

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

Eder Reis Tavares

MODELAGEM E SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE DE EMISSÕES DE
GASES DOS VEÍCULOS DE CARGA EM SISTEMAS LOGÍSTICOS

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ
Fevereiro de 2016

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

Eder Reis Tavares

MODELAGEM E SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE DE EMISSÕES DE
GASES DOS VEÍCULOS DE CARGA EM SISTEMAS LOGÍSTICOS

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

Orientador: Prof. João José de Assis Rangel, DSc.

Coorientador: Prof. Ítalo de Oliveira Matias, DSc.

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ
Fevereiro de 2016

FICHA CATALOGRÁFICA

T231m Tavares, Eder Reis.

Modelagem e simulação para análise de emissões de gases dos veículos de carga em sistemas lógicos/. Eder Reis Tavares. – 2016. 96 f. il.

Orientador: João José Assis

Coorientador: Ítalo de Oliveira Matias

Dissertação apresentado ao Curso de Mestrado em Engenharia de Produção da Universidade Candido Mendes - Campos dos Goytacazes, RJ, 2015.

Bibliografia: f. 75 – 95.

1: Simulação – eventos discretos. 2. Ambientes – sistemas lógicos. 3. Cadeia de suprimentos – Logística (transporte). I. Universidade Candido Mendes – Campos. II. Título.

CDU - 656.121: 65.012.34+004.383.4

EDER REIS TAVARES

MODELAGEM E SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE DE EMISSÕES DE GASES DOS VEÍCULOS DE CARGA EM SISTEMAS LOGÍSTICOS

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

Aprovado em: fevereiro de 2016

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Ítalo de Oliveira Matias, DSc. – Coorientador
Universidade Candido Mendes

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

Prof. Romeu e Silva Neto, DSc.
Instituto Federal Fluminense

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ
2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço a CAPES, pela bolsa concedida tornando possível a conclusão do curso. Agradeço a Universidade Candido Mendes, por fornecer toda a infraestrutura e todo o apoio necessários para a realização da pesquisa. Assim como todo corpo docente da universidade pelo ótimo ambiente de pesquisa e trabalho.

Agradeço a minha mãe Evanilda Rangel Reis Tavares, ao meu irmão Roger Reis Tavares e a minha namorada Elita Schwartz Paes Neta, pelo incentivo e por sempre acreditarem em mim e no que eu posso realizar.

De forma especial agradeço ao meu orientador João José de Assis Rangel, aos professores Ítalo de Oliveira Matias e Túlio de Almeida Peixoto, e ao colega de turma Fábio Freitas da Silva, pela amizade e pelo auxílio nas horas em que precisei.

Todo mundo é um gênio. Mas se você julgar um peixe por sua capacidade de subir em uma árvore, ele vai gastar toda a sua vida acreditando que ele é estúpido.

Albert Einstein

RESUMO

MODELAGEM E SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE DE EMISSÕES DE GASES DOS VEÍCULOS DE CARGA EM SISTEMAS LOGÍSTICOS

Um dos maiores desafios enfrentados pela humanidade atualmente é a redução da emissão de gases do efeito estufa. A emissão destes gases na atmosfera agrava o efeito estufa e eleva a temperatura média mundial causando uma série de mudanças climáticas. Dentre as diversas áreas responsáveis por essas emissões o setor de transporte apresenta um crescimento preocupante nesse quesito. A crescente movimentação de bens por malhas logísticas intensifica o uso de transportes, principalmente terrestres, e em consequência aumenta a emissão de poluentes. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo analisar um sistema logístico com emissões de gases do efeito estufa provenientes dos veículos utilizados no transporte de carga. Assim, faz-se o uso da técnica de modelagem e simulação a eventos discretos para estudar os diferentes cenários propostos e analisar o comportamento do sistema. Além disso, o estudo ainda busca demonstrar a possibilidade de utilização do software Ururau como uma ferramenta viável para avaliar este tipo de problema. Os cenários foram modelados a fim de testar as funcionalidades do software, como: cálculo de emissões de gases dos veículos, otimização de variáveis do modelo e, principalmente, decisão inteligente com redes neurais artificiais. Após a etapa de testes preliminares, foram feitas as simulações dos cenários dos sistemas, aumentando gradativamente a complexidade das decisões para observar o comportamento dos modelos. Os resultados mostraram que o software é viável para ser empregado na análise do problema. Além disso, puderam-se avaliar as relações conflitantes entre as variáveis relacionadas às emissões gasosas e aos custos de transporte para diferentes empresas.

PALAVRAS-CHAVE: Simulação a Eventos Discretos; Cadeia de Suprimentos; Estudos Ambientais; Transporte.

ABSTRACT

MODELING AND SIMULATION FOR EMISSIONS ANALYSIS OF LOAD VEHICLES IN LOGISTIC SYSTEMS

One of the greatest challenges humanity is facing currently is the reducing of the emission of greenhouse gases. The emission of these gases in the atmosphere exacerbates the greenhouse effect and raises the global average temperature causing a series of climate changes. Among the various areas responsible for these emissions the transportation sector presents a worrying growth in this regard. The growing movement of goods in logistical meshes intensifies the use of transport, especially land transportation, and consequently increases the emission of pollutants. Thus, this study aims to analyze a logistics system with greenhouse gas emissions from vehicles used for transportation of loads. Thus, the modeling and discrete event simulation technique was used to study the different proposed scenarios and to analyze the system behavior. In addition, the study also seeks to demonstrate the possibility of using software Ururau as a viable tool for evaluating this kind of problem. The scenarios were modeled in order to test the software features such as: Calculation of vehicle emissions, model variables optimization and especially smart decision with artificial neural networks. After the preliminary tests, the simulations of the scenarios of the systems were executed, gradually increasing the complexity of the decisions to observe the behavior of the models. Results showed that the software may be viable to be applied in the problem analysis. Moreover, it could be evaluated the conflicting relations between the variables related to the gas emissions and to the transport costs for different companies.

KEYWORDS: Discrete Event Simulation; Supply Chain; Environmental Studies; Transport.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Aplicação de técnicas de simulação voltadas para sustentabilidade em diferentes setores, base Scopus.	20
Figura 2:	Número de artigos por área de aplicação na base Scopus.	21
Figura 3:	Número de artigos utilizando os termos de pesquisa realizados com DES nas palavras chave, publicados por ano na base Scopus	22
Figura 4:	Número de participações em artigos utilizando os termos de pesquisa realizados com DES nas palavras chaves, separados por nacionalidade no período de 2003 a 2014 na base Scopus	23
Figura 5:	Classificação dos sistemas para modelagem. Fonte: adaptado de Freitas Filho	30
Figura 6:	Exemplo de modelo construído no software Arena.	33
Figura 7:	Tela do Simul8.	34
Figura 8:	Elementos de modelagem no ProModel.	35
Figura 9:	Exemplo de modelo no software JaamSim	37
Figura 10:	Tela do Ururau com um modelo simples e a caixa de edição do módulo “Função”	38
Figura 11:	1: Sistema proposto para demonstrar o módulo Emissions; 2: Modelo computacional do sistema proposto; 3- Fórmula utilizada no módulo Emissions; 4 - Janela de edição do módulo Emissions”	53
Figura 12:	Tela de comunicação com CLP do Ururau	55
Figura 13:	Caixa de otimização no Ururau	56
Figura 14:	Caixa de edição dos parâmetros do RNA no Ururau	57
Figura 15:	Relação entre fábricas e fornecedores	59
Figura 16:	Modelo de simulação que representa os diferentes cenários propostos	61
Figura 17:	Arquitetura da rede proposta	62

Figura 18:	Modelo de simulação que representa os fornecedores A, B, C, D e E, a fábrica	63
Figura 19:	Emissões por entidade e custo médio de entrega dos fornecedores A, B, C, D e E em gCO	66
Figura 20:	Comparação dos parâmetros de emissões totais e custos médios dos fornecedores escolhidos com os diferentes treinamentos da rede	69

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1:	Resultados obtidos por termo de pesquisa na base Scopus.	19
Quadro 2:	Tabulação por assunto na base Scopus.	24
Quadro 3:	Legenda da Figura 15	59
Tabela 1:	Cenários, fornecedores utilizados em cada cenário, tipo de decisão usada, fornecedor escolhido, emissões totais e por entidades, custo médio	67
Tabela 2:	Cenários, fornecedores utilizados em cada cenário, tipo de decisão usada, fornecedor escolhido, número de entidades totais, número de aprovados e reprovados	67
Tabela 3:	Cenários, fornecedores utilizados em cada cenário, fornecedor escolhido, emissões totais e por entidades e custo médio	68
Tabela 4:	Cenários, fornecedores utilizados em cada cenário, fornecedor escolhido, emissões totais e por entidades, custo médio, número de entidades totais, número de aprovados e reprovados	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SED – Simulação a Eventos Discretos
RNA – Redes Neurais Artificiais
IEA – Internacional Energy Agency
EAA – European Economic Area
SC – Supply Chain
GSC – Green Supply Chain
GPSS – General Purpose Simulation System
WSC – Winter Simulation Conference
COTS – Commercial-Off-The-Shelf
FOSS – Free and Open-Source Softwares
EEE – Espaço Econômico Europeu
LCC – Low Carbon Cities
CNO – Collaborative Networked Organisations
OEE – Overall Equipment Effectiveness
LCA – Life Cycle Analysis
AG – Algoritmos Genéticos
JSL – Java Simulation Library
GUI – Graphic User Interface
CLP – Controladores Lógico-Programáveis
OPC – OLE for Process Control

SUMÁRIO

1:	INTRODUÇÃO.	15
1.1:	CONTEXTUALIZAÇÃO.	15
1.2:	OBJETIVOS	16
1.2.1:	Objetivo Geral	17
1.2.2:	Objetivos Específicos	17
1.3:	JUSTIFICATIVAS E QUESTIONAMENTOS	17
1.4:	MÉTODO DE PESQUISA DO TRABALHO	25
1.5:	DELIMITAÇÕES E ESTRUTURA DO TRABALHO	27
2:	REVISÃO DA LITERATURA.	29
2.1:	REFERENCIAL TEÓRICO	29
2.1.1:	Simulação Computacional	29
2.1.2:	Vantagens de Desvantagens da Simulação	31
2.1.3:	Softwares de Simulação	32
2.1.3.1:	Arena	32
2.1.3.2:	Simul8	34
2.1.3.3:	ProModel	34
2.1.3.4:	JaamSim	36
2.1.3.5:	Ururau	37
2.1.4:	Aplicações em SED	39
2.2:	ESTADO DA ARTE	41
2.3:	CONCLUSÃO DA REVISÃO DA LITERATURA	49
3:	MATEIRIAIS E MÉTODOS	51

3.1:	METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO PROPOSTA	51
3.2:	MÓDULOS ESPECIAIS DO URURAU	52
3.2.1:	Módulo para Cálculo de Emissões de Gases em Entidades	52
3.2.2:	Módulo para a Comunicação com Controladores Lógicos Programáveis	54
3.2.3:	Otimização	55
3.2.4:	Decisão com Redes Neurais Artificiais	56
3.3:	DESCRIÇÃO DO SISTEMA	58
3.4:	DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS	60
4:	RESULTADOS E DISCUSSÃO.	63
4.1:	MODELO CONCEITUAL E DE SIMULAÇÃO	63
4.2:	PARÂMETROS DOS MODELOS	64
4.3:	EXPERIMENTOS SIMULADOS	65
4.3.1:	Testes Preliminares	65
4.3.2:	Experimentos com RNA	67
4.4:	ANÁLISE DOS RESULTADOS	70
5:	CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
5.1:	CONCLUSÕES	72
5.2:	LIMITAÇÕES DO TRABALHO	73
5.3:	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	74
6:	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
	APÊNDICE A: MÓDULOS DO URURAU COM DESCRIÇÃO E DADOS DE CONFIGURAÇÃO	91
	APÊNDICE B - PUBLICAÇÕES ORIGINADAS NESTA PESQUISA	95
	B1: ARTIGOS COMPLETOS PUBLICADOS EM PERIÓDICOS	95
	B2: TRABALHOS COMPLETOS PUBLICADOS EM ANAIS DE CONGRESSOS	95
	B3: ARTIGO A SER SUBMETIDO	96

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A sustentabilidade tem se tornado uma questão cada vez mais importante para a sociedade moderna. Mudanças climáticas estão ocorrendo por todo mundo e são reconhecidas como um dos mais graves problemas ambientais (MATTILA e ANTIKAINEN, 2011). Um dos principais responsáveis por essas mudanças são as emissões de gases do efeito estufa na atmosfera. Dados da Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency* - IEA) apontam que o setor de transportes é um dos maiores responsáveis por essas emissões. Esse setor contribui com 23% das emissões de CO₂ no mundo. Isso se dá especialmente pelo aumento do tráfego em malhas rodoviárias em nível mundial. Segundo Byrne *et al.* (2010), por exemplo, no Espaço Econômico Europeu (*European Economic Area* - EEA) a crescente movimentação de bens por longas distâncias acarretou um aumento de 28% nas emissões de gases do efeito estufa dos 32 países pertencentes a este conjunto. Desta forma, a consciência ambiental tornou-se crítica para a concepção e operação de *supply chains* (SC) globalmente integradas (SUNDARAKANI *et al.* 2010). E, segundo Bruzzone *et al.* (2011) o gerenciamento da SC é um ponto chave para as empresas e sua importância tem se intensificado com o processo de globalização. Este gerenciamento afeta diretamente os objetivos de desempenho (qualidade, rapidez, confiabilidade, flexibilidade e custo) dessas companhias (Slack, 2009). Assim, o transporte de bens em malhas logísticas representa parte significativa tanto dos custos quanto das emissões de gases provenientes do transporte rodoviário. A tomada de decisão dentro de uma empresa geralmente é realizada por meio de

ferramentas de apoio à decisão em três diferentes níveis: estratégico, tático e operacional (BUIL *et al.*, 2010). Entre elas a simulação é uma ferramenta consolidada para a análise de problemas logísticos.

A simulação aparece como uma área em que a discussão sobre questões de sustentabilidade em SCs tem ganhado força. Alguns trabalhos sobre esse tema são apresentados a seguir. O estudo realizado por Silva *et al.*(2009) foca na simulação e na análise tecnológica para mitigar os impactos do transporte nas questões energéticas e ambientais. Adhitya *et al.* (2011) propõem um *framework* para a gestão de green supply chain, integrando SC dynamic simulation e indicadores de *lifecycle* para avaliar impactos econômicos e ambientais de várias decisões no SC, tais como inventários, configuração de rede de distribuição e ordering policy. Longo (2012) apresenta em seu trabalho a necessidade de considerar diferentes aspectos de sustentabilidade no redesenho e otimização de problemas de cadeia de suprimentos. Com foco mais industrial o trabalho de Rabe *et al.*(2012) discute como a simulação pode auxiliar a estabelecer um *Green Supply Chain* (GSC) flexível com foco na redução de CO₂ e consumo de energia. E, Rangel e Cordeiro (2015) utilizaram simulação a eventos discretos (SED) para demonstrar o mecanismo de análises de emissões de veículos em um sistema logístico.

Portando, a inclusão de cálculos de emissões gasosas em análises de sistemas logísticos e cadeias de suprimentos são necessárias nesse contexto. Vários fatores podem influenciar nas emissões de gases do efeito estufa nesse tipo de sistema. Como apresentado no trabalho de Richardson (2005), onde o autor identifica vários fatores que influenciam a sustentabilidade em sistemas logísticos. Desde decisões governamentais até o comportamento de motoristas.

Assim, como os textos supracitados, o presente trabalho usa a simulação para analisar aspectos de sustentabilidade em sistemas logísticos. Desta forma, este trabalho tem como foco principal analisar um sistema logístico com emissões de gases do efeito estufa provenientes dos veículos da frota. Além disso, demonstrar a possibilidade de utilização de um software de SED (Ururau) como uma ferramenta viável para estudar este tipo de problema. Esta ferramenta é direcionada a estudantes e empresas de pequeno porte.

1.2: OBJETIVOS

1.2.1: Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em apresentar modelos de simulação com aspectos de inteligência computacional para modelar sistemas logísticos para análise de emissões de gases do efeito estufa proveniente dos veículos da frota.

1.2.2: Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Avaliar a aplicabilidade do software Ururau como uma ferramenta viável e de baixo custo capaz de ser empregado na análise de emissões gasosas em sistemas logísticos utilizando recursos de inteligência computacional.
- Analisar a interferência que diferentes fornecedores podem exercer nas emissões provocadas pelos veículos da frota do sistema de transporte de carga durante uma operação de compra.
- Analisar a influência provocada pelo cliente nas emissões provocadas pelos veículos da frota de transporte de carga durante uma operação de compras conforme apóia suas decisões ora na redução de emissões, ora no equilíbrio entre redução de emissões e custos.

1.3: JUSTIFICATIVAS E QUESTIONAMENTOS

Em um trabalho recente Fakhimi *et al.* (2013) elaboraram uma revisão de literatura sistematizada tendo como foco prover uma visão sintetizada das diferentes abordagens de modelagem e simulação que tratam de problemas que envolvem o viés sustentável. Nesse levantamento, o setor de transportes ocupava a última posição dentre as áreas de aplicação identificadas pelos autores. De acordo com essa pesquisa apenas 3% dos artigos usaram técnicas de modelagem e simulação para buscar a sustentabilidade no setor de transportes. As demais áreas tiveram aproximadamente a seguinte participação: 42% para o setor de manufatura, 35%

para modelagem de ecossistemas, 14% para modelagem urbana e 5% para o setor de agricultura.

Em contraste com o trabalho dos autores supracitados, dados da IEA mostram que os setores de maior representatividade pelas emissões de CO₂ no mundo são os setores de geração de eletricidade e aquecimento, com 42%, e o setor de transporte, com 23%. Além disso, entre os anos de 1990 e 2012 o setor de transportes apresentou uma elevada taxa de crescimento nas emissões de CO₂ (64%), com influência principalmente do setor rodoviário (IEA Statistics 2014). Portanto, embora os resultados encontrados por Fakhimi *et al.* (2013) não apresentarem relação com esses dados, o setor de transportes tem uma expressiva participação nas emissões globais de CO₂. Assim, sem questionar o resultado dos autores, surgiu a hipótese de que as publicações não estão acompanhando de forma correlacionada o foco da questão.

Desta forma, dada a importância do transporte e sua relevância nas emissões globais de carbono, foi realizada uma revisão bibliográfica com o objetivo de mapear e quantificar os artigos da interseção das áreas de transporte e sustentabilidade que utilizam simulação, principalmente simulação a eventos discretos.

A metodologia para a revisão bibliográfica baseou-se no trabalho de Méxas, Quelhas e Costa (2012) que propõem uma revisão sistematizada da literatura com o objetivo de levantar as publicações mais relevantes da área de pesquisa. Assim, a pesquisa foi baseada inicialmente no estudo realizado por Fakhimi *et al.* (2013), de onde foram retirados alguns dos termos de pesquisa. A busca por artigos foi realizada na base de pesquisa SCOPUS. Os parâmetros iniciais para a busca foram: artigos e revisões escritas em inglês de 1960 a 2015. Todas as áreas disponíveis foram selecionadas na base, são elas: *Life Sciences*, *Health Sciences*, *Physical Sciences* e *Social Sciences & Humanities*.

Primeiramente foi feita a busca no título, abstract e keywords do termo de pesquisa: 'sustanaibl*' AND 'simulation'. Isto resultou em um total de 4.143 artigos. Este asterisco presente em 'sustanaibl*' é útil para buscar palavras similares, neste caso mudando o final das palavras para abranger um número maior de artigos na busca. Devido ao número elevado de publicações retornado nessa pesquisa, outra foi realizada utilizando apenas as *keywords*. Desta forma, o novo resultado apontou 1194 publicações. A etapa posterior consistiu no refinamento dos artigos

encontrados, utilizando os termos inspirados no trabalho de Fakhimi *et al.* (2013) os resultados da pesquisa inicial e do refinamento podem ser observados no Quadro 1.

Termo de Pesquisa	Publicações
'sustainabl*' AND 'simulation*'	1194
'sustainabl*' AND 'simulation*' AND 'transport*'	80
'sustainabl*' AND 'simulation*' AND 'agriculture'	89
'sustainabl*' AND 'simulation*' AND 'region* modeling' OR 'urban modeling'	33
'sustainabl*' AND 'simulation*' AND 'ecosystem' OR 'climate change'	83
'sustainabl*' AND 'simulation*' AND 'manufacturing'	44
'discrete event simulation' AND 'sustainab*'	20
'discrete event simulation' AND 'green supply chain'	4
'discrete event simulation' AND 'carbon emissions'	8
'discrete event simulation' AND 'sustainab*' AND 'transport*'	2

Quadro 1: Resultados obtidos por termo de pesquisa na base Scopus.
Fonte: Silva (2016).

Com foco na área de transporte o próximo passo foi analisar os abstracts dos artigos retornados pela pesquisa nas *keywords* em que se usou o termo de pesquisa: 'sustainabl*' AND 'simulation*' AND 'transport*'. Esta análise permitiu separar 35 artigos que tratam realmente do tema e agrupá-los por aplicação. Além disso, paralelamente, foi feita outra pesquisa na mesma base em artigos e revisões escritas em inglês no mesmo período da anterior. No entanto, agora, os artigos foram selecionados utilizando o termo de pesquisa: "discrete event simulation" AND "sustainabl*". Isto resultou em um total de 24 artigos. Estes foram separados por ano de publicação e posteriormente por participação dos países nos trabalhos. Esta participação foi medida com base no número de publicações dos autores nos trabalhos e suas filiações. Também foram feitas combinações do termo "discrete event simulation" com "green supply chain", "carbon emission" ou "transport" pesquisadas no *title*, *abstract* e *keywords*. O filtro de pesquisa inclui todas as categorias como na anterior (*Physical Sciences*, *Social Sciences*, *Life Sciences*, *Health Sciences*). O quadro 1 mostra o resultado dessas combinações.

Esta revisão bibliográfica tem por meta identificar o número de publicações na interseção das esferas de simulação e sustentabilidade referentes a transporte. Pois, foi observado no trabalho Fakhimi *et al.* (2013) um número baixo de publicações abrangendo essas esferas. Outro objetivo é analisar estes trabalhos encontrados referentes à simulação, sustentabilidade e transporte e agrupá-los em categorias para mapear as áreas de aplicação. Por último, foi feita uma pesquisa mais refinada com o intuito de levantar trabalhos que utilizam simulação a eventos discretos correlacionados com sustentabilidade.

Fakhimi *et al.* (2013) em seu trabalho identificaram diferentes setores na aplicação de técnicas de simulação com foco em sustentabilidade. E chegaram a um total de 69 publicações que foram posteriormente divididas em vários setores, na sua busca realizada na base *ISI web of Science*. Os resultados mostram o setor de transporte com apenas 3% de publicações. Isto motivou a verificar se um resultado similar seria encontrado em outra base para estes mesmos setores. O resultado dessa pesquisa realizada na base SCOPUS pode ser observado na Figura 1.

Em comparação ao estudo dos autores citados anteriormente o resultado agora mostra um número de publicações maior em todas as áreas, com um crescimento maior no setor de transportes. Este resultado já era esperado, pois todas as áreas disponíveis no SCOPUS entraram na pesquisa, enquanto Fakhimi *et al.* (2013) abordaram somente a área de *operations research managment science*. A área de agricultura apresentou o maior número de artigos, com 89 publicações, e a área de modelos urbanos e regionais resultou a menor com 33. A área de interesse deste artigo, transportes, aparece com 80 resultados.

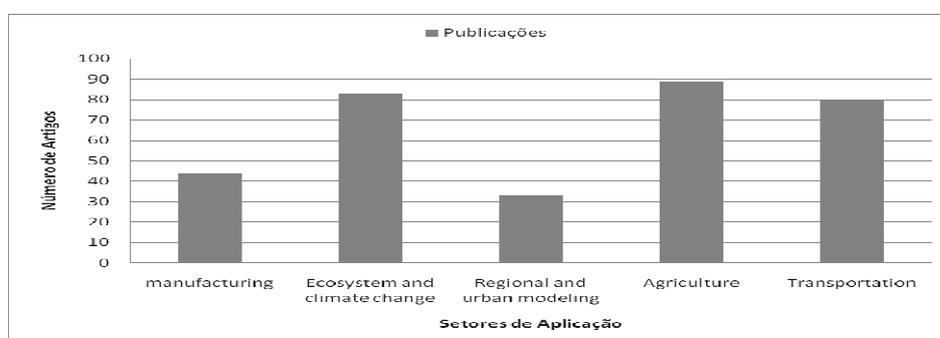


Figura 1: Aplicação de técnicas de simulação voltadas para sustentabilidade em diferentes setores, base Scopus.
Fonte: Silva (2016).

Nota-se que, não existe uma correlação direta entre os setores de aplicação encontrados nos resultados de Fakhimi *et al.* (2013) quando comparados com os apresentados pela IEA, com respeito aos principais emissores de CO₂. No entanto, de forma mais similar, os resultados encontrados agora (Figura 1) mostram o setor de transporte na terceira posição. Ou seja, o setor de transporte aparece como um assunto de maior interesse, quando o tema é sustentabilidade. Demonstrando assim uma maior semelhança entre o número de trabalhos no tema sustentabilidade e os dados apresentados pela IEA para emissões gasosas de carbono.

No trabalho de Fakhimi *et al.* (2013) os setores de aplicação demonstrados seguem uma ordem de apresentação decrescente em número de publicações. Porém, os valores absolutos foram diferentes para os resultados encontrados neste trabalho. Desta forma, a Figura 1 segue a mesma disposição de apresentação dos setores que o trabalho dos autores citados anteriormente. Em seu estudo, o transporte apareceu com o menor número de publicações entre os setores. Já este trabalho aponta este setor como o terceiro maior em número de artigos.

A partir dos 73 artigos identificados como pertencendo ao setor de transportes foi realizado um refinamento, lendo-se os *abstracts* dos mesmos para verificar se estavam de acordo com o termo de pesquisa. Nessa filtragem chegou-se a 35 artigos que foram agrupados por similaridade de aplicação que pode ser observado na Figura 2.

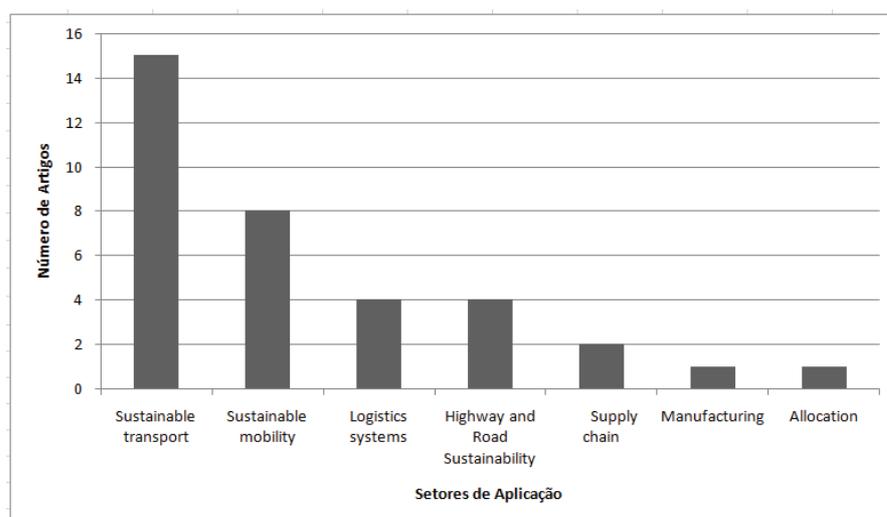


Figura 2: Número de artigos por área de aplicação na base Scopus.
Fonte: Silva (2016).

Nessa triagem, a maior parte dos artigos abordou as questões de *sustainable transport* e *Sustainable mobility*, enquanto uma minoria retratava as questões sobre *Supply chain*, *Manufacturing* e *Allocation*.

Em posse desses resultados, a pesquisa foi então direcionada para a busca de artigos que utilizam simulação a eventos discretos com enfoque sustentável, nas áreas de *supply chain*, transporte e emissões de gases do efeito estufa. Dito isto, a Figura 3 mostra a evolução do número de publicações ao longo do tempo dentro deste contexto começando pelo ano em que o assunto apareceu na base pela primeira vez.

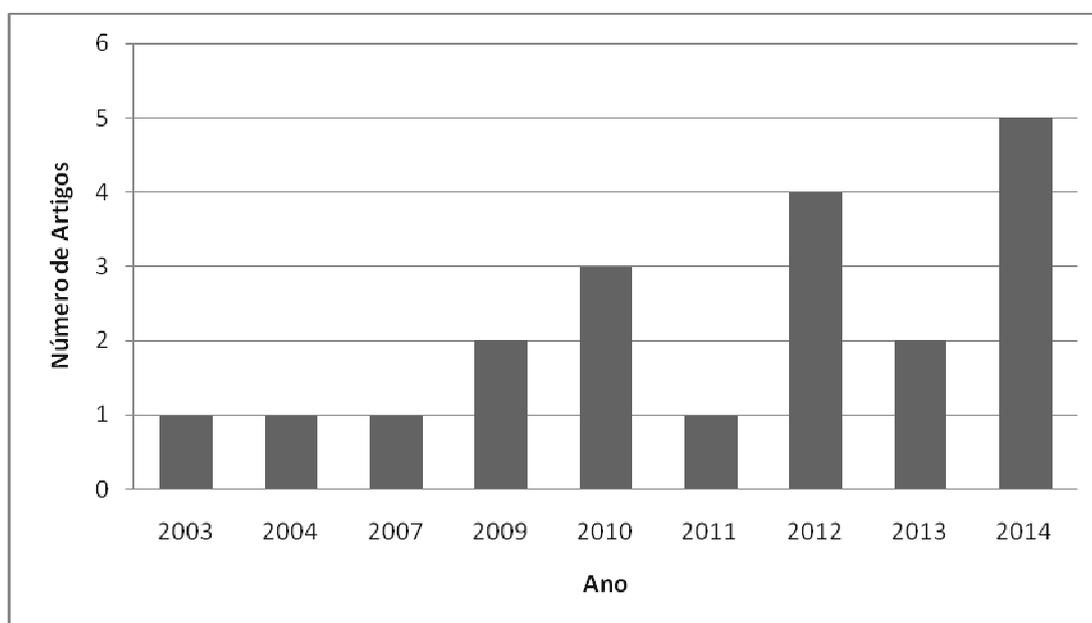


Figura 3: Número de artigos utilizando os termos de pesquisa realizados com DES nas palavras chave, publicados por ano na base Scopus.

Fonte: Silva *et al.* (2016)

Pode-se observar que o assunto começou a ser mais explorado a partir de 2003. Influenciado, provavelmente pelo *The United Nations World Summit on Sustainable Development* que ocorreu 2002, também conhecida como Rio +10 realizada em Johannesburg. Após esta conferência, dez anos depois, acontecia a Rio +20 em 2012 coincidindo com um pico de publicações neste mesmo ano. Por ultimo, 2014 apresenta o maior número de artigos, podendo ter correlação com a criação da norma ISO 14067, *carbon footprint*, em 2013.

Os mesmos artigos utilizados no gráfico da Figura 3 foram úteis para verificar a participação de cada país nesse período, tendo como base o número de publicações dos autores e suas filiações em cada trabalho conforme a Figura 4.

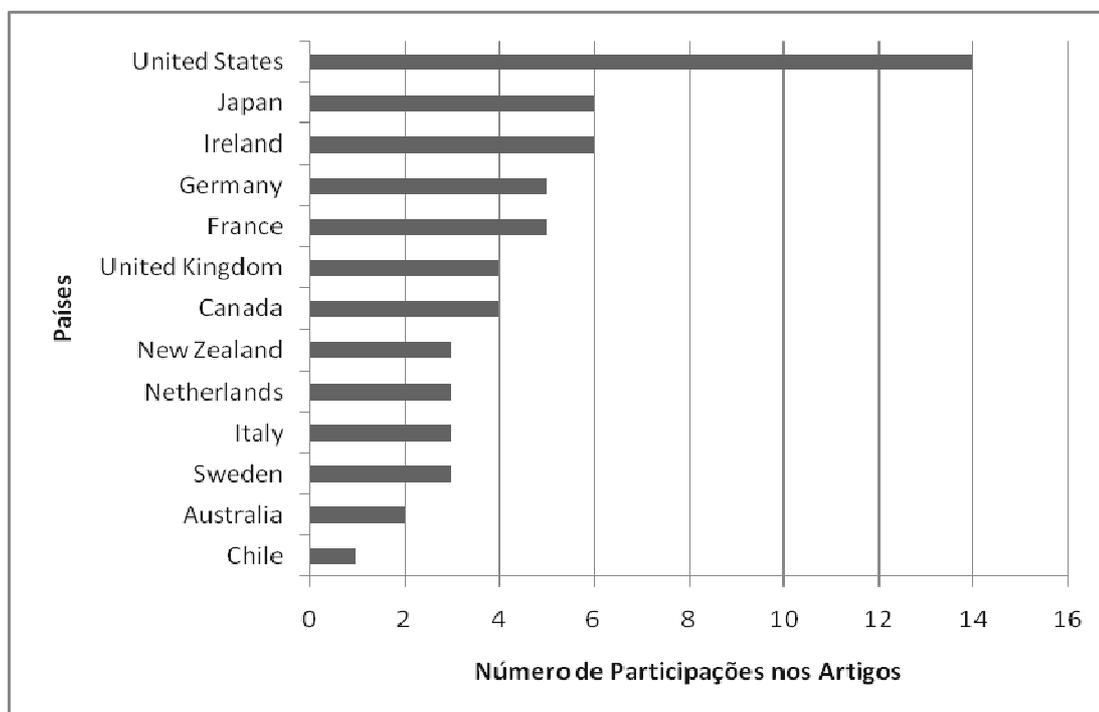


Figura 4: Número de participações em artigos utilizando os termos de pesquisa realizados com DES nas palavras chaves, separados por nacionalidade no período de 2003 a 2014.
Fonte: Silva (2016)

Os Estados Unidos aparecem como o país com maior ocorrência, com 14 participações, seguidos pelo Japão e Irlanda, com 6 cada. Por último Chile e Austrália aparecem com menor número, com 1 e 2 participações, respectivamente. Vale ressaltar que alguns artigos foram escritos, em parceria, por autores de diferentes filiações.

Os artigos listados no Quadro 1 em que aparecem o termo “discrete event simulation” foram averiguados para determinar os assuntos tratados. Desta forma, o Quadro 2 foi elaborado para agrupar estas publicações por similaridade.

Assunto	ARTIGO(S) IDENTIFICADO(S) NAS BASES SCOPUS
Logística	(Acaccia, Michelini, and Qualich 2007); (Byrne, Heavey, Ryan, and Liston 2010); (González and Echaveguren 2012);(Jaegler and Burlat 2012); (Jaegler and Burlat 2013); (Seay and Badurdeen 2014); (Tromp, Rijgersberg, and Franz 2010); (van der Vorst, Tromp and Zee 2009); (Rios, Stuart, and Grant 2003);
Manufatura	(J Pollock, Ho, and Farid 2012); (Jaegler and Burlat 2013); (James Pollock, Ho, and Farid 2013); (Larek, Brinksmeier, Meyer, Pawletta, and Hagendorf 2011) (McNally and Heavey 2004); (Miller, Pawloski, and Standridge 2010); (Peng and Xu 2014); (Solding, Petku, and Mardan 2009); (Rios <i>et al.</i> 2003); (Sharda and Bury 2012).
Outros	(Dawson and Spedding 2010); (Ghoreishi-Madiseh, Hassani, Mohammadian, and Radziszewski 2013); (Tsuda <i>et al.</i> 2014); (Wang, Brême, and Moon 2014).

Quadro 2: Tabulação por assunto na base Scopus.
Fonte: Silva (2016).

O Quadro 2 demonstra que do total de publicações avaliadas a maior parte trata de manufatura, com 10 artigos, seguida por logística, com 9 artigos. Mostrando varias aplicações do uso de simulação a eventos discretos no que diz respeito à sustentabilidade. Foram identificados ainda 4 artigos classificados por assunto como Outros que abordam a sustentabilidade dentro de SED em outras vertentes.

Assim, este trabalho tem como principal motivação o aprimoramento e desenvolvimento do software Ururau, apresentando-o como ferramenta útil para analisar sistemas logísticos envolvendo emissões de gases do efeito estufa em veículos da frota. Assim, foram testadas suas funcionalidades de otimização, decisão inteligente através de Redes Neurais Artificiais (RNA) e cálculo de emissões e gases. Além de mostrar a aplicabilidade dessas funcionalidades em uma situação comum do meio industrial em que se torna necessário tomar uma decisão com alto grau de complexidade. As principais questões de pesquisa a que este trabalho se propõe a responder são:

- Os módulos de otimização e de decisão inteligente do software Ururau permitem a interação entre os mesmos?

- O Ururau pode ser utilizado para a resolução de problemas logísticos complexos sem comprometer grande investimento financeiro?
- Quais são *trade-offs* entre emissões de CO e custos operacionais em sistemas logísticos?
- Como aprimorar o Ururau em suas funções de otimização, redes neurais artificiais e cálculo de emissão de gases?
- Como o cliente interage com o sistema e como suas preferências afetam as decisões nesse sistema?

1.4: MÉTODO DE PESQUISA DO TRABALHO

A importância da metodologia de um estudo pode ser justificada pela necessidade de um adequado embasamento científico, assim deve-se buscar a melhor abordagem para endereçar as questões relativas à pesquisa. Para atender seus objetivos, uma pesquisa passa por um processo que envolve várias fases, desde a formulação do problema até a apresentação dos resultados, análise crítica e conclusões. O processo de pesquisa é desenvolvido mediante o uso do conhecimento, métodos, técnicas e outros procedimentos científicos disponíveis (MIGUEL 2007).

Segundo Berto e Nakano (2000) as metodologias mais comuns utilizadas para pesquisa na área de engenharia de produção são:

- **Modelagem:** consiste no uso de técnicas matemáticas para descrever o funcionamento de um sistema ou parte de um sistema produtivo;
- **Simulação:** descrita como o uso de técnicas computacionais, a partir de modelos matemáticos, para simular o funcionamento de sistemas produtivos;

- **Pesquisa de Levantamento (survey):** uso de um único instrumento para coleta de dados, normalmente um questionário, com o uso de técnicas de amostragem e análise estatísticas;
- **Estudo de Caso:** análise aprofundada de um ou mais objetos, chamados de casos, com uso de múltiplos instrumentos de coleta de dados e interação entre pesquisador e o objeto de estudo;
- **Estudo de Campo:** outros métodos de pesquisa, principalmente com enfoque quantitativo, com a presença de dados de campo sem a estrutura formal do método de pesquisa;
- **Experimento:** definido como estudo da relação casual entre duas variáveis de um sistema sob condições controladas pelo pesquisador;
- **Teórico Conceitual:** discussões sobre conceitos a partir da literatura e revisões bibliográficas. Modelagens conceituais baseadas na percepção e experiência dos autores.

O presente trabalho utiliza o método quantitativo de pesquisa: modelagem e simulação. Os autores Bertrand e Fransoo (2012) classificam essa abordagem em quatro outras subcategorias:

- I. **Empírica descritiva:** criação de um modelo que descreve as relações casuais que podem existir no sistema real, com a finalidade de entender os processos;
- II. **Empírica normativa:** desenvolvimento de novas estratégias, ações ou políticas para aprimorar um sistema real;
- III. **Axiomática descritiva:** analisa o modelo para compreender e explicar as suas características;

IV. **Axiomática normativa:** desenvolvimento de estratégias, ações e políticas para aprimorar resultados disponíveis na literatura.

Assim, a presente dissertação de mestrado é classificada como axiomática normativa. Pois, utiliza um modelo hipotético para testar novas funcionalidades do software Ururau e verificar seu funcionamento em modelos complexos.

1.5: DELIMITAÇÕES E ESTRUTURA DO TRABALHO

Durante a realização desta dissertação ocorreu uma parceria com o colega de turma Fábio Freitas da Silva que também tinha como objetivo analisar a questão das emissões de gases em sistemas logísticos com o software Ururau. Com isso, foi possível elaborar vários pontos do projeto em cooperação, o que resultou em alguns textos produzidos nessa parceria. Desta forma, apesar da independência entre os trabalhos, destaca-se a existência de textos similares nas respectivas dissertações.

Esta pesquisa foi restrita a sistemas logísticos hipotéticos, já que a intenção da mesma é verificar os mecanismos dos módulos de otimização, cálculo de emissões de gases e, principalmente, decisão inteligente com RNA do software Ururau. Foram comparadas as decisões feitas por meio de lógica e por RNA para verificar o correto funcionamento do software. Dito isto, este trabalho está dividido da seguinte maneira:

Capítulo 1: (Introdução): foi apresentada a motivação deste trabalho, expondo os pontos gerais da pesquisa, seus objetivos e justificativas. Foi elaborada uma bibliografia para levantar os principais trabalhos acadêmicos sobre o tema pesquisado e mapear a extensão do conhecimento produzido. Fechando este item, foram indicadas as delimitações da pesquisa e feita uma descrição sobre a estrutura do trabalho.

Capítulo 2: (Revisão Bibliográfica): discorre sobre a simulação, mostrando suas vantagens e desvantagens, softwares mais utilizados e aplicações típicas do uso de simulação a eventos discretos. Além disso, são descritos os principais artigos

encontrados no levantamento bibliográfico. Fechando a seção, é feita uma conclusão baseada nos artigos mais relevantes.

Capítulo 3:(Materiais e Métodos): mostra a metodologia de simulação utilizada para a análise do sistema. Também descreve o software de simulação utilizado nessa pesquisa, o Ururau, apresentando suas particularidades e funcionalidades. Nesse item também são descritos o sistema e os cenários sob análise.

Capítulo 4 (Resultados e Discussão): foi apresentado o modelo conceitual e de simulação do sistema, bem como a configuração dos parâmetros de rodada dos modelos. Neste item foram expostos os experimentos simulados e as análises dos dados de saída das rodadas de simulação.

Capítulo 5 (Considerações Finais): são feitas as considerações finais sobre os resultados obtidos e a pesquisa. São apresentadas limitações do trabalho, as conclusões e recomendações para trabalhos futuros. Ainda neste item, são apresentadas as publicações originadas pela pesquisa.

Por último, estão dispostos as referências bibliográficas e o apêndice com os dados para a execução das rodadas de simulação.

2 : REVISÃO DA LITERATURA

2.1: REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir são apresentados os conceitos utilizados nesta dissertação de mestrado e que a fundamentam. Primeiro é definida a simulação computacional e como ela se desenvolveu durante a história. O próximo item destaca as vantagens e desvantagens dessa metodologia de análise. Posteriormente, são apresentados alguns softwares de SED e algumas aplicações nesta área.

2.1.1: Simulação Computacional

A simulação pode ser descrita como todo o processo que engloba a descrição de um sistema, a construção de hipóteses e a previsão de comportamentos futuros em função de parâmetros previamente estabelecidos e alterações do mesmo. Estes sistemas são definidos como grupos de elementos que recebem entradas e produzem saídas (FREITAS FILHO, 2008).

Segundo Goldsman *et al.* (2010) a história da simulação pode ser dividida em três fases:

- A Era Pré-computador (1777 – 1945);
- O Período Formativo (1945 – 1970); e
- O Período de Expansão (1970 – 1982).

A Era Pré-computador é caracterizada pelo início das experiências com simulações utilizando o método conhecido como Monte Carlo. Esse método foi originado com o experimento "agulha de Buffon", que consiste em jogar aleatoriamente "agulhas" em uma determinada região separada de maneira simétrica com o objetivo de testar o modelo estatístico para chegar ao valor π .

O Período Formativo foi caracterizado pela utilização de computadores para analisar e resolver problemas de simulação. Nessa fase surgiram as primeiras linguagens para a simulação computacional como o GPSS (*General Purpose Simulation System*), o SIMSCRIPT e a SIMULA.

O Período de Expansão foi marcado por melhorias e ampliações em toda esfera da SED, envolvendo ensino, pesquisas e práticas. Foi também nesta fase que foi criado um dos mais importantes fóruns internacionais de simulação o *Winter Simulation Conference (WSC)*, visando à divulgação de avanços nessa área.

A simulação também pode ser definida como a experimentação de um modelo que emula aspectos importantes ou comportamentos de um sistema de estudo (WHITE E INGALLS, 2009). Ela ainda permite analisar sistemas de natureza dinâmica e estocástica, além de possibilitar a avaliação de possíveis cenários futuros dos processos (FERNANDES e RANGEL, 2011).

Freitas Filho (2008) definem sistemas como um grupo de componentes que recebem estímulos (entradas) e produzem, através de relações internas e externas, respostas (saídas). De acordo com esses autores a classificação dos sistemas para propósito de modelagem segue o esquema apresentado na Figura 5.

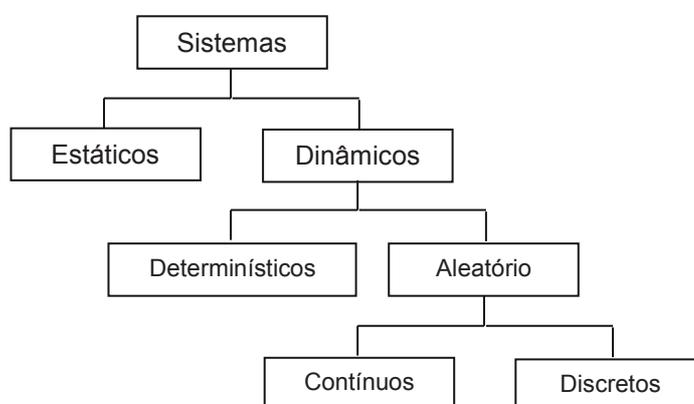


Figura 5: Classificação dos sistemas para modelagem.
Fonte: Adaptado de Freitas Filho (2008).

Os sistemas estáticos e dinâmicos são basicamente opostos, em um sistema estático as variáveis de estado não variam ao longo do tempo, já em sistemas dinâmicos essas variáveis se alteram conforme a passagem do tempo. Os sistemas dinâmicos ainda podem ser divididos entre determinísticos e aleatórios, a diferença entre eles se dá quanto à previsão do seu comportamento no tempo futuro. Nos sistemas determinísticos o comportamento é previsível e possível de se determinar, já os sistemas aleatórios apresentam comportamento de difícil previsão. Os sistemas aleatórios podem ser subdivididos em sistemas contínuos ou sistemas discretos, isso depende de como estes são modelados. Em sistemas contínuos as mudanças de estado ocorrem de forma contínua no tempo, enquanto que em sistemas discretos os eventos ocorrem em pontos específicos no tempo. Assim, SED se encaixa na análise de sistemas dinâmicos, aleatórios e discretos.

Segundo Chwif e Medina (2006) a simulação computacional pode ser classificada em três categorias básicas: simulação de “Monte Carlo”, simulação contínua e simulação a eventos discretos. Segundo estes autores, a simulação de “Monte Carlo” utiliza a geração de números aleatórios para simular os sistemas, especialmente para resolver problemas matemáticos. Já os tipos de simulação contínua e discreta consideram a variação do estado do sistema no decorrer do tempo.

2.1.2: Vantagens e Desvantagens da Simulação

A utilização da simulação acarreta em uma série de benefícios e vantagens. Uma das vantagens que mais se destacam na simulação é o fato de poderem ser adicionadas aos modelos com novas políticas, regras, procedimentos e recursos sem que o sistema real seja perturbado. Essa vantagem, inclusive, muitas vezes é o que justifica a escolha deste método de análise. Outra vantagem é que os modelos de simulação podem ser arquivados e usados várias vezes para avaliar novas opções de projeto ou políticas. É uma metodologia que permite a análise de um sistema mesmo que os dados de entrada para o modelo não estejam consolidados. Comparada aos métodos analíticos, a simulação é considerada de mais fácil utilização. O tempo pode ser controlado nos modelos de simulação, assim

fenômenos podem ser reproduzidos com velocidade apropriada para melhorar a análise. É possível verificar, por meio da simulação, o grau de importância de cada variável assim como as interações das mesmas. Além disso, também permite a identificação de “gargalos” nos sistemas analisados (FREITAS FILHO, 2008).

A simulação, assim como grande parte das metodologias de análise, possui, além das vantagens, uma série de desvantagens. Como, por exemplo, difícil interpretação dos resultados dependendo da complexidade do sistema, requer treinamento para a construção dos modelos e estes consomem tempo e recursos para modelagem e experimentação. Além disso, na tentativa de simplificar o sistema real, o modelo de simulação pode gerar resultados insatisfatórios (FREITAS FILHO, 2008).

2.1.3: Softwares de Simulação

Existem diversos softwares de simulação disponíveis atualmente, tanto softwares comerciais (*Commercial-Off-The-Shelf* - COTS) quanto softwares livres e de código fonte aberto (*Free and Open-Source Softwares* - FOSS) que auxiliam a execução das simulações computacionais. Os softwares listados nos itens a seguir são: o Arena, o ProModel, o JaamSim e o Ururau. Eles foram escolhidos por se destacarem como um dos mais utilizados e reconhecidos mundialmente (Arena), um software comercial que possui versão em português (ProModel), um software livre e de código fonte aberto (JaamSIM) e o primeiro FOSS brasileiro de SED (Ururau). O software utilizado nesta pesquisa é o Ururau, ele é apresentado com mais detalhes no item 3 (Materiais e Métodos).

2.1.3.1: Arena

O Arena é a ferramenta para SED mais utilizada no mundo. O software possui um ambiente gráfico integrado, recursos para análise estatística, modelagem de processos, animação, e análise de resultados. Todo o processo de criação do modelo é feito através de blocos e caixas, tornando possível representar o fluxo das informações e processos nas empresas (PARAGON, 2015). O ambiente de simulação Arena pode ser observado na Figura 6.

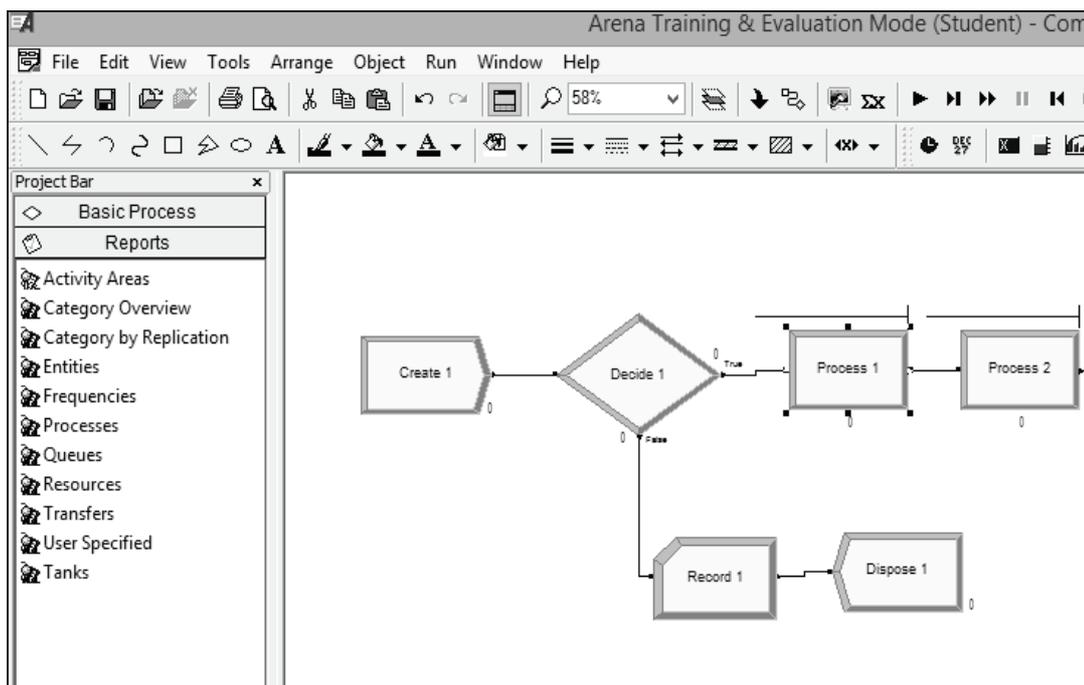


Figura 6: Exemplo de modelo construído no software Arena.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

O Arena é um software estatístico pertencente à Rockwell Software. Ele adota uma estrutura de módulos que proporciona facilidade de uso. Os módulos permitem ao usuário descrever o comportamento do processo em estudo de forma visual e interativa, sem a necessidade de programação. Estes módulos podem ser criados pelos próprios usuários de acordo as necessidades e situações mais comuns em seu ramo de atividade (AGUILAR *et al.*, 2009).

Além disso, o Arena inclui a ferramenta *Input Analyser*, que auxilia na determinação das curvas de comportamento, também é utilizada para prever intervalos de tempo de processos. Essa ferramenta fornece uma expressão matemática que melhor descreve o comportamento dos dados (AGUILAR *et al.*, 2009).

Este software 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 (PARAGON, 2015).

O software Arena possui um alto custo de licença e necessidade de renovação anual da mesma, isso, muitas vezes, impossibilita a sua aquisição e utilização por

empresas de pequeno e médio porte. Assim, softwares livres representam uma alternativa para essas empresas que tem o interesse em simular seus processos.

2.1.3.2: Simul8

O SIMUL8 é um software de simulação que foi desenvolvido na Escócia inicialmente para fins didáticos, devido ao seu sucesso começou a ser comercializado como ferramenta profissional (CHWIF e MEDINA, 2006). Possui uma interface gráfica simples que, auxilia na elaboração dos modelos de simulação, relatórios detalhados e animações gráficas que facilitam a análise dos resultados (MENDONÇA et. al., 2013).

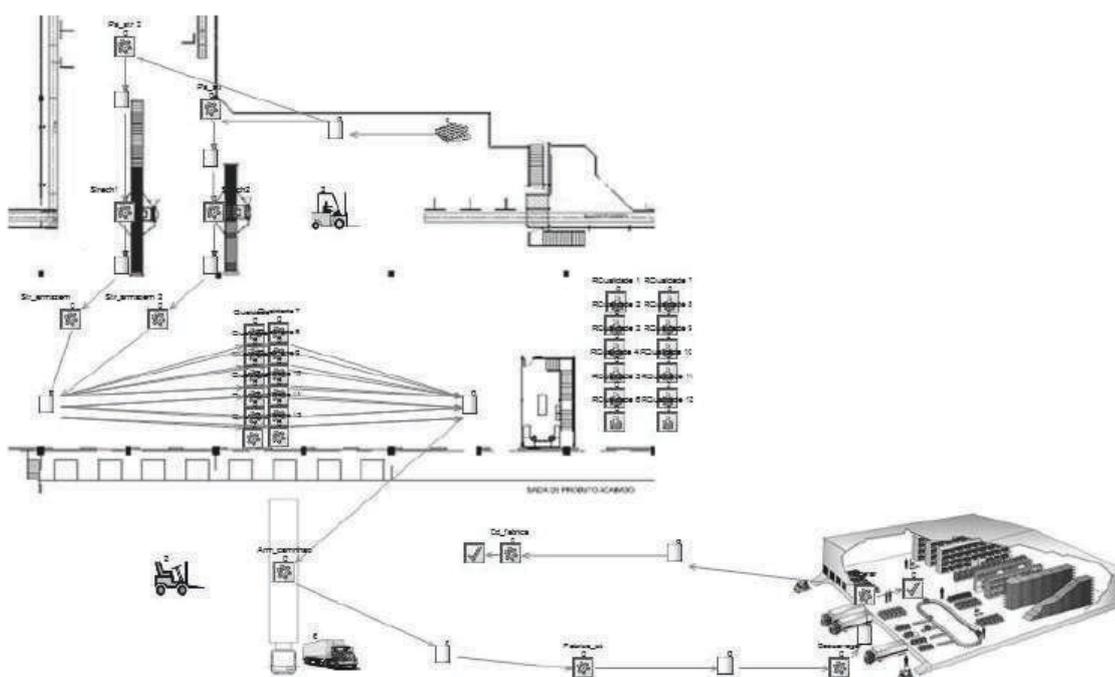


Figura 7: Tela do Simul8.
Fonte: Mendonça et. al., (2013)

2.1.3.3: ProModel

O software de simulação a eventos discretos ProModel é uma ferramenta de simulação e animação concebida para modelar sistemas dos mais variados tipos de produção com rapidez e precisão (HARRELL e PRICE, 2003). É usado para planejar, projetar e melhorar novos ou atuais processos de manufatura, logística,

serviços e outros sistemas nos níveis estratégicos, táticos ou operacionais. O ProModel permite reproduzir a complexidade de processos reais, incorporando a variabilidade e interdependências que possibilitam realizar poderosas análises e mudanças e, assim, otimizar sistemas e melhorar indicadores (BELGE, 2015). A Figura 8 apresenta os elementos de modelagem no software ProModel.

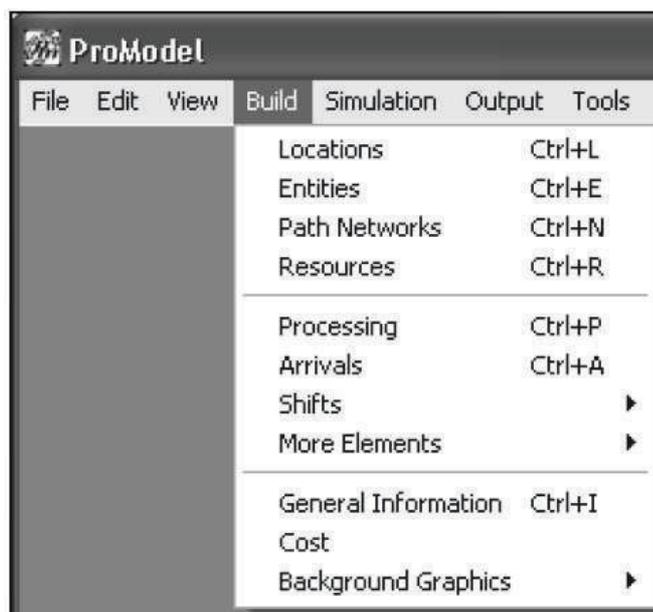


Figura 8: Elementos de modelagem no ProModel.
Fonte: Adaptado de Harrell e Price, (2003)

Esse software é comercializado no Brasil pela Belge Consultorias, empresa fundada pelo engenheiro Alain de Norman et d'Audenhove, em 1995. Devido à grande procura do software no país e visando popularizar o seu uso, o ProModel possui uma versão em português. Isso facilita a adaptação dos usuários a esta ferramenta e o torna um dos simuladores mais utilizados no Brasil (BELGE, 2015).

O ProModel é tipicamente utilizado na indústria, algumas aplicações do software são listadas a seguir (BELGE, 2015):

- Teste de validação dos investimentos;
- Balanceamento de Linhas;
- Projeto de Células e layout;
- Implantação de Lean Production;
- Suporte a projetos 6 Sigma;

- Apoio ao PCP e ao S&OP;
- Movimentação e Armazenagem de Materiais;
- Projeto, dimensionamento e otimização de centros de distribuição;
- Planejamento de transportes;
- Distribuição e *Supply chain*;
- Decisão quanto à abertura / fechamento;
- Localização e área de atuação dos sites;
- Ferramenta de Planejamento e Programação;
- Apoio ao PCP e ao S&OPv;
- Otimização dos KPIs;

2.1.3.4: JaamSim

O JaamSim é um pacote de simulação, livre e de código fonte aberto, feito na linguagem de programação Java. Este software possui uma interface gráfica moderna, em que basta clicar e arrastar os módulos para a construção dos modelos, assim como em alguns softwares comerciais. Este software ainda inclui um *Input Editor*, um *Output Viewer* e gráficos em 3D (KING e HARRISON, 2013). Um exemplo de modelo no JaamSim pode ser observado na Figura 9.

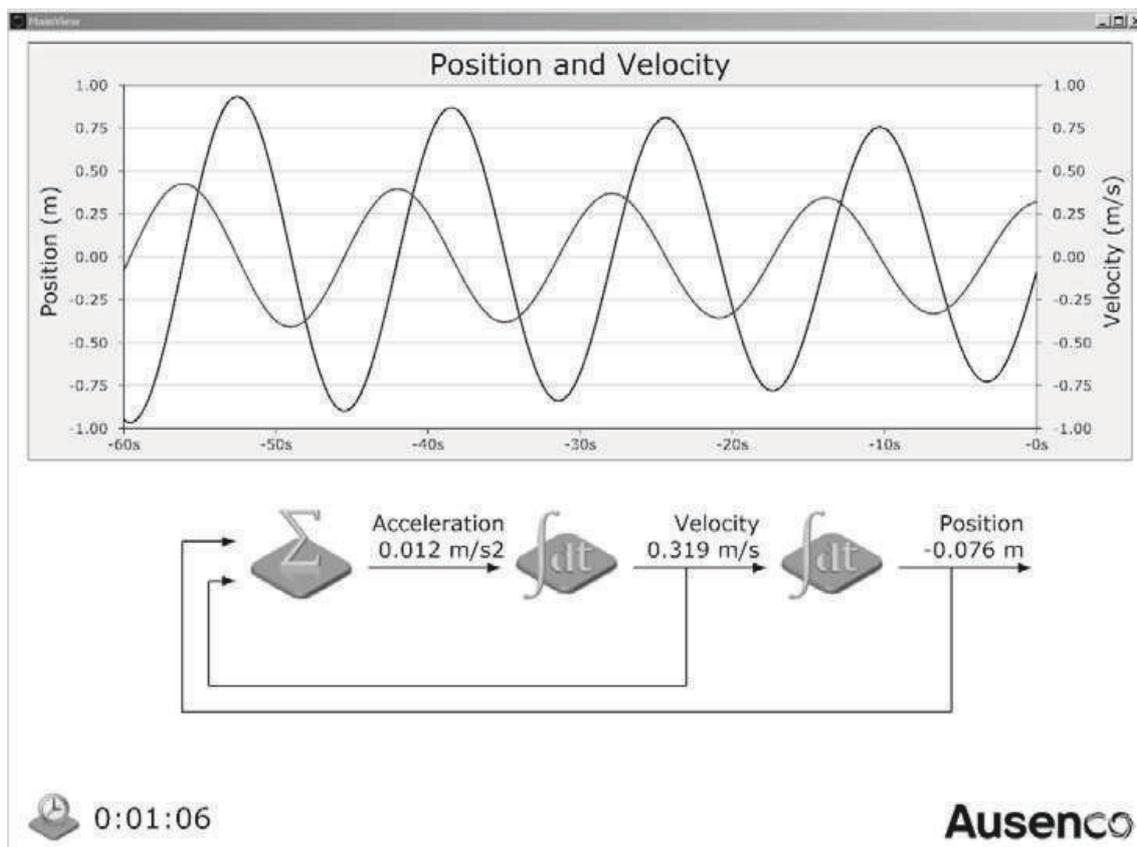


Figura 9: Exemplo de modelo no software JaamSim.
 Fonte: Adaptado de King e Harrison, (2013)

Além disso, usuários podem criar seus próprios módulos em alto nível usando Java padrão e ferramentas de programação modernas como o Eclipse. King & Harrison, (2013) destacam que para quem escreve centenas ou milhares de linhas de código em uma linguagem de programação proprietária, seria bem mais fácil e rápido escrever seu código em Java e usando o JaamSim.

2.1.3.5: Ururau

O Ururau é um FOSS de simulação a eventos discretos que utiliza como base a biblioteca de simulação JSL (*Java Simulation Library*) proposta por Rossetti (2008). Segundo Peixoto *et al.* (2014) este software permite a construção de modelos de simulação em interface gráfica (GUI - *Graphic User Interface*) ou mesmo interligar módulos da biblioteca de simulação JSL na camada intermediária. Para utilizar o software, basta acessar o link <http://ururau.ucam-campos.br> e efetuar o download de forma gratuita.

Este software possibilita a elaboração de modelos de simulação de maneira simples e prática. A Figura 10 mostra a GUI do Ururau com sua tela inicial. Nesta tela é possível observar a área de trabalho onde os módulos são organizados para a construção dos modelos. Também é possível observar a área onde estão dispostos os diversos módulos. Além disso, é apresentada a janela de edição do módulo “Function”, onde os dados sobre o tempo de processamento, nome da função e o identificador (ID) podem ser inseridos. Para construir um modelo de simulação utilizando esta ferramenta basta clicar nos módulos, arrastá-los até a área de trabalho e configurar os parâmetros de cada módulo clicando sobre os mesmos com o botão direito do mouse e acessando o comando “Edit”.

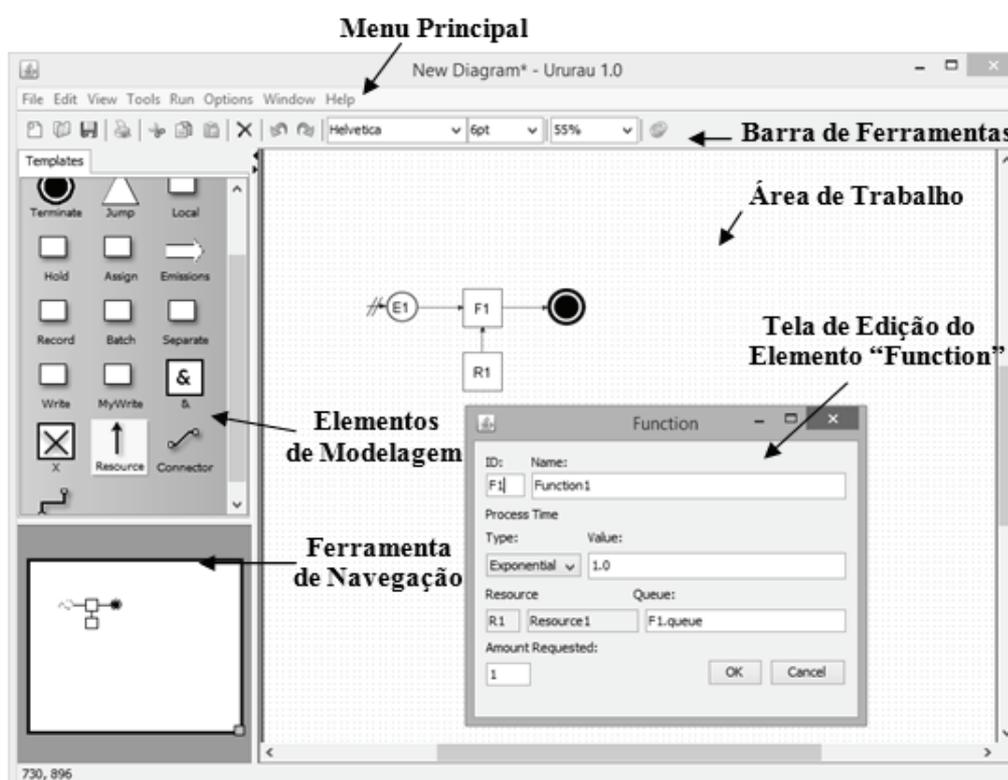


Figura 10: Tela do Ururau com um modelo simples e a caixa de edição do módulo “Função”.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2015).

O Ururau possibilita dois tipos de saída de dados para análise. O primeiro é em forma de relatório que é apresentado pelo software sempre ao término da execução de uma simulação. Este relatório mostra o resultado das variáveis de resposta, como taxa de utilização dos recursos e também dados sobre as entidades como tempo na fila, número na fila e flow time.

A outra possibilidade é a saída de dados em forma de arquivo. Isso é possível através do módulo *Write* do Ururau. Este módulo permite armazenar os valores de uma dada variável em um arquivo de texto simples (extensão .txt). O relatório exibe valores médios de cada simulação, já o arquivo formado a partir do módulo *Write* apresenta todos os valores assumidos por qualquer variável de escolha.

Dagkakis e Heavey (2015) analisaram, em um recente estudo, o estado da arte de softwares livres de SED utilizados para apoio à decisão na área de Pesquisa Operacional e identificaram quarenta e quatro softwares e bibliotecas. O Ururau foi citado entre eles e os autores ressaltaram os seguintes fatos positivos do software. Primeiro, o fato dos desenvolvedores compararem os resultados obtidos com o software comercial Arena. Segundo, pelo software fornecer uma interface gráfica o que facilita a construção dos modelos. E, terceiro, os vídeos tutoriais disponibilizados em uma página na internet.

2.1.4: Aplicações em SED

Freitas Filho (2008) afirmam que normalmente a simulação é utilizada por um desses três motivos: o sistema real não existe; experimentar com o sistema real pode ser muito dispendioso; e experimentar com o sistema real não é apropriado. No primeiro caso a simulação é utilizada para planejar um futuro sistema. No segundo, o modelo de simulação pode fornecer, com baixos custos, quais os benefícios de novos investimentos em equipamentos e expansões, por exemplo. Por fim, no terceiro caso usa-se a simulação para planejar as ações em caso de emergência ou catástrofes, onde se pode testar toda a logística para acionamento de bombeiros, polícia e ambulâncias.

Segundo Banks *et al* (2010) a simulação permite um grande nível de detalhamento, o que a diferencia das metodologias tradicionais, justificando assim a sua utilização. Os autores destacam ainda o aumento de produtividade e qualidade, vindos da economia de tempo e recursos provenientes da utilização dos modelos de simulação.

Existem inúmeros sistemas aptos à modelagem e simulação. A seguir são listados alguns sistemas típicos de aplicação e exemplos dentro desses sistemas (FREITAS FILHO, 2008):

I. Sistemas de produção:

- Manufatura e montagem;
- Movimentação de peças e matéria-prima;
- Alocação de mão-de-obra;
- Áreas de armazenagem;
- Layout, etc.

II. Sistemas de transporte e estocagem:

- Redes de distribuição e logística;
- Armazéns e entrepostos;
- Operações portuárias;
- Transportes rodoviários e ferroviários;
- Operações em aeroportos, etc.

III. Sistemas Computacionais:

- Redes de computadores;
- Redes de comunicação;
- Web sites;
- Servidores de rede;
- Arquitetura de computadores;
- Sistemas operacionais;
- Gerenciadores de bases de dados, etc.

IV. Sistemas administrativos:

- Seguradoras;
- Operadoras de crédito;
- Financeiras.

V. Sistemas de prestação de serviços diretos ao público

- Hospitais;
- Bancos;
- Centrais de atendimento (call centers);
- Restaurantes industriais e tipo fast food;

- Serviços de emergência (polícia, bombeiros, etc.)
- Serviços de assistência jurídica, etc.

2.2: ESTADO DA ARTE

Com o levantamento bibliográfico foi possível verificar que existem publicações na interseção das áreas de simulação, transporte e sustentabilidade. Contudo, essa pesquisa mostrou também que não são numerosos esses trabalhos, ainda mais se tratando de simulação a eventos discretos. A seguir são descritos os artigos de interesse identificados na bibliometria e artigos adquiridos durante o curso. Além disso, após a bibliometria novos artigos foram incorporados através de consultas as referências dos artigos e dos periódicos da área de simulação. Desta forma, os artigos a seguir são dispostos em ordem cronológica de data de publicação.

O primeiro trabalho, na ordem cronológica é o trabalho de Rios *et al.* (2003). Este inicia comentando que anualmente o fluxo do plástico de alto valor derivados do petróleo na cadeia de suprimentos, ou *Supply chain*, do mercado de eletrônica movimenta cerca de 3 bilhões de libras. A partir desse fluxo encontram-se desafios críticos nas áreas de identificação de materiais e projeto de processos de reciclagem. Estes exigem novas tecnologias de engenharia verde aplicadas em conjunto com a avaliação do ciclo de vida e análises ecológicas da SC para criar ciclos de oferta viáveis. Nesse estudo foi desenvolvido um modelo que aceita a entrada aleatória de produtos eletrônicos para estudar cenários pelos quais uma empresa de reciclagem possa identificar e separar plásticos de alto valor, bem como metais. Foi utilizada SED para comparar a recuperação de plásticos mistos atual com identificação espectroquímica de resina plástica e triagem subsequente. Os resultados apontam que a desmontagem com identificação não constitui um gargalo, mas sim, com relativamente poucos trabalhadores, pode ser configurado para puxar o processo e, assim, diminuir os requisitos máximos de espaço de armazenamento temporário.

Saindo um pouco da esfera da simulação, Richardson (2005) apresenta em seu trabalho frameworks de análises que ilustram a interação de fatores que influenciam os indicadores de sustentabilidade dos transportes. Tanto para o

transporte de passageiros quanto para o de mercadorias. Identificando oportunidades da intervenção política além de ilustrar as possíveis conseqüências, não intencionais, de tal intervenção e os *trade-offs* entre os indicadores. Os frameworks são responsáveis por relações sistemáticas, feedbacks, e efeitos colaterais de fazer alterações no sistema. Para o transporte de passageiros, necessidades físicas, psicológicas e sociais se apresentam como influenciadores principais de indicadores do transporte sustentável. Para transporte de mercadorias, as forças do mercado e a política dos governos são influenciadores principais das variáveis que são predominantemente de natureza econômica.

O trabalho de Acaccia *et al.* (2007), onde os autores começam com a observação de que para que se atinja a sustentabilidade é necessário reduzir tanto a poluição quanto o consumo de matéria-prima “virgem”. Baseando-se nessas premissas, o artigo aborda a regulamentação da recuperação de automóveis em fim de vida por meio de reutilização e reciclagem como uma nova questão de negócios. E, descreve métodos de modelagem e simulação para avaliar problemas de logística reversa e processamento de dados.

Na sequência foi encontrado o trabalho de van der Vorst *et al.* (2009) que ressalta que as SC do ramo alimentar são cada vez mais exigidas em termos de eficiência devido ao aumento das exigências dos consumidores sobre a qualidade dos alimentos e a sustentabilidade. Ao reprojeter as cadeias a análise da mudança da qualidade dos alimentos é tão importante quanto aos dos requisitos de eficiência e responsabilidades. Os autores afirmam que ferramentas de simulação são frequentemente utilizadas para apoiar a tomada de decisão no projeto e reprojeto de SCs quando há incertezas logísticas, devido a sua flexibilidade para a modelagem. O estudo propõe uma nova abordagem integrada de logística, sustentabilidade e qualidade dos alimentos e implementar o método através da introdução de um novo ambiente de simulação, ALADIN TM. Ele incorpora modelos de mudança de qualidade dos alimentos e indicadores de sustentabilidade em modelos de simulação a eventos discretos. Um exemplo de caso ilustra os benefícios da sua utilização relativa à velocidade e a qualidade das tomadas de decisão integradas.

Segundo Kuhl e Zhou (2009) as questões relacionadas com a sustentabilidade, tais como o consumo de energia, estão se tornando uma parte mais integrada das decisões operacionais e de planejamento de longo prazo. Modelagem, simulação e ferramentas de análise são necessárias para auxiliar no

processo de tomada de decisão. No seu estudo, os autores apresentam o conceito de um kit de ferramentas de sustentabilidade baseada em simulações. E apresentam um protótipo de uma parte do kit de ferramentas desenvolvido para a modelagem e simulação de aspectos de sustentabilidade da logística e de sistemas de transporte.

Outro estudo nesse mesmo ramo alimentar é o trabalho de Tromp *et al.* (2010) que começa descrevendo que as análises quantitativas de risco microbiológico não costumam levar em consideração os mecanismos de logística de uma cadeia de suprimentos alimentar. Estes mecanismos e a demanda do consumidor determinam os tempos de armazenamento e o atraso de produtos. O objetivo do estudo foi avaliar quantitativamente a diferença entre a simulação logística da cadeia de suprimentos comparado a tempos fixos de armazenamento na estimativa de risco microbiano para a SC de vegetais destinados a uma cantinas de alimentação. O crescimento do patógeno foi modelado usando SED e os efeitos à saúde pública foram avaliados através da realização de avaliação de exposição e caracterização de risco.

Continuando na ordem dos trabalhos encontrados está o trabalho de Byrne *et al.* (2010) onde os autores tratam do sistema logístico no Espaço Econômico Europeu (EEE), em que há uma crescente na movimentação de bens a longas distâncias. E como resultado as emissões de gases do efeito estufa vindas dos transportes aumentaram entre 1990 e 2006 em aproximadamente 28% para os 32 países pertencentes na época do EEE. Este trabalho ressalta que o transporte eficiente de mercadorias está se tornando cada vez mais necessário, para cumprir com os regulamentos de Kyoto e a opinião resistente contra o tráfego de cargas pesadas. Em seu trabalho, os autores documentam as ferramentas já usadas para análise da cadeia de suprimentos, também chamada *supply chain*, e investigam o uso de simulação a eventos discretos como um método para englobar a natureza dinâmica do projeto de uma SC. Além disso, os autores revisam e verificam o uso de análise quantitativa para dar suporte aos tomadores de decisões no SC na escolha de projetos de cadeia mais ambientalmente amigáveis. Isto é possível através do desenvolvimento e uso de modelos de SED. Estes, através da captura de fatores de entrada dinâmicos, ilustram os *trade-offs* entre o viés econômico e ambiental de uma SC com projeto alternativo.

Zhou *et al.* (2010) destacam que como as questões relacionadas com a sustentabilidade estão se tornando cada vez mais importantes na tomada de decisões de negócios, modelagem e simulação são necessárias para analisar o desempenho do sistema. Não só através de medidas de desempenho tradicionais, como produtividade e eficiência, mas também levando em consideração as medidas de sustentabilidade relacionadas. Este trabalho descreve a concepção e desenvolvimento de um conjunto de ferramentas de sustentabilidade para a simulação com a intenção de tornar as medidas de desempenho relacionadas à sustentabilidade mais fáceis de modelar e de coletar. Assim como são as medidas tradicionais de produtividade baseados no desempenho. O foco deste estudo é no desenvolvimento de um kit de ferramentas para modelagem e análise de medidas de desempenho ambientais em de simulação a eventos discretos.

Um ano mais tarde Zhou e Kuhl (2011) continuam em sua linha de pesquisa. Em seu trabalho fazem uso da simulação para estudar sistemas complexos que levam em consideração tanto a produtividade quanto a sustentabilidade. Descrevem os desenvolvimentos recentes e discutem futuras capacidades potenciais do kit de ferramentas de sustentabilidade para a simulação. O kit de ferramentas atual enfoca os aspectos ambientais da sustentabilidade, no entanto, o objetivo do kit de ferramentas é incluir também os aspectos sociais e econômicos da sustentabilidade no futuro próximo.

Outro estudo é o trabalho de González e Echaveguren (2012) que destaca a aplicação de práticas de sustentabilidade como um desafio para a indústria da construção, e destaca também que muitas pesquisas são feitas nessa área para alcançar essa adequação ambiental. Porém, os métodos atuais para modelar sustentabilidade possuem diversas limitações, pois são principalmente determinísticas, não descrevendo de forma adequada a natureza dinâmica do ambiente produtivo na construção. Para superar isso, os autores nesse estudo, exploram um framework de modelagem dinâmica baseada em SED, que integra modelos ambientais e de tráfego. Assim, este framework de modelagem incorpora metas ambientais no projeto das operações de construção de estradas, em termos de emissões geradas pelas condições de produção e de trânsito de veículos. Desta forma, foi elaborado um projeto hipotético para ilustrar o uso deste framework. Os resultados apontaram que um número ótimo de caminhões e retroescavadeiras podem minimizar as emissões.

Cirullies *et al.* (2012) começam apontando que a ecologia e eficiência no uso de recursos alcançaram alta relevância na indústria, não só devido aos seus efeitos econômicos. Assim, o planejamento de logístico deve contribuir para as iniciativas "verdes". No entanto, ele ainda carece de métodos e ferramentas apropriados.

A simulação representa um método bem aceito no planejamento logístico, para lidar com os efeitos estocásticos, dinâmicos, e um elevado grau de complexidade. OTD-NET é conhecido como um simulador de cadeia de suprimentos inovador e é ampliado para avaliação de transporte ecológico. Neste trabalho os autores descrevem o estado da arte em avaliação ecológica, discutem os requisitos para a sua integração na simulação, e explicam um método de implementação, bem como os seus benefícios por meio de um estudo de caso.

Mizuta *et al.* (2012) consideram o projeto de cidades ecológicas utilizando simulação de cenários de uso da terra e de tráfego em larga escala. *Low Carbon Cities* (LCC) podem ser atingidas através da combinação de uso adequada da terra e do transporte. Foi simulada uma possível cidade de baixa emissão de carbono através da combinação do uso equilibrado da terra e modelos de tráfego baseado em agentes. Primeiro, cenários de uso da terra de uma cidade com diferentes formas urbanas (compactas, dispersas e etc.) são criados. Em seguida, o transporte correspondente é projetado em cada forma urbana com um simulador de tráfego em grande escala para a cidade de estudo de caso (Yokohama) no Japão. Além disso, também foi feita a simulação do tráfego atual. Finalmente, foi analisada a relação entre a forma urbana e as emissões de CO₂ resultantes tanto do uso do solo quanto dos transportes. Segundo os autores o método proposto pode ser uma ferramenta útil para os planejadores urbanos para testar alguns usos do solo e políticas de transportes para a concepção de cidades sustentáveis.

Longo (2012) mostra em seu trabalho a necessidade de considerar diferentes aspectos de sustentabilidade no redesenho e otimização de problemas de cadeia de suprimentos. Para isto, é apresentado um modelo de simulação de varejo da indústria farmacêutica como exemplo de aplicação. Três aspectos diferentes de sustentabilidade são considerados: sustentabilidade técnica, sustentabilidade econômica e sustentabilidade ambiental. Para investigar dois problemas diferentes: a adição de novas farmácias para a cadeia de suprimentos e a otimização das rotas da cadeia de suprimentos. Os objetivos são entender como potenciais clientes podem ser adicionados à cadeia de suprimentos, reduzindo o impacto negativo no

nível de satisfação dos clientes (sustentabilidade técnica). Como otimizar as rotas, se guiando pela sustentabilidade técnica, econômica e ambiental. E como comparar diferentes soluções em termos de frotas de caminhões, a fim de reduzir as emissões de CO₂ (sustentabilidade ambiental e econômica).

Outro trabalho encontrado sobre SC é o trabalho de Jaegler e Burlat (2012). Os autores focam nas emissões de CO₂ pela SC, tanto proveniente dos transportes quanto da organização dos estoques. Os autores afirmam que as SCs são organizações colaborativas em rede, *Collaborative Networked Organisations* (CNO), que conectam as operações de uma mesma cadeia de valor. Nesse estudo foi desenvolvido um modelo de SC usando SED. Neste modelo o CNO é capaz de simular uma SC de três elos em que quatro variáveis são fornecidas, são elas: capacidade de produção, localizações, meio de transporte e tipos de produtos. Os dados sobre os produtos são de um grande fabricante e distribuidor de aquecimento, ventilação e sistemas de ar condicionado, a Carrier. O objetivo do estudo é comparar os níveis de CO₂ emitidos para diferentes configurações de diferentes cenários. Desta forma, este estudo proporciona um apoio à decisão realista para simular e prover redes de colaboração sustentáveis, ajudando os gestores a escolher as SCs mais ambientalmente amigáveis.

Em outro estudo realizado Jaegler e Burlat (2013) continuam sua pesquisa para alcançar um *green supply chain*. Novamente fazendo o uso de SED e concentrando-se nas emissões de CO₂ no armazenamento e transporte. Desta vez, o modelo utiliza a política de gestão de produção de ponto de reabastecimento dentro de uma estratégia de resposta à demanda do tipo fazer para estocar. A capacidade de fabricação também é levada em consideração através do indicador *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). Além disso, outros parâmetros são modelados como a localização das empresas e os tipos de produtos. De forma semelhante ao estudo anterior o objetivo é comparar as emissões equivalentes de CO₂ das diferentes configurações de SC. O método foi aplicado a dois casos industriais: uma da indústria têxtil e outra da indústria de refrigeração.

Jain *et al.* (2013) começam seu trabalho afirmando que os consumidores estão se tornando mais conscientes da necessidade de redução dos impactos ambientais. E isso tem motivado a indústria a se esforçar para melhorar a sustentabilidade de seus produtos e malhas logísticas. Um método sistemático é necessário para avaliar as alternativas que vão desde as configurações da SC até o

aprimoramento de equipamentos em uma linha de produção. O estudo dos autores apresenta um método de modelagem multi-decisão que permite analisar partes do SC em um nível apropriado de detalhamento. Esse método permite estudar a cadeia de suprimentos partindo de um alto nível inicialmente, e, de forma iterativa, descer para níveis mais detalhados e avaliar alternativas de melhoria. Modelagem multi-decisão relaciona diretamente o impacto da melhoria em uma parte da SC com o desempenho global da cadeia, reduzindo assim o esforço para análise e o tempo gasto.

No trabalho de Zhou *et al.* (2013) é ressaltado que há uma série de questões para as empresas implementarem a produção verde. Do ponto de vista de operações, selecionar estratégias de melhoria verde é um ponto crítico, porém difícil devido ao fato de que afeta não só o desempenho ambiental, mas também o econômico e de produção. Importantes *trade-offs* existem entre diferentes objetivos e decisões são submetidas a condições dinâmicas e incertas. Da perspectiva de sistemas dinâmicos, existem vários fatores que interagem uns com os outros para guiar o comportamento do sistema e os *trade-offs*. Os tomadores de decisão precisam avaliar diferentes cenários para encontrar o equilíbrio adequado entre as estratégias. Os autores relatam estudos que abordam essas questões através de uma abordagem integrada enfatizando o uso de simulação. Em primeiro lugar, focado na otimização de estratégias de melhoria verdes. Um modelo de simulação foi desenvolvido para capturar o fluxo de operações e lógica de decisão. Um algoritmo genético multi-objetivo, combinado com heurísticas de melhoramento, foi desenvolvido para procurar melhores soluções. Modelos dinâmicos do sistema foram desenvolvidos para caracterizar o comportamento dinâmico de sistemas de produção sob condições de *cap and trade*. Experimentos de simulação foram realizados para analisar a relação entre os estados do sistema e entre os fatores que causam as transições de estado que influenciam o comportamento geral do sistema.

Gutenschwager *et al.* (2013) apresentam em seu estudo que eficiência em termos de redução de CO₂ é atualmente um tema popular na gestão da cadeia de suprimentos. Ainda, destacam que a maioria dos métodos se baseia na avaliação de ciclo de vida (*Life Cycle Analysis - LCA*) que, de forma geral, explora os dados de uma base de dados estática. Sendo eficaz quando se estima a pegada de carbono dos produtos ou grupo de produtos. Os autores afirmam que a simulação tem sido

um método adequado para medir a eficácia dos sistemas de logística e que poderia apoiar a análise da medição do CO₂ nas cadeias de suprimento. Ainda mais se combinar o seu uso com banco de dados provenientes da LCA. No entanto, a pesquisa mostra que esta combinação não produz resultados confiáveis quando o alvo do estudo é a melhoria da logística na SC. O documento demonstra as deficiências da abordagem LCA. E propõe um modelo de dados que permite o uso da simulação a eventos discretos em logística na SC. Além disso, inclui o seu impacto sobre a pegada de carbono que está em desenvolvimento no projeto e-SALVAR financiado pela Comissão Europeia.

O trabalho de Seay e Badurdeen (2014) alerta que um dos principais obstáculos à produção sustentável de biocombustíveis é a complexidade das decisões enfrentadas pelos produtores e parte interessadas. Eles ainda afirmam que a biorefinação integrada é uma tecnologia viável para a conversão de uma variedade de recursos em combustíveis e produtos químicos, são exemplos desses recursos: materiais de resíduos de biomassa, culturas energéticas, resíduos sólidos urbanos, resíduos animais e produtos florestais. Ainda, afirmam que fazer a melhor escolha entre os vários recursos disponíveis, tecnologias de processo e projeto da cadeia de suprimentos não é tarefa simples, especialmente quando a sustentabilidade é um critério. Destacam também que o risco de consequências não intencionais deve ser considerado. O que pode parecer serem boas decisões podem revelar-se insustentáveis em longo prazo, a menos que todas as implicações potenciais possam ser avaliadas. Para superar estes desafios uma abordagem integrada, incluindo o uso de SED é necessária devido à necessidade de avaliar os efeitos da incerteza sobre um horizonte de tempo prolongado.

Por último, Rangel *et al.* (2015) fazem, em seu trabalho, uma análise das emissões de monóxido de carbono (CO) utilizando um simulador a eventos discretos de código aberto. O seu objetivo é demonstrar como os cálculos das emissões de gases do efeito estufa, vinda dos transportes, podem ser analisados com modelos de simulação. E, para isso, foi realizada modelagem considerando-se aspectos discretos associados com os sistemas de transporte com o componente contínuo das emissões de CO a partir da frota. Foi utilizado o software livre e de código aberto Ururau para construir os modelos de simulação. Por meio dessas simulações foi possível verificar os *trade-offs* entre variáveis econômicas e ambientais.

Por último, Ugarte *et al.* (2015) investigaram em seu trabalho os impactos das práticas de produção enxuta na poluição do ambiente. A hipótese proposta no estudo é que o uso de um gerenciamento de inventário just-in-time aumenta significativamente a frequência dos transportes, assim aumentando também as emissões de gases do efeito estufa na SC. Por outro lado, a gestão de inventário feita pelos fornecedores diminui as emissões na SC porque melhoram a flexibilidade do sistema. As hipóteses foram testadas usando um modelo de simulação de uma SC do ramo de varejo. Foi verificado que melhorias nos processos podem acarretar em aumentos não intencionais das emissões totais do sistema.

2.3 : CONCLUSÃO DA REVISÃO DA LITERATURA

Diante dos levantamentos realizados nota-se que poucos artigos foram encontrados em que se utilizava a simulação a eventos discretos ao se tratar de sustentabilidade. Dentro deste contexto, percebe-se ainda que poucos trabalhos tratam da questão de transportes. Contudo, grande parte das emissões de gases do efeito estufa provém dos transportes, especialmente emissões de carbono, segundo dados recentes da Agência Internacional de Energia.

Desta forma, dentro dos resultados encontrados nos campos de simulação e sustentabilidade foram obtidos 90 artigos (25%) referentes ao transporte. Este total foi filtrado e posteriormente os trabalhos foram agrupados por similaridades de aplicação. Nessa triagem, a maior parte dos artigos abordou as questões de *Sustainable transport* e *Sustainable mobility*. Quando a pesquisa foi direcionada para buscar artigos que utilizavam simulação discreta, nas áreas de *supply chain*, transporte e emissões de gases do efeito estufa, observou-se a evolução do número de publicações ao longo do tempo. Assim, os resultados encontrados demonstraram que o tema começou a ser mais explorado a partir de 2003, coincidindo com a *The United Nations World Summit on Sustainable Development*. O ano de 2014 foi o que apresentou o maior número de artigos, provavelmente influenciado pela criação da norma ISO 14067, *carbon footprint*, em 2013. No que tange a participação de cada país nesse período, os Estados Unidos aparecem como o país com maior participação com 24% nas publicações, seguidos pelo Japão e Irlanda com 10% cada.

A revisão de literatura apresentou uma pesquisa com interesse nas áreas de simulação a eventos discretos, transporte e sustentabilidade. Com isso, foi possível identificar os principais assuntos abordados dentro das áreas citadas acima, buscando estudar a evolução do tema ao longo do tempo e mapear os países que mais publicam nesta área. Estes resultados não têm a pretensão de apontar um estudo conclusivo ou números que possam demonstrar o resultado final da questão. O objetivo foi explorar o assunto e identificar tendências relacionadas com o este campo de estudo.

Frente a este contexto o presente trabalho se propõe a trabalhar na interseção, pouco explorada, das áreas de simulação a eventos discretos, sustentabilidade e transportes. Visando contribuir com as pesquisas feitas em sistemas logísticos de grande complexidade. Além disso, este trabalho faz uso em conjunto de otimização e decisão inteligente na simulação, para auxiliar as tomadas de decisão em problemas logísticos envolvendo variáveis de sustentabilidade. Assim, a utilização de simulação a eventos discretos foi feita pelo software Ururau com suas funções de otimização, por meio de algoritmos genéticos (AG), decisão inteligente, por meio de RNA, e cálculo de emissões de CO₂ para a escolha de fornecedores. Para isso foi elaborado um cenário logístico onde uma empresa deve fazer a escolha de seus fornecedores. Essa decisão deve ser feita com base em três critérios: emissões geradas por cada entrega dos fornecedores, os custos associados a essas entregas e o tempo dessas movimentações. Desta forma, a integração dos métodos de otimização e de decisão inteligente em uma área pouco explorada é o foco deste trabalho.

3: MATERIAIS E MÉTODOS

3.1: METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO PROPOSTA

Segundo Banks (2010) e Freitas Filho (2008), um problema que pode ser analisado por meio de modelagem deve ser bem formulado, ou seja, com objetivos e delimitações bem definidos. A visão de planejamento deve ser iniciada de maneira micro e gradativamente expandida à visão macro. Para isso, um esboço gráfico deve servir de auxílio como, por exemplo, um modelo conceitual. Os dados das etapas devem ser bem fundamentados para que o modelo corresponda, o mais próximo possível, ao sistema real. Por fim, o modelo deve ser construído numa linguagem apropriada para sua simulação.

Assim, a metodologia proposta por Banks *et al.* (2010) foi utilizada para o desenvolvimento dos modelos de simulação. Esta metodologia propõe os seguintes passos: formulação e análise do problema; construção do modelo conceitual; construção do modelo de simulação; verificação e validação; experimentação e interpretação; e análise estatística dos resultados. Durante as fases de verificação e validação dos modelos de simulação foram observadas as etapas sugeridas por Sargent (2013).

Para a construção do modelo de simulação, um modelo conceitual foi desenvolvido em linguagem IDEF-SIM proposta por Montevechi *et al.*, (2010), esta linguagem permitiu uma melhor visualização e compreensão das etapas de produção e suas características.

3.2: MÓDULOS ESPECIAIS DO URURAU

Os próximos itens destacam os principais módulos presentes no software Ururau (versão 1.0). Estes módulos permitem ao software possuir um diferencial em relação a outros simuladores. Assim, além dos módulos comuns, necessários para a construção dos modelos, é possível o cálculo de emissões de gases em entidades, a comunicação com Controladores Lógico-Programáveis (CLP) e a utilização de módulos de decisão inteligente com otimização e RNA.

3.2.1: Módulo para Cálculo de Emissões de Gases em Entidades

A versão 1.0 do software permite efetuar o cálculo de emissão de gases das entidades nos modelos, em gCO, através do módulo *Emissions*. A partir deste recurso é possível desenvolver modelos de sistemas, em que a emissão de gases provenientes dos veículos pode ser computada durante as simulações. Para a utilização do referido módulo é necessária a inserção de dados como: o nome da variável que acumulará as emissões e os parâmetros para o cálculo (tempo, coeficiente de emissões, potência do motor, carga e peso bruto total do veículo).

Um sistema ilustrativo é proposto para demonstrar como o novo módulo *Emissions* facilita o cálculo de emissões no Ururau. Este sistema, o seu modelo computacional, a fórmula utilizada para o cálculo das emissões e a janela de edição do módulo *Emissions* podem ser observados na Figura 11 nos item 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

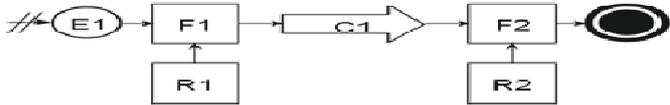
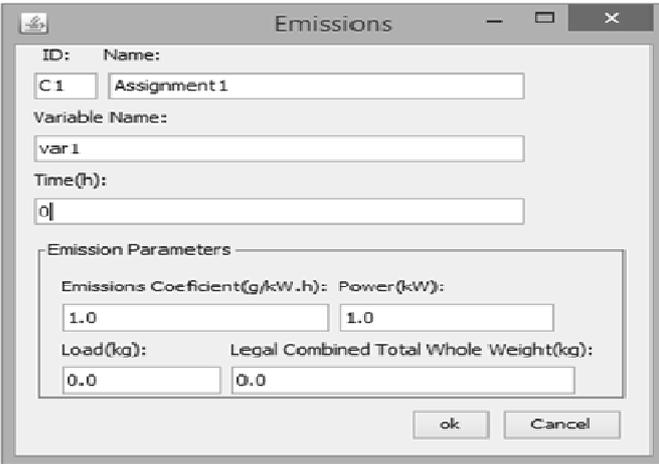
Item	Descrição
1	
2	
3	$E(t) = EC * P * t * (L/T)$ <p>Where, E(t): Emissions (gCO) produced by the vehicle “x” over the time interval; EC: Emission coefficient from the vehicle x; P: Vehicle Power (kW); t: Time interval; L: Load; T: Legal combined total whole weight.</p>
4	

Figura 11: 1: Sistema proposto para demonstrar o módulo Emissions; 2 : Modelo computacional do sistema proposto; 3: Fórmula utilizada no módulo Emissions; 4 : Janela de edição do módulo Emissions.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2015).

Um simples sistema é apresentado no item 1 da Figura 11. Este sistema consiste em entregas que devem ser feitas partindo da Fábrica A para o Cliente B. Este é um sistema elementar, composto por um ponto de partida e outro de destino apenas. Neste sistema pretende-se ilustrar o mecanismo de cálculo das emissões durante a movimentação dos veículos do ponto A até o ponto B. O cálculo de emissões é feito com o módulo *Emissions*.

O modelo computacional desse sistema está no item 2 da Figura 11. Nela o módulo E1 é o gerador de entidades, no caso caminhões. O processo de carregamento na fábrica é feito pelo módulo F1 junto com a equipe de carregamento

representada por R1. Tudo que envolve o cálculo de emissões e o transporte das entidades da fábrica ao cliente é englobado pelo módulo *Emissions*, representado por C1. Por último, F2 é o descarregamento dos caminhões no cliente com R2 como a equipe de descarregamento.

A fórmula base descrita pode ser vista no item 3 da Figura 11. Além disso, nesta Figura também é possível observar a janela de edição do módulo *Emissions* no item 4. Esta janela permite a inserção dos valores dos parâmetros para o cálculo das emissões.

O módulo *Emissions* foi fundamentado pelo trabalho de Rangel e Cordeiro (2015). Em seu estudo os autores demonstram como cálculos de emissões de gases do efeito estufa provenientes do transporte em sistemas logísticos podem ser analisados em modelos de simulação a eventos discretos. A fórmula utilizada no módulo *Emissions* é a mesma utilizada no trabalho citado e é descrita de forma mais detalhada no trabalho de Zhou and Kuhl (2011). Esta fórmula calcula o total de emissões, em gramas de CO, produzidas por um veículo durante um determinado percurso. O resultado das emissões é obtido por meio da multiplicação entre três fatores: o coeficiente de emissões, a potência e o tempo de trajeto do veículo. Os mesmos autores em seu trabalho, ajustaram a fórmula adicionando um outro fator a ser multiplicado pelo resultado anterior. Este é obtido através da divisão entre a carga e o peso bruto total do veículo. O resultado das emissões é acumulado na variável definida no próprio módulo e é apresentado no relatório ao término da simulação.

3.2.2: Módulo para a Comunicação com Controladores Lógicos Programáveis

O software Ururau também permite a comunicação com CLP atuando como um simulador para testes de linhas ou plantas produtivas. Como demonstra o trabalho de Cardoso *et al.* (2012) que usa o Ururau como recurso didático em aulas de sistemas de controle automático. Para realizar a comunicação o acesso pode ser feito através do menu Ferramentas e opção Tools – Communications. Deve-se então marcar a opção de Enable OPC (*OLE for Process Control*) Communication. OPC é um padrão de interface de software que permite aos programas do Windows se comunicar com dispositivos de hardware industriais. É necessário criar uma conta de

usuário do Windows com permissões de acesso utilizadas para componentes DCOM do servidor OPC escolhido. A comunicação será bem sucedida quando, clicando em 'Connect', a caixa de texto listar as tags predefinidas no servidor OPC selecionado como mostrado na Figura 12.

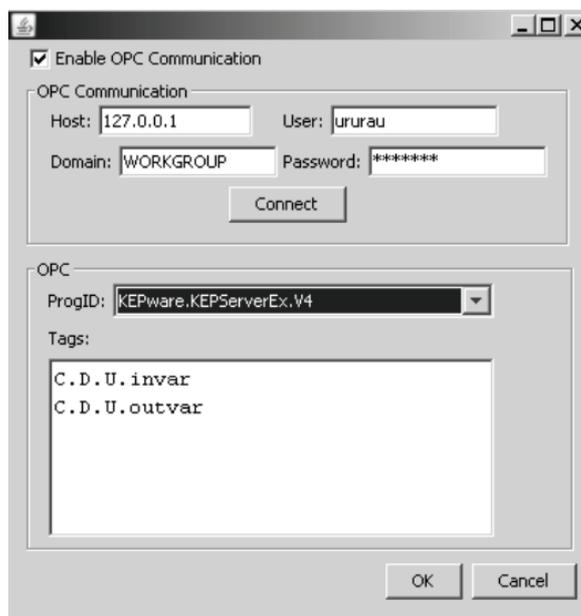


Figura 12: Tela de comunicação com CLP do Ururau.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

3.2.3: Otimização

O software Ururau permite ainda resolver problemas que envolvam maximização e minimização por meio de sua função de otimização que utiliza AG. Segundo Lacerda e Carvalho (1999) os AGs são, resumidamente, um método de otimização e pesquisa inspirado nos mecanismos de evolução de população de seres vivos o qual segue o princípio da seleção natural e sobrevivência do mais apto. E, são um sub-ramo dos algoritmos evolutivos, cujo desenvolvimento está voltado para resolver problemas complexos de otimização (CAN *et al.* 2008).

A Figura 13 apresenta a tela de acesso para entrada de dados no módulo otimizador do software Ururau. Esta tela possibilita a inclusão de variáveis para controlar este módulo dentro do modelo. No caso específico deste software, os valores precisam ser números inteiros. Em "Objective" deve ser colocada a função objetivo, também chamada de função de avaliação do AG. Esta função normalmente

é elaborada com as variáveis de resposta que podem ser número na fila, tempo na fila ou contadores. Pode ser observado na Figura 13 que o item “is Minimizing?” está habilitado, portanto o módulo otimizador busca minimizar o resultado da função objetivo neste exemplo. Porém, vale ressaltar que o default é maximizar a função objetivo. Para rodar o modelo de forma adequada quanto se utiliza o módulo otimizador o mesmo deve ser executado através do caminho “Run”, presente no “Main Menu”, e “Go With Optimizer”.

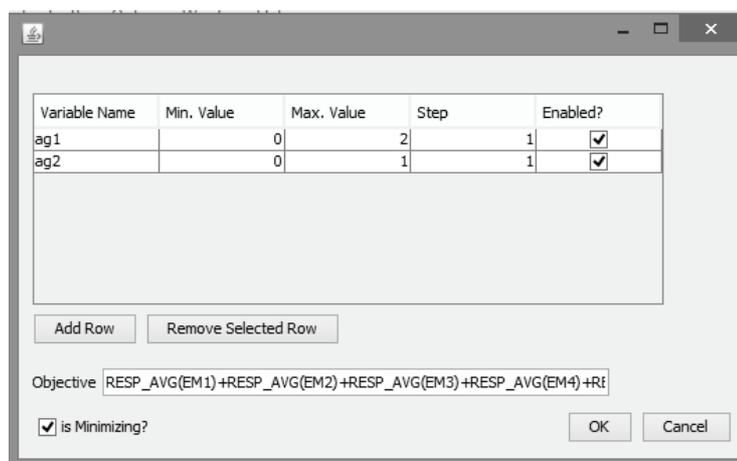


Figura 13: Caixa de otimização no Ururau.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

O uso de AGs no contexto da simulação a eventos discretos é uma área consolidada na literatura e há diversos estudos sobre o tema. Como, por exemplo, o trabalho de Can *et al.* (2008), em que os autores utilizaram AG e DES para resolver problemas de alocação de buffer em uma linha de produção. Em um outro trabalho, Ponsignon e Mönch (2014) apresentam uma estrutura baseada em simulação que permite a modelagem do comportamento da demanda do mercado e do sistema de produção. Estes autores utilizam heurísticas, entre elas o AG, para avaliar o planejamento mestre da produção de semicondutores em um horizonte de tempo.

3.2.4: Decisão com Redes Neurais Artificiais

Além dos módulos de emissões, comunicação com PLC e otimizador, o software Ururau também possui o módulo de decisão inteligente com RNA. Segundo Ludwig e Costa (2007) as RNAs baseiam-se em redes neurais biológicas, onde o

neurônio recebe um ou mais sinais de entrada, processa e fornece um sinal de saída. Esta saída pode ser tanto uma nova entrada para outro neurônio ou a saída da rede como um todo. Ainda segundo os autores as redes são instrumentos de processamento paralelo, pois recebem simultaneamente os sinais de entrada.

A Figura 14 mostra a caixa de edição dos parâmetros para o módulo de decisão com RNA no Ururau.

Decision Maker

ID: ANN2 Name: ANN

2-way-by-ANN

----- Configuration of "RNA 2 way" -----

Training data file
C:\Users\Projeto\Desktop\Mestrado\4º Bimestre\Simulação aplicada a logística e manufatura\treinamento - EINEPRO1.txt

Training Algorithm ResilientPropagation

Neuron expression 1 emissoes_ind

Neuron expression 2 custo

Neuron expression 3 0

Neuron expression 4 0

Neuron expression 5 0

Input layer neurons 2

Hidden layer neurons 1 4

Hidden layer neurons 2 0

* 0 to use only with one hidden layer

Output layer neurons 1

OK Cancel

Figura 14: Caixa de edição dos parâmetros do RNA no Ururau.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

A simulação em conjunto com RNA já foi utilizada no Ururau. Como em um estudo cujo objetivo era empregar RNA para representar de modo mais realístico ações de pessoas em modelos de simulação, por meio do software de criação e treinamento de redes neurais JAVANNS (SILVA *et al.*, 2012). Em outro trabalho Silva *et al.* (2014) compararam diferentes bibliotecas de RNAs e verificaram seus desempenhos a fim de acoplar o mais adequado ao código do Ururau. Na caixa de

edição apresentada na Figura 14 é possível definir a quantidade de neurônios na camada de entrada (de 1 até 5), alocar variáveis ou expressões nos neurônios de entrada, optar por uma ou duas camadas ocultas, escolher o número de neurônios nas camadas ocultas e passar o arquivo de treinamento para a rede. Vale ressaltar que é permitido somente 1 neurônio na camada de saída.

3.3: DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O problema objeto de estudo se refere a um sistema logístico de uma fábrica hipotética localizada no estado da Flórida/USA. Na hipótese em questão os seguintes itens são considerados:

- a) A empresa deve tomar decisões quanto à escolha do fornecedor mais adequado a suas necessidades;
- b) A empresa ora dá ênfase a questões ambientais, ora ênfase igual a produtividade e os aspectos ambientais. Assim, as emissões e os custos dos fornecedores tem pesos diferentes na decisão da fábrica dependendo de sua política quanto aos aspectos ambientais;
- c) A escolha do fornecedor mais adequado é tomada com base no custo médio e as emissões de gases provenientes de cada entrega. O módulo de decisão com RNA classifica cada entrega dos fornecedores em aprovadas ou reprovadas dependendo da relação entre essas emissões e os custos. O módulo otimizador então escolhe o melhor fornecedor com base no número de aprovações dos fornecedores gerados pelo módulo de decisão com RNA. Portanto, o melhor fornecedor é aquele que maximiza o número de aprovações das entregas.

A Figura 15 ilustra a relação entre as fábricas e os fornecedores. O Quadro 3 apresenta a legenda desta figura.

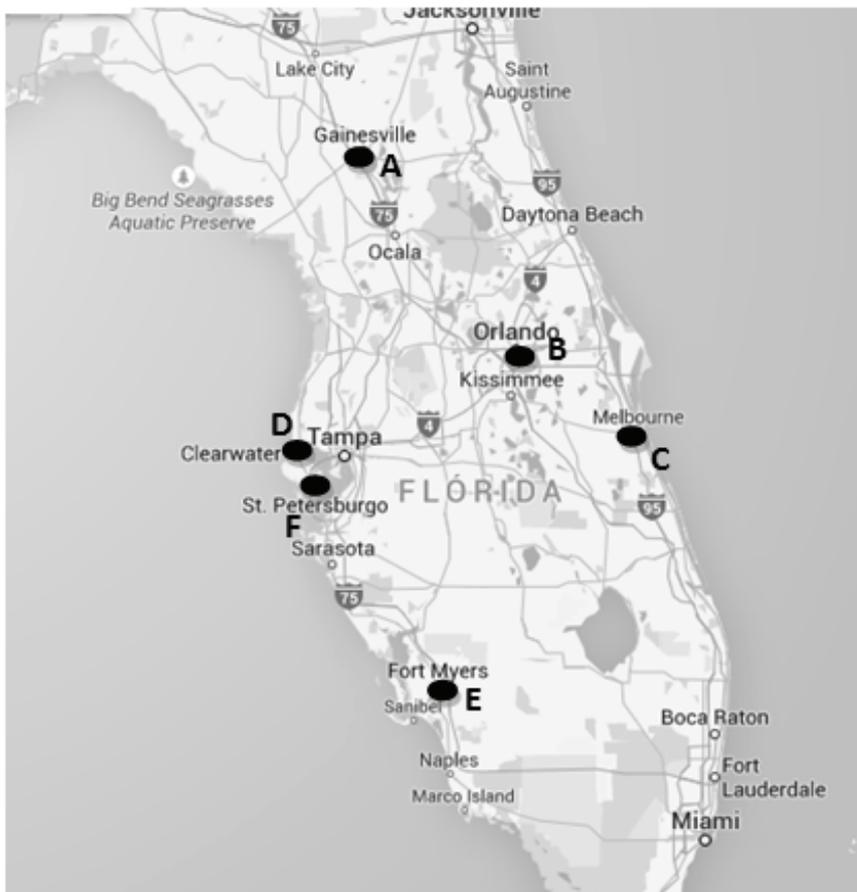


Figura 15: Relação entre fábricas e fornecedores.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

Legenda	Localização	Ponto de referência no mapa	Distância até a fábrica	Tempo médio
Fornecedor 1	Gainesville/FL	Ponto A	245km	15h
Fornecedor 2	Orlando/FL	Ponto B	171km	12h
Fornecedor 3	Melbourne/FL	Ponto C	270km	9h
Fornecedor 4	Clearwater/FL	Ponto D	36km	2h
Fornecedor 5	Fort Myers/FL	Ponto E	182km	7h
Fábrica 1	St. Petersburg/FL	Ponto F	-	-

Quadro 3: Legenda da Figura 15.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

As distâncias apresentadas no Quadro 3 representam as menores distâncias entre os fornecedores e a fábrica por meio de rodovias. Estas distâncias foram obtidas através do Google Maps, assim como o tempo de trajeto. Os tempos médios de transporte apresentados são os tempos que cada fornecedor leva para efetuar uma entrega.

Diferentes cenários foram propostos para analisar o comportamento do

modelo, em que:

1. Foi analisado qual seria o melhor fornecedor para a fábrica com ênfase nas emissões de gases;
2. Depois foi analisado qual o melhor fornecedor dando pesos iguais as emissões e aos custos;

O objetivo aqui foi, primeiro, verificar se a decisão foi feita de forma correta quanto a escolha dos fornecedores pelo software. Assim, os parâmetros de cada fornecedor foram estabelecidos de tal forma que fosse fácil identificar qual deles é o mais adequado quanto as emissões de gases. E em um segundo momento testar o módulo de decisão inteligente com RNA do software em uma situação mais complexa, em que os pesos de emissões e custos fossem iguais na decisão.

3.4: DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS

Foram modelados diferentes cenários a partir do sistema proposto. Assim, a diferença entre os cenários foi a quantidade de fornecedores. Isto foi feito para testar o módulo de decisão com RNA e a escolha do módulo otimizador do Ururau. Os cenários modelados englobam desde dois fornecedores até cinco fornecedores no total.

A Figura 16 mostra o modelo com a fábrica e os fornecedores, onde a fábrica deve escolher entre um dos fornecedores. Foi utilizada a linguagem IDEF-SIM descrita em Montevechi *et al.* (2010) para documentar o modelo. Esta mesma linguagem é utilizada no software Ururau.

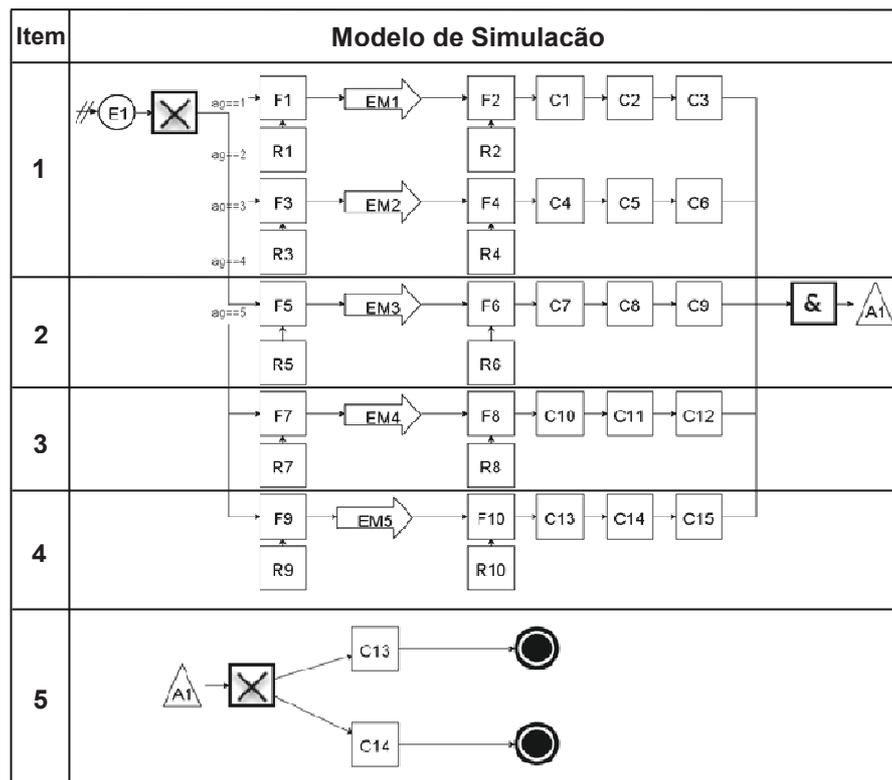


Figura 16: Modelo de simulação que representa os diferentes cenários propostos.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

A escolha foi baseada nas emissões e custos gerados. Na Figura 16 é possível observar ainda uma numeração que identifica o arranjo de cada um dos cenários e as respectivas partes referentes no modelo de simulação. Todos os cenários têm o item número 5 em comum, que é onde se encontra a decisão sobre os fornecedores. Portanto, o cenário composto pelos números 1 e 5 representa a fábrica tendo que escolher entre dois fornecedores. Com 1,2 e 5 a fábrica com três fornecedores e assim sucessivamente. Para cada cenário foi testado o módulo de decisão do item 5 ora com lógica booleana, ora com RNA. Quando foi utilizado o módulo com lógica booleana a decisão baseava-se somente nas emissões. Quando foi utilizado o módulo com RNA a decisão se baseava tanto nos custos quanto nas emissões de gases. Com peso maior nas emissões nos testes preliminares e com peso igual entre emissões e custos nos experimentos com RNA. Isto foi feito para demonstrar que o módulo de decisão com RNA é normalmente utilizado em situações complexas, quando a modelagem com módulo de decisão por lógica é difícil ou mesmo inviável.

Para configuração da rede foram utilizados 4 neurônios na camada de entrada, uma camada oculta com 8 neurônios e 1 neurônio na camada de saída. A arquitetura da rede proposta pode ser observada na Figura 17.

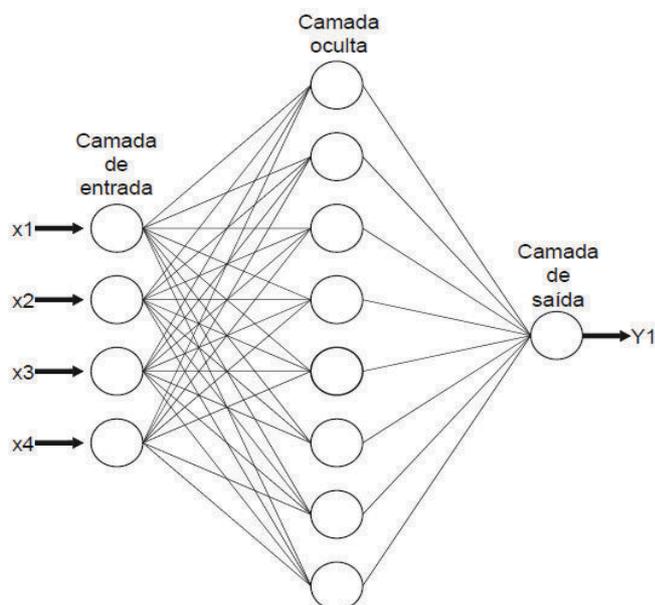


Figura 17: Arquitetura da rede proposta.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

O primeiro e o terceiro neurônio da camada de entrada servem para receber as emissões e o segundo e o quarto para os custos gerados por cada entidade. Embora o problema seja linearmente separável, o *software* exige o uso mínimo de uma camada oculta. Assim, o número de neurônios na camada oculta foi determinado de forma experimental, uma vez que na literatura não há um consenso sobre um número ótimo. Quanto maior o número de neurônios na camada oculta, maior é o tempo de processamento. Por isso, buscou-se atingir o menor número de neurônios na camada oculta que não compromettesse a classificação. A camada de saída classifica as entregas como aprovadas ou reprovadas.

4: RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1: MODELO CONCEITUAL E DE SIMULAÇÃO

O modelo de simulação com a fábrica e os fornecedores é apresentado na Figura 18. Neste modelo a fábrica deve escolher entre um dos fornecedores disponíveis.

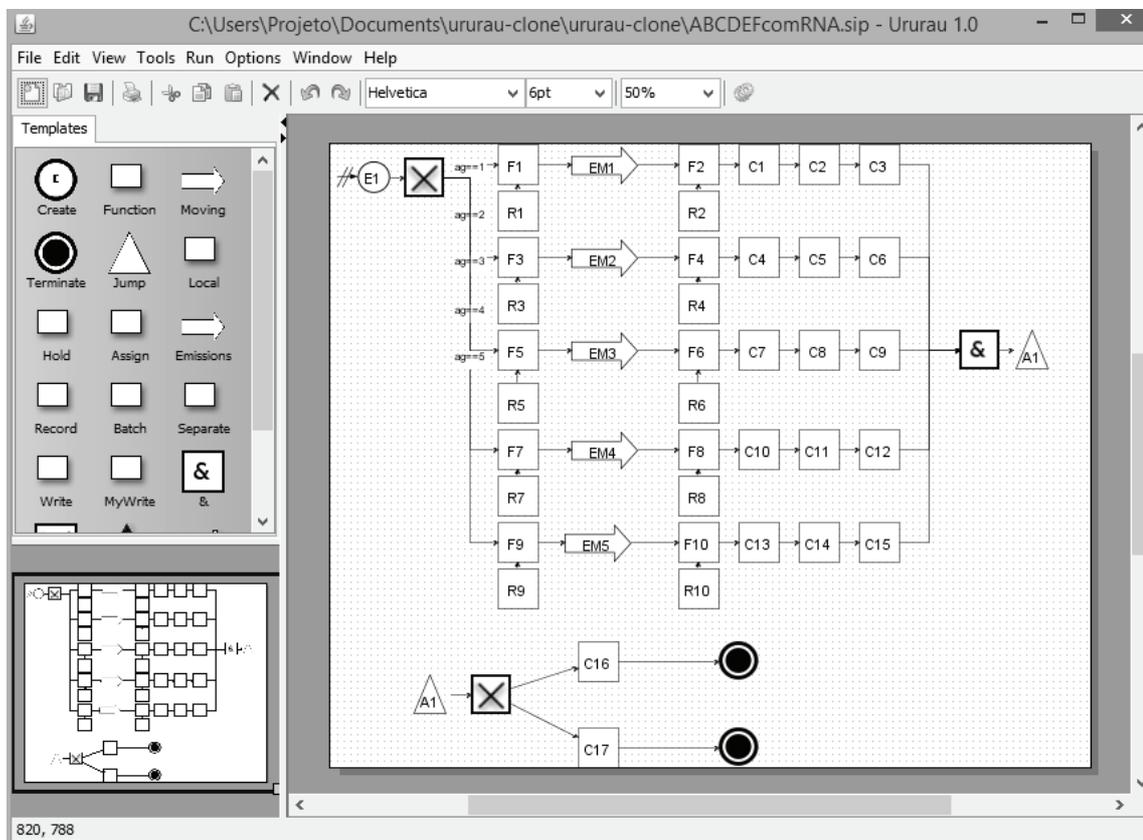


Figura 18: Modelo de simulação que representa os fornecedores A, B, C, D e E, a fábrica F.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

O módulo E1 é responsável pela geração das entidades, nela as entidades são inseridas no modelo a cada 1 hora. Em seguida está o módulo onde o otimizador atua, identificado com o X. Neste ponto, o módulo otimizador escolhe por onde o fluxo de entidades vai passar. Esse controle é feito através da variável “ag”, esta assume um valor entre 1, 2, 3, 4 ou 5, que representam os diferentes caminhos possíveis. Esses caminhos representam os fornecedores. A decisão de escolha por um deles é norteada pela função objetivo do módulo otimizador, nesse caso essa função busca maximizar as aprovações das entregas. Os módulos F1, F3, F5, F7 e F9 são funções que representam o carregamento dos caminhões nos fornecedores e R1, R3, R5, R7 e R9 representam as equipes de carregamento. Os módulos EM1, EM2, EM3, EM4 e EM5 representam a movimentação dos caminhões dos fornecedores até a fábrica, eles também efetuam o cálculo de emissões totais de cada fornecedor. Na sequência estão os módulos F2, F4, F6, F8 e F10 que são funções de descarregamento dos caminhões na fábrica e R2, R4, R6, R8 e R10 são as equipes de descarregamento. Os módulos C1, C4, C7, C10 e C13 são responsáveis por calcular os custos das entregas dos fornecedores. Os módulos C2, C5, C8, C11 e C14 contam as entidades e C3, C6, C9, C12 e C15 calculam as emissões por entrega. O módulo com o “&” conecta o fluxo e A1 faz um “salto” até o outro A1. Logo após o segundo A1 está o módulo onde opera a decisão referente à aprovação ou reprovação das entregas. Esta classificação tem como base as emissões de gases de cada entrega e o custo de cada uma, ora feita por lógica ora por RNA. Os módulos C13 e C14 fazem a contagem das entregas aprovadas e reprovadas respectivamente.

Os parâmetros detalhados de cada módulo podem ser observados no Apêndice A. No que se refere ao tempo do percurso e aos custos foram adotadas funções normais para representar o seu comportamento. As médias dos custos foram arbitradas para serem inversamente proporcionais ao tempo de entrega. Os desvios padrões adotados para as funções de distribuição relativas aos deslocamentos e aos custos foram também arbitradas, em 10% das médias obtidas no Quadro 3.

4.2: PARÂMETROS DOS MODELOS

Os modelos de simulação apresentados neste trabalho foram executados em uma máquina Dell Inspiron com processador Intel® Core™ i3-4130 CPU@3,4GHz e sistema operacional Windows 8.1 64bits.

As rodadas dos experimentos no simulador foram feitas com 50 replicações. Para chegar a esse número foram executadas sucessivas simulações do cenário com os fornecedores A e B e a fábrica F, a fim de monitorar o comportamento das variáveis de resposta a cada incremento do número de replicações.

Cada uma das rodadas de simulação foi executada com 720h, equivalente ao período de 30 dias com turnos de 24 horas. O tempo de processamento para as rodadas de simulação dos modelos foram de, aproximadamente, 20 minutos. Vale ressaltar que sem os módulos de decisão com otimizador e RNA esse tempo cai para, aproximadamente, 1 minuto.

4.3: EXPERIMENTOS SIMULADOS

Os experimentos realizados foram divididos em duas partes: testes preliminares e experimentos com RNA. Os testes preliminares foram realizados com a intenção de verificar o correto funcionamento do Ururau e suas funcionalidades, principalmente a decisão inteligente com RNA. Posteriormente, foram realizados os experimentos com RNA aumentando o grau de dificuldade das decisões do modelo para observar os resultados e efetuar as análises.

4.3.1: Testes Preliminares

Para a realização dos experimentos simulados primeiro foram executadas as simulações de cada um dos fornecedores. Isto foi feito para que fossem medidas as variáveis usadas como parâmetros para a decisão nos modelos, são elas: as emissões por entrega e o custo médio das entregas. A Figura 19 mostra estas variáveis de cada fornecedor.

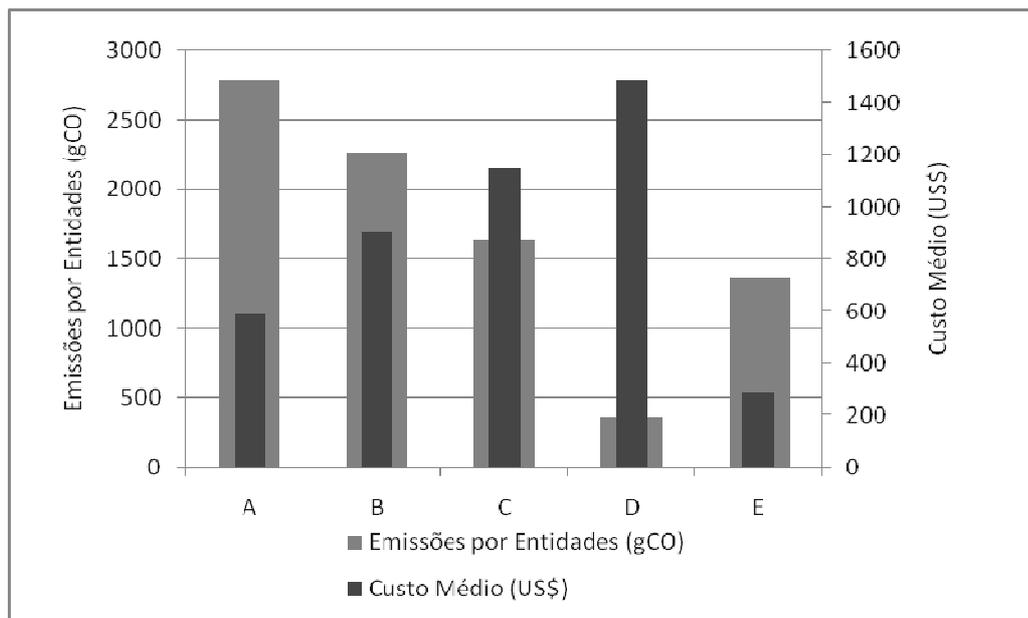


Figura 19: Emissões por entidade e custo médio de entrega dos fornecedores A, B, C, D e E em gCO.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

Após esta etapa foram feitas as simulações dos cenários conforme o modelo mostrado na Figura 18, onde cada cenário foi simulado com diferentes arranjos de fornecedores. A Tabela 1 mostra os resultados dessas simulações. Nela podem-se observar os cenários, o grupo de fornecedores utilizados em cada cenário, o tipo de decisão que foi usada e os parâmetros do fornecedor escolhido. Desta forma, os parâmetros do fornecedor escolhido englobam: as emissões totais, emissões por entidades e o custo médio das entregas. Após cada uma dessas variáveis pode-se observar seus respectivos desvios-padrões.

Tabela 1: Cenários, fornecedores utilizados em cada cenário, tipo de decisão usada, fornecedor escolhido, emissões totais e por entidades, custo médio.

Cenários	Fornecedores	Decisão	Escolhido	Emissões Totais (gCO)	Desvio Padrão	Emissões por Entidade (gCO)	Desvio Padrão	Custo Médio (US\$)	Desvio Padrão
1	A e B	Lógica	B	318041,55	12406,033	2266,64	33,591	901,71	18,367
		RNA							
2	A,B e C	Lógica	C	231500,58	9251,295	1642,226	27,453	1150,27	73,788
		RNA							
3	A,B,C e D	Lógica	D	50885,03	1995,101	357,393	5,491	1485,69	174,78
		RNA							
4	A,B,C,D e E	Lógica	D	50885,03	1995,101	357,393	5,491	1485,69	174,78
		RNA							

Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

Além disso, a Tabela 2 apresenta o número de entidades que trafegaram no sistema e a quantidade de entregas aprovadas e reprovadas pela fábrica também referentes ao fornecedor escolhido e seus desvios-padrões.

Tabela 2: Cenários, fornecedores utilizados em cada cenário, tipo de decisão usada, fornecedor escolhido, número de entidades totais, número de aprovados e reprovados.

Cenários	Fornecedores	Decisão	Escolhido	Entidades	Desvio Padrão	Aprovados	Desvio Padrão	Reprovados	Desvio Padrão
1	A e B	Lógica	B	139,6	4,891	96,26	11,095	43,34	12,412
		RNA				124,96	5,664	14,64	4,198
2	A,B e C	Lógica	C	140,24	5,004	116,14	7,618	24,1	7,678
		RNA				129,78	5,762	10,46	3,693
3	A,B,C e D	Lógica	D	141,76	4,984	131,9	6,434	9,86	4,936
		RNA				124,1	6,122	17,66	5,531
4	A,B,C,D e E	Lógica	D	141,76	4,984	131,9	6,434	9,86	4,936
		RNA				126,66	6,009	15,1	5,132

Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

4.3.2: Experimentos com RNA

Após a etapa dos testes preliminares foram feitas as simulações dos cenários adotando peso igual para as emissões de gases e custos das entregas, aumentando assim a complexidade das decisões. Nesta etapa somente a decisão inteligente com o módulo RNA foi utilizada para aprovar ou reprovar as entregas, uma vez que foi comprovada a correta classificação feita por este módulo.

A Tabela 3 apresenta os resultados das simulações conforme o modelo mostrado na Figura 18, onde cada cenário foi simulado com os diferentes arranjos de fornecedores. Nela podem ser observados os mesmos parâmetros da Tabela 1: os cenários, o grupo de fornecedores utilizados em cada cenário e o fornecedor escolhido, as emissões totais, as emissões por entidades e o custo médio das entregas e seus desvios-padrões. A exceção é que a Tabela 3 não mostra o tipo de decisão usada, pois em todos os casos foi utilizado o módulo de decisão inteligente com RNA.

Tabela 3: Cenários, fornecedores utilizados em cada cenário, fornecedor escolhido, emissões totais e por entidades e custo médio.

Cenários	Fornecedores	Escolhido	Emissão Total (gCO)	Desvio padrão	Emissões por entidades (gCO)	Desvio padrão	Custo Médio (US\$)	Desvio padrão
1	A e B	A	393,237.59	14,601.203	2,812.2	31.315	616.23	97.417
2	A,B e C							
3	A,B,C e D							
4	A,B,C e E	E	193,193.16	8,960.913	1,367.64	37.223	287.48	61.773
5	A,B,C,D e E							

Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

A Tabela 4, assim como a Tabela 2, apresenta o número total de entidades que trafegaram no sistema e a quantidade de entregas aprovadas e reprovadas pela fábrica referentes ao fornecedor escolhido e seus desvios-padrões. Como a Tabela 3, a Tabela 4 não mostra o tipo de decisão usada, pois em todos os casos foi utilizado o módulo de decisão inteligente com RNA.

Tabela 4: Cenários, fornecedores utilizados em cada cenário, fornecedor escolhido, emissões totais e por entidades, custo médio, número de entidades totais, número de aprovados e reprovados.

Cenários	Fornecedores	Escolhido	Entidades	Desvio padrão	Aprovados	Desvio padrão	Reprovados	Desvio padrão
1	A e B	A	139.08	4.882	115.66	5.389	23.42	4.607
2	A,B e C				119.3		19.78	
3	A,B,C e D				118.46		20.62	
4	A,B,C e E	E	140.46	5.035	140.26	5.022	0.2	0.404
5	A,B,C,D e E				140.28		0.18	

Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

A Figura 20 mostra uma comparação entre os parâmetros dos fornecedores escolhidos com os diferentes treinamentos da rede. Desta forma, são apresentados as emissões totais e os custos médios dos fornecedores D e E, que são respectivamente o melhor entre os fornecedores apontado pela rede quando o treinamento focava as emissões gasosas e o melhor quando o treinamento deu ênfase igual entre as emissões e os custos.

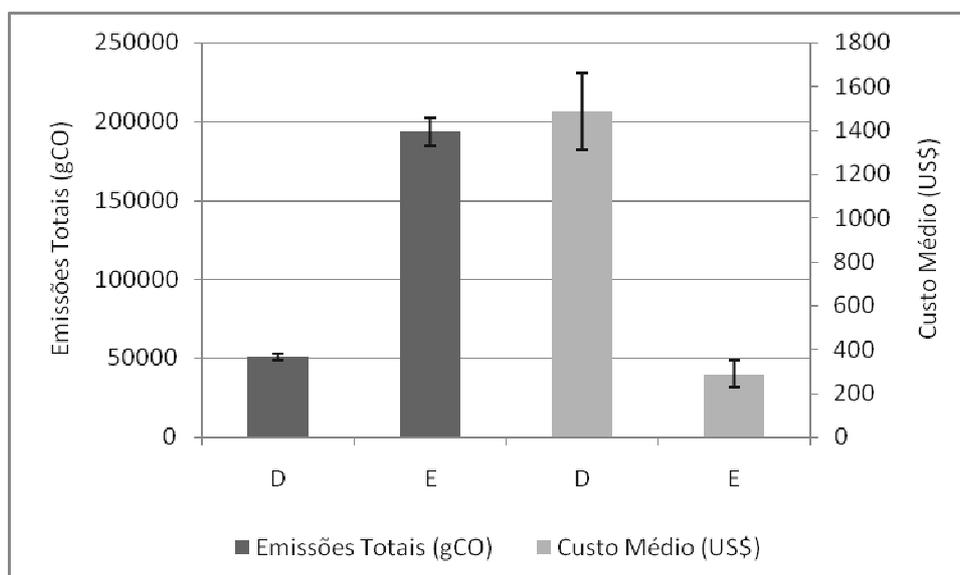


Figura 20: Comparação dos parâmetros de emissões totais e custos médios dos fornecedores escolhidos com os diferentes treinamentos da rede.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

4.4: ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nos testes preliminares é possível observar por meio da Figura 19 que a escolha da localização das cidades foi realizada de forma a demonstrar a capacidade do software em apresentar os resultados óbvios esperados. Por exemplo, quando a escolha estava entre o fornecedor A e o fornecedor B e o foco foram as emissões, o fornecedor B deveria ser o escolhido, pois apresenta menor emissão de gases. Desta forma, as emissões estão relacionadas com a distância entre os fornecedores e a fábrica, quanto menor a distância, menor a emissão de gases.

Ainda sobre os testes preliminares é possível observar na Figura 19 que os custos são inversamente proporcionais as emissões. No entanto, observando o fornecedor E, pode ser verificado que ele possui maior equilíbrio entre esses dois parâmetros. Os parâmetros de emissões e custos foram adotados desta forma para que os resultados dos testes preliminares fossem óbvios. Assim foi possível determinar se o software Ururau estava respondendo corretamente de acordo com a lógica do sistema proposto.

Desta forma, nas Tabelas 1 e 2, as decisões com a lógica booleana levaram em consideração somente as emissões por entidade dos fornecedores. Já as decisões com o módulo de decisão com RNA, além das emissões, também consideravam os custos. Nesta etapa, porém a decisão do módulo com RNA dava maior ênfase às emissões, ou seja, a decisão com inteligência computacional dava maior prioridade, ou peso, para as emissões do que para os custos neste caso. Isto foi feito para mostrar que a decisão com o módulo com RNA está sendo feito de forma correta pelo software, uma vez que tanto a decisão com lógica quanto com o módulo RNA apontaram a mesma escolha. Assim, é possível observar que a escolha dos fornecedores está condizente com a lógica, ou seja, sempre foi escolhido o fornecedor com a menor emissão de gases.

Alguns parâmetros tem valores repetidos nas Tabelas 1 e 2, isso se dá pela escolha do mesmo fornecedor sendo o mais adequado, tanto no uso da lógica quanto no uso da RNA. No entanto, a quantidade de aprovações e reprovações se alterou conforme se alternava o tipo de decisão usada.

Já nos experimentos com RNA, os fornecedores escolhidos nas Tabelas 3 e 4 foram diferentes dos escolhidos na Tabela 1 e 2. Isto se deve a mudança no

treinamento do módulo de decisão com RNA, que nesta etapa analisou com pesos iguais os parâmetros de emissões de gases e custos médios das entregas. Desta forma, pode ser observado que o fornecedor E foi o melhor fornecedor com o novo treinamento da rede. Por meio da Figura 19 nota-se que o fornecedor E possui uma melhor relação entre emissões por entregas e custos médio por entregas do que os demais fornecedores. Quando este fornecedor não está disponível o fornecedor A foi o escolhido nos demais arranjos de fornecedores.

Assim como nas Tabelas 1 e 2 alguns parâmetros tem valores repetidos nas Tabelas 3 e 4 nos itens que independem das decisões tomadas nos modelos.

Em sistemas com uma lógica de maior complexidade, o módulo com a RNA pode facilitar a construção do modelo, permitindo modelar decisões com maior número de detalhes.

Os resultados dispostos na Figura 20 mostram que as emissões totais e os custos médios dos dois fornecedores escolhidos são quase opostos. Enquanto o fornecedor D possui uma melhor performance em relação as emissões, o fornecedor E possui custos menores. Isso mostra como diferentes comportamentos de um comprador podem ser emulados com redes neurais artificiais mudando apenas o treinamento da rede. Vale ressaltar que as RNA são capazes de similar comportamentos baseados em inúmeros parâmetros. Assim, em um exemplo real deve-se considerar uma gama maior de parâmetros para a decisão como: tempo de transporte, confiabilidade das entregas, flexibilidade dos fornecedores, qualidade do material, etc.

5: CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1: CONCLUSÕES

Este estudo apresentou modelos de simulação com aspectos de inteligência computacional para modelar sistemas logísticos e analisar as emissões de gases do efeito estufa proveniente dos veículos da frota. Desta forma, foi realizada uma aplicação do software Ururau com as funcionalidades de cálculo de emissões, decisão com otimizador e Redes Neurais Artificiais (RNA), onde foi possível realizar interações entre os mesmos. Assim, foi elaborado, descrito e modelado um sistema logístico hipotético para testar e demonstrar essas funções do software. Para validar as funções, principalmente a decisão com RNA, estabeleceu-se parâmetros de forma que o melhor resultado fosse óbvio. Assim, os resultados gerados foram analisados para avaliar se estavam dentro do esperado.

Após os testes preliminares apontarem o correto funcionamento da decisão inteligente com RNA no software Ururau, esta foi utilizada em modelos mais complexos. Isto foi feito tornando a decisão mais difícil para a rede, neste caso colocando pesos iguais entre emissões e custos na decisão. Os novos resultados mostram decisões diferentes, ou seja, no mesmo arranjo de fornecedores a escolha variou conforme o foco e treinamento da rede.

Desta forma, foi demonstrado que as emissões de gases geradas na movimentação de bens por malhas logísticas varia dependendo da localização dos fornecedores e do tempo até a entrega. Assim, as diferenças nas preferências do cliente quanto ao tempo de entrega e custos afetam a escolha dos fornecedores e, em consequência, as emissões provocadas pelos veículos da frota no sistema de

transporte de carga durante uma operação de compra.

Estes primeiros resultados envolvendo emprego de modelos de simulação com decisão através de algoritmos de inteligência computacional no Ururau mostraram a possibilidade de aplicação deste recurso no software. Além disso, o uso do módulo *Emissions* possibilita efetuar o cálculo de emissões de CO de forma rápida e prática. Assim, este trabalho apresenta uma aplicação com o software Ururau. O mesmo é apresentado como uma ferramenta viável, sem custos de licença, de fácil utilização e recomendado para estudantes e pequenas empresas interessadas em avaliar as emissões provocadas pelo transporte de cargas sem comprometer grande investimento financeiro. No entanto, existe ainda a necessidade de realizar mais testes e experimentos a fim de comprovar a eficácia e robustez do software para resolver problemas utilizando as ferramentas apresentadas. Foi observado que o software pode ser melhorado na função de cálculo de emissões de gases, permitindo que o usuário insira uma fórmula personalizada, e na função de decisão inteligente com RNA, permitindo uma maior flexibilidade na configuração da rede.

Destaca-se ainda que os trade-offs entre emissão de gases, tempo de entrega e custos podem ser uma informação útil no momento da venda de um determinado produto pelas empresas. Ou seja, um consumidor pode ser informado, por exemplo, que a escolha por uma entrega mais rápida e mais cara do produto comprado pode estar causada maior emissão de gases do efeito estufa durante o transporte da carga. Diante desta informação, um consumidor mais consciente pode optar por esperar um tempo maior pelo produto e tomar, assim, uma decisão mais sustentável para o planeta.

5.2: LIMITAÇÕES DO TRABALHO

O trabalho se limita a utilizar cenários hipotéticos de sistemas logísticos. Mesmo utilizando dados referentes a distâncias e tempos reais, os cenários não representam um sistema real.

Em relação ao cálculo de emissões de gases do efeito estufa, o software disponibiliza somente o total de CO emitido e desconsidera os demais gases. Pois, com as emissões desse gás é possível monitorar também a emissão dos outros.

Não foi verificada qual a melhor configuração da rede neural artificial, em termos de número de neurônios nas camadas ocultas e quantidade de camadas ocultas, que poderia tornar a rede mais rápida em consequência as rodadas de simulação também.

Não foram realizados testes exaustivos com o software Ururau, representado outra limitação do estudo. O software Ururau é uma nova ferramenta e está em constante desenvolvimento, assim inicialmente a proposta deste estudo era verificar o comportamento do software neste tipo de análise.

5.3: SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros sugere-se a utilização do Ururau com os módulos de otimização, emissões de gases e redes neurais artificiais em um sistema logístico real. Também, a comparação dos resultados obtidos em sistemas reais com os apresentados nesse estudo.

Outro estudo que pode ser desenvolvido é a utilização do Ururau com outras metodologias de cálculo de emissões, abrangendo mais gases do efeito estufa além do CO₂. Ainda sobre este assunto, sugere-se pesquisar a relevância da questão das emissões como elemento de trade-off na visão dos empresários.

Além disso, sugere-se para trabalhos futuros tornar as configurações da rede neural no software Ururau mais flexíveis, uma vez que este só permite um número limitado de neurônios nas camadas de entrada e saída.

Por fim, sugere-se analisar o comportamento dos motoristas na condução dos veículos da frota para investigar como isso afeta as emissões totais dos sistemas logísticos. E, se clientes com consciência ambiental podem afetar o total de emissões gerados em um sistema logístico optando por compras em lotes maiores.

6: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACACCIA, G. M.; MICHELINI, R. C.; QUALICH, N. Sustainable engineering management: end-of-life vehicles with recovery in mind. **World Review of Science, Technology and Sustainable Development**, New York, v. 4, n. 2, p. 105-125, 2007. Disponível em: <<http://www.inderscience.com>>. Acesso em: 15 nov 2015.

ADHITYA, A., HALIM, I., SRINIVASAN, R. Decision support for green *supply chain* operations by integrating dynamic simulation and LCA indicators: diaper case study. **Environ SciTechnol**, New York, 2011, v. 45, n. 23, p. 10178–10185. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es201763q>>. Acesso em: 15 maio 2015.

AGUILAR, S. M. S. et al. Avaliação dos benefícios da aplicação da simulação, através do software arena 10.0, em uma empresa de transporte ferroviário. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 24, 2009, 17-19 maio Salvador-BA. **Anais...** Rio de Janeiro: ABEPRO, 2010.

BANKS, J.; CARSON, J. S.; NELSON, B. L.; D. M. Nicol. **Discrete-Event System Simulation**. 5 ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice hall, 2010.

BELGE CONSULTORIA . **ProModel**. Disponível em: <<http://www.belge.com.br/promodel-intro.php>>. Acesso em: 23 nov 2015.

BERGMANN, S., STELZER, S., STRASSBURGE, R. S. On the Use of artificial neural networks in simulation-based manufacturing control. **Jornal of Simulation**, New York, v.8,p.76-90, 2014. Disponível em: <<http://www.ingentaconnect.com/content/pal/jos/2014/00000008/00000001/art0000>>. Acesso em: 15 maio 2015.

BERTO, R. M. V. S., NAKANO, D. N. A produção científica nos anais do encontro nacional de engenharia de produção: um levantamento de métodos e tipos de

pesquisa. **Revista Produção**, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 65-76, jul-dez, 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65131999000200005>. Acesso em: 15 maio 2015.

BRUZZONE, A. G. V. S; et al. Logistics node simulator as enabler for supply chain development: innovative portainer simulator as the assessment tool for human factors in port cranes. **Simulation**, New York, v. 87, p. 857-874, jul-dez, 2011. Disponível em: <<http://sim.sagepub.com/content/early/2011/08/03/0037549711418688.abstract>>. Acesso em: 15 maio 2015.

BUIL R., PIERA M. A., LASERNA, T. Operational and strategic supply model redesign for an optical chain company using digital simulation. **Simulation**, New York, v. 87, n. 2, p. 668-679, jul-dez, 2010. Disponível em: <<http://sim.sagepub.com/content/early/2010/03/09/0037549710365752>>. Acesso em: 15 maio 2015.

BYRNE, P.J.; HEAVEY C.; RYAN P.; LISTON, P. Sustainable *supply chain* design: capturing dynamic input factors. **Journal of Simulation**, New York, v. 4, n. 4, p. 213–221, 2010. Disponível em: <<http://www.palgrave-journal.com>>. Acesso em: 15 nov 2015.

CAN, B; BEHAM, A; HEAVEY, C.A. Comparative study of genetic algorithm components in simulation-based optimization. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 40, 2010, Piscataway, New Jersey. **Proceedings...** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011. p. 1829-1837.

CARDOSO, L. D. D., RANGEL, J. J. D. A., SHIMODA, E. Simulação computacional para análise do transporte de tijolos produzidos no norte do Estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 2, p. 216-229, 2012. Disponível em: <<http://www.podesenvolvimento.org.br/inicio/index.php?journal=podesenvolvimento&page=article&op=view&path%5B%5D=142>>. Acesso em: 15 nov 2015.

CARVALHO, M., et al. Otimização em modelos de simulação: um estudo comparativo envolvendo métodos de otimização não lineares baseados em algoritmos genéticos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 43, 2011, 15-18 ago, Ubatuba-SP. **Anais...** Rio de Janeiro: SOBRAPO, 2012. p. 2503-2514.

CIRCLLIES, J; SCHWEDE, C; TOTH, M. Infra-simulative ecological assessment of logistics networks: benefits, concept and tool enhancement. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 42, 2012, Piscataway, New Jersey. **Proceedings...**

Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2013. p. 1-12.

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações**. 3. ed. São Paulo: Bravarte, 2010.

DAGKAKIS, G., HEAVEY, C. A review of open source discrete event simulation software for operations research. **Journal of Simulation**, New York, n.06, jun 2015. Disponível em: <<http://www.resaercgate.net>>. Acesso em: 19 jun 2015. DOI: 10.1057/jos.2015.9

FAKHIMI, M.; et al. A review of literature in modeling approaches for sustainable development. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 43, 2013, Piscataway, New Jersey. **Proceedings...** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2014. p. 282-290.

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

GHOREISHI-MADISEH, S. A.; HASSANI, F. P.; MOHAMMADIAN, A.; RADZISZEWSKI, P. H. A transient natural convection heat transfer model for geothermal borehole heat exchangers. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, v. 5 n. 4, p.043104, 2013. Disponível em: <<http://www.scitation.aip.org>>. Acesso em: 19 out 2015

GOLDSMAN, D. A.; NANCE, R. E.; WILSON, J. R. A Brief History of Simulation Revisited. In WINTER SIMULATION CONFERENCE, 40, 2010, Piscataway, New Jersey. **Proceedings...** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011, p. 310-313.

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://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092658051200026X>>. Acesso em: 19 out 2015

GUTENSCHWAGER, et al. A data model for carbon footprint simulation in consumer goods supply chains. In WINTER SIMULATION CONFERENCE: SIMULATION: MAKING DECISIONS IN A COMPLEX WORLD, 2013, dec 08 - 11, Washington, DC, USA. **Proceedings...** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE Press, 2014, p. 2677-2688. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2675983&picked=prox>>. Acesso em: 19 out 2015

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

INTERANTIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Key World Energy Statistics 2014**: CO2 emissions from fuel combustion-highlights. Disponível em: <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsFromFuelCombustionHighlights2014.pdf>>. Acesso em: 27 fev 2015.

JAEGLER, A.; BURLAT, P. Carbon friendly supply chains: a simulation study of different scenarios. **Production Planning and Control**, v. 23, p. 269–278, 2012. Disponível em: <<https://theses.lib.vt.edu/theses/available/etd-09042003-192049/unrestricted/Thesis.PDF>>. Acesso em: 27 fev 2015.

_____; _____. 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.reach-unlimited.com/p/343565141/refrigeration-without-electricity--diy-solutions-for-cold-storage.#sthash.PREI3GiP.dpuf>>. Acesso em: 27 fev 2015.

JAIN, Sanjay; LINDSKOG, Erik; JOHANSSON, Björn. *Supply chain carbon footprint tradeoffs using simulation*. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 42, 2013, Piscataway, New Jersey. **Proceedings...** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE Press, 2014. p. 1996-2007.

KING D. H; HARRISON H. S. Open-Source Simulation Software JAAMSIM. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2013, Piscataway, New Jersey. **Proceedings...** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2014. p. 2163-2171.

KUHL, Michael E.; ZHOU, Xi. Sustainability toolkit for simulation-based logistics decisions In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2009, Piscataway, New Jersey. **Proceedings...** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2010. p.1466-1473.

LACERDA, E. G. M.; CARVALHO, A. C. P. L. F. introdução aos algoritmos genéticos. In: GALVÃO, C. de Oliveira. **Sistemas inteligentes: aplicações a recursos hídricos e ciências ambientais**. Natal-RN: EDUFRN, 1999. p. 99-148. V.1

LAREK, R; et al. A discrete-event simulation approach to predict power consumption in machining processes. **Production Engineering**, New Jersey, v. 5, n.5, p. 575–579, 2011. Disponível em: < <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11740-011-0333-y> >. Acesso em: 27 fev 2015.

LONGO, Francesco. Sustainable supply chain design: an application example in a local business retail. **Simulation**, New York, v. 88, n.12, p. 1484–1498, 2012. Disponível em: <<http://sim.sagepub.com/content/early/2012/10/02/0037549712458983.abstract>>. Acesso em: 27 fev 2015.

LUDWIG J.R., O. COSTA, E. M. M. **Redes neurais: fundamentos e aplicações com programas em C**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2007.

MATTILA, Thomas; ANTIKAINEN, Riina. Backcasting sustainable freight transport systems for Europe in 2050. **Energy Policy**, New Jersey, v. 39, n. 3, p. 1241-1248, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030142151000875X>>. Acesso em: 27 fev 2015.

MCNALLY, P; CATHAL, H. Developing simulation as desktop resource. **International of Computer Integrated Manufacturing**, New Jersey, v. 17, n. 5, p. 435-450, 2011. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09511920310001654283?journalCode=tcim20#.Vs8qevkrLIU>>. Acesso em: 27 fev 2015.

MENDONÇA, M. M., MONTEVECHI, J. A. B., MIRANDA, R. C. Aplicação da modelagem conceitual idf-sim ao software de modelagem computacional Simul8: um caso prático. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 33, 2013, 08-11 OUT, Salvador-BA. **Anais...** Rio de Janeiro: ABEPRO, 2014. p. 1-20. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_TN_STO_182_040_22541.pdf>. Acesso em: 27 fev 2015.

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, p 340-350, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527312002174>>. Acesso em: 27 fev 2015.

MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Revista Produção**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 216-229, jan-abr, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132007000100015>. Acesso em: 27 fev 2015.

MILLER, Geoff; JANICE, Pawloski; CHARLES, Standridge. A Case study of lean, sustainable manufacturing. **Journal of Industrial Engineering and Management**,

New York, v.3, p.11–32, 2010. Disponível em: <<http://upcommons.upc.edu/handle/2099/9211>>. Acesso em: 27 fev 2015.

MIZUTA, H; YAMAGATA, Y; SEYA, H. Large-scale traffic simulation for low-carbon city. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 42, 2012, Piscataway, New Jersey. **Proceedings...** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2013. p. 1-12.

MONTEVECHI, J.A.B.; LEAL, F.; PINHO, A.F.; COSTA, R.F.S; OLIVEIRA, M.L.M.; SILVA, A.L.F. Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: An application in a Brazilian tech company. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2010, Piscataway, New Jersey. **Proceedings...** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011. p.1624-1635.

PARAGON TECNOLOGIA. Introdução à Simulação com Arena. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 15, 2005, 29 ou - 01 nov, Porto Alegre. **Anais** Rio de Janeiro: ABEPRO, 2006

PEIXOTO, T. A., RANGEL, J. J. D. A., MATIAS, Í. D. O. Free and open-source simulation software “Ururau”. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 44, 2014, Savannah, GA-USA. **Proceedings...** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2015. p.4097-4098.

PENG, Tao; XUN Xu. Energy-Efficient Machining Systems: a critical review. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, New York, v. 72, n.9, p.1389–1406, 2014. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s00170-014-5756-0>>. Acesso em: 27 fev 2015.

POLLOCK, J; HO; S. V.; FARID, S. S. Computer-Aided Design and Evaluation of Batch and Continuous Multi-Mode Biopharmaceutical Manufacturing Processes. In: EUROPEAN SYMPOSIUM ON COMPUTER AIDED PROCESS ENGINEERING, 2012, Amsterdam .**Proceedings...** New York, US: Elsevier Science, 2013.p.487–491. Disponível em: <<http://discovery.ucl.ac.uk/1413320/>>. Acesso em: 27 fev 2015.

_____; _____. Fed-batch and perfusion culture processes: economic, environmental, and operational feasibility under uncertainty. **Biotechnology and Bioengineering**, New York, v. 110, p. 206–19, 2013. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bit.24608/full>>. Acesso em: 27 fev 2015.

PONSIGNON, T; MONCH, L. Simulation-based performance assessment of master planning approaches in semiconductor manufacturing. **Omega**, New York, v.46, p.21–35, 2014. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305048314000061>>. Acesso em: 27 fev 2015.

RABE, M; et al. An approach for increasing flexibility in green supply chains driven by simulation". In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 42, 2012, Piscataway, New Jersey. **Proceedings...** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2013. p.4673-4781.

RANGEL, João José Assis; CORDEIRO, ACA. Free and open-source software for sustainable analysis in logistics systems design. **Journal of Simulation**, New York, v.9, p.27-42, 2015. Disponível em: <<http://www.palgrave-journals.com/jos/journal/v9/n1/abs/jos201417a.html>>. Acesso em: 27 fev 2015.

RICHARDSON, B.C. Sustainable transport: analysis framework. **Journal of Transport Geography**, New York, v.13, n. 1, p.29–39, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966692304000857>>. Acesso em: 27 fev 2015.

RIOS, Pedro; STUART, Julie Ann; GRANT, E.D. Plastics disassembly versus bulk recycling engineering design for end-of-life electronics resource recovery. **Environmental Science and Technology**, New York, v.37, n. 23, p.5463–5470, 2003. Disponível em: <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00546042>>. Acesso em: 27 fev 2015.

ROBISON, M.D; et al. Modelling and improving human decision making with simulation. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 31, 2001, Piscataway, New Jersey. **Proceedings...** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2002. p.913-920.

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 Modeling**, New York, v.4, n.1 p.69-87, 2008. Disponível em: <<http://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJSPM.2008.020614>>. Acesso em: 27 fev 2015.

SEAY, J. R.; BADURDEEN, F. F. Current trends and directions in achieving sustainability in the biofuel and bioenergy supply chain. **Current Opinion in Chemical Engineering**, New York, v.6, p.55-60, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221133981400077X>>. Acesso em: 27 fev 2015.

SHARDA, B; S. J., BURY. Evaluating Production improvement opportunities in a chemical plant: a case study using discrete event simulation. **Journal of Simulation**,

New York, v.6, n.2, p. 81-91, 2012. Disponível em: <<http://www.palgrave-journals.com/jos/journal/v6/n2/abs/jos201120a.html>>. Acesso em: 27 fev 2015.

SILVA, C; ROSS, M; FARIAS, T. Analysis and simulation of “low-cost” strategies to reduce fuel consumption and emissions in conventional gasoline light-duty vehicles. **Energy Conversion and Management**, New York, v.50, n.2, p.213-222, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890408003920>>. Acesso em: 27 fev 2015.

SILVA, D. V. C; et al. Modelos de simulação a eventos discretos com aspectos de decisão humana: uma aplicação com o Ururau. **PODes - Revista Eletrônica Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, v.4, n.3, p.339-355, 2012. Disponível em: <<http://www.podesenvolvimento.org.br/inicio/index.php?journal=podesenvolvimento&page=article&op=view&path%5B%5D=168>>. Acesso em: 27 fev 2015.

SILVA, F. F. **Simulação com otimização para análise de trade-offs de variáveis econômicas e ambientais em sistemas logísticos**. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Candido Mendes, Campos dos Goytacazes -RJ, 2016.

SILVA, M. G. D; et al. Decisão Com redes neurais artificiais em modelos de simulação a eventos discretos. **PODes - Revista Eletrônica Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 2, p. 299-317, 2014. Disponível em: <<http://www.podesenvolvimento.org.br/inicio/index.php?journal=podesenvolvimento&page=article&op=view&path%5B%5D=335>>. Acesso em: 27 fev 2015.

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

SOLDING, P; PETKU, D; MARDAN, N. Using simulationa for more sutainable production systems: methodologies and case studies. **International Journal of Sustainable Engineering**, New York, v. 2, n. 2, p. 111-122, 2009. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19397030902960994>>. Acesso em: 27 fev 2015.

SUNDARAKANI, B.; et al. Modeling carbon footprints across the supply chain. **International Journal of Production Economics**, New York, v. 128, n. 1, p. 43-50, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527310000289>>. Acesso em: 27 fev 2015.

TROMP, S. O.; et al. Quantitative microbial risk assessment for escherichia coli o157:h7, salmonella enterica, and listeria monocytogenes in leafy green vegetables consumed at salad bars, based on modeling supply chain logistics. **Journal of Food Protection**v. 73 n. 10, p. 1830–40, 2010. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21067671>>. Acesso em: 27 fev 2015.

TSUDA, Kazutoshi; et al. Potential accounting of regional biomass resource circulations in Japan: a prospective on regional rural–urban partnerships. **Environmental Development**, New York, v.9 n.1, p. 24–42, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211464513001255>>. Acesso em: 27 fev 2015.

UGARTE, Gustavo M.; GOLDEN, Jay S.; DOOLEY, Kevin J. Lean versus green: the impact of lean logistics on greenhouse gas emissions in consumer goods supply chains. **Journal of Purchasing and Supply Management**, New York, nov, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1478409215300042>>. Acesso em: 27 fev 2015.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). Kyoto Protocol. Disponível em: <http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php>. Acesso em: 22 maio 2015.

VAN DER VORST, J. G.; TROMP, S. O.; Zee, D. J. V. D. Simulation modelling for food supply chain redesign; integrated decision making on product quality, sustainability and logistics. **International Journal of Production Research**, New York, v.47 n.23, p.6611–31, 2009. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207540802356747>>. Acesso em: 22 maio 2015.

BYRNE, P.J.; HEAVEY C.; RYAN P.; LISTON, P. Sustainable *supply chain* design: capturing dynamic input factors. **Journal of Simulation**, New York, v. 4, n. 4, p. 213–221, 2010. Disponível em: <<http://www.palgrave-journal.com>>. Acesso em: 15 nov 2015.

CARVALHO MIRANDA, Rafael; PINHO, Alexandre Ferreira de; MONTEVECHI, José Arnaldo Barra. Otimização em modelos de simulação: um estudo comparativo envolvendo métodos de otimização não lineares baseados em algoritmos genéticos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 48, 211, Ubatuba-SP. **Anais....** Rio de Janeiro: SOBRAPO, 2012.

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso C. **Modelagem e simulação de eventos discretos**: teoria e aplicações. 3. ed. São Paulo: Bravarte, 2010.

CHOLETTE, Susan; VENKAT, Kumar. The energy and carbon intensity of wine distribution: A study of logistical options for delivering wine to consumers. **Journal of Cleaner Production**, New York, v. 17, n. 16, p. 1401-1413, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 15 nov 2015.

DAGKAKIS, G., HEAVEY, C. A review of open source discrete event simulation software for operations research. **Journal of Simulation**, New York, n.06, Jun, 2015. Disponível em: <<http://www.resaercgate.net>>. Acesso em: 19 jun 2015. DOI: 10.1057/jos.2015.9

DAWSON, P., AND SPEDDING, T. Simulation modelling and strategic change: Creating the sustainable enterprise. **Australasian Journal of Information Systems**, Sidnei, v. 16, n. 2, p.71–80, 2010. Disponível em: <<http://www.uow.edu.au>>. Acesso em: 19 out 2015

FAKHIMI, M.; et al. A review of literature in modeling approaches for sustainable development. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2013, Piscataway, New Jersey. **Proceedings...** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2014. p. 282-290.

FU M C; et al. Integrating optimization and simulation: research and practice. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2000, Piscataway, New Jersey. **Proceedings...** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2001, p.610-616.

_____. Optimization for Simulation: theory vs. practice. **Journal on Computing**, New York, v.14, n.3, p. 192-215, 2002. Disponível em: <<http://www.citesserx.psu.edu>>. Acesso em: 19 out 2015

GHOREISHI-MADISEH, S. A.; HASSANI, F. P.; MOHAMMADIAN, A.; RADZISZEWSKI, P. H. A transient natural convection heat transfer model for geothermal borehole heat exchangers. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, v. 5 n. 4, p.043104, 2013. Disponível em: <<http://www.scitation.aip.org>>. Acesso em: 19 out 2015

GOLDSMAN, D. A.; NANCE, R. E.; WILSON, J. R. A Brief History of Simulation Revisited. In WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2010, Piscataway, New Jersey. **Proceedings...** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011, p.567 – 574.

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://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092658051200026X>>. Acesso em: 19 out 2015

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

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Key World Energy Statistics 2014: CO2 emissions from fuel combustion-highlights**. Disponível em: <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsFromFuelCombustionHighlights2014.pdf>>. Acesso em: 27 fev 2015.

JAEGLER, A.; BURLAT, P. Carbon friendly supply chains: a simulation study of different scenarios. **Production Planning and Control**, v. 23, p. 269–278, 2012. Disponível em: <<https://theses.lib.vt.edu/theses/available/etd-09042003-192049/unrestricted/Thesis.PDF>>. Acesso em: 27 fev 2015.

_____; _____. 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.reach-unlimited.com/p/343565141/refrigeration-without-electricity--diy-solutions-for-cold-storage.#sthash.PREI3GiP.dpuf>>. Acesso em: 27 fev 2015.

JAIN, Sanjay; LINDSKOG, Erik; JOHANSSON, Björn. *Supply chain carbon footprint tradeoffs using simulation*. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2012, Piscataway, New Jersey. **Proceedings...** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2013. p.3168-3179.

KELTON, W. D; SADOWSKI, R. P; STURROCK, D. T. **Simulation with Arena**. 4 ed., New York, USA: Mc Graw Hill, 2007

KING D. H; HARRISON H. S. Open-Source Simulation Software JAAMSIM. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2013, Piscataway, New Jersey. **Proceedings...** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2014. p. 2163-2171.

KUHL, Michael E.; ZHOU, Xi. Sustainability toolkit for simulation-based logistics decisions. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2009, Piscataway, New Jersey. **Proceedings...** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2010. p.1466-1473.

LAW, A. M. **Simulation modeling & analysis**. 4.ed . New York, USA: McGraw-Hill, 2007.

_____; KELTON, W. D. **Simulation modeling and analysis**. 3.ed. New York, USA: McGraw-Hill, 2000.

_____. MCCOMAS, M. G. Simulation-Based Optimization. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2002, Piscataway, New Jersey. **Proceedings...** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2003. p.41-44.

LAREK, R; et al. A discrete-event simulation approach to predict power consumption in machining processes. **Production Engineering**, New Jersey, v. 5, n.5, p. 575–579, 2011. Disponível em: < <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11740-011-0333-y> >. Acesso em: 27 fev 2015.

LONGO, Francesco. Sustainable *supply chain* design: an application example in a local business retail. **Simulation**, New York, v. 88, n.12, p. 1484–1498, 2012. Disponível em: < <http://sim.sagepub.com/content/early/2012/10/02/0037549712458983.abstract> >. Acesso em: 27 fev 2015.

MATTILA, Tuomas; ANTIKAINEN, Riina. Backcasting sustainable freight transport systems for Europe in 2050. **Energy Policy**, New Jersey, v. 39, n. 3, p. 1241-1248, 2011. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030142151000875X> >. Acesso em: 27 fev 2015.

MCNALLY, Pat; CATHAL Heavey. Developing simulation as a desktop resource. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing** v.17, n.5, p.435–450, 2004. Disponível em: < http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09511920310001654283#.Vs30g_krLIU >. Acesso em: 27 fev 2015.

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, p 340-350, 2012. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527312002174> >. Acesso em: 27 fev 2015.

MILLER, Geoff; JANICE, Pawloski; CHARLES, Standridge. A Case Study of Lean, Sustainable Manufacturing. **Journal of Industrial Engineering and Management**,

v.3, p.11–32, 2010. Disponível em: < <http://upcommons.upc.edu/handle/2099/9211>>. Acesso em: 27 fev 2015.

MONTEVECHI, J.A.B.; LEAL, F.; PINHO, A.F.; COSTA, R.F.S; OLIVEIRA, M.L.M.; SILVA, A.L.F. Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: An application in a Brazilian tech company. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2010, Piscataway, New Jersey. **Proceedings...** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011. p.1624-1635.

NANCE, R. E.; SARGENT, R. G. Perspectives on the evolution of simulation. **Operations Research**, v50, p.161-172, 2002. Disponível em: <<http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/opre.50.1.161.17790>>. Acesso em: 27 fev 2015.

PARAGON TECNOLOGIA. Introdução à Simulação com Arena. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 15, 2005, 29 ou - 01 nov, Porto Alegre. **Anais** Rio de Janeiro: ABEPRO, 2006

PENG, Tao; XUN Xu. Energy-Efficient Machining Systems: a critical review. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, New York, v. 72, n.9, p.1389–1406, 2014. Disponível em: < <http://link.springer.com/article/10.1007/s00170-014-5756-0>>. Acesso em: 27 fev 2015.

PIECYK, Maja I.; MCKINNON, Alan C. Forecasting the carbon footprint of road freight transport in 2020. **International Journal of Production Economics**, New York, v.128, n.1, p.31-42, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527309003156>>. Acesso em: 27 fev 2015.

POLLOCK, J; HO; S. V.; FARID, S. S. Computer-Aided Design and Evaluation of Batch and Continuous Multi-Mode Biopharmaceutical Manufacturing Processes. In: EUROPEAN SYMPOSIUM ON COMPUTER AIDED PROCESS ENGINEERING, 2012, Amsterdam .**Proceedings...** New York, US: Elsevier Science, 2013.p.487–491. Disponível em: <<http://discovery.ucl.ac.uk/1413320/>>. Acesso em: 27 fev 2015.

_____.; _____.; _____. Fed-batch and perfusion culture processes: economic, environmental, and operational feasibility under uncertainty. **Biotechnology and Bioengineering**, New York, v. 110, p. 206–19, 2013. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bit.24608/full>>. Acesso em: 27 fev 2015.

RANGEL, João José Assis; CORDEIRO, ACA. Free and open-source software for sustainable analysis in logistics systems design. **Journal of Simulation**, New York, v.9, p.27-42, 2015. Disponível em: <<http://www.palgrave-journals.com/jos/journal/v9/n1/abs/jos201417a.html>>. Acesso em: 27 fev 2015.

_____; et al. Simulation Model in a Free and Open-Source Software for Carbon Monoxide Emissions Analysis. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2013, Piscataway, New Jersey. **Proceedings...** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2014. p.1624-1635.

RAMANATHAN, U.; BENTLEY, Y.; PANG, G. The role of collaboration in the UK green supply chains: an exploratory study of the perspectives of suppliers, logistics and retailers. **Journal of Cleaner Production**, v. 70, p.231–241, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261400170X>>. Acesso em: 27 fev 2015.

RIOS, Pedro; STUART, Julie Ann; GRANT, E.D. Plastics disassembly versus bulk recycling engineering design for end-of-life electronics resource recovery. **Environmental Science and Technology**, New York, v.37, n. 23, p.5463–5470, 2003. Disponível em: <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00546042>>. Acesso em: 27 fev 2015.

RIZET, Christophe, KEÏTA, Basile. Chaînes logistiques et consommation d'énergie : cas du yaourt et du jean. Rapport de recherche. **Sciences de l'environnement**, Paris, p.92, 2005. Disponível em: <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00546042>>. Acesso em: 27 fev 2015.

SEAY, J. R.; BADURDEEN, F. F. Current trends and directions in achieving sustainability in the biofuel and bioenergy supply chain. **Current Opinion in Chemical Engineering**, New York, v.6, p.55-60, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221133981400077X>>. Acesso em: 27 fev 2015.

SCHRIBER, T. J. **Simulation using GPSS**. New York, USA: Wiley, 1974.

SWAIN, J. J. Discrete event simulation software tools: a better reality. **OR/MS Today**, v.40, n.5, oct, 2013, p. 48-59. Disponível em: <<http://www.orms-today.org/orms-10-07/survey.html>>. Acesso em: 27 fev 2015.

SHARDA, B; S. J., BURY. Evaluating Production improvement opportunities in a chemical plant: a case study using discrete event simulation. **Journal of Simulation**,

New York, v.6, n.2, p. 81-91, 2012. Disponível em: <<http://www.palgrave-journals.com/jos/journal/v6/n2/abs/jos201120a.html>>. Acesso em: 27 fev 2015.

SOLDING, Petter; PETKU, D.; NAWZAD Mardan. Using simulation for more sustainable production systems: methodologies and case studies. **International Journal of Sustainable Engineering**, New York, v.2 n. 2, p. 11–22, 2009. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19397030902960994>>. Acesso em: 27 fev 2015.

SUNDARAKANI, B.; et al. Modeling carbon footprints across the supply chain. **International Journal of Production Economics**, New York, v. 128, n. 1, p. 43-50, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527310000289>>. Acesso em: 27 fev 2015.

TAVARES, E. R. **Modelagem e simulação para análise de emissões de gases dos veículos de carga em sistemas logísticos**. 2016, 83f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Candido Mendes, Campos dos Goytazes, RJ, 2016.

TAPLIN, David M.R; et al. Use of simulation and modelling to develop a sustainable production system. **Sustainable Development**, New York, v. 14, n. 3, p. 149-161, 2006. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sd.260/abstract>>. Acesso em: 27 fev 2015.

TROMP, S. O.; et al. Quantitative microbial risk assessment for escherichia coli o157:h7, salmonella enterica, and listeria monocytogenes in leafy green vegetables consumed at salad bars, based on modeling supply chain logistics. **Journal of Food Protection** v. 73 n. 10, p. 1830–40, 2010. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21067671>>. Acesso em: 27 fev 2015.

TSUDA, Kazutoshi; et al. Potential accounting of regional biomass resource circulations in Japan: a prospective on regional rural–urban partnerships. **Environmental Development**, New York, v.9 n.1, p. 24–42, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211464513001255>>. Acesso em: 27 fev 2015.

UGARTE, Gustavo M.; GOLDEN, Jay S.; DOOLEY, Kevin J. Lean versus green: the impact of lean logistics on greenhouse gas emissions in consumer goods supply chains. **Journal of Purchasing and Supply Management**, New York, nov, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1478409215300042>>. Acesso em: 27 fev 2015.

VAN DER VORST, J. G.; TROMP, S. O.; Zee, D. J. V. D. Simulation modelling for food supply chain redesign; integrated decision making on product quality, sustainability and logistics. **International Journal of Production Research**, New York, v.47 n.23, p.6611–31, 2009. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207540802356747>>. Acesso em: 22 maio 2015.

WANG, B.; SÉVERIN B.; MOON Y. B. Hybrid Modeling and Simulation for Complementing Lifecycle Assessment. **Computers and Industrial Engineering**, New York, v.69, p. 77–88, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/37788905_Simulation_modelling_for_food_supply_chain_redesign_integrated_decision_making_on_product_quality_sustainability_and_logistics>. Acesso em: 22 maio 2015.

WHITE JR, K. P., INGALLS, R. G. Introduction to simulation. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 39, 2009, Piscataway, New Jersey. **Proceedings...** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2010. p. 12-23.

ZHOU, Xi; KUHL, Michael E. Design and development of a sustainability toolkit for simulation. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2010, Piscataway, New Jersey. **Proceedings...** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011. p.1601-1612.

_____;_____. A sustainability toolkit for simulation: recent developments and future capabilities. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2011, Piscataway, New Jersey. **Proceedings...** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2012. p.850-858.

_____; PAN, Y; CHEN, Z. Green production-strategies and dynamics: a simulation based study. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 43, 2013, Piscataway, New Jersey. **Proceedings...** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2014. p.2097-2108.

APÊNDICE A - MÓDULOS DO URURAU COM DESCRIÇÃO E DADOS DE CONFIGURAÇÃO

Módulo	Nome	Descrição	Dados de Configuração
Create	E1	Responsável pela geração de entidades.	T. Chegadas: Const. (1 h) T. Prim. Chegada: 0.0 h Máx. Chegadas: Infinity
Loading Process	F1, F3, F5, F7 and F9	Executa um processo	Type: Expression Value: NORM(5,2)
Unloading Process	F2, F4, F6, F8 and F10	Executa um processo	Type: Expression Value: NORM(4,1.8)
Resource Team for Loading	R1, R3, R5, R7 and R9	Adiciona um recurso	Capacity 1
Resource Team for Unloading	R2, R4, R6, R8 and R10	Adiciona um recurso	Capacity 1
Emissions	EM1	Calcula as emissões	Variable name: em Time(h): NORM(15,1.5) Emissions coeficient: 1.5 Power: 136 Load(kg): 20000 Legal Combined Total Whole Weight(kg): 23000
Emissions	EM2	Calcula as emissões	Variable name: em

			<p>Time(h): NORM(12,1.2)</p> <p>Emissions coeficient: 1.5</p> <p>Power: 136</p> <p>Load(kg): 20000</p> <p>Legal Combined Total Whole Weight(kg): 23000</p>
Emissions	EM3	Calcula as emissões	<p>Variable name: em</p> <p>Time(h): NORM(9,0.9)</p> <p>Emissions coeficient: 1.5</p> <p>Power: 136</p> <p>Load(kg): 20000</p> <p>Legal Combined Total Whole Weight(kg): 23000</p>
Emissions	EM4	Calcula as emissões	<p>Variable name: em</p> <p>Time(h): NORM(2,0.2)</p> <p>Emissions coeficient: 1.5</p> <p>Power: 136</p> <p>Load(kg): 20000</p> <p>Legal Combined Total Whole Weight(kg): 23000</p>
Emissions	EM5	Calcula as emissões	<p>Variable name: em</p> <p>Time(h): NORM(7,0.7)</p> <p>Emissions coeficient: 1.5</p> <p>Power: 136</p> <p>Load(kg): 23000</p> <p>Legal Combined Total Whole Weight(kg): 23000</p>
Atribuição	C1	Adiciona uma variável ao modelo.	<p>Tipo: Variável</p> <p>Nome: custo</p> <p>Valor: NORM(600,60)</p>
Atribuição	C2, C5, C8,	Adiciona uma	Tipo: Variável

	C11 e C14	variável ao modelo.	Nome: entidades Valor: entidades+1
Atribuição	C3, C6, C9, C12, C15	Adiciona uma variável ao modelo.	Tipo: Variável Nome: emissoes_ind Valor: em/entidades
Atribuição	C4	Adiciona uma variável ao modelo.	Tipo: Variável Nome: custo Valor: NORM(900,90)
Atribuição	C7	Adiciona uma variável ao modelo.	Tipo: Variável Nome: custo Valor: NORM(1100,110)
Atribuição	C10	Adiciona uma variável ao modelo.	Tipo: Variável Nome: custo Valor: NORM(1500,150)
Atribuição	C13	Adiciona uma variável ao modelo.	Tipo: Variável Nome: custo Valor: NORM(300,30)
Atribuição	C16	Adiciona uma variável ao modelo.	Tipo: Variável Nome: approved Valor: approved+1
Atribuição	C17	Adiciona uma variável ao modelo.	Tipo: Variável Nome: disapproved Valor: disapproved +1
Jump	A1	Executa um "salto"	Origem
Jump	A1	Executa um "salto"	Destino
X (Decisor)	X1	Desvia a execução de uma função.	Tipo: AG N-way-by-condition Expression (1) if true: ag= 1

			<p>Expression (2) if true: ag= = 2</p> <p>Expression (3) if true: ag= = 3</p> <p>Expression (4) if true: ag= = 4</p> <p>Expression (5) if true: ag= = 5</p>
Configuração AG	Optimize	Configura o AG	<p>Tools - Optimize:</p> <p>Variable Name: ag1</p> <p>Min.value: 0</p> <p>Max.value: 2</p> <p>Variable Name: ag2</p> <p>Min.value: 0</p> <p>Max.value: 1</p> <p>Objective: approved</p> <p>Is minimizing? no</p>
X (Decisor)	X2	Desvia a execução de uma função.	<p>Tipo: ANN com 2 caminhos</p> <p>Arquivo de Treinamento: C:\ Mestrado\ \Simulação aplicada a logistica e manufatura\treinamento1.txt</p> <p>Algoritmo: ResilientPropagation</p> <p>Exp. Neurônio 1: emissoes_ind</p> <p>Exp. Neurônio 2: custo</p> <p>Exp. Neurônio 3: 0</p> <p>Exp. Neurônio 4: 0</p> <p>Exp. Neurônio 5: 0</p> <p>Nº Neurônios Camada Entrada: 2</p> <p>Nº Neurônios Camada Oculta: 6</p> <p>Nº Neurônios Camada Saída: 1</p>

Fonte: Elaborado pelo Auto (2015)

APÊNDICE B - PUBLICAÇÕES ORIGINADAS NESTA PESQUISA

B.1: ARTIGOS COMPLETOS PUBLICADOS EM PERIÓDICOS:

I: **SILVA, F. F.**; TAVARES, E. R. ; **RANGEL, J.J.A**; PEIXOTO, T. A. ; MATIAS, I. O. . Simulação a Eventos Discretos com Módulo de Decisão Utilizando Redes Neurais Artificiais: aplicação com o Software Ururau. **Perspectivas online: exatas e engenharias**, v. 5, p. 46-55, 2015. Disponível em: <http://www.seer.perspectivasonline.com.br/index.php/exatas_e_engenharia/article/view/658 >. Acesso em: 25 jan 2016.

II: **SILVA, F. F.**; TAVARES, E. R.; PEIXOTO, T. A.; MATIAS, I. O.; **RANGEL, J.J.A**. O Uso de Inteligência Computacional na Lógica de Decisão em Modelos de Simulação: Uma Aplicação com Cálculo de Emissões de Gases em Sistemas Logísticos. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, v.7, n.2, p. 228-247, 2015. Disponível em: <<http://www.podesenvolvimento.org.br/inicio/index.php?journal=podesenvolvimento&page=article&op=view&path%5B%5D=402&path%5B%5D=328> >. Acesso em: 25 jan 2016.

B.2: TRABALHOS COMPLETOS PUBLICADOS EM ANAIS DE CONGRESSOS:

I: **SILVA, F. F.** TAVARES, E. R. ; ; **RANGEL, J.J.A** ; PEIXOTO, T. A. ; MATIAS, I. O. . A review of literature in discrete event simulation on sustainability in the transport sector.In: SIMPÓSIOBRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 47, 2015, Porto de Galinhas - PE. **Anais...** Rio de Janeiro: SOBRAPO, 2015. v. 1. p. 1-9. Disponível em: <<http://cdsid.org.br/sbpo2015/wp-content/uploads/2015/08/141000.pdf> >. Acesso em: 25 jan 2016.

II: **SILVA, F. F.** ; TAVARES, E. R. ; RANGEL, J.J.A ; PEIXOTO, T. A. ; MATIAS, I. O. Simulação a eventos discretos com módulo de decisão utilizando redes neurais artificiais - aplicação com o software Ururau. In: ENCONTRO INTERESTADUAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1, 2015, João da Barra- RJ. **Anais....** Campos dos Goutacazes: Universidade Candido Mendes, 2015. v. 1. p. 1-10.

III: **SILVA, F. F.** ; TAVARES, E. R. ; MATIAS, I. O. ; PEIXOTO, T. A. ; RANGEL, J.J.A . Simulação a eventos discretos com otimização no software Ururau. In: ENCONTRO INTERESTADUAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1, 2015, João da Barra- RJ. **Anais....** Campos dos Goutacazes: Universidade Candido Mendes, 2015. v. 1. p. 1-10.

B.3: ARTIGO A SER SUBMETIDO:

I: **SILVA, F. F.** ;RANGEL, J.J.A; PEIXOTO, T. A.; MATIAS, I. O. Simulation Optimization for *Trade-offs* Analysis on Environmental and Economic Variables in Logistics Systems.