

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

Fábio Freitas da Silva

SIMULAÇÃO COM OTIMIZAÇÃO PARA ANÁLISE DE TRADE-OFFS DE
VARIÁVEIS ECONÔMICAS E AMBIENTAS 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

Fábio Freitas da Silva

SIMULAÇÃO COM OTIMIZAÇÃO PARA ANÁLISE DE TRADE-OFFS DE
VARIÁVEIS ECONÔMICAS E AMBIENTAS EM SISTEMAS LOGÍSTICOS

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

Orientador: Prof. João José de Assis Rangel, DSC

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ
Fevereiro de 2016

FICHA CATALOGRÁFICA

S586s Silva, Fábio Freitas da.

Simulação com otimização para análise trade-offs de variáveis econômicas em ambientes de sistemas lógicos. Fábio Freitas da Silva. – 2016. 110 f. il.

Orientador: João José Assis

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

Bibliografia: f. 74 – 81.

1: Transporte rodoviário – logística. 2. Ambientes – sistemas lógicos. 3. Simulação (pesquisa operacional) – otimização (sistemas lógicos). I. Universidade Candido Mendes – Campos. II. Título.

CDU - 656.1: 65.012.34+004.383.4

FÁBIO FREITAS DA SILVA

SIMULAÇÃO COM OTIMIZAÇÃO PARA ANÁLISE DE TRADE-OFFS DE
VARIÁVEIS ECONÔMICAS E AMBIENTAS 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, D.Sc.
Universidade Candido Mendes

Prof. Ítalo de Oliveira Matias, D.Sc.
Universidade Candido Mendes

Prof. Túlio de Almeida Peixoto, M.Sc.
Universidade Candido Mendes

Prof. Vicente de Paulo Santos de Oliveira, D.Sc.
Instituto Federal Fluminense

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ
2016

Dedico este trabalho a Deus que sempre esteve ao meu lado.

Ao professor João José de Assis Rangel pela paciência na orientação que tornaram possível a conclusão desta dissertação.

A todos os professores do curso, que foram tão importantes na minha vida acadêmica e no desenvolvimento desta dissertação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a CAPES, por tornar possível a conclusão do curso através da bolsa concedida.

Agradeço a Universidade Candido Mendes, por fornecer conhecimento e confiança nos estudos oferecidos. Assim como todos os funcionários e todo corpo docente da universidade que oferecem um ótimo ambiente de trabalho.

Agradeço a todos os familiares que também contribuíram de alguma forma para que eu pudesse alcançar meus objetivos.

Não posso deixar de agradecer, ao professor Eduardo Shimoda e, também, ao Túlio e Ítalo pela disposição e auxílio nas horas em que precisei.

Por fim, agradeço ao meu estimado amigo Eder que me acompanhou durante esta jornada.

O único lugar aonde o sucesso vem antes
do trabalho é no dicionário.

Albert Einstein

RESUMO:

SIMULAÇÃO COM OTIMIZAÇÃO PARA ANÁLISE DE *TRADE-OFFS* DE VARIÁVEIS ECONÔMICAS E AMBIENTAS EM SISTEMAS LOGÍSTICOS

O objetivo deste trabalho foi analisar diferentes estruturas logísticas e avaliar os seus *trade-offs* econômicos e ambientais. O aumento do consumo de bens e serviços tem impactado diretamente no fluxo de veículos, que por sua vez afeta as emissões de gases do efeito estufa. Segundo dados recentes da Agência Internacional de Energia os dois setores responsáveis pela maior parcela das emissões de CO₂ no mundo são geração de eletricidade e aquecimento seguido pelo transporte. Ainda sim, é comum encontrar na literatura estudos que abordam somente os *trade-offs* de variáveis econômicas. Portanto, para atingir os objetivos pretendidos neste trabalho, utilizou-se simulação a eventos discretos para representar o ambiente dinâmico da cadeia logística, além de utilizar um algoritmo de otimização combinados com modelo de simulação. Desta forma, também foi possível determinar a melhor estrutura logística, avaliar o tempo de entrega e as emissões geradas pelos veículos durante o transporte da carga, bem como comparar o método da análise hierárquica de processos com o da otimização. O software usado foi o Ururau que é uma ferramenta de simulação a eventos discretos livre e de código aberto, o mesmo possui uma função de otimização incluída em seu código fonte. Assim, esta ferramenta possibilitou a identificação da melhor estrutura logística, dentre as estudadas, as variáveis lead time, emissão e tempo de transporte foram avaliadas para atingir o resultado. Nesta verificação observou-se que cada variável apresentou um desempenho diferente para cada configuração logística, também se constatou que não existiu uma configuração ótima para todos os critérios. Das quatro estruturas, apenas duas se destacaram, uma apresentava menor tempo de transporte e emissão, enquanto outro menor lead time. Uma questão levantada a partir desta análise foi a seguinte: por que a configuração com menor tempo de transporte e emissão também não apresentou um menor lead time? Por meio desta pergunta verifico-se que existe um fator que pode reduzir ou aumentar o lead time sem influenciar as emissões ou tempo de transporte tal fator foi o tempo de carregamento que funciona de maneira análoga a um custo fixo. Além disso, outro ponto foi o tipo de veículo que é diferente em cada configuração, o que influencia nas emissões. Por isso algumas variáveis foram inversamente proporcionais entre si ao realizar a comparação das configurações. O que pode ser visto, é que, neste tipo de análise, o recomendado é fazer modelos que envolvam as diferentes opções que se pode ter para fazer o transporte da carga. Pois, de acordo

com o sistema logístico optado, pode-se chegar a resultados conflitantes entre as variáveis de desempenho do sistema e as ambientais.

PALAVRA CHAVE: Logística, Transporte rodoviário, Estudo ambiental, Simulação, Otimização

ABSTRACT

SIMULATION OPTIMIZATION FOR *TRADE-OFFS* ANALYSIS ON ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC VARIABLES IN LOGISTICS SYSTEMS

The aim of this work was to analyze different logistics structures and evaluate their economic and environmental trade-offs. The increase in the goods and services consumption has directly affected the flow of vehicles, which, in turn, has influenced the greenhouse gas emissions. According to recent data from the International Energy Agency (IEA) the two sectors account for the largest share of CO₂ emissions worldwide are generating electricity and heating followed by transport. However, it is common to find, in literature, researches that only discuss the trade-offs of economic issues. Therefore, this work uses discrete event simulation to represent the dynamic environment of the *supply chain* besides applying an optimization algorithm with simulation models. Thus, it was also possible to determine the best structure among the studied logistics, evaluate the delivery time and the emissions generated by vehicles during cargo transport as well as compare the method of hierarchical analysis process with optimization. The software used was the Ururau which is a simulation tool to free discrete event and open source, it has an optimization function included in your source code. Thus this tool enabled to identify the best logistics structure, among the studied variables of the lead time, transport time and emission were evaluated to achieve the result. In this check it was found that each had a different performance variable for each logistics setting, it was also found that there was no optimum configuration for all criteria. Of the four structures, only two stood one presents a shorter transport and emission, while a smaller lead time. One issue raised from this analysis was: why the configuration with shorter transport and issue did not show a smaller lead time? Through this question it was found that there is a factor that can reduce or increase the lead time without affecting the emission or transmission of time, such loading factor was the time it works similarly to a fixed value. Also, another point was the type of vehicle that is different in each configuration, which influences emissions. So some variables were inversely proportional to each other when making the comparison of settings. What can be seen is that in this type of analysis, it is recommended to make models involving the different options that you can have to make cargo transportation. Therefore according to the chosen logistics system, it can be reached conflicting results between system performance and environmental variables.

KEYWORDS: Logistics, Road transport, Environmental studies, Simulation, Optimization

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Aplicação de técnicas de simulação voltadas para sustentabilidade em diferentes setores, base SCOPUS.	23
Figura 2:	Número de artigos por área de aplicação, base SCOPUSS.	24
Figura 3:	Número de artigos utilizando os termos de pesquisa realizados com SED e Sustentabilidade nas palavras chave, publicados por ano, base SCOPUSS. Coautoria: Tavares, 2016.	25
Figura 4:	Número de participações em artigos utilizando os termos de pesquisa realizados com SED e Sustentabilidade nas palavras chave, separados por nacionalidade no período de 2003 a 2014.	26
Figura 5:	Classificação dos sistemas para modelagem e simulação.	34
Figura 6:	Evolução dos estados da simulação de eventos discretos da preparação de uma xícara de chá; e na simulação contínua do estudo da temperatura do chá ao longo do tempo.	35
Figura 7:	Interface gráfica do Ururau.	38
Figura 8:	Interface gráfica do software Arena.	38
Figura 9:	Passos para um estudo de simulação.	47
Figura 10:	Módulo de Emissão do software Ururau.	49
Figura 11:	Módulo de Otimização do Ururau.	50
Figura 12:	Ilustração do sistema proposto para construção do modelo.	51
Figura 13:	Ilustração das configurações 1, 2, 3 e 4.	51
Figura 14:	Esquematização do modelo proposto com otimização integrada.	55
Figura 15:	Modelo Computacional desenvolvido no software Ururau.	57
Figura 16:	Comparação entre as variáveis Emissão e Lead Time.	62
Figura 17:	Porcentagem de avanço de uma estrutura logística em relação a outra.	64
Figura 18:	Valores totais absolutos e relativos de cada cenário para os conjuntos	67

de pesos da Tabela 7.

Figura 19: Hierarquia do problema proposto.

68

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1:	Resultados obtidos por termo de pesquisa na base SCOPUSS.	22
Quadro 2:	Tabulação por assunto na base SCOPUSS.	27
Tabela 1:	Classificação dos tipos de pesquisa dos modelos quantitativos.	29
Tabela 2:	Tempo entre os trajetos para as configurações 1, 2, 3 e 4.	52
Tabela 3:	Tempo de simulação com e sem otimização.	59
Tabela 4:	Pesos arbitrados paratestados na função de otimização.	60
Tabela 5:	Pesos randômicos testados na função de otimização.	60
Tabela 6:	Resultados das melhores configurações após a simulação com otimização.	61
Tabela 7:	Resultados das configurações considerando os pesos para cada critério.	65
Tabela 8:	Resultados sintetizados das configurações considerando os pesos para cada critério.	66
Tabela 9:	Comparativo entre a resposta do modelo de simulação com otimização e o método AHP.	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IEA – Agência Internacional de Energia (International Energy Agency)

SED – Simulação a eventos discretos

DES- Discret event Simulation

SC- Supply Chain

PAS- Publicly Available Specification

ISO- International Organization for Standardization

ED- Empírica Descritiva

EM – Empírica Normativa

AN – Axiomática Descritiva

AD – Axiomática Normativa

WSC – Winter Simulation Conference

JSL (Java Simulation Library)

API – Application Programming Interface

RNA – Redes Neurais Artificiais

SUMÁRIO

1:	INTRODUÇÃO.	18
1.1:	CONTEXTUALIZAÇÃO.	19
1.2:	JUSTIFICATIVAS.	19
1.3:	OBJETIVOS.	27
1.3.1:	Objetivo Geral	27
1.3.2:	Objetivos Específicos	27
1.4:	QUESTÕES DE PESQUISA.	28
1.5:	MÉTODO DE PESQUISA.	28
1.6:	DELIMITAÇÕES DA PESQUISA.	29
1.7:	ESTRUTURA DO TRABALHO.	30
2:	REVISÃO DA LITERATURA.	31
2.1:	REFERENCIAL TEÓRICO.	31
2.1.1:	Simulação Computacional.	32
2.1.2:	História da Simulação.	32
2.1.2.1:	A Era Pré-Computador (1777-1945).	32
2.1.2.2:	O Período Formativo (1945-1970).	32
2.1.2.3:	O Período de Expansão (1970-1982).	33
2.1.3:	Diferentes Tipos de Simulação.	33
2.1.4:	Vantagens e Desvantagens da Simulação.	35
2.1.5:	Software de Simulação	37
2.2:	ESTADO DA ARTE.	39
2.3:	CONCLUSÃO DO ESTADO DA ARTE.	44

3:	MATERIAIS E MÉTODOS.	46
3.1:	MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO TRABALHO.	46
3.2:	SOFTWARE DE SIMULAÇÃO.	48
3.3:	DESCRIÇÃO DO SISTEMA.	50
4:	RESULTADOS E DISCUSSÃO.	54
4.1:	MODELO DE SIMULAÇÃO.	54
4.2:	PARÂMETROS DE RODADA DOS MODELOS.	58
4.3:	INCLUSÃO DE MULTIVARIÁVEIS NA FUNÇÃO OBJETIVO.	59
4.4:	EXPERIMENTOS SIMULADOS.	61
4.4.1:	Modelo de simulação com otimização.	61
4.4.2:	Atribuição de Pesos as Variáveis de estado.	64
4.4.3:	Comparação entre o método de simulação com otimização e o AHP	67
5:	CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A DISSERTAÇÃO.	70
5.1:	CONCLUSÕES.	70
5.2:	LIMITAÇÕES DO TRABALHO.	71
5.3:	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.	71
5.4:	PRODUÇÕES ORIGINADAS NESTE TRABALHO.	72
5.4.1:	Artigos Completos Publicados em Periódicos	72
5.4.2:	Trabalhos Completos Publicados em Anais de Congressos	72
5.4.3:	Artigo a ser submetido	73
6:	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
	APÊNDICE A: DESCRIÇÃO DO MODELO CONCEITUAL	82
	APÊNDICE B: RESULTADOS DOS CENÁRIOS AO CONSIDERAR OS PESOS PARA CADA CRITÉRIO	85
	APÊNDICE C: USO DE INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL NA LÓGICA DE DECISÃO EM MODELOS DE SIMULAÇÃO: UMA APLICAÇÃO NO CÁLCULO DE EMISSÕES DE GASES EM SISTEMAS LÓGICOS	87

1: INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Segundo dados recentes da Agência Internacional de Energia (IEA em inglês - *International Energy Agency*) os dois setores responsáveis pela maior parcela das emissões de CO₂ no mundo são: geração de eletricidade e aquecimento, com 42%, seguido do setor de transporte, com 23%. Vale ainda ressaltar que o setor de transportes apresentou uma taxa de crescimento considerada alta (64%), entre os anos de 1990 a 2012, impulsionado, principalmente, pelas emissões do setor rodoviário (IEA Statistics 2014). Porém, apesar do crescimento das emissões no setor rodoviário o aspecto ambiental continua sendo importante para o desenvolvimento das empresas. Assim, cada vez mais os varejistas estão sendo pressionados pelos diferentes grupos de *stakeholder* para se tornarem mais ambientalmente corretos (RAMANATHAN; BENTLEY; PANG, 2014). Ressalta-se que desde que o protocolo de Kyoto foi criado em 1997, a comunidade europeia e 37 países industrializados comprometeram-se em reduzir as emissões de gases do efeito estufa (UNFCCC, 1997). Desde então as empresas estão sendo pressionadas de uma forma crescente para reduzir o impacto ambiental das emissões de CO₂.

O CO₂ é um dos principais gases causadores do efeito estufa, sendo o que é mais emitido nas atividades do *Supply Chain* (SC) (RAMANATHAN; BENTLEY; PANG, 2014). E dentre essas atividades o transporte e armazenamento são responsáveis por entorno de 50 % dos impactos ambientais (RIZET; KEITA 2005, CHOLLETE; VENKAT 2009). Recentemente, alguns trabalhos utilizam Simulação a Eventos Discretos (SED) para auxiliar a tomada de decisão levando em consideração aspectos ambientais no SC. Autores como Byrne *et al.*, (2010), Longo

(2012), Jaegler e Burlat (2012) e Rangel e Cordeiro (2015) empregam simulação computacional para avaliar as variáveis econômicas e ambientais em sistemas logísticos.

No caso específico do trabalho de Rangel e Cordeiro (2015), os autores utilizaram SED para calcular as emissões de carbono em uma frota de veículos. Para tal, foi construído um modelo computacional considerando os aspectos discretos associados com os sistemas de transporte e com seus componentes contínuos de emissão de monóxido de carbono da frota. Os mesmos comparam os *trade-offs* de variáveis econômicas e ambientais. Os resultados indicaram que não houve relação direta bem definida de proporcionalidade entre, por exemplo, o tempo de entrega e o total de emissões produzidas por caminhões. Foi observado que alguns cenários apresentaram proporções inversas, ou seja, em alguns casos o lead time aumenta e a emissão diminui na comparação entre os cenários.

Assim, este trabalho procura avaliar, em maior nível de detalhe, o comportamento das variáveis econômicas e ambientais em sistemas logísticos, buscando encontrar mais respostas em relação ao trabalho de Rangel e Cordeiro (2015). Além disso, este estudo busca determinar uma melhor estrutura logística dentre as estudadas. Para isso foi utilizado um algoritmo de otimização em conjunto com modelo de simulação com o propósito de selecionar a estrutura mais adequada. Desta forma foi possível analisar a relação entre o tempo de entrega e as emissões geradas pelos veículos durante o transporte da carga.

1.2 JUSTIFICATIVAS

As questões ambientais têm se tornado cada vez mais importante sendo que um dos principais causadores de impactos ambientais no planeta são as emissões de gases do efeito estufa. A sociedade busca a sustentabilidade e uma forma de fazer isso é adquirindo produtos que tem uma precedência ambiental amigável ao meio ambiente. As organizações tendem a seguir as necessidades dos clientes, reduzindo os impactos ambientais e mostrando de alguma maneira para seus consumidores. E, uma forma muito utilizada é através da contabilização de carbono, normas com a PAS 2050 e ISO 14064 visam medir a pegada de carbono dos bens e serviços. Porém, em um ambiente dinâmico como no SC, controlar as diversas

variáveis se torna inviável, no entanto uma forma para viabilizar estes tipos de ambiente e através da simulação. Por meio desta abordagem é possível testar diversos cenários e, assim, verificar os impactos que aconteceria no sistema se uma determinada decisão fosse tomada.

Em recente trabalho, Fakhimi *et al.* (2013) apresentam uma revisão de literatura com objetivo de fornecer uma visão sintetizada das abordagens de simulação e modelagem que tratam de problemas de sustentabilidade. Em seu estudo, os autores agruparam os trabalhos por áreas de aplicação onde o setor de transportes ocupava a última posição. De acordo com a conclusão, os valores aproximados são de 42% para estudos desenvolvidos no setor de manufatura, 35% estão relacionados a modelos de ecossistemas, 14% dos modelos referentes a modelagem regional e urbana, 5% dos artigos tem desenvolvidos modelos para o setor da agricultura e 3% também usaram técnicas de modelagem para abordar sustentabilidade no setor de transporte.

Contudo, segundo dados da IEA os dois setores responsáveis pela maior parcela das emissões de CO₂ no mundo são: geração de eletricidade e aquecimento, com 42%, seguido do setor de transporte, com 23%. Vale ainda ressaltar que o setor de transportes apresentou uma taxa de crescimento considerada alta (64%), entre os anos de 1990 a 2012, impulsionado, principalmente, pelas emissões do setor rodoviário (IEA Statistics 2014). Assim, apesar do setor de transporte ter uma expressiva participação nas emissões globais de CO₂, os resultados encontrados no trabalho de Fakhimi *et al.* (2013) não apresentam relação com estes dados. Ou seja, não se questiona aqui os resultados dos autores, mas sim levantar a hipótese de as publicações poderem não estar acompanhando de forma correlacionada o foco da questão.

Dada a importância do transporte e sua participação nas emissões globais de carbono um dos objetivos deste item foi mapear e quantificar os artigos da interseção das áreas de transporte e sustentabilidade que utilizam simulação, principalmente simulação a eventos discretos. Assim, foi realizada uma bibliometria para buscar a quantidade de artigos referentes ao tema estudado.

Os principais termos de pesquisa foram baseados no trabalho de Fakhimi *et al.* (2013). O trabalho adota como base de pesquisa o SCOPUSS. A pesquisa teve como parâmetros iniciais: artigos e revisões, de todos os anos disponíveis de 1960 a janeiro de 2015 e escritos em inglês. Todas as áreas disponíveis na base foram

selecionadas (*Life Sciences, Health Sciences, Physical Sciences e Social Sciences & Humanities*).

Foram buscados na base os termos ‘*sustanaib**’ AND ‘*simulation**’ no título, abstract e *keywords* dos trabalhos que resultou em 3.860 artigos. O asterisco presente é útil para buscar palavras similares, neste caso mudando somente o final das palavras. Desta forma a pesquisa pode abranger algumas variações dos termos pesquisados. A pesquisa inicial retornou um número elevado de publicações, portanto, outra pesquisa foi feita utilizando somente as palavras-chave. Assim, a nova pesquisa retornou 1194 publicações.

A etapa posterior consistiu no refinamento dos artigos encontrados. Acrescentamos o termo ‘*transport**’ aos demais termos anteriores por meio do conector AND, isto resultou em 80 artigos. Este mesmo processo foi repetido para a inclusão dos seguintes termos: ‘*agriculture*’, ‘*region* modeling*’ OR ‘*urban modeling*’, ‘*ecosystem*’ OR ‘*climate change*’ e ‘*manufacturing*’. O próximo passo foi analisar os resumos dos artigos retornados pela pesquisa nas *keywords* em que usamos o termo de pesquisa: ‘*sustainab**’ AND ‘*simulation**’ AND ‘*transport**’. Esta análise permitiu separar 35 artigos que tratam realmente do tema e agrupá-los por aplicação.

Paralelamente, foi feita outra pesquisa na mesma base em artigos e revisões escritas na linguagem inglesa no mesmo período da anterior. Porém, desta vez, os artigos foram selecionados utilizando o termo de pesquisa: “*discrete event simulation*” AND “*sustainab**”. Isto resultou em um total de 20 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 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 *keyword*. 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 de cada combinação.

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 SCOPUSS.
Fonte: Tavares (2016)

Os resultados exibidos no Quadro 1 foram analisados. Primeiro, foi realizado um levantamento quantitativo de publicações que tratam de simulação e sustentabilidade em diferentes áreas. Feito isto, foi refinada a pesquisa para artigos de simulação a eventos discretos com aspectos sustentáveis. A seguir foi realizada uma comparação com os resultados obtidos por Fakhimi *et al.* (2013) com o resultado encontrada na pesquisa.

Um dos objetivos de Fakhimi *et al.* (2013) foi identificar aplicações de técnicas de simulação em diferentes setores com foco na sustentabilidade. Nesse levantamento chegou-se a 69 publicações, em busca feita na base *ISI Web of Science*, que foram divididas em diversos setores. Os resultados aproximados mostraram o setor de transporte com apenas 3% de publicações, precedido de 42% de artigos referentes à manufatura, 35% à ecossistemas e mudanças climáticas, 14% à modelagem urbana e regional, e 5% à agricultura.

Isto motivou a verificar se este resultado seria similar para esses mesmos setores em outra base, principalmente o setor de transporte que é foco deste trabalho. Para isto, foi realizada uma pesquisa semelhante, porém na base SCOPUSS. O resultado retornou um número de publicações significativamente maior em todas as áreas, principalmente na de transporte. Resultado esperado, pois foram abordadas todas as áreas disponíveis no SCOPUSSs, enquanto Fakhimi *et al.* (2013) abordaram a área *operations research management science*. Dentro das esferas de simulação e sustentabilidade a área de agricultura retornou o maior

número com 89 publicações, enquanto a área de modelos urbanos e regionais resultou a menor com 33. A área de transportes retornou 80 artigos.

A Figura 1 descreve os valores encontrados em relação aos setores de aplicação. Note que, não existe uma correlação direta entre os setores de aplicação encontrados nos resultados desta pesquisa e os 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.

Os setores de aplicação demonstrados no trabalho de Fakhimi *et al.* (2013) 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 o estudo realizado aponta este setor como o terceiro maior em número de artigos.

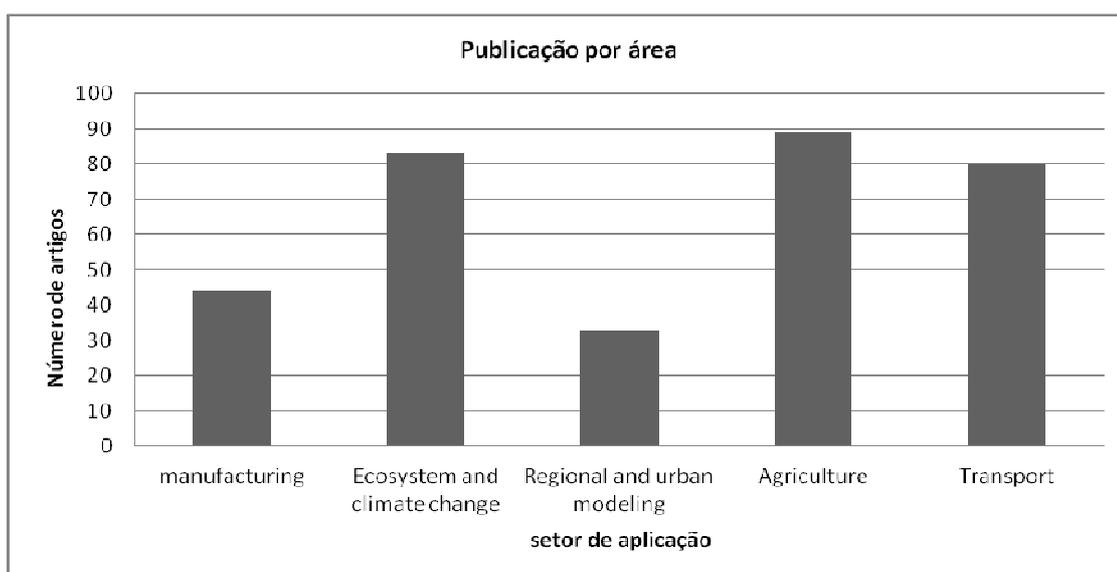


Figura 1: Aplicação de técnicas de simulação voltadas para sustentabilidade em diferentes setores, base SCOPUS.
Fonte: Tavares (2016)

Posteriormente, foi realizado um refinamento da pesquisa nas publicações retornadas pelo setor de transporte. Para tal, foram lidos os abstracts dos 80 artigos para constatar se os mesmos se encaixavam na pesquisa proposta, ou seja, se tratavam em seu conteúdo de simulação, sustentabilidade e transporte. Este total foi filtrado e chegou-se a 35 artigos que aderiam ao objetivo. Posteriormente, foram agrupados por similaridades de aplicação, chegando-se a seguinte categorização: transporte sustentável; mobilidade sustentável; sistemas logísticos; rodovias e estrada sustentáveis; supply chain; manufatura; e localização. Nessa triagem, a maior parte dos artigos abordou as questões de Transporte sustentável e Mobilidade sustentável, enquanto uma minoria retratava as questões sobre Supply chain, Manufatura e Localização. Conforme a Figura 2.

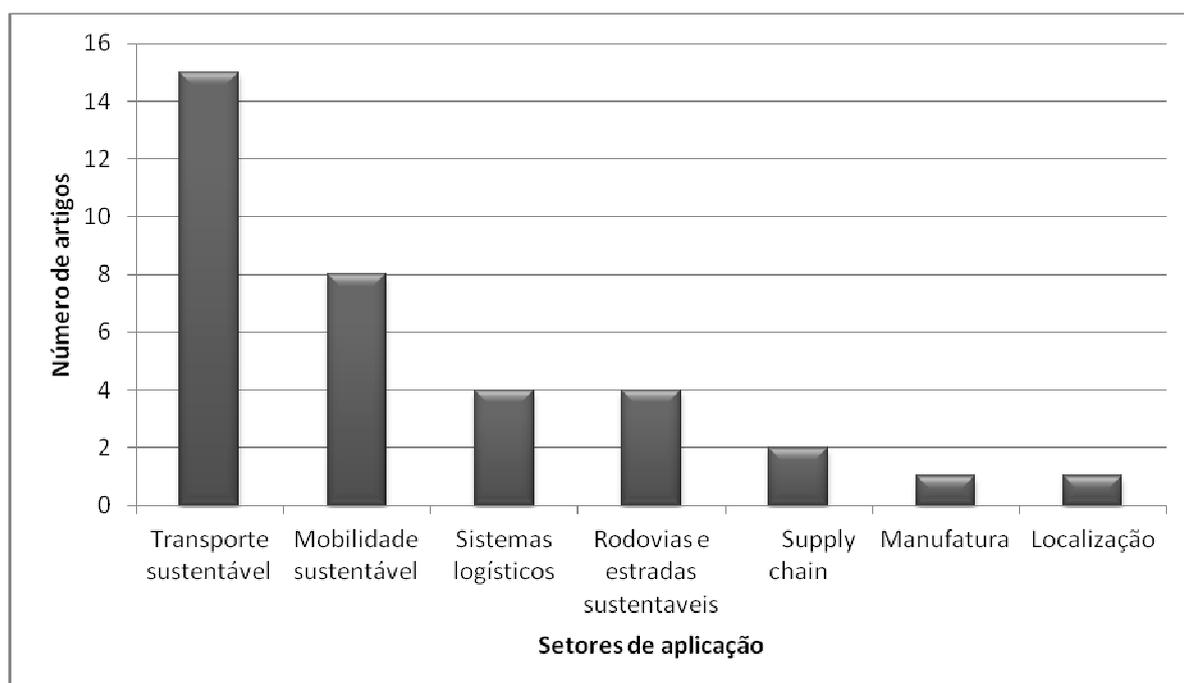


Figura 2: Número de artigos por área de aplicação, base SCOPUSS.
Fonte: Tavares (2016)

Ainda foram analisados os artigos de simulação a eventos discretos com aspectos sustentáveis. Nesta etapa da pesquisa o foco foi direcionado a busca por artigos que utilizam SED com enfoque sustentável, nas áreas de SC, transporte e emissões de gases do efeito estufa. Dentro deste contexto, a Figura 3 mostra a evolução do número de publicações ao longo do tempo.

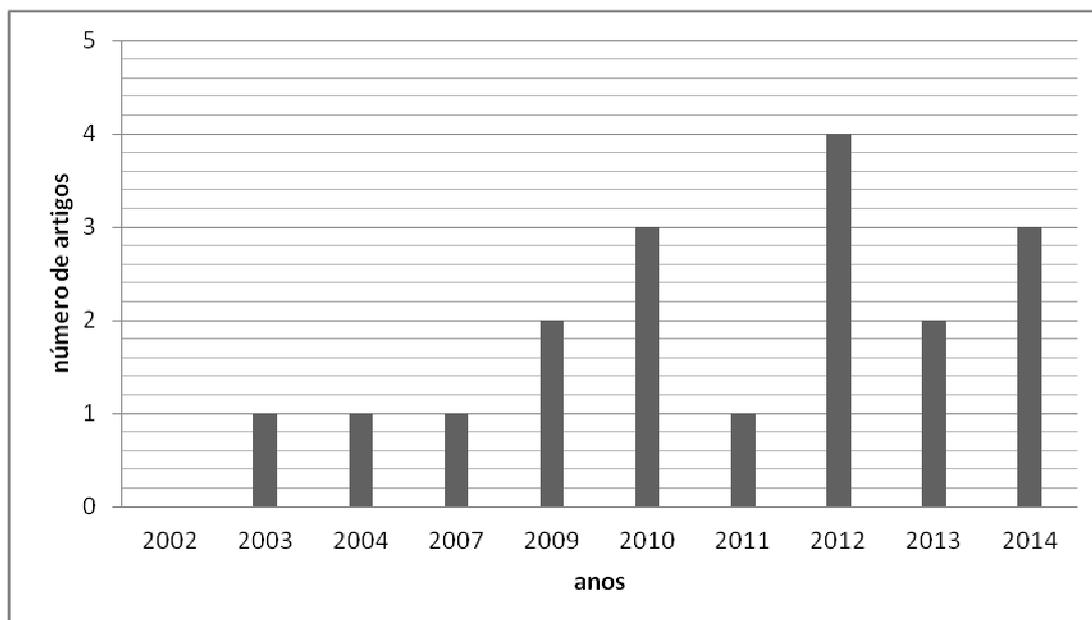


Figura 3: Número de artigos utilizando os termos de pesquisa realizados com SED e Sustentabilidade nas palavras chave, publicados por ano, base SCOPUSS.
Fonte: Tavares (2016).

Pode-se observar que o assunto começou a ser mais explorado a partir de 2003, ou seja, nos anos anteriores não houveram publicações com esse termo de pesquisa. Provavelmente o seu início foi influenciado pelo *The United Nations World Summiton Sustainable Development* que ocorreu 2002, também conhecida como Rio +10. Dez anos após está conferência acontecia a Rio +20 em 2012 coincidindo com um número mais elevado de publicações neste mesmo ano. Por ultimo, 2014 apresentam o maior número de artigos que coincide com o ano posterior ao da criação da norma ISO 14067, *carbon footprint*, em 2013.

Os mesmos artigos foram utilizados para averiguar 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. Os Estados Unidos aparecem como o país com maior ocorrência, no caso com 14 participações, seguidos pelo Japão e Irlanda com 6 cada. Por ultimo 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.

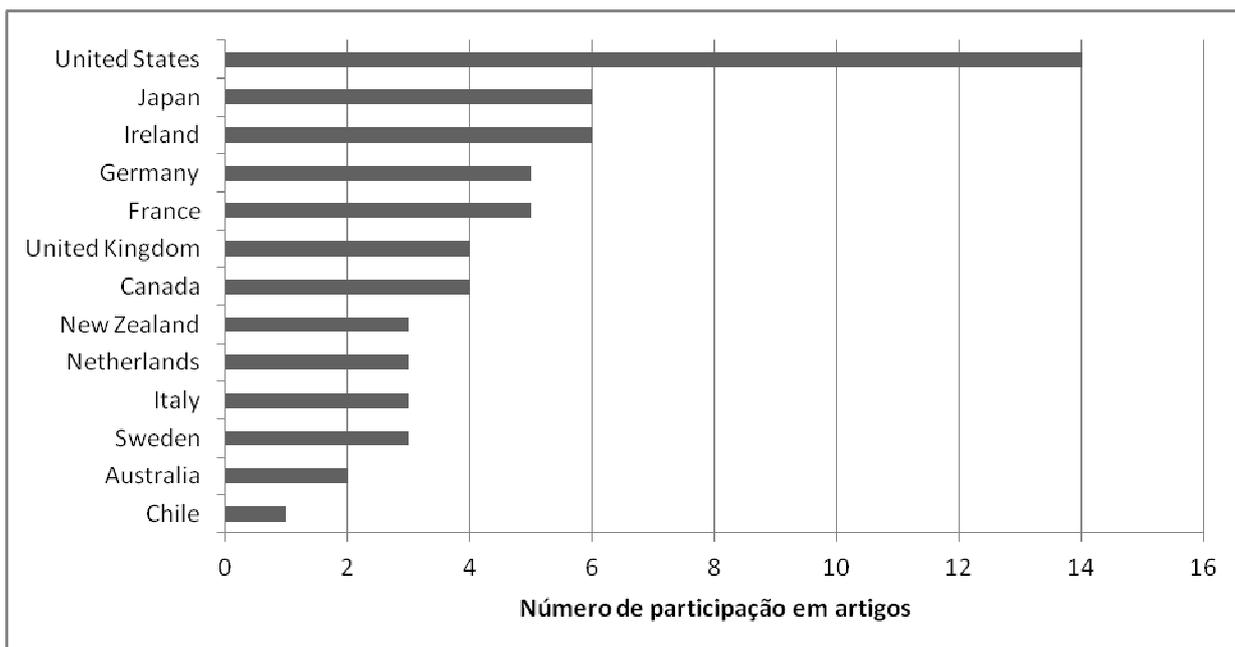


Figura 4: Número de participações em artigos utilizando os termos de pesquisa realizados com SED e Sustentabilidade nas palavras chave, separados por nacionalidade no período de 2003 a 2014. Fonte: Tavares, (2016)

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.

O Quadro 2 demonstra que do total de publicações avaliadas a maior parte trata de manufatura, com 10 artigos, seguida por logísticas, 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.

Assunto	ARTIGO (S) IDENTIFICADO(S) NA BASE SCOPUSS
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 SCOPUSS.
Fonte: Tavares, 2016

1. 3: OBJETIVOS

1.3.1: Objetivo Geral

O objetivo principal desta pesquisa foi usar simulação a eventos discretos com otimização para analisaros *trade-offs* de variáveis econômicas e ambientais em sistemas logísticos rodoviários de um SC.

1.3.2: Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Usar simulação via otimização para determinar o melhor cenário de sistemas logísticos levando em considerações variáveis econômicas e ambientais.
- Verificar as causas dos *trade-offs* entre as variáveis lead time e emissão.

- Usar simulação via otimização levando em consideração mais de uma variável de escolha para determinar o melhor cenário de sistemas logísticos por meio dos pesos estabelecidos para variáveis econômicas e ambientais.
- Comparar os resultados da simulação via otimização com método da Análise Hierárquicas de Processo (AHP).
- Mostrar a flexibilidade de utilização de um software livre e de código fonte aberto (Ururau)

1.4: QUESTÕES DE PESQUISA

Nesse contexto, as seguintes questões de pesquisa foram elaboradas:

- Qual a melhor configuração dos cenários logísticos propostos que minimizarão as emissões, tempo de transporte e *lead time*?
- Quais são os *trade-offs* dos cenários otimizados?
- É possível por meio dos pesos estabelecidos para cada critério (emissões, lead time e tempo de transporte) chegar a um cenário ótimo?
- O software Ururau é adequado a esta aplicação e apresenta alguma vantagem em relação ao uso?

1.5: MÉTODO DE PESQUISA

O trabalho desenvolvido segue o método quantitativo, modelagem e simulação. Bertrand e Fransoo (2002) definem modelos quantitativos como representação de sistemas que são baseados em conjuntos de variáveis que se modificam sobre um domínio específico. Além disso, esses autores classificam os modelos quantitativos em quatro tipos de pesquisa, conforme pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1: Classificação dos tipos de pesquisa dos modelos quantitativos.

	Descritiva	Normativa
Empírica	ED	EN
Axiomática	AD	AN

Fonte: Adaptado de Bertrand e Fransoo (2002).

Na pesquisa ED o foco do pesquisador é o desenvolvimento de modelos que represente as casualidades encontradas em sistemas reais, levando o entendimento dos processos modelados. Enquanto a EN esta voltada para melhorar a situação atual por meio de elaborações de estratégias, ações e políticas. Por outro lado, na pesquisa do tipo AD a modelagem é o processo central, o pesquisador busca um modelo conceitual (geralmente na literatura) e desenvolve um modelo científico com o intuito de compreender as características do mesmo. Já na AN a questão principal é o processo de solução de modelos, que pode ser utilizado para melhorar os resultados existentes na literatura.

Desta maneira, o trabalho aqui desenvolvido pode ser classificado como uma pesquisa Axiomática Descritiva (AD), visto que o modelo estudado é baseado na literatura, em que tem como objetivo melhor entender o comportamento do sistema.

1.6: DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

A pesquisa realizada aqui não aborda todas as questões envolvidas em um SC, apenas a parte logística referente ao transporte rodoviário. Para avaliação deste sistema de transporte, foi usada simulação discreta como ferramenta de apoio, porém não faz parte deste trabalho definir qual a melhor técnica ou método para análise do sistema estudado.

Durante a realização desta dissertação ocorreu uma parceria com o colega de turma Eder Reis Tavares 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, destaca-se a existência de textos similares nas respectivas dissertações.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O primeiro capítulo apresenta a contextualização do trabalho, o mesmo aborda temas com aspectos sustentáveis e SED. Aqui também são apresentadas a justificativa, objetivos e questões de pesquisa.

O segundo capítulo trata-se da revisão de literatura, em que é apresentado o referencial teórico e estado da arte. No primeiro foi realizada uma busca em livros e artigos científicos clássicos sobre o tema, assuntos como definição de simulação, tipos de simulação e vantagens e desvantagens são abordados. Já no segundo foi feito uma busca em artigos de periódicos sobre o uso de simulação e sustentabilidade ambiental, sendo descritos somente os artigos que tratavam de SED e sustentabilidade.

O terceiro capítulo refere-se aos materiais e métodos utilizados no estudo. Aqui foram apresentadas a metodologia de simulação utilizada, o software de simulação e suas principais funções. Além disso, também foi descrito o sistema logístico estudado.

O quarto capítulo apresenta os resultados e discussões, os seguintes itens compõem esta seção: modelo de simulação; parâmetro de rodada do modelo; inclusão de multivariáveis na função objetivo; experimentos simulados; modelo de simulação com otimização; atribuindo pesos as variáveis de estado; comparação entre modelo de simulação com otimização e o método AHP.

Por fim, o quinto capítulo mostra as considerações finais sobre a dissertação, nesta parte foi feito o fechamento da pesquisa. Também foram apresentadas suas limitações, sugestões para trabalhos futuros, bem como os artigos gerados.

2: REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo foi dividido em Referencial Teórico (2.1) e Estado da Arte (2.2). Respectivamente o primeiro subitem aborda sucintamente questões básicas referentes à simulação. Enquanto, o segundo item busca descrever os artigos publicados que utilizam SED com aspectos ambientais.

2.1: REFERENCIAL TEÓRICO

2.1.1: Simulação Computacional

A simulação é a projeção de operações do mundo real ou de sistemas ao longo do tempo. E esta abstração pode ser feita através de observações, que possibilitam realizar inferências a respeito de características de um sistema real (BANKS *et al.* 2009). A mesma possibilita a manipulação e estudo detalhado de sistemas em uma escala menor, em que pode representar em parte ou na totalidade as suas propriedades e comportamentos (PARAGON, 2005).

A simulação computacional refere-se a métodos para estudar uma ampla variedade de modelos de sistemas do mundo real, por avaliações numéricas, usando softwares projetados para representar características ou operações do sistema ao longo do tempo (KELTON; SADOWSKI; STURROCK, 2007). Esta é a tradução de um sistema real por meio de modelos elaborados em computador, que permite realizar experimentos para análise e testes de desempenho (LAW E KELTON, 2000). Para Schriber (1974), a simulação retorna variáveis de estado de

uma seqüência de eventos de um sistema real ao longo do tempo, através da modelagem de um sistema ou processo.

Os autores aqui citados abordam muito o termo sistema e modelos, que segundo Taylor (1970) sistema é um conjunto de elementos que são interdependentes que interagem a fim de alcançar algum objetivo. Para Freitas Filhos (2008) “são um grupo de componentes que recebem estímulos de entrada (inputs) e produzem respostas ou saídas (outputs)”. Já modelos são representações de sistemas de uma forma mais simples, que sempre deve se aproximar do comportamento real (CHWIF e MEDINA, 2007).

2.1.2: História da Simulação

Segundo Goldsman *et al.* (2010) a historia da simulação pode ser escrita de varias perspectivas diferente, por exemplo: o uso da simulação (análise, treinamento, pesquisa); o tipo de simulação (discreto, contínuo ou a combinação de ambos) linguagens de programação de simulação ou ambientes específicos (GPSS, SIMSCRIPT, SIMULA, SLAM, Arena, AutoMod, Simio). Os autores dividem a historia da simulação em três grandes eras:

2.1.2.1: A Era Pré-computador (1777-1945)

Nesta fase inicia-se com o cálculo de π pelo método de Monte Carlo empregado por Buffon (NANCE; SARGENT, 2002). Esses autores ressaltam que a simulação computacional em si começou durante a segunda guerra mundial, com os casos de modelos contínuos e de Monte Carlo, já a simulação discreta por volta de 1940;

2.1.2.2: O período Formativo (1945-1970).

Nesta época o aumento da disponibilidade de computadores eletrônicos possibilitou a rápida difusão de técnicas de simulação e aplicação em outras disciplinas. Foi nesse período que surgiu a primeira linguagem de simulação

denominada *General Simulation Program* (GSP). A partir de então outras linguagens de simulação como GPSS, SIMSCRIPT, GASP, SIMULA surgiram. Ainda nesta fase em 1967 surgiu a Conferência de Simulação de Inverno (WSC) que abordou assuntos de aplicações de simulação utilizando o Sistema de Simulação de Uso Geral e posteriormente para qualquer expandido para incluir qualquer artigo sobre linguagem de programação de simulação;

2.1.2.3: Período de Expansão (1970-1982):

Esta fase é marcada pelo avanço da ciência na simulação a eventos discretos, no que diz respeito ao ensino pesquisa e pratica. Nesta etapa houve avanços nas linguagens de simulação, impulsionadas principalmente por motivos comerciais.

2.1.3: Diferentes tipos de Simulação

Para Kelton, Sadowski e Sturrock (2007) existem diferentes maneiras para classificar os modelos de simulação, porém as mais usuais são ao longo de três dimensões, apresentadas a seguir:

I: Estáticos vs. Dinâmicos: O tempo não desempenha um papel natural em modelos estáticos, mas em modelos dinâmicos sim;

II: Contínuos vs. Discretos: O estado do sistema pode mudar continuamente ao longo do tempo em modelos contínuos, já em modelos discretos a mudança ocorre apenas em pontos separados no tempo;

III: Determinístico vs. Estocástico: Modelos que não possuem variáveis de entrada randômica são considerados determinísticos. Modelos estocásticos operam com variáveis de entrada randômica.

Freitas Filhos, (2008) também classifica os sistemas para fins de modelagem como: estático ou dinâmico; contínuos ou discretos; e determinístico ou aleatório. A Figura 5 mostra esta classificação.



Figura 5: Classificação dos sistemas para modelagem e simulação
Fonte: Adaptado de Freitas Filhos (2008)

A simulação a eventos discretos, foco deste trabalho, pode ser definida como aquela em que as mudanças no estado das variáveis acontecem em pontos discretos do tempo, por meio da ocorrência de um evento (BANKS *et al.* 2009; CHWIF e MEDINA 2010). Para Harrelet *al.* (2002) um evento discreto é uma ação que ocorre em momentos distintos no tempo. A Figura 6 mostra uma ilustração de um evento discreto e contínuo para o mesmo sistema.

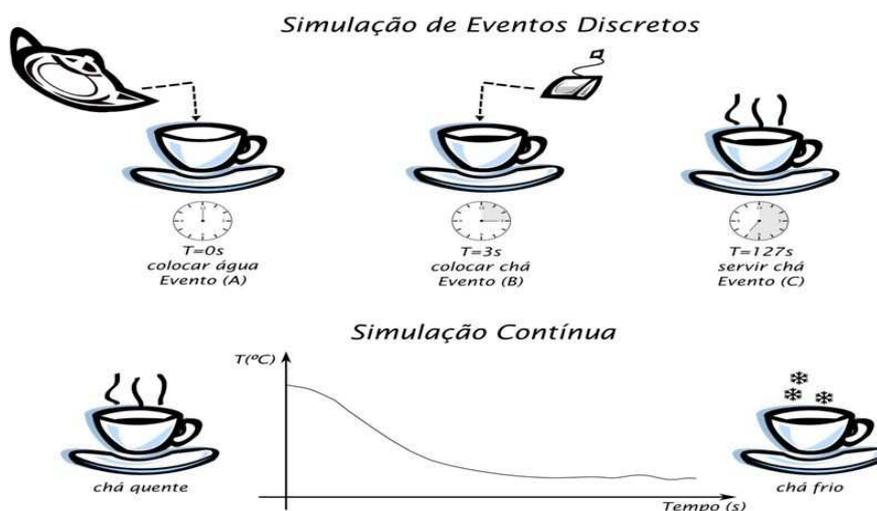


Figura 1: Evolução dos estados da simulação de eventos discretos da preparação de uma xícara de chá; e na simulação contínua do estudo da temperatura do chá ao longo do tempo.
 Fonte: Chwif e Medina (2010).

Note nesta Figura que o mesmo sistema é analisado por ópticas diferentes, na parte inferior é avaliado o resfriamento do café ao longo do tempo, enquanto na superior a análise é realizada em relação às operações executadas para servir o café. A simulação discreta é mais adequada à modelagem de operações, assim, a mesma possibilita avaliar as configurações e alocações de recursos nos processos (JAIN; LINDSKOG; JOHANSSON, 2012).

2.1.4: Vantagens e desvantagens da simulação

Freitas Filhos (2008) ressalta que apesar da simulação ser uma ótima ferramenta de avaliação, a mesma possui pros e contras. O autor apresenta duas listas com as vantagens e desvantagens, que tem como referencia os textos de Pegden (1991) e Banks (1984). A seguir são apresentadas essas listas.

Vantagens:

- a): Depois que elaborado, o modelo de simulação que podem ser executados varias vezes para analisar projetos e políticas propostas;
- b): A metodologia de avaliação usada pela simulação possibilita a analise de um sistema proposto, mesmo que os valores de entrada estejam somente

esquemáticos ou em rascunho;

c): É mais fácil aplicar métodos de simulação do que analíticos;

d): Os modelos analíticos exigem um número muito alto de simplificações para torná-los matematicamente viáveis, já os de simulação não apresentam tais restrições;

e): Uma vez que os modelos de simulação representam o sistema real quase detalhadamente, mudanças nas operações, políticas, regras de decisão, além de outros fatores que impactam o sistema podem ser testados sem que seja alterado o mesmo;

f): Podem ser testadas hipóteses ou por que certos fenômenos acontecem;

g): Os fenômenos podem ser reproduzidos rápido ou lentamente, para melhor estudar seu comportamento, através do controle do tempo que permiti expansão ou compressão deste;

h): Tem-se uma melhor compreensão das variáveis que tem maior impacto no sistema;

i): Os gargalos no sistema produtivo podem ser identificados mais facilmente, principalmente com ajuda visual;

j): A simulação costuma mostrar o contraste entre como o sistema opera e como todos pensam que ele funciona;

l): Questões do tipo: “*What-if*” podem ser exploradas pela simulação que é uma das ferramentas especial para este tipo de análise;

m): Desvantagens:

m.1) Um treinamento especial é requerido para construção do modelo. O aprendizado se da ao longo do tempo, pois envolve arte que se constrói com

experiência. Dificilmente dois modelos serão similares quando construídos por indivíduos diferentes.

m.2) Muitas vezes a simulação tem resultados de difícil interpretação. As variabilidades que alguns modelos tentam captar do sistema podem dificultar as observações realizadas durante a execução do experimento. Pois às vezes é difícil distinguir uma mudança significativa no sistema, de valores gerados por processos aleatórios.

n) A modelagem pode demandar muito tempo e recursos e sua simplificação pode levar a resultados insatisfatórios.

2.1.5: Software de simulação

Law (2007) classifica os softwares de simulação em duas categorias: linguagem de simulação e ambiente de simulação. A primeira diz respeito a bibliotecas específicas de simulação, essas linguagens mostram grande flexibilidade, porém são mais difíceis de serem usadas. A segunda refere-se a ambientes de simulação que são mais fáceis de serem utilizados, possuem interface gráfica o que evita o desenvolvimento de modelos por linha de comando.

Desta forma existe uma variedade de ambientes de simulação, Swain (2013) apresenta uma lista descritiva com 55 softwares comerciais de SED, onde lista dentre outras coisas os fornecedores aplicações típicas e mais uma serie de fatores. Além disso, o autor ressalta a expansão da simulação como ferramenta devido a sua eficiência para exploração do que é limitado apenas pela imaginação. Contudo os custos de licenças de pacotes de simulação comerciais são muito elevados para as médias e pequenas empresas (WIEDEMANN, 2005). Dagkakis e Heavey, (2015) afirmam que a comunidade acadêmica tem ampliado seu interesse sobre softwares de código aberto nas ultimas décadas. Ainda, os mesmos pesquisadores em recente revisão de literatura sobre software de SED livres e de código aberto, identificaram 44 pacotes de simulação, sendo que descaram 10 ferramentas por sua relevância. Dentre essas mais relevantes está à ferramenta Ururau que foi utilizada neste trabalho. A Figura 7 mostra a interface do Ururau.

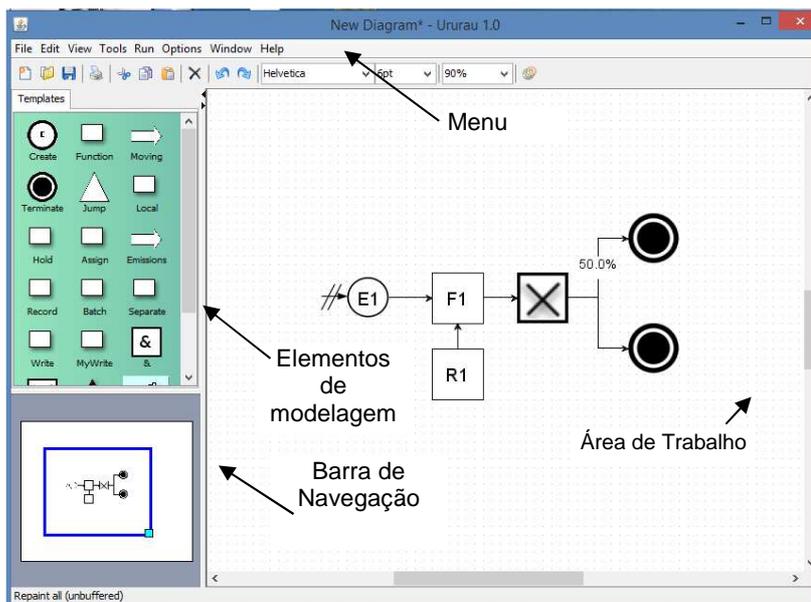


Figura 7: interface gráfica do Ururau
 Fonte: Elaborada pelo Autor (2015)

Na Figura 7 observa-se que no lado esquerdo estão dispostos os elementos de modelagem e a barra de navegação; na parte superior encontra-se o menu. O quadro em branco é a área de trabalho. Para construir o modelo, basta mover os elementos de modelagem para área de trabalho e conectá-los entre si. Ao comparar o mesmo com o software comercial Arena, figura 8, nota-se uma semelhança em relação a suas interfaces, no entanto o Ururau é baseado na linguagem conceitual IDEF-SIM apresentada por Montevechi *et al.* (2010).

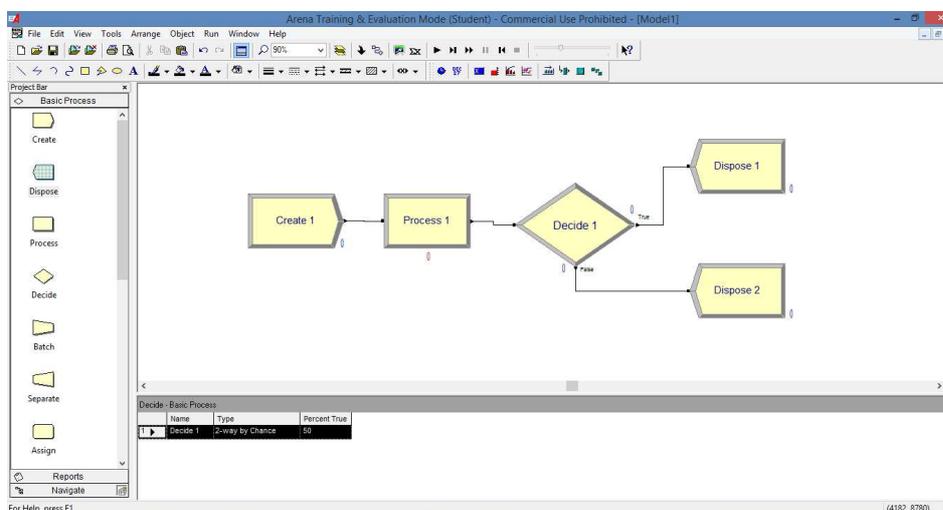


Figura 8: Interface gráfica do software Arena.
 Fonte: Elaborada pelo Autor (2015)

Em ambas as Figuras estão representando o mesmo modelo, respectivamente o Ururau e Arena. O módulo “E1” é semelhante ao “Create1” e tem como função gerar os objetos (entidades) que fluem durante a simulação. Os blocos “F1” e “R1” equivalem ao “Process1”, estes são responsáveis por executar algum tipo de operação. O módulo marcado com “X” é análogo ao “Decide 1”, os mesmos têm como ação desviar o fluxo das entidades através de alguma condição. Por fim, tem os módulos em círculo que exerce a mesma função que o “dispose”, estes representam a saída das entidades no modelo.

2.2: ESTADO DA ARTE

Foram identificados 9 artigos na base SCOPUS que utilizam SED em sistemas logísticos e que abordam sustentabilidade. Além disso, outros artigos importantes para o tema foram adicionados.

Rios, Stuarde Grant, (2003) desenvolveram em seu estudo um modelo de simulação que aceita entradas aleatórias de produtos eletrônicos para estudar os cenários nos quais empresas de reciclagem possam identificar materiais plásticos de alto valor de engenharia e separá-los, assim como os metais. Desta maneira, os mesmos comparam o sistema tradicional de recuperação do plástico com o modelo que identifica resinas plásticas espectroquímicas. Os resultados mostraram que as abordagens de triagens desses materiais, produziam rendimentos substanciais.

Taplin *et al.*, (2006) utilizaram ferramentas de modelagem e simulação para obter uma visão global das atividades produção, transporte e reciclagem, associadas a uma empresa de metalurgia. No modelo computacional quatro cenários são investigados, incluindo a comparação de produtos originais e re-projetados com 20% de redução de peso e a reciclagem da sucata de metais. O objetivo principal foi monitorar a quantidade de sucata, emissão de dióxido de carbono, assim como, a produtividade e custo durante o consumo de energia e transporte de todo ciclo do material metálico.

Acaccia, Michelini, e Qualich (2007) em seu trabalho abordam a regulamentação de recuperação de veículos no fim do ciclo de vida como um novo negócio. Eles utilizam modelagem e simulação para avaliar problemas de logística reversa na coleta de itens e no gerenciamento de dados do processo. O fluxo para

trás é promovido para reduzir os recursos até matérias-primas transformados em poluição e resíduos. O conflito da perspectiva ecológica com o retorno sobre investimento e regulamentações adequadas, devem ser divulgados para equilibrar os encargos do fluxo para trás, por determinação obrigatória da cadeia de suprimentos.

Van der Vorst, Trompand Zee, (2009) propõem uma nova abordagem integrada de logística, sustentabilidade e análise da qualidade dos alimentos. Os autores implementam esta abordagem por meio da introdução de um novo ambiente de simulação, ALADIN. Neste novo ambiente foi incorporado alterações na qualidade do alimento e indicadores de sustentabilidade em modelos de simulação a eventos discretos. Os benefícios da sua utilização são relativos à velocidade e a qualidade das tomadas de decisões integradas, mas também a criatividade em termos de soluções alternativas.

Kuhl e Zhou, (2009) apresentam o conceito de um kit de ferramentas de sustentabilidade desenvolvido para simulação. Um protótipo de uma parte do kit de ferramentas é desenvolvido para modelagem e simulação dos aspectos sustentáveis da logística e sistemas de transporte. Este kit de ferramentas de simulação sustentável contém uma estrutura flexível que permitir a modelagem, simulação e análise dos fatores relacionados à sustentabilidade e medidas de desempenho. Assim pela facilidade de implementação os decisores podem ter tantas medidas tradicionais de desempenho quanto de sustentabilidade. Dando seqüência ao trabalho Zhou e Kuhl, (2010) explicam a concepção e desenvolvimento deste conjunto de ferramentas. O objetivo é modelar e analisar o desempenho ambiental em sistemas de simulação a eventos discretos através do kit de ferramentas desenvolvido.

Byrne *et al.* (2010), em seu trabalho documentam ferramentas usadas na análise da cadeia de suprimentos, além de investigar o uso potencial de SED como método de capturar a sua natureza dinâmica de projeto e operações. Os autores fazem uma revisão e avaliação do uso de análises quantitativas para apoiar os tomadores de decisão na escolha de um projeto de cadeia de suprimentos mais amigável ambientalmente. Isto foi feito por meio da modelagem e SED, e teve como o intuito capturar os fatores de entrada dinâmicos, bem como ilustrar a relação entre os aspectos econômicos e ambientais de um projeto de SC.

Piecyk e Mckinnon, (2010) determinam as tendências de referências em logística e gestão da cadeia de suprimentos e seus efeitos ambientais associados até 2020. São classificados em seis categorias em relação aos diferentes níveis de decisões logísticas, os fatores que afetam a demanda do transporte, o consumo de combustíveis dos caminhões e as emissões de CO₂. A base das projeções são resultados de pesquisas com sete grupos foco e uma pesquisa Delphi em grande escala. Três cenários são construídos para avaliar os níveis de emissão de CO₂ provenientes do transporte rodoviário de mercadorias em 2020. São discutidas as prováveis alterações das variáveis chaves da logística realçando a complexidade do problema.

Sundarakani *et al*, (2010) no presente trabalho, analisam a pegada de carbono no SC, contribuindo assim, para o conhecimento e a pratica do gerenciamento da cadeia de abastecimento verde. O modelo analítico usa os métodos Langrangian de longo alcance e os métodos de transporte de Euler. Um exemplo numérico, valida e ilustra a abordagem proposta. Os resultados mostram que as emissões de carbono em todo SC podem ser uma ameaça significativa que merece uma atenção na hora de projetar o SC.

Tromp, Rijgersberg e Franz (2010) têm como objetivo avaliar quantitativamente as diferenças entre a simulação logística da cadeia de suprimentos (SLS) em tempos de armazenamento fixos (FIX) na estimativa de riscos microbianos em um *supply chain* de vegetais de folhas verdes. Os resultados para os tempos fixos de armazenamento já foram determinados em outro trabalho, enquanto a simulação a eventos discretos aplicada ao conceito de logística foi utilizada para analisar o crescimento de patógeno. Os efeitos de saúde pública foram avaliados através de uma análise da exposição e caracterização do risco. Os crescimentos relativos de *Escherichia coli* O157 (17%) e *Salmonellaenterica* (15%) eram idênticos na SLS e FIX modelos. Em contraste, o crescimento relativo de *Listeriamonocytogenes* foi consideravelmente maior no modelo de SLS (1.156%) do que no modelo de FIX (194%). Portanto, a variação probabilística da logística da cadeia de suprimentos tem efeitos significativos para avaliação dos riscos microbianos sobre patógenos em produtos alimentares.

O trabalho de Mattila e Antikainen, (2011) refere-se ao problema do transporte de mercadorias de longa distância e exploram possíveis futuros sustentáveis por meio da modelagem quantitativa. A análise foi parte de um processo de previsão

européia entre pesquisadores, decisores políticos e empresas de transporte de mercadorias. Futuros alternativos foram desenvolvidos por *backcasting* para redução das emissões dos gases do efeito estufa. O modelo de emissão elaborado foi executado com combinações de parâmetros aleatórios para buscar um conjunto de futuros sustentáveis, com uma redução de 80% das emissões geradas por combustíveis fósseis. O desempenho do transporte de mercadorias não foi controlado no *backcasts*, porém vários futuros sustentáveis foram encontrados, se mudanças significativas na eficiência dos transportes e mix de energia fossem implementadas.

Zhou e Kuhl, (2011) deram continuidade ao trabalho de desenvolvimento de um kit ferramentas sustentáveis para simulação. Sendo discutido o potencial das capacidades futuras deste kit de ferramentas de sustentabilidade. O kit atual enfoca os aspectos ambientais da sustentabilidade, no entanto, o objetivo é incluir também os aspectos sociais e econômicos da sustentabilidade no futuro próximo.

González e Echaveguren, (2012) exploram em seu artigo modelagem dinâmica baseada em simulação a eventos discretos, integrando modelos ambientais e de trânsito. Eles incorporam explicitamente metas ambientais na concepção das operações de construção de estradas. Isto é feito em termos da evasão e exaustão das emissões geradas pelas condições de produção e de tráfego. Os principais resultados mostram que um número ótimo de caminhões e retroescavadeiras podem minimizar os níveis de emissão.

Jaegler e Burlat (2012) estudaram em seu trabalho as emissões de CO₂ ao longo da cadeia de suprimentos, desde as emissões do uso de energia do transporte até o armazenamento de estoque. O modelo proposto simula uma cadeia de suprimento de três camadas e quatro variáveis: capacidade de fornecimento, locais, tipo de transporte, e tipos de produtos. O objetivo é comparar os níveis de emissão de CO₂ para as diferentes configurações de cenários. Assim, foi possível apoiar a tomada de decisões e promover redes de colaboração sustentáveis, auxiliando os gestores a selecionar uma SC mais sustentável ambientalmente.

Para Longo (2012) o redesenho e otimização de problemas de SC devem considerar diferentes aspectos da sustentabilidade. O autor desenvolve um modelo baseado em locais de varejo de um negócio farmacêutico, em que considera três aspectos diferentes de sustentabilidade: ambiental, técnica e econômica. Ele visa investigar a adição de novas farmácias e otimizar as rotas no SC. Para tal, foi

utilizada simulação combinado com projeto e análise de experimentos, análise de variância, e otimização por colônia de formiga. As principais questões de pesquisa foram as seguintes: como reduzir o impacto negativo no nível de satisfação dos clientes, ao adicionar novos potenciais consumidores; como otimizar as rotas seguidas pelo transporte; comparar diferentes soluções em termos de frotas de caminhões com foco na redução das emissões de CO₂.

Jaegler e Burlat, (2014) também concentram sua pesquisa nas emissões de CO₂ ao longo da cadeia de suprimentos. Assim como o trabalho anterior, foi elaborado um modelo baseado na SED. Porém, este usa política de gestão de produção com ponto de reabastecimento e estratégia de resposta a demanda de produção para estoque. A capacidade de produção também foi levada em consideração. Além disso, foram modelados a localização das empresas e seus tipos de produtos. O objetivo foi comparar as emissões de CO₂ equivalentes de diferentes configurações de redes de abastecimento.

Seay e Badurdeen,(2014) em seu trabalho intitulado Tendências e direções atuais para alcançar a sustentabilidade na cadeia de suprimentos de bicomustíveis e bioenergia, buscam fazer a melhor escolha entre os vários recursos disponíveis, tecnologias de processo e projeto SC. Como os fatores relevantes serão ponderados de forma diferente por distintos círculos eleitorais, os autores consideram também risco de conseqüências não intencionais: o que pode parecer ser boas decisões podem revelar-se insustentáveis a longo prazo. Para superar estes desafios uma abordagem integrada que incluiu simulação a eventos discretos devido a necessidade de avaliar os efeitos de incerteza de um longo horizonte de tempo.

Rangel e Cordeiro (2015) demonstram como o cálculo das emissões dos gases do efeito estufa provenientes do transporte em sistemas logísticos podem ser analisados com modelos SED. Os autores comparam *trade-offs* de variáveis econômicas e ambientais, em contraste com que é feito usualmente nestes tipos de sistemas, tais como, comparar somente variáveis econômicas.

Ugarte *et al.* (2015) verificam qual o impacto nas emissões de gases do efeito estufa no sistema logístico de um *supply chain* de bens e serviço. Os mesmos comparam os aspectos de uma abordagem baseada em manufatura enxuta versus uma estratégia ambiental. Para estes autores o transporte e técnicas de distribuição podem ter um impacto prejudicial sobre o ambiente, a pergunta que este estudo tenta responder é: Qual o impacto que as melhores praticas de logística enxuta tem

sobre o meio ambiente? Os mesmos propõem duas hipóteses de pesquisa, a primeira diz respeito ao gerenciamento do estoque pelo modelo Just-in-time e a segunda é baseada no estoque administrado pelo fornecedor. As hipóteses foram testadas usando o modelo de simulação de um SC de varejo, onde as mesmas foram confirmadas empiricamente. Assim, sugere-se que as empresas de melhorias de processo precisam considerar quando as mudanças operacionais podem ter uma consequência não intencional de aumentar significativamente as emissões.

2.3: CONCLUSÃO DO ESTADO DA ARTE

Diante dos estudos realizados notou-se que ao se tratar de sustentabilidade poucos artigos foram encontrados em que se utilizava a simulação a eventos discretos. Dentro deste contexto, notou-se ainda que poucos trabalhos tratam da questão de transportes. No entanto, o transporte é um dos setores que representa grande parte das emissões de gases do efeito estufa, especialmente emissões de carbono, segundo dados recentes da IEA.

Quando a pesquisa foi direcionada a busca por artigos que utilizavam simulação discreta, nas áreas de SC, 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. Quanto à 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.

Como o foco principal do estudo está voltado para simulação discreta, transporte e emissões, foram encontrados 6 artigos que aderiram perfeitamente as três características. Byrne *et al.* (2010), Jaegler e Burlat (2012), Longo (2012), Jaegler e Burlat (2014), e adicionado recentemente Rangel e Cordeiro (2015) e Ugarte *et al.* (2015). Tais trabalhos mostram que há poucas publicações integrando simulação discreta, transporte e emissões no SC., porém, estudos com o termo "*Green supply chain*" (cadeia de suprimentos sustentável) está aparecendo bastante.

A integração desta área com simulação está em evolução, novos softwares estão cada vez, mais aderentes a inclusão de fatores ambientais, mostrando-se uma área em expansão.

Os resultados desta pesquisa não têm a pretensão de apontar um estudo conclusivo ou números que possam demonstrar o resultado final da questão, mas sim auxiliar a novos pesquisadores interessados em explorar o assunto e identificar tendências relacionadas com este campo de estudo.

3: MATERIAIS E MÉTODOS

3.1: MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO TRABALHO

A metodologia proposta por Banks *et al.* (2010) foi utilizada para a construção dos modelos de simulação, onde os seguintes passos foram seguidos: formulação do problema; Definição do objetivo e plano geral do projeto; Modelo conceitual; coleta de dados; tradução do modelo conceitual; verificação; validação; projeto e experimento; execução e análise; mais rodadas; documentação e relatório; e implementação. a Figura 9 ilustra esta sequência de passos. A verificação e validação do modelo de simulação seguiram as etapas sugeridas por Sargent (2013). A linguagem IDEF-SIM, apresentada em Montevechi *et al.* (2010), foi utilizada para a documentação do modelo conceitual do sistema.

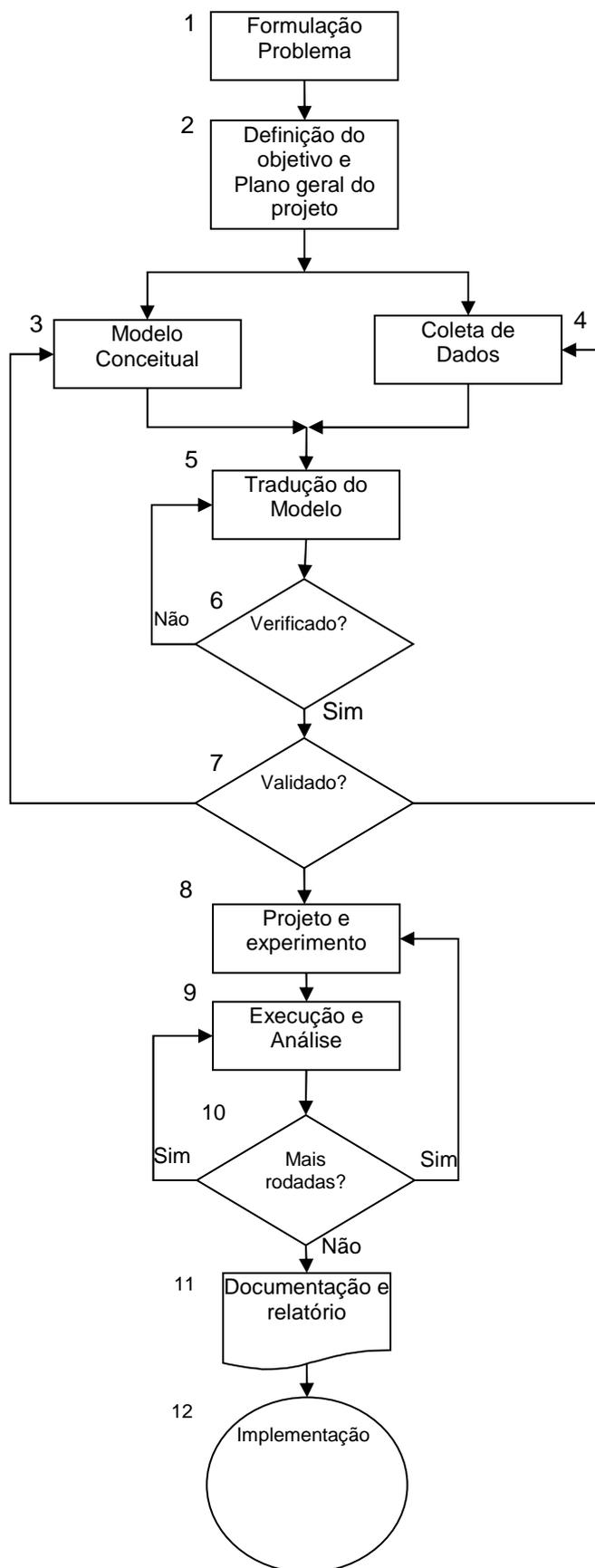


Figura 9: Passos para um estudo de simulação
Fonte: Adaptado de Banks et al. (2010)

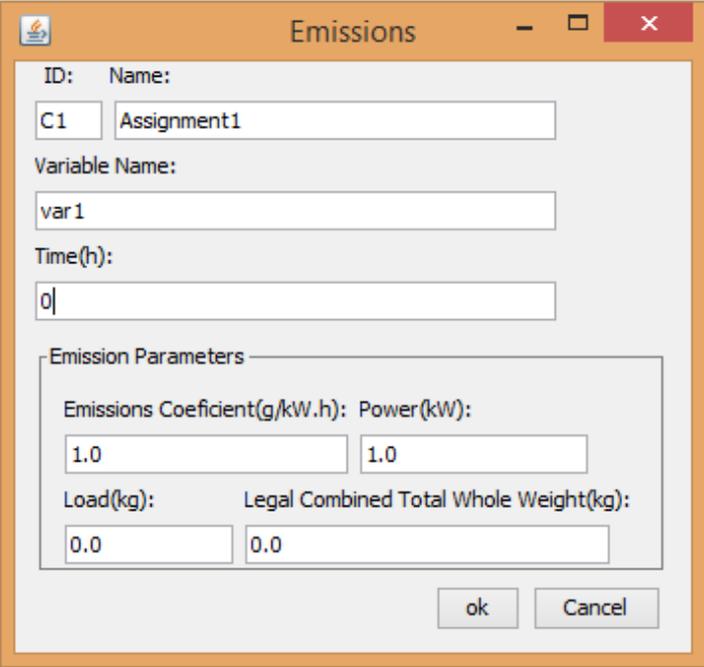
No primeiro passo, formulação do problema, o estudo começou com a declaração do problema, fornecido pelos responsáveis políticos ou aquele que tem o problema. Na segunda fase, foram definidas quais questões a simulação deve responder os custos envolvidos no processo e quanto tempo levará para executar o trabalho. Na terceira etapa, modelo conceitual, foi traduzido à lógica do sistema por meio do levantamento das informações sobre o mesmo. No quarto passo, coleta de dados, foi levantado o conjunto de dados que fazem parte do modelo, os mesmos serão utilizados posteriormente para validação do modelo. Na quinta fase, tradução do modelo conceitual, ocorre à implementação do mesmo em ambiente computacional. Na sexta etapa, e funcionando de acordo com a expectativa do analista. Na sétima etapa, validação, ocorre a calibração do modelo computacional ao contrastar a resposta da simulação com a da realidade. No oitavo passo foram definidas as alternativas simuladas, bem como os parâmetros de execução, tais como, tempo e número de replicações. Na nona etapa, execução e análise, foram realizadas varias rodadas da simulação para análise dos resultados. Na décima fase, mais rodadas, verificou-se se os parâmetros da simulação foram suficientes e se não haveria necessidades de mais testes. Na décima primeira etapa, documentação e relatório, foi levantada as informações e relatórios do modelo de simulação, para que outros analistas possam manipular o modelo ou desenvolver um similar. O ultimo passo, implementação, depende de uma boa execução das etapas anteriores, do envolvimento do analista durante o processo de simulação, assim como a compreensão do usuário sobre os resultados do modelo.

3.2: SOFTWARE DE SIMULAÇÃO

O Ururau é um software para SED livre de código aberto, que utiliza como base a biblioteca de simulação JSL (Java Simulation Library) (ROSSETTI, 2008). Este software permite a construção de modelos de simulação em interface gráfica (GUI – Graphic User Interface) como também em uma API – Application Programming Interface (PEIXOTO et al., 2013). Silva et al. (2012) realizaram uma extensão ao código fonte do software Ururau partindo de suas camadas inferiores de forma a possibilitar a comunicação com um módulo de inteligência computacional. Posteriormente, Silva et al. (2014) realizaram a implantação de um framework no

código fonte do Ururau, permitindo executar uma RNA no modelo de forma mais facilitada para pessoas menos especializadas em programação de computadores. Ainda no apêndice C encontra-se uma publicação, sobre a comparação de dois frameworks de RNAs no Ururau que não foi inserida diretamente no trabalho, mas faz parte da pesquisa. Para desenvolvimento e utilização do software, é possível acessá-lo livremente disponível em: < <http://ururau.ucam-campos.br>>.

Atualmente, a equipe de desenvolvimento do software construiu um módulo que permite ao software calcular a emissão de CO em entidades que trafegam nos modelos. Ou seja, a partir deste recurso, tornou-se possível desenvolver um modelo de um sistema logístico, por exemplo, em que a emissão dos gases emitidos pela descarga 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 propriamente dito (tempo, coeficiente de emissões, potência do motor, carga do veículo e peso bruto total do veículo). A Figura 10 mostra a tela do módulo para o cálculo de Emissões.

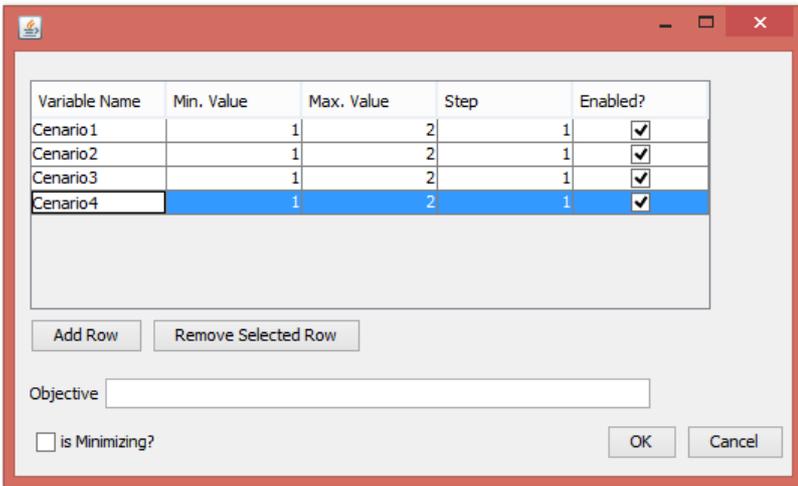


ID:	Name:
C1	Assignment1
Variable Name:	
var1	
Time(h):	
0	
Emission Parameters	
Emissions Coefficient(g/kW.h):	Power(kW):
1.0	1.0
Load(kg):	Legal Combined Total Whole Weight(kg):
0.0	0.0

Figura 10: Módulo Emissão do software Ururau.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

Foi desenvolvido também uma função de otimização baseada em algoritmos genéticos, a Figura 11 Mostra a janela desta função. A coluna *VariableName* é onde

as variáveis são criadas e manipuladas pelo algoritmo genético (AG), conforme os valores inteiros estabelecidos na coluna *Min. Value* e *Max. Value*. Estes valores são testados em razão da função objetivo estabelecida, basicamente o AG verifica cada cenário simulado e seleciona aquele que maximiza ou minimiza a função objetivo. Dessa forma, ao implementar a função de otimização a uma redução no tempo de análise, uma vez que o AG retorna o melhor cenário em relação a função objetivo estabelecida.



Variable Name	Min. Value	Max. Value	Step	Enabled?
Cenario 1	1	2	1	<input checked="" type="checkbox"/>
Cenario 2	1	2	1	<input checked="" type="checkbox"/>
Cenario 3	1	2	1	<input checked="" type="checkbox"/>
Cenario 4	1	2	1	<input checked="" type="checkbox"/>

Add Row Remove Selected Row

Objective

is Minimizing? OK Cancel

Figura 11: Módulo de otimização do Ururau.
Fonte: Elaborada pelo Autor (2015)

3.3: DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O estudo proposto foi baseado em um esquema hipotético de sistemas logísticos de SC utilizado por Rangel e Cordeiro (2015). O mesmo foi constituído de 3 fornecedores, 1 fabricante, 2 clientes e caminhões para o transporte da carga. A Figura 12 ilustra este sistema.

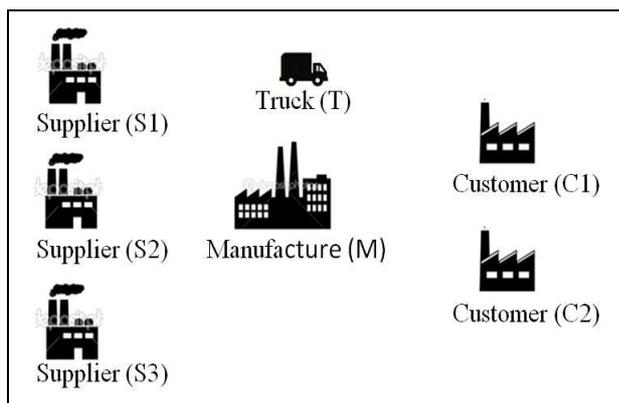


Figura 12: Ilustração do sistema proposto para construção do modelo.
Fonte: Elaborada pelo Autor (2015)

A seguir são apresentadas as configurações básicas do sistema ilustrado na Figura 12. Esses arranjos são tipicamente encontrados em sistemas logísticos em uso regularmente (BALLOU, 2004).

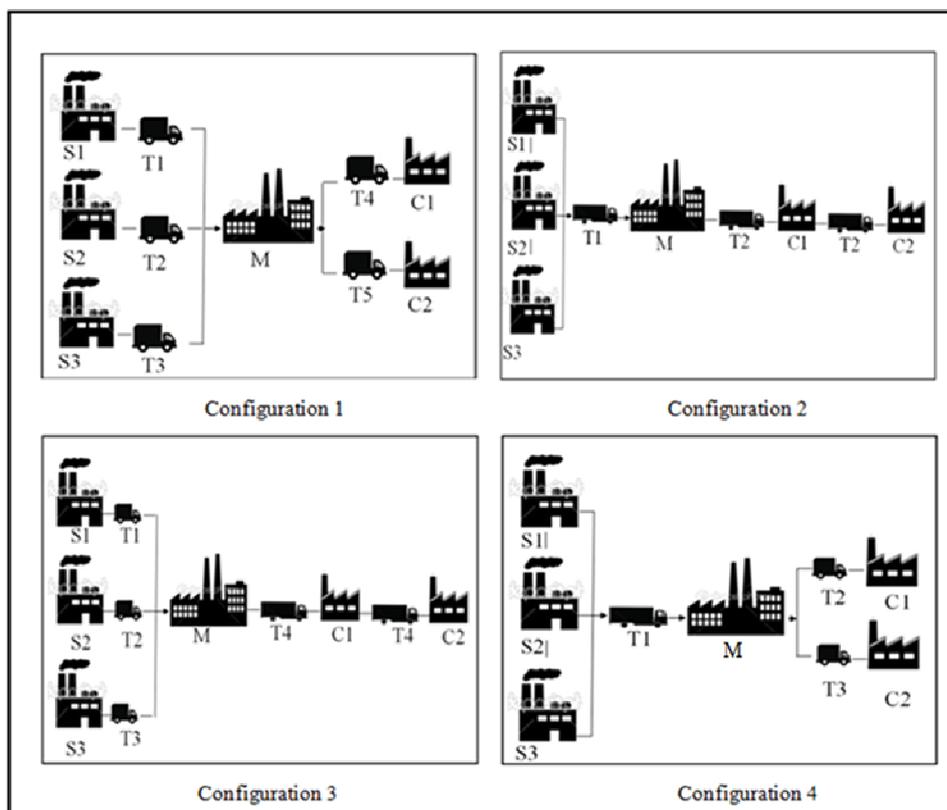


Figura 13: Ilustração das configurações 1, 2, 3 e 4.
Fonte: Elaborada pelo Autor (2015)

Observam-se na Figura 13 as seguintes identificações, em que S1, S2, S3 são os fornecedores, M a fábrica e C1, C2 os clientes, sendo esta nomenclatura a mesma para todas as configurações.

Na Tabela 2 são apresentados os tempos de transporte que foram obtidos por meio do Google Maps®, pois, o mesmo fornece o tempo médio de viagem entre as rotas estabelecidas no mapa, no qual as localizações foram estabelecidas arbitrariamente. Foram realizados três experimentos em que os mesmos diferem entre si em relação aos locais estabelecidas no mapa. Optou-se por avaliar três experimentos que foi o suficiente para a análise, contudo existe varias combinações possíveis que podem variar de acordo com as características locais de cada região.

Tabela 2: Tempo entre os trajetos para as configurações 1, 2, 3 e 4.

Config	Transp	Exper1 (h)	Exper2 (h)	Exper3 (h)	Config	Transp	Exper1 (h)	Exper2 (h)	Exper3 (h)
1	S1-M	8,45	1,73	4,42	3	S1-M	8,45	1,73	4,42
	S2-M	12,45	1,75	2,58		S2-M	12,45	1,75	2,58
	S3-M	7,02	1,88	1,77		S3-M	7,02	1,88	1,77
	M-C1	3,45	3,00	1,82		M-C1	3,45	3,00	1,82
	M-C2	3,17	3,32	3,37		C1-C2	6,57	5,65	4,58
2	S1-S2	4,77	3,27	1,43	4	S1-S2	4,77	3,27	1,43
	S2-S3	7,25	2,23	0,97		S2-S3	7,25	2,23	0,97
	S3-M	7,02	1,88	1,77		S3-M	7,02	1,88	1,77
	M-C1	3,45	3,00	1,82		M-C1	3,45	3,00	1,82
	C1-C2	6,57	5,65	4,58		M-C2	3,17	3,32	3,37

Fonte: Google Maps®. Disponível em: < <https://maps.google.com.br>>. Acesso em: 14 dez. 2015.

Na configuração 1, três caminhões pequenos (T1, T2, T3) coletam os materiais, um em cada fornecedor (S1, S2, S3), efetuam o transporte e os entregam na fábrica (M). Os produtos acabados são coletados na fábrica por dois caminhões (T4, T5) e posteriormente entregues para seus respectivos clientes (C1 e C2).

Na configuração 2, um único caminhão de grande porte (T1) coleta o material nos três fornecedores (S1, S2, S3), seguindo uma rota entre eles durante o transporte, e os entrega na fábrica (M). Da mesma forma, um único caminhão de grande porte (T2) coleta os produtos acabados da fábrica, e os entrega aos dois clientes (C1, C2).

Na configuração 3, a coleta dos materiais no fornecedor é feita por três caminhões pequenos (T1, T2, T3), um para cada fornecedor. Os materiais são

descarregados na fábrica (M) e a distribuição dos produtos acabados para os clientes (C1, C2) é feita por apenas um caminhão de grande porte (T4), formando uma rota com destinos múltiplos.

Na configuração 4, a entrega dos materiais é feita com apenas um caminhão de grande porte (T1), seguindo durante o transporte, uma rota entre os fornecedores. Após coleta dos produtos acabados na fábrica, a distribuição é feita por dois caminhões pequenos (T2, T3), destinando seu transporte um para cada cliente. Ou seja, as quatro configurações apresentam os mesmos elementos e localizações. No entanto, cada uma delas possui estratégias diferentes, do ponto de vista logístico. Assim foi possível avaliar o impacto das variáveis escolhidas para a análise, nas rotas apresentadas.

4: RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1: MODELO DE SIMULAÇÃO

O modelo foi elaborado com base nos sistemas ilustrados na Figura 13. No entanto, nesta proposta, ao invés de analisar cada cenário, como no trabalho de Rangel e Cordeiro (2015), para verificar o impacto das estruturas logísticas utilizadas, foi agregado todos os cenários em um único modelo computacional. Isto foi feito para possibilitar a utilização o algoritmo de otimização junto com a simulação que tem como propósito, neste trabalho, determinar o melhor cenário. Por convenção foi preferível chamar os cenários, agrupados em um só modelo, de configurações.

A Figura 14 ilustra, de forma esquemática, como foi feito a construção do modelo ao incluir as configurações analisadas. Observam-se os seguintes elementos na Figura: caminhão, decisor, variável de controle (vc) e as configurações. O princípio de funcionamento é o seguinte: o caminhão chega no decisor que tem como objetivo direcionar o fluxo do mesmo. O desvio para cada configuração acontece se a variável de controle atender uma condição imposta. Sendo esta variável controlada pelo módulo de otimização. Desta maneira cada configuração é testada pela otimização em razão de um dado objetivo. Este objetivo pode ser alterado em função de qualquer variável de estado registrada pela simulação, por exemplo, minimizar tempo na fila.

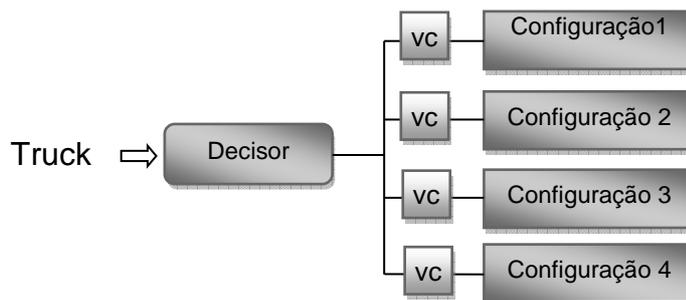


Figura 14: Esquemática do modelo proposto com otimização integrada.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2016)

O fato de se ter realizado neste trabalho a inclusão de diferentes configurações em um mesmo modelo, não significa dizer que a solução do problema passe pela construção de um único que agrega as diversas possibilidades existentes. Isso ocorre porque existem diferentes arranjos de SC com vários elos entre os elementos, além disso, dependendo da complexibilidade pode torna-se inviável para ser resolvido em tempo computacional. Outra questão é em relação aos objetivos conflitantes que podem ocorrer ao lidar com aspectos sustentáveis e econômico.

Foram otimizados as seguintes variáveis Lead Time, tempo de transporte, Emissões, sendo estas obtidas na simulação, no qual cada variável foi testada na função objetivo. A Figura 11, mostra o módulo de otimização usado. Em “Objective” a seguinte expressão foi usada, $f(x) = x_1 + x_2 + x_3 + x_4$, para minimizar as emissões, onde x_1, x_2, x_3, x_4 são as emissões geradas por cada configuração.

Apesar da soma das variáveis que são responsáveis por armazenar as emissões de cada estrutura logística em “Objective”, apenas uma delas tem um valor atribuído enquanto as outras são zero. Isto ocorre devido ao controle de “vc” que permiti ativar apenas uma configuração por vez. Assim, as mesmas são avaliadas individualmente. Para o Lead Time e Transort Time é necessario alterar a função de avaliação de forma análoga. O modelo computacional baseado a partir da ilustração na Figura 14, pode ser visto na Figura 15.

Na Figura 15 pode-se observar na margem esquerda o módulo E1 que foi responsável pela criação das entidades, que neste caso são representadas por veículos. Na seqüência temos o decisor representado pelo X que vai direcionar os caminhões em função de uma determinada condição validada pelo algoritmo de otimização. Os módulos LD, T1, T2, T3 e R1 são para calcular o lead time e time

transport sendo comuns a todos as configurações. No entanto adiciona-se L0 e L1 nas configurações 2 e 4 para limitar a quantidade de caminhões destas estruturas. Os módulos J, J1 e J2 presentes nas configurações 2, 3 e 4 são para deslocar os veículos de um ponto a outro, neste caso utilizado para melhor ajuste do modelo ao layout da tela.

Nesta Figura, na parte superior, em configuration 1, temos o módulo decisor X que apenas desvia o fluxo dos veículos pela porcentagem estipulada para cada caminho. Já F1 e F2 representam respectivamente o carregamento e descarregamento dos materiais, assim como F3, F4, F5, F6, F7, F9, F8 e F10. Os módulos R1 e R2 são os recursos que os processos F1 e F2 utilizam, bem como R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10 são os recursos utilizados na etapa de carregamento e descarregamento dos produtos. O cálculo das emissões e transporte das mercadorias foram feitos pelos módulos C1, C2, C3, C4 e C5.

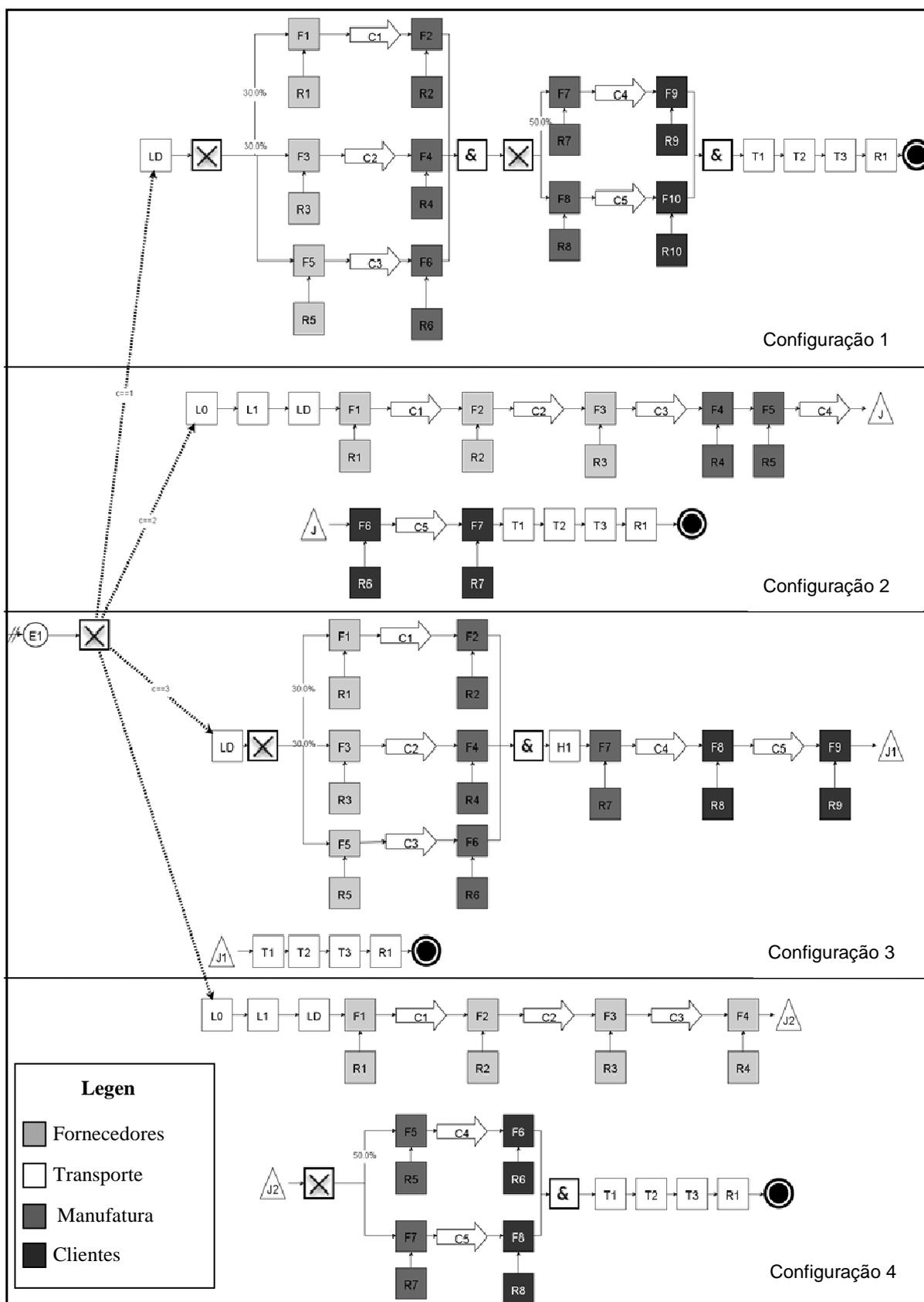


Figura 2: Modelo Computacional desenvolvido no software Ururau.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2016)

Também na Figura 15, na parte central, temos a configuração 2, onde F1, F2, F3 e F5 refere-se ao processo de carregamento dos materiais e F4, F6 e F8 a etapa de descarga dos materiais. Os módulos R1, R2, R3 e R5 são os respectivos recursos utilizados pela função de carregamento, da mesma forma que R4, R6 e R8, são os recursos do processo de descarregamento dos materiais. O cálculo das emissões e transporte da matéria prima foram realizados pelos módulos C1, C2, C3, C4 e C5.

Ainda, na Figura 15, na parte central ainda, temos a configuração 3, no qual o módulo decisor X apenas desvia o fluxo dos veículos de acordo com a porcentagem estipulada para cada caminho. Os módulos F1, F3, F5 e F7 representam o processo de carregamento do produtos e R1, R3, R5 e R7 são seus respectivos recursos. Já o processo de descarregamento é realizado pelos módulos F2, F4, F6, F8 e F9 e os seus recursos R2, R4, R6, R8 e R9. O cálculo das emissões e transporte dos produtos foram feitos pelos módulos C1, C2, C3, C4 e C5.

Por fim, na Figura 15, na parte inferior, encontra-se a configuração 4, no qual os módulos F1, F2, F3, F5 e F7 são responsáveis pelo carregamento do material e R1, R2, R3, R5 e R7 são seus recursos. O função de descarregamento do material é realizado por F4, F6 e F8, onde R4, R6 e R8 são os recursos usados por estes processos. O decisor X apenas desvia o fluxo dos veículos de acordo com a porcentagem estipulada para cada caminho O cálculo das emissões e transporte dos materiais foram feitos pelos módulos C1, C2, C3, C4 e C5.

4.2: PARÂMETROS DE RODADA DOS MODELOS

A execução do modelo de simulação foi realizada em uma maquina Dell Inspiron com processador Intel® Core™ i3-4130 CPU@ 3,4GHz, Sistema Operacional Windows 8.1 64bits.

O número de replicações foi determinado quando os resultados convergiam, estabilizando com 30 replicações. O Tamanho da rodada foi de 250 horas e o tempo de simulação pode ser visto na Tabela3. O tempo de simulação com otimização dos modelos foi de 39s. Já o tempo total de simulação dos modelos (sem otimização) foi de 1,716s, ou seja, 22,7 vezes menor que o tempo com otimização.

Apesar disso este tempo de convergência computacional é considerado eficiente para o algoritmo de otimização. As outras rodadas da etapa de experimentação tiveram tempos bem próximos aos aqui apresentados.

Tabela 1: Tempo de simulação com e sem otimização.

	Tempo de Simulação (s)	Simulação Tempo de otimização (s)
Cenário 1	0,521	39,00
Cenário 2	0,460	
Cenário 3	0,406	
Cenário 4	0,329	
Total	1,716	39,00

Fonte: Elaborado pelo Autor (2016)

4.3: INCLUSÃO DE MULTIVARIAVEIS NA FUNÇÃO OBJETIVO

Nesta etapa foi incluído o Lead Time, Tempo de Transporte e Emissões na mesma função objetivo estabelecendo pesos para cada critério, no intuito de escolher a melhor configuração que se ajusta aos pesos estabelecidos. Para isso foi realizada uma adaptação, o valor da variável Emissão foi dividido por 1000 para converter as emissões em kg e reduzir sua ordem de grandeza. Isso devido a seu elevado valor, que tornava a mesma muito sensível a pequenas oscilações estocásticas. Desta forma a seguinte expressão foi elaborada para incluir as três variáveis e seus pesos na função objetivo:

$$\sum[X*LeadTime_{(i)}+Y*Temposdetransporte_{(i)}+Z*(Emiss\tilde{a}o_{(i)}/1000)]$$

Onde:

X,Y,Z: são os pesos estabelecidos para cada critério; e

i: representa as configurações, sendo $i > 0$.

Cabe lembrar que o somatório quando executado na função objetivo da otimização computa apenas uma configuração de cada vez, atribuindo zero as

variáveis de configurações distintas. Desta maneira as variáveis de uma configuração não influenciam as outras.

A Tabela 4 mostra os pesos arbitrados para cada critério, onde os valores 0,7 e 0,6 são considerados elevados já os valores 0,3; 0,2 e 0,1 são considerados baixos. Como pode ser visto na Tabela, os pesos de P1 até P6 são combinações dos valores altos e baixos para verificar o quanto eles podem interferir nos resultados da otimização. Estas foram realizadas alternando os maiores valores para cada variável. Não foram realizadas todas as combinações possíveis, apenas algumas delas, pois os pesos baixos, não afetaram a escolha da configuração, uma vez que se priorize uma variável com um peso alto. Isso foi constatado em um teste básico ao fixar um número para cada variável.

Tabela 4: Pesos arbitrados paratestados na função de otimização.

Variável	Peso	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Lead Time	X	0,70	0,20	0,20	0,60	0,30	0,30
Tempo de trans.	Y	0,20	0,70	0,10	0,30	0,60	0,10
Emissões	Z	0,10	0,10	0,70	0,10	0,10	0,60
Total		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Fonte: Elaborado pelo Autor (2016)

Diferente da Tabela 4, a Tabela 5 mostra os valores gerados de forma randômica em uma planilha eletrônica. Os mesmos foram igualmente testados na função o objetivo da otimização. Esses valores também servem para estudar o comportamento do modelo para cada conjunto de pesos.

Tabela 2: Pesos randômicos testados na função de otimização.

Variável	Peso	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Lead Time	X	0,40	0,26	0,79	0,65	0,40	0,62	0,19	0,51	0,05
Tempo de trans.	Y	0,27	0,38	0,12	0,22	0,25	0,11	0,37	0,24	0,27
Emissões	Z	0,33	0,36	0,09	0,13	0,35	0,27	0,44	0,25	0,68
Total		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Fonte: Elaborado pelo Autor (2016)

4.4: EXPERIMENTOS SIMULADOS

Os experimentos foram executados em três partes. No item 4.3.1 (Modelo de simulação com otimização) apresentamos os resultados levando em consideração apenas uma variável na função objetivo. No item 4.3.2 estabeleceu-se pesos para cada variável e inserimos todas na função objetivo. No item 4.3.3 traz a comparação entre o método de otimização e o método da Análise Hierárquica de Processos (AHP).

4.4.1: Modelo de simulação com otimização

A Tabela 6 apresenta três experimentos e quatro configurações, onde são avaliados o Lead Time, Tempo de transporte e Emissões e o respectivo desvio padrão (S.D) de cada variável. Os valores ótimos estão destacados pelos círculos, dentre as configurações de cada experimento. Após executar o modelo de simulação via otimização com as quatro configurações utilizadas, apenas a 1 e 3 foram indicadas pela otimização. Ou seja, a configuração 1 apresentou a menor Emissão e Tempo de transporte, enquanto a configuração 3 o menor Lead Time.

Tabela 3 : Resultados das melhores configurações após a simulação com otimização.

Experiment1	Config. 1	S. D	Config. 2	S. D	Config. 3	S. D	Config. 4	S. D
Lead Time (h)	82,39	2,64	102,29	3,77	67,55	1,80	90,84	3,12
Tempo de trans. (h)	12,61	0,71	29,03	1,40	19,15	1,45	22,68	0,98
Emissão (gCO)	33279,27	3320,65	48533,00	2414,92	45093,52	3334,84	59311,46	2991,23
Experiment2	Config,1	S, D	Config,2	S, D	Config,3	S, D	Config,4	S, D
Lead Time (h)	78,15	5,39	88,69	0,54	64,31	1,11	78,16	0,86
Tempo de trans. (h)	5,02	0,10	16,23	0,30	10,58	0,27	10,67	0,18
Emissão (gCO)	14080,18	348,10	24117,10	426,55	17433,39	446,46	23176,13	334,60
Experiment3	Config,1	S, D	Config,2	S, D	Config,3	S, D	Config,4	S,D
Lead Time (h)	77,71	5,42	84,31	0,513	63,08	1,124	75,64	1,01
Tempo de trans. (h)	5,41	0,30	10,6	0,412	9,32	0,74	6,75	0,29
Emissão (gCO)	15129,92	1002,67	16022,39	505,64	17720,12	1189,96	16840,10	562,92

Fonte: Elaborado pelo Autor (2016)

Para os experimentos 1, 2 e 3 a configuração 1 apresentou o menor Tempo de Transporte e Emissão, enquanto a configuração 3 o menor Lead Time. A menor quantidade de CO para estes experimentos são respectivamente 33279,27 gCO; 14080,18 gCO e 15129,92 gCO que também são 0,73; 0,80; 0,85 vezes menor do que os valores encontrados para configuração 3. Para o Tempo de transporte os valores otimizados foram respectivamente 12,61 h; 5,02 h e 5,41 h. No entanto a configuração 3 dos experimentos apresentaram um Lead Time mínimo de 67,55 h; 64.31 h e 63,08 h respectivamente.

A Figura 16 mostra a comparação entre o Lead Time e Emissão das melhores configurações logísticas encontradas para este problema. O gráfico gerado na Figura consta com três experimentos e duas configurações. Onde identifica-se uma linha em tom de cinza escuro, que representa o Lead Time e barras na vertical em cinza claro que mostram a emissões totais. É interessante notar que para todos os experimentos os valores dessas variáveis se opõem entre as configurações, ou seja, são inversamente proporcionais, mas apresentam proporções diferentes para cada experimento.

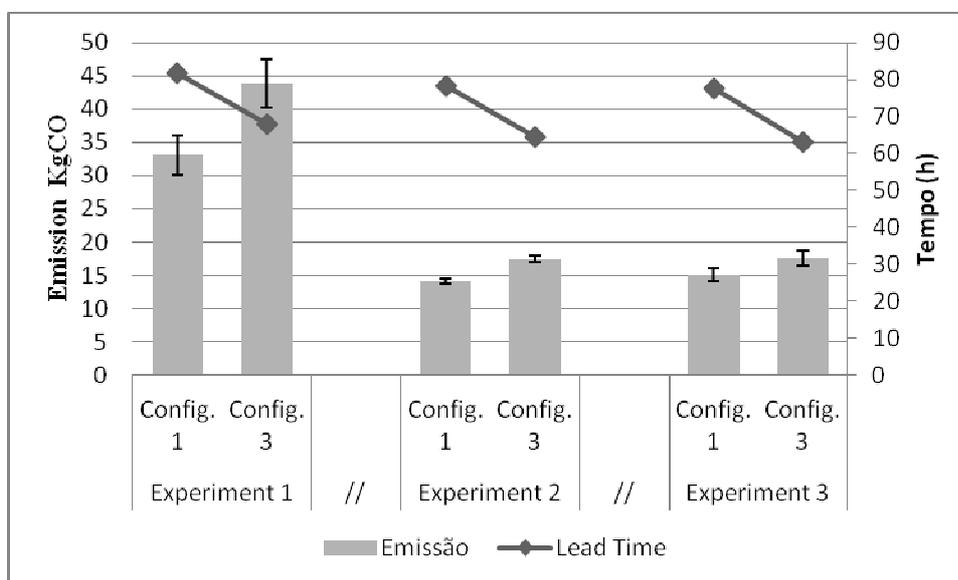


Figura 3: Comparação entre as variáveis Emissão e Lead Time.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2016)

Ao observar a Figura 16, verifica-se que para todos os experimentos, a configuração 1 apresentou uma menor emissão, porém um lead time maior. No entanto a configuração 3 apresentou um menor lead time e uma maior emissão. Ao

analisar o gráfico nesta Figura, pode-se constatar que o experimento 1 comparado com o 2 e 3 apresenta maior variação nas emissões. Porém, no lead time, estas divergências são menores, isso porque um dos fatores que afetam esta variável, além do tempo de transporte são as etapas carregamento e descarregamento. Essas funcionam como um gargalo retendo o fluxo dos veículos. Assim as diferentes posições dos fornecedores, fabricantes e clientes não causaram tanto impacto no Lead Time, quanto as etapas de processamento da carga (carregamento e descarregamento), para este problema.

O gráfico na Figura 17 mostra os *trade-offs*, entre as configurações 1 e 3 dos experimentos realizados, no qual estão representados os percentuais de avanço das configurações. As barras em tom de cinza escuro representam o Lead Time e as em cinza claro as emissões totais. De uma forma geral, observa-se que cada configuração se opõe, mostrando suas vantagens e desvantagens.

Para o experimento 1, ao comparar a configuração 3 em relação a 1 (3/1) tem-se um aumento de 33% nas emissões e uma redução de 17% no lead time, já comparando a 1 em relação a 3 (1/3) tem-se uma redução de 25% nas emissões e um aumento de 20% no lead time.

No experimento 2, ao analisar a configuração 3 em relação a 1 (3/1) tem-se um aumento de 24% nas emissões e um decréscimo de 18% no lead time, porém ao verificar a 1 em relação a 3 (1/3) há uma redução de 19% nas emissões e um acréscimo de 22% no lead time.

No experimento 3, ao avaliar a configuração 3 em relação a 1 (3/1) houve um aumento de 16% nas emissões e uma diminuição de 19% no lead time, contudo ao verificar a 1 em relação a 3 (1/3) tem-se uma redução de 14% nas emissões e um aumento de 23% no lead time.

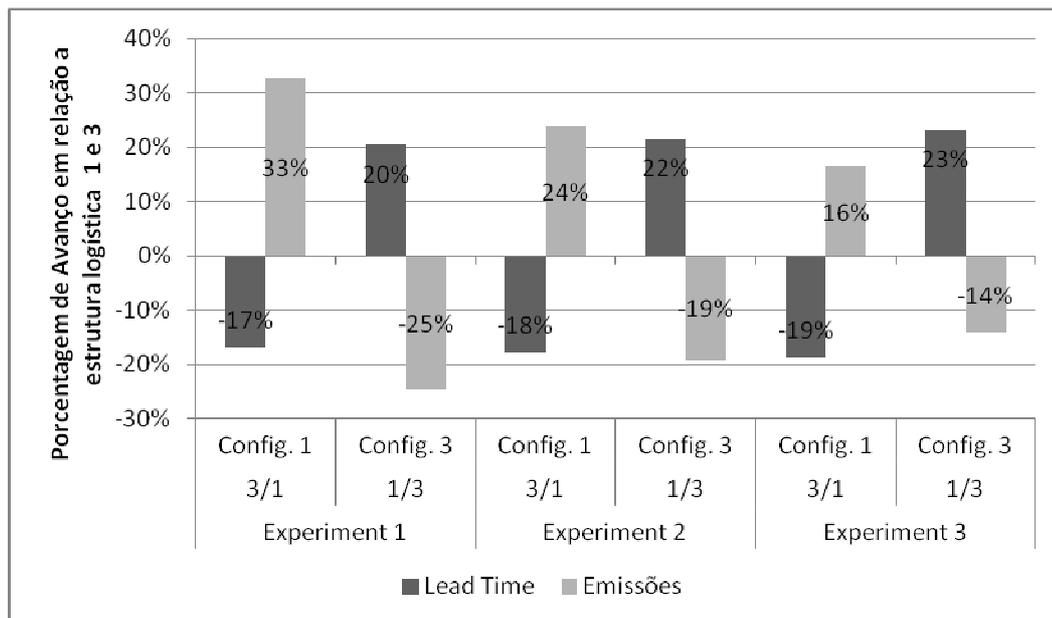


Figura 17: Porcentagem de avanço de uma estrutura logística em relação a outra.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2016)

Ainda na Figura 17, cada configuração é inversamente proporcional a outra, devido aos objetivos conflitantes. Isso ocorre porque a configuração 1 apresenta uma menor emissão e a 3 um menor lead time. Desta maneira, apesar do tempo de transporte ser diretamente proporcional a emissão e ao lead time, existe um fator que tem impacto no lead time que não afeta as emissões. Como já foi dito são as fases de processamento da carga, além desse fator inclui-se também o tipo de veículos utilizado (Maior porte ou Menor Porte) em cada configuração.

O uso de simulação via otimização possibilitou a redução do número de configurações analisadas. Dentre as quatro, somente duas foram selecionadas, pois foram mais eficientes para os objetivos pretendidos. O que facilitou a análise e interpretação detalhada dos dados, uma vez que ela reduziu o número de alternativas avaliadas. Assim, tempo e recursos foram minimizados para a análise deste problema.

4.4.2: Atribuição Pesos as Variáveis de estado

Anteriormente foi testado cada variável separadamente na função objetivo. Agora foram estabelecidos os pesos para o lead time, tempo de transporte e

emissões, adicionando estas três variáveis e seus respectivos pesos na função de avaliação.

Observam-se na Tabela 7, três grupos de pesos e seus critérios, no qual cada conjunto prioriza uma variável diferente para as quatro configurações. Esta Tabela é resultado da multiplicação dos pesos, pelos valores das variáveis do experimento 1 da Tabela 6. O processo de escolha da configuração foi simples, aquela que apresentou o menor valor total foi escolhida como a melhor. Desta maneira foi comparado o resultado da Tabela com o retornado pela simulação com otimização.

Tabela 7: Resultados das configurações considerando os pesos para cada critério.

Priorizando o Lead Time				
Critérios & Pesos-1	Config. 1	Config. 2	Config. 3	Config. 4
Lead Time (0,7)	57,22	71,60	47,28	63,59
Tempo de trans.(0,2)	2,52	5,81	3,83	4,54
Emissões Totais (0,1)	3,33	4,85	4,51	5,93
Total	63,07	82,26	55,62	74,05
Priorizando o Tempo de Transporte				
Critérios & Pesos-2	Config,1	Config,2	Config,3	Config,4
Lead Time (0,2)	16,35	20,23	13,51	18,17
Tempo de trans(0,7)	8,82	20,32	13,40	15,87
Emissões Totais(0,1)	3,33	4,85	4,51	5,93
Total	28,50	45,41	31,42	39,97
Priorizando as Emissões				
Critérios & Pesos-3	Config,1	Config,2	Config,3	Config,4
Lead Time (0,2)	16,35	20,23	13,51	18,17
Tempo de trans(0,1)	1,26	2,90	1,91	2,27
Emissões Totais(0,7)	23,29	33,97	31,57	41,52
Total	40,90	57,11	46,99	61,95

Fonte: Elaborado pelo Autor (2016)

Na Tabela 7, pode-se observar que ao priorizar o Lead Time a configuração 3 é escolhida, pois apresenta o menor valor total. Priorizando tanto o Tempo de transporte quanto as emissões totais a configuração 1 foi selecionada. A seleção destas configurações pela otimização são as mesmas ao analisar somente um critério por vez.

A Tabela 8 é a continuação da Tabela 7, e ambas têm a mesma função de testar o comportamento das variáveis em relação ao peso estabelecido, porém

apresenta um layout sintetizado para execução de mais experimentos. Aqui foram testados os pesos de 4 a 8, que podem ser vistos na Tabela 4 e 5. Todas as iterações podem ser encontradas no Apêndice B.

Tabela 8: Resultados sintetizados das configurações considerando os pesos para cada critério.

Pesos	Conf.	Lead Time	Tempo Transporte	Emissões Totais	Total	Pesos	Conf.	Lead Time	Tempo Transporte	Emissões Totais	Total
4	1	49,04	3,78	3,33	56,15	7	1	32,43	3,44	10,99	46,86
	2	60,70	8,71	4,85	74,26		2	40,13	7,93	16,03	64,08
	3	40,53	5,74	4,51	50,78		3	26,80	5,23	14,89	46,92
	4	54,50	6,80	5,93	67,24		4	36,03	6,19	19,59	61,81
5	1	24,52	7,56	3,33	35,41	8	1	21,35	4,82	11,85	38,02
	2	30,35	17,42	4,85	52,62		2	26,43	11,11	17,28	54,82
	3	20,26	11,49	4,51	36,26		3	17,65	7,33	16,05	41,03
	4	27,25	13,61	5,93	46,79		4	23,73	8,68	21,11	53,52
6	1	24,52	1,26	19,97	45,75						
	2	30,35	2,90	29,12	62,37						
	3	20,26	1,91	27,06	49,24						
	4	27,25	2,27	35,59	65,11						

Fonte: Elaborado pelo Autor (2016)

Os resultados estão de acordo com o modelo de simulação com otimização em relação à seleção das configurações ao considerar cada conjunto de pesos. Como podem ser visualizados na Tabela 8, os valores totais em destaque são que representam as configurações que minimizam os sistemas. As configurações 1 e 3 são sempre escolhidas, pois são os melhores em relação ao 2 e 4 conforme já demonstrado anteriormente na Tabela 6.

A Figura 18 a seguir representa o gráfico dos valores totais absolutos e relativos das configurações para cada grupo de pesos referente à Tabela 7. A linha cinza escuro representa as variações relativas de cada conjunto de pesos, enquanto as barras em cinza claro as absolutas. Note-se que os valores absolutos apresentaram diferenças distintas entre os seus conjuntos. Porém as alterações são mínimas nos valores relativos, ao comparar as respectivas configurações de um grupo com outro.

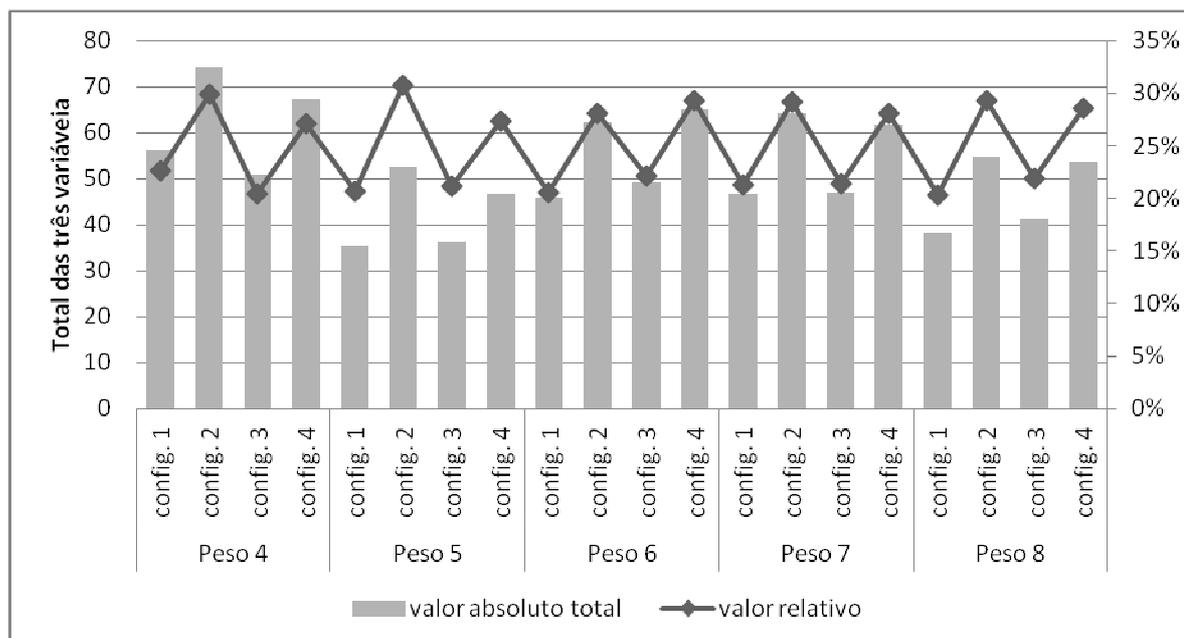


Figura 18: Valores totais absolutos e relativos de cada cenário para os conjuntos de pesos da Tabela 7.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2016)

Para cada conjunto de pesos as configurações 1 e 3 se destacam por apresentarem um menor valor total. Em termos absolutos nota-se uma variação que não segue uma proporção entre cada grupo. Mas ao analisar os valores relativos os mesmos seguem uma oscilação quase proporcional com uma diferença entorno de 2% para as mesmas configurações em cada conjunto. Isto significa dizer que as diferentes variações totais de cada conjunto de pesos não forçaram ou tendenciaram a escolha de uma determinada configuração pela otimização.

4.4.3: Comparação entre o método de simulação com otimização e o AHP

Ao usar o método de otimização, onde considerou mais de um critério na função objetivo estabelecendo pesos para estes critérios, conseguiu-se chegar a um determinado resultado. Assim optou-se por utilizar o método multicritério AHP proposto por Saaty (2003), que também visa escolher uma alternativa que melhor se aderi aos critérios e pesos estabelecidos. O intuito foi verificar se os resultados convergiam com os mesmos da otimização. A Figura 19 mostra a estrutura

hierárquica proposta. O objetivo é escolher a melhor configuração, no qual são analisados três critérios e quatro alternativas.

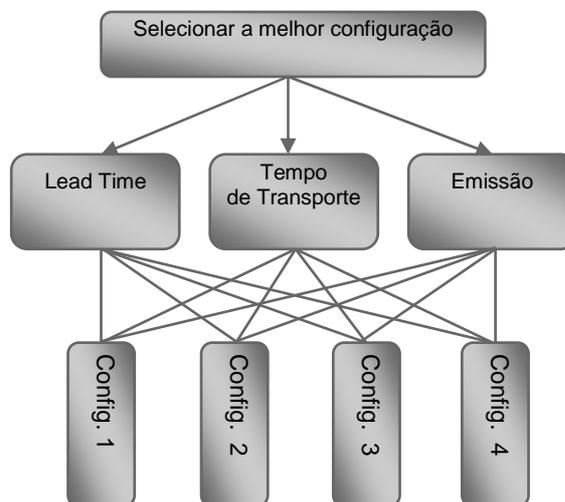


Figura 4 - Hierarquia do problema proposto.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2016)

As alternativas e os critérios foram comparados par a par e posteriormente convertidos para escala de Saaty. Os critérios são as variáveis Lead Time, Tempo de transporte e Emissão, e as alternativas são as configurações. A Comparação das alternativas foram feitas utilizando os valores do experimento 1 da Tabela 5, já a dos critérios foram utilizados os pesos da Tabela 2 e 3, que são os mesmos usados na simulação com otimização.

A Tabela 9 mostra um comparativo entre a resposta do modelo de simulação com otimização e o método AHP em relação às configurações escolhidas. Para cada um foi usado o mesmo grupo de pesos, no qual convergiram, na maioria das vezes, para ambos os métodos.

Tabela 9: Comparativo entre a resposta do modelo de simulação com otimização e o método AHP.

Pesos	Simulação com otimização	AHP
Peso 4	Configuração3	Configuração3
Peso 5	Configuração1	Configuração1
Peso 6	Configuração1	Configuração1
Peso 7	Configuração1	Configuração3
Peso 8	Configuração1	Configuração1
Peso 9	Configuração3	Configuração3
Peso 10	Configuração3	Configuração3
Peso 11	Configuração1	Configuração3
Peso 12	Configuração3	Configuração3
Peso 13	Configuração1	Configuração1
Peso 14	Configuração3	Configuração3
Peso 15	Configuração1	Configuração1

Fonte: Elaborado pelo Autor (2016)

Observa-se na Tabela 9, que os resultados entre os métodos são iguais para os Pesos 4, 5, 6, 8, 10, 12, 13, 14 e 15. No entanto ao utilizar o Peso 7 e 11 nota-se uma diferença entre os métodos utilizados. Para ambos os Pesos 7 e 11, a configuração 1 foi escolhido ao usar simulação com otimização enquanto a configuração 3 foi melhor no AHP. Esta divergência ocorreu possivelmente devido aos valores totais muito próximos entre as configurações 1 e 3. Para o Peso 7 os valores foram de 46.86 para o cenário 1 e 46.92 para o cenário 2, enquanto para o Peso 11 foram de 47.49 para o cenário 1 e 47.59 para o cenário 3. A diferença percentual entre as configurações 1 e 3 para os Pesos 7 e 11 são respectivamente 0,13% e 0,21%. Assim o método AHP não foi tão sensível a ponto de captar essas diferenças sutis.

5: CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A DISSERTAÇÃO

5.1: CONCLUSÕES

A melhor configuração logística dentre as estudadas foi encontrada através da utilização de um algoritmo de otimização com o modelo de simulação. Estas foram determinadas com forme os seguintes critérios: apresentar menor emissão; lead time mais rápido; minimizar o tempo de transporte. Para todos os experimentos a configuração 1 apresentou uma menor emissão e tempo de transporte, enquanto a configuração 3 minimizou o lead time, ou seja, houve um trade-off (troca de desempenho) em relação a configuração 1 e 3. Uma questão levantada a partir desta análise foi a seguinte: por que a configuração com menor tempo de transporte e emissão também não apresentou um menor lead time, uma vez que estes são diretamente proporcionais? Por meio desta pergunta verifico-se que existe um fator que pode reduzir ou aumentar o lead time sem influenciar as emissões ou tempo de transporte, tal fator foi o tempo de carregamento e o tipo de veículo utilizado. Por isso algumas variáveis foram inversamente proporcionais entre si ao realizar a comparação das configurações.

Foi adaptado a função objetivo do algoritmo de otimização, considerando pesos para os critérios Lead Time, Tempo de transporte e Emissões. Desta maneira foi possível comparar os resultados da simulação via otimização com o método AHP. Ambos os métodos convergiram os resultados, exceto quando alternativas avaliadas apresentaram diferenças percentuais de 0.13% e 0.21%, assim o método puramente matemático da otimização foi mais exato numericamente.

O uso do método AHP foi uma maneira de validar a adaptação realizada na função objetivo e mostrou-se muito aderente ao problema. Se fosse utilizado o método AHP aplicado aos resultados da simulação chegaríamos as alternativas muito semelhantes à simulação com otimização. Porém ainda a necessidade de fazer mais testes, não podendo generalizá-lo uma vez que ele foi usado em um problema específico.

Após todos os experimentos realizados pode-se concluir que o software Ururau foi adequado a aplicação feita neste trabalho, o mesmo conseguiu executar a simulação com otimização sem nenhum tipo de problema. E uma das vantagens foi o fato do software ser livre e de código, isento de custos e customizável.

Por fim, apesar de ter sido testado em um único modelo com diferentes configurações internas para o transporte da carga, o estudo apresentado indica que ao se avaliar aspectos ambientais (emissões de CO) e econômicos, a investigação precisa ser feita com muito cuidado. O que pode ser visto, é que, neste tipo de análise, o recomendado é fazer modelos que envolvam as diferentes opções que se pode ter para fazer o transporte da carga. Pois, de acordo com o sistema logístico optado, pode-se chegar a resultados conflitantes entre as variáveis de desempenho do sistema e as ambientais.

5.2: LIMITAÇÕES DO TRABALHO

O estudo foi limitado a um sistema logístico hipotético, mesmo o modelo sendo genérico e os dados próximos da realidade, este sistema não representa o real podendo não ser percebidas questões relacionadas ao sistema. Também não foi considerada a integração de diferentes modais, sendo analisado somente o rodoviário. Outro ponto a ser mencionado é que o software Ururau está em estágio embrionário, dessa forma os modelos mais complexos podem ser bastante trabalhosos ou inviáveis.

5.3: SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Uma das limitações foi a utilização de um sistema hipotético, portanto sugere-se uma aplicação em um caso real. Também poderia usar SED com Projeto e Análise de Experimento para uma análise mais aprofundada do sistema estudado.

Outra sugestão seria fazer vários experimentos em países diferentes e compará-los com o realizado no Brasil, para verificar se as variáveis lead time, tempo de transporte e emissões apresentam comportamento diferente do que foi encontrado. Assim, proporcionando uma melhor compreensão do sistema estudado em uma escala global.

5.4: PRODUÇÕES ORIGINADAS NESTE TRABALHO

5.4.1: 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.

5.4.2: 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.

5.4.3: 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.

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.

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.

BERTRAND, J.W.M.; FRANSOO, J.C. Modelling and Simulation: operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations and Production Management**, New York, v.22, n.2, p.241-264, 2002. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com>>. Acesso em: 15 nov 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: [S.n], 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

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 Goytcazes, RJ, 2016.

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**.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.; R. G. SARGENT. 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.

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.

RIOS, Pedro; STUART, Julie Ann; ED Grant. 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.

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.

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.

SOLDING, Petter; DAMIR Petku; 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.

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.

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.

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.

WIEDEMANN, T. Simsolution: An open simulation environment founded on extreme multitasking. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2005, Piscataway, New Jersey. **Proceedings...** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2006. p. 631-636.

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.

APÊNDICE A: DESCRIÇÃO DO MODELO CONCEITUAL

Módulo	Description		Parameters		
E1	Responsável pela criação de entidades.		T. Chegadas: Const. (1 h) T. Prim. Chegada: 0.0 h Máx. Chegadas: 20		
X	Decide		Type: N-way-by-condition Expression (1) if true: c= = 1 Expression (2) if true: c= = 2 Expression (3) if true: c= = 3 Expression (4) if false		
Configuration1			Configuration2		
LD	Adiciona um atributo ao modelo	Type: Attribute Attribute Name: leadtime Value: TNOW	L0	Adiciona um variável ao modelo	Type: variable Variable Name: C2S2 Value: C2S2+1
X	Decide	Type: N-way-by-chance 1- Percentage if true % : 30 2- Percentage if true % : 30 3-Percentage if : false	L1	Hold	Expression if true: C2S2<=7
F1	Executa um processo	Type: Expression Value: (20000/4000)	LD	Adiciona um atributo ao modelo.	Type: Attribute Attribute Name: leadtimeS2 Value: TNOW
F2	Executa um processo	Type: Expression Value: (20000/6000)	F1	Executa um processo	Type: Expression Value: (20000/4000)
F3	Executa um processo	Type: Expression Value: (23000/4000)	F2	Executa um processo	Type: Expression Value: (25000/6000)
F4	Executa um processo	Type: Expression Value: (23000/6000)	F3	Executa um processo	Type: Expression Value: (10000/4000)
F5	Executa um processo	Type: Expression Value: (10000/4000)	F4	Executa um processo	Type: Expression Value: (55000/6000)
F6	Executa um	Type: Expression Value: (10000/6000)	F5	Executa um	Type: Expression Value: (50000/4000)

	processo			processo	
X	Decide	Type: 2-way-by-chance 1- Percentage if true % : 50 2-Percentage if : false	J	Jump	
F7	Executa um processo	Type: Expression Value: (46000/4000)	F6	Executa um processo	Type: Expression Value: (25000/6000)
F8	Executa um processo	Type: Expression Value: (46000/4000)	F7	Executa um processo	Type: Expression Value: (25000/6000)
F9	Executa um processo	Type: Expression Value: (23000/4000)	C1	Calcula as emissões	Variable name: var1S2 Time(h):NORM(4.77,1.5) Emissions coefficient: 1.5 Power: 265 Load(kg): 20000 Legal Combined Total Whole Weight(kg): 560000
F10	Executa um processo	Type: Expression Value: (23000/4000)	C2	Calcula as emissões	Variable name: var1S2 Time(h):NORM(7.25,2.0) Emissions coefficient: 1.5 Power: 265 Load(kg): 45000 Legal Combined Total Whole Weight(kg): 560000
C1	Calcula as emissões	Variable name: var1 Time(h):NORM(8.85,2.0) Emissions coefficient: 1.5 Power: 136 Load(kg): 20000 Legal Combined Total Whole Weight(kg): 30000	C3	Calcula as emissões	Variable name: var1S2 Time(h):NORM(7.02,2.0) Emissions coefficient: 1.5 Power: 265 Load(kg): 55000 Legal Combined Total Whole Weight(kg): 56000
C2	Calcula as emissões	Variable name: var1 Time(h):NORM(12.45,3.0) Emissions coefficient: 1.5 Power: 136 Load(kg): 23000 Legal Combined Total Whole Weight(kg): 30000	C4	Calcula as emissões	Variable name: var1S2 Time(h):NORM(3.17,1.0) Emissions coefficient: 1.5 Power: 265 Load(kg): 50000 Legal Combined Total Whole Weight(kg): 56000
C3	Calcula as emissões	Variable name: var1 Time(h):NORM(7.02,1.5) Emissions coefficient: 1.5 Power: 136 Load(kg): 10000 Legal Combined Total Whole Weight(kg): 30000	C5	Calcula as emissões	Variable name: var1S2 Time(h):NORM(6.57,2.0) Emissions coefficient: 1.5 Power: 265 Load(kg): 25000 Legal Combined Total Whole Weight(kg): 56000
C4	Calcula as emissões	Variable name: var1 Time(h):NORM(3.45,1.0) Emissions coefficient: 1.5 Power: 136 Load(kg): 10000 Legal Combined Total Whole Weight(kg): 30000	T1	Adiciona umavariável ao modelo.	Type: variable Variable Name: somaS2 Value: EMISSION_LEAD_TIME+somaS2
C5	Calcula as emissões	Variable name: var1 Time(h):NORM(3.17, 1.0) Emissions coefficient: 1.5	T2	Adiciona umavariável ao	Type: variable Variable Name: countS2 Value: countS2+1

		Power: 136 Load(kg): 23000 Legal Combined Total Whole Weight(kg): 30000		modelo.	
T1	Adiciona um variável ao modelo.	Type: variable Variable Name: soma Value: EMISSION_LEAD_TIME+soma	T3	Adiciona um variável ao modelo.	Type: variable Variable Name: transportS2 Value: somaS2/(count)
T2	Adiciona um variável ao modelo.	Type: variable Variable Name: count Value: count+1	R1	Lead Time.	Type: Time Interval Attribute: leadtimeS2
			R1 até R7	Resource	Capacity1
T3	Adiciona um variável ao modelo.	Type: variable Variable Name: transport Value: soma/(count)			
R1	Lead Time.	Type: Time Interval Attribute: leadtime			
R1 até R9	Resource	Capacity1			

Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

APÊNDICE B: RESULTADOS DOS CENÁRIOS AO CONSIDERAR OS PESOS PARA CADA CRITÉRIO.

Pesos	Conf.	Lead Time	Transport Time	Total Emission	Total	Pesos	Conf.	Lead Time	Transport Time	Total Emission	Total
4	1	49.04	3.78	3.33	56.15	10	1	53.35	2.81	4.13	60.29
	2	60.70	8.71	4.85	74.26		2	66.03	6.48	6.02	78.53
	3	40.53	5.74	4.51	50.78		3	44.09	4.28	5.59	53.96
	4	54.50	6.80	5.93	67.24		4	59.29	5.06	7.35	71.71
5	1	24.52	7.56	3.33	35.41	11	1	32.70	3.15	11.65	47.49
	2	30.35	17.42	4.85	52.62		2	40.46	7.26	16.99	64.71
	3	20.26	11.49	4.51	36.26		3	27.02	4.79	15.78	47.59
	4	27.25	13.61	5.93	46.79		4	36.33	5.67	20.76	62.76
6	1	24.52	1.26	19.97	45.75	12	1	50.32	1.44	8.99	60.75
	2	30.35	2.90	29.12	62.37		2	62.27	3.32	13.11	78.70
	3	20.26	1.91	27.06	49.24		3	41.58	2.19	12.18	55.95
	4	27.25	2.27	35.59	65.11		4	55.92	2.59	16.03	74.53
7	1	32.43	3.44	10.99	46.86	13	1	15.82	4.72	14.38	34.91
	2	40.13	7.93	16.03	64.08		2	19.57	10.87	20.97	51.41
	3	26.80	5.23	14.89	46.92		3	13.07	7.17	19.48	39.72
	4	36.03	6.19	19.59	61.81		4	17.58	8.49	25.62	51.69
8	1	21.35	4.82	11.85	38.02	14	1	41.30	3.08	8.33	52.71
	2	26.43	11.11	17.28	54.82		2	51.11	7.10	12.15	70.35
	3	17.65	7.33	16.05	41.03		3	34.13	4.68	11.29	50.10
	4	23.73	8.68	21.11	53.52		4	45.90	5.54	14.84	66.28
9	1	64.22	1.61	2.90	68.72	15	1	4.27	3.35	22.68	30.31
	2	79.47	3.70	4.22	87.39		2	5.29	7.72	33.08	46.09
	3	53.07	2.44	3.92	59.43		3	3.53	5.10	30.74	39.36
	4	71.36	2.89	5.16	79.41		4	4.75	6.03	40.43	51.21

Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

APÊNDICE C: O USO DE INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL NA LÓGICA DE DECISÃO EM MODELOS DE SIMULAÇÃO - UMA APLICAÇÃO NO CÁLCULO DE EMISSÕES DE GASES EM SISTEMAS LOGÍSTICOS

Fábio Freitas da Silva, Eder Reis Tavares, João José de Assis Rangel,

Túlio Almeida Peixoto, Ítalo de Oliveira Matias

Universidade Candido Mendes – UCAM, Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil

Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento, v.7, n.2, p. 228-247, 2015.

Resumo

Este trabalho emprega redes neurais artificiais em modelos de simulação a eventos discretos para classificação de entregas de fornecedores em um sistema logístico. Os modelos de simulação foram resolvidos utilizando algoritmos de inteligência computacional para efetuar decisões baseadas nas emissões dos gases emitidos pela frota e custos gerados durante as entregas. Além disso, foi realizada uma comparação de dois *frameworks* de redes neurais artificiais para determinar o mais eficiente em termos de velocidade de execução. Foi utilizado o *software* livre e de código fonte aberto Ururau. Foram classificadas as entregas dos fornecedores de regiões distintas para avaliar qual região tem maior número de aprovações. A biblioteca *Fast Artificial Neural Network* apresentou tempo de execução quatro vezes mais rápida, aproximadamente, em relação à ENCOG que estava sendo utilizada no *software*.

Palavras-chave: Simulação a Eventos Discretos, Ururau, Efeito Estufa, Monóxido de Carbono.

Abstract

This work employs artificial neural networks in discrete event simulation models to classify deliveries of suppliers in a logistic system. The simulation models were solved using computational intelligence algorithms to make decisions based on the gas emissions emitted by the fleet and costs generated during the deliveries. Besides, a comparison of two frameworks of artificial neural networks to determine the most efficient one in terms of execution speed was made. The free and open source *software* Ururau was used. Deliveries of suppliers of different regions were classified to evaluate which region has the highest number of acceptance. The Fast Artificial Neural Network library presented better performance concerning the one that has been used in the *software*.

Keywords: Discrete Event Simulation, Ururau, Greenhouse, Carbon Monoxide.

1. Introdução

Em recentes trabalhos, autores como Bergmann *et al.* (2014) e Silva *et al.* (2014) utilizaram redes neurais artificiais (RNA) para modelar os eventos associados a decisões tomadas por pessoas em modelos de simulação a eventos discretos (SED). Estes pesquisadores têm investigado alternativas para representar de forma mais realística e com maior nível de detalhes o comportamento das ações realizadas por pessoas em sistemas discretos. Isto se deve ao fato de que, na maioria dos

casos, os *softwares* de SED utilizam regras básicas, com operadores lógicos, para representar decisões. Ou ainda, em outros casos mais simples, utilizam apenas porcentagens obtidas em dados históricos para representar as tendências realizadas pelo conjunto das decisões tomadas em algum processo. Assim, a inclusão de algoritmos de inteligência computacional, como RNA, que podem representar melhor uma ação proveniente de uma decisão humana em modelos de SED é um campo de pesquisa que pode ser explorado.

Diante desta questão, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de bibliotecas de RNA para atuarem na lógica de decisão de modelos de SED. O problema definido para os testes computacionais considerou um sistema de transporte de cargas com o cálculo de emissões de CO. Alguns trabalhos recentes têm demonstrado a aplicação de modelos de SED com cálculo de emissões gasosas em sistemas logísticos. Byrne *et al.*, (2010), por exemplo, apresentaram ferramentas utilizadas na análise ambiental de *supplychain*. Os autores investigaram o uso de SED para capturar a natureza dinâmica das operações e projetos de uma cadeia de suprimentos. Assim, eles analisaram a relação de compensação entre o viés econômico e ambiental. Já Jaegler e Burlat (2012) focaram sua pesquisa nas emissões de CO₂ ao longo da cadeia de suprimentos oriundas desde o gasto energético dos transportes até o armazenamento do estoque. No trabalho de Rangel e Cordeiro, (2015), por sua vez, foi demonstrado o cálculo das emissões de gases do efeito estufa provenientes do transporte de cargas em sistemas logísticos e a possibilidade de utilização do *software* Ururau nesta aplicação.

Os testes realizados consideraram um modelo de simulação de um sistema logístico onde foi avaliada as emissões de CO proveniente dos veículos da frota utilizada no transporte da carga. O modelo de simulação foi construído com o *software* Ururau, que é descrito em detalhes no trabalho de Peixoto *et al.* (2013). O referido *software* possibilita a inclusão de algoritmos de RNA durante a etapa de construção de um modelo SED. A condução dos testes buscou avaliar duas bibliotecas de RNA para realizarem a lógica de decisão nos modelos.

A organização deste texto segue da seguinte forma. A segunda seção apresenta uma revisão de literatura sobre SED com aspectos ambientais, bem como o *software* Ururau no cálculo de emissões de CO e os *frameworks* das RNA. A terceira seção descreve o cenário do modelo de simulação proposto. A quarta seção

descreve os testes e as análises dos resultados de simulação e a comparação das bibliotecas de RNA. Por fim, a quinta seção discute as conclusões obtidas com este trabalho.

2.Revisão de Literatura

A seção foi elaborada para fornecer ao leitor uma base sobre os assuntos discutidos neste trabalho. Assim, esta seção foi dividida nos seguintes itens. Primeiro, foram apresentadas referências bibliográficas sobre simulação discreta com aspectos ambientais. Em seguida foram descritas referências relacionadas com o *software* Ururau como ferramenta viável para o cálculo de emissões de CO. Por fim foram apresentadas referências sobre *Frameworks* de redes neurais artificiais.

2.1 Simulação a eventos discretos com aspectos ambientais

Uma revisão de literatura realizada por Fakhimiet al. (2013) forneceu uma visão sintetizada das abordagens de modelagem e simulação que tratavam de problemas ambientais. Neste trabalho, os autores agruparam as publicações por áreas de aplicação. De acordo com os resultados apresentados por eles, 42% dos estudos desenvolveram modelos para o setor de manufatura, 35% estão relacionados à modelagem de ecossistemas, 14% dos modelos estão relacionadas à modelagem regional e urbana, 5% dos artigos desenvolveram modelos para o setor de agricultura, e 3% também utilizaram técnicas de modelagem para abordar aspectos ambientais no setor de transporte. Os autores ainda dividiram os trabalhos por técnica de simulação e identificaram que 12 % dos artigos utilizaram SED para a modelagem dos sistemas.

Ainda neste tema, segundo dados recentes da *International Energy Agency* (IEA), os dois setores responsáveis pela maior parcela das emissões de CO₂ no mundo são: geração de eletricidade e aquecimento, com 42%, seguidos pelo setor de transporte, com 23%. Além disso, o setor de transportes apresentou uma taxa de crescimento considerada alta (64%), entre os anos de 1990 a 2012, impulsionado, principalmente, pelas emissões do setor rodoviário (IEA Statistics 2014).

Dada a importância dos aspectos ambientais na área de transporte e o baixo número de publicações nessa área identificados no trabalho de Fakimiet *al.* (2013), foi realizada então uma busca bibliográfica a base SCOPUSS. Isto foi feito para mapear com mais detalhes os trabalhos de SED envolvendo aspectos ambientais na área de logística e cadeia de suprimentos. Esta busca então retornou um total de 10 artigos, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Artigos na base SCOPUSS no período de 1960 a janeiro de 2015.

Assuntos	ARTIGO(S) IDENTIFICADO(S) NAS BASES SCOPUSS
<i>Discrete event simulation / Sustainable / Logistics</i>	(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); Rangel and Cordeiro (2015)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

O conjunto de trabalhos apresentados nesta Tabela mostram as aplicações de SED em sistemas logísticos relacionados à questão ambiental. Dentre esses artigos, destacam-se os trabalhos de Byrne et al. (2010) Jaegler e Burlat (2012), Jaegler e Burlat (2013) e Rangel e Cordeiro (2015) com maior aderência ao escopo do tema aqui tratado. Note ainda que, apesar da busca ter sido realizada no período de 1960 a janeiro de 2015, o primeiro artigo encontrado sobre o assunto data de 2007.

Byrne et al. (2010), em seu trabalho documentam ferramentas usadas na análise da cadeia de suprimentos e investiga o potencial usos de SED como método de capturar a sua natureza dinâmica de projeto e operações. Os autores fazem uma revisão e avaliação do uso de análises quantitativas para apoiar os tomadores de decisão na escolha de um projeto de cadeia de suprimentos mais amigável ambientalmente. Isto foi feito através da modelagem e SED para capturar os fatores de entrada dinâmicos e ilustrar a relação entre os aspectos econômicos e ambientais de um projeto de rede de suprimentos.

Jaegler e Burlat (2012) estudaram em seu trabalho as emissões de CO₂ ao longo da cadeia de suprimentos, desde as emissões do uso de energia do transporte até o armazenamento de estoque. O modelo proposto simula uma cadeia de suprimento de três camadas e quatro variáveis: capacidade de fornecimento, locais,

tipo de transporte, e tipos de produtos. O objetivo é comparar os níveis de emissão de CO₂ para as diferentes configurações de cenários. Assim, foi possível apoiar a tomada de decisões e promover redes de colaboração sustentáveis, auxiliando os gestores a selecionar uma cadeia de suprimentos mais sustentável ambientalmente.

Jaegler e Burlat, (2013) também concentram sua pesquisa nas emissões de CO₂ ao longo da cadeia de suprimentos. Assim como o trabalho anterior, foi elaborado um modelo baseado na SED. Porém, este usa política de gestão de produção com ponto de reabastecimento e estratégia de resposta a demanda de produção para estoque. A capacidade de produção também foi levada em consideração. Além disso, foram modelados a localização das empresas e seus tipos de produtos. O objetivo foi comparar as emissões de CO₂ equivalentes de diferentes configurações de redes de abastecimento.

Por último, Rangel e Cordeiro (2015) demonstraram como o cálculo das emissões dos gases do efeito estufa provenientes do transporte em sistemas logísticos podem ser analisados com modelos SED. Os autores compararam as variáveis econômicas e ambientais, em contraste com que é feito usualmente nestes tipos de sistemas, onde é feito somente a análise das variáveis econômicas.

Os trabalhos citados abordaram a emissão de gases do efeito estufa na cadeia de suprimentos analisando as variáveis econômicas e ambientais. Assim, estes trabalhos serviram de guia para a elaboração e modelagem do sistema proposto.

2.2 O software *Ururau* no cálculo de emissões de CO

O *Ururau* é um *software* para SED livre e de código aberto, que utiliza como base a biblioteca de simulação JSL (*Java Simulation Library*) (ROSSETTI, 2008). Este *software* permite representar sistemas reais por meio da construção de modelos de simulação em interface gráfica (GUI - *Graphic User Interface*) como também em uma API - *Application Programming Interface* (PEIXOTO *et al.*, 2013). Para construir os modelos basta arrastar os módulos para a área de trabalho e os conectar, conforme o fluxo do sistema. Estes elementos possuem um conjunto de funções para utilizar no desenvolvimento do modelo de simulação, maiores explicações são apresentadas no trabalho de Peixoto *et al.* (2015). Silva *et al.* (2012) realizaram uma

extensão ao código fonte do *software*Ururau partindo de suas camadas inferiores de forma a possibilitar a comunicação com um módulo de inteligência computacional. Posteriormente, Silva *et al* (2014) realizaram a implantação de um *framework* no código fonte do Ururau, permitindo executar uma RNA no modelo de forma mais facilitada para pessoas menos especializadas em programação de computadores. Para desenvolvimento e utilização do *software*, é possível acessá-lo, disponível em: <<http://ururau.ucam-campos.br>>.

Atualmente, a equipe de desenvolvimento do *software*reconstruiu um módulo que permite ao *software*calcular a emissão de CO em entidades que trafegam nos modelos. Ou seja, a partir deste recurso, tornou-se possível desenvolver um modelo de um sistema logístico, por exemplo, em que a emissão dos gases emitidos pela descarga 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 propriamente dito (tempo, coeficiente de emissões, potência do motor, carga do veículo e peso bruto total do veículo).

Por fim, destaca-se que em recente artigo, DagkakiseHeavey (2015), analisaram o estado da arte de *softwares* livres de SED utilizados para apoio à decisão na área de Pesquisa Operacional. Neste trabalho, os autores citaram o *software*Ururau, dentre quarenta e quatro outros *softwares* e bibliotecas com propósito equivalente, e ressaltaram os seguintes fatos positivos:

- I. Comparação dos resultados com o software ARENA;
- II. Disponibilidade de interface gráfica para a construção de modelos; e
- III. Disponibilidade de videos tutoriais na internet.

2.3 Frameworksde redes neurais artificiais

Segundo Silva *et al.* (2014), as avaliações das RNAs devem levar em consideração aspectos como a arquitetura da rede, algoritmo de treinamento, sistema operacional e tipo de licença do *software*. Desta forma, três dos principais *frameworks* não comerciais foram pesquisados em seu trabalho. São eles: *Java ObjectOriented Neural Engine* (JOONE), NEUROPH e ENCOG. Os autores

concluíram que o ENCOG mostrou-se mais adequado para criação de RNAs e não apresentou erros de funcionamento e incompatibilidades com o código do *software* Ururau.

Em outro trabalho, Matviykov&Faitas (2013) realizaram um estudo comparativo de RNAs com o intuito de selecionar a ferramenta mais adequada para classificação espectral. Os autores testaram o ENCOG 3.1, o JOONE 2 RC1, o NEUROPH 2.6 e *Fast Artificial Neural Network 2.2* (FANN). Para resolver este tipo de problema, os autores concluíram que a biblioteca ENCOG melhor se adequava, pois apresentava melhor resultado com um número baixo de itens de treinamento. Em um teste preliminar em que um problema XOR foi proposto, ambas as bibliotecas atingiram as saídas esperadas conforme a Tabela 2, porém a FANN gerou resultados com menor número de épocas.

Da mesma forma o Codeproject (2010) realizou um estudo semelhante comparando o JOONE, NEUROPH e ENCOG criando uma RNA *feedforward* para reconhecer uma operação lógica XOR. O ENCOG foi o que melhor se destacou, pois fornece um ambiente limpo, com bom desempenho em termo de tempo total de processamento e uma interface de programação de aplicações fácil de usar.

Os trabalhos citados anteriormente mostram que o ENCOG apresentou um melhor tempo de processamento em relação aos outros *frameworks*. E, somente o trabalho de Matviykov&Faitas (2013) comparou este com a FANN. Apesar de apresentar um melhor desempenho de tempo de processamento, esta biblioteca se limita a estruturas de redes neurais multicamadas enquanto o ENCOG trabalha tanto com redes neurais como com outros tipos de aprendizagem de máquina. Como a estrutura da FANN atende aos requisitos para funcionar em conjunto com o código do Ururau e é dedicada exclusivamente a redes neurais optou-se por compará-la com o ENCOG.

ENCOG é um *framework* de aprendizado de máquina que suporta uma variedade de algoritmos avançados, bem como classes de apoio para normalizar e processar dados. Algoritmos de aprendizado de máquina, como máquinas de suporte vetorial, RNA, redes *bayesian*, modelos ocultos de *markov*, programação genética e algoritmos genéticos são suportados. A maioria dos algoritmos de treinamento ENCOG é *multi-threaded* e trabalha bem para *hardwaremulticore*. Também pode fazer uso de uma *GraphicsProcessing Unit* (GPU) para aumentar

ainda mais a velocidade do tempo de processamento. A biblioteca está em desenvolvimento ativo desde 2008 (HEATON, 2015).

A FANN é uma biblioteca livre de código fonte aberto (LGPL - *Lesser General Public License*) dedicada a RNA enquanto a ENCOG engloba outras funções. Ela implementa RNA multicamadas com suporte para ambas as redes: totalmente conectada e não totalmente conectada. A execução multi-plataforma da FANN suporta tanto ponto fixo quanto flutuante. Esta inclui um quadro para facilitar o manuseio do conjunto de dados de treinamento. É fácil de usar, versátil, bem documentada, e rápida. Outra diferença é que a FANN está disponível em mais de 20 linguagens de programação e a ENCOG em apenas duas. Um artigo de introdução e um manual de referência acompanham a biblioteca com exemplos e recomendações sobre como utilizá-la. Várias interfaces gráficas também estão disponíveis para a biblioteca (FANN HOME PAGE, 2015).

Ao comparar as bibliotecas FANN v 2.2.0. e ENCOG v 3.1.0, Matviyiv&Faitas (2013) encontraram os seguintes resultados para o problema XOR conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Comparação entre FANN v 2.2.0. e ENCOG v 3.1.0

Entradas	Saída esperada
{0,0}	0
{1,0}	1
{0,1}	1
{1,1}	0
ENCOG	FANN
Saída da rede	
0,071271268850058	0,00325358138134
0,913933801069238	0,99557708421431
0,892294065748732	0,99623926833288
0,107168017702071	0,00985109952545
Erro	
0,0095349077961609	0,0010269
Épocas	
46	20

Fonte: adaptado Matviyiv; Faitas (2013).

Na Tabela 2 é apresentada uma comparação entre os dois *frameworks* utilizando a mesma técnica de treinamento, *Resilient Propagation*. Este algoritmo apresenta alta velocidade de convergência, exatidão e robustez em relação a parâmetros de treinamento (RIEDMILLER; BRAUN, 1993). O objetivo era alcançar

um erro menor que 1,0 %. Assim, o ENCOG alcançou esta meta na 46ª época enquanto a FANN atingiu na 20ª época.

3: Modelo de Simulação

A seguir foram descritos o sistema utilizado no estudo, a metodologia de simulação utilizada e o modelo conceitual. O problema proposto para a realização dos testes neste trabalho se refere a um sistema logístico hipotético, tipicamente utilizado no transporte de cargas. Nele, cada par de fornecedores será analisado separadamente.

Assim, na primeira situação, na região A, o fornecedor 1 encaminha seus produtos para o fornecedor 2 que por sua vez abastece a empresa manufatureira. Esta classifica cada uma das entregas entre os elos da cadeia como aprovadas ou reprovadas. A classificação leva em consideração as emissões de CO dos veículos e o custo de transporte. Na segunda situação isto acontece de forma análoga para os fornecedores da região B, porém com diferenças na localização o que influencia nas emissões e custos. Esta classificação é feita através da função de decisão do Ururau com RNA.

A Figura 1 ilustra o referido sistema. Nela encontram-se os dois pares de fornecedores (A e B), a empresa manufatureira (C) e a classificação das entregas como aprovada ou reprovada (D).

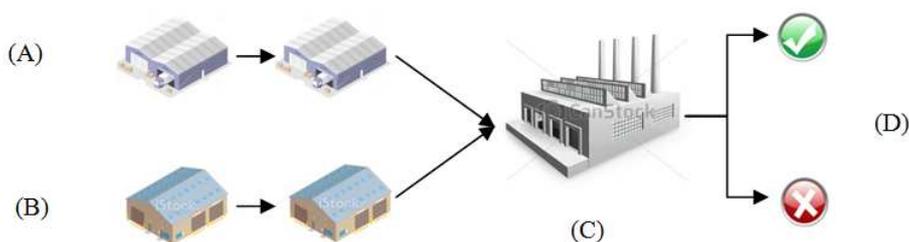


Figura 1: Ilustração do sistema proposto. (A) – Fornecedores da região A, (B) – Fornecedores da região B, (C) – Empresa Manufatureira, (D) - Entregas aprovadas ou reprovadas.

A metodologia proposta por Banks *et al.* (2010) foi utilizada para a construção dos modelos de simulação apresentados a seguir. Os seguintes passos foram utilizados: concepção (construção do modelo conceitual; coleta de macro-

informações e dados, modelagem dos dados de entrada); implementação (construção do modelo computacional, verificação e validação); análise (modelo operacional; projeto experimental; experimentação; interpretação e análise estatística dos resultados; documentação e apresentação dos resultados). A validação e verificação do modelo de simulação seguiram as etapas sugeridas por Sargent (2013).

Os modelos conceituais foram descritos em IDEF-SIM (MONTEVECHI *et al*, 2010). O sistema do problema proposto foi traduzido para um modelo computacional no Ururau 1.0 que pode ser observado na Figura 2.

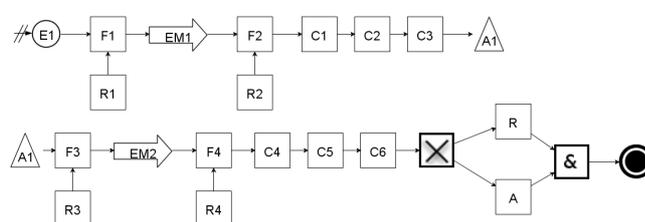


Figura 2: Modelo computacional no *software* Ururau.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

O módulo E1 é responsável pela criação de veículos (entidades), estes são gerados no modelo a cada 3 hora. As funções F1 e F3 representam os processos de carregamento e F2 e F4 descarregamento. Os recursos R1 e R3 representam as equipes de carregamento e R2 e R4 as equipes de descarregamento. Os módulos A1 (*jump*) fazem a conexão do modelo. Os módulos EM1 e EM2 são responsáveis pelo transporte de entidades e pelo cálculo das emissões. Para o cálculo das emissões utilizou-se a fórmula que pode ser vista no trabalho de Rangel e Cordeiro (2015). Esta leva em consideração a potência do veículo, tempo de trajeto, carregamento, Peso Bruto Total (PBT) e coeficiente de emissões. Os módulos C1 e C4 geram os custos de cada entidade, C2 e C5 são responsáveis por contar as entidades e C3 e C6 calculam as emissões por entidade. Os módulos A e R fazem a contagem, respectivamente, das entregas aprovadas e reprovadas. O módulo marcado com “X” é o decisor em que a RNA atua. Durante o tempo de execução do modelo de simulação, a mesma é ativada sempre que uma entidade precisa passar pelo módulo Decisor e, com isso, precisa tomar uma decisão sobre sua rota. Esta decisão é tomada com base nas emissões por entidades geradas pelos módulos C3

e C6 e os custos obtidos em C1 e C4. O apêndice A mostra os detalhes sobre os parâmetros da simulação.

Para configuração da rede foram utilizados 4 neurônios na camada de entrada e uma camada oculta com 8 neurônios e 1 neurônio na camada de saída conforme a Figura 3.

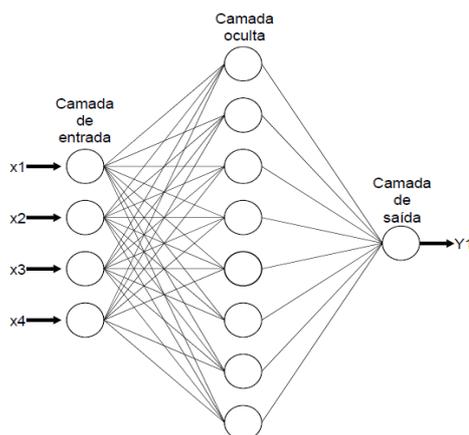


Figura 3: Arquitetura da rede proposta.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

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 comprometesse a classificação. A camada de saída classifica as entregas como aprovado ou reprovado.

O conjunto de treinamento foi baseado nas emissões e custos gerados, através da entrega realizada por cada fornecedor. O arquivo de treinamento foi criado com os números aleatórios atribuídos pela simulação. Para tal, foi executado o modelo sem o módulo de decisão, apenas, para captar os valores da simulação. Estes valores foram armazenados em um arquivo de texto, pelo módulo *Write* do Ururau, que salvou os números gerados pelas variáveis de emissão e custo, para cada elemento criado na simulação durante as replicações. Posteriormente os valores das variáveis emissões e custo foram copiados para uma planilha eletrônica,

no qual foram estabelecidos critérios para os mesmos. A estratégia utilizada para determinar os critérios foi arbitrária, onde foi determinado um limite para o custo e a emissão, caso um dos valores superassem essa faixa a entrega era reprovada. Em caso de reprovação atribui-se o valor zero e aprovação um. Por último, o arquivo foi convertido para o formato .txt e o diretório indicado no módulo decisor com RNA do *software*. Cabe ressaltar que o treinamento é executado, apenas uma vez pelo *software* antes das replicações da simulação.

4. TESTES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para validar os modelos de simulação optou-se por usar funções determinísticas com seus valores arbitrados, de forma a gerar respostas previstas. Uma vez que o modelo apontou resultados esperados conforme as especificações estabelecidas, este foi validado.

Nos testes realizados foram utilizadas distribuições estocásticas, Normal e Triangular. Essas funções e seus parâmetros foram definidos de forma que fosse possível determinar a faixa de valores gerados. Assim, facilitando a delimitação dos limites utilizados para determinar a aprovação ou reprovação das entregas. Os testes e análises dos resultados foram divididos em duas etapas. Primeiro foram apresentados e discutidos os resultados da simulação. Em seguida foi feita a comparação entre as bibliotecas para determinar a de melhor tempo de execução.

Para o carregamento e descarregamento das cargas, foi estabelecido o valor que representa o tempo em que o recurso (equipe operacional) executa a operação. Para a equipe de carregamento foi considerado que a atividade era executada em 4.000 kg por hora, ou seja, para efetuar o carregamento de uma carga de 23.000 kg, seriam necessárias 5,75 horas. Já para a equipe do descarregamento, foi considerada que a atividade era desenvolvida em 6.000 kg por hora.

4.1: Resultados dos testes do modelo de simulação

Os parâmetros do experimento foram definidos com 10 replicações de 1000 horas para cada rodada de simulação. Esse número de replicações foi o suficiente para os resultados da simulação convergirem, dentro de um intervalo de confiança

de 95%. Foi executado o teste para os fornecedores da região “A”. Já os fornecedores da região B, têm parâmetros de emissões e custos diferentes. Os parâmetros de ambas as regiões foram descritos no Apêndice A.

Os resultados encontrados na execução desses modelos podem ser observados na Tabela 3. Esta Tabela apresenta um resumo do relatório final gerado pelo simulador nestes cenários.

Tabela 3: resultado das simulações dos Fornecedores 1 e 2 de cada região no Ururau.

Região A		
	Fornecedor 1	Fornecedor 2
Variáveis	Média	Média
emissões totais (gCO)	259.377	257.637
custo (unidade monetária)	2.603	2.651
entidades (unidade)	170	167
aprovados (unidade)	116	
reprovados (unidade)	51	
Região B		
	Fornecedor 1	Fornecedor 2
Variáveis	Média	Média
emissões totais (gCO)	282.393	277.391
custo (custo unitário)	2.387	2.673
entidades (unidade)	170	167
aprovados (unidade)	142	
reprovados (unidade)	25	

Fonte: Elaborado Pelo Autor (2015)

A região “A” teve um total de emissões de CO equivalente a 517.014gCO(resultado da adição de 259.377gCO e 257.637gCO)e o custo médio por entrega desta região foi de 5.254 unidades monetárias (resultado da adição de 2.603u.m. com 2.651u.m.). Já região “B” teve um maior nível de emissão com 559.784gCO(resultado da adição de 282.393gCO e 277.391gCO) eum custo médiopor entrega de 5060 unidades monetárias (resultado da adição de 2.387u.m.

com 2.673u.m.). Assim, a região “B” teve um número maior de aproveitamento com 142 aprovações (85%) contra 116 da região “A” (69%).

Os limites utilizados para classificar a aprovação ou reprovação das entregas dos fornecedores pela RNA na Tabela 3 podem ser vistos no Quadro 1. No caso da extrapolação de algum desses valores a rede reprovou a entrega.

Trecho	Custo (unidade monetária)	Emissão (gCO)
Fornecedor - Fornecedor	2.650	2.500
Fornecedor - Fábrica	2.690	2.200

Quadro 1: Valores máximos de custos e emissões para aprovação das entregas.

Foram analisados os processos de cada um dos fornecedores para verificar número e o tempo das entidades nas filas dos processos, conforme a Tabela 4.

Tabela 4: Resultado da simulação, número e tempo na fila dos processos.

Região A				
Fornecedor 1				
Processos	Número na Fila (unidade)	Desvio Padrão	Tempo na Fila (horas)	Desvio Padrão
F1	81,23	0,00	237,88	0,00
F2	0,01	0,00	0,06	0,02
Fornecedor 2				
Processos	Número na Fila(unidade)	Desvio Padrão	Tempo na Fila (horas)	Desvio Padrão
F3	0,38	0,05	2,23	0,31
F4	0,01	0,00	0,05	0,02
Região B				
Fornecedor 1				
Processos	Número na Fila(unidade)	Desvio Padrão	Tempo na Fila (horas)	Desvio Padrão
F1	81,23	0,00	237,88	0,00
F2	0,01	0,00	0,06	0,02
Fornecedor 2				
Processos	Número na	Desvio Padrão	Tempo na Fila	Desvio Padrão

	Fila(unidade)		(horas)	
F3	0,38	0,05	2,23	0,31
F4	0,06	0,00	0,41	0,05

Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

Os processos de carregamento e descarregamento dos fornecedores de ambas as regiões foram considerados idênticos. A divergência no número e tempo nas filas desses processos se dá pelas diferenças nas funções de movimentação (EM1 e EM2).

A Figura 4 mostra as taxas de utilização dos recursos referentes aos processos dos fornecedores das Regiões A e B. Neste gráfico, pode ser verificado que os recursos utilizados nas funções de carregamento (R1 e R3) apresentam taxas de utilização maior do que os recursos utilizados no descarregamento (R2 e R4) para os dois fornecedores de ambas as regiões. Pois o fluxo de entidades nas funções de carregamento é maior comparado com o descarregamento. Estes recursos são utilizados nas funções F1, F2, F3 e F4.

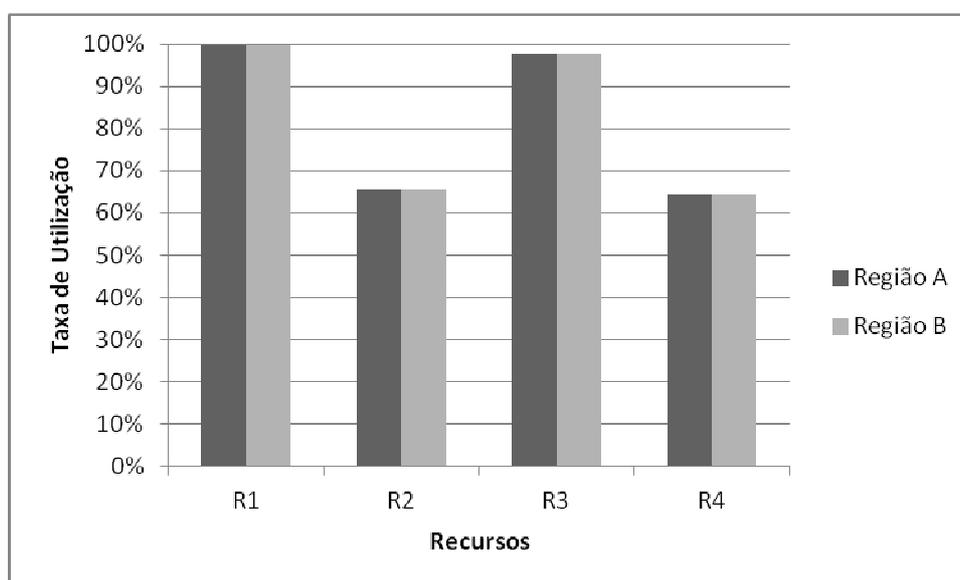


Figura 4: Taxa de utilização dos recursos nas regiões A e B.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

4.2 Comparações das bibliotecas

Foi pesquisado o framework FANN para averiguar se o mesmo em conjunto com o Ururau apresenta melhor desempenho quando comparado ao ENCOG que está em uso atualmente no *software*. Esta comparação foi realizada em uma máquina *Dell Inspiron* com processador *Intel®Core™ i3-4130 CPU@3,4GHz*, Sistema operacional Windows 8.1 64bits. A Tabela 5 apresenta esta comparação.

Como pode ser visto na Tabela 5 os parâmetros tempo médio de entidades na fila (F1), quantidade média de entidades na fila (F1) e recursos ocupados (R1) apresentaram resultados similares. Isso mostra que a opção por uma ou outra rede não tem grande influência nos resultados da simulação. Tais resultados já eram esperados, pois ambas as bibliotecas se baseiam em RNA, com diferenças em suas arquiteturas e algoritmos de funcionamento. Apesar da não influencia dos resultados o objetivo da comparação foi verificar qual delas apresenta o menor tempo total de execução. A biblioteca FANN apresentou um melhor resultado em termos de tempo total de execução 92,69s, sendo 75,68% mais rápido que a ENCOG. Observa-se que a maior influência no tempo total de execução vem do tempo de construção do modelo e treinamento da rede. Esse tempo foi de 380,13s para ENCOG que representa aproximadamente 99,76% do total, enquanto o da FANN foi de 91,49s que representa 98,71%. Já os tempos de simulação apresentam pouca divergência para as duas redes.

Assim a biblioteca FANN é aproximadamente quatro vezes mais rápida do que a ENCOG na aplicação de RNA com o *software*Ururau. Apesar de o problema apresentado ser simples, a biblioteca FANN foi inserida no *software*, pois apresentou um melhor tempo de execução. Os testes realizados não englobam todas as possibilidades de análise, assim é possível que em outros tipos de problema a biblioteca ENCOG seja mais indicada. Desta forma, manteve-se também a ENCOG que além de RNA possui outras funções que podem ser incorporadas futuramente. Portanto a versão 1.0 do Ururau possibilita a opção por uma ou outra biblioteca.

Tabela 5: Comparação do ENCOG x FANN no *software*Ururau para Região "A".

Parâmetro	Experimento 1	Experimento 2
Ferramentas de RNA	ENCOG	FANN
Tempo médio das entidades na fila F1 (horas)	237,88	237,88
Quantidade média das entidades na fila F1(unidade)	81,23	81,23
Recursos ocupados R1(%)	99,7	99,7

Decisão com RNA (unidade)	167	167
Tempo de construção do modelo e treinamento da RNA (s)	380,13	91,49
Tempo de simulação (s)	0,92	1,20
Tempo total de execução	381,05 s	92,69 s
Decisões divergentes entre o experimento 1 e 2	3	
Percentual de decisões divergentes	1,8%	

Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

A quantidade de decisões convergentes entre os experimentos foi alta, apresentando uma diferença média de 3 decisões (1,8%). Assim classificação das redes não apresenta diferença significativa pelo teste t considerando um intervalo de confiança de 95%. Contudo, é difícil afirmar se essa diferença foi consequência das características da simulação ou das bibliotecas como, por exemplo, a arquitetura de rede.

Tanto para o ENCOG quanto para a FANN o erro diminui gradativamente conforme o número de épocas aumenta até se estabilizar gerando uma assíntota. Os gráficos de aprendizagem das redes podem ser observados nas Figuras 5 e 6. Os erros se estabilizaram aproximadamente em 5% e 2%, respectivamente, para o ENCOG e a FANN, isso significa que as redes apresentaram boas taxas de classificação. A menor taxa de erro da FANN em relação ao ENCOG reforça a sua vantagem para aplicações específicas de RNA no *software* Ururau.

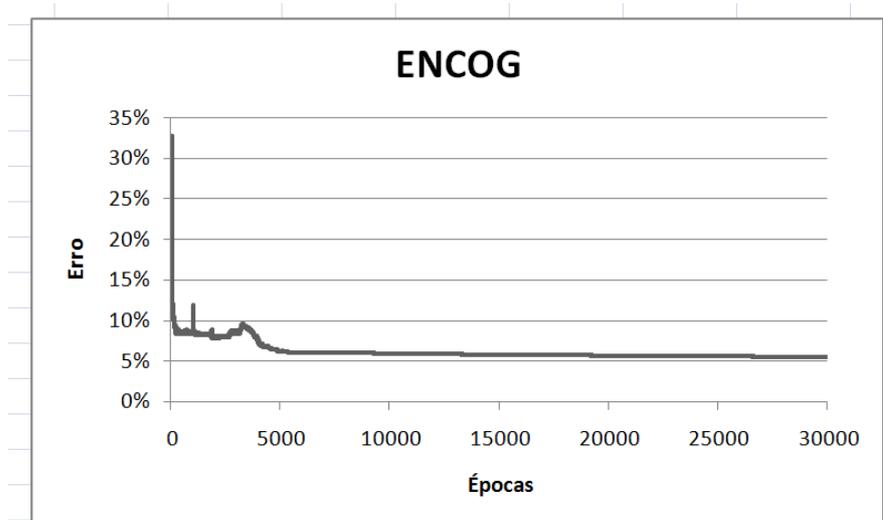


Figura 5: Curva de aprendizagem do ENCOG.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

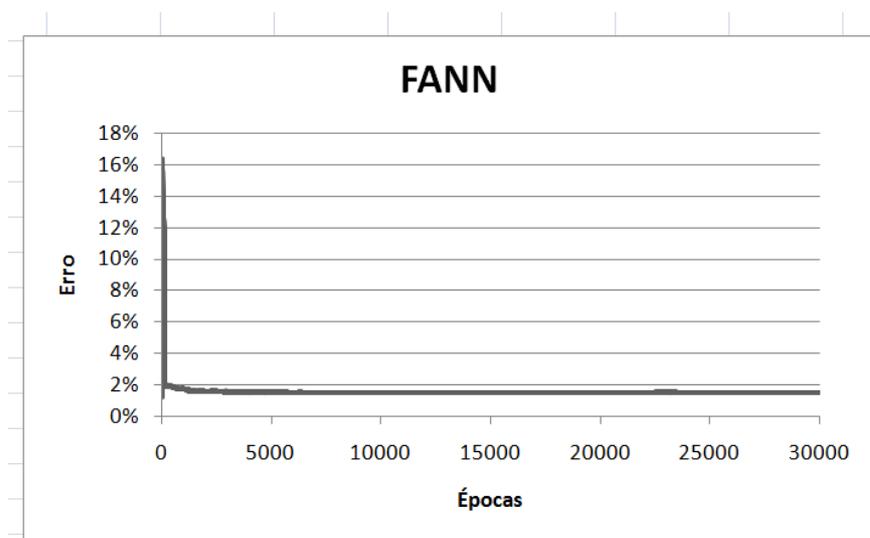


Figura 6: Curva de aprendizagem da FANN.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

5. Conclusões

O estudo apresentou uma aplicação do *software* Ururau com um modelo de simulação com lógica de decisão através de uma rede neural. Para isso, foi desenvolvido e descrito um modelo hipotético de simulação de um sistema logístico, onde foram avaliadas as emissões de CO e custos provenientes dos veículos da frota utilizada no transporte da carga, para testar a função de decisão do *software*. A função de decisão "inteligente" realizou a verificação das variáveis avaliadas classificando as entregas dos fornecedores. Dentre as duas regiões apresentadas (região A e B, com distâncias diferentes entre fornecedor e fábrica), a região B (mais próxima) teve um maior número de aprovações nas suas entregas sendo escolhida como alternativa mais viável para o fornecimento, como era o esperado no modelo.

Após as análises, a biblioteca FANN foi acoplada ao *software* Ururau, pois apresentou desempenho, em relação aos tempos de execução, quatro vezes mais rápida do que a ENCOG. Além disso, em relação à classificação das redes, as bibliotecas não apresentaram diferença significativa entre elas. Esta modificação passou então a estar presente na versão atual do *software* (Ururau 1.0).

Agradecimentos

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

Referencias

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.2/3, 105-125, 2007. Disponível em: <<http://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/WRSTSD.2007.013578>>. Acesso em: 14 maio 2015.

BANKS, Jerry; et al. **Discrete –event system simulation**. New York, USA: Pearson Education, 2010.

BERGMANN, S; STELZER, S; STRASSBURGER, S. On the use of artificial neural networks in simulation-based manufacturing control. **Journal 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: 14 maio 2015.

BYRNE, P. et al. Sustainable supply chain design: capturing dynamic input factors. **New York**, v.4, n.4, p. 213–221, 2010. Disponível em: <<http://www.palgrave-journals.com/jos/journal/v4/n4/abs/jos201018a.html>>. Acesso em: 14 maio 2015.

CODE PROJECT. Benchmarking and comparing encog, neuroph and joone neural networks. Disponível em: <<http://www.codeproject.com/articles/85487/benchmarking-and-comparing-encog-neuroph-and-joone>>. Acesso em: 27 mar 2015.

DAGKAKIS, G; HEAVEY, C. A review of open source discrete event simulation *software* for operations research. **Journal of Simulation**, New York, jun, 2015. Disponível em: <<http://www.palgrave-journals.com/jos/journal/vaop/ncurrent/abs/jos20159a.html>>. Acesso em: 15 nov 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.

FAST ARTIFICIAL NEURAL NETWORK LIBRARY (FANNL). **Introduction to FANN**. Disponível em: <<http://leenissen.dk/FANN/wp/>>. Acesso em: 23 jan 2015.

GONZÁLEZ, V; ECHAVEGUREN, T. Exploring the environmental modeling of road construction operations using discrete-event simulation. **Automation in Construction**, New York, n.24, p.100–110, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092658051200026X>>. Acesso em: 23 jan 2015.

HEATON, J. Encog: library of interchangeable machine learning models for java and C#. **Journal of Machine Learning Research**, New York, n.16, p.1243-1247. Disponível em: <<http://jmlr.org/papers/volume16/heaton15a/heaton15a.pdf>>. Acesso em: 23 jan 2015.

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**, New York, v.23, n.4, p.269–278. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09537287.2011.627656>>. Acesso em: 27 fev 2015.

_____; _____.What is the impact of sustainable development on the re-localisation of manufacturing enterprises? **Production Planning and Control**, New York, v.25, n.11, p.902–911., 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1478409215300042>>. Acesso em: 27 fev 2015.

MATVIYKIV, O.M; FAITAS, O.I. (2013). Data classification of spectrum analysis using neural network.lviv polytechnic. Disponível em: <<http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/24396/1/13-66-74.pdf>>. Acesso em: 27 fev 2015.

MONTEVECHI, J.A; et al. Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: An application in a Brazilian tech company. In: WINTER SIMULATION

CONFERENCE, 2011, Piscataway, New Jersey. **Proceedings...** Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011.p. 1624-1635.

PEIXOTO, T. A; RANGEL, João José Assis; Matias, Ítalo O. Free and open-source simulation software "Ururau". In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 57, 2015, 25-28 ago, Porto de Galinhas - PE. **Anais...** Rio de Janeiro: SOBRAPO, 2016. p.1-12.

_____; et al. Ururau-um ambiente para desenvolvimento de modelos de simulação a eventos discretos. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, v.5, n.3, p.373-405, 2013. Disponível em: <<http://www.podesenvolvimento.org.br/inicio/index.php?journal=podesenvolvimento&page=article&op=view&path%5B%5D=216>>. Acesso em: 27 fev 2015.

RANGEL, João José Assis; Cordeiro, A.C.A. Free and Open-Source *Software* for Sustainable Analysis in Logistics Systems Design. **Journal of Simulation**, New York, n.9, p.27-42. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/272414093_Free_and_Open-Source_Software_for_sustainable_analysis_in_logistics_systems_design>. Acesso em: 27 fev 2015.

RIEDMILLER, Martin; BRAUN, Heinrich. **A direct adaptive method for faster backpropagation learning:** The RPROP algorithm. Disponível em: <<http://deeplearning.cs.cmu.edu/pdfs/Rprop.pdf>>. Acesso em: 27 fev 2015.

RIOS, Pedro; STUART, Julie Ann; GRANT, Ed. 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. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es034675o>>. Acesso em: 27 fev 2015.

ROSSETTI, M. D. Java Simulation Library (JSL): an open-source object-oriented library for discrete-event simulation. **Java. International Journal of Simulation and Process Modelling**, New York, n.4, p.69-87, 2013. Disponível em: <<http://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJSPM.2008.020614>>. Acesso em: 27 fev 2015.

Sargent R G. Verifications and validation of simulations models. **Journal of Simulation**, New York. n.7, p.12–24, 2013. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=4419595&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F4419575%2F4419576%2F04419595.pdf%3Farnumber%3D4419595>>. 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, n.6, p.55-60, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221133981400077X>>. Acesso em: 27 fev 2015.

SILVA, Marília Gonçalves Dutra; et al. Decisão com RNA em modelos de simulação a eventos discretos. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, n.6, p.299-317; 2014. Disponível em: <<http://www.podesenvolvimento.org.br/inicio/index.php?journal=podesenvolvimento&page=article&op=download&path%5B%5D=335&path%5B%5D=286>>. Acesso em: 27 fev 2015.

SILVA, David Vasconcellos Corrêa, et al. Simulação a Eventos Discretos com Aspectos de Decisão Humana: Uma Aplicação com o Ururau. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, v., n.3, p.339-355. Disponível em: <<http://www.podesenvolvimento.org.br/inicio/index.php?journal=podesenvolvimento&page=article&op=download&path%5B%5D=168&path%5B%5D=192>>. 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.

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.

APÊNDICE A - MÓDULOS DO URURAU COM DESCRIÇÃO E DADOS DE CONFIGURAÇÃO REFERENTE À REGIÃO A E B.

Módulo	Nome	Descrição	Dados de Configuração
Criar	E1	Responsável pela criação de entidades.	T. Chegadas: Const. (3 h) T. Prim. Chegada: 0.0 h Máx. Chegadas: Infinity
LoadingProcess	F1	Executa um processo	Type: Expression Value: (23000/4000)
UnloadingProcess	F2	Executa um processo	Type: Expression Value: 23000/6000

LoadingProcess	F3	Executa um processo	Type: Expression Value: (23000/4000)
UnloadingProcess	F4	Executa um processo	Type: Expression Value: 23000/6000
Resource Team for Loading	R1	Adiciona um recurso	Capacity1
Resource Team for Unloading	R2	Adiciona um recurso	Capacity1
Resource Team for Loading	R3	Adiciona um recurso	Capacity1
Resource Team for Unloading	R4	Adiciona um recurso	Capacity1
Emissions	EM1	Calcula as emissões	Variable name: em1 Time(h):NORM(8.45,1.0) Emissions coeficient: 1.5 ; Power: 136 Load(kg): 20000 Legal Combined Total Whole Weight(kg): 23000
Emissions	EM2	Calcula as emissões	Variable name: em2 Time(h):NORM(7.45,1.0) Emissions coeficient: 1.5 ; Power: 136 Load(kg): 23000 Legal Combined Total Whole Weight(kg): 23000
Atribuição	C1	Adiciona uma variável ao modelo.	Tipo: Variável Nome: custo1 Valor: NORM(2600,100)
Atribuição	C2	Adiciona uma variável ao modelo.	Tipo: Variável Nome: entidades1 Valor: entidades1+1
Atribuição	C3	Adiciona uma variável ao modelo.	Tipo: Variável Nome: emissoes_ind1 Valor: em1/entidades
Atribuição	C4	Adiciona uma variável ao modelo.	Tipo: Variável Nome: custo2 Valor: TRIA(2600,2650,2700)
Atribuição	C5	Adiciona uma variável ao modelo.	Tipo: Variável Nome: entidades2 Valor: entidades2+1
Atribuição	C6	Adiciona uma variável ao modelo.	Tipo: Variável Nome: emissoes_ind2 Valor: em2/entidades2
Atribuição	A	Adiciona uma variável ao modelo.	Tipo: Variável Nome: aprovado Valor: aprovado+1
Atribuição	R	Adiciona uma variável ao modelo.	Tipo: Variável Nome: reprovado Valor: reprovado+1
X (Decisor)	X2	Desvia a execução de uma função.	Tipo: ANN com 2 caminhos Arquivo de Treinamento: treinamento1.txt Algoritmo: ResilientPropagation Exp. Neurônio 1: custo1 Exp. Neurônio 2: emissoes_ind1 Exp. Neurônio 3: custo 2 Exp. Neurônio 4: emissoes_ind2 Exp. Neurônio 5: 0 Nº Neurônios Camada Entrada: 4 Nº Neurônios Camada Oculta: 8 Nº Neurônios Camada Saída: 1

Quadro 1: Parâmetros dos fornecedores da região A.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)

Módulo	Nome	Descrição	Dados de Configuração
Emissions	EM1	Calcula as emissões	Variable name: EM1 Time(h):NORM(9.2,1.0) Emissions coeficient: 1.5 Power: 136 Load(kg): 20000 Legal Combined Total Whole Weight(kg): 23000
Atribuição	C1	Adiciona uma variável ao modelo.	Tipo: Variável Nome: custo Valor: NORM(2400,200)
Emissions	EM2	Calcula as emissões	Variable name: EM1 Time(h):NORM(8.0,2.0) Emissions coeficient: 1.5 Power: 136 Load(kg): 23000 Legal Combined Total Whole Weight(kg): 23000
Atribuição	C4	Adiciona uma variável ao modelo.	Tipo: Variável Nome: custo Valor: TRIA(2500,2700,2800)

Quadro 2: Parâmetros de emissões e custos diferentes para os fornecedores da região B.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2015)