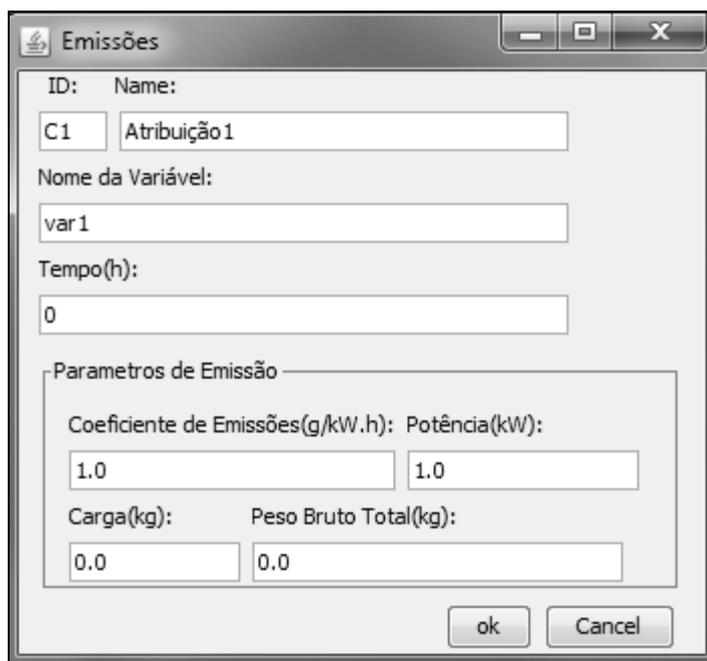


**Fluxograma 4:** Arquitetura do ambiente de simulação Ururau 1.1.  
 Fonte: Peixoto *et al.* (2016).

O modelo gráfico do Ururau 1.1 é baseado em IDEF-SIM que é uma linguagem utilizada para a descrição conceitual de um modelo de simulação, apresentada por Montevechi *et al.* (2010). Assim, a utilização deste simulador possui uma curva de aprendizagem menor, quando comparado com os demais, pois há uma proximidade entre o modelo conceitual e o modelo computacional. Além disso, o Ururau 1.1 pode ser utilizado em diversos sistemas, como sistemas logísticos, e possui flexibilidade, tornando o usuário capaz de construir modelos personalizados, por meio da modificação direta do código fonte, para atender às necessidades específicas de um sistema sob análise (PEIXOTO *et al.*, 2016). O *software* Ururau 1.1 pode ser acessado livremente em <http://ururau.ucam-campos.br/>. Dagkakis e Heavey (2015) citaram o Ururau 1.1 para análises sustentáveis envolvendo SC e cálculo de emissões em um ranking de dez *softwares* livres de SED.

O *software* possui, ainda, um módulo específico, chamado Emissões, para calcular as emissões de CO<sub>2</sub>, possibilitando contabilizá-las em gramas, conforme ilustrado na Figura 8. Na parte superior, Nome da Variável indica o local onde as variáveis são criadas e manipuladas. Na linha Tempo é inserido o tempo de

transporte, que deve ser informado em horas. Logo abaixo, em Parâmetros de Emissão, deve ser informado o coeficiente de emissões, que varia de acordo com o tipo de veículo em questão, a potência do veículo, a carga e o peso bruto total, que corresponde ao somatório da carga com a massa do veículo.



The image shows a software dialog box titled "Emissões". It has a standard Windows-style title bar with minimize, maximize, and close buttons. The dialog contains the following fields and labels:

- ID:** A small box containing "C1".
- Name:** A text box containing "Atribuição 1".
- Nome da Variável:** A text box containing "var1".
- Tempo(h):** A text box containing "0".
- Parametros de Emissão:** A section containing:
  - Coeficiente de Emissões(g/kW.h):** A text box containing "1.0".
  - Potência(kW):** A text box containing "1.0".
  - Carga(kg):** A text box containing "0.0".
  - Peso Bruto Total(kg):** A text box containing "0.0".
- At the bottom right, there are two buttons: "ok" and "Cancel".

**Figura 1.** Módulo do Ururau 1.1 para calcular as emissões de CO.  
Fonte: *Software Ururau 1.1.*

### 3.2. METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO

A simulação pode ser utilizada tanto para casos complexos como casos mais simples. Na área de logística, normalmente, é empregada no apoio à tomada de decisão, exatamente pelo fato de possibilitar a incorporação de complexidades dos sistemas reais, permitindo analisar variáveis pertinentes e os efeitos decorrentes destas (FRIGERI; BIANCHI; BACKES, 2007).

A construção dos modelos de simulação para as aplicações real e hipotética seguiu a metodologia proposta por Banks *et al.* (2010), em que foram seguidos os seguintes passos, conforme a Figura 9: formulação do problema; definição do objetivo e plano geral do projeto; elaboração do modelo conceitual; coleta de dados; tradução do modelo conceitual; verificação; validação; experimentação; execução e

análise; rodadas; documentação e relatório e implementação. A verificação e validação dos modelos seguiram as etapas sugeridas por Sargent (2013). No caso do sistema real, a validação do modelo ocorreu comparando-se os resultados do modelo computacional com o sistema real.

**(I). Formulação do problema:** o estudo foi iniciado com a declaração do problema a ser investigado, sendo descrito de maneira clara e entendível;

**(II). Definição do objetivo e plano geral do projeto:** definiram-se as questões a serem respondidas pela simulação, os custos relacionados, o tempo necessário para realizar cada fase do trabalho e os resultados esperados ao fim de cada etapa;

**(III). Elaboração do modelo conceitual:** as características essenciais dos sistemas foram elencadas para a construção dos modelos conceituais, neste caso, por meio da linguagem IDEF-SIM;

**(IV). Coleta de dados:** os dados necessários para alimentar o modelo conceitual do sistema hipotético foram obtidos do *Google Maps®* e de manuais técnicos, já os dados utilizados para alimentar o modelo conceitual do sistema real foram coletados diretamente na usina sucroalcooleira, posteriormente os mesmos foram utilizados para validação do modelo;

**(V). Tradução do modelo conceitual:** realizou-se a implementação dos modelos conceituais em um ambiente computacional, o *software* livre de simulação Ururau 1.1;

**(V). Verificação:** a lógica dos modelos computacionais foi testada para verificar se o funcionamento do mesmo se mostrava coerente com o sistema investigado;

**(VI). Validação:** realizou-se a calibração dos modelos computacionais contrastando as respostas das simulações com o funcionamento dos sistemas;

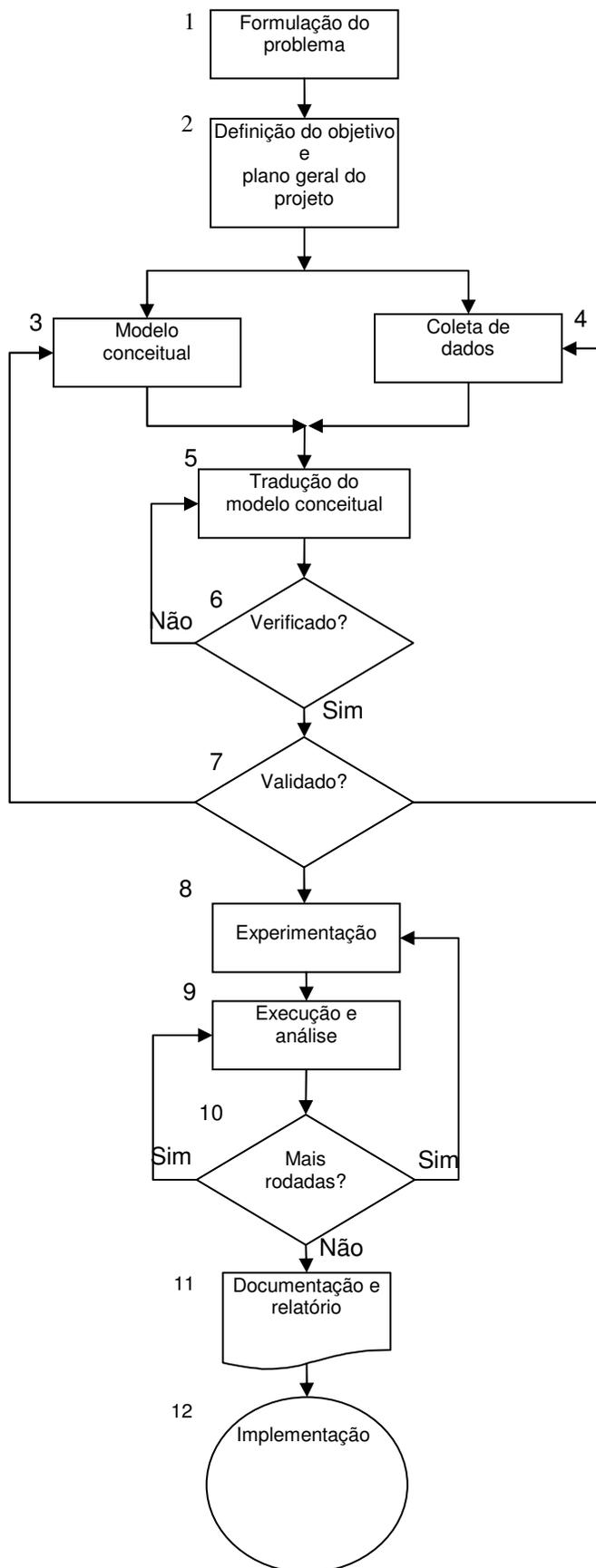
**(VII). Experimentação:** definiram-se as alternativas simuladas e os parâmetros de execução (tempo e número de replicação);

**(VIII). Execução e análise:** foram realizadas várias rodadas da simulação para análise dos resultados;

**(XIX). Rodadas:** verificou-se se os parâmetros da simulação foram suficientes e se havia necessidade de mais testes;

**(X). Documentação e relatório:** foram elaborados os documentos e relatórios do modelo de simulação para posterior manipulação do analista ou outros e para viabilizar o desenvolvimento de modelo similar;

**(XI). Implementação:** com os modelos finalizados, após passar por todas as etapas já mencionadas, foi possível executá-los e obter os resultados para o problema declarado inicialmente.



**Fluxograma 5:** Passos para estruturar um estudo de simulação.  
Fonte: Banks *et. al.* (2010).

### 3.3. SISTEMA REAL: USINA CANABRAVA AGRÍCOLA

#### 3.3.1. Descrição do Sistema

O sistema analisado é um típico sistema de CCT de cana-de-açúcar, conhecido como CCT. Esse sistema pode ser observado de forma semelhante em outros trabalhos, tais como os de Rangel *et al.*, (2013), Fioroni *et al.*, (2013) e Scheidl *et al.*, (2015). Para esta pesquisa utilizou-se como base o sistema de CCT de cana-de-açúcar de uma usina sucroalcooleira localizada no Norte Fluminense.

##### 3.3.1.1. Localização e Funcionamento da Usina

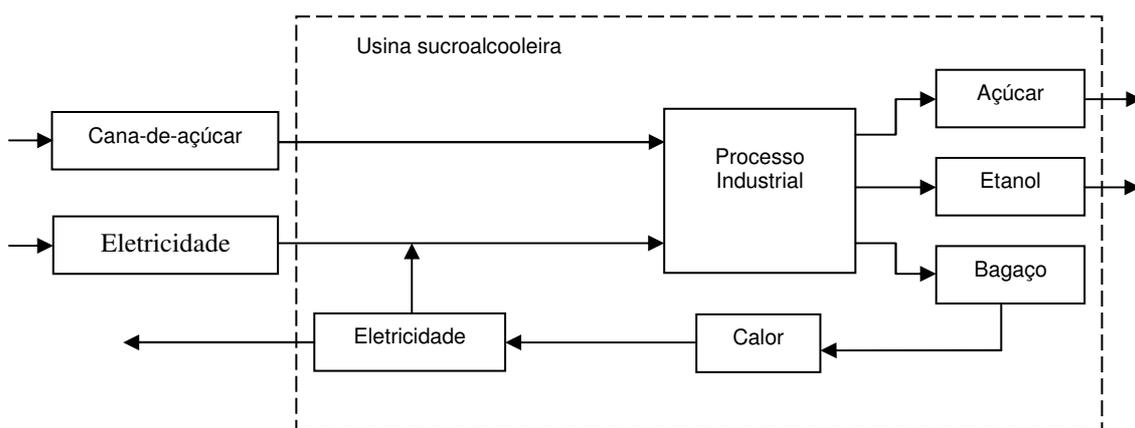
Para a presente pesquisa, foi tomada como exemplo a usina Canabrava Agrícola localizada no norte do estado do Rio de Janeiro, conforme ilustrado pela Figura 2. Sua localização é próxima dos municípios de Campos dos Goytacazes e Macaé, cidades de grande representatividade dentro do estado devido à exploração petrolífera na Bacia de Campos. A área de abrangência das fontes de matéria-prima da usina varia de 10 a 70 km, aproximadamente.



**Figura 2.** Localização da usina Canabrava Agrícola. Fonte: Google Maps® (2015)<sup>7</sup>.

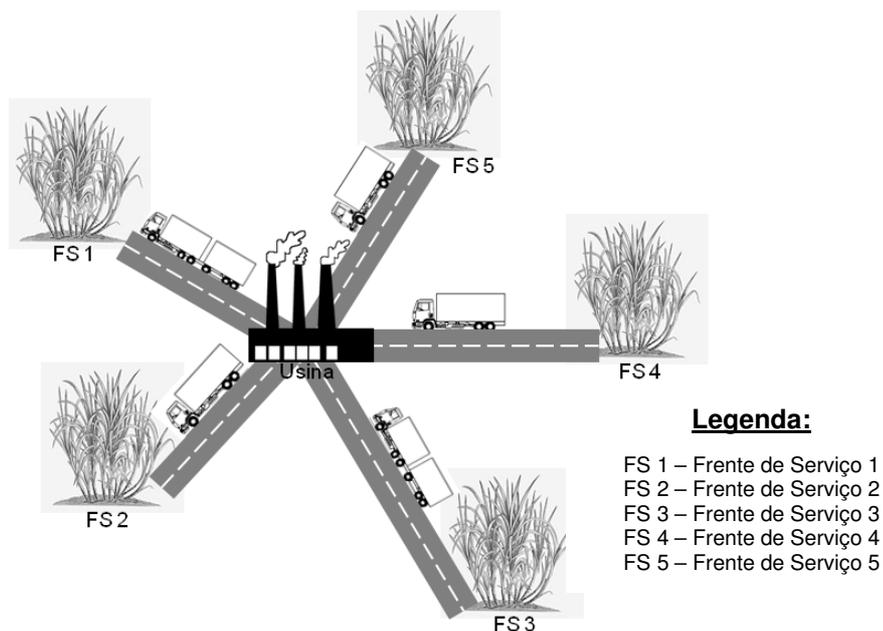
<sup>7</sup> Disponível em: <<https://www.google.com/maps/place/Usina+Canabrava/@-21.5282152,-41.2595629,15z/data=!4m5!3m4!1s0x0:0xb169e714cd530b68!8m2!3d-21.5282152!4d-41.2595629>>. Acesso em: 20 dez 2015.

A Canabrava Agrícola, criada em 2011, é um grupo empresarial que atua exclusivamente no estado do Rio de Janeiro na produção de etanol hidratado carburante e energia elétrica. Sua localização decorre do fato de a região possuir grandes extensões territoriais, propícias para o cultivo da cana-de-açúcar, e pela aptidão cultural para a manipulação desta matéria-prima. Dentro deste contexto, o Fluxograma 6 mostra um diagrama do funcionamento de uma usina sucroalcooleira.



**Fluxograma 6.** Funcionamento de uma usina sucroalcooleira.  
Fonte: Elaborado pelo autora (2016).

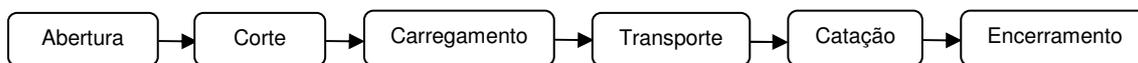
Neste sistema, a cana-de-açúcar sai do campo, das chamadas FS, e vai para a usina, onde passa pelo processo industrial, que a transforma em açúcar ou etanol e eletricidade por meio da combustão do bagaço. A Figura 3 ilustra o processo de transporte de cana-de-açúcar com seus principais aspectos e características. Na parte central da Figura, está a usina e, no seu entorno, as diversas FS (FS1, FS2, FS3, FS4 e FS5), que funcionam como fonte de matéria-prima e que estão localizadas em diversos pontos. As distâncias relativas entre as FS têm importância insignificante no sistema, pois a estratégia logística da usina procura alocar as FS mais próximas. Assim, o modelo considerou apenas as distâncias entre as FS e a usina, que tem efeito importante no sistema.



**Figura 3.** Esquema do sistema de transporte da cana-de-açúcar.  
Fonte: Adaptado de Rangel *et al.*, (2013).

### 3.3.1.2. Abastecimento de cana-de-açúcar

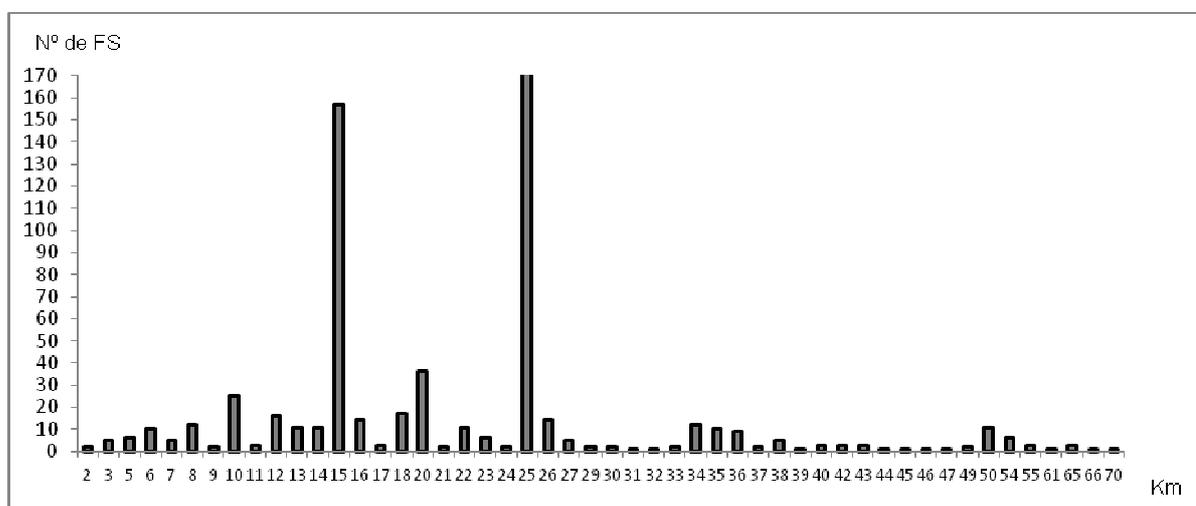
O processo logístico para o abastecimento da cana-de-açúcar que sai do campo até chegar à usina é descrito no Fluxograma 7 com a seguinte estrutura: abertura do sistema; corte da cana-de-açúcar; carregamento nos caminhões; transporte para a usina; catação das pontas remanescentes; e encerramento da operação.



**Fluxograma 7.** Etapas para o abastecimento de cana-de-açúcar.  
Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Observe que os processos do CCT são caracterizados por formar um tipo de sistema com operações em série. A primeira etapa do processo, chamada abertura, consiste em um cadastro realizado pela usina contendo os dados pessoais do fornecedor da cana-de-açúcar e de sua propriedade denominada fundo agrícola. Em um segundo caso, o fornecedor da cana-de-açúcar é a própria usina que, mediante o arrendamento de terras, realiza o cultivo da mesma.

Na segunda etapa, é realizado o corte da cana-de-açúcar nas FS, o qual pode ocorrer de forma manual ou mecanizada, com o uso de colheitadeiras. Cada FS possui uma distância diferente em relação à usina o que influencia no tempo de transporte da carga. O Gráfico 4 ilustra a distribuição das distâncias entre as FS e a usina e permite observar que 9,81% das FS estão localizadas até 10 km de distância da usina; 49,05% ficam posicionadas até 20 km; 87,70% estão até 30 km; e 94,44% ficam até a distância de 40 km. Ou seja, no caso particular desta usina, a maior parte da matéria-prima está localizada próximo à mesma.



**Gráfico 4.** Frequência das distâncias das FS em relação à usina Canabrava Agrícola.  
Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>8</sup>.

A terceira etapa compreende a atividade de carregamento da cana-de-açúcar. No corte mecanizado, a colheitadeira realiza simultaneamente as operações de corte e carregamento no caminhão, que fica posicionado ao lado da mesma. Já no corte manual, o carregamento se dá pelo uso de embarcadoras que coletam a cana-de-açúcar no solo e a depositam nos caminhões até que os mesmos fiquem cheios. Esta etapa pode ter pouca influência nas emissões. Isto porque os caminhões podem ficar desligados nas lavouras enquanto são carregados e, sendo assim, não emitem GEE.

Na quarta etapa, realiza-se o transporte da cana-de-açúcar para a usina que

<sup>8</sup> A partir de pesquisa efetuada na usina Canabrava Agrícola (09/2015).

ocorre sempre pelo modal rodoviário. Para esta atividade, são utilizados vários tipos de caminhões e reboques de propriedade da usina e/ou terceiros. As composições mais comuns, observadas no Quadro 7, são: caminhão plataforma; caminhão plataforma com um semirreboque acoplado; e cavalo mecânico com dois reboques acoplados.

COMPOSIÇÃO	ESQUEMA	DESCRIÇÃO
Truck/Toco/Caminhão simples		Caminhão plataforma
Romeu e Julieta		Caminhão plataforma com um semirreboque acoplado
Rodotrem		Cavalo mecânico com dois reboques acoplados

**Quadro 7.** Composições de veículos mais comuns no transporte de cana-de-açúcar.  
Fonte: Silva (2006).

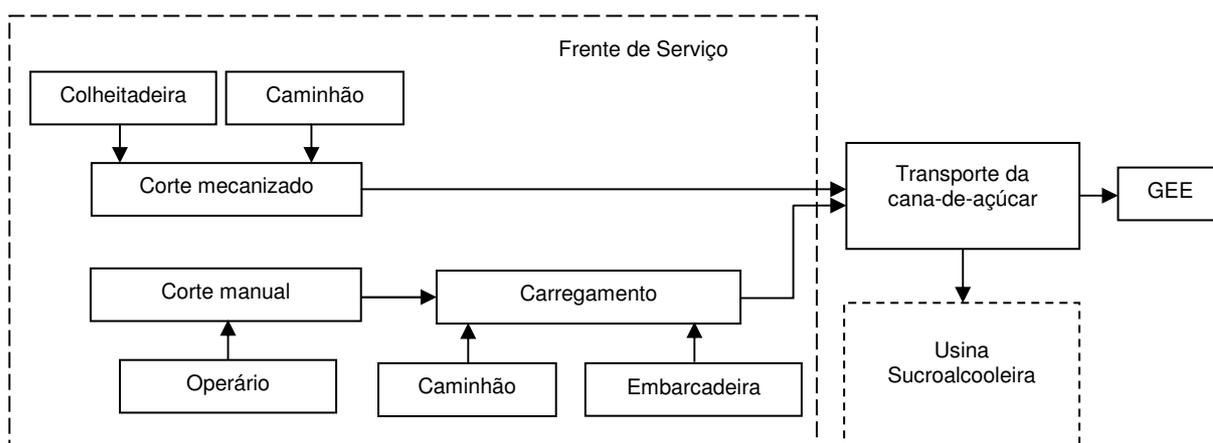
O tempo de transporte da cana-de-açúcar tem uma relação inversa com a taxa de sacarose. Ou seja, quanto menor for o tempo entre o corte da cana-de-açúcar e o processamento da mesma na usina, maior será o rendimento do processo. O trabalho de Iannoni e Morabito (2002) demonstra que a gestão do transporte é fundamental para melhorar a eficiência operacional da usina e conferir qualidade à cana-de-açúcar que é transportada. Assim, a estratégia utilizada para configurar o transporte da matéria-prima para a usina tem influência na qualidade do produto e, por sua vez, terá influência também nas emissões geradas pelos veículos do transporte da carga.

A quinta etapa compreende a atividade de catação, que através do recolhimento manual de canas remanescentes na FS, visa aproveitar ao máximo a colheita, o que é vantajoso tanto para a usina como para o produtor rural.

Finalmente, na sexta etapa, ocorre o processo de encerramento na usina ao se informar que as atividades em uma determinada FS foram finalizadas. Nesse ponto, é necessária a mudança do local de colheita, visto que, a FS já não possui matéria-prima e há outros pontos em espera para alocação de recursos para iniciar

a colheita.

O funcionamento geral do sistema de CCT da cana-de-açúcar é representado pelo Fluxograma 8, onde se observa que o corte manual e/ou mecanizado ocorre na FS assim como o carregamento. Os equipamentos utilizados variam de acordo com o tipo de corte, no qual podem ser utilizados caminhões, embarcadeiras e colheitadeiras. Em seguida, o caminhão carregado de cana-de-açúcar efetua o transporte para a usina. Tal atividade provoca emissões de GEE pelas descargas dos caminhões. Nas etapas de corte e carregamento da cana-de-açúcar, esses gases também são emitidos pelo uso de máquinas e equipamentos, entretanto, suas proporções são muito menores quando comparadas às emissões na etapa de transporte, por isso, a análise foi realizada para as emissões de GEE provenientes da etapa de transporte.



**Fluxograma 8.** Estrutura do sistema de corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar.  
Fonte: Elaborado pela autora (2016).

### 3.3.2. Descrição dos Cenários

Os cenários consideraram as distâncias entre as FS e a usina, as potências dos veículos utilizados para o carregamento e o transporte da cana-de-açúcar, os coeficientes de emissões dos caminhões, a carga transportada, o peso bruto total (somatório entre a carga e a massa do veículo) e os tempos de carregamento e descarregamento da matéria-prima. As variáveis analisadas em todos os cenários foram: Tempo de Transporte (TT, h), Emissões de GEE (EM, gCO) e Carga

Transportada (CT, t). O TT representa o tempo de carregamento na FS somado ao tempo de transporte da carga da respectiva FS até a usina. Ainda sobre a variável TT, pode-se dizer que ela é um importante indicador associado à qualidade da cana-de-açúcar. Ou seja, quando determinada quantidade de cana-de-açúcar chega até a usina em tempo menor, indica que tal quantidade pode ter um melhor teor de sacarose e, assim, ter sua produtividade mais elevada durante o processamento na usina. Isso, devido ao fato de que a cana-de-açúcar inicia autocatálise de açúcar imediatamente após o seu corte, sendo tal catálise indesejada porque reduz a qualidade da matéria-prima após 24 horas e a torna inviável para moer após 72 horas de armazenamento. Nos cinco cenários o tempo de tráfego considerado foi de 168 horas.

#### 3.2.2.1. Cenário 1.

Este cenário considerou cinco FS localizadas em pontos distintos com o transporte de cana-de-açúcar realizado por caminhões plataformas, cuja capacidade de carga é de 32 toneladas e a potência é de 202 kW.

#### 3.2.2.2. Cenário 2.

Este cenário também considerou as mesmas cinco FS, contudo, neste caso, o transporte da cana-de-açúcar para a usina foi realizado por caminhões do tipo cavalo mecânico cuja capacidade de carga é de 34 toneladas e a potência é de 324 kW.

#### 3.2.2.3. Cenário 3.

O terceiro cenário trouxe uma combinação dos dois anteriores, isto é, foram utilizados tanto caminhões plataforma como caminhões do tipo cavalo mecânico (50% de cada tipo de veículo). Sendo assim, a potência dos caminhões variou, podendo ser 202 kW e 324 kW, assim como a capacidade de carga que foi de 32 toneladas e 34 toneladas.

#### 3.2.2.4. Cenário 3.

O quarto cenário teve como foco simular o transporte da cana-de-açúcar considerando basicamente um aumento da distância percorrida pelos caminhões para transportar a matéria-prima da lavoura até a usina. Esse cenário manteve todos os parâmetros que foram utilizados no cenário 1, exceto a distância entre a FS e a usina que foi triplicada.

#### 3.2.2.5. Cenário 1.

O quinto e último cenário simulado, também teve por objetivo considerar o aumento da distância percorrida pelos caminhões para transportar a cana-de-açúcar para a usina. Esse cenário manteve todos os parâmetros utilizados no cenário 2, exceto a distância entre a FS e a usina que foi triplicada

#### 3.2.2.6. Análise dos Cenários apresentados.

A opção por simular os cenários 4 e 5 ocorreu devido à característica apresentada pela distribuição das lavouras que servem como fonte de matéria-prima para a usina investigada nesta pesquisa. Ao se observar no Fluxograma 8, percebe-se que a maior parte das lavouras está localizada mais próxima à referida usina. Esta característica pode não ser um fato recorrente para outras usinas. Ou seja, outras usinas poderiam possuir a maior parte de suas lavouras mais próximas ou mais distantes. Assim, optou-se por simular uma quantidade de cana-de-açúcar localizada em lavouras mais distantes da usina e avaliar o impacto que pode acontecer nas variáveis de saída (EM, TT e CT) devido e essa característica. Para facilitar o entendimento sobre cada cenário simulado neste estudo, a Tabela 1 apresenta uma síntese com as características de cada cenário.

**Tabela 1.** Visão geral dos cinco cenários simulados.

CARACTERÍSTICAS	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3	CENÁRIO 4	CENÁRIO 5
<b>Tipo de veículo</b>	Caminhão plataforma	Cavalo mecânico	Caminhão plataforma e Cavalo mecânico	Caminhão plataforma	Cavalo mecânico
<b>Capacidade de carga</b>	32 t	34 t	32 t e 34 t	32 t	34 t
<b>Potência do veículo</b>	202kW	324kW	202kW e 324kW	202kW	324kW
<b>Tempo de tráfego</b>	168 h	168 h	168 h	168 h	168 h
<b>Distância<sup>(1)</sup>(<sup>2</sup>) das FS até a usina</b>	<sup>1</sup> No modelo proposto a distância entre cada FS e a usina é expressa por uma função (em horas) dentro do <i>template</i> das emissões.			<sup>2</sup> As funções (em horas) dentro do <i>template</i> das emissões utilizadas nos cenários 1, 2 e 3 foram utilizadas nos cenários 4 e 5 multiplicadas pelo número 3.	
<b>Variáveis analisadas</b>	EM (gCO) TT (h) CT (t)	EM (gCO) TT (h) CT (t)	EM (gCO) TT (h) CT (t)	EM (gCO) TT (h) CT (t)	EM (gCO) TT (h) CT (t)

Fonte: Elaborado pela autora (2016).

### 3.4. SISTEMA HIPOTÉTICO: *SUPPLY CHAIN*

#### 3.4.1. Estrutura dos Questionários

O comportamento de consumidores frente às questões ambientais reflete o seu modo de pensar e influencia diretamente toda a sociedade. Cada indivíduo contribui de várias formas com as emissões de GEE e esta situação tem provocado alterações climáticas. Conhecer a percepção dos consumidores sobre as emissões revela seu respectivo nível de conscientização e contribui para fornecer aos gestores e estudiosos sobre o tema uma visão macro de como a sociedade enxerga os problemas ambientais e, assim, contribuir para a implementação de políticas mitigatórias (ALESSANDRINI *et al.*, 2012). Neste contexto, o comportamento e as necessidades dos clientes podem influenciar as operações logísticas de SC e, conseqüentemente afetar os níveis das emissões. Com isso, foi proposto o objetivo de captar o comportamento de consumidores como uma possível ferramenta de análise para a tomada de decisão de gestores que buscam tornar o seu negócio mais competitivo sem deixar de ser sustentável.

A proposta desenvolvida teve como objetivo conhecer a percepção ambiental de clientes sobre emissões de GEE por veículos automotivos. Realizou-se um levantamento de dados para fornecer informações sobre essa questão, aplicando-se um questionário quantitativo com 11 questões sobre a percepção ambiental dos respondentes referente às emissões de veículos de transporte rodoviário de carga.

O levantamento teórico incluiu temas capazes de contribuir para a compreensão do assunto pesquisado. As perguntas do questionário foram elaboradas a partir dos assuntos abordados em diversos artigos relacionados às questões ambientais e sustentáveis. Entre eles, na qual são citados por Richardson (2005), Rangel; Cordeiro (2015) e por Qian; Eglese (2016).

O conteúdo das questões correspondeu a aspectos que caracterizam o grau de conscientização dos consumidores por meio de suas ações, intenções e percepções. Considerou-se questões fechadas, combinação fechada-aberta, dependentes e de resposta múltipla. As perguntas fechadas de intenção e de percepção foram elaboradas com alternativas em gradação, isto é, com a utilização da escala de cinco pontos (LIKERT, 1932), conforme apresentado na Tabela 2. O Apêndice B mostra o modelo do questionário completo.

**Tabela 2.** Escala de Likert adotada nos questionários.

Escala	CONTEÚDO DAS QUESTÕES	
	QUESTÕES DE INTENÇÃO	QUESTÕES DE PERCEPÇÃO
-2	Certamente não	Muito baixo (a)
-1	Provavelmente não	Baixo (a)
0	Talvez sim, talvez não	Regular
+1	Provavelmente sim	Alto (a)
+2	Certamente sim	Muito alto (a)
N	Eu não sei/Eu prefiro não opinar	Eu não sei/Eu prefiro não opinar

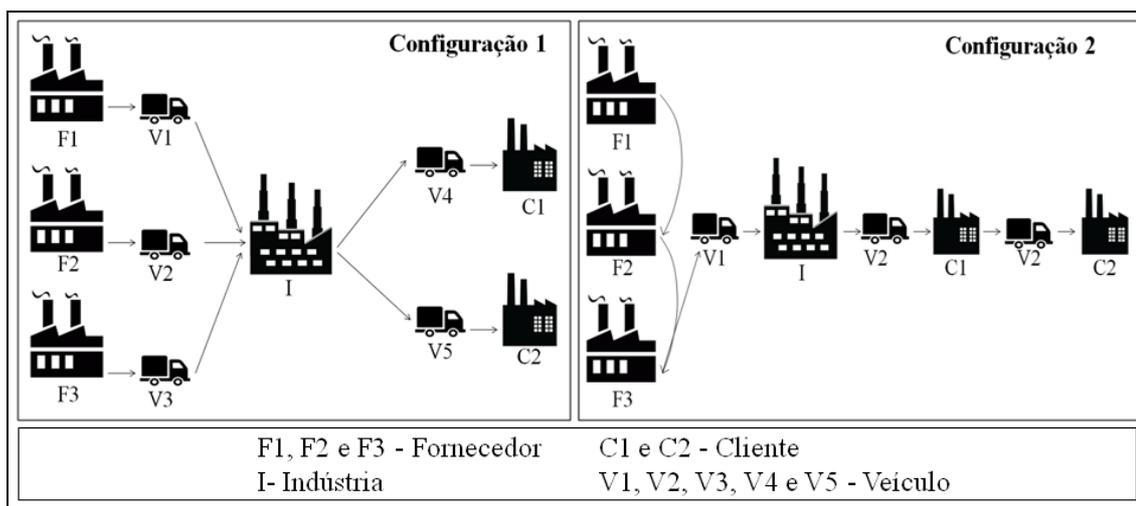
Fonte: Adaptado de Likert (1932).

### 3.4.2. Descrição do Sistema

Neste trabalho considerou-se a análise de um sistema típico de SC com ênfase nas respectivas operações logísticas. De acordo com Byrne *et al.* (2010) as estruturas de SC têm sofrido mudanças e intervenções de técnicas como ME entre outras políticas que têm representado um redesenho das estruturas de SC tradicionais. Neste aspecto, os autores destacam o aumento no nível de complexidade desse sistema e o foco percebido em suas operações de transporte. Rangel; Cordeiro (2015) também utilizaram este sistema com uso de simulação computacional para auxiliar a tomada de decisão referente a aspectos ambientais e econômicos. Para este trabalho, o sistema em questão foi composto por três

fornecedores de matérias-primas, um fabricante, dois clientes que podem ser intermediários ou finais e caminhões para o transporte da carga.

De acordo com Ballou (2004) este sistema pode assumir diferentes configurações de logística rodoviária tipicamente utilizadas, cada uma com ênfase diferenciada, o que pode ser verificado pela variação nas respectivas configurações. Na configuração 1, a ênfase consiste na rapidez nas operações de transporte, visto que é utilizado um caminhão para cada fornecedor com o objetivo de efetuar o transporte dos materiais diretamente para a fábrica. Da mesma maneira, a rapidez é priorizada para a entrega dos produtos acabados com a utilização de caminhões dedicados para cada cliente com o objetivo de reduzir o tempo de transporte que corresponde ao período entre o carregamento do veículo nos fornecedores e o seu descarregamento nos clientes. Na configuração 2, o foco consiste na minimização dos custos de transporte tanto do ponto de vista do fornecedor como do cliente. Por isso, utiliza-se apenas um caminhão, o qual percorre cada um dos fornecedores para coletar os materiais e transportá-los para a fábrica e outro é utilizado para as entregas dos produtos acabados em cada um dos os clientes sequencialmente (Figura 4).



**Figura 4.** Estruturas tipicamente utilizadas em indústrias de transporte e logística: configuração 1 - ênfase nos menores tempos de transporte e configuração 2 - ênfase nos menores custos para fornecedores e clientes.

Fonte: Adaptado de Ballou (2004).

### 3.4.3. Descrição dos Cenários e Experimentos

Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizados com estrutura fatorial  $2^k$ , em que os tratamentos foram às combinações dos dois níveis e k fatores (MONTGOMERY, 2013). Os tratamentos combinados foram avaliados de acordo com as configurações 1 e 2 propostas por Ballou (2004). Os fatores escolhidos foram Tipo de frota (A) para fornecedores ou clientes, Idade da frota (B) e Estilo de condução (C), porque eles estão frequentemente associados às emissões de GEE. Os níveis para cada um dos fatores foram escolhidos da seguinte forma: dentro do fator A, os níveis representam tamanho e peso limites dois tipos de frotas (veículos pequenos ou grandes); dentro do fator B, refere-se a duas idades de frota (veículos novos ou antigos); dentro do fator C está o estilo de condução dos motoristas (padrão ou ecocondução). Conforme pode ser visto na Tabela 3, o projeto experimental foi dividido em duas fases: 1) 16 simulações de cenários com apenas um tipo de frota (pequena ou grande) e 2) 16 cenários com frota mista (pequenas e grandes).

Potências e coeficientes de emissões dos veículos usados na modelagem dos cenários: 1) potência do motor do veículo pequeno de 136 kW e para o veículo grande de 265 kW, de acordo com manual dos veículos; 2) coeficiente de emissões para frota nova de 1,5 g/kW·h e para frota antiga de 2,1 g/kW·h, de acordo com o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE); 3) Estilo ecocondução representado pela potência padrão do motor do veículo e estilo de condução padrão (mais agressiva) com acréscimo em 10% na potência padrão do motor do veículo.

**Tabela 3.** Cenários simulados para as configurações 1 e 2 de Ballou (2004) com frota simples e mista.

Fases	CARACTERÍSTICAS DA FROTA			CENÁRIOS	
	Tipo de frota (A)	Idades da frota (B)	Estilo de condução (C)	Configuração 1	Configuração 2
Frota Simples	Fornec.: Pequeno Cliente: Pequeno	Novo	Eco	1	9
			Padrão	2	10
		Velho	Eco	3	11
			Padrão	4	12
	Fornec.: Grande Cliente: Grande	Novo	Eco	5	13
			Padrão	6	14
		Velho	Eco	7	15
			Padrão	8	16
Frota Mista	Fornec.: Pequeno Cliente: Grande	Novo	Eco	1	9
			Padrão	2	10
		Velho	Eco	3	11
			Padrão	4	12
	Fornec.: Grande Cliente: Pequeno	Novo	Eco	5	13
			Padrão	6	14
		Velho	Eco	7	15
			Padrão	8	16

**Notas:** (A) potência dos veículos (Pequeno: 136 kW e Grande: 265 kW) usados para entregas para fornecedores ou clientes; (B) coeficientes de emissões (CO<sub>2</sub> g/kW·h) da frota de veículos (Novo: 1.5 ou Velho: 2.1) e (C) estilo de condução padrão refere-se à potência do motor (+ 10%) e ecocondução (sem acréscimo).

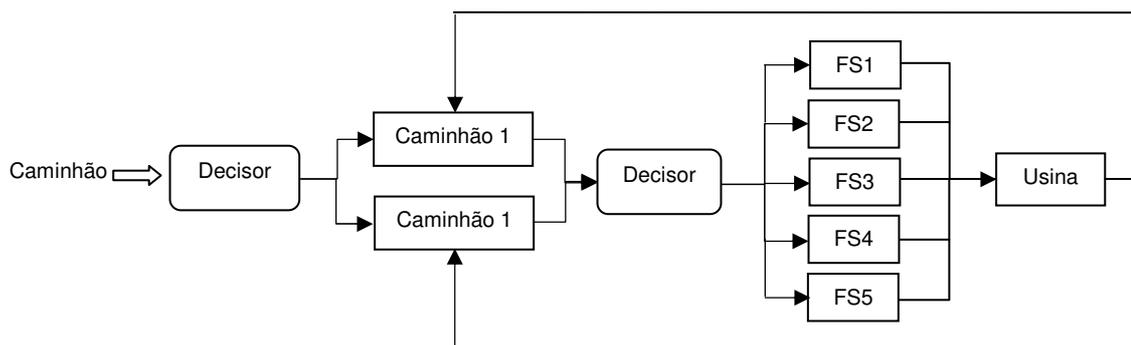
Fonte: Elaborado pela autora (2016).

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. RESULTADOS DO SISTEMA REAL: USINA CANABRAVA AGRÍCOLA**

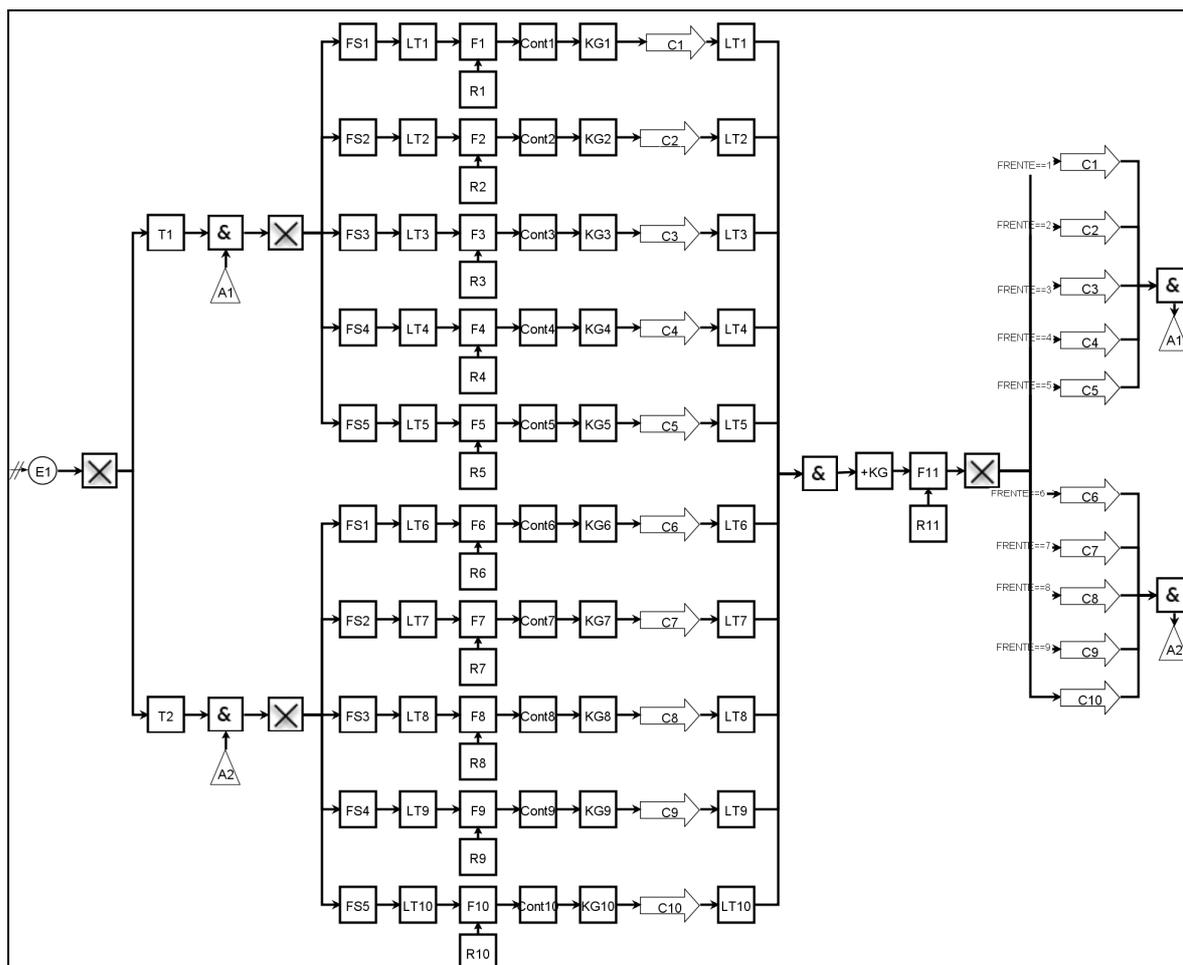
#### **4.1.1. Modelo de simulação**

O modelo foi elaborado com base no sistema típico de transporte de cana-de-açúcar ilustrado na Figura 3, presente na seção 3.3.1.1 (Localização e funcionamento da usina). O Fluxograma 9 ilustra, de forma esquemática, como foi construído o modelo e apresentam-se os seguintes elementos: caminhão, decisor, FS e usina. O funcionamento desse sistema de transporte ocorre da seguinte maneira: o caminhão chega ao decisor para direcionar qual tipo de veículo a ser usado para o transporte, em seguida, outro decisor direciona o caminhão para uma das FS. Esse desvio ocorre de acordo com as características de cada FS que se referem à distância entre esta e a usina, à potência do veículo e à carga transportada pelo caminhão. A seguir, em cada FS (FS1, FS2, FS3, FS4 e FS5), é realizado o embarque da cana-de-açúcar, e o caminhão se dirige para a usina transportando a carga. Ao chegar à usina, ocorre o desembarque da cana-de-açúcar e, posteriormente, o caminhão retorna à FS para realizar outro carregamento.



**Fluxograma 9.** Esquematização do modelo proposto referente ao sistema de CCT de cana-de-açúcar.  
Fonte: Elaborado pela autora (2016).

O sistema do problema proposto foi traduzido para o modelo computacional no Ururau, conforme ilustrado no Fluxograma 10. O módulo E1 é responsável por criar os caminhões canavieiros, restringidos ao número máximo de 150 veículos. O modelo utilizou cinco FS ativas (FS1, FS2, FS3, FS4 e FS5), localizadas em pontos distintos. Os carregamentos realizados pelas FS são representados por F1/F6, F2/F7, F3/F8, F4/F9 e F5/F10, enquanto F11 representa o processo de descarregamento na usina. Os recursos R1/R6, R2/R7, R3/R8, R4/R9 e R5/R10 são as equipes de carregamento que incluem máquinas e operários, enquanto R11 compreende os recursos necessários para o descarregamento. Os módulos C1/C6, C2/C7, C3/C8, C4/C9 e C5/C10 realizam o cálculo das emissões de CO. KG1/KG6, KG2/KG7, KG3/KG8, KG4/KG9 e KG5/KG10 são responsáveis por calcular a quantidade de cana-de-açúcar que cada caminhão transporta em cada FS. O módulo +KG é utilizado para obter, ao final do experimento, o total de carga transportada pelos caminhões considerando todas as frentes. Os contadores (Cont1/Cont6, Cont2/Cont7, Cont3/Cont8, Cont4/Cont9 e Cont5/Cont10) armazenam a quantidade de caminhões que passam por cada FS. Os módulos LT1/LT6, LT2/LT7, LT3/LT8, LT4/LT9 e LT5/LT10 realizam o cálculo do tempo de transporte, que representa o percurso entre cada FS e a usina e vice-versa. Os módulos com a marcação de “X” são os decisores para desvio de fluxo. Os parâmetros da simulação podem ser vistos de forma detalhada no Apêndice C.



**Fluxograma 10.** Modelo computacional de um sistema de CCT de cana-de-açúcar.  
Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>9</sup>

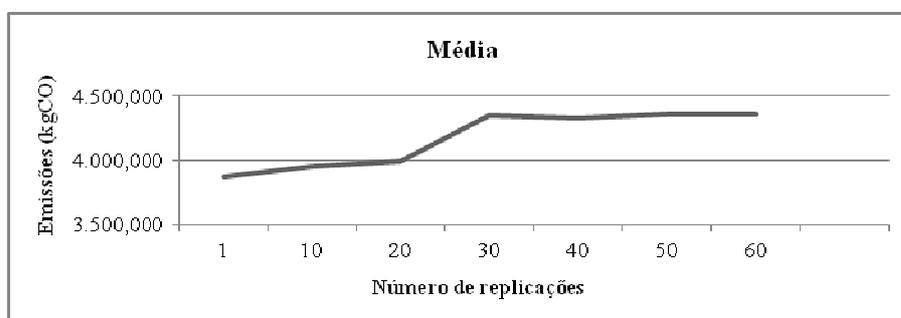
#### 4.1.1.1. Parâmetros de Rodada do Modelo

O modelo foi executado com o tamanho da rodada equivalente a 168 horas, o que corresponde uma semana de operação do sistema onde os veículos circularam em regime contínuo para o abastecimento da usina. Cada rodada do modelo foi processada com 50 replicações. Este número de replicações foi determinado quando os resultados apresentaram convergência, com erro de 9%. O tempo total de simulação processado pela máquina foi de 12 segundos.

<sup>9</sup> Foi elaborado por meio do software Ururau 1.1.

#### 4.1.1.2. Verificação do Modelo

A verificação de um modelo computacional é realizada para assegurar que a programação utilizada no modelo e sua implementação estejam corretas. Para o presente modelo, foram utilizadas algumas técnicas presentes na literatura apresentadas por Freitas Filho (2008). Foram atribuídos valores determinísticos às variáveis do modelo com o objetivo de prever as respostas do sistema e verificar a presença de erros nos seus vários módulos. A construção do modelo ocorreu de forma gradativa a fim de se observar e capturar quaisquer mudanças acentuadas nos resultados que caracterizassem erros no programa. Variações sobre os dados de entrada indicaram as respostas do modelo adequadas e consistentes. A lógica da modelagem foi testada e os resultados obtidos demonstraram que o modelo realizou o pretendido. O gráfico 5 mostra o processo de estabilização dos valores das replicações. Para isso, foram realizados testes no intervalo de 1 a 60 replicações, observando os resultados da variável emissões, em kgCO.



**Gráfico 5.** Estabilização do modelo computacional pelo número de replicações.  
Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>10</sup>

#### 4.1.1.3. Validação do Modelo

De acordo com Sargent, (2013), a validação de um modelo computacional determina se o comportamento da saída deste possui a precisão requerida para a finalidade a qual se destina. O modelo computacional foi validado pela comparação dos resultados obtidos com dados do sistema real. A variável escolhida para

---

<sup>10</sup> Por meio das simulações realizadas no software Ururau 1.1.

validação foi à quantidade de cana-de-açúcar transportada das FS para a usina durante uma semana de trabalho contínuo cujo total foi 168 horas. Pela comparação entre a quantidade de cana-de-açúcar transportada no sistema real e a quantidade transportada no modelo, foi possível mostrar a confiabilidade do modelo e prosseguir para a etapa dos experimentos. O modelo apresentou convergência com 50 replicações, logo, foram utilizados os valores absolutos das 8 replicações posteriores à estabilização (ou seja, da replicação 51 a 58). A Tabela 4 mostra a quantidade de cana-de-açúcar transportada, em toneladas, obtida pelo modelo e as toneladas transportadas durante os meses de agosto e de setembro de 2015, mostradas por semana, com um total de oito semanas.

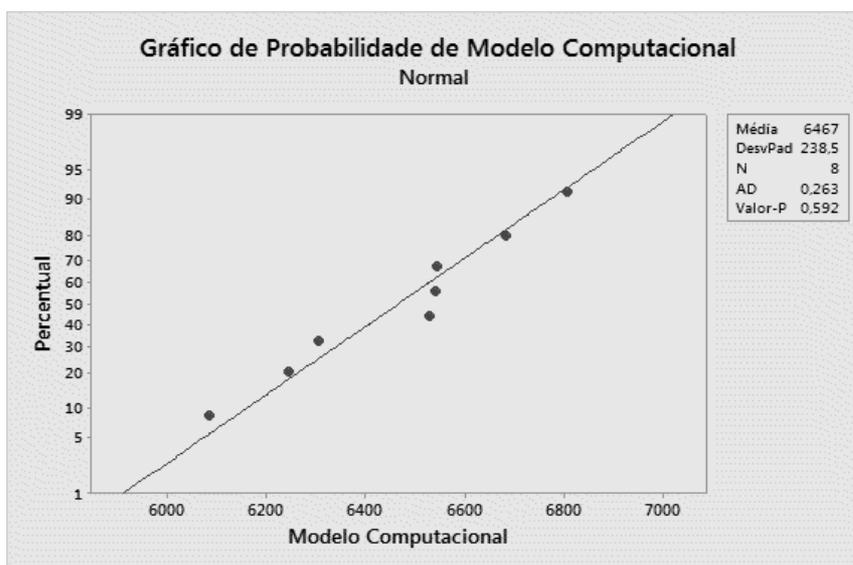
**Tabela 4.** Resultados gerados pelo Ururau 1.1 comparado com o sistema real.

Replicação	Total transportado no modelo computacional (toneladas/semana)	Semana	Total transportado no sistema real (toneladas/semana)
1	6244,000	1	4455,075
2	6530,000	2	4368,055
3	6682,000	3	11579,558
4	6542,000	4	6315,685
5	6086,000	5	2.347,600
6	6806,000	6	1.237,320
7	6304,000	7	2.954,250
8	6544,000	8	5.397,189
<b>Média</b>	<b>6467,250</b>		<b>4831,842</b>

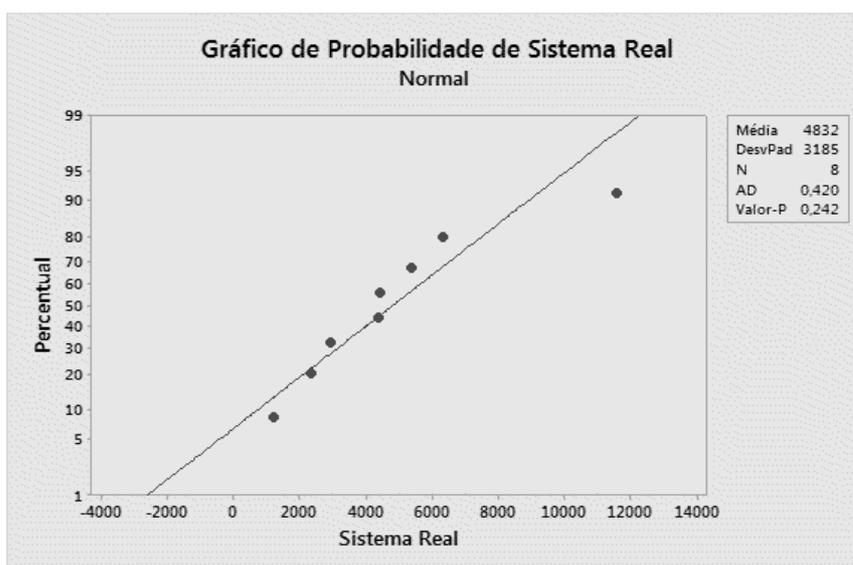
Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>11</sup>

Sargent, (2013) ainda relata que existem várias técnicas de validação de modelagem presentes na literatura. Para o presente caso, a validação do modelo computacional foi feita utilizando-se a técnica estatística do Teste de Hipóteses. Por meio deste teste é possível validar o modelo ao mostrar-se que este corresponde à realidade. Inicialmente, realizou-se o Teste de Normalidade para verificar se os dados tanto do modelo computacional como do sistema real seguiam uma distribuição normal. Em ambas as distribuições, o Valor-P alcançado foi superior ao nível de significância adotado de 0,05, mostrando que as distribuições dos resultados podiam ser aproximadas por uma distribuição normal. Tais testes foram realizados pelo *software* MiniTab® 16, e os resultados estão apresentados nos Gráficos 6 e 7.

<sup>11</sup> Por meio das simulações realizadas no software Ururau 1.1.



**Gráfico 6.** Resultado do teste de normalidade para o modelo computacional.  
Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>12</sup>



**Gráfico 7.** Resultado do teste de normalidade para o sistema real.  
Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>13</sup>

O passo seguinte foi comparar as médias do modelo computacional com o sistema real mediante o Teste de Hipóteses ou Teste T. Este teste traz a hipótese

<sup>12</sup> Por meio do software MiniTab® 16.

<sup>13</sup> Por meio do software MiniTab® 16.

nula de que as médias são iguais e a hipótese alternativa, de que as médias não são iguais. Para este teste, o nível de significância adotado foi de 0,05, e o resultado desta análise mostrou o Valor-P superior ao nível de significância adotado, aceitando a hipótese nula de que as médias são iguais. Tais resultados são apresentados no Quadro 8, nos gráficos 8 e 9.

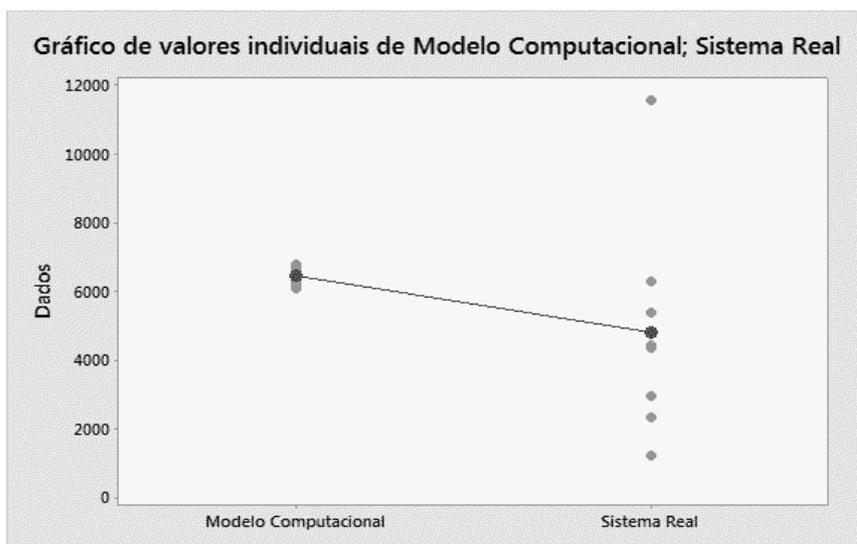
Teste T para 2 amostras para Modelo Computacional vs Sistema Real				
	N	Média	DesvPad	EP Média
Modelo Computacional	8	6467	238	84
Sistema Real	8	4832	3185	1126

Diferença =  $\mu$  (Modelo Computacional) -  $\mu$  (Sistema Real)  
 Estimativa para a diferença: 1635  
 IC de 95% para a diferença: (-1035; 4306)  
 Teste T de diferença = 0 (versus  $\neq$ ): Valor T= 1,45 Valor-P = 0,191 GL = 7

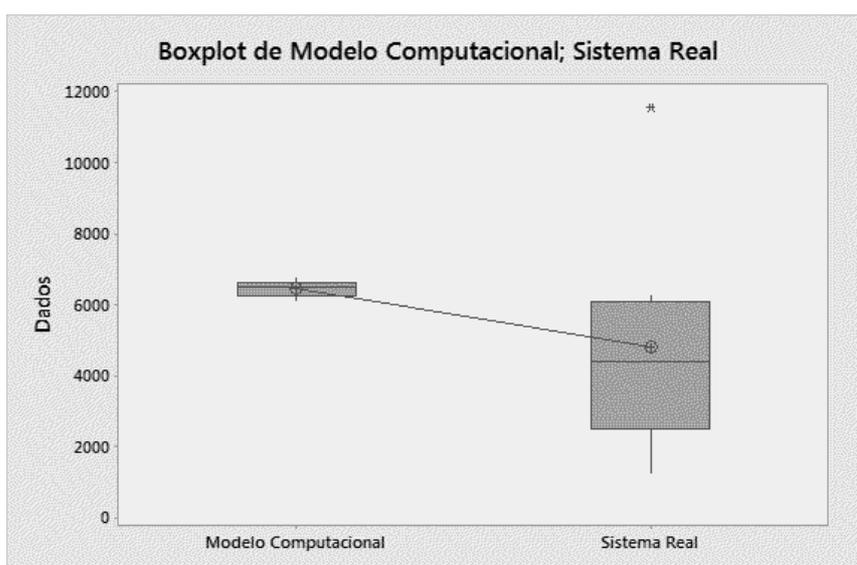
**Quadro 8.** Resultado do Teste T analisando a média do modelo computacional com a média do sistema real.  
 Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>14</sup>

Por meio dos gráficos observados, pode-se concluir a validação do modelo computacional proposto, pela igualdade entre a média desse modelo e a média do sistema real. O Valor-P apresentado de 0,191 maior que 0,05 indica a igualdade entre as médias. Desta forma, o modelo computacional presente nesta SED está estatisticamente validado e os resultados condizem com o sistema real.

<sup>14</sup> Por meio do software MiniTab® 16.



**Gráfico 8.** Gráfico individual analisando a média da quantidade transportada pelo modelo com a média transportada pelo sistema real.  
Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>15</sup>



**Gráfico 9.** Gráfico Boxplot com a comparação da média da quantidade transportada pelo modelo com a média transportada pelo sistema real.  
Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>16</sup>

<sup>15</sup> Por meio do software MiniTab® 16.

<sup>16</sup> Por meio do software MiniTab® 16.

#### 4.1.2. Análise dos Resultados

A Tabela 5 apresenta os resultados de todos os cenários do experimento simulado em cada FS, considerando-se as variáveis de saída EM (gCO), TT (h) e CT (t), além do somatório dos cinco cenários para cada variável. O tempo de execução do modelo foi de 12 segundos.

**Tabela 5.** Resultados dos cinco cenários simulados.

<b>Frentes de Serviço</b>	<b>Variáveis de saída</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>	<b>Cenário 4</b>	<b>Cenário 5</b>
<b>FS 1</b>	EM (gCO)	13.197,436	19.583,270	16.720,092	41.269,959	58.906,681
	TT (h)	1,649	1,651	1,902	2,338	2,284
	CT (t)	1.212,160	1.285,880	1.270,720	1.258,240	1.285,200
<b>FS 2</b>	EM (gCO)	9.612,241	14.206,628	12.005,891	27.228,687	42.721,619
	TT (h)	1,372	1,368	1,652	1,876	1,880
	CT (t)	1.242,880	1.316,480	1.290,240	1.206,400	1.314,440
<b>FS 3</b>	EM (gCO)	3.671,797	5.495,178	4.671,813	11.143,287	16.919,912
	TT (h)	1,175	1,164	1,294	1,371	1,403
	CT (t)	1.242,880	1.317,160	1.295,520	1.254,400	1.324,640
<b>FS 4</b>	EM (gCO)	12.442,911	18.562,310	15.339,375	37.451,962	55.859,261
	TT (h)	1,487	1,497	1,826	2,272	2,308
	CT (t)	1.252,480	1.328,040	1.276,12	1.237,120	1.335,520
<b>FS 5</b>	EM (gCO)	11.934,558	26.956,189	18.938,869	36.574,052	59.608,599
	TT (h)	1,745	1,728	1,952	2,356	2,314
	CT (t)	1.255,040	1.331,440	1.275,320	1.269,120	1.345,720
<b>Total</b>	<b>EM (gCO)</b>	<b>50.858,943</b>	<b>84.803,575</b>	<b>67.676,04</b>	<b>15.3667,947</b>	<b>234.016,072</b>
	<b>TT (h)</b>	<b>7,428</b>	<b>7,408</b>	<b>8,625</b>	<b>10,213</b>	<b>10,189</b>
	<b>CT (t)</b>	<b>6.205,440</b>	<b>6.579,000</b>	<b>6.407,920</b>	<b>6.225,280</b>	<b>6.605,520</b>

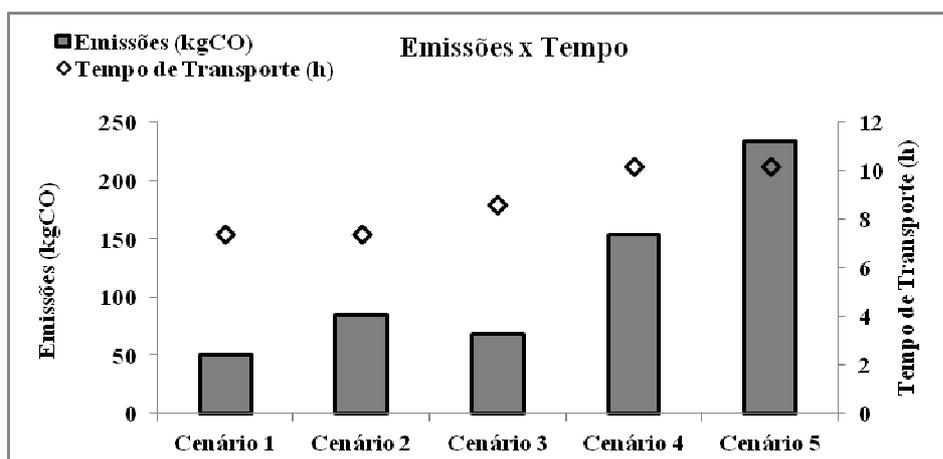
Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>17</sup>

Os resultados encontrados no Gráfico 10 mostram que a utilização apenas de caminhões do tipo plataforma (cenários 1 e 4), geraram menores níveis de EM quando comparados com os cenários 2 e 5 (caminhões do tipo cavalo mecânico). A substituição de veículos menores por veículos maiores aumentaram as EM, em ambos os casos. O terceiro cenário composto por frota mista, dividida em 50% para cada tipo de caminhão, ocupou uma posição intermediária nos níveis de EM, em relação aos demais cenários. Os cenários 4 e 5 apresentaram as maiores EM devido a distância percorrida pelos veículos ter sido aumentada.

Ainda no Gráfico 10, o TT, entre os cenários 1 e 2, não variou assim como nos cenários 4 e 5, evidenciando que o tipo de frota empregada para o transporte

<sup>17</sup> Por meio das simulações realizadas no software Ururau 1.1.

não exerceu influência sobre o tempo, visto que o trajeto se manteve em ambos os casos. O cenário 3 apresentou TT intermediário em relação aos demais devido o uso de frota mista, representando, então, uma situação flexível para as usinas em termos de sustentabilidade e desempenho. Esse cenário representa a situação real vista em usinas, de modo geral, que empregam diferentes tipos de veículos que mesmo emitindo mais gases, são comumente usados devido à sua versatilidade. O emprego de caminhões mais potentes, entretanto, que não são mais rápidos, provoca um aumento nos níveis de emissões sem proporcionar redução no TT. Como opção, o uso de veículos com potência menor é preferível, pois emitem menos sem comprometer o TT.



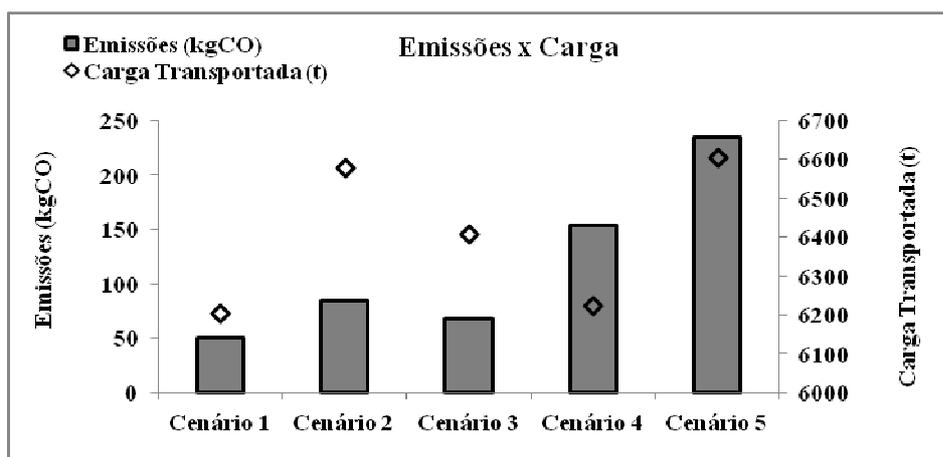
**Gráfico 10.** Resultados das simulações referentes às emissões e tempo de transporte.  
Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>18</sup>

Os resultados encontrados no Gráfico 11 mostram que os cenários 1 e 4 apresentam menores quantidades de CT em relação aos cenários 2 e 5. Já no cenário 3 a CT superou os cenários 1 e 2 sem elevar os níveis de EM. Dos cenários que utilizaram veículos menores (cenários 1 e 4), o primeiro cenário é mais interessante, pois emite menos que o quarto cenário, sem comprometer a CT. O mesmo ocorre com os cenários que utilizam veículos maiores (cenários 2 e 5), onde o segundo cenário se mostra mais interessante do ponto de vista das EM sem reduzir a CT. O emprego de caminhões mais potentes, como ocorreram nos

<sup>18</sup> Por meio das simulações realizadas no software Ururau 1.1.

cenários 2 e 5, mas que não são capazes de transportar quantidades superiores de carga, provoca um aumento injustificado nos níveis de emissões sem proporcionar ganho de escala.

Em relação às distâncias entre as lavouras e as FS, percebeu-se que a variação das emissões dos dois cenários mais distantes (cenários 4 e 5) foi maior, correspondendo a 80.348,125 gCO. Enquanto a variação entre os dois cenários mais próximos (cenários 1 e 2) foi menor, correspondendo a 33.944,632 gCO. Assim, o impacto na decisão sobre qual tipo de veículo deve ser escolhido para transportar a cana-de-açúcar aumentou à medida que as lavouras se distanciaram da usina. Isto é, para lavouras mais distantes, o impacto nas emissões devido à escolha do veículo mostrou-se maior.



**Gráfico 11.** Resultados das simulações referentes às emissões e carga transportada.  
Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>19</sup>

As emissões de GEE representam um aspecto ambiental amplamente discutido em diversos países, com o objetivo de elaborar estratégias e metas capazes de mitigar as emissões sem conter o desenvolvimento da sociedade e as tecnologias. O mundo tem conseguido reduzir os níveis de emissões de CO<sub>2</sub> devido ao crescente apelo relacionado ao aquecimento global. O relatório *World Energy Outlook/WEO* (2015) da IEA (2015), demonstrou que há um possível desacoplamento entre expansão econômica e emissões de GEE pelo segundo ano

<sup>19</sup> Por meio das simulações realizadas no software Ururau 1.1.

consecutivo (2014 e 2015).

Neste contexto, o Brasil é destacado como o país que pode liderar esta transformação devido ao seu alto potencial de fontes energéticas renováveis, principalmente pelo uso do etanol. Apesar da atual redução do interesse pelo etanol de primeira geração, este pode voltar a crescer no caso de o etanol de segunda geração apresentar viabilidade econômica. Além da modernização de veículos e uso de fontes renováveis, a reestruturação dos sistemas de transporte é vista como um importante mecanismo para uma economia de baixo carbono.

Por fim, os autores reconhecem a possibilidade de existirem erros nos valores absolutos das emissões calculadas. Um refinamento na modelagem do cálculo das emissões pode minimizar este erro. No entanto, a questão central desta análise está no valor relativo encontrado com respeito ao funcionamento do transporte e as variações geradas nas respectivas emissões gasosas. Nota-se que as emissões médias estão expressas em kgCO pela facilidade em calculá-las, contudo, por analogia é possível compreender o comportamento das emissões dos demais gases.

## 4.2. RESULTADOS DO SISTEMA HIPOTÉTICO: *SUPPLY CHAIN*

### 4.2.1. Questionários

Durante a pesquisa de campo, foram abordados 136 indivíduos no município de Campos dos Goytacazes, município de porte médio (cerca de 500 mil habitantes) localizado no interior do estado do Rio de Janeiro. A coleta de dados foi realizada durante os meses de fevereiro e março de 2016, para cinco grupos de pessoas: Grupo I, correspondeu à pessoas de modo geral, abordadas no centro da cidade, caracterizando a diversidade de perfis de consumidores da população em geral (N=30); Grupo II, correspondeu à universitários, abordados em universidade local, caracterizando perfil de consciência acadêmica (N=30); Grupo III, motoristas de ônibus, abordados nos postos de trabalhos e ponto de ônibus, caracterizando perfil do transporte coletivo (N=30); e caracterizando o perfil do setor de transporte de carga, os grupos IV (N=30) e V (N=16), sendo grupo IV, motoristas de caminhão,

abordados em postos de combustíveis em diversos pontos da cidade, e grupo V, profissionais de logística abordados em empresas transportadoras de cargas. Em todos os casos, o entrevistador ficou responsável pelo preenchimento dos questionários. A Tabela 6 apresenta algumas informações sobre os respondentes dos cinco grupos, que se referem ao gênero, estado civil, faixa etária e escolaridade.

**Tabela 6.** Caracterização do público entrevistado.

Características	Opções	Grupos – Taxa de resposta (%)					Total (=N)
		I	II	III	IV	V	
Gênero	Masculino	14,0	14,0	32,3	32,3	7,5	93
	Feminino	39,5	39,5	-	-	20,9	43
Estado civil	Solteiro	25,8	45,2	14,5	4,8	9,7	62
	Casado	19,7	2,8	25,4	38,0	14,1	71
	Divorciado	-	-	100,0	-	-	3
Idade	Menor de 15 anos	-	-	-	-	-	-
	15   19	45,5	54,5	-	-	-	11
	20   24	23,7	52,6	7,9	5,3	10,5	38
	25   29	22,7	18,2	9,1	13,6	36,4	22
	30   39	16,7	-	50,0	25,0	8,3	24
	40   49	13,0	-	8,7	69,6	8,7	23
	50   59	8,3	-	66,7	25,0	-	12
	60   69	40,0	-	60,0	-	-	5
	70   79	100,0	-	-	-	-	1
	≥ 80 anos	-	-	-	-	-	-
Nível de Educação	EFI	-	-	75,0	25,0	-	8
	EFC	7,1	-	71,4	21,4	-	14
	EMI	13,3	-	6,7	80,0	-	15
	EMC	29,7	-	35,1	24,3	10,8	37
	ES	25,8	48,4	-	6,5	19,4	62

**Notas:** I - População em geral, II - Estudantes universitários, III - Motoristas de ônibus, IV - Motoristas de caminhão, V - Profissionais de logística, EFI - Ensino Fundamental Incompleto, EFC - Ensino Fundamental Completo, EMI - Ensino Médio Incompleto, EMC - Ensino Médio Completo e ES - Ensino Superior.

Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>20</sup>

Os resultados médios encontrados na Tabela 7 referem-se à percepção dos respondentes quanto à preocupação da população com o meio ambiente. Os resultados demonstraram que a maioria das pessoas considera a preocupação com o meio ambiente baixa (38,97%) ou muito baixa (36,03%). Uma parcela correspondente à 22,79% considerou como regular. Entre os respondentes, ainda, alguns consideraram alta ou muito alta a preocupação da população, com participações percentuais equivalentes a 1,47% e 0,74%, respectivamente.

<sup>20</sup> A partir da pesquisa efetuada por meio da aplicação de questionários.

**Tabela 7.** Percepção dos respondentes sobre a preocupação da população com o meio ambiente.

Grupo	Taxa de resposta (%)						Total
	Muito baixa	Baixa	Regular	Alta	Muito alta	Indecisos	
I	43,33	43,33	13,33	0,00	0,00	0,00	100,00
II	23,33	36,67	40,00	0,00	0,00	0,00	100,00
III	50,00	33,33	16,67	0,00	0,00	0,00	100,00
IV	36,67	43,33	13,33	3,33	3,33	0,00	100,00
V	18,75	37,50	37,50	6,25	0,00	0,00	100,00
<b>Média</b>	<b>36,03</b>	<b>38,97</b>	<b>22,79</b>	<b>1,47</b>	<b>0,74</b>	<b>0,00</b>	<b>100,00</b>

**Nota:** Indecisos refere-se a respondentes que não souberam responder ou não quiseram opinar.

Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>21</sup>

A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos quando os respondentes foram perguntados a respeito do seu respectivo nível de conhecimento sobre o que são os GEE. A maior parte dos respondentes considerou que seu respectivo conhecimento estava em nível regular (58,82%). Em uma análise por grupo, verificou-se que os grupos I, II e V possuem um conhecimento sobre o assunto regular tendendo a alto. Enquanto que os grupos III e IV possuem conhecimento regular tendendo a baixo. Os resultados indicaram que o nível de escolaridade relacionou-se diretamente com o nível de conhecimento.

**Tabela 8.** Percepção dos respondentes com relação ao próprio nível de conhecimento sobre emissões de GEE.

Grupo	Taxa de resposta (%)						Total
	Muito baixa	Baixa	Regular	Alta	Muito alta	Indecisos	
I	6,67	10,00	60,00	20,00	3,33	0,00	100,00
II	0,00	13,33	70,00	13,33	3,33	0,00	100,00
III	13,33	13,33	60,00	13,33	0,00	0,00	100,00
IV	10,00	30,00	46,67	10,00	3,33	0,00	100,00
V	0,00	12,50	56,25	25,00	6,25	0,00	100,00
<b>Média</b>	<b>6,62</b>	<b>16,18</b>	<b>58,82</b>	<b>15,44</b>	<b>2,94</b>	<b>0,00</b>	<b>100,00</b>

**Nota:** Indecisos refere-se a respondentes que não souberam responder ou não quiseram opinar.

Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>22</sup>

<sup>21</sup> A partir da pesquisa efetuada por meio da aplicação de questionários.

<sup>22</sup> A partir da pesquisa efetuada por meio da aplicação de questionários.

A Tabela 9 apresenta resultados que complementam a questão levantada anteriormente, ilustrada na Tabela 8. Através dos resultados presentes na Tabela 9, percebeu-se qual o real conhecimento dos respondentes sobre as emissões de GEE, pois foi perguntado quais os impactos decorrentes das emissões gasosas. As alternativas propostas aos respondentes foram: aquecimento global (84,56%); derretimento de geleiras (57,35%); aumento do nível do mar (44,12%); impactos ambientais (58,82%); outros (1,47%) e incorretos ou não sabe nenhum (1,47%). Mediante essas alternativas, os respondentes puderam citar múltiplas opções, sem a necessidade de obedecer a alguma ordem de importância. O item mais citado por todos os grupos foi “aquecimento global”, o que demonstrou que este problema é conhecido pelas pessoas.

**Tabela 9.** Percepção dos respondentes sobre quais os impactos decorrentes das emissões de GEE.

Grupo	Taxa de resposta (%)					
	A	B	C	D	E	F
I	83,33	70,00	43,33	66,67	0,00	0,00
II	100,00	70,00	56,67	70,00	3,33	0,00
III	66,67	40,00	30,00	43,33	0,00	6,67
IV	83,33	36,67	30,00	40,00	3,33	0,00
V	93,75	81,25	75,00	87,50	0,00	0,00
<b>Média</b>	<b>84,56</b>	<b>57,35</b>	<b>44,12</b>	<b>58,82</b>	<b>1,47</b>	<b>1,47</b>

**Nota:** Opiniões dos respondentes: A - Aquecimento global, B - Derretimento de geleira, C - Aumento do nível do mar, D - Impactos ambientais, E - Outros, F - Incorretos ou não sabe nenhum.

Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>23</sup>

A Tabela 10 mostra os resultados médios referentes ao conhecimento dos respondentes sobre quais são as fontes responsáveis por emissões de GEE. As alternativas propostas foram: veículos (85,29%); indústrias (92,65%); animais (19,12%); atividades agrícolas (19,85%); outros (1,47%) e incorretos ou não sabe nenhum (0,74%). Os itens mais citados por todos os grupos foram indústrias e veículos o que demonstra que as pessoas têm a percepção, independente do grupo estudado, sobre as principais fontes poluidoras que provocam o efeito estufa.

<sup>23</sup> A partir da pesquisa efetuada por meio da aplicação de questionários.

**Tabela 10.** Percepção dos respondentes sobre as fontes responsáveis por emissões de GEE.

Grupo	Veículos	Indústrias	Taxa de resposta (%)			
			Animais	Agricultura	Outros	Indecisos
I	93,33	96,67	20,00	16,67	0,00	0,00
II	90,00	90,00	16,67	30,00	3,33	0,00
III	73,33	90,00	16,67	13,33	0,00	3,33
IV	76,67	90,00	20,00	6,67	3,33	0,00
V	100,00	100,00	25,00	43,75	0,00	0,00
<b>Média</b>	<b>85,29</b>	<b>92,65</b>	<b>19,12</b>	<b>19,85</b>	<b>1,47</b>	<b>0,74</b>

**Nota:** Indecisos refere-se a respostas incorretas ou não sabe nenhuma.

Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>24</sup>

Na Tabela 11 encontram-se os resultados que mostraram a opinião dos respondentes sobre a influência da forma de condução de um veículo nas emissões de GEE. Para a maioria dos respondentes a forma de conduzir o veículo certamente influencia (53,68%) ou provavelmente influencia (25%) nas emissões. Alguns respondentes acreditaram que provavelmente não há influência (9,56%) ou que certamente não há influência (3,68%) da forma de condução. Ainda houve alguns respondentes que não souberam opinar (2,93%) presentes nos grupos II, III e IV.

**Tabela 11.** Percepção dos respondentes quanto à influência da forma de dirigir nas emissões de GEE.

Grupo	Taxa de resposta (%)						Total
	A	B	C	D	E	F	
I	0,00	6,67	0,00	23,33	70,00	0,00	100,00
II	3,33	16,67	3,33	30,00	40,00	6,67	100,00
III	3,33	10,00	0,00	6,67	76,67	3,33	100,00
IV	10,00	6,67	6,67	33,33	40,00	3,33	100,00
V	0,00	6,25	25,00	37,50	31,25	0,00	100,00
<b>Média</b>	<b>3,68</b>	<b>9,56</b>	<b>5,15</b>	<b>25,00</b>	<b>53,68</b>	<b>2,93</b>	<b>100,00</b>

**Nota:** A - Certamente não, B - Provavelmente não, C - Talvez sim, talvez não, D - Provavelmente sim, E - Certamente sim, F - Incorretos ou não sabe nenhum.

Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>25</sup>

A Tabela 12 contém os resultados médios que indicaram a intenção dos respondentes em adaptar a forma de condução de um veículo, sabendo que tal atitude poderia reduzir a quantidade de gases emitidos para a atmosfera pelas descargas dos veículos. A maioria dos respondentes disse que provavelmente ou

<sup>24</sup> A partir da pesquisa efetuada por meio da aplicação de questionários.

<sup>25</sup> A partir da pesquisa efetuada por meio da aplicação de questionários.

certamente estaria disposta a conduzir veículos de maneira mais ecológica, as participações percentuais foram 66,92% e 21,33%, respectivamente. Alguns responderam que provavelmente ou certamente não adaptariam suas formas de condução para contribuir com menores níveis de emissões de GEE, ambas as opiniões tiveram uma participação percentual de 2,20%, cada. Durante a pesquisa em campo, alguns respondentes (grupos III e IV, compostos por motoristas de ônibus e caminhão, respectivamente) disseram que e seus veículos não possuíam recursos para que se adaptasse a forma de dirigir. Em alguns casos, os mesmos mencionaram que veículos mais novos já possuem certos mecanismos que podem emitir menos gases, mas que veículos mais antigos não possuem tais atributos.

**Tabela 12.** Intenção dos respondentes em adaptar a forma de condução de um veículo para reduzir as emissões de GEE.

Grupo	Taxa de resposta (%)						Total
	A	B	C	D	E	F	
I	0,00	0,00	3,33	30,00	66,67	0,00	100,00
II	3,33	3,33	0,00	26,67	63,33	3,33	100,00
III	0,00	6,67	6,67	13,33	70,00	3,33	100,00
IV	6,67	0,00	13,33	16,67	60,00	3,33	100,00
V	0,00	0,00	0,00	18,75	81,25	0,00	100,00
<b>Média</b>	<b>2,20</b>	<b>2,20</b>	<b>5,15</b>	<b>21,33</b>	<b>66,92</b>	<b>2,20</b>	<b>100,00</b>

**Nota:** A - Certamente não, B - Provavelmente não, C - Talvez sim, talvez não, D - Provavelmente sim, E - Certamente sim, F - Incorretos ou não sabe nenhum.

Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>26</sup>

A preferência dos respondentes quanto adquirir um produto pela internet com menor emissão de GEE durante o frete foi relacionado ao respectivo custo de aquisição, conforme apresentado na Tabela 13. Objetivou-se perceber se os respondentes estariam sensíveis à questão ambiental e se seriam capazes de tomar decisões levando-se em consideração a sustentabilidade. A proposta foi compreender como a variação no preço do produto adquirido afetaria a decisão dos consumidores nesses cinco grupos. Os resultados mostraram que, caso soubessem no momento da compra que poderiam optar por um frete que geraria menor emissão, a maioria dos respondentes optaria por adquirir o que emite menos desde que não alterasse o preço original do referido produto (56,62%).

<sup>26</sup> A partir da pesquisa efetuada por meio da aplicação de questionários.

**Tabela 13.** Preferência dos respondentes por operações logísticas com menor emissão de GEE em relação ao custo.

Grupo	Opiniões – Taxa de resposta (%)					Total
	A	B	C	D	E	
I	3,33	0,00	30,00	43,33	23,33	100,00
II	3,33	20,00	20,00	50,00	6,67	100,00
III	13,33	3,33	13,33	53,33	16,67	100,00
IV	3,33	6,67	16,67	63,33	10,00	100,00
V	0,00	12,50	0,00	87,50	0,00	100,00
<b>Média</b>	<b>5,15</b>	<b>8,09</b>	<b>17,65</b>	<b>56,62</b>	<b>12,50</b>	<b>100,00</b>

**Notas:** Opiniões dos respondentes: A - Não, mesmo sem aumento do preço, B - Não, por causa do aumento do preço, C - Talvez sim, talvez não, D - Sim, desde que não aumente o preço, E - Sim, mesmo com aumento do preço.

Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>27</sup>

A preferência dos respondentes quanto adquirir um produto pela internet com menor emissão de GEE durante o frete também foi relacionada ao respectivo prazo de entrega, conforme visto na Tabela 14. As respostas revelaram que a maioria dos respondentes dos grupos II, III, IV e V optaria pelo produto ecologicamente mais adequado desde que não alterasse o tempo de entrega original do produto em questão. Já no grupo I o percentual de pessoas que esperariam mais tempo pelo produto superou os que não esperariam com percentuais de 30% e 23,33%, respectivamente. Em linhas gerais, esta análise comparada com a anterior (cuja questão central era o custo), evidenciou maior flexibilidade dos grupos por um tempo de espera adicional para a chegada de um produto.

**Tabela 14.** Preferência dos respondentes por operações logísticas com menor emissão de GEE em relação ao prazo de entrega.

Grupo	Opiniões – Taxa de resposta (%)					Total
	A	B	C	D	E	
I	6,67	0,00	40,00	23,33	30,00	100,00
II	3,33	16,67	20,00	56,67	3,33	100,00
III	3,33	3,33	6,67	56,67	30,00	100,00
IV	6,67	0,00	23,33	63,33	6,67	100,00
V	0,00	6,25	18,75	43,75	31,25	100,00
<b>Média</b>	<b>4,41</b>	<b>5,15</b>	<b>22,06</b>	<b>49,26</b>	<b>19,12</b>	<b>100,00</b>

**Notas:** Opiniões dos respondentes: A - Não, mesmo se o prazo de entrega for mantido, B - Não, por causa do aumento do prazo de entrega, C - Talvez sim, talvez não, D - Sim, desde que não aumente o prazo de entrega, E - Sim, mesmo com o aumento do prazo de entrega.

Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>28</sup>

<sup>27</sup> A partir da pesquisa efetuada por meio da aplicação de questionários.

A Tabela 15 mostra os resultados médios referentes à parcela dos respondentes que disseram que esperariam algum tempo adicional para a entrega de um produto (26 respondentes, em um total de 136). A maioria dos respondentes disse que concordariam em esperar de oito a quinze dias a mais pelo produto.

**Tabela 15.** Preferência dos respondentes pelo tempo de espera adicional para a chegada de um produto via operações logísticas com menor emissão de GEE.

Grupo	Opiniões – Taxa de resposta (%)				Total
	A	B	C	D	
I	22,22	33,33	22,22	22,22	100,00
II	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
III	11,11	77,78	0,00	11,11	100,00
IV	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
V	20,00	60,00	20,00	0,00	100,00
<b>Média</b>	<b>15,38</b>	<b>61,54</b>	<b>15,38</b>	<b>11,54</b>	<b>100,00</b>

**Notas:** A - Até uma semana a mais, B - De oito a quinze dias a mais, C - De dezesseis a trinta dias a mais, D - Mais de trinta dias a mais.

Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>29</sup>

A Tabela 16 apresenta os resultados médios dos respondentes que disseram que esperariam um tempo adicional pelo produto. Neste caso, foi questionado se o tipo de produto influenciaria na decisão. O objetivo foi relacionar a satisfação das necessidades/vontades pessoais em detrimento às questões ambientais. No primeiro grupo, 56,6% dos respondentes disseram que o tipo de produto influencia no tempo de espera pela chegada do mesmo. No grupo II, todos os respondentes responderam que o tipo de produto não afetaria a decisão entre esperar ou não. No terceiro grupo, 22,2% dos respondentes consideram que existe influência, enquanto que para o grupo IV 50% dos respondentes compartilham desta preferência. Já no grupo V apenas 20% dos respondentes responderam que a espera sofre influencia pelo tipo de produto em questão.

<sup>28</sup> A partir da pesquisa efetuada por meio da aplicação de questionários.

<sup>29</sup> A partir da pesquisa efetuada por meio da aplicação de questionários.

**Tabela 16.** Percepção dos respondentes sobre a influência exercida pelo tipo de produto no respectivo tempo de espera.

Grupo	Opiniões – Taxa de resposta (%)		Total
	Não	Sim	
I	44,40	55,60	100,00
II	100,00	0,00	100,00
III	77,80	22,20	100,00
IV	50,00	50,00	100,00
V	80,00	20,00	100,00
<b>Média</b>	<b>65,38</b>	<b>34,62</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2016)<sup>30</sup>

A aplicação de questionários revelou o conhecimento das pessoas e investigou o seu comportamento sobre questões sustentáveis captando preferências e prioridades. Esta sondagem forneceu um olhar voltado para potencial influência das decisões das pessoas no funcionamento dos sistemas logísticos retratando como cada indivíduo pode contribuir para emissões de GEE no transporte rodoviário de carga. Em princípio, as pessoas têm conhecimento sobre GEE e suas fontes emissoras, contudo ainda não estão suficientemente sensíveis às questões sustentáveis em detrimento a preferências pessoais principalmente sob o aspecto econômico. Contudo, numa visão mais profunda percebeu-se que há uma parcela de pessoas que estaria disposta a optar por uma alternativa menos agressiva ao ambiente, considerando adquirir produtos cujas emissões durante o frete seja menor, mesmo que isso lhes custe um pouco mais de tempo ou dinheiro. Nesta perspectiva, vê-se uma oportunidade para conscientizar e sensibilizar os consumidores no momento da compra sobre sua contribuição para a redução das emissões. Do ponto de vista da produção *lean* versus *green*, cabe uma investigação sobre a influência dessas práticas nos sistemas logísticos de transporte rodoviário de carga com foco em emissões de GEE.

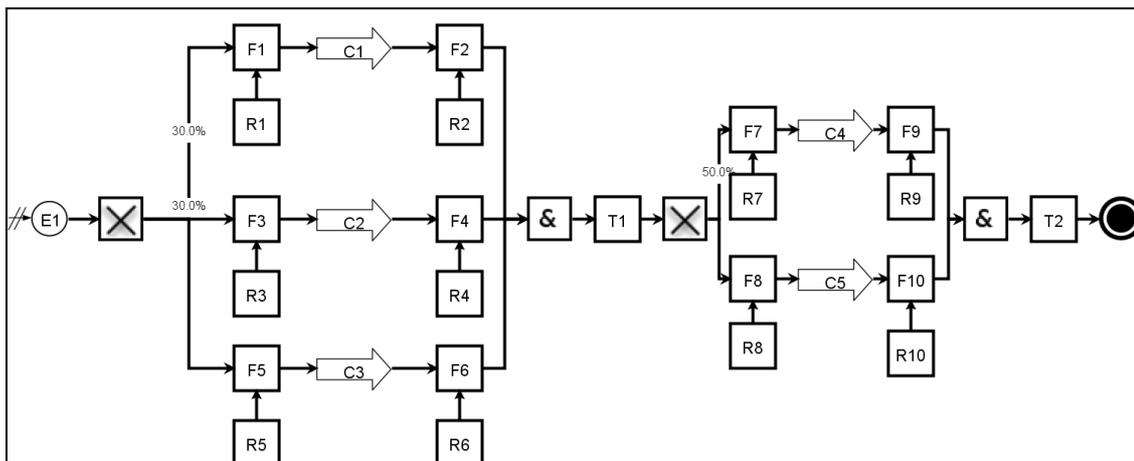
#### 4.2.2. Modelos de Simulação

O primeiro passo para a construção dos modelos computacionais foi analisar a estrutura do sistema e os dados necessários para desenvolver os modelos capazes de proporcionar resultados confiáveis e manter o comportamento do

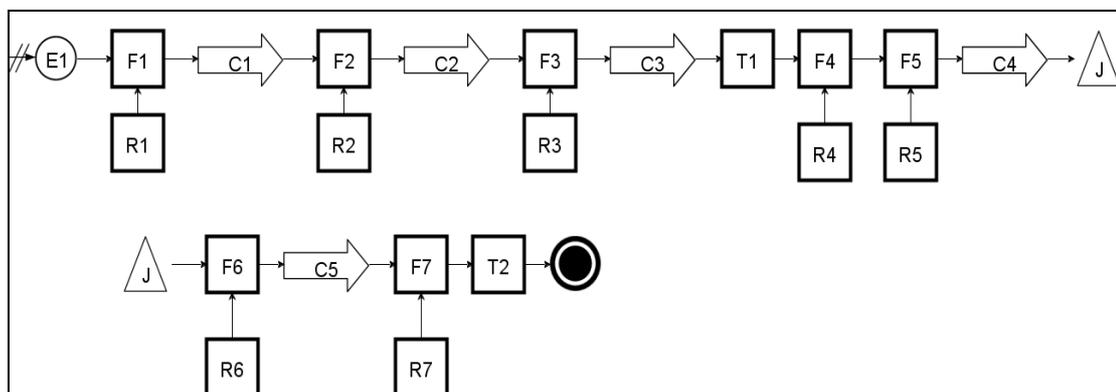
<sup>30</sup> A partir da pesquisa efetuada por meio da aplicação de questionários.

sistema. Com isso manteve-se a diversificação das capacidades dos veículos bem como suas respectivas características, a variação das distâncias entre fornecedores, fábrica e clientes bem como variação nos tempos de carregamento. Neste trabalho não foi considerado o tipo de carga transportada nem variações na velocidade durante os trajetos dos veículos.

Os Fluxogramas 11 e 12 ilustram os modelos computacionais utilizados para representar as configurações propostas por Ballou (2004), já vistas na Figura 1. As descrições dos parâmetros utilizados podem ser consultadas no Apêndice D. O módulo E1, à esquerda, é responsável pela criação das entidades, neste caso, os veículos de carga. Os módulos iniciados pela letra F correspondem aos carregamentos dos materiais nos fornecedores para entregar na fábrica e os carregamentos dos produtos acabados na fábrica para entregar aos clientes; correspondem também aos descarregamentos dos materiais na fábrica e os descarregamentos dos produtos acabados nos clientes. Os módulos iniciados com a letra R representam os recursos ou equipes de trabalho com operários e máquinas utilizados para efetuar os carregamentos e descarregamentos. Os módulos iniciados com a letra C têm a função de calcular as emissões originadas das operações de transporte. T1 e T2 são responsáveis por contar as entidades que percorrem o sistema. O X funciona como decisor para direcionar o fluxo dos veículos em função de determinada condição satisfeita. Por fim, o módulo J tem a função de deslocar os veículos de um ponto a outro, neste caso sua utilização decorre de um melhor ajuste ao layout da tela do *software*.



**Fluxograma 11.** Modelo computacional desenvolvido para a configuração 1.  
Fonte: Ballou (2004). (Adaptado pela autora (2016)<sup>31</sup>)



**Fluxograma 12.** Modelo computacional desenvolvido para a configuração 2.  
Fonte: Ballou (2004) (Adaptado pela autora (2016)<sup>32</sup>)

#### 4.2.2.1. Parâmetros de Rodada dos Modelos

O tempo de execução da simulação processado pela máquina foi de 12 segundos. Nesses experimentos foram utilizadas 4 repetições, cada uma com 35 elementos amostrais, totalizando 140 elementos para cada cenário simulado.

<sup>31</sup> Por meio das simulações realizadas no software Ururau 1.1.

<sup>32</sup> Por meio das simulações realizadas no software Ururau 1.1.

### 4.2.3. Experimentos Simulados

Os dados obtidos para as variáveis de resposta, EM (kgCO) e TT (h) foram submetidos à análise de variância ao nível de 99% de confiabilidade, com verificação prévia das pressuposições de homocedasticidade e normalidade dos erros por meio dos testes de Cochran & Bartlet e Lillifors, respectivamente. Após essas análises, verificou-se que a variável EM apresentou dados com homogeneidade e normalidade, enquanto a variável TT obteve erros heterogêneos, distinguindo dois grupos que serão posteriormente apresentados. A análise descritiva da variável EM foi realizada por média e desvio padrão, sendo as comparações de médias realizadas pelo Teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ), conforme o Apêndice D. O modelo estatístico adotado pode ser observado pela Equação 1.

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + (\alpha\beta\delta)_{ijk} + e_{ijkn}$$

**Equação 1.** Cálculo das Variáveis de Resposta.  
Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

Em que:

$\mu$  = constante;

$\alpha_i$  = efeito do i-ésimo nível do fator A;  $i = 1, \dots, a$ ;

$\beta_j$  = efeito do j-ésimo nível do fator B;  $j = 1, \dots, b$ ;

$\delta_k$  = efeito do k-ésimo nível do fator C;  $k = 1, \dots, c$ ;

$(\alpha\beta\delta)$  = efeito da interação entre o i-ésimo nível do fator A, j-ésimo nível do fator B e k-ésimo nível do fator C;

$e_{ijk}$  = erro associado ao i-ésimo nível do fator A, j-ésimo nível do fator B k-ésimo nível do fator C e a n-ésima repetição;  $n=1, \dots, r$ ;

Para os erros, pressupõe-se que  $e_{ijk}$  tenha aderência à distribuição normal  $(0, \sigma^2)$ .

#### 4.2.4. Análise dos Resultados

Os resultados referentes à EM and TT simulados para cada um dos cenários, conforme as configurações 1 e 2 de Ballou (2004) encontram-se nas Tabelas 17 e 18. Nota-se que as EM médias estão expressas em kgCO pela facilidade em calculá-las, contudo, por analogia é possível compreender o comportamento das emissions dos demais gases. A variável resposta TT refere-se ao tempo médio gasto para o veículo percorrer a rota durante as simulações e cumprir as entregas.

Considerando-se a frota simples e configuração 1, os cenários de 1 a 4 representam veículos pequenos por isso mostraram menor TT (59,80 h) o que representou 34,80% de redução em relação aos cenários de 5 a 8, que representam veículos grandes. As EM (kgCO) observadas nos cenários 1(298,56 ± 0,08), 2(328,42 ± 0,09), 3(417,99 ± 0,12) e 4(459,79 ± 0,13), foram significativamente diferentes entre si (Tukey,  $P \leq 0,01$ ) conforme demonstrado na Figura 29, configuração 1. Nota-se, ainda na referida figura que, o estilo de ecocondução reduziu as EM entre os cenários 1 e 2, bem como entre os cenários 3 e 4. Conclui-se portanto, para essas quatro primeiras simulações, que a decisão do cliente é relevante, ou seja, se o cliente tem urgência de entrega o cenário 1 é o que emite menor EM, uma redução de 35,07% quando se usa frota simples com veículos pequenos, novos e operados com ecocondução.

Por outro lado, caso o cliente não tenha urgência para entrega, ou concorda em receber o produto com maior TT e menor EM, os cenários de 5 a 8, com veículos grandes, passam a ter relevância nas decisões tomadas pelo administrador. As EM observadas nos cenários 5(234,62 ± 0,01), 6(258,08 ± 0,01), 7(417,99 ± 0,12) e 8(459,79 ± 0,13), demonstrados na Figura 14 (Configuração 1), diferem em veículos novos utilizados nos cenários 5 e 6, e veículos velhos usados nos cenários 7 e 8. Entre esses cenários o estilo ecocondução novamente promoveu diferenças médias significativas (Tukey,  $P \leq 0,01$ ) e o cenário 5 foi capaz de reduzir em quase 50% as EM.

A conclusão geral que se chega para a frota simples e configuração 1 é que a ecocondução deve ser adotada pelas empresas de logística como indicador de sustentabilidade empresarial e que o consumidor deve ser educado para sempre

que possível, optar por entregas com baixa EM, mesmo com maior TT. Cabe ao administrador promover processos graduais de depreciação dos custos da frota, planejando ao longo do tempo sua substituição fracionada, de tal forma que a maioria da frota seja sempre nova. É importante que os veículos pequenos sejam usados somente nos casos de urgência, portanto, devem constituir a menor fração da frota.

Na análise da frota simples e configuração 2, observada na Tabela 17, os valores dos cenários 9, 10, 11 e 12 (veículos pequenos) apresentaram TT de 92,26 h e os cenários 13, 14, 15 e 16 (veículos grandes) apresentaram TT de 109,99 h, ou seja, um aumento de 16,12%. Quanto às EM, os veículos pequenos apresentaram maiores valores em relação aos grandes, de acordo com os dados obtidos nos cenários 9( $402,83 \pm 0,01$ ), 10( $443,11 \pm 0,01$ ), 11( $563,96 \pm 0,01$ ) e 12( $620,35 \pm 0,02$ ) referentes a veículos pequenos e aos cenários 13( $319,29 \pm 0,06$ ), 14( $351,22 \pm 0,06$ ), 15( $447,01 \pm 0,08$ ) e 16( $491,71 \pm 0,09$ ) para veículos grandes. O cenário com menor EM da configuração 2 e frota simples, também utilizou veículos novos, grandes e com ecocondução, porém apresentou maior TT (cenário 13).

De modo geral, para frota simples em ambas as configurações, quando se usa veículos maiores, as EM diminuem devido à maior capacidade total de carga de cada veículo, porém o TT em geral aumenta como consequência da necessidade de maior tempo despendido aos carregamentos em cada etapa do processo. Por outro lado, quando as configurações são simuladas com veículos pequenos o TT diminui, pois muitos deslocamentos e carregamentos podem ocorrer ao mesmo tempo, nessas circunstâncias, a capacidade de carga individual é menor, agilizando os processos de carregamento. Falta entender por qual motivo suas emissões foram maiores. Uma plausível resposta seria que, se no processo logístico for fixado o total de carga movida para todos os cenários, certamente os veículos menores deverão repetir mais vezes o processo para executar a tarefa quando comparados aos veículos maiores.

Na frota mista e configuração 1 (Tabela 17), os cenários de 1 a 4 são arranjos de entrega de frota que usam veículos pequenos para o suprimento de matérias-primas e veículos grandes para entregas dos produtos aos clientes e os cenários 5 a 8 têm arranjo inverso. Os cenários 1 a 4 apresentaram TT (85,43 h) com redução de

7,44% em relação aos cenários de 5 a 8 (79,07h), para os quais os arranjos de entrega de frota foram invertidos. As EM (kgCO) observadas nos cenários 1(284,37±0,07), 2(312,81±0,08), 3(398,12±0,10) e 4(437,93±0,11), foram significativamente diferentes entre si (Tukey,  $P \leq 0,01$ ), conforme Figura 31 (configuração 1). Nota-se, ainda que, tanto para frotas novas e velhas, o estilo ecocondução reduziu as EM entre os cenários 1 e 2, bem como entre os cenários 3 e 4. As EM observadas nos cenários 5(223,97 ± 0,01), 6(246,37 ± 0,01), 7(313,56 ± 0,01) e 8(344,91 ± 0,01) demonstradas na Figura 5 (configuração 1), diferem entre veículos novos utilizados nos cenários 5 e 6, e veículos velhos usados nos cenários 7 e 8, que por sua vez, diferem entre si (Tukey,  $P \leq 0,01$ ) quanto ao estilo ecocondução. O cenário 5 foi capaz de reduzir em quase 50% as EM.

Quando se propôs a frota mista para a configuração 1, esperava-se que as vantagens observadas na frota simples pudessem se acentuar em pelo menos um dos 8 cenários com frota mista, e isso de fato ocorreu com o TT para os cenários de 5 a 8, que usaram veículos grandes e todas as EM obtidas (Tabela 17). Seguindo esse raciocínio, o TT dos cenários de 5 a 8, reduziu de 91,72 h para 79,07 h, ou seja, menos 13 h quando, além disso, as EM reduziram de 12 a 22 kgCO quando se substituiu o veículo grande por pequeno na entrega de produtos aos consumidores, em resumo houve uma interação sinérgica entre frotas. A frota mista foi superada pela frota simples, somente quanto ao TT para os cenários 1 a 4 que subiram de 59,80 h para 85,43 h, um acréscimo indesejável de 25,63 h, assim sendo, uma interação antagônica entre os tipos de frotas.

Na frota mista e configuração 2 (Tabela 17), os cenários de 9 a 12 são arranjos de entrega de frota que usam veículos pequenos para o suprimento de matérias-primas e veículos grandes para entregas dos produtos aos clientes e os cenários 13 a 16 têm arranjos inversos. Não houve diferenças significativas no TT dos cenários de 9 a 12 (103,88 h) e a inversão dos arranjos propostos nos cenários de 13 a 16 (103,86 h). Entretanto às EM foram menores quando se utilizou os cenários de 9 a 12 em comparação as EM dos cenários de 13 a 16. As EM observadas foram: 9(394,15±0,01), 10(433,56±0,01), 11(551,81±0,01), 12(606,99±0,01), 13(323,65±0,05), 14(343,76±0,05), 15(404,10±0,06) e 16(432,25±0,07). O cenário 13, apresentou a menor EM da configuração 2 e frota mista (veículos novos e com ecocondução).

Quando se compara a frota simples e frota mista na configuração 2, as vantagens observadas foram reduções a cerca de 7,5 a 60 kgCO para os todos os cenários de 9 a 16, exceto o 13 com aumento não significativo de 4,36 kgCO (Tabela 17). O TT dos cenários de 9 a 12 aumentou 11,62 h e de 13 a 16 reduziram 6,13 h, sendo assim a frota mista foi superada pela frota simples, somente nos cenários 9 a 12 que utilizam veículos pequenos para obtenção de matéria prima e veículos grandes para entregas de produtos aos clientes.

**Tabela 17.** Média das EM (Significância, kgCO) da frota de veículos e TT (Significância, h) obtidas nos cenários simulados para as configurações 1 e 2.

Fases	CONFIGURAÇÃO 1					CONFIGURAÇÃO 2				
	CS	EM (kgCO)	↓ EM (%)	TT (h)	↓ TT (%)	CS	EM (kgCO)	↓ EM (%)	TT (h)	↓ TT (%)
Frota Simples	1	298,56	35,07	59,80	34,80	9	402,83	35,06	92,26	16,12
	2	328,42	28,57	59,80	34,80	10	443,11	28,57	92,26	16,12
	3	417,99	9,09	59,80	34,80	11	563,96	9,09	92,26	16,12
	4	459,79	0,00	59,80	34,80	12	620,35	0,00	92,26	16,12
	5	234,62	48,97	91,72	0,00	13	319,29	48,53	109,99	0,00
	6	258,08	43,87	91,72	0,00	14	351,22	43,38	109,99	0,00
	7	328,46	28,56	91,72	0,00	15	447,01	27,94	109,99	0,00
	8	361,31	21,42	91,72	0,00	16	491,71	20,74	109,99	0,00
Frota Mista	1	284,37	35,06	85,43	0,00	9	394,15	35,06	103,88	0,00
	2	312,81	28,57	85,43	0,00	10	433,56	28,57	103,88	0,00
	3	398,12	9,09	85,43	0,00	11	551,81	9,09	103,88	0,00
	4	437,93	0,00	85,43	0,00	12	606,99	0,00	103,88	0,00
	5	223,97	48,86	79,07	7,44	13	323,65	46,68	103,86	0,02
	6	246,37	43,74	79,07	7,44	14	343,76	43,37	103,86	0,02
	7	313,56	28,40	79,07	7,44	15	404,10	33,43	103,86	0,02
	8	344,91	21,24	79,07	7,44	16	432,25	28,79	103,86	0,02

**Notas:** CS – cenários simulados; EM – emissões de CO (kgCO); ↓ EM – percentual de redução de emissões de CO; TT – tempo de transporte (h); ↓ TT (%) – percentual de redução de TT.

Fonte: Ballou (2004) (Adaptado pela autora (2016)<sup>33</sup>)

A configuração 2 simulada com frota mista apresentou vantagens em relação a frota simples, conforme a Tabela 18.

<sup>33</sup> Por meio das simulações realizadas no software Ururau 1.1.

**Tabela 18.** Vantagens do uso de frota mista em relação à frota simples para EM (Significância, kgCO) e TT (Significância, h) obtidas nos cenários simulados para as configurações 1 e 2.

Variáveis Observadas	CONFIGURAÇÃO 1				CONFIGURAÇÃO 2			
	SS	Frota Simples	Frota Mista	Variação	SS	Frota Simples	Frota Mista	Variação
EM (kgCO)	1	298,56	284,37	-14,19	9	402,83	394,15	-8,68
	2	328,42	312,81	-15,61	10	443,11	433,56	-9,55
	3	417,99	398,12	-19,87	11	563,96	551,81	-12,15
	4	459,79	437,93	-21,86	12	620,35	606,99	-13,36
	5	234,62	223,97	-10,65	13	319,29	323,65	4,36
	6	258,08	246,37	-11,71	14	351,22	343,76	-7,46
	7	328,46	313,56	-14,9	15	447,01	404,10	-42,91
	8	361,31	344,91	-16,4	16	491,71	432,25	-59,46
TT (h)	1	59,80	85,43	25,63*	9	92,26	103,88	11,62*
	2	59,80	85,43	25,63*	10	92,26	103,88	11,62*
	3	59,80	85,43	25,63*	11	92,26	103,88	11,62*
	4	59,80	85,43	25,63*	12	92,26	103,88	11,62*
	5	91,72	79,07	-12,65	13	109,99	103,86	-6,13
	6	91,72	79,07	-12,65	14	109,99	103,86	-6,13
	7	91,72	79,07	-12,65	15	109,99	103,86	-6,13
	8	91,72	79,07	-12,65	16	109,99	103,86	-6,13

Nota: \* Cenários com frota mista e TT ineficiente.

Fonte: Ballou (2004) (Adaptado pela autora (2016)<sup>34</sup>)

Nos resultados correspondentes à utilização de frota simples nas configurações 1 e 2 (BALLOU, 2004) verificou-se que os níveis de EM foram influenciados, primeiramente, pelo tipo de frota utilizada, observando-se que o emprego de veículos maiores reduz as emissões. A utilização de veículos novos e o estilo de condução mais ecológico também contribuíram para que as menores EM dentro de cada frota. O TT apresentou dois grupos distintos de valores os quais indicaram, dentre os fatores analisados, que a mudança do tipo de frota foi o fator que incidiu sobre o aumento do TT quando veículos maiores foram utilizados. A partir desses cenários, é possível que os gestores escolham a opção mais adequada para os transportes de mercadorias podendo optar por decisões mais sustentáveis (*green*), que apresentem as menores e EM e/ou mais rápidas (*lean*) cujos TT sejam menores (Gráfico 12).

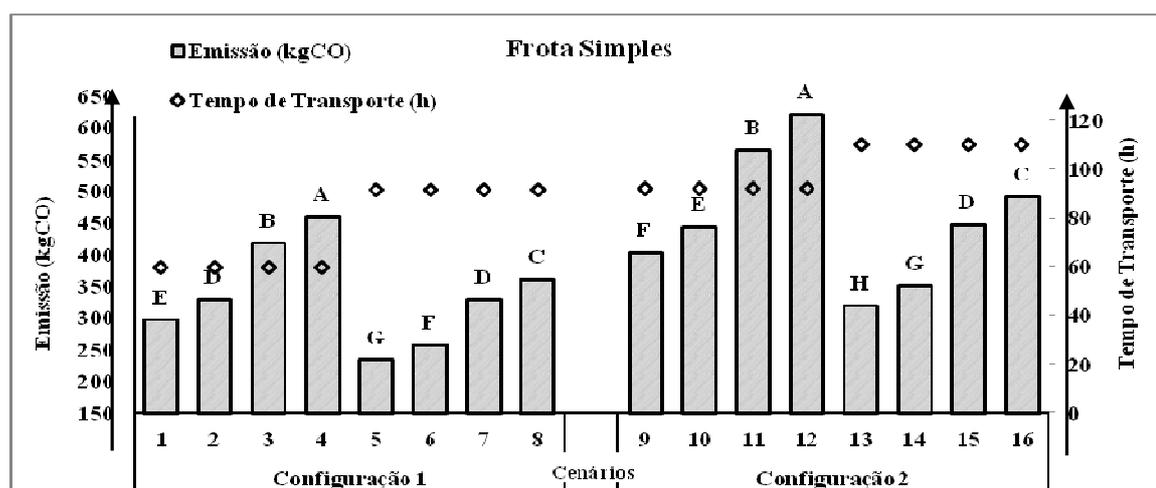
Nos resultados referentes à utilização de frota mista nas configurações 1 e 2 (Balou, 2004) verificou-se que o tipo de frota empregado não influencia diretamente nos TT dos cenários. Os menores níveis de EM corresponderam à utilização de veículos maiores para os transportes das matérias-primas para a fábrica e veículos menores para as entregas dos produtos aos clientes. O inverso, então, provocou o

<sup>34</sup> Por meio das simulações realizadas no software Ururau 1.1.

aumento dessas EM, fazendo com que seja mais interessante, tanto do ponto de vista da produção *lean* quanto *green*, priorizar estruturas logísticas que empreguem veículos de maior porte para o suprimento de materiais. Além disso, ficou claro que os veículos novos estão associados à redução das emissões assim como a adoção de um estilo de condução ecológico (Gráfico 13).

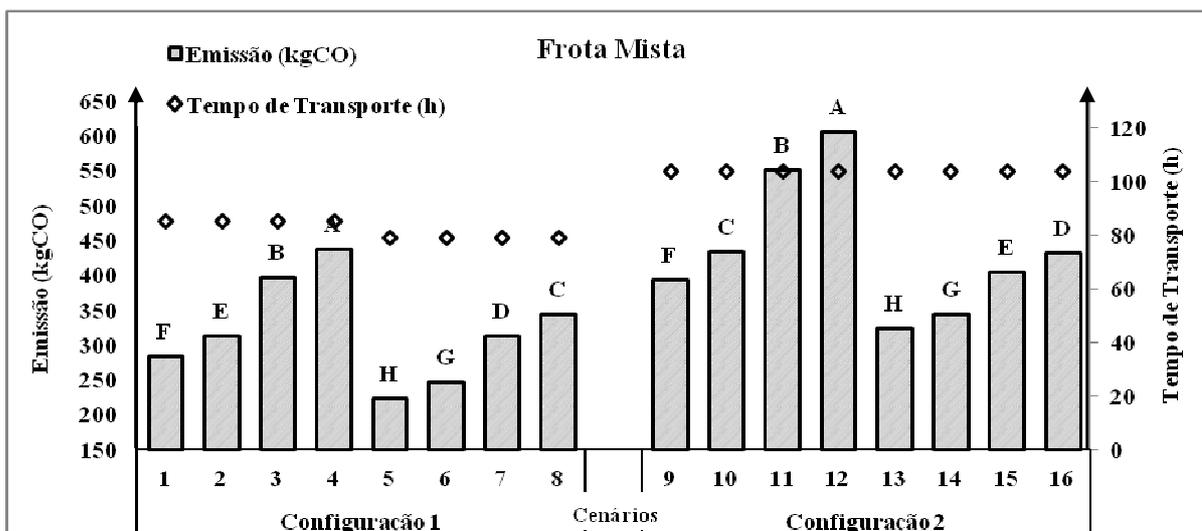
A aplicação do Teste de Tukey mostrou que, dentro de cada configuração, as médias que não compartilham a mesma letra são significativamente diferentes pelo referido teste ao nível de 99% de confiança. Verificou-se que apenas os cenários 2 e 7 (Gráfico 12) se mantiveram estatisticamente iguais, evidenciando que, a partir dos fatores estudados, diferentes cenários podem, em algum ponto, gerar os mesmos níveis de EM.

A decisão sobre o Tipo de frota a ser utilizado pode sofrer a influência dos clientes devido à variação em relação à quantidade de pedidos e a urgência quanto à entrega das mercadorias. Já as decisões quanto a Idade da frota e Estilo de condução geralmente competem aos gestores e às empresas. Com isso, vê-se a possibilidade de analisar estruturas de transporte sustentáveis ambientalmente, envolvendo tanto consumidores como gestores.



**Gráfico 12.** Resultados das simulações e teste de Tukey para as configurações 1 e 2 com uso de frota simples. Fonte: Ballou (2004) (Adaptado pela autora (2016)<sup>35</sup>)

<sup>35</sup> Por meio das simulações realizadas no software Ururau 1.1.



**Gráfico 13.** Resultados das simulações e teste de Tukey para as configurações 1 e 2 com uso de frota mista.

Fonte: Ballou (2004) (Adaptado pela autora (2016)<sup>36</sup>)

Os valores absolutos encontrados para as EM e os TT não estiveram em foco neste trabalho. A questão central consistiu na análise dos valores relativos por meio da comparação entre cada cenário e configuração. Assim, é possível concluir que não se pode generalizar o comportamento das configurações e que as mesmas podem ser vantajosas ou não de acordo com os critérios previamente estabelecidos para as variáveis envolvidas. Os resultados das simulações mostraram que diferentes cenários tiveram diferentes resultados sobre o desempenho do SC quando foram analisados fatores como Tipo de frota, Idade da frota e Estilo de condução.

Simão *et al.* (2016) considera a logística como um dos setores mais adequados do SC para a aplicação de estratégias sustentáveis, pois neste ponto é possível reduzir as emissões de GEE. Com base nessa afirmativa, justifica-se a ênfase dada neste trabalho às análises feitas em torno das operações de transporte, pois tais operações podem proporcionar grandes impactos em todo o SC. Destaca-se a importância de pensar em um SC com *design* dinâmico capaz de responder às inúmeras exigências provenientes do mercado, dos concorrentes, dos clientes além de exigências ambientais cada vez mais rígidas. Frente a esse contexto, é preciso ouvir cada parte e buscar formas de atender suas diferentes necessidades. Uma das

<sup>36</sup> Por meio das simulações realizadas no software Ururau 1.1.

formas de se alcançar este objetivo pode ser através de um relacionamento mais próximo entre gestores e clientes tornando-os coparticipantes de possíveis estratégias logísticas.

A partir do levantamento de informações de consumidores por meio do questionário aplicado nesta pesquisa foi possível compreender que os mesmos têm opiniões diversas sobre questões ambientais e emissões de GEE. Contudo, há pessoas que se preocupam em tomar decisões considerando o fator sustentabilidade. Esses, cogitam a possibilidade de adequar o modo de adquirir produtos pela internet para contribuir com estratégias logísticas *green*. O impacto na redução de emissões de GEE geradas pelas decisões desses tipos de consumidores pode ser intensificado se for utilizada uma abordagem que vise fornecer maiores informações para os consumidores no momento da compra. Além disso, campanhas governamentais educativas podem contribuir para uma maior sensibilização da população e ampliar a cultura sustentável. A partir de uma melhor compreensão do comportamento dos clientes podem-se estabelecer escolhas que atendam ao LM e GM de forma que ambas as práticas agreguem valor ao SC. Ainda que a maioria das pessoas relatadas no questionário esteja bastante sensível ao preço e tempo de entrega, ressalta-se que o padrão comportamental observado contém os traços culturais, sociais e econômicos da região onde aconteceram as entrevistas. Com isso, de acordo com a região podem ser obtidos resultados diferentes.

Johansson e Sundin (2014) relatam que apesar da crescente atenção que tem sido direcionada aos conceitos de LM e GM como ferramentas essenciais para o sucesso dos negócios, têm-se ainda poucos estudos que analisam os dois conceitos de forma integrada. A questão central desta pesquisa consistiu na análise de variáveis ambientais e de desempenho dentro do contexto LM e GM com o objetivo de mostrar que ambos os conceitos podem e devem ser encarados através de uma perspectiva mais ampla. Diante disso, foi possível mostrar que uma estratégia ambiental pode corresponder a uma estratégia lucrativa e que agrega valor ao produto e, sob o aspecto competitivo, pode trazer benefícios para as empresas. Neste aspecto, Dües; Tan; Lim (2013) apontam em seu trabalho que o LM serve como um importante agente para o GM, que por sua vez, quando implantado adicionalmente às práticas de GM existentes demandam menores

investimentos de tempo e/ou dinheiro. Não obstante, os autores destacam que ambas as práticas quando não interligadas requerem maior atenção quanto aos investimentos.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A DISSERTAÇÃO

### 5.1. CONCLUSÕES

Este trabalho analisou as emissões de gases do efeito estufa em diversos cenários de um sistema de transporte rodoviário de carga através do estudo do comportamento de variáveis ambiental e de desempenho por meio de modelos de Simulação a Eventos Discretos. Para este fim, foram usados dois sistemas: o primeiro correspondeu a um sistema real referente ao corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar, tendo como base uma usina sucroalcooleira da região Norte Fluminense; o segundo, correspondeu à um sistema hipotético de *Supply Chain* encontrado em Ballou (2004).

Com relação aos resultados obtidos da análise do sistema da usina sucroalcooleira, os principais elementos demonstrados referem-se às variáveis simuladas: emissões, tempo de transporte e carga transportada. Em relação às emissões, percebeu-se a utilização de caminhões mais potentes, mas que não transportam quantidades maiores de carga, não apresentam vantagens ambientais. Outro fator relacionado às emissões refere-se às distâncias as quais as lavouras se encontram da usina. Para o caso de uma usina possuir a maior parte de suas lavouras mais distantes, como ocorreu nos cenários 4 e 5, é preferível a utilização de caminhões com potência menor ou caminhões que, mesmo sendo mais potentes, possam transportar quantidades de cargas mais elevadas. O aumento do tempo de transporte não se mostrou na mesma proporção que as emissões. Já em relação à carga transportada, esta não apresentou variações expressivas, devido à

proximidade entre os valores das capacidades de carga de ambos os tipos de veículos utilizados para o transporte da cana-de-açúcar.

Os resultados obtidos da análise do sistema de *Supply Chain* relacionaram aspectos de sustentabilidade ambiental inseridos nos modelos computacionais e a opinião de consumidores através de uma pesquisa *survey*. Por meio da aplicação de um questionário, foi possível perceber o comportamento de consumidores de Campos dos Goytacazes frente às questões ambientais no setor de transporte. A pesquisa mostrou que as pessoas têm conhecimento sobre os problemas causados pelos gases do efeito estufa e que estariam dispostas a participar de ações voltadas para a melhoria do transporte, com foco na mitigação das emissões. Entretanto, os respondentes se mostraram pouco sensíveis à questão quando foram confrontados com a possibilidade de aumento no preço de produtos ou prazo de entrega provenientes de uma reestruturação logística. Por outro lado, houve uma parcela de respondentes que se mostrou disposta a tomar decisões quanto à aquisição de produtos mesmo que isso lhes custe um pouco mais de tempo ou dinheiro.

A partir dos resultados dessa pesquisa de campo, verificou-se a possibilidade de que gestores utilizem informações de potenciais consumidores para o desenvolvimento de estratégias logísticas sustentáveis ambientalmente no transporte rodoviário de carga. Contudo, é uma questão que requer estudos mais aprofundados para que realmente sejam implantadas formas para uma contribuição ativa dos consumidores. Este trabalho pode contribuir com a indústria mostrando a necessidade da participação dos clientes em assuntos logísticos. Evidenciou-se que, se o cliente não participar das decisões, a tendência é o aumento das emissões em função de se receber o produto em menor tempo.

Através das simulações e da opinião dos consumidores foi possível fornecer informações que podem auxiliar gestores a tomarem decisões em ambientes logísticos que levem em consideração não só aspectos econômicos, mas também aspectos sustentáveis ambientalmente. Ao se pensar no projeto das emissões de CO<sub>2</sub>, este estudo mostra que há um espaço para ganho energético (eficiência energética) associado ao manejo da frota em função da forma como um produto pode ser enviado para um determinado cliente. Assim, o cliente pode participar desse ganho sustentável relativo ao transporte de carga, visto que este setor é o

mais crítico no tocante à mitigação das emissões gasosas.

Através de um projeto experimental, verificou-se a influência de alguns fatores nas emissões de gases do efeito estufa, demonstrando que o Tipo de frota, Idade da frota e Estilo de condução do motorista podem influenciar nos níveis de emissões e tornar o transporte mais ou menos sustentável.

Observou-se ainda que, de acordo com os critérios estabelecidos, a relação entre *Lean Manufacturing* versus *Green Manufacturing* pode ou não ser conflitante dentro do sistema logístico investigado. Assim, percebeu-se que diferentes ambientes logísticos podem gerar resultados diferentes e que, com base nas configurações analisadas, não se pode apontar um cenário ou configuração como melhor. Alguns cenários podem trazer vantagens ambientais e serem pouco atraentes financeiramente e vice-versa, mas existem pontos de equilíbrio que podem ser encontrados e favorecer ambas as vertentes.

Além disso, foi possível utilizar um *software* livre e de código aberto para realizar as simulações. Apesar de ser um *software* embrionário tem se mostrado eficiente e versátil, com baixo custo podendo favorecer empresas de menor porte. Não obstante, outros *softwares* de simulação também são capazes de realizar esses estudos.

Os modelos de simulação desenvolvidos neste estudo colaboraram com a possibilidade levantada de se reestruturar um sistema logístico adaptando-se seus cenários para alcançar uma economia de baixo carbono. Os resultados das simulações indicaram a possibilidade de redução de emissões de CO<sub>2</sub> e outros gases do efeito estufa sem a necessidade de elevados investimentos tecnológicos, apenas pela reorganização do sistema de transporte. Desta forma, conclui-se que a utilização adequada dos veículos pode reduzir as emissões geradas sem a necessidade de investimentos elevados.

## 5.2. LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Nesta pesquisa, foram utilizados apenas sistemas de transporte de cargas, uma usina sucroalcooleira e um sistema hipotético de SC. Entretanto, outro sistema

poderia ser utilizado e, dessa forma, serem construídos outros modelos computacionais para tratar a questão das emissões sob uma perspectiva mais ampla.

A partir das simulações realizadas, foram confrontadas e analisadas apenas as variáveis de resposta emissões, tempo de transporte e carga transportada (no sistema real). Contudo, a utilização de outras variáveis como preço e prazo de entrega, pode ser de interesse para a comunidade.

Com relação à pesquisa *survey* com aplicação de questionários, a coleta de dados se deteve apenas a uma cidade, por isso, sugere-se a realização do mesmo em diferentes locais para possibilitar o confronto com diferentes regiões e culturas e, assim, proporcionar uma visão mais ampla da percepção dos consumidores. Ainda sobre a aplicação dos questionários, ressalta-se que o quinto grupo de interesse (profissionais em logística) teve apenas a participação de 16 indivíduos respondentes, devido a escassez desses profissionais na região pesquisada, impossibilitando o alcance do total da amostra prevista inicialmente de 30 indivíduos para o grupo.

### 5.3. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Uma possível recomendação que pode ser definida neste trabalho é a possibilidade de as empresas informarem aos consumidores as emissões que podem ser geradas frente a uma determinada opção de transporte do produto comprado. As empresas podem adotar um procedimento a ser empregado ao final de uma venda para deixar o consumidor ciente de que pode estar contribuindo com a redução das emissões de GEE se optar por determinada forma para receber o produto.

Outra questão que pode ser direcionada a partir deste trabalho relaciona-se com a ampliação desta investigação. Sugere-se que outros pesquisadores realizem os mesmos estudos a partir de outros sistemas reais e em diferentes locais, pois a conscientização ambiental pode não ser a mesma que o grupo aqui investigado. De

acordo com informações de grupos específicos, os gestores podem adotar práticas sustentáveis diferentes para cada situação.

Uma sugestão ainda a partir das observações originadas deste estudo diz respeito à possibilidade de se criar um indicador que relacione as emissões de gases com o peso da carga, podendo-se informar ao cliente as emissões gasosas geradas de acordo com a opção de entrega de um produto.

#### 5.4. PRODUÇÕES ORIGINADAS NESTE TRABALHO

	<b>ARTIGO</b>	<b>SITUAÇÃO</b>
1	MARCILIO, G.P.; RANGEL, J.J.A.; PEIXOTO, T.A. Análise de emissões de gases do efeito estufa em um sistema de transporte de carga.	Submetido à Produção Online (primeira rodada de revisões)
2	MARCILIO, G.P.; RANGEL, J.J.A.; SOUZA, C.L.M.; SHIMODA, E.; SILVA, F.F.; PEIXOTO, T.A. Sustainability of road freight transport.	Em avaliação pelo Journal of Cleaner Production (Resumo extendido aceito em Call for Papers)

**Quadro 9.** Produções originadas neste Trabalho.  
Fonte: Elaborado pela Autora (2016)

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALESSANDRINI, A.; et al. Quantification of driver influence on car fuel consumption and CO2 emissions. In: INTERANTIONAL EMISSION INVENTORY CONFERENCE, 20, 2012, august 13 - 16, Tampa, Florida, . **Proceending....** Tampa, Florida : EIC, 2013. p. 1–11. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/ttn/chief/conference/ei20/session8/acattivera.pdf> >. Acesso em: 12 out 2016.

ARJONA, E.; BUENO, G.; SALAZAR, L. An activity simulation model for the analysis of the harvesting and transportation systems of a sugarcane plantation. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 32, n. 3, p. 247–264, 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169901001685>>. Acesso em: 12 out 2016.

ASSUMPÇÃO, M. P.; SOUZA, L. C.; ROBLES, L. T. ERP (Enterprise Resource Planning) na gestão de suprimentos em empresas fabricantes de alimentos doces. **Patrimônio: Lazer e Turismo**, Santos, v. 6, n. 6, p.1-22, abr; 2009.

BALLOU, R. H. **Business logistics: supply chain management**. 5 ed. Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall, 2004.

BANKS J; et al. **Discrete-event system simulation**. 2 ed. Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall, 2010.

BERGENWALL, A. L.; CHEN, C.; WHITE, R. E. TPS's process design in American automotive plants and its effects on the triple bottom line and sustainability. **International Journal of Production Economics**, v. 140, n. 1, p. 374–384, nov. 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527312001764>>. Acesso em: 12 out 2016.

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241–264, 2002. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/01443570210414338>>. Acesso em: 12 out 2016.

BORDONAL, ; et al. Greenhouse gas balance from cultivation and direct land use change of recently established sugarcane (*Saccharum officinarum*) plantation in south-central Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 547–556, dez. 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115007844>>. Acesso em: 12 out 2016.

BRYMAN, A.; BELL. E. **Business research methods**. 2.ed. New York: Oxford University Press, 2007.

BYRNE, P. J.; et al. Sustainable supply chain design: Capturing dynamic input factors. **Journal of Simulation**, v. 4, n. 4, p. 213–221, 2010. Disponível em: <[http://www.asim-fachtagung-spl.de/asim2008/papers/Proof\\_165-2a.pdf](http://www.asim-fachtagung-spl.de/asim2008/papers/Proof_165-2a.pdf)>. Acesso em: 12 out 2016.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégia, planejamento e operação**. São Paulo: Prentice Hall Brasil, 2002.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicação**. 4 ed. Rio de Janeiro: Campus, 2015.

DAGKAKIS, G.; HEAVEY, C. A review of open source discrete event simulation software for operations research. **Journal of Simulation**, p. 1–14, 2015. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1057/jos.2015.9>>. Acesso em: 12 out 2016.

DEKKER, R.; BLOEMHOF, J.; MALLIDIS, I. Operations Research for green logistics: an overview of aspects, issues, contributions and challenges. **European Journal of Operational Research**, v. 219, n. 3, p. 671–679, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221711009970>>. Acesso em: 12 out 2016.

DOMINGO, R.; AGUADO, S. Overall environmental equipment effectiveness as a metric of a lean and green manufacturing system. **Sustainability**, Switzerland, v. 7, n. 7, p. 9031–9047, 2015. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2071-1050/7/7/9031>>. Acesso em: 12 out 2016.

DÜES, C. M.; TAN, K. H.; LIM, M. Green as the new Lean: how to use Lean practices as a catalyst to greening your supply chain. **Journal of Cleaner Production**, v. 40, p. 93–100, fev. 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652611005646>>. Acesso em: 12 out 2016.

FAHIMNIA, B.; SARKIS, J.; ESHRAGH, A. A tradeoff model for green supply chain planning: A leanness-versus-greenness analysis. **Omega**, v. 54, p. 173–190, jul. 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030504831500016X>>. Acesso em: 12 out 2016.

FIORONI, M. M; et al. Modeling the sugar cane logistics from farm to mill. In: WINTER SIMULATIONS CONFERENCE, 2013, december 8-11, Washington, DC. **Proceedings...** Washington, DC : WSC, 2013. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84894109187&partnerID=tZOtx3y1>>. Acesso em: 5 nov. 2015

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

FRIGERI, J. A.; BIANCHI, M.; BACKES, R. G. Um estudo sobre o uso das técnicas de simulação no processo de elaboração e execução dos planejamentos estratégico e operacional. **Contexto**. Porto Alegre, v. 7, n. 12, p. 57-87, jul-dez; 2007. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/ConTtexto/article/download/11162/6607>>. Acesso em: 12 set 2016.

GERHARDT, T.E., SILVEIRA, D.T. **Métodos de pesquisa**. Florianópolis: UFRGS, 2009.

GONZÁLEZ, V.; ECHAVEGUREN, T. Exploring the environmental modeling of road construction operations using discrete-event simulation. **Automation in Construction**, v. 24, p. 100–110, 2012. Disponível em: <<http://fulltext.study/preview/pdf/246850.pdf> >. Acesso em: 12 set 2016.

GOVINDAN, K.; et al. Impact of supply chain management practices on sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v. 85, p. 212–225, jun. 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614005460>>. Acesso em: 12 set 2016.

IANNONE, R. et al. Proposal for a flexible discrete event simulation model for assessing the daily operation decisions in a Ro–Ro terminal. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 61, p. 28–46, fev. 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614005460>>. Acesso em: 12 set 2016.

IANNONI, A. P.; MORABITO, R. Análise do sistema logístico de recepção de cana-de-açúcar: um estudo de caso utilizando simulação discreta. **Gestão e Produção**, v. 9, n. 2, p. 107–128, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v9n2/a02v09n2.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2016.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY STATISTICS (IEA). **CO2 emissions from fuel combustion: highlights: 2015**. <<http://www.iea.org/co2highlights/co2highlights.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2016.

JAEGLER, A.; BURLAT, P. Carbon friendly supply chains: a simulation study of different scenarios. **Production Planning and Control**, v. 23, n. 4, p. 269–278, abr. 2012. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09537287.2011.627656>>. Acesso em: 19 ago 2016.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. What is the impact of sustainable development on the re-localisation of manufacturing enterprises? **Production Planning and Control**, v. 25, n. 11, p. 902–911, 2014. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09537287.2013.776126>>. Acesso em: 19 ago 2016.

JOHANSSON, G.; SUNDIN, E. Lean and green product development: two sides of the same coin? **Journal of Cleaner Production**, v. 85, p. 104–121, abr; 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614003436>>. Acesso em: 19 ago 2016.

KELLNER, F.; IGL, J. Greenhouse gas reduction in transport: analyzing the carbon dioxide performance of different freight forwarder networks. **Journal of Cleaner Production**, v. 99, p. 177–191, jul; 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615002437>>. Acesso em: 19 ago 2016.

KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P.; ZUPICK, N. B. **Simulation with Arena**. 6.ed Boston-US: McGraw - Hill, 635p. 2015.

LÄTTILÄ, L.; HENTTU, V.; HILMOLA, O. P. Hinterland operations of sea ports do matter: Dry port usage effects on transportation costs and CO2 emissions. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 55, p. 23–42, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554513000574>>. Acesso em: 19 ago 2016.

LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. **Archives of Psychology**, v. 22, n. 140, p. 1–55, 1932. Disponível em: <[http://www.voterview.com/pdf/Likert\\_1932.pdf](http://www.voterview.com/pdf/Likert_1932.pdf)>. Acesso em: 19 ago 2016.

LONGO, F. Sustainable supply chain design: An application example in local business retail. **Simulation**, v. 88, n. 12, p. 1484–1498, 2012. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0037549712458983>>. Acesso em: 19 ago 2016.

MÉXAS, M. P.; QUELHAS, O. L. G.; COSTA, H. G. Prioritization of enterprise resource planning systems criteria: Focusing on construction industry. **International Journal of Production Economics**, v. 139, n. 1, p. 340–350, set. 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527312002174>>. Acesso em: 19 ago 2016.

MILLER, G.; PAWLOSKI, J.; STANDRIDGE, C. R. A case study of lean, sustainable manufacturing. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 3, n. 1, p. 11–32, 22 jun; 2010. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.429.8934&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 19 ago 2016.

MOBINI, M.; et al. Assessing the integration of torrefaction into wood pellet production. **Journal of Cleaner Production**, v. 78, p. 216–225, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261400434X>>. Acesso em: 19 ago 2016.

MONTEVECHI, J. A. B.; LEAL, F.; PINHO, A. F. de; COSTA, R. F. da S.; OLIVEIRA, M., L., M. de; SILVA, A. L. F. da. Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: An application in a Brazilian tech company. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2010,05-08 dec; **Baltimore, MD . Proceedings....** Baltimor, MD: WSC, 2011. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-79951658266&partnerID=tZOtx3y1>>. Acesso em: 17 nov. 2015

MONTGOMERY, D. C. **Desing and analysis of experiments**. 8.ed New York: John Wiley and Sons, 2013.

MORABITO NETO, R.; PUREZA, V. Modelagem e Simulação. In: MIGUEL, P. A. C. (org). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. p. 170-196.

MUELLER, K.; SGOURIDIS, S. P. Simulation-based analysis of personal rapid transit systems: service and energy performance assessment of the Masdar City PRT case. **Journal of Advanced Transportation**, v. 45, n. 4, p. 252–270, 2011. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/atr.158/abstract>>. Acesso em: 13 out 2016.

OLIVEIRA, L. S. de. **Um estudo sobre os principais fatores na implantação de sistemas ERP**. 2006. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2006. Disponível em: <<http://www.pg.utfpr.edu.br/dirppg/ppgep/dissertacoes/arquivos/39/Dissertacao.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2016.

PARAGON. **Arena**. Disponível em: <<http://www.paragon.com.br/software/arena/>>. Acesso em: 11 out 2016.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da produção: operações industriais e de serviços**. Curitiba: UNICENP, 2007.

PEIXOTO, T. A.; et al. Ururau: a free and open-source discrete event simulation software. **Journal of Simulation**, p.1-19, out, 2016. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1057/s41273-016-0038-5>>. Acesso em: 12 nov 2016.

PRODANOV, C.C., DE FREITAS, E.C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2 ed. Vila Nova, Novo Hamburgo-RS: Universidade Feevale, 2013.

QIAN, J.; EGGLESE, R. Fuel emissions optimization in vehicle routing problems with time-varying speeds. **European Journal of Operational Research**, v. 248, n. 3, p. 840–848, fev. 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221715008334>>. Acesso em: 12 out 2016.

RANGEL, J. J; et al. Simulation model in a free and open-source software for carbon monoxide emissions analysis. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2013, 08-11 dec; Washington, DC, USA. **Proceeding....** Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2013. p. 1905–1916. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2675983&picked=prox>>. Acesso em: 12 set 2016.

\_\_\_\_\_; ALMEIDA, Tulio.; CORDEIRO, A. C. A. Free and Open-Source Software for sustainable analysis in logistics systems design. **Journal of Simulation**, v. 9, n. 1, p. 27–42, 2015. Disponível em: < <http://link.springer.com/article/10.1057/jos.2014.17>>. Acesso em: 21 set. 2016.

RICHARDSON, B. C. Sustainable transport: analysis frameworks. **Journal of Transport Geography**, v. 13, n. 1, p. 29–39, mar. 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966692304000857>>. Acesso em: 12 nov. 2016.

ROSSETI, M. D. Java Simulation Library (JSL): an open-source object-oriented library for discrete-event simulation in Java. **International Journal of Simulation and Process Modelling**, v. 4, n. 1, p.69–87, 2008. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/228666558\\_Java\\_Simulation\\_Library\\_JSL\\_An\\_open-source\\_object-oriented\\_library\\_for\\_discrete-event\\_simulation\\_in\\_Java](https://www.researchgate.net/publication/228666558_Java_Simulation_Library_JSL_An_open-source_object-oriented_library_for_discrete-event_simulation_in_Java)>. Acesso em: 12 nov. 2016.

SAIF, A.; ELHEDHLI, S. Cold supply chain design with environmental considerations: A simulation-optimization approach. **European Journal of Operational Research**, v. 251, n. 1, p. 274–287, maio 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221715009820>>. Acesso em: 13 nov 2016.

SANTAMARIA, A. ; et al. Safety Enhancement and Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) reduction in VANETs. **Mobile Networks and Applications**, v. 20, n. 2, p. 220–238, 2015. Disponível em: < <http://link.springer.com/article/10.1007/s11036-015-0580-9>>. 12 nov 2016.

SANTOS, I. E. dos. **Manual de métodos e técnicas de pesquisa científica**. Niterói-RJ: Impetus, 2009.

SARGENT, R. G. Verification and validation of simulation models. **Journal of Simulation**, v. 7, n. 1, p. 12–24, 7 dez. 2013. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1057/jos.2012.20>>. Acesso em: 12 set. 2016.

SILVA, J. E. A. R. da. **Desenvolvimento de um modelo de simulação para auxiliar o gerenciamento de sistemas de corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar**. 2006. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp027027.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2016.

SCHEIDL, H. A.; et al. Environmental impacts of mechanization in Brazil's sugar and ethanol industry: the cutting, loading, and transportation process case. **Environmental Progress and Sustainable Energy**, p. n/a–n/a, 9 jun. 2015. Disponível em: < <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ep.12159/full>>. Acesso em: 12 ago 2016.

SEBASTIANI, M. T.; LUDERS, R.; FONSECA, K. V. O. Evaluating electric bus operation for a real-world brt public transportation using simulation optimization. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, v. 17, n. 10, p. 2777–2786, 2016. Disponível em: < <http://ieeexplore.ieee.org/document/7415957/>>. Acesso em: 12 jul.2016.

SIMÃO, L. E.; et al. An approach to assess logistics and ecological supply chain performance using postponement strategies. **Ecological Indicators**, v. 63, p. 398–408, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X15005993>>. Acesso em: 12 set. 2016.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

UGARTE, G. M.; GOLDEN, J. S.; DOOLEY, K. J. Lean versus green: the impact of lean logistics on greenhouse gas emissions in consumer goods supply chains. **Journal of Purchasing and Supply Management**, p. 1–12, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1478409215300042>>. Acesso em: 12 out 2016.

WORLD ENERGY OUTLOOK (WEO, 2015) **Executive summary** <<https://www.iea.org/Textbase/npsum/WEO2015SUM.pdf>>. Acesso em: 12 out 2016.

YANG, M. G; HONG, P.; MODI, S. B. Impact of lean manufacturing and environmental management on business performance: an empirical study of manufacturing firms. **International Journal of Production Economics**, v. 129, n. 2, p. 251–261, fev. 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092552731000410X>>. Acesso em: 12 set. 2016.

## **APÊNDICE A: ALGUNS CONCEITOS SOBRE SUPPLY CHAIN, LEAN MANUFACTURING E GREEN MANUFACTURING**

### **1. SUPPLY CHAIN**

Ballou (2004) conceituam SC/Logística como o conjunto de atividades funcionais, como transportes, controle de estoques entre outras, que são repetidas muitas vezes ao longo do canal pelo qual as matérias-primas são convertidas em produtos acabados, aos quais se agrega valor ao consumidor.

Peinado; Graeml (2007) descrevem um SC como a união de todos os estágios envolvidos, direta ou indiretamente, para atender um pedido de um cliente, e ressalta que um SC típico envolve vários componentes como: clientes, varejistas, atacadistas, distribuidores, fabricantes, fornecedores de matérias-primas ou componentes, fornecedores de fornecedores e transportadores.

Chopra; Meindl (2002) destacam a importância de se gerenciar adequadamente o fluxo de informações e produtos de um SC para garantir o sucesso desta. Assumpção; Souza; Robles (2009) consideram que o princípio básico para se gerir o SC é o de assegurar uma maior visibilidade dos eventos em relação à satisfação da demanda. O grande desafio dos gerentes é sincronizar o fluxo físico de produtos e de informações com as necessidades dos clientes, e ainda buscar a redução de estoques de matéria prima, intermediários, produtos em processo e até de produtos acabados. Sendo assim, a melhor solução é apressar o suprimento das necessidades com o uso da informação, ao invés de antecipar

estoques para satisfazer a demanda.

## 2. LEAN MANUFACTURING E GREEN MANUFACTURING

LM pode ser caracterizado como um conjunto de práticas cujo objetivo central é reduzir atividades desnecessárias e desperdícios em toda a cadeia de valor (GOVINDAN *et al.*, 2014).

Outra definição empregada para LM, a descreve como um conjunto de operações sistematizadas centradas na eliminação de desperdícios em um processo de fabricação. Algumas práticas têm sido elencadas no conjunto que constitui a ME, entre elas consideram-se o *just in time*, *total productive maintenance*, *total quality management*, entre outros (YANG; HONG; MODI, 2011).

**(I). *Just in time*:** engloba um conjunto de ferramentas utilizadas para identificar e reduzir desperdícios de produção, baseado em redução ao mínimo dos estoques das empresas (PEINADO; GRAEML, 2007).

**(II). *Total productive maintenance*:** é uma abordagem que visa eliminar a variabilidade em processos de produção, causada pelo efeito de quebras não planejadas, a partir do envolvimento de todos os funcionários na busca de aprimoramentos na manutenção (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

**(III). *Total quality management*:** é uma abordagem que insere a prática da qualidade no centro de todas as atividades dentro de uma operação (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

GM pode ser definido como a prática de dimensões ecológicas nos diversos níveis de planejamento em um SC (FAHIMNIA; SARKIS; ESHRAGH, 2015).

Domingo; Aguado (2015) descrevem GM como a fabricação de produtos com potencial para agregar benefícios em longo prazo para o meio ambiente ao mesmo tempo em que mantém as qualidades do produto.

## APÊNDICE B: MODELO DO QUESTIONÁRIO APLICADO NA CIDADE DE CAMPOS DOS GOYTACAZES

 <b>UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES</b> UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES - CAMPOS		Questionário nº _____
<b>PERCEPÇÃO DA POPULAÇÃO SOBRE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM VEICULOS</b>		
1- De forma geral, como você considera a preocupação das pessoas com o meio ambiente?		
(1) Muito baixa      (2) Baixa      (3) Regular      (4) Alta      (5) Muito alta      (N) Não sei/Prefero não opinar		
2a- Qual o seu grau de conhecimento a respeito dos gases do efeito estufa?		
(1) Muito baixo      (2) Baixo      (3) Regular      (4) Alto      (5) Muito alto      (N) Não sei/Prefero não opinar		
2b- Qual(is) o(s) impacto(s) decorrente(s) dos gases do efeito estufa? (Respostas múltiplas)		
(1) Aquecimento global      (2) Desretimento de geleira      (3) Aumento do nível do mar      (4) Impactos ambientais		
(5) Outros corretos. Quais? _____		
(6) Outros incorretos ou não sabe nenhum		
3- Qual(is) o(s) responsável(is) pela emissão de gases do efeito estufa? (Respostas múltiplas)		
(1) Veículos      (2) Indústrias      (3) Animais      (4) Agricultura		
(5) Outros. Quais? _____		
(6) Outros incorretos ou não sabe nenhum		
4- Você acha que a forma de condução de um veículo influencia na emissão de gases do efeito estufa, podendo haver maior ou menor emissão pela forma de dirigir?		
(1) Certamente não      (2) Provavelmente não      (3) Talvez sim, talvez não      (4) Provavelmente sim      (5) Certamente sim      (N) Não sei		
5- Você concordaria em modificar a forma de condução do veículo sabendo que poderia emitir menos gases do efeito estufa?		
(1) Certamente não      (2) Provavelmente não      (3) Talvez sim, talvez não      (4) Provavelmente sim      (5) Certamente sim      (N) Não sei		
6- Considerando uma compra pela internet e seu respectivo CUSTO, você acredita que uma pessoa daria preferência à compra de um determinado produto sabendo que haveria menor emissão de gases do efeito estufa durante o seu frete?		
(1) Não, mesmo sem mudança de preço      (2) Não, por causa do aumento de preço      (3) Talvez sim, talvez não      (4) Sim, desde que não alterasse o preço      (5) Sim, mesmo com aumento de preço		
7- Considerando uma compra pela internet e seu respectivo PRAZO DE ENTREGA, você acredita que uma pessoa daria preferência à compra de um determinado produto sabendo que haveria menor emissão de gases do efeito estufa durante o seu frete?		
(1) Não, mesmo que o prazo para entrega fosse mantido      (2) Não, pois o prazo para entrega seria maior      (3) Talvez sim, talvez não      (4) Sim, desde que não alterasse o prazo de entrega      (5) Sim, mesmo com aumento do prazo de entrega		
8- (Caso tenha assinalado 4 ou 5 na questão 7) Caso você optasse por esperar um pouco mais pela entrega da mercadoria para emitir menos gases do efeito estufa, quanto tempo A MAIS você estaria disposto a esperar?		
(1) Até uma semana a mais      (2) De 8 a 15 dias a mais      (3) De 16 a 30 dias a mais      (4) Mais de 30 dias a mais		
9- A sua espera a mais pela chegada de um produto tem influência pelo tipo de produto?		
(1) Não      (2) Sim.		
9a) Se sim, qual tipo de produto o(a) senhor(a) não esperaria?		
(1) Eletrônicos      (2) Eletrodomésticos      (3) Livros      (4) Vestuário		
(5) Outro. Qual? _____		
Perfil do entrevistado _____		
Gênero	Faixa etária	Escolaridade
(1) Masculino	(1) Menos do que 15 anos	(1) Ensino Fundamental Incompleto
(2) Feminino	(2) 15 a 19 anos	(2) Ensino Fundamental Completo
	(3) 20 a 24 anos	(3) Ensino Médio Incompleto
	(4) 25 a 29 anos	(4) Ensino Médio Completo
	(5) 30 a 39 anos	(5) Ensino Superior
	(6) 40 a 49 anos	
	(7) 50 a 59 anos	
	(8) 60 a 69 anos	
	(9) 70 a 79 anos	
	(8) 80 anos ou mais	
Estado civil		
(1) Solteiro (a)		
(2) Casado (a)		
(3) Desquitado (a)		
(4) Viúvo (a)		
Entrevistado (a):		
(1) Pessoas em geral		
(2) Universitários		
(3) Motoristas de ônibus		
(4) Motoristas de caminhão		
(5) Profissionais de logística		

## APÊNDICE C: DESCRIÇÃO DO MODELO CONCEITUAL DO SISTEMA HIPOTÉTICO

**Tabela 19.** Módulos e dados de configuração do modelo da usina Canabrava Agrícola. (Tabela B1)

Módulo	Nome	Descrição	Dados de configuração
Criar	E1	Criação de entidades	T. chegadas: EXPO(0.298) T. prim. chegada: 0.5h Máx. chegadas: 150 entidades
Decisor	X	Desvio de execução de padrão	Tipo: 2 caminhos por condição Tipo: N caminhos por condição Tipo: N caminhos por condição Tipo: N caminhos por condição
Carregamento	F1, F6	Execução de processo	Tipo: Expressão Valor: GAMM(0.763,1.37)
Carregamento	F2, F7	Execução de processo	Tipo: Expressão Valor: TRIA(0.26,0.881,2)
Carregamento	F3, F8	Execução de processo	Tipo: Expressão Valor: GAMM(0.275,3.84)
Carregamento	F4, F9	Execução de processo	Tipo: Expressão Valor: LOGN(1.08,0.582)
Carregamento	F5, F10	Execução de processo	Tipo: Expressão Valor: GAMM(0.237,5.23)
Descarregamento	F11	Execução de processo	Tipo: Expressão Valor: LOGN(3.62,3.71)
Equipe de recursos para o carregamento	R1	Adição de recurso	Capacidade: 1
Equipe de recursos para o carregamento	R2	Adição de recurso	Capacidade: 1
Equipe de recursos para o carregamento	R3	Adição de recurso	Capacidade: 1
Equipe de recursos para o carregamento	R4	Adição de recurso	Capacidade: 1
Equipe de recursos para o carregamento	R5	Adição de recurso	Capacidade: 1
Equipe de recursos para o carregamento	R6	Adição de recurso	Capacidade: 1
Equipe de recursos para o carregamento	R7	Adição de recurso	Capacidade: 1
Equipe de recursos para o carregamento	R8	Adição de recurso	Capacidade: 1
Equipe de recursos para o carregamento	R9	Adição de recurso	Capacidade: 1
Equipe de recursos para o carregamento	R10	Adição de recurso	Capacidade: 1
Equipe de recursos para o descarregamento	R11	Adição de recurso	Capacidade: 1

Módulo	Nome	Descrição	Dados de configuração
Emissões	C1	Cálculo de emissões (FS para usina/usina para FS)	<p>Nome da variável: emission1  Tempo(h): TRIA(1.08,1.33,1.9)  Coef. de emissões: 1.5g/kW*h  Potência: 202kW  Carregamento: 32000kg  Peso Bruto Total: 42000kg</p> <p>Nome da variável: emission1  Tempo(h): TRIA(0.33,0.88,2)  Coef. de emissões: 1.5g/kW*h  Potência: 202kW  Carregamento: 10000kg  Peso Bruto Total: 42000kg</p>
Emissões	C2	Cálculo de emissões (FS para usina/usina para FS)	<p>Nome da variável: emission2  Tempo(h): TRIA(0.4,0.787,1.88)  Coef. de emissões: 1.5g/kW*h  Potência: 202kW  Carregamento: 32000kg  Peso Bruto Total: 42000kg</p> <p>Nome da variável: emission2  Tempo(h): NORM(0.569,0.162)  Coef. de emissões: 1.5g/kW*h  Potência: 202kW  Carregamento: 10000kg  Peso Bruto Total: 42000kg</p>
Emissões	C3	Cálculo de emissões (FS para usina/usina para FS)	<p>Nome da variável: emission3  Tempo(h): TRIA(0.03,0.313,0.79)  Coef. de emissões: 1.5g/kW*h  Potência ( ): 202kW  Carregamento: 32000kg  Peso Bruto Total: 42000kg</p> <p>Nome da variável: emission3  Tempo(h): TRIA(0.1,0.289,0.92)  Coef. de emissões: 1.5g/kW*h  Potência: 202kW  Carregamento: 10000kg  Peso Bruto Total: 42000kg</p>
Emissões	C4	Cálculo de emissões (FS para usina/usina para FS)	<p>Nome da variável: emission4  Tempo(h): TRIA(0.66,1.24,1.99)  Coef. de emissões: 1.5g/kW*h  Potência: 202kW  Carregamento: 32000kg  Peso Bruto Total: 42000kg</p> <p>Nome da variável: emission4  Tempo(h): TRIA(0.39,1.14,1.96)  Coef. de emissões: 1.5g/kW*h  Potência: 202kW  Carregamento: 10000kg  Peso Bruto Total: 42000kg</p>
Emissões	C5	Cálculo de emissões (FS para usina/usina para FS)	<p>Nome da variável: emission5  Tempo(h): NORM(1.24,0.294)  Coef. de emissões (g/kw*h): 1.5  Potência: 202kW  Carregamento: 32000kg  Peso Bruto Total: 42000kg</p> <p>Nome da variável: emission5  Tempo(h): TRIA(0.53,1.1,1.92)  Coef. de emissões: 1.5g/kW*h  Potência: 202kW  Carregamento: 10000kg  Peso Bruto Total: 42000kg</p>

Módulo	Nome	Descrição	Dados de configuração
Emissões	C6	Cálculo de emissões (FS para usina/usina para FS)	<p>Nome da variável: emission6  Tempo(h): TRIA(1.08,1.33,1.9)  Coef. de emissões: 1.5g/kW*h  Potência: 324kW  Carregamento: 34000kg  Peso Bruto Total: 49000kg</p> <p>Nome da variável: emission6  Tempo(h): TRIA(0.33,0.88,2)  Coef. de emissões: 1.5g/kW*h  Potência: 324kW  Carregamento: 15000kg  Peso Bruto Total: 49000kg</p>
Emissões	C7	Cálculo de emissões (FS para usina/usina para FS)	<p>Nome da variável: emission7  Tempo(h): TRIA(0.4,0.787,1.88)  Coef. de emissões: 1.5g/kW*h  Potência: 324kW  Carregamento: 34000kg  Peso Bruto Total: 49000kg</p> <p>Nome da variável: emission7  Tempo(h): NORM(0.569,0.162)  Coef. de emissões: 1.5g/kW*h  Potência: 324kW  Carregamento: 15000kg  Peso Bruto Total: 49000kg</p>
Emissões	C8	Cálculo de emissões (FS para usina/usina para FS)	<p>Nome da variável: emission8  Tempo(h): TRIA(0.03,0.313,0.79)  Coef. de emissões: 1.5g/kW*h  Potência: 324kW  Carregamento: 34000kg  Peso Bruto Total: 49000kg</p> <p>Nome da variável: emission8  Tempo(h): TRIA(0.1,0.289,0.92)  Coef. de emissões: 1.5g/kW*h  Potência: 324kW  Carregamento: 15000kg  Peso Bruto Total: 49000kg</p>
Emissões	C9	Cálculo de emissões (FS para usina/usina para FS)	<p>Nome da variável: emission9  Tempo(h): TRIA(0.66,1.24,1.99)  Coef. de emissões: 1.5g/kW*h  Potência: 324kW  Carregamento: 34000kg  Peso Bruto Total: 49000kg</p> <p>Nome da variável: emission9  Tempo(h): TRIA(0.39,1.14,1.96)  Coef. de emissões: 1.5g/kW*h  Potência: 324kW  Carregamento: 15000kg  Peso Bruto Total: 49000kg</p>
Emissões	C10	Cálculo de emissões (FS para usina/usina para FS)	<p>Nome da variável: emission10  Tempo(h): NORM(1.24,0.294)  Coef. de emissões: 1.5g/kW*h  Potência: 324kW  Carregamento: 34000kg  Peso Bruto Total: 49000kg</p> <p>Nome da variável: emission10  Tempo(h): TRIA(0.53,1.1,1.92)  Coef. de emissões: 1.5g/kW*h  Potência: 324kW  Carregamento: 15000kg  Peso Bruto Total: 49000kg</p>

Módulo	Nome	Descrição	Dados de configuração
Tempo de Transporte	TT1, TT2, TT3, TT4, TT5, TT6, TT7, TT8, TT9, TT10	Calcula o lead time entre a FS e a usina	Tipo: Atributo Valor: TNOW
LeadTime1	TT1	Calcula lead time entre FS e usina	Tipo: Atributo Atributo: tempo1
LeadTime2	TT2	Calcula lead time entre FS e usina	Tipo: Atributo Atributo: tempo2
LeadTime3	TT3	Calcula lead time entre FS e usina	Tipo: Atributo Atributo: tempo3
LeadTime4	TT4	Calcula lead time entre FS e usina	Tipo: Atributo Atributo: tempo4
LeadTime5	TT5	Calcula lead time entre FS e usina	Tipo: Atributo Atributo: tempo5
LeadTime6	TT6	Calcula lead time entre FS e usina	Tipo: Atributo Atributo: tempo6
LeadTime7	TT7	Calcula lead time entre FS e usina	Tipo: Atributo Atributo: tempo7
LeadTime8	TT8	Calcula lead time entre FS e usina	Tipo: Atributo Atributo: tempo8
LeadTime9	TT9	Calcula lead time entre FS e usina	Tipo: Atributo Atributo: tempo9
LeadTime10	TT10	Calcula lead time entre FS e usina	Tipo: Atributo Atributo: tempo10
Contador1	Cont1	Conta as entidades	Tipo: Variável Valor: cont1+1
Contador2	Cont2	Conta as entidades	Tipo: Variável Valor: cont2+1
Contador3	Cont3	Conta as entidades	Tipo: Variável Valor: cont3+1
Contador4	Cont4	Conta as entidades	Tipo: Variável Valor: cont4+1
Contador5	Cont5	Conta as entidades	Tipo: Variável Valor: cont5+1
Contador6	Cont6	Conta as entidades	Tipo: Variável Valor: cont6+1
Contador7	Cont7	Conta as entidades	Tipo: Variável Valor: cont7+1
Contador8	Cont8	Conta as entidades	Tipo: Variável Valor: cont8+1
Contador9	Cont9	Conta as entidades	Tipo: Variável Valor: cont9+1
Contador10	Cont10	Conta as entidades	Tipo: Variável Valor: cont10+1
Capacidade1	KG1	Calcula quantidade transportada	Tipo: Variável Valor: cont1*45000
Capacidade2	KG2	Calcula quantidade transportada	Tipo: Variável Valor: cont2*45000
Capacidade3	KG3	Calcula quantidade transportada	Tipo: Variável Valor: cont3*45000
Capacidade4	KG4	Calcula quantidade transportada	Tipo: Variável Valor: cont4*45000
Capacidade5	KG5	Calcula quantidade transportada	Tipo: Variável Valor: cont5*45000
Capacidade6	KG6	Calcula quantidade transportada	Tipo: Variável Valor: cont6*48000
Capacidade7	KG7	Calcula quantidade transportada	Tipo: Variável Valor: cont7*48000
Capacidade8	KG8	Calcula quantidade transportada	Tipo: Variável Valor: cont8*48000
Capacidade9	KG9	Calcula quantidade transportada	Tipo: Variável Valor: cont9*48000
Capacidade10	KG10	Calcula quantidade transportada	Tipo: Variável Valor: cont10*48000
SomaCapacidade	+KG	Soma todas as quantidades transportadas	Tipo: Variável Valor: kg1+kg2+kg3+kg4+kg5+kg6+kg7+kg8+kg9+kg10

## APÊNDICE D: DESCRIÇÃO DO MODELO CONCEITUAL DO SISTEMA REAL

**Tabela 20.** Parâmetros dos experimentos da configuração 1. (Tabela C1)

Módulo	Nome	Descrição	Dados de configuração
Criar	E1	Responsável pela criação das entidades	T. chegadas: Constante (1 h) T. prim. chegada: 0.0 h Máx. chegadas: Infinito
Decisor	X	Desvio de execução de padrão	Tipo: N caminhos por vez Tipo: 2 caminhos por vez
Carregamento	F1	Executa um processo	Tipo: Expressão Valor: 23000/6000
Carregamento	F3	Executa um processo	Tipo: Expressão Valor: 23000/6000
Carregamento	F5	Executa um processo	Tipo: Expressão Valor: 23000/6000
Carregamento	F7	Executa um processo	Tipo: Expressão Valor: 23000/6000
Carregamento	F8	Executa um processo	Tipo: Expressão Valor: 23000/6000
Descarregamento	F2	Executa um processo	Tipo: Expressão Valor: 23000/8000
Descarregamento	F4	Executa um processo	Tipo: Expressão Valor: 23000/8000
Descarregamento	F6	Executa um processo	Tipo: Expressão Valor: 23000/8000
Descarregamento	F9	Executa um processo	Tipo: Expressão Valor: 23000/8000
Descarregamento	F10	Executa um processo	Tipo: Expressão Valor: 23000/8000
Equipe de recursos para o carregamento	R1	Adiciona um recurso	Capacidade: 1
Equipe de recursos para o carregamento	R3	Adiciona um recurso	Capacidade: 1
Equipe de recursos para o carregamento	R5	Adiciona um recurso	Capacidade: 1
Equipe de recursos para o carregamento	R7	Adiciona um recurso	Capacidade: 1
Equipe de recursos para o carregamento	R8	Adiciona um recurso	Capacidade: 1
Equipe de recursos para o descarregamento	R2	Adiciona um recurso	Capacidade: 1
Equipe de recursos para o descarregamento	R4	Adiciona um recurso	Capacidade: 1
Equipe de recursos para o descarregamento	R6	Adiciona um recurso	Capacidade: 1
Equipe de recursos para o descarregamento	R9	Adiciona um recurso	Capacidade: 1
Equipe de recursos para o descarregamento	R10	Adiciona um recurso	Capacidade: 1

Emissões	C1	Calcula as emissões	Nome da variável: var1 Tempo (h): NORM(8,0.8) Coeficiente de emissões (g/kW*h): 1.5 Potência (kW): 136 Carregamento (kg): 23000 Peso Bruto Total Combinado (kg): 23000
Emissões	C2	Calcula as emissões	Nome da variável: var1 Tempo (h): NORM(12,1.2) Emissions coefficient (g/kW*h): 1.5 Potência (kW): 136 Carregamento (kg): 23000 Peso Bruto Total Combinado (kg): 23000
Emissões	C3	Calcula as emissões	Nome da variável: var1 Tempo (h): NORM(7,0.7) Emissions coefficient (g/kW*h): 1.5 Potência (kW): 136 Carregamento (kg): 23000 Peso Bruto Total Combinado (kg): 23000
Emissões	C4	Calcula as emissões	Nome da variável: var1 Tempo (h): NORM(4,0.4) Emissions coefficient (g/kW*h): 1.5 Potência (kW): 136 Carregamento (kg): 23000 Peso Bruto Total Combinado (kg): 23000
Emissões	C5	Calcula as emissões	Nome da variável: var1 Tempo (h): NORM(5,0.5) Emissions coefficient (g/kW*h): 1.5 Potência (kW): 136 Carregamento (kg): 23000 Peso Bruto Total Combinado (kg): 23000
Acumulador	T1	Conta as entidades	Tipo: Variável Valor: cont+1
Acumulador	T2	Conta as entidades	Tipo: Variable Valor: cont1+1

Tabela 21. Parâmetros dos experimentos da configuração 2. (Tabela B2)

Módulo	Nome	Descrição	Dados de configuração
Criar	E1	Responsável pela criação das entidades	T. chegadas: Constante (1 h) T. prim. chegada: 0.0 h Máx. chegadas: Infinito
Carregamento	F1	Executa um processo	Tipo: Expressão Valor: 20000/6000
Carregamento	F2	Executa um processo	Tipo: Expressão Valor: 25000/6000
Carregamento	F3	Executa um processo	Tipo: Expressão Valor: 11000/6000
Descarregamento	F4	Executa um processo	Tipo: Expressão Valor: 56000/8000
Carregamento	F5	Executa um processo	Tipo: Expressão Valor: 56000/6000
Descarregamento	F6	Executa um processo	Tipo: Expressão Valor: 30000/8000
Descarregamento	F7	Executa um processo	Tipo: Expressão Valor: 26000/8000
Equipe de recursos para o carregamento	R1	Adiciona um recurso	Capacidade: 1
Equipe de recursos para o carregamento	R2	Adiciona um recurso	Capacidade: 1
Equipe de recursos para o carregamento	R3	Adiciona um recurso	Capacidade: 1
Equipe de recursos para o descarregamento	R4	Adiciona um recurso	Capacidade: 1
Equipe de recursos para o carregamento	R5	Adiciona um recurso	Capacidade: 1
Equipe de recursos para o descarregamento	R6	Adiciona um recurso	Capacidade: 1
Equipe de recursos para o descarregamento	R7	Adiciona um recurso	Capacidade: 1
Emissões	C1	Calcula as emissões	Nome da variável: var1 Tempo (h): NORM(9,0.9) Coeficiente de emissões (g/kW*h): 1.5 Potência (kW): 265 Carregamento (kg): 20000 Legal Combined Total Whole Weight (kg): 56000
Emissões	C2	Calcula as emissões	Nome da variável: var1 Tempo (h): NORM(11,1.1) Coeficiente de emissões (g/kW*h): 1.5 Potência (kW): 265 Carregamento (kg): 45000 Legal Combined Total Whole Weight (kg): 56000
Emissões	C3	Calcula as emissões	Nome da variável: var1 Tempo (h): NORM(7,0.7) Coeficiente de emissões (g/kW*h): 1.5 Potência (kW): 265 Carregamento (kg): 56000 Legal Combined Total Whole Weight (kg): 56000
Emissões	C4	Calcula as emissões	Nome da variável: var1 Tempo (h): NORM(4,0.4) Coeficiente de emissões (g/kW*h): 1.5 Potência (kW): 265 Carregamento (kg): 56000 Legal Combined Total Whole Weight (kg): 56000
Emissões	C5	Calcula as emissões	Nome da variável: var1 Tempo (h): NORM(5,0.5) Coeficiente de emissões (g/kW*h): 1.5 Potência (kW): 265 Carregamento (kg): 26000 Legal Combined Total Whole Weight (kg): 56000
Acumulador	T1	Conta as entidades	Tipo: Variável Valor: cont1+1
Acumulador	T2	Conta as entidades	Tipo: Variável Valor: cont1+1

## APÊNDICE E: ANÁLISE DE VARIÂNCIA

**Tabela 22.** Anova com os resultados dos experimentos da configuração 1. (Tabela D1)

Fonte	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F-Value	P-Value
FATA	1	51942.02	51942.02	*****	0.00000
FATB	1	100297.5	100297.5	*****	0.00000
FATC	1	8.187.552	8.187.552	52449.921	0.00000
FATA FATB	1	1442.834	1442.834	9242.875	0.00000
FATA FATC	1	117.7824	117.7824	754.520	0.00000
FATB FATC	1	227.4320	227.4320	1456.942	0.00000
Resíduo	25	3.902557	0.1561023		

**Tabela 23.** Anova com os resultados dos experimentos da configuração 2. (Tabela D2)

Fonte	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F-Value	P-Value
FATA	1	88627	88627	6995068.80	0.00000
FATB	1	183968	183968	14520101.66	0.00000
FATC	1	15018	15018	1185314.42	0.00000
FATA FATB	1	2462	2462	194307.47	0.00000
FATA FATC	1	201	201	15861.83	0.00000
FATB FATC	1	417	417	32925.40	0.00000
Resíduo	25	0	0		