PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU
MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS

MARINA MEIRELES PEREIRA

PREVISÃO DE RETORNO DE PNEUS INSERVÍVEIS EM UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE CICLO FECHADO

GOIÂNIA
2016

MARINA MEIRELES PEREIRA

PREVISÃO DE RETORNO DE PNEUS INSERVÍVEIS EM UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE CICLO FECHADO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica de Goiás como requisito parcial para a obtenção do título de "Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas".

Orientador: Prof. Ricardo Luiz Machado, Dr.

GOIÂNIA

2016

Dados Internacionais de Catalogação da Publicação (CIP)
(Sistema de Bibliotecas PUC Goiás)

P436p

Pereira, Marina Meireles.
Previsão de retorno de pneus inservíveis em uma cadeia de suprimentos de ciclo fechado [manuscrito] / Marina Meireles Pereira – Goiânia, 2016.
135 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia de Produção e Sistemas, 2016.
"Orientador: Prof. Dr. Ricardo Luiz Machado".
Bibliografia.

1. Logística. I. Título.

CDU 658.5(043)

PREVISÃO DE RETORNO DE PNEUS INSERVÍVEIS EM UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE CICLO FECHADO

MARINA MEIRELES PEREIRA

Esta Dissertação julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia da Produção e Sistemas e aprovada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, em Fevereiro de 2016.

_____

Prof. Ricardo Luiz Machado, Dr.
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas

Banca examinadora***:***

_____

Prof. Ricardo Luiz Machado, *Dr*.
Orientador

_____

Prof. Silvio Roberto Ignacio Pires, *Dr*.
Examinador Externo

_____

Profª. Maria José Pereira Dantas, *Dra*.
Examinadora Interna

Goiânia – Goiás
2016

Dedico este trabalho a meus pais, irmã, avós, familiares e meu namorado que sempre me apoiaram nos momentos que mais precisei com muito amor e carinho. A meus amigos que percorreram essa árdua jornada ao meu lado e ao meu orientador que sempre esteve disposto a me orientar com total apoio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter iluminado e guiado todos os dias da minha jornada, me dando saúde, sabedoria, e força para desenvolver este trabalho que em muito contribuiu para minha formação.

Agradeço aos meus pais e irmã que sempre foram meus maiores incentivadores na busca do conhecimento, me amparando nas horas de tristeza, se alegrando com minhas conquistas e acima de tudo me mostrando que nunca podemos deixar de lutar diante das adversidades, pois nenhum sacrifício é em vão quando Deus está guiando nossas vidas.

Agradeço ao meu namorado Marcus Vinícius que sempre esteve ao meu lado nos momentos difíceis e me deu força e motivação para sempre continuar a caminhar.

Aos meus avós que ao longo de toda a minha trajetória me deram todo o suporte necessário para que pudesse crescer em minha profissão e que acima de tudo buscaram transmitir seus ensinamentos e valores que trago comigo.

Ao Professor Ricardo Luiz Machado por ter me apoiado nas dúvidas, nas decisões e a ter se dedicado à orientação desse trabalho mesmo com toda a sobrecarga acadêmica e profissional.

A Professora Maria José que não poupou esforços para transmitir seus conhecimentos e me incentivou no caminho da pesquisa científica.

Agradeço também às empresas e profissionais da área que colaboraram com o desenvolvimentos deste trabalho pelo fornecimento de dados e informações.

“Ao ser humano cabem os projetos, mas a resposta pertence ao Senhor. Aos olhos humanos são limpos todos os caminhos, mas é o Senhor quem avalia os espíritos. Revela ao Senhor tuas tarefas, e teus projetos se realizarão”.

Provérbios 16, 1-3

RESUMO

Esta pesquisa visa aplicar um modelo de previsão a uma cadeia de suprimentos de ciclo fechado de pneus, para estimar o volume de pneus inservíveis retornados, por meio das variáveis que influenciam na quantidade e no tempo que estes pneus retornam para serem destinados. A abordagem metodológica aplicada nessa pesquisa se situa na Modelagem, aplicando o Modelo de Função de Transferência. Parte-se da análise de que a cadeia de suprimentos de ciclo fechado do Estado de Goiás e Distrito Federal está estruturada e que há uma relação direta entre as vendas de pneus com a quantidade retornada. Foram adotadas como variáveis de entrada do modelo a quantidade de pneus inseridos no mercado, pelo mercado de reposição e o tamanho da frota circulante destas localidades, representando a quantidade de pneus inseridos no mercado pelos carros novos vendidos. Para a variável de saída foi considerada a quantidade de pneus inservíveis coletados e encaminhados para destinação final. Os dados utilizados na pesquisa foram coletados em bancos de dados da organização adotada como objeto de estudo, IBAMA, DENATRAN, ANIP e AliceWeb, considerando de um período de 54 meses. Os dados foram analisados pelo modelo de função de transferência e os resultados obtidos mostraram que o tempo de defasagem da entrada de pneus no mercado foi em torno de 12 meses para todas as variáveis de entrada, que as probabilidades de retorno do mercado de reposição são maiores que as probabilidades de retorno dos pneus das frotas e que a previsão de retorno apresentou um comportamento aproximado do comportamento real do retorno com um desvio percentual de 3,4%. Portanto, este estudo possibilitou identificar as variáveis que influenciam no retorno de pneus inservíveis e a dimensionar a quantidade de volume de pneus retornados e o tempo desse retorno para viabilizar o planejamento da cadeia de suprimentos de ciclo fechado de pneus.

Palavras-chave: Cadeia de suprimentos de ciclo fechado, Previsão de retorno, Pneus inservíveis, Modelo de Função de Transferência.

ABSTRACT

This research aims to apply a prediction model to a tire closed-loop supply chain to estimate the volume returned of scrap tires, through the variables that influence the amount and time that these tires are returned to destination. The methodological approach applied in this research is the modeling by applying the Transfer Function Model. It starts with the analysis that the tire closed-loop supply chain of Goiás and the Federal District is structured and there is a direct relationship between sales of tires with the amount returned. Were adopted as model input variables the amount of tires placed on the market for after-market and the size of the current fleet of these places, representing the amount of tires entered the market for new cars sold. For the output variable was considered the quantity of scrap tires collected and sent for disposal. The data for the survey were collected in the organization's databases adopted as an object of study, IBAMA, DENATRAN, ANIP and AliceWeb considering a period of 54 months. Data were analyzed by the transfer function model and the results showed that the lag time after the tires were entered on the market was around 12 months for all input variables, the return probability of the after-market are greater than the return probability of the tire fleets, and the behavior of the predicted return showed an approximate behavior of the real return with a percentage deviation of 3.4%. Therefore, this study enabled us to identify the variables that influence the return of scrap tires and scale the amount of returned volume tires and the time of this return to facilitate the planning of the tires of closed-loop supply chain.

Keywords: Closed-loop supply chain, Forecasting return, Scrap tires, Transfer Function Model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – *Tripple Bottom Line* 23

Figura 2 – Fluxo Reverso de pós-consumo e pós-venda 30

Figura 3 – Fluxo de retorno do mercado secundário 31

Figura 4 – Fluxo da cadeia de suprimentos de ciclo fechado 31

Figura 5 – Pneu recapado (a), recauchutado (b) e remoldado (c) 34

Figura 6 – Fluxograma dos pneus usados no Brasil 37

Figura 7 – Diagrama de blocos do fluxo da logística reversa de pneus no Brasil 38

Figura 8 – Previsão de demanda do fluxo 41

Figura 9 – Previsão de demanda para a cadeia de suprimentos de ciclo fechado 42

Figura 10 – Distribuição típica do comportamento de retorno de produtos pelo consumidor . 42

Figura 11 – Representação do Modelo de Função de Transferência 46

Figura 12 – Processo de recebimento dos pneus inservíveis 58

Figura 13 – Granulado de pneu após trituração 59

Figura 14 – Cadeia de suprimentos de ciclo fechado de pneu do Estado de Goiás e Distrito Federal 65

Figura 15 – *Outlier Box Plot* do Mercado de Reposição do Estado de Goiás de 2011 a 2014 73

Figura 16 – *Outlier Box Plot* do Mercado de Reposição do Distrito Federal de 2011 a 2014 . 75

Figura 17 – *Outlier Box Plot* da Frota do Estado de Goiás de 2011 a 2014 76

Figura 18 – *Outlier Box Plot* da Frota do Distrito Federal de 2011 a 2014 77

Figura 19 – *Outlier Box Plot* do Volume Retornado da empresa “X” de 2011 a 2014 78

Figura 20 – Série Temporal do Mercado de reposição do Estado de Goiás 81

Figura 21 – Análise da estacionariedade pela função de autocorrelação do Mercado de reposição do Estado de Goiás 82

Figura 22 – Análise da estacionariedade pelo variograma do Mercado de reposição do Estado de Goiás 83

Figura 23 – Série Temporal do Mercado de reposição do Distrito Federal 83

Figura 24 – Análise da estacionariedade do Mercado de reposição do Distrito Federal 84

Figura 25 – Série Temporal da Frota do Estado de Goiás 85

Figura 26 – Análise da estacionariedade da Frota do Estado de Goiás 86

Figura 27 – Série Temporal da Frota do Distrito Federal 86

Figura 28 – Análise da estacionariedade da Frota do Distrito Federal 87

Figura 29 – Série Temporal do Volume de Pneus Inservíveis retornado 88

Figura 30 – Análise da estacionariedade do Volume de pneus inservíveis retornados 88

Figura 31 – Série Temporal da Frota do Estado de Goiás após a diferenciação 89

Figura 32 - Análise da estacionariedade da Frota do Estado de Goiás após a diferenciação ... 90

Figura 33 – Série Temporal da Frota do Distrito Federal após a diferenciação 91

Figura 34 – Análise da estacionariedade da Frota do Distrito Federal após a diferenciação ... 91

Figura 35 – Série Temporal do Volume de pneus inservíveis após a diferenciação 92

Figura 36 – Análise da estacionariedade do Volume de pneus inservíveis retornados após a diferenciação 92

Figura 37 – Parâmetros estimados do modelo ARIMA (1, 1, 2) para o mercado de reposição do Estado de Goiás 94

Figura 38 – Parâmetros estimados do modelo ARIMA (1, 0, 2) para o mercado de reposição do Estado de Goiás 94

Figura 39 – Parâmetros estimados do modelo ARIMA (1, 0, 0) para o mercado de reposição do Distrito Federal 95

Figura 40 – Parâmetros estimados do modelo ARIMA (0, 0, 0) para o mercado de reposição do Distrito Federal 96

Figura 41 – Parâmetros estimados do modelo ARIMA (0, 3, 2) para a frota do Estado de Goiás 97

Figura 42 – Parâmetros estimados do modelo ARIMA (1, 3, 2) para a frota do Estado de Goiás 97

Figura 43 – Parâmetros estimados do modelo ARIMA (0, 2, 1) para a frota do Distrito Federal 98

Figura 44 – Parâmetros estimados do modelo ARIMA (1, 2, 1) para a frota do Distrito Federal 98

Figura 45 – Função de Correlação Cruzada das variáveis de entrada com a variável de saída 99

Figura 46 – Parâmetros estimados do modelo de função de transferência sem incorporar a análise dos resíduos 102

Figura 47 – Função de Autocorrelação dos resíduos do modelo de função de transferência sem incorporar a análise dos resíduos 103

Figura 48 – Parâmetros estimados do modelo ARIMA (1, 1, 0) do resíduo 105

Figura 49 – Parâmetros estimados do modelo ARIMA (1, 0, 0) do resíduo 106

Figura 50 – Parâmetros estimados do modelo ARIMA (1, 0, 2) do resíduo 106

Figura 51 – Autocorrelação dos resíduos dos ruídos 107

Figura 52 – Parâmetros do modelo de função de transferência com resíduo ARIMA (1, 0, 0) 108

Figura 53 – Parâmetros do modelo de função de transferência com resíduo ARIMA (1, 0, 2) 108

Figura 54 – Análise dos resíduos do MFT do volume de pneus inservíveis retornados 110

Figura 55 – Previsão de retorno dos pneus inservíveis do Estado de Goiás e Distrito Federal 111

Figura 56 – Comparativo entre os valores reais de retorno e da previsão do modelo 114

Figura 57 – Parâmetros estimados do modelo ARIMA (0, 3, 2) para o volume de pneus inservíveis retornados 117

Figura 58 – Parâmetros estimados do modelo ARIMA (1, 3, 2) para o volume de pneus inservíveis retornados 117

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Percentual das empresas que adotam políticas e práticas de gestão ambiental 24

Tabela 2 – Meta, destinação e cumprimento da meta de destinação dos pneus segundo os fabricantes e importadores 25

Tabela 3 – Trabalhos que aplicaram a previsão de retorno do fluxo reverso 45

Tabela 4 – Fatores adotados pelos trabalhos que realizaram a previsão de retorno 62

Tabela 5 – Quantidade de pneus fabricados, importados e enviados a montadora do Estado de Goiás fornecido pelo IBAMA 69

Tabela 6 – Percentual de pneus enviados às montadoras do Estado de Goiás, de 2011 a 2014 70

Tabela 7 – Percentual de pneus enviados às montadoras brasileiras, de 2011 a 2014 71

Tabela 8 – Dados coletados do mercado de reposição, frota e volume de retorno 72

Tabela 9 – Limites e quartis do mercado de reposição do Estado de Goiás, nos anos de 2011 a 2014 74

Tabela 10 – Limites e quartis do mercado de reposição do Distrito Federal dos anos de 2011 a 2014 75

Tabela 11 – Limites e quartis da frota do Estado de Goiás dos anos de 2011 a 2014 76

Tabela 12 – Limites e quartis da frota do Distrito Federal dos anos de 2011 a 2014 77

Tabela 13 – Limites e quartis da frota do Distrito Federal dos anos de 2011 a 2014 78

Tabela 14 – Dados do mercado de reposição, frota e volume de retorno, sem *outliers* 80

Tabela 15 – Análise ARIMA da variável do mercado de reposição do Estado de Goiás 93

Tabela 16 – Análise ARIMA da variável do mercado de reposição do Distrito Federal 95

Tabela 17 – Análise ARIMA da variável da frota do Estado de Goiás 97

Tabela 18 – Análise ARIMA da variável da frota do Distrito Federal.....98

Tabela 19 – Função resposta do impulso.....101

Tabela 20 – Valores dos resíduos do modelo de função de transferência sem incorporar a análise dos resíduos 104

Tabela 21 – Análise ARIMA do resíduo do modelo de função de transferência sem incorporar a análise dos resíduos 105

Tabela 22 – Análise comparativa dos modelos de função de transferência 107

Tabela 23 – Previsão de retorno dos pneus inservíveis do Estado de Goiás e Distrito Federal 112

Tabela 24 – Comparação entre os volumes de retorno real e previsto, de janeiro a junho de 2015 com *outlier*.....113

Tabela 25 – Comparativo volume de retorno real, sem *outlier*, e previsto de janeiro a junho de 2015 115

Tabela 26 – Comparativo dos indicadores do ajuste e previsão do modelo.....116

Tabela 27 – Análise ARIMA da variável do volume de pneus inservíveis retornados.....116

Tabela 28 – Comparativo volume do retorno real, sem *outlier*, e previsto de janeiro a junho de 2015 118

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
AIC	*Akaike's Information Criterion*
ANIP	Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos
ARIMA	AutoRegressive Integrated Moving Average
CTF	Cadastro Técnico Federal
CLSC	*Closed-loop supply chain*
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CSCMP	*Council of Supply Chain Management Professionals*
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DF	Distrito Federal
FIOCRUZ	Fundação Oswaldo Cruz
GO	Goiás
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
MERCOSUL	Mercado Comum do Sul
MSE	*Mean Square Error* (erro quadrático médio)
NCM	Nomenclatura Comum do Mercosul
ONU	Organização das Nações Unidas
PGP	Programa de Gerenciamento de Pneus Inservíveis
PNRS	Plano Nacional de Resíduo Sólido
PUC-GO	Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Secex	Secretaria do Comércio Exterior
Sinir	Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO 19

1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA 19

1.2 JUSTIFICATIVA 23

1.3 OBJETIVOS 26

1.3.1 Objetivo Geral 26

1.3.2 Objetivos Específicos 26

1.4 SÍNTESE DA METODOLOGIA DE PESQUISA 27

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO 27

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 29

2.1 LOGÍSTICA REVERSA E CADEIA DE SUPRIMENTOS DE CICLO FECHADO . 29

2.1.1 Legislação de Pneumáticos no Brasil 33

2.1.2 Logística Reversa de Pneus no Brasil 37

2.2 PREVISÃO DE RETORNO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE CICLO FECHADO 41

2.2.1 Métodos de Previsão de Demanda 43

2.2.2 Modelo de Função de Transferência 46

2.2.2.1 Função de Correlação Cruzada 50

2.2.2.2 Especificação do Modelo 51

2.2.2.3 Previsão com o Modelo de Função de Transferência 52

2.2.2.4 Validação do Modelo de Função de Transferência 54

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA DE PESQUISA 55

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA 55

3.2 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DE PESQUISA 55

3.3 OBJETO DE ESTUDO 57

3.4 POPULAÇÃO, AMOSTRA E DELIMITAÇÕES 59

3.5 INSTRUMENTOS DE OBTENÇÃO DE EVIDÊNCIAS 60

3.6 MODELO REFERENCIAL 61

CAPÍTULO 4 - APLICAÇÃO DA METODOLOGIA 64

4.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA 64

4.2 COLETA E DOCUMENTAÇÃO DE DADOS 66

4.3 ANÁLISE DOS DADOS COLETADOS 81

4.4 ESPECIFICAÇÃO DO MODELO DE FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA 92

4.5 DETERMINAÇÃO DA PREVISÃO DO RETORNO DOS PNEUS INSERVÍVEIS 110

4.6 VALIDAÇÃO DO MODELO DE FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DO VOLUME DO RETORNO DOS PNEUS INSERVÍVEIS 113

CAPÍTULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS 119

5.1 CONCLUSÕES 119

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA PROJETOS FUTUROS 122

REFERÊNCIAS 124

APÊNDICE A – Questionário semiestruturado aplicado com um *expert*..... 130

APÊNDICE B – Frota de veículos do Distrito Federal e do Estado de Goiás de Janeiro de 2011 à Junho de 2015. 131

APÊNDICE C – Importação e exportação de pneus do Distrito Federal e do Estado de Goiás

de Janeiro de 2011 à Junho de 2015. 132

APÊNDICE D – Volume de pneus inservíveis retornados do Distrito Federal e do Estado de Goiás de Janeiro de 2011 à Junho de 2015. 133

ANEXO A – Código NCM – Nomenclatura Comum do Mercosul para pneumáticos novos de borracha. 134

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

O presente capítulo visa apresentar a problemática do tema abordado, a justificativa de desenvolvimento do assunto, os objetivos pretendidos e estabelecer a metodologia e estrutura do trabalho utilizada.

1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

O mundo atualmente está enfrentando desafios ambientais sem precedentes em áreas que envolvem a mudança climática, energia, água, biodiversidade e agricultura, segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2015). E com a dependência direta dos recursos naturais e da forma de estruturação das cadeias de suprimento, as empresas precisam realizar esforços que abordam questões de responsabilidade ambiental para atingir a sustentabilidade empresarial.

A ONU (2015) ainda salienta em seu Guia de Sustentabilidade Empresarial que empresas participantes do Pacto Global, que é uma iniciativa de sustentabilidade corporativa global, consideraram as práticas relacionadas a cadeia de suprimentos, como o maior desafio para melhorar seu desempenho de sustentabilidade.

Dessa forma, os países estão buscando formular estratégias de desenvolvimento econômico destacando o aspecto da sustentabilidade e impondo restrições legais rigorosas para os produtos retornarem às industrias após seu tempo de vida útil (PATI; VRAT; KUMAR, 2010).

Na União Européia a Diretiva 2008/98/Ce do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia (UNIÃO EUROPÉRIA, 2015), que foi a última revisão relativa aos resíduos, apresenta o objetivo de estabelecer medidas de proteção ambiental e da saúde humana, visando a prevenção ou a redução dos impactos provocados pela geração e gestão de resíduos, reduzindo os impactos da utilização destes recursos e melhorando a eficiência dessa utilização.

Para isso defendem medidas como o princípio do poluidor-pagador, que consiste em responsabilizar o detentor dos resíduos ou até mesmo os produtores do produto que deram origem aos resíduos pela gestão e pelos custos da eliminação.

De modo a garantir um nível elevado de proteção do ambiente e da saúde humana, na Diretiva 2008/98/Ce (UNIÃO EUROPÉRIA, 2015) também é apresentado a hierarquia das

medidas de prevenção e gestão de resíduos conforme a ordem: prevenção e redução; preparação para a reutilização; reciclagem; outros tipos de valorização, por exemplo a valorização energética e pôr fim a eliminação.

O Brasil seguindo a tendência mundial, em 2010, regularizou a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010), que apresenta como principais objetivos a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental; o estímulo a adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo e a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Em conjunto com os objetivos, a Lei 12.305 (BRASIL, 2010) expõe alguns princípios como o do poluidor-pagador, cujo conceito é semelhante ao da União Europeia.

Dessa forma, para alcançar esses objetivos e princípios alguns instrumentos são destacados a fim de incentivar e desenvolver as práticas sustentáveis de cada mercado. Como exemplo desses instrumentos têm-se o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (Sinir), os planos de resíduos sólidos como o Plano Nacional de Resíduo Sólido (PNRS), a coleta seletiva, o sistema de logística reversa e a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos entre outros (BRASIL, 2010)

Segundo o *Council of Supply Chain Management Professionals* (CSCMP, 2015), logística reversa é definido como “um segmento especializado da logística focado na gestão e movimentação de produtos e recursos após a venda e entrega ao consumidor, incluindo reparos e/ou créditos”.

Ao analisar a cadeia de suprimentos completa considerando tanto fluxo direto pelo desenvolvimento de novos produtos focado nos aspectos ambientais, quanto o fluxo reverso pela logística reversa, tem-se como resultado a cadeia de suprimentos de ciclo fechado. Conforme Guide e Van Wassenhove (2009) a cadeia de suprimentos de ciclo fechado, ou *closed-loop supply chain* (CLSC), consiste na atividade de “projetar, controlar e operacionalizar o sistema para maximizar a criação de valor para todo o ciclo de vida de um produto, com a recuperação dinâmica de valor a partir de diferentes tipos e volumes de retornos ao longo do tempo”.

A logística reversa e a cadeia de suprimentos de ciclo fechado são consideradas vitais na cadeia de suprimentos e estão ganhando mais espaço dia após dia nas operações sustentáveis.

A gestão do fluxo reverso dos materiais tem se tornado uma atividade essencial e eficiente para o ganho de vantagem competitiva. (MEYER, 1999 *apud* POTDAR; ROGERS, 2012)

De acordo com Pati, Vrat e Kumar (2010), o interesse das empresas pela cadeia de suprimentos de ciclo fechado ocorre por causa de fatores econômicos, redução dos recursos naturais, leis ambientais mais rigorosas e pressão para as indústrias adotarem políticas de retorno dos produtos. No entanto a implementação dessas atividades apresenta dificuldades por lidar com vários fatores de incerteza como a quantidade, qualidade e o tempo que estes produtos irão retornar para a cadeia de suprimentos de ciclo fechado.

Temur, Balcilar e Bolat (2014) afirmam que os retornos dos produtos não têm uma estrutura bem definida, pois dependem de fatores dinâmicos como características dos produtos, nível de vida e conscientização dos consumidores. Pati, Vrat e Kumar (2010), ainda destacam a incerteza relacionada a demanda a jusante e suas consequências na cadeia de suprimentos de ciclo fechado, podendo citar o efeito chicote pela presença de ondas amplificadas no volume de retorno, o qual têm se tornado um objeto importante de estudo.

Outros fatores que também são impactados por essa incerteza são o planejamento de transportes e a alocação de recursos, conforme Hanafi *et al*. (2007) *apud* Temur, Balcilar e Bolat (2014), e gestão de inventário e planejamento dos processos de remanufatura para Krapp, Nebel e Sahamie (2013a).

Dessa forma, a fim de minimizar as incertezas referentes a demanda reversa dos produtos, é necessário utilizar um método efetivo de previsão de demanda, pois, conforme Potdar e Rogers (2012), para obter melhores decisões em nível estratégico, tático e operacional na organização, é necessária uma previsão de demanda realista.

Sendo assim, devido à sua amplitude de aplicação, alguns métodos de previsão de demanda foram empregados a alguns setores industriais para prever o retorno dos produtos na cadeia reversa e podem ser encontrados na literatura. Carrasco-Gallego e Ponce-Cueto (2009) utilizaram a regressão dinâmica para prever a demanda reversa de containers, Agrawal, Singh e Murtaza (2014) aplicaram a rede GERT para prever o retorno para reciclagem dos produtos eletrônicos na Índia, Liang, Jin e Ni (2014) desenvolveram uma metodologia para prever a quantidade e qualidade das baterias de veículos elétricos que retornam utilizando a simulação de Monte Carlo e Temur, Balcilar e Bolat (2014) modelaram o sistema especialista *fuzzy*, ou lógica *fuzzy*, para fazer a previsão do retorno de produtos eletrônicos.

A previsão de demanda reversa também pode ser aplicada no estudo da cadeia de suprimentos reverso de pneus. Devido ao fortalecimento da economia e aumento do poder aquisitivo das classes sociais brasileiras, cenário econômico que se configurou no Brasil até dezembro de 2014, muitos procuraram um maior conforto o que fez com que a frota brasileira de veículos aumentasse em 294% nos últimos 14 anos segundo o Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN, 2015).

No Estado de Goiás o crescimento da frota, também avaliando os anos compreendidos entre 2000 e 2014, foi de 359%, estando no ano de 2014 com 3.386.702 veículos. Ao avaliar a composição desta frota, pode-se observar que o tipo de veículo com a maior representatividade é a dos automóveis, representando 48% desse total seguida por motocicleta com 23%.

Já o Distrito Federal apresentou um aumento de 266%, neste mesmo período de 2000 e 2014 e atualmente conta com uma frota de 1.586.169 veículos, sendo 72% da frota de automóveis.

Como consequência do aumento da frota, surgiu a preocupação e a necessidade de investir em medidas ecologicamente corretas de descarte dos componentes dos veículos a fim de mitigar o impacto negativo deste crescimento. Um exemplo foi a criação da Reciclanip, organização que reuniu os grandes fabricantes de pneus com a finalidade de realizar o aproveitamento dos pneus de pós-consumo.

Segundo a Reciclanip (2015b) a coleta e a destinação de pneus inservíveis, os quais são pneus usados que apresentam danos irreparáveis em sua estrutura e que não há mais condições de utilização para circulação ou reforma, apresentou um aumento de 10,15% quando comparado os anos de 2013 e 2014, processando no ano de 2014 mais de 445 mil toneladas de pneus inservíveis, o equivalente a 89 milhões de unidades de pneus de carro de passeio.

De acordo com os relatórios anuais do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2015) que segue a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n. 416/2009 (BRASIL, 2009) as principais destinações destes pneus inservíveis no ano de 2014 foram de coprocessamento com 55,17%, granulação com 34,83%, laminação com 9,94% e regeneração da borracha com 0,06%.

Diante da problemática apresentada anteriormente o projeto de pesquisa tem o propósito de responder a seguinte questão geral:

Como deve ser aplicado um modelo de previsão a uma cadeia de suprimentos de ciclo fechado?

E à questão específica:

Como deve ser modelado a cadeia de suprimentos de ciclo fechado dos pneus?

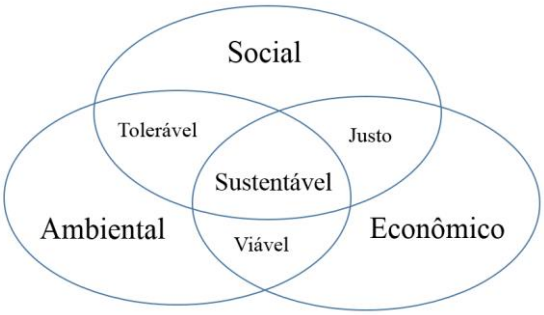
Quais as variáveis que interferem no retorno dos pneus inservíveis na cadeia de suprimentos de ciclo fechado de pneus?

1.2 JUSTIFICATIVA

A sustentabilidade empresarial conforme a Organização das Nações Unidas (ONU, 2015) é um imperativo para as organizações atualmente, sendo essencial para o sucesso a longo prazo.

Dessa maneira, fica evidente a importância da reciclagem de pneus para garantir o *triple bottom line* das organizações, tripé da sustentabilidade que considera a crescimento segundo os parâmetros ambientais, sociais e econômicos. O equilíbrio entre estes três requisitos, os quais devem ser geridos de forma integrada, garantem a sustentabilidade organizacional defendem Carter e Rogers (2008) e Xavier e Corrêa (2013) ilustrado pela Figura 1.

Figura 1 – *Tripple Bottom Line*



Fonte: Xavier e Corrêa (2013)

Ao avaliar esses três parâmetros no cenário nacional, é no aspecto econômico que reside o grande desafio para a cadeia de reciclagem de pneus inservíveis no Brasil, pois, segundo Lagarinhos e Tenório (2013) o desafio é a realização de uma coleta mais eficiente.

Esse grande desafio pode ser observado ao analisar as respostas das empresas parceiras

do Pacto Global em pesquisa realizada pela ONU (2015), na Tabela 1. Nesta pesquisa o objetivo era identificar quais ações específicas as organizações estavam adotando para o enraizamento de políticas e práticas ligadas a gestão ambiental, a níveis estratégicos, operacionais e culturais.

Tabela 1 – Percentual das empresas que adotam políticas e práticas de gestão ambiental

Políticas e Práticas	Percentual das empresas que adotaram essas políticas e práticas
Consumo & metas responsáveis	66%
Sistemas de gestão	65%
Metas de desempenho / indicadores	64%
Treinamento e conscientização dos funcionários	62%
Produção Limpa & Segura	61%
3R (reduzir, reutilizar, reciclar)	60%
Monitorar e avaliar o desempenho	53%
Avaliação de risco e impacto	50%
A divulgação pública das políticas e práticas	49%
Avaliação tecnológica	44%
Relatório de emissões	38%
Pegada de água	34%
Arranjos da cadeia de suprimentos	31%
Avaliação do ciclo de vida / custeio	29%
Diálogo entre vários *stakeholders*	26%

Fonte: ONU (2015)

Pela Tabela1 percebe-se que as ações ligadas a gestão da cadeia de suprimentos como os arranjos da cadeia de suprimentos, com 31% de adoção, e o diálogo entre vários *stakeholders*, com 26%, estão sendo as práticas menos adotadas.

Enquanto as ações como consumo & metas responsáveis, com 66%, sistemas de gestão internos, com 65% e determinação de metas de desempenho / indicadores, com 64%, que são políticas que as empresas podem desenvolver isoladamente, sem a necessidade de incluir outros *players* da cadeia, são as mais adotadas.

No que tange ao cenário atual da meta de destinação dos pneus inservíveis pelo relatório anual do IBAMA (2011, 2012, 2013, 2014, 2015), que apresenta o acompanhamento da geração e destinação dos pneus no Brasil, o país está atingindo a meta de destinação. Na Tabela 2, são apresentadas as metas de destinação, o que realmente foi destinado e o percentual do cumprimento da meta de destinação entre os períodos de outubro de 2009 a dezembro de

2013 dos relatórios anuais do IBAMA (2011, 2012, 2013, 2014 e 2015).

Tabela 2 – Meta, destinação e cumprimento da meta de destinação dos pneus segundo os fabricantes e importadores

Período	Meta dos fabricantes de pneus (t)	Destinação dos fabricantes de pneus (t)	Cumprimento dos fabricantes de pneus (%)	Meta dos importadores de pneus (t)	Destinação dos importadores de pneus (t)	Cumprimento dos importadores de pneus (%)
Out/2009 a Dez/2010	357.743,12	378.774,09	105,88%	202.594,52	176.333,53	87,04%
Jan/2011 a Dez/2011	280.119,09	285.138,58	101,79%	265.691,58	177.318,61	66,74%
Jan/2012 a Dez/2012	301.152,88	317.150,53	105,31%	178.276,72	141.879,66	79,58%
Jan/2013 a Dez/2013	352.756,79	377.212,84	106,93%	182.511,01	114.440,18	62,70%
Jan/2014 a Dez/2014	378.086,32	404.491,60	106,98%	179.978,03	140.203,80	77,90%

Fonte: Elaborado pela autora (2015)

Conforme a Tabela 2 o Brasil não está conseguindo atingir a meta dos importadores de pneus, apresentando uma redução da destinação dos pneus importados, o que certamente faz com que alguns pneus estejam sendo destinados de forma inadequada, podendo os importadores ser penalizados pela Lei 9605/98.

Em relação aos fabricantes de pneus, o Brasil está conseguindo bater a meta de destinação em relação aos fabricantes de pneus com um percentual acima de 100%. Isto é possível, pois a meta de destinação é realizada com base no valor de pneus que foram para o mercado de reposição. No entanto esse valor não reflete o passivo real de pneus que devem ser destinados, visto que há pneus inservíveis que não são substituídos por pneus novos (do mercado de reposição) como é o caso de pneus de veículos no final da vida útil, que não estão contemplados na legislação.

Por isso é necessário o conhecimento real da quantidade de pneus que devem ser destinados por meio de uma relação entre o que estão sendo inserido no mercado e que devem ser destinados, pois, a avaliação da meta com base no mercado de reposição poderá subestimar a quantidade de pneus a serem destinados.

E ao avaliar a cadeia de suprimentos, para Govindan, Soleimani e Kannan (2014) será difícil construir e gerenciar uma logística reversa, ou cadeia de suprimentos de ciclo fechado, confiável e lucrativa, se não houver informações precisas de alguns parâmetros importantes como a quantidade de produtos que irão retornar. E segundo Potdar e Rogers (2012) estimar a quantidade de retorno é o primeiro passo na logística reversa para melhorar a precisão das previsões.

Para isso, a previsão de demanda é considerada por Montgomery, Jennings e Kulahci (2015) importante, pois é um *input* crítico para muitos tipos de planejamento e processos decisórios, com aplicações em diversas áreas como a gestão de operações, *marketing*, econômico, gerenciamento financeiro e de riscos, controle de processos industriais e demográfico.

A Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI, 2012) ainda afirma que montantes de retorno subestimados podem sobrecarregar o sistema e onerar a cadeia de forma inesperada gerando uma sobrecarga na disposição final. Do contrário, montantes superestimados podem desorientar a cadeia de reciclagem, trazendo consequências como a redução da ocupação da estrutura montada, elevando os custos e desestimulando os agentes envolvidos.

Devido à dificuldade de se estruturar a cadeia de suprimentos de ciclo fechado apresentada, este trabalho estudará a aplicação de um modelo de previsão da quantidade de pneus inservíveis que irão retornar para a cadeia produtiva para serem destinados, colaborando para que as entidades geradoras e destinadoras possam buscar os esforços necessários para alcançar a dimensão econômica do tripé da sustentabilidade.

1.3 OBJETIVOS

Este tópico visa apresentar os objetivos gerais e específicos que o trabalho pretende alcançar.

1.3.1 Objetivo Geral

Aplicar um modelo de previsão a uma cadeia de suprimentos de ciclo fechado de pneus, para estimar o volume de pneus inservíveis que são retornados mensalmente.

1.3.2 Objetivos Específicos

a) Determinar as variáveis que interferem na cadeia de suprimentos de ciclo fechado de pneus;

b) Determinar a equação do modelo para a previsão da quantidade de pneus que irão retornar;

c) Realizar a previsão de retorno dos pneus inservíveis da cadeia de suprimentos de ciclo fechado de pneus.

1.4 SÍNTESE DA METODOLOGIA DE PESQUISA

A metodologia adotada para o desenvolvimento deste trabalho é a Modelagem Científica, pela aplicação do Modelo de Função de Transferência. Parte inicialmente de uma análise para avaliar a associação entre as variáveis de demanda e a variável de retorno para posteriormente realizar a previsão de retorno dos pneus inservíveis do Estado de Goiás e Distrito Federal.

Como forma de estruturação deste projeto foram adotadas as seguintes etapas:

1) Compreensão da situação do problema;

2) Coleta e documentação dos dados junto ao DENATRAN, IBAMA, AliceWeb, ANIP e da organização adotada como objeto deste estudo.

3) Análise dos dados coletados a partir dos registros de retorno na base de dados da empresa “X” e dos dados de entrada de pneus no mercado;

4) Especificar o modelo de função de transferência no problema de previsão do retorno de pneus inservíveis para o fluxo reverso;

5) Determinação da previsão de demanda do pneu inservível;

6) Validação do modelo com os dados coletados de janeiro a junho de 2015.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em cinco capítulos:

O Capítulo 1 aborda a caracterização do problema, a justificativa da pesquisa, a definição dos objetivos gerais e a síntese metodológica utilizada;

No Capítulo 2 apresenta-se a revisão bibliográfica que fundamenta o estudo e aplicação do modelo de função de transferência;

O Capítulo 3 apresenta a metodologia de pesquisa utilizada para se alcançar a proposta

do trabalho;

O Capítulo 4 apresenta os dados levantados em campo, os resultados obtidos e a análise dos resultados;

O Capítulo 5 apresenta a conclusão do estudo realizado, bem como uma análise se os objetivos do trabalho foram alcançados e propostas de pesquisas futuras.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 LOGÍSTICA REVERSA E CADEIA DE SUPRIMENTOS DE CICLO FECHADO

O conceito de logística reversa teve seu início em 1970 no qual surgiram definições dos canais reversos, ou fluxo reverso, na literatura científica, porém mencionando apenas a reciclagem como forma de destinação segundo Lagarinhos e Tenório (2013).

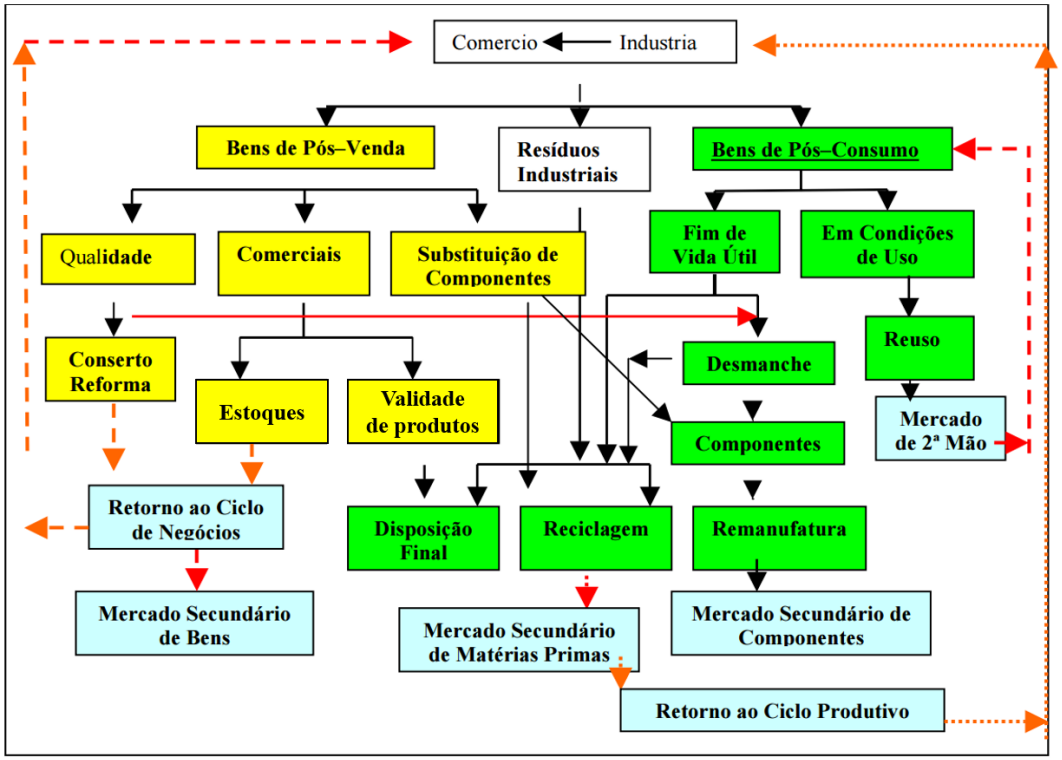
Neste período a Logística Reversa não foi inicialmente desenvolvida para atender às necessidades relacionadas à sustentabilidade ambiental, como formas de reutilização do material ou a redução do volume de produtos descartados na natureza, mas para buscar soluções por meio de ferramentas logísticas, para questões relacionadas às devoluções de produtos afirmam Xavier e Corrêa (2013).

Xavier e Corrêa (2013) ainda salientam que no Brasil, a Logística Reversa era utilizada como forma de minimizar os impactos negativos referentes a produtos defeituosos que foram para o mercado, para que as empresas pudessem manter o mercado consumidor e a integridade da imagem.

Posteriormente a Logística Reversa passou a agregar atividades relacionadas aos aspectos ambientais e ganhou um maior impulso com a elaboração e implementação de leis e normas ambientais. Fato que levou os fabricantes e seus canais de distribuição a repensar suas responsabilidades no fluxo reverso e em formas corretas de destinação de seus produtos de pós-consumo e de pós-venda.

Desta forma na Figura 2 pode-se demostrar através do fluxograma as principais etapas do fluxo reverso dos produtos de pós-consumo e de pós-vendas na logística reversa demonstrado por Leite (2009).

Figura 2 – Fluxo Reverso de pós-consumo e pós-venda



Fonte: Leite (2009)

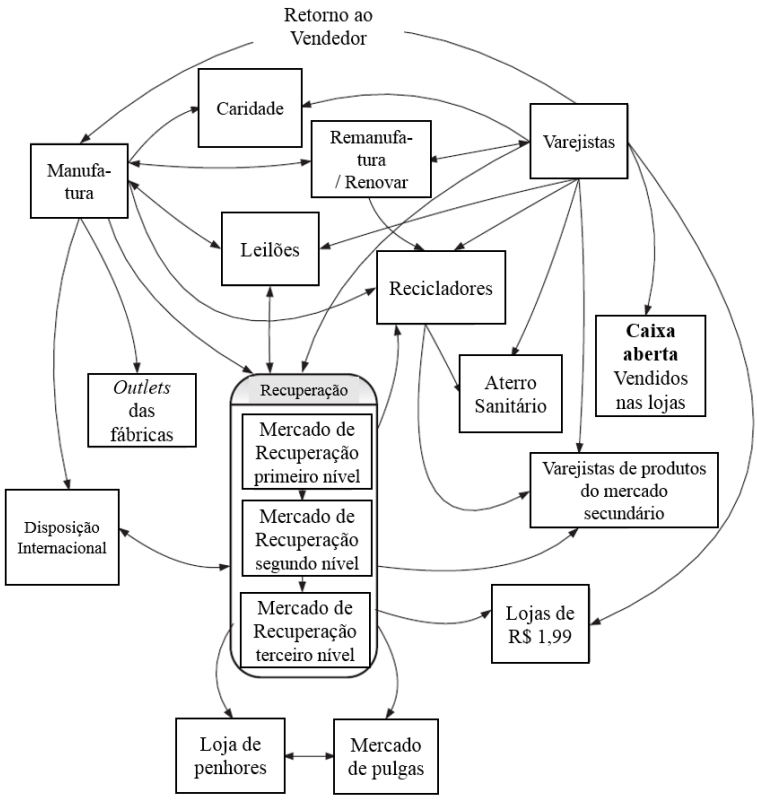
Como pode-se observar na Figura 2 fica evidente a evolução da logística reversa e como esta conseguiu agregar e apresentar soluções ambientais de destinação factíveis para esses dois fluxos.

O fluxo de pós-vendas, que é caracterizado pelo retorno de bens de pós-venda com pouco tempo de utilização ou até mesmo não utilizados por motivos de qualidade, comerciais ou substituição de componentes, apontam soluções como o retorno ao ciclo de negócios, mercado secundário de bens, reciclagem e disposição final.

Já o fluxo de bens de pós-consumo, o qual atua em relação ao descarte de bens de pós-consumo pela sociedade, apresentou soluções como mercado de segunda mão, desmanche, remanufatura, mercado secundário de matéria prima e de componentes que possibilitam o retorno ao ciclo produtivo.

O mercado secundário de bens de acordo com Rogers e Tibben-Lembke (2012), também apresentam soluções para o fluxo reverso como o retorno aos fornecedores, revenda, venda via *outlet*, mercados de recuperação conhecidos como "*salvage dealer*", remanufatura entre outros como podem ser observados na Figura 3.

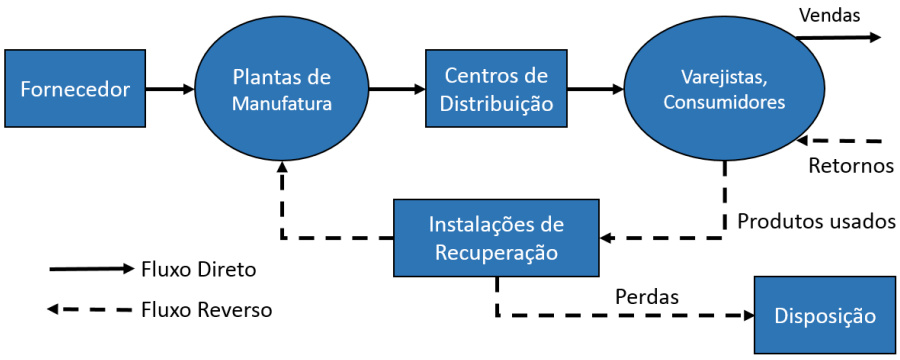
Figura 3 – Fluxo de retorno do mercado secundário



Fonte: Rogers e Tibben-Lembke (2012)

Analisando as Figuras 2 e 3 nota-se que alguns fluxos retornam a pontos anteriores da cadeia para reutilização ou reprocessamento, caracterizando a cadeia de suprimentos de ciclo fechado. Avaliando os fluxos diretos e reversos sob a perspectiva da cadeia de suprimentos de ciclo fechado têm-se de forma simples a Figura 4 apresentada por Tonanont *et al.* (2008).

Figura 4 – Fluxo da cadeia de suprimentos de ciclo fechado



Fonte: Adaptado de Tonanont *et al.* (2008)

A logística reversa ou cadeia de suprimentos reverso (*reverse supply chain*) é considerada parte da cadeia de suprimentos de ciclo fechado, pois, cada componente da cadeia de suprimentos direto implica na eficiência do canal reverso segundo Tonanont *et al.* (2008).

Desta forma a cadeia de suprimentos de ciclo fechado é composta por cinco elos sendo fornecedores, plantas de manufatura, centros de distribuição, consumidores/varejistas e instalações de recuperação de produtos.

Guide e Van Wassenhove (2009) corroboram esta estrutura do fluxo da cadeia de suprimentos de ciclo fechado ao afirmar que, o foco desta rede é o de retornar os produtos dos consumidores a fim de recuperá-los e adicionar valor pela reutilização de todo o produto e/ou alguns de seus módulos.

Com tantas possibilidades de destinação e fluxos é necessário estabelecer um plano de gestão de materiais a fim de gerenciar todos os resíduos e elos para garantir a eficiência da cadeia reversa.

Em conformidade com McDonough e Braungart (2002) a gestão de materiais conta com algumas possibilidades de conceitos para processos produtivos com cadeias lineares ou com cadeias cíclicas:

> - Do berço ao túmulo – gestão dos materiais desde a aquisição de matéria prima até a disposição final do produto ou resíduo. Neste caso, a responsabilidade da destinação final é distribuída entre os diferentes atores ao longo da cadeia;
>
> - Da produção ao pós-venda – neste cenário a responsabilidade do produtor se encerra com a venda do produto;
>
> - Do pós-venda ao túmulo – gestão dos materiais subsequente à venda do produto e concluindo com a disposição final. A responsabilidade seria do consumidor e da coleta urbana;
>
> - Do berço à produção – gestão dos materiais desde a aquisição dos recursos até ao processo produtivo. Neste cenário, a responsabilidade é unicamente do produtor;
>
> - Do berço ao pós-venda – gestão dos materiais desde a aquisição dos recursos até a venda do produto, com responsabilidade podendo ser dividida entre produtor e vendedor.

A forma de gestão pautada no conceito “do berço ao berço”, vista como uma evolução ao conceito “do berço ao túmulo”, é o mais defendido para a gestão da cadeia de suprimentos de ciclo fechado como pode ser visto nos trabalhos de McDonough e Braungart (2002) e Baki, Chaouch e Abdul-Kader (2014).

Segundo Baki, Chaouch e Abdul-Kader (2014) a manufatura “berço ao berço” é considerada o novo modelo de gestão de manufatura por prover a reciclagem e a remanufatura de todos os componentes dos produtos.

Neste mesmo sentido, o conceito de “do berço ao berço” apresentada por McDonough

e Braungart (2002), afirma que a gestão de materiais deve ser realizada desde a “extração dos materiais mais básicos até que eles, depois de processados e usados, voltem ao processo como materiais básicos”.

Para assegurar o retorno dos materiais como materiais básicos e a gestão da cadeia de suprimentos reversa Guide e Van Wassenhove (2009) dividem o processo reverso em três subprocessos que são o gerenciamento do retorno dos produtos (dianteira do trabalho), problemas operacionais de remanufatura (motor do trabalho) e o desenvolvimento de *marketing* dos produtos remanufaturados (traseira do trabalho).

Destacam ainda as principais atividades base da cadeia de suprimentos reversa de cada um dos três subprocessos (GUIDE; VAN WASSENHOVE, 2009), sendo que para o gerenciamento do retorno dos produtos são destacadas atividades como o tempo; quantidade; qualidade dos produtos usados; gestão da aquisição de produtos e taxas de retorno.

Já na abordagem dos problemas operacionais de remanufatura têm-se as atividades da logística reversa; testes, separação e disposição dos componentes dos produtos; desmontagem; reparo e remanufatura. E no desenvolvimento de *marketing* dos produtos remanufaturados contêm as atividades de desenvolvimento de canais, mercados secundários, *marketing* para estes canais e canibalização.

Diante das informações apresentadas, o presente trabalho possui o foco nas atividades do gerenciamento do retorno dos produtos de pneus inservíveis para reciclagem, por ser o princípio das atividades da logística reversa que servem de base para o restante das atividades da cadeia reversa e principalmente para o dimensionamento e gestão do mercado secundário de matérias primas como da borracha.

Sendo assim é necessário entender as regulamentações e normas existentes para gerenciamento da cadeia de pneus no Brasil e a forma como se estruturou a cadeia de suprimentos de ciclo fechado dos pneus.

2.1.1 Legislação de Pneumáticos no Brasil

Em 30 de setembro de 2009, foi aprovado a Resolução CONAMA nº 416/2009, que revogou as resoluções do CONAMA nº 258/1999 e 301/2002, a qual fixa a meta de destinação, o cálculo do mercado de reposição e dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental e a

destinação ambientalmente adequada dos pneus inservíveis.

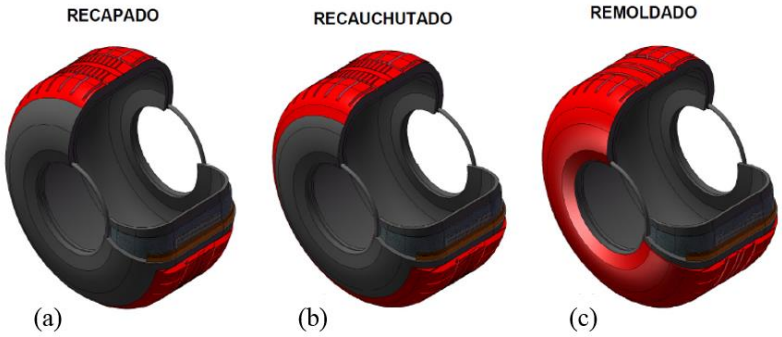
De acordo com a nova resolução os fabricantes e importadores de pneus novos ficam obrigados a coletar e dar a destinação final ambientalmente adequada aos pneus inservíveis. Sendo o Poder Público, os distribuidores, revendedores, destinadores e os consumidores finais de pneus, em conjunto com fabricantes e importadores, responsáveis por implementar os procedimentos de coleta dos pneus inservíveis.

A destinação final ambientalmente adequada se refere a procedimentos técnicos em que os pneus são descaracterizados de sua forma inicial e seus elementos constituintes são reaproveitados, reciclados ou processados por técnicas aprovadas pelos órgãos ambientais. A reforma de pneu, como por exemplo a recapagem, não é considerada fabricação e destinação adequada segundo a Resolução.

A reforma de pneus não é considerada como fabricação ou destinação por apenas prolongar a vida útil de pneus e dentro do conceito da reforma têm-se três processos que podem ser utilizados que são recapagem, recauchutagem e remoldagem.

Os três processos somente se diferem pela amplitude da substituição das partes do pneu, pois a recapagem é um processo de substituição da banda de rodagem, a recauchutagem substitui a banda de rodagem e os ombros e a remoldagem é o processo de que engloba a substituição da banda de rodagem, dos ombros e de toda a superfície dos flancos, como podem ser observados na Figura 5.

Figura 5 – Pneu recapado (a), recauchutado (b) e remoldado (c)



Fonte: Lagarinhos (2011)

Como forma de controle da destinação adequada dos pneus inservíveis, os fabricantes e importadores são obrigados a declarar ao IBAMA, num período de um ano: a quantidade de pneus fabricados/importados; quantidade enviada para montadoras; quantidade exportada; e a

quantidade de pneus inservíveis destinados. Da mesma forma, os destinadores também devem apresentar ao IBAMA a quantidade de pneus inservíveis destinados.

O não cumprimento do envio das informações podem acarretar em suspensão da liberação de importação para os importadores, porém não é mencionando a pena aplicada aos fabricantes de pneus instalados no Brasil.

Com base nos dados apresentados pelo fabricantes e importadores são definidas as metas de destinação. A meta de destinação na Resolução do CONAMA nº416/2009, para fabricantes e importadores afirma que para cada pneu novo comercializado no mercado de reposição, estes devem destinar adequadamente um pneu inservível, ou seja, destinar 100% dos pneus que inserirem no mercado.

Para o cálculo do mercado de reposição geral tem-se a Equação 1:

$$MR = (P + I) - (E + EO) \tag{1}$$

Em que:

MR – Mercado de reposição;

P – Total de pneus produzidos;

I – Total de pneus importados;

E – Total de pneus exportados;

EO – Total de pneus que equipam veículos novos.

Todavia as metas de destinação são definidas separadamente para fabricantes e importadores pela Instrução Normativa nº 001/2010 do IBAMA, que regulamenta o cálculo das metas de destinação e os procedimentos de comprovação de destinação. Para isso a Equação 1 se subdivide nas Equação 2 e Equação 3, as quais são utilizadas para determinar as metas dos fabricantes e importadores respectivamente.

$$Meta\ Fabricantes = [(P - E - EO) * 0{,}7] \tag{2}$$

$$Meta\ Importadores = [(I - EO) * 0{,}7] \tag{3}$$

Para o desenvolvimento destas equações os valores das quantidades unitárias de pneus produzidos, importados, exportados e enviados a montadora devem ser convertidos em peso (kg), conforme determinado pelo órgão de controle e fiscalização a fim de facilitar o controle da destinação.

Posteriormente a conversão dos valores em quilogramas e realização da subtração, como pode ser observado nas Equações 2 e 3, a equação é multiplicada por 0,7. O valor de 0,7 representa o fator de desgaste no qual os pneus estão submetidos ao longo de sua utilização, pois segundo o IBAMA, o peso do pneu inservível é de 30% do peso do pneu novo fabricado.

Caso a meta de destinação não seja cumprida em um determinado período as empresas ficarão sujeitas ao acúmulo de obrigação de destinação para os períodos subsequentes, podendo ainda sofrer a aplicação das penas cabíveis conforme o artigo 5º da Resolução do CONAMA.

As penas cabíveis as quais são mencionadas na Resolução do CONAMA nº416/2009 fazem referências as sanções penais e administrativas em casos de conduta e atividades lesivas ao meio ambientais, presentes na Lei nº9.605/1998.

No artigo 56 da Lei nº9.605/1998, está previsto que nos casos cujas as atividades industriais como produção, processamento, transporte, importação, armazenamento entre outros, que forem realizadas em desacordo com as exigências legais ou dos regulamentos estão suscetíveis a pena de reclusão de um a quatro anos e multa.

O valor da multa no artigo 75, ainda de acordo com a Lei nº9.605/1998, pode variar de R$50,00 (cinquenta reais) a R$ 50.000.000,00 (cinquenta milhões de reais) dependendo gradação da infração como descreve o artigo 6º da mesma lei. Esta gradação irá depender de fatores como a gravidade e consequência do fato, antecedentes do infrator em relação a legislação ambiental e situação econômica do infrator.

Além da multa de valor monetário, poderá decair também sobre o infrator infrações administrativas apresentadas no artigo 72 da Lei nº9.605/1998, as quais sofrem gradação conforme o artigo 6º citado acima. As infrações administrativas progridem desde advertência, multa simples, multa diária, suspensão de venda e fabricação do produto podendo chegar até à suspensão parcial ou total das atividades.

Logo para assegurar uma logística reversa eficiente, atingir a meta de destinação e respeitar a legislação, é necessário, em conformidade com a Resolução do CONAMA

nº416/2009, que os fabricantes e importadores elaborarem um plano de gerenciamento de coleta, armazenamento e destinação de pneus inservíveis, conhecidos como (PGP), e implantar pelo menos um ponto de coletar nos municípios acima de 100.000 habitantes.

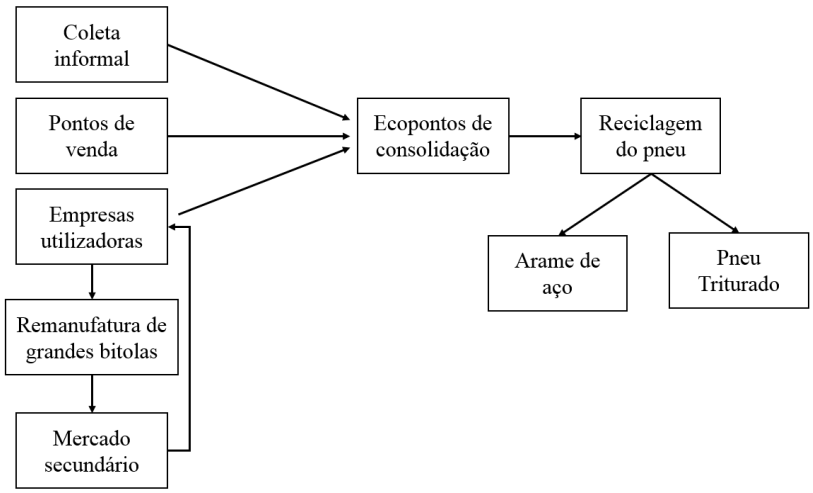
2.1.2 Logística Reversa de Pneus no Brasil

Em consequência das legislações adotadas no Brasil apresentadas acima, e visando o equacionamento do retorno dos pneus por meio de melhoria dos processos, como a instalação de pontos de coleta, consolidação e operações industriais de reciclagem, o setor empregou uma política de trabalho baseada no modelo de *pool* empresarial (LEITE, 2009).

Neste modelo de organização, o qual ocorre por meio de um convênio e envolvimento de todos os agentes da cadeia produtiva de pneumáticos, busca-se o nivelamento de benefícios e responsabilidades para tornar viável a logística reversa de pneus usados.

Para Leite (2009) a cadeia reversa dos pneus usados no Brasil, com seus elos e agentes, pode ser apresentada conforma a Figura 6.

Figura 6 – Fluxograma dos pneus usados no Brasil



Fonte: Leite (2009)

Como pode ser observado pelo fluxograma, Leite (2009) destaca três origens para os pneus usados que são a coleta informal de pneus, os quais os consumidores já entregam nos ecopontos ou pontos de coleta; os pontos de vendas, que seriam as distribuidoras ou revendedoras de pneus; e as empresas utilizadoras que realizam a recauchutagem, recapagem e remoldagem de pneus que entregam os pneus inservíveis.

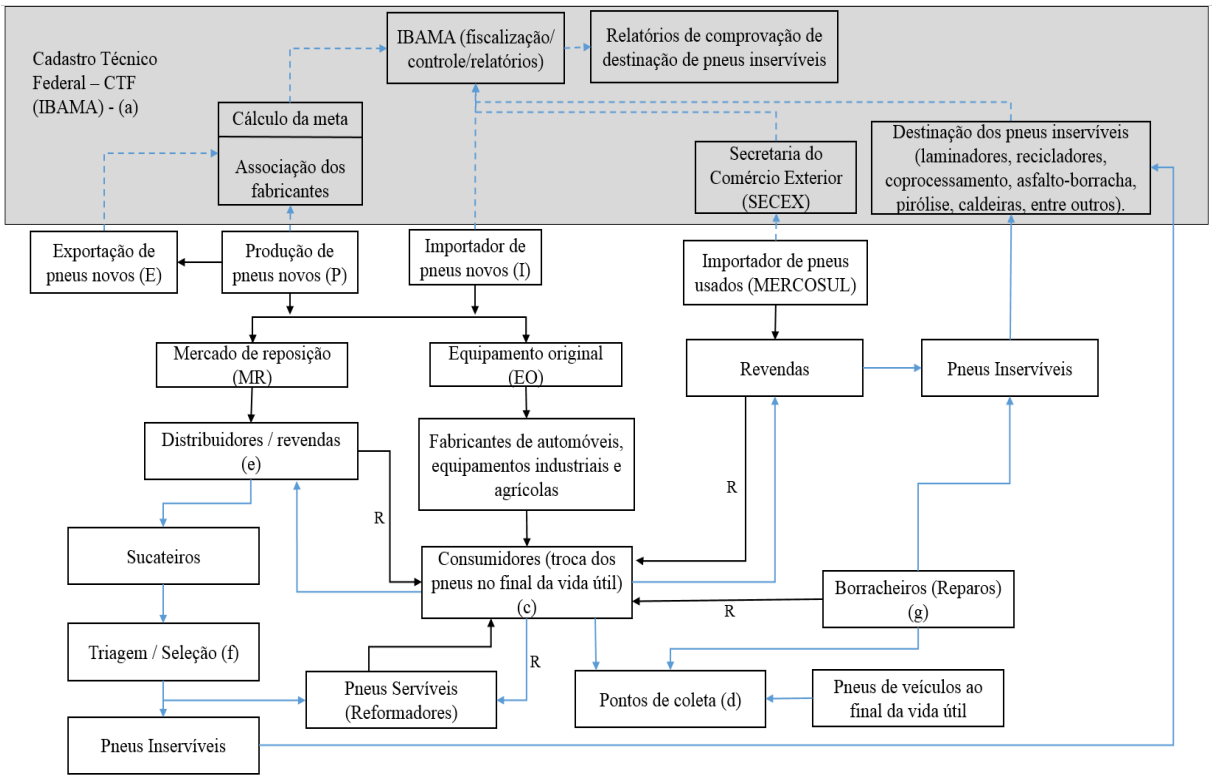
Segundo Lagarinhos e Tenório (2013) o fluxo da logística reversa dos pneus usados

apresenta uma diferença em relação ao fluxo proposto por Leite (2009).

No fluxo apresentado por Lagarinhos e Tenório (2013), como pode ser verificado na Figura 7, apesar de não apresentar a coleta informal como um agente de descarte de pneus, está mais completo constando os fluxos diretos, fluxos reversos e o fluxo de reportagem das informações e apresentando mais elos de origem de descarte de pneus.

Deste modo, por apresentar todos os fluxos tanto de entrada, quanto de saída dos pneus do mercado, este trabalho irá referir ao diagrama de blocos do processo de logística apresentado por Lagarinhos e Tenório (2013) como a cadeia de suprimentos de ciclo fechado de pneus no Brasil.

Figura 7 – Diagrama de blocos do fluxo da logística reversa de pneus no Brasil



Fonte: Lagarinhos e Tenório (2013)

Legenda:

Fluxo direto – ⟶;

Fluxo reverso – ⟶;

Reportagem – - - - - ⟶ ;

R – Retorno dos pneus usados pelo consumidor.

No diagrama de blocos do fluxo da logística reversa dos pneus usados no Brasil, conforme a Figura 7, percebe-se que o mesmo contempla tantos os fluxos diretos, fluxos reversos quanto o fluxo de controle de destinação dos pneus denominado por Lagarinhos e Tenório (2013) como “reportagem”. É apresentado também os fluxos em que há o retorno dos pneus usados “R”, por parte dos consumidores.

Como pode ser observado na Figura 7, o fluxo de controle de destinação, o qual compõem o Cadastro Técnico Federal (CTF) do IBAMA, inicia-se com a declaração dos fabricantes, importadores e destinadores.

Os fabricantes devem informar a quantidade de pneus novos produzidos e exportados; já os importadores são responsáveis pelas declarações das quantidades de pneus novos e usados importados; e as empresas destinadoras dos pneus inservíveis devem informar a quantidade de pneus destinados.

Tais informações são declaradas ao IBAMA que é órgão responsável por determinar as metas de destinação e emitir os relatórios de comprovação de destinação de pneus inservíveis.

O fluxo direto, que exemplifica a entrada de pneus no mercado, inicia-se com a produção de pneus novos (P), importadores de pneus novos (I) e importadores de pneus usados do Mercosul (MERCOSUL). Da produção de pneus novos (P) os pneus podem seguir para três blocos que são a exportação de pneus novos (E), mercado de reposição (MR) e para equipamentos originais (EO).

Os pneus que entram no mercado pelos importadores de pneus novos (I) também seguem para o mercado de reposição e para os equipamentos originais. E os pneus usados importados do Mercosul seguem para o canal de revendas.

Analisando o fluxo que segue do mercado de reposição pode-se observar que este segue para os distribuidores/revenda (e) que por sua vez alimentam o bloco dos consumidores (c). Ao analisar o fluxo dos equipamentos originais nota-se que este também termina nos consumidores (c), pois, segue para os fabricantes de automóveis, equipamentos industriais e agrícolas para posteriormente encerrar nos consumidores.

Ainda avaliando os consumidores, canal de convergência dos fluxos diretos, este ainda recebe pneus do fluxo de revendas, de borracheiros, que prolongam a vida útil dos pneus, e de

pneus servíveis que ainda podem ser utilizados.

O fluxo reverso, ao contrário do fluxo direto, apresenta os consumidores como o canal de divergência e ponto de partida do fluxo reverso. O primeiro fluxo de destino dos pneus são os distribuidores/revendas (e), em que realizam a coleta dos pneus usados deixados pelos consumidores ao efetuarem a troca por pneus novos. Destes, os pneus usados seguem para os sucateiros para posteriormente serem encaminhados para as empresas que fazem a seleção e a triagem dos pneus.

Neste momento os pneus são classificados em pneus servíveis e inservíveis. Os pneus servíveis retornam para serem vendidos como pneus meia-vida aos consumidores ou encaminhados a empresas de recauchutagem. Já os pneus inservíveis são encaminhados para de destinação que realizam o pré-tratamento dos materiais para serem aproveitados em outros processos como asfalto borracha, caldeiras, co-processamento, entre outros.

Outro fluxo reverso que parte dos consumidores é o de destino aos pontos de coleta, que além dos consumidores, também recebem pneus dos borracheiros, e pneus de veículos que estão no fim da vida útil. Os pontos de coleta, que são gerenciados pelas prefeituras, são pontos que recebem e armazenam temporariamente pneus coletados das cidades até que os representantes dos fabricantes de pneus realizem a coleta e transporte para empresas de destinação.

Em relação aos borracheiros, estes são um elo que apresentam apenas dois fluxos, um para o ponto de coleta e outro para as empresas de destinação. Os pneus de veículos ao fim da vida útil não apresentam legislação específica de destinação.

O último fluxo reverso que parte dos consumidores é o fluxo para as revendas de pneus usados importados no MERCOSUL. Este elo apresenta o procedimento de coleta dos pneus semelhante as revendas de pneus fabricados no país e importados novos. No entanto, os pneus inservíveis já são encaminhados diretamente para as empresas de destinação, não necessitando passar pelas empresas de triagem e seleção.

Desta forma, a cadeia de suprimentos de ciclo fechado dos pneus no Brasil se fecha, e tanto o fluxo direto quanto o fluxo reverso são demonstrados a fim de aprofundar o conhecimento neste ciclo e possibilitar o entendimento da participação de cada elo.

Assim sendo, fica evidente todas as formas de entrada de pneus no mercado e todas os

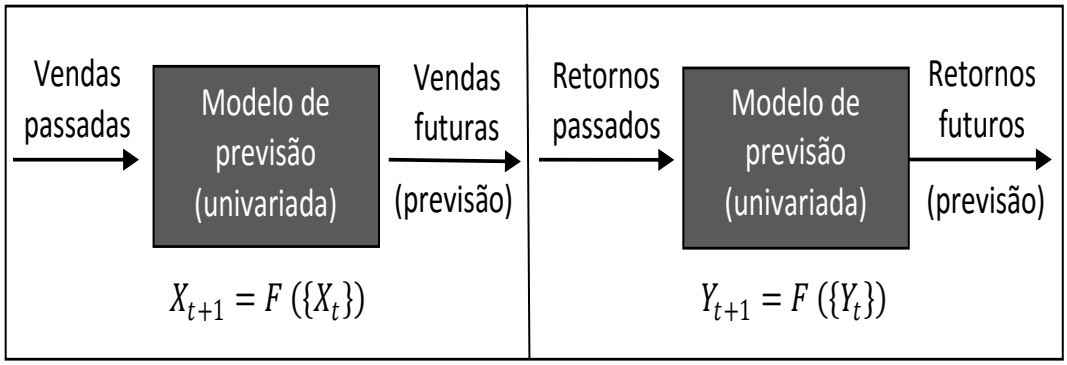
fluxos dos pneus inservíveis que seguem para as empresas de destinação, para possibilitar o desenvolvimento deste trabalho e realizar a previsão de demanda da logística reversa dos pneus inservíveis no Estado de Goiás e Distrito Federal.

2.2 PREVISÃO DE RETORNO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE CICLO FECHADO

A previsão de demanda é por muitos considerada um fator crucial no processo de planejamento das cadeias de suprimentos, por assegurar a performance tática e operacional das organizações, que por meio de sua exatidão, traz consequências positivas em todos os níveis organizacionais. (FILDES *et al*., 2009; ALI, BOYLAN e SYNTETOS, 2012; ACAR e GARDNER JR, 2012)

As técnicas de previsão de demanda são utilizadas para analisar e projetar estruturas dinâmicas das séries de dados passadas a fim de prever os valores futuros, tanto em relação ao fluxo direto, demonstrado na Figura 8a, quanto ao fluxo reverso representado pela Figura 8b. (CARRASCO-GALLEGO; PONCE-CUETO, 2009)

Figura 8 – Previsão de demanda do fluxo



(a) Fluxo direto (b) Fluxo reverso

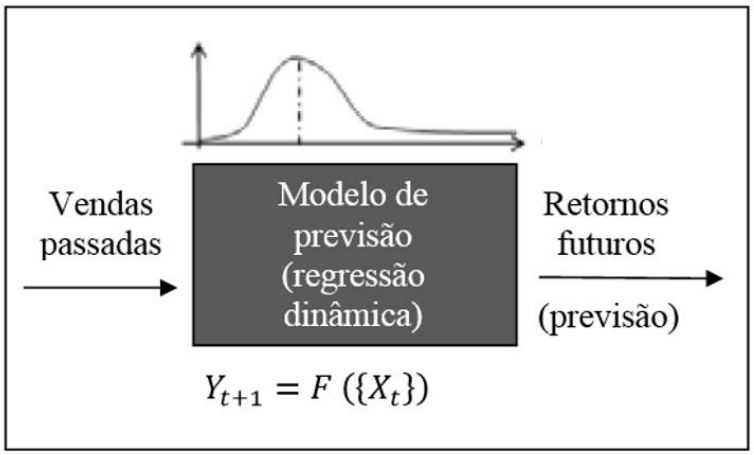
Fonte: Carrasco-Gallego e Ponce-Cueto (2009)

Ainda de acordo com Carrasco-Gallego e Ponce-Cueto (2009) ao lidar com a cadeia de suprimentos de ciclo fechado, é necessário avaliar a previsão de vendas futuras e a previsão de futuros retornos.

Esta utilização dos dados de vendas para explicar os retornos futuros somente é possível, pois, os dados de venda e os dados de retorno são extremamente correlacionados e proporcionam uma melhor performance dos custos do processo, conforme estudo realizado por Zerhouni, Gayon e Frein (2013).

Carrasco-Gallego e Ponce-Cueto (2009) ainda salientam que é importante considerar a probabilidade de retorno dos produtos e o histórico de vendas passadas, para realizar a previsão de futuros retornos e determinar o tempo de atraso e a quantidade de produtos que irão retornar de acordo com a Figura 9.

Figura 9 – Previsão de demanda para a cadeia de suprimentos de ciclo fechado

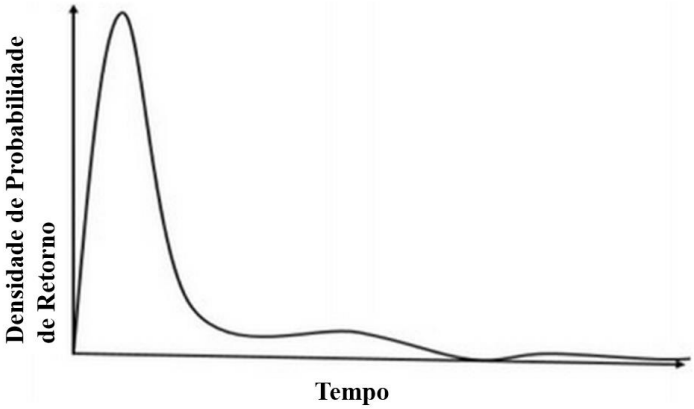


Fonte: Carrasco-Gallego e Ponce-Cueto (2009)

De acordo com Liang, Jin e Ni (2014) a probabilidade de retorno deve ser avaliada, pois, ao contrário da maioria das previsões, que lidam apenas com a decisão do consumidor de comprar ou não comprar, a previsão de retorno do produto é determinado por uma séria de eventos como a decisão do consumidor de comprar o produto, a taxa de utilização do produto e a decisão de retorno do produto a cadeia.

A função de retorno do produto pelo consumidor pode ser modelada pela função Gaussiana inversa, como apresentado na Figura 10. (LIANG; JIN; NI, 2014)

Figura 10 – Distribuição típica do comportamento de retorno de produtos pelo consumidor



Fonte: Adaptado de Liang, Jin e Ni (2014)

Segundo Liang, Jin e Ni (2014) e como pode ser observado na Figura 10, a grande maioria das pessoas retornam os produtos avariados ou indesejados em um curto período de tempo, porém há uma quantidade reduzida de pessoas que retornam os produtos após um logo período de tempo ou sequer retornam os produtos.

2.2.1 Métodos de Previsão de Demanda

Para realizar a previsão de demanda do retorno, a utilização de métodos de previsão e ferramentas capazes de inserir variáveis para estudar a série de eventos temporais, vem sendo cada vez mais evidente, como pode ser observado nas principais classificações apresentadas por Efendigil, Önüt e Kahraman (2009) e Krapp, Nebel e Sahamie (2013a, 2013b); e Montgomery, Jennings e Kulahci (2015).

Para Efendigil, Önüt e Kahraman (2009) há várias técnicas para realizar a previsão de demanda de uma cadeia de suprimentos e essas técnicas podem ser divididas em quatro grupos principais que são os métodos qualitativos, métodos de séries temporais, métodos causais e métodos de simulação.

Já Krapp, Nebel e Sahamie (2013a) não apresentam o grupo dos métodos qualitativos, somente os grupos dos métodos causais, dos métodos estatísticos, que também são conhecidos como métodos de série temporal e os métodos se simulação.

Os métodos causais segundo Krapp, Nebel e Sahamie (2013a) são os métodos que necessitam de variáveis para prever e proporcionar informações para uma outra variável. Já os métodos estatísticos fazem a aplicação de estatística para determinar os parâmetros e analises necessárias. E os métodos de simulação, ou métodos *soft-computing* como também são chamados, são métodos que fazem a utilização de *softwares* para análise dos dados e prover resultados.

E Montgomery, Jennings e Kulahci (2015) classificam estes grupos de uma forma parecida com as apresentadas, porém apresentam uma melhor estrutura a estes grupos.

Para estes autores há dois grandes tipos de classificação das técnicas de previsão que são os métodos qualitativos e os métodos quantitativos.

Os métodos qualitativos são técnicas subjetivas e por isso requerem o julgamento por parte de especialistas. São usualmente adotados em situações em que há pouco ou nenhum dado

histórico que podem ser utilizados para fazer a previsão, sendo o método Delphi, o método mais conhecido para este tipo de previsão (MONTGOMERY; JENNINGS; KULAHCI, 2015).

Por sua vez, os métodos quantitativos fazem o uso formal de dados históricos e de modelos de previsão que extrapolam o passado e o comportamento atual dos dados a fim de prever o futuro (MONTGOMERY; JENNINGS; KULAHCI, 2015).

E inseridos nos métodos quantitativos estão os modelos de regressão ou métodos causais; modelos de suavização, os quais utilizam uma simples função de observação prévia para a previsão da variável de interesse, e os modelos de série temporal.

É apesentado na Tabela 3 uma síntese de diversos trabalhos que aplicaram a previsão de demanda para o fluxo reverso e para a cadeia de suprimentos de ciclo fechado, com seus respectivos métodos adotados para realizar a previsão de retorno dos produtos.

Tabela 3 – Trabalhos que aplicaram a previsão de retorno do fluxo reverso

Principais autores	Ano	Objetivo	Fator Avaliado no Modelo	Campo de Pesquisa	Método
POTDAR, A.; ROGERS, J.	2012	Propor um método para previsão do retorno de produtos baseados no *Reason Code* (RC)	Comportamento do Consumidor	Logística Reversa	Regresssão Linear
TEMUR, G. T.; BALCILAR, M.; BOLAT, B.	2014	Desenvolver um sistema fuzzy para projetar um previsão robusta da quantidade de produtos retornados	Definir os fatores que influenciam no retorno	Logística Reversa	Lógica Fuzzy
DAT L. Q.; LINH D. T. T.; CHOU S.; YU V. F.	2012	Apresentar um modelo matemático para a rede da logística reversa multi-produtos	Minimizar custo da rede	Rede de Logística reversa	Desenvolvido pelo autor
ROGHANIAN E.; PAZHOHESHFARB P.	2014	Propor uma rede da logística reversa multi produto e multiestágios para minimizar os custos totais de entregas	Minimizar custo da rede	Rede de Logística reversa	Desenvolvido pelo autor - Baseado Algoritmo Genético
DEMIREL, E.; DEMIREL, N.; GÖKÇEN, H.	2014	Apresentar uma programação linear inteira mista (MILP) incluindo os diferentes atores desta rede	Minimizar custo da rede	Rede de Logística reversa	Programação linear inteira mista (MILP)
KRAPP, M.; NEBEL, J.; SAHAMIE, R.	2013a	Propor uma previsão de demanda genérica	Qualidade do retorno	Rede de Suprimento de Ciclo Fechado	Desenvolvido pelo autor - Baseado nas Técnicas de Estimativa Bayesiana
LIANG, X.; JIN, X.; NI, J.	2014	Prover uma metodologia para previsão de demanda	Qualitativos e Quantitativos (tempo e quantidade)	Rede de Suprimento de Ciclo Fechado	Simulação de Monte Carlo
NIKNEJAD, A.; PETROVIC, D.	2014	Avaliar duas as rotas alternaticas de recuperação de produtos	Qualitativos e Quantitativos (tempo e quantidade)	Rede de Logística reversa	Modelo de Programação Inteira Mista Difusa
KRAPP, M.; NEBEL, J.; SAHAMIE, R.	2013b	Desenvolver uma método de previsão genérico	Quantidade	Rede de Suprimento de Ciclo Fechado	Desenvolvido pelo autor - Estatística Bayesiana e Filtro de Kalman
KUMAR D. T.; SOLEIMANI H.; KANNAN G.	2014	Propor uma metodologia para projetar e planejar a rede de supriumento de ciclo fechado	Quantidade e Taxa de retorno	Rede de Suprimento de Ciclo Fechado	Sistema de inferência fuzzy baseado em rede adaptiva (ANFIS)
AGRAWAL, S; SINGH, R.; MURTAZA, Q.	2014	Desenvolver um modelo para previsão de retorno de produtos para a empresa de reciclagem	Quantidade e Tempo de retorno	Logística Reversa	Avaliação Gráfica e Técnicas de Revisão (GERT)
CARRASCO-GALLEGO, R.; PONCE-CUETO, E.	2009	Realizar uma revisão do estado da arte para aplicar essas ferramentas em uma caso industrial real	Quantidade e Tempo de retorno	Rede de Suprimento de Ciclo Fechado	Modelo de Função de Tranferência

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Como pode ser observado pela Tabela 3, fica evidente os diversos métodos que podem ser aplicados à previsão de retorno de produtos. Portanto, por este trabalho avaliar a quantidade e o tempo que os pneus inservíveis irão demorar para retornar, pela relação de explicação entre as variáveis de entrada e a variável de saída, o método a ser adotado será o Modelo de Função de Transferência.

2.2.2 Modelo de Função de Transferência

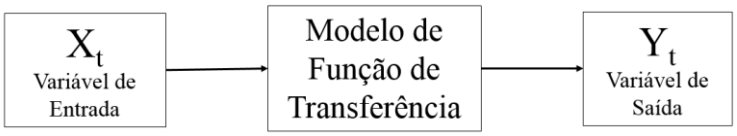
O segredo para realizar a previsão de retorno de produtos é perceber que as quantidades dos produtos retornados são geradas pela venda destes em períodos anteriores de acordo com Toktay, Van der Laan e Brito (2003).

O Modelo de Função de Transferência, neste trabalho denominado de MFT, foi desenvolvido por Box e Jenkins para exemplificar a relação dinâmica entre a variável de saída (*output*) e a variável de entrada do modelo (*input*), podendo ser somente uma ou mais variáveis de entrada, segundo Ljung, Ledolter e Abraham (2014).

Devido a esta característica, de relação entre as variáveis de entrada e saída, este modelo tem sido utilizado para representar os sistemas dinâmicos entre processo industrias, empresariais e econômicos conforme Ljung, Ledolter e Abraham (2014).

Desta forma o MFT possibilita avaliar o impacto de eventos externos ou intervenções nas variáveis que se deseja analisar, como a influência das vendas de produtos na quantidade de produtos retornados exemplificado pela Figura 11.

Figura 11 – Representação do Modelo de Função de Transferência



Fonte: Adaptado de Liang, Jin e Ni (2014)

Para representar o Modelo de Função de Transferência Box, Jenkins e Reinsel (2008) afirmam que as séries necessitam apresentar características de uma série estacionária, na quais apresentam os valores de média e variância constantes, apresentar o termo do operador de atraso, ou função de transferência, e considerar que há outros fatores que influenciam no resultado da variável Y_t além da variável X_t, conhecido como ruído branco. Logo o MFT pode

ser representado pela Equação 4.

$$Y_t = v(B)X_t + N_t \tag{4}$$

A função de transferência representada na equação pelo operador $v(B)$ é responsável pela inércia do sistema, ou seja, indica como a série de entrada X_t é transferida para a série de saída. Representando a função de transferência, $v(B)$ pode ser expressa segundo a Equação 5.

$$v(B) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} v_i B^i = (v_0 + v_1 B + v_2 B^2 + \cdots) \tag{5}$$

Sendo que os coeficientes do operador $v(B)$, v_i; i = 0, 1, 2,..., denominados de função resposta ao impulso, representam os valores estatísticos da estimativa da probabilidade do retorno dos produtos após k períodos, para $k \geq 1$. A probabilidade que o produto irá retornar é determinada pela $\sum_{k=1}^{\infty} v_k$.

Para se obter um modelo parcimonioso, Box, Jenkins e Reinsel (2008) consideram que a função de transferência $v(B)$ pode ser reescrita em função de dois polinômios conforme ilustrado na Equação 6, em que $w(B)$ e $\delta(B)$são polinômios de grau “s” e “r” em B.

$$v(B) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} v_i B^i = \left(\frac{w(B)}{\delta(B)}\right) B^b = \left(\frac{w_0 - w_1 B - \cdots - w_s B^s}{1 - \delta_1 B - \cdots - \delta_r B^r}\right) B^b \tag{6}$$

E igualando os coeficientes de B, obtêm-se a Equação 7:

$$v_j = \begin{cases} 0, & j < b \\ \delta_1 v_{j-1} + \delta_2 v_{j-2} + \cdots + \delta_r v_{j-r} + \omega_0, & j = b \\ \delta_1 v_{j-1} + \delta_2 v_{j-2} + \cdots + \delta_r v_{j-r} - \omega_{j-b}, & j = b+1, \ldots, b+s \\ \delta_1 v_{j-1} + \delta_2 v_{j-2} + \cdots + \delta_r v_{j-r}, & j > b+s \end{cases} \tag{7}$$

Para finalizar a análise da primeira parte da equação do modelo de função de transferência do operador de atraso, ou função de transferência, é necessário acrescentar ao modelo o fator que representa o defasamento da entrada, pois o atraso de resposta da variável de entrada para a variável de saída está presente em alguns processos de acordo com Montgomery, Jennings e Kulahci (2015).

Para representar o atraso, incorpora-se ao modelo as “b” unidades de tempo de atraso

entre o *input* e o *output* como ilustrado na Equação 8.

$$Y_t = \left(\frac{w(B)}{\delta(B)}\right) X_{t-b} + N_t \tag{8}$$

E para tornar a representação do modelo de função de transferência do operador de atraso mais realista é adicionado ao modelo o ruído, representado na equação por N_t, para levar em conta fatores imprevistos ou ignorados que podem afetar o modelo segundo Montgomery, Jennings e Kulahci (2015). Dessa maneira, o ruído demostra que há outras influências, que não sejam X_t, que afetam os valores de Y_t.

No Modelo de Função de Transferência Montgomery, Jennings e Kulahci (2015) e Box, Jenkins e Reinsel (2008) assumem que o N_t e X_t são independentes e que o ruído pode ser representado pelo modelo *Autoregressive Integrated Moving Average*, ARIMA (*p, d, q)* como demonstrado na Equação 9.

$$Y_t = \left(\frac{w(B)}{\delta(B)}\right) X_{t-b} + \frac{\theta(B)}{\varphi(B)} \epsilon_t \tag{9}$$

No Modelo ARIMA (*p, d, q*), a letra *p*, que corresponde ao componente AR do modelo, representa o número de parâmetros auto-regressivos, *d* representa a quantidade de diferenciações necessárias para que a série se torne estacionária, e corresponde ao I do modelo, e *q*, equivalente ao MA, é a ordem, ou parâmetro, da média móvel.

O modelo *Autoregressive Integrated Moving Average*, também conhecido como modelo auto-regressivo integrado de média móvel, é um modelo utilizado para modelagem e previsão de séries temporais, na qual realiza a análise do comportamento da série histórica para gerar uma previsão para esta série.

Para determinar o modelo ARIMA que melhor representam cada uma das variáveis do modelo, alguns indicadores podem ser adotados como critério de avaliação de acordo Montgomery, Jennings e Kulahci (2015).

Ainda segundo Montgomery, Jennings e Kulahci (2015) os indicadores podem ser a variância, que indica a variabilidade dos resíduos, o *Akaike Information Criterion* (AIC) e *Schwarz Bayesian Criterion* (SBC ou BIC), que medem a quantidade de informação perdida na geração de dados por um modelo, R^2, mede a qualidade do ajuste, média do erro absoluto

percentual (MAPE), que apresenta o percentual da média absoluta dos erros e média do erro percentual (MAE), que é a média absoluta dos erros, representados pelas Equações 10, 11, 12, 13, 14 e 15 respectivamente.

$$s^2 = \frac{SSE}{(n-k)} = \frac{\sum_{t=1}^{n} e_t^2}{(n-k)} \tag{10}$$

$$AIC = \ln\left(\frac{\sum_{t=1}^{T} e_t^2}{T}\right) + \frac{2p}{T} = -2loglikelihood + 2k \tag{11}$$

$$SBC = \ln\left(\frac{\sum_{t=1}^{T} e_t^2}{T}\right) + \frac{p\ \ln(T)}{T} = -2loglikelihood + k\ln(n) \tag{12}$$

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \widehat{y_i})^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \overline{y_i})^2} \tag{13}$$

$$MAPE = \frac{100}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{y_i - \widehat{y_i}}{y_i}\right| \tag{14}$$

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|y_i - \widehat{y_i}| \tag{15}$$

Em que:

SSE – Soma do erro quadrático;

SST – Soma quadrática dos totais.

Para avaliar os indicadores da variância, AIC, SBC, MAPE e MAE, os modelos que apresentam os menores valores destes indicadores representam os modelos que melhor se ajustaram as séries, e em relação ao R^2, quanto mais próximo do valor 1 melhor o ajuste, por minimizar a soma dos quadrados dos resíduos.

No entanto, o R^2 não avalia se o modelo utilizou muitos parâmetros para obter uma boa previsão e para isso, pode ser utilizado o AIC e o SBC por penalizarem a soma do quadrado dos erros quando ocorre a inclusão adicional de parâmetros no modelo realizando uma análise entre qualidade do ajuste e complexidade do modelo.

2.2.2.1 Função de Correlação Cruzada

Conforme pode-se observar no tópico 2.2.2 o Modelo de Função de Transferência é caracterizado por uma relação de causalidade entre as variáveis de entrada e a variável de saída. No entanto para verificar a existência dessa relação entre as variáveis e caracterizar o modelo como MFT, é utilizado uma ferramenta de análise de dados denominada de Função de Correlação Cruzada entre os resíduos do *input* e do *output* segundo Box, Jenkins e Reinsel (2008).

Box, Jenkins e Reinsel (2008) ainda salientam que na Função de Correlação Cruzada as séries X_t e Y_t necessitam ser estacionárias, apresentando médias (μ) e variâncias (σ^2) constantes. Caso as séries não sejam estacionárias é necessário torná-las estacionárias, ou fazer o pré-branqueamento dos dados.

A função de correlação cruzada entre os resíduos gerados pelo pré-branqueamento dos dados é definida pela Equação 16.

$$\gamma_{\alpha\beta}(k) = Cov(\alpha_t, \beta_{t+k}) = Cov\,(\alpha_t, v(B)\alpha_{t+k} + N^*_{t+k}) \tag{16}$$

Como assume-se que x_t e N_t são independentes a Equação 9 pode ser reescrita conforme a Equação 17.

$$\gamma_{\alpha\beta}(k) = v_k\, Var\,(\alpha_t) \tag{17}$$

Dessa forma os coeficientes de v_k podem ser obtidos pela Equação 18.

$$v_k = \frac{\gamma_{\alpha\beta}(k)}{\sigma_\alpha^2} = \frac{\rho_{\alpha\beta}(k)\sigma_\alpha\sigma_\beta}{\sigma_\alpha^2} = \rho_{\alpha\beta}(k)\frac{\sigma_\beta}{\sigma_\alpha} \tag{18}$$

E a correlação cruzada entre α_t e β_t pode ser obtido pela Equação 19.

$$\rho_{\alpha\beta}(k) = corr\,(\alpha_t, \beta_{t+k}) \tag{19}$$

Segundo Montgomery, Jennings e Kulahci (2015) a abordagem da diferenciação que pode ser utilizada para remover a tendência da série e torná-la estacionária, pela Equação 20, é realizada por meio da aplicação do operador de diferenciação na série temporal original para obter uma nova série temporal.

$$x_t = y_t - y_{t-1} = \nabla y_t \tag{20}$$

2.2.2.2 Especificação do Modelo

Depois de confirmada a estacionariedade entre as variáveis e a utilização do Modelo de Função de Transferência, é preciso definir as especificações do modelo a ser avaliado mediante seis etapas de acordo com Montgomery, Jennings e Kulahci (2015):

1. Obter estimativas preliminares dos coeficientes de $v(B)$:

Inicialmente utiliza-se o método de pré-branqueamento dos dados, assumindo que aplicando o modelo ARIMA (*p, d, q*) na entrada, a série X_t se transforma na série de ruídos α_t, e ao aplicar este mesmo modelo na saída, a série Y_t gera uma série de resíduos β_t.

Após a geração dos modelo ARIMA e determinação da série de resíduos α_t e β_t é possível definir a covariância cruzada e correlação cruzada entre os resíduos das séries e estimar os coeficientes de v_k pela Equação 21.

$$\hat{v}_k = r_{\alpha\beta}(k)\left(\frac{\hat{\sigma}_\beta}{\hat{\sigma}_\alpha}\right) \tag{21}$$

Em que:

$r_{\alpha\beta}(k)$ – Estimador da correlação cruzada entre α_t e β_t no *lag k*;

$\hat{\sigma}_\beta$ e $\hat{\sigma}_\alpha$ – Estimadores dos desvios padrões das séries de resíduos α e β.

2. Especificações das ordens de *r* e *s*:

A partir da estimação dos valores de $\hat{v}_k$, é possível estimar os valores de *r* e *s* mediante a equação 6.

3. Obter os estimadores de δ_i e w_i:

Para se estimar os valores de δ_i e w_i é necessário utilizar a equação 7.

4. Modelar o ruído:

Uma vez que os estimadores dos parâmetros do modelo foram obtidos, o estimador do ruído pode ser determinado pela Equação 22, em que $\hat{y}_t$ é definido por $\hat{y}_t$= $(\hat{w}(B)/\hat{\delta}(B))\, x_{t-\hat{b}}$.

$$\hat{N}_t = y_t - \frac{\hat{w}(B)}{\hat{\delta}(B)} x_{t-\hat{b}} \tag{22}$$

Sendo assim para modelar o estimador do ruído os parâmetros do modelo ARIMA são obtidos por meio do estudo dos estimadores da função de autocorrelação e função de autocorrelação parcial de $\hat{N}_t$.

5. Ajustar o modelo global:

Nesta etapa o modelo estimado é submetido a uma série de testes para definir qual modelo apresenta melhores parâmetros e comprovar sua adequabilidade de prever a série analisada.

6. Validar o modelo:

Na última etapa que consiste na validação do modelo, alguns aspectos devem ser avaliados como a análise dos resíduos de $\hat{\varepsilon}_t$, para assegurar que o ruído ε_t seja um ruído branco, e checar que ε_t é independente de x_t pela aplicação da função de correlação cruzada entre ε_t e x_t.

2.2.2.3 Previsão com o Modelo de Função de Transferência

Para realizar a previsão pelo Modelo de Função de Transferência em conformidade com Box, Jenkins e Reinsel (2008) e Montgomery, Jennings e Kulahci (2015) deve-se considerar os τ passos a frente e identificar os valores futuros da variável independente x_t.

De forma a incorporar os τ passos a frente no modelo é possível rearranjar a Equação 9 e obter a Equação 23.

$$y_{t+\tau} = \sum_{i=1}^{r+p^*} \delta_i^* y_{t+\tau-i} + w_0^* x_{t+\tau-b} - \sum_{i=1}^{s+p^*} w_i^* x_{t+\tau-b-i} + \varepsilon_{t+\tau} - \sum_{i=1}^{q+r} \theta_i^* \varepsilon_{t+\tau-i} \quad (23)$$

Em que:

r – ordem de *δ(B)*;

*p** – ordem de *φ(B)*;

s – ordem de *ω(B)*;

q – ordem de *θ(B)*.

Através da equação 23, da previsão pelo erro quadrático médio (MSE) e por meio das análises do erro pela Equação 24 e da previsão de $\hat{x}_t$ pela Equação 25, posto que a previsão de $\hat{x}_t(l)$ seja realizado pelo modelo ARIMA univariável, obtêm-se a Equação 26 para realizar a previsão do modelo.

$$E\left(\varepsilon_{t+\tau-i} \middle| y_{t,}\, y_{t-1}, \dots,\, x_{t,}\, x_{t-1,\dots}\right) = \begin{cases} \varepsilon_{t+\tau-i}, & i \geq \tau \\ 0, & i < \tau \end{cases} \quad (24)$$

$$\hat{x}_t(l) = E\left(x_{t+l} \middle| y_{t,}\, y_{t-1}, \dots, x_t, x_{t-1}, \dots\right) = E(x_{t+l} | x_t, x_{t-1}, \dots) \quad (25)$$

$$\hat{y}_{t+\tau}(\tau) = E\left[y_{t+\tau} \middle| y_{t,}\, y_{t-1}, \dots, x_t, x_{t-1}, \dots\right] = \sum_{i=1}^{r+p^*} \delta_i^* \hat{y}_{t+\tau-i}(t) + w_0^* \hat{x}_{t+\tau-b}(t) - \sum_{i=1}^{s+p^*} w_i^* \hat{x}_{t+\tau-b-i}(t) - \sum_{i=1}^{q+r} \theta_i^* \varepsilon_{t+\tau-i} \;\; para\; \tau = 1, 2, \dots, q. \quad (26)$$

E para finalizar a análise de previsão com o MFT, no que diz respeito a variância da previsão apresentada pela Equação 30, esta pode ser obtida pela somatória das variância dos erros de previsão de x_t e N_t conforme as Equações 27 e 28 e em função da Equação 29 que é o erro de previsão de τ passos a frente.

$$x_t = \varphi_x(B)^{-1}\theta_x(B)\alpha_t = \psi_x(B)\alpha_t \tag{27}$$

$$N_t = \varphi(B)^{-1}\theta(B)\varepsilon_t = \psi(B)\varepsilon_t = \sum_{i=0}^{\infty} \psi\, \varepsilon_{t-i} \tag{28}$$

$$e_t(\tau) = y_{t+\tau} - \hat{y}_{t+\tau}(t) \tag{29}$$

$$\sigma^2(\tau) = Var[e_t(\tau)] = \sigma_\alpha^2 \sum_{i=0}^{t-b-1} (v_i^*)^2 + \sigma_\varepsilon^2 \sum_{i=0}^{\tau-1} \psi_i^2 \tag{30}$$

2.2.2.4 Validação do Modelo de Função de Transferência

Para realizar a validação do modelo de função de transferência duas medidas podem ser utilizadas que são as medidas da precisão das previsões e as medidas relativas aos erros das previsões de acordo com Montgomery, Jennings e Kulahci (2015).

Na análise da precisão das previsões têm-se a média do quadrado do erro (MSE) ou variância, apresentada na Equação 31, o R^2 e a análise do MAPE, os quais já foram apresentados anteriormente para escolha do modelo ARIMA, pelas Equação 13 e Equação 14.

$$MSE = \hat{\sigma}_{e(1)}^2 = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}[e_t(1)]^2 \tag{31}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y}_i)^2} \tag{13}$$

$$MAPE = \frac{100}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i}\right| \tag{14}$$

E para finalizar a análise do modelo e corroborar a adoção de variáveis de entrada para obter um melhor comportamento da variável de saída, é determinado o desvio percentual dos erros previstos e valores reais entre o modelo de função de transferência e a modelagem da variável de saída pelo ARIMA (*p*, *d*, *q*) para comparação. Sendo que, para corroborar tal afirmação o desvio padrão do erro predito do modelo de função de transferência deve ser menor que do modelo univariado ARIMA.

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA DE PESQUISA

Este capítulo visa apresentar a metodologia de pesquisa utilizada para coleta e análise dos dados; bem como os instrumentos de obtenção de evidências. Este capítulo também abrange as delimitações da pesquisa, a população e amostra, o modelo referencial e a descrição das etapas de pesquisa. A empresa em que foi realizado o estudo também é apresentada.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Para responder as questões levantadas pela pesquisa será necessário aplicar técnicas matemáticas para avaliar a relação entre o volume de pneus inseridos no mercado e o volume de retorno dos pneus para a cadeia reversa, avaliando também as variáveis que influenciam neste retorno.

Dessa forma, a abordagem metodológica adotada na realização deste trabalho é caracterizada, segundo classificação de Cauchic Miguel (2012), como Modelagem, pois a partir dos dados coletados esta pesquisa visa utilizar técnicas matemáticas para representar o funcionamento de um sistema. A partir de sua verificação e validação do modelo, objetiva-se desenvolver a previsão de demanda do retorno dos produtos para apoiar o sistema e processo de tomada de decisão das empresas.

A modelagem a ser adotada nesta pesquisa será embasada no Modelo de Função de Transferência, aqui denominado MFT, pois este modelo permite avaliar as associações existentes entre variáveis, identificando o tempo de atraso entre os *input* e *outputs* e a probabilidade de retorno do material, além de possibilitar a realização da previsão de demanda do *output*.

3.2 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DE PESQUISA

As etapas que compõem esta pesquisa, são estruturadas da seguinte forma:

1. Compreensão da situação do problema;

2. Coleta e documentação dos dados junto ao DENATRAN, IBAMA, empresa “X” objeto deste estudo, AliceWeb e ANIP.

3. Análise dos dados coletados a partir dos registros de retorno na base de dados da

empresa “X” e dos dados de entrada de pneus no mercado;

4. Especificação do modelo de função de transferência no problema de previsão do retorno de pneus inservíveis para o fluxo reverso;

5. Determinação da previsão de demanda do pneu inservível;

6. Validação do modelo com os dados coletados de janeiro a junho de 2015.

A primeira etapa consiste na avaliação e compreensão da logística reversa dos pneus inservíveis, a fim de identificar os fatores que influenciam no retorno dos pneus inservíveis e a realização da previsão de demanda. Esta primeira etapa ainda busca responder às questões relativas ao período dos dados coletados, horizonte de previsão, nível de acuracidade e os componentes da previsão que seriam as variáveis ou parâmetros de entrada do modelo.

Na segunda etapa, que compreende a coleta e documentação de dados, foram realizadas visitas nas empresas distribuidoras de pneus no Estado de Goiás e na empresa “X”, acesso ao site do IBAMA, ANIP, Denatran e AliceWeb. Diante dos dados coletados, estes foram inseridos como base de dados no software Microsoft Excel©, e uma análise dos *outliers* foi realizada para identificá-los e retirá-los dos dados pelo software JMP *Statistical Discovery*™.

A partir da análise dos *outliers* até a sexta etapa do trabalho, que contempla a análise dos dados até a validação do modelo, com exceção da determinação da função resposta ao impulso e a validação dos dados preditos que foram realizados pelo Microsoft Excel©, as demais análises foram realizadas com o auxílio do software JMP *Statistical Discovery*™ versão 11.0.0.

Este *software* foi selecionado, pois ao compará-lo com outros *softwares* do mercado, este apresentou ser um pacote de análise estatística mais completo, por incluir o método de análise dos dados pelo modelo de função de transferência, possibilitando o atingimento dos resultados com uma maior confiabilidade.

A terceira etapa consiste nas análises dos dados. Com todos os dados disponíveis, é possível realizar uma análise gráfica dos dados por meio do gráfico de séries temporais, avaliando tendências e sazonalidade e pela função de autocorrelação e variograma para avaliar a estacionariedade da série. Também é possível analisar os dados por uma análise numérica,

em que são determinadas as médias e desvios padrões permitindo avaliar se a série é estacionária.

A quarta etapa constitui-se da determinação dos modelos ARIMA das variáveis de entrada pelo pré-branqueamento, pela análise da correlação cruzada entre os resíduos das variáveis de entrada e do resíduo da variável de saída, pela determinação da função de resposta do impulso, análise ARIMA dos resíduos do modelo de função de transferência e por fim da definição dos parâmetros estimados a fim de estabelecer as especificações do modelo de função de transferência. Esta etapa é de grande importância para avaliar e estabelecer a correlação entre as variáveis de entrada e a variável de saída.

Na quinta etapa é realizada a previsão de retorno da quantidade de pneus utilizando o modelo de função de transferência, a partir das variáveis de entrada do modelo, que são as entradas de pneus no mercado e de saída, que é o retorno dos pneus para o fluxo reverso.

E a sexta etapa baseia-se na validação do modelo de previsão que consiste na determinação de o quanto o modelo é propenso a prever os dados na aplicação pretendida de forma fidedigna com a realidade. Nesta etapa foram realizadas as análises para validar os dados previstos e para validar a adoção das variáveis de entrada para prever os dados de retorno e consequentemente a modelagem pelo modelo de função de transferência.

Para isso os dados obtidos pela previsão do modelo de função de transferência foram comparados com os valores reais de janeiro a junho de 2015 da empresa “X”. A validação dos dados previstos pelo modelo ocorreu pela aderência do modelo ao histórico de dados e pela magnitude dos erros da previsão. E a validação das variáveis de entrada e do MFT, ocorreu pela comparação dos resultados do MFT com os resultados da modelagem do volume de retorno de pneus inservíveis pelo modelo ARIMA, que não utiliza das variáveis de entrada para prever o modelo.

3.3 OBJETO DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada na empresa denominada neste trabalho de empresa “X” a fim de preservar a identidade da mesma e confidencialidade dos dados por ela fornecidos.

Localizada em Abadia de Goiás - GO, próximo a cidade de Goiânia, a empresa “X” funciona como um centro de consolidação dos pneus inservíveis de Goiás e do Distrito Federal,

pois, recebe pneus tanto dos pontos de coletas, como de distribuidores e de pessoas físicas.

O motivo de se escolher esta empresa consiste na grande representatividade desta no mercado de coleta e trituração de pneus inservíveis e destino às empresas de reciclagem do granulado dos pneus inservíveis do Estado de Goiás e do Distrito Federal chegando a uma média de 98% de representatividade de coleta e trituração.

A empresa “X” possui como atividade principal a coleta dos pneus inservíveis dos pontos de coleta do Estado de Goiás e Distrito Federal e na trituração destes para encaminhamento para empresas cimenteiras, que aproveitam o granulo dos pneus para co-processamento dando a destinação ambientalmente correta.

Avaliando os procedimentos internos realizados pela empresa “X”, observa-se três grandes processos que se destacam que é o transporte dos pontos de coletas até a empresa, o processo de recebimento dos pneus, destacado pela Figura 12 e do processo de trituração destes pneus inservíveis como pode ser observado pela Figura 13.

O primeiro grande processo é o transporte dos pneus dos pontos de coletas para a empresa. Para que isto ocorra, uma equipe é responsável pelo gerenciamento da frota e o contato com as prefeituras, pois são as prefeituras que gerenciam os pontos de coleta, informando sobre a necessidade de realizar a coleta.

Figura 12 – Processo de recebimento dos pneus inservíveis

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Figura 13 – Granulado de pneu após trituração

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

O processo de recebimento da empresa “X”, apresentado na Figura 12 ocorre em duas formas, a primeira ocorre com a chegada dos caminhões da empresa que realizam a coleta dos pneus inservíveis dos pontos de coleta e a segunda com a chegada dos pneus dos distribuidores que levam até a empresa, ou até mesmo qualquer pessoa que queira deixar os pneus para destinados.

O processo de trituração da empresa “X”, conforme pode ser constatado pela Figura 13, os pneus inservíveis são triturados em duas gramaturas diferentes, no entanto ambas são destinadas para uma empresa cimenteira com a finalidade de combustão para a geração de energia.

3.4 POPULAÇÃO, AMOSTRA E DELIMITAÇÕES

A população deste estudo constitui-se da quantidade de retorno existente dos pneus inservíveis, da frota do Estado de Goiás e Distrito Federal devido a empresa “X” destinar pneus de ambas localidades, considerando todos os tipos de veículos incluídos no sistema de trânsito que utilizam pneus para sua locomoção, e dos dados de importação e enviados a montadora de pneus para este Estado e Distrito Federal. O período avaliado consiste de janeiro de 2011 a junho de 2015, totalizando um período de 4 anos e meio.

Para tanto a amostra, na qual foi pesquisada toda a população, se refere aos dados da

frota do DENATRAN, aos dados de importação de pneus no AliceWeb, o percentual da quantidade de pneus são enviados a montadora, em relação a quantidade de pneus inseridos no mercado pelos Relatórios do CONAMA, que são geridos pelo IBAMA, e os dados referentes a quantidade de pneus inservíveis recebidos mensalmente na base de dados da empresa “X”, objeto deste estudo.

Todos os dados coletados delimitaram-se ao período de 01 de janeiro de 2011 e 30 de junho de 2015, de forma mensal, pois é o período disponíveis na base de dados da empresa “X”. No entanto, estes 54 meses coletados possibilitam a avaliação da série temporal dos dados por meio das características de estabilidade, sazonalidade e tendência, assegurando que os dados estejam confiáveis para análise do modelo e que representem de forma verídica a realidade desta cadeia de suprimentos de ciclo fechado.

Os dados utilizados para o dimensionamento da quantidade de pneus vendidos no mercado de reposição também foram delimitados, pois, devido à falta de disponibilidade dos dados, pelos fabricantes e pelas associações, da quantidade de pneus fabricados nacionalmente que são vendidos no mercado de reposição, para este dimensionamento foi considerado apenas os dados da quantidade de pneus novos importados por empresas com domicílio fiscal em Goiás e no Distrito Federal.

3.5 INSTRUMENTOS DE OBTENÇÃO DE EVIDÊNCIAS

De forma a garantir a correta coleta de dados para este trabalho, alguns instrumentos de dados propostos por Cauchic Miguel (2012) foram adotados como a entrevista semiestruturada e a análise de registro.

A entrevista semiestruturada apresentada no Apêndice A foi realizada com um *expert* da área de pneus que trabalhou por 17 anos em uma fábrica de pneus e já está há 13 anos em uma distribuidora de pneus. O objetivo da entrevista foi o de levantar informações referentes a estruturação da logística do pneu, mercado de reutilização dos resíduos dos pneus inservíveis, iniciativas estaduais de reaproveitamento dos resíduos e principais parceiros da cadeia de suprimentos de ciclo fechado do Estado de Goiás e Distrito Federal.

A análise de registro compreende a análise de relatórios e dados coletados do IBAMA, para avaliar o percentual de pneus que são enviados a montadora, do AliceWeb, avaliando a quantidade de pneus importados para o Estado de Goiás e Distrito Federal, do DENTRAN,

contemplando a frota de ambas localidades e análise das quantidades dos pneus retornados no banco de dados da empresa.

3.6 MODELO REFERENCIAL

A construção de um modelo matemático que permita estimar a quantidade de pneus inservíveis que retornam para serem destinados no Brasil se dá através da definição das variáveis independentes que influenciam neste modelo.

No sentindo de investigar as variáveis a serem adotadas neste trabalho, inicialmente foi realizado, durante a revisão da literatura, um levantamento das variáveis de entrada adotadas nas obras que avaliam a previsão do retorno, conforme pode ser observado pela Tabela 4.

Tabela 4 – Fatores adotados pelos trabalhos que realizaram a previsão de retorno

Autores	Ano	Fatores inseridos no modelo
TEMUR, G. T.; BALCILAR, M.; BOLAT, B.	2014	Densidade Populacional Nível Educacional Investimento por habitante no meio ambiente Lixo por habitante Valor de compra do produto inservível
KRAPP, M.; NEBEL, J.; SAHAMIE, R.	2013a	Vendas de produto no tempo *t* Probabilidade de retorno Quantidade de produto retornado
LIANG, X.; JIN, X.; NI, J.	2014	Vendas Expectativa de vida do produto Comportamento de retorno do produto
KRAPP, M.; NEBEL, J.; SAHAMIE, R.	2013b	Vendas de produto no tempo *t* Probabilidade de retorno
KKUMAR D. T.; SOLEIMANI H.; KANNAN G.	2014	Vendas de produto no tempo *t* Custo
AGRAWAL, S; SINGH, R.; MURTAZA, Q.	2014	Vendas de produto no tempo *t* Produtos que atingiram o fim da vida útil Produtos armazenados na loja Produtos reutilizados Produtos reciclados produtos encaminhado para aterro Probabilidade de retorno
CARRASCO-GALLEGO, R.; PONCE-CUETO, E.	2009	Entrada do produto no mercado no tempo *t* Probabilidade de retorno Quantidade de produto retornado

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Posteriormente, buscou-se avaliar os trabalhos que apresentavam o objetivo de determinar a quantidade e o tempo que os produtos irão retornar ao fluxo reverso, por meio de metodologias que realizam a previsão por análise estatística de correlação entre as variáveis de entrada e saída.

Dessa maneira, somente os trabalhos de Carrasco-Gallego e Ponce-Cueto (2009) e os de Krapp, Nebel e Sahamie (2013a, 2013b), que adotaram as técnicas de análise estatística de correlação entre as variáveis de entrada e saída, aplicando estimativas bayesiana e modelo de função de transferência, respectivamente.

Em relação as variáveis inseridas no modelo, ambos adotaram a variável “vendas de produto no período t / entrada de produto no mercado no tempo *t*” e “quantidade de produto retornado” e incorporou a análise de “probabilidade de retorno” do produto para o fluxo reverso.

Pela Tabela 4, verifica-se que a maioria dos trabalhos, mesmo adotando metodologias de resolução como GERT (AGRAWAL; SINGH; MURTAZA, 2014), Monte Carlo (LIANG; JIN; NI, 2014) e ANFIS (KUMAR; SOLEIMANI; KANNAN, 2014), também apresentaram a variável de entrada "vendas de produto no período t / entrada de produto no mercado no tempo *t"*, variável de saída "quantidade de produto retornado" seja pela quantidade, comportamento do retorno, custo do retorno e a avaliação da "probabilidade de retorno".

Apesar das variáveis socioeconômicas apresentadas na Tabela 4 pelo trabalho de Temur, Balcilar e Bolat (2014), que buscou avaliar o impacto dos aspectos socioeconômicos no retorno dos produtos pela lógica *fuzzy*, serem consideradas importantes para a determinação dos fatores que influenciam no retorno dos pneus, estes não foram utilizadas neste trabalho por não apresentarem dados dispostos de forma mensal.

Sendo assim, por este trabalho se propor a realizar uma previsão da quantidade e do tempo do retorno de pneus inservíveis da cadeia de suprimentos de ciclo fechado de pneus do Estado de Goiás e Distrito Federal, adotou-se as seguintes variáveis de entrada independentes:

1. Volume de vendas de pneus do mercado de reposição – Variável que é composta pela somatória da quantidade de pneus fabricados e importados, e deduzindo a quantidade de pneus exportados e enviados a montadora;

2. Volume de vendas de pneus por carros novos – Volume de pneus que entram no mercado pelos carros novos vendidos, caracterizado pelo aumento da frota;

E para a variável de saída foi adotado:

3. Volume de pneus retornados – Volume de pneus inservíveis que retornaram para serem triturados na empresa "X".

CAPÍTULO 4 - APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

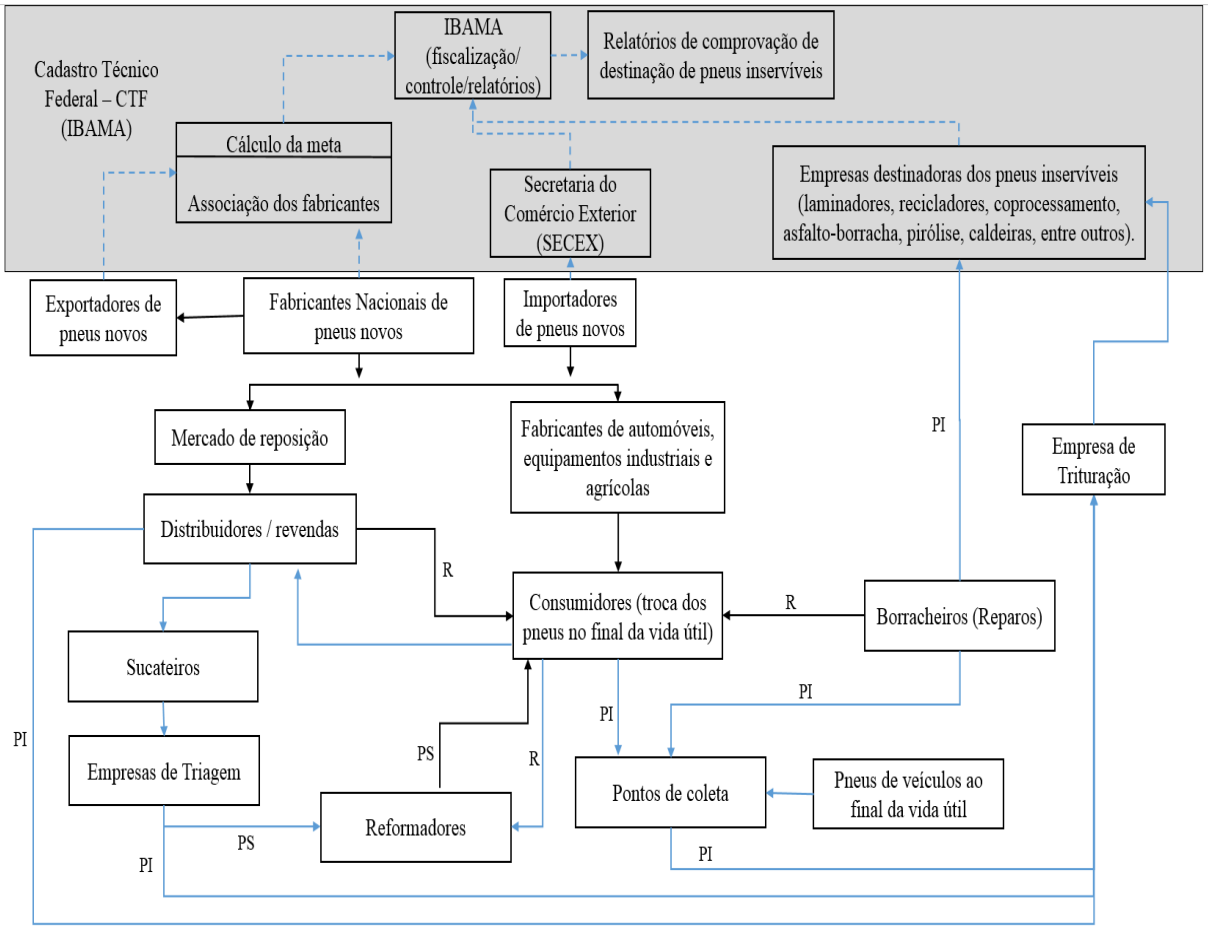
Este capítulo tem como objetivo apresentar os dados obtidos na investigação de campo, bem como a análise sobre a cadeia de suprimentos de ciclo fechado de pneus inservíveis, adotada como objeto de estudo no trabalho.

4.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

Para avaliação da estruturação da cadeia de suprimentos de ciclo fechado de pneus inservíveis do Estado de Goiás e do Distrito Federal, foi realizada uma visita técnica na empresa "X" e uma entrevista semiestruturada, realizada com um *expert* atuante em uma organização da área, a fim de conhecer a estruturação da logística de pneus, os procedimentos do fluxo reverso dos pneus inservíveis, os mercados de reutilização dos resíduos e os atores atuantes em organizações da rede.

A partir das informações levantadas foi possível elaborar a cadeia de suprimentos de ciclo fechado do Estado de Goiás e do Distrito Federal, como apresentado na Figura 14. A apreciação da Figura 14 permite verificar que a estrutura analisada neste trabalho se assemelha à forma do fluxo reverso apresentada na Figura 7.

Figura 14 – Cadeia de suprimentos de ciclo fechado de pneu do Estado de Goiás e Distrito Federal



Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Legenda:

Fluxo direto – ⟶;

Fluxo reverso – ⟶;

Reportagem – - - - - - ⟶ ;

R – Retorno dos pneus usados pelo consumidor;

PS – Pneus servíveis;

PI – Pneus inservíveis.

Como pode ser observado na Figura 14 os fluxos que saem do distribuidor, dos pontos de coleta e dos processos de seleção e triagem seguem diretamente para a trituração, sendo posteriormente encaminhados para a destinação, que, frequentemente, é o processo de coprocessamento.

Após a análise de documentos da legislação brasileira referentes à reciclagem de

pneus, visita técnica, realização de entrevista e análise de trabalhos correlatos na literatura, fica evidente a necessidade de se aplicar a previsão de retorno na empresa “X” para se obter dados mais confiáveis, permitindo um planejamento mais eficiente dos demais elos da rede de suprimentos, a partir dos dados de entrada de pneus no mercado.

Para atingir o objetivo desta pesquisa, com base na literatura apresentada na Tabela 4, decidiu-se adotar, para inserção no Modelo de Função de Transferência, as variáveis volume de entrada de pneus no mercado, quantidade de pneus retornados ao fluxo reverso e análise da probabilidade do retorno, considerando a disponibilidade de dados existente. Para tanto, foi considerado um período mensal para os dados coletados, para o horizonte de previsão de 2 anos e um nível de acurácia de 95%, para análise de viabilidade dos dados no Modelo de Função de Transferência.

4.2 COLETA E DOCUMENTAÇÃO DE DADOS

Para realizar a coleta de dados das variáveis adotadas no Modelo de Função de Transferência, inicialmente foi avaliada a variável de entrada do modelo, que é o volume de pneus que entram no mercado. Pela avaliação da cadeia de suprimentos de ciclo fechado, identificou-se que há duas formas de os pneus serem inseridos no mercado: pelas vendas de carros novos e pelo mercado de reposição de pneus.

Para coletar os dados referentes à venda de carros novos foi pesquisado no site do DENATRAN (DENATRAN, 2015) a frota total de veículos que utilizavam pneus para sua locomoção, do período de janeiro de 2011 a junho de 2015, no Estado de Goiás e no Distrito Federal, conforme apresentado no Apêndice B.

Este parâmetro de entrada pode ser considerado o mais importante, pois o aumento da frota representa o volume de carros novos que estão entrando no mercado e, por consequência, a entrada de pneus novos. Esta mesma variável irá influenciar o mercado de reposição quando os automóveis necessitarem de trocas de pneus.

Após a análise da variável de vendas de carros novos foi realizada a coleta dos dados referentes à segunda variável de entrada do modelo, a quantidade de pneus que são inseridos no mercado para reposição.

Para a determinação do mercado de reposição, foi adotado no trabalho a mesma

metodologia utilizada nos relatórios do CONAMA (IBAMA, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015), sintetizada pela Equação 1:

$$MR = (P + I) - (E + EO) \quad (1)$$

Em que:

MR – Mercado de reposição;

P – Total de pneus produzidos;

I – Total de pneus importados;

E – Total de pneus exportados;

EO – Total de pneus que equipam veículos novos.

Ao analisar o parâmetro P (volume total de pneus produzidos) da Equação 1, no relatório da produção de pneumáticos do Brasil da ANIP (2015a), pode-se observar a ausência de fábricas de pneus no Estado de Goiás e Distrito Federal. Dessa forma, esse parâmetro foi considerado nulo na Equação 1 para a determinação do mercado de reposição deste estudo.

Os dados referentes aos parâmetros *I* e *E* foram coletados no site AliceWeb (SECEX, 2015a) e apresentados no Apêndice C. Desenvolvido pela Secretaria de Comércio Exterior (Secex), do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior do Brasil, o AliceWeb têm o objetivo de modernizar as formas de acesso às informações e disseminar estatísticas brasileiras de exportações e importações.

Os termos de importação referentes as Unidades Federativas do Brasil, segundo o AliceWeb (SECEX, 2015b) "*... credita os valores para o estado (UF) do domicílio fiscal da empresa importadora, independentemente do ponto por onde a mercadoria entrou no território nacional (porto, aeroporto, rodovia, etc)*" e, para a exportação, "*... o critério para as exportações por UF apresentadas considera o estado PRODUTOR da mercadoria*".

Os dados coletados do AliceWeb foram referentes aos produtos da Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM) 4011 apresentado no Anexo A (SECEX, 2015c), que englobam todos os pneumáticos novos de borracha, coletados de forma mensal, no período de janeiro de 2011 a junho de 2015, no Estado de Goiás e no Distrito Federal.

O último parâmetro da Equação 1, referente ao total de pneus que equipam veículos novos, teve os dados solicitados junto ao IBAMA, por meio de um requerimento enviado ao E-sic (CONTROLADORIA GERAL DA UNIÃO, 2015), que é o sistema eletrônico do serviço de informação ao cidadão.

De acordo com as informações disponibilizadas pelo IBAMA, a quantidade de pneus enviados a montadoras localizadas no Distrito Federal foi considerada nula, em decorrência de não existir naquela localidade nenhuma montadora de veículos que utilizam pneus como meio de locomoção. O procedimento feito pelo IBAMA foi considerado nas análises feitas neste trabalho, isto é, foi tomada como nula a quantidade de pneus enviados a montadoras do Distrito Federal.

Em relação à quantidade de pneus enviados às montadoras em Goiás, como pode ser observado nos dados apresentados na Tabela 5, o IBAMA somente possui as informações trimestrais dos anos de 2011 a 2014. No entanto, para determinar a quantidade mensal de pneus enviados a montadora calculou-se o percentual da quantidade de pneus que são enviados às montadoras, a partir da quantidade de pneus que são inseridos no mercado informado pelo IBAMA.

Tabela 5 – Quantidade de pneus fabricados, importados e enviados a montadora do Estado de Goiás fornecido pelo IBAMA

Período	Quantidade Fabricada (kg)	Quantidade Importada (kg)	Quantidade Enviada a Montadora (kg)
2009			
4ºTrim.	0	195.075,10	84.665,00
2010			
1ºTrim.	0	293.458,92	145.380,00
2ºTrim.	0	687.120,36	246.022,00
3ºTrim.	0	837.165,19	0
4ºTrim.	0	10.501.918,99	892.720,00
2011			
1ºTrim.	0	1.431.101,33	462.058,00
2ºTrim.	0	1.192.659,22	226.600,00
3ºTrim.	0	1.446.604,28	226.600,00
4ºTrim.	0	1.350.381,41	0
2012			
1ºTrim.	0	1.526.728,31	623.917,60
2ºTrim.	0	809.111,19	160.062,00
3ºTrim.	0	979.127,43	414.290,80
4ºTrim.	0	1.044.624,50	448.136,00
2013			
1ºTrim.	0	1.541.835,97	645.340,20
2ºTrim.	0	1.575.733,39	96.810,00
3ºTrim.	0	1.710.798,54	588.680,00
4ºTrim.	0	1.928.306,95	85.182,65
2014			
1ºTrim.	0	745.275,88	0
2ºTrim.	0	1.094.581,91	0
3ºTrim.	0	766.362,60	14.072,42
4ºTrim.	0	318.833,46	0

Fonte: Controladoria Geral da União (2015)

Dessa forma, para estimar as quantidades mensais de pneus enviados às montadoras no Estado de Goiás, nos anos de 2011 a 2014, os quatro trimestres de cada ano foram somados e gerados os percentuais anuais de pneus enviados para montadoras, a partir dos dados de pneus importados, por representar a quantidade total de pneus inseridos no mercado, conforme resultados apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Percentual de pneus enviados às montadoras do Estado de Goiás, de 2011 a 2014

	Ano				Média
	2011	2012	2013	2014	
Produção (kg)	0	0	0	0	0
Importação (kg)	5.420.746,24	4.359.591,43	6.756.674,85	2.925.053,85	4.865.516,59
Total inserido no mercado (kg)	5.420.746,24	4.359.591,43	6.756.674,85	2.925.053,85	4.865.516,59
Pneus enviados a montadora (kg)	915.258,00	1.646.406,40	1.416.012,85	14.072,42	997.937,42
% Pneus enviados a montadora	16,9%	37,8%	21,0%	0,5%	19,0%

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

A partir da Tabela 6, em que se apresenta os dados para a obtenção dos percentuais anuais de pneus enviados às montadoras de Goiás, percebe-se que as quantidades de pneus importados e enviados de 2011 a 2013 apresentaram uma oscilação entre 4.359,59 toneladas e 6.756,67 e de 915,26 toneladas e 1.646,41 toneladas, respectivamente. No ano de 2014 ambas apresentaram uma queda em relação à média dos anos de 2011 a 2013, sendo de 46,94% na importação e de 98,94% no envio a montadoras.

As oscilações apresentadas nos anos de 2011 e 2013 e a queda presente no ano de 2014 foram refletidos diretamente no percentual de pneus enviados às montadoras, que apresenta estas mesmas características. Como pode ser observado na Tabela 6 o percentual decai de 37,8% em 2012 para 0,5% em 2014.

Ao avaliar os percentuais nacionais determinados a partir da coleta de dados na ANIP (2015a) e aplicar o mesmo procedimento de análise apresentado anteriormente, conforme dados da Tabela 6, elaborou-se uma segunda organização dos dados, conforme apresentado na Tabela 7. Nesta tabela, verifica-se que os percentuais anuais nacionais de 2011 a 2014 apresentam uma pequena queda de 20,7% em 2011 para 17,8% em 2014 e não somente no ano de 2014 como verificado no Estado de Goiás. No entanto, analisando os valores das médias, percebe-se que ambas ficaram próximas, sendo 19,0% para Goiás e 19,6% para média nacional, corroborando a adoção deste percentual.

Tabela 7 – Percentual de pneus enviados às montadoras brasileiras, de 2011 a 2014

	Ano				Média
	2011	2012	2013	2014	
Produção (milhões de unidades)	66,9	62,7	68,9	68,8	66,83
Importação (milhões de unidades)	44,2	41,8	44,9	35,1	41,50
Total inserido no mercado (milhões de unidades)	111,1	104,5	113,8	103,9	108,33
Pneus enviados a montadora (milhões de unidades)	23,0	21,2	22,5	18,5	21,30
% Pneus enviados a montadora	20,7%	20,3%	19,8%	17,8%	19,6%

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Dessa forma, para determinar a quantidade mensal de pneus enviados às montadoras, utilizou-se os percentuais anuais de pneus enviados às montadoras apresentados na Tabela 6 para multiplicar os valores mensais de importação do Estado de Goiás de seus respectivos anos coletados no AliceWeb (SECEX, 2015).

Por fim, para avaliar a variável de saída e que representa a última variável do modelo de previsão de retorno, foram coletados dados relacionados à quantidade de pneus retornados ao fluxo reverso do Estado de Goiás e do Distrito Federal

Durante a visita técnica à empresa “X” os dados referentes ao volume de pneus retornados foram coletados na base de dados desta organização e apresentados no Apêndice D. Estes dados foram selecionados de acordo com uma delimitação estabelecida na pesquisa, que considerou a quantidade de pneus retornados mensalmente, no período de janeiro de 2011 a junho de 2015, no Estado de Goiás e Distrito Federal, por consistir no período disponível na base de dados da empresa.

Inicialmente todos os dados coletados foram inseridos em uma base de dados, configurada em planilha eletrônica do *Excel*™ para possibilitar a análise dos *outliers*, conforme apresentado na Tabela 8. Para esta análise, assim como nas análises para construção do modelo de previsão, foram adotados somente os dados referentes aos anos de 2011 a 2014, visto que os dados de 2015 foram utilizados para realizar a validação do modelo.

Tabela 8 – Dados coletados do mercado de reposição, frota e volume de retorno

Ano e Mês	Mercado de Reposição GO (ton)	Mercado de Reposição DF (ton)	Frota GO (un)	Frota DF (un)	Volume de Pneus Inservíveis Retornados (ton)
2011					
Janeiro.....	545,53	425,93	2.444.252	1.253.876	310,99
Fevereiro.....	527,61	359,37	2.462.848	1.262.270	228,70
Março.....	288,91	348,88	2.484.329	1.270.644	455,25
Abril.....	512,11	585,06	2.505.274	1.277.445	73,59
Maio.....	609,79	440,41	2.528.471	1.286.284	37,60
Junho.....	521,14	326,62	2.550.234	1.294.225	599,95
Julho.....	387,62	467,74	2.572.961	1.300.140	173,28
Agosto.....	816,27	344,03	2.596.122	1.308.463	167,28
Setembro.....	622,26	588,84	2.617.156	1.314.374	380,51
Outubro.....	337,16	210,08	2.634.623	1.321.552	1.026,20
Novembro.....	613,19	360,21	2.655.445	1.326.072	187,37
Dezembro.....	816,55	148,80	2.679.948	1.331.933	459,14
2012					
Janeiro.....	363,64	204,09	2.696.978	1.339.646	489,85
Fevereiro.....	260,23	352,50	2.715.151	1.346.861	280,76
Março.....	380,82	207,34	2.735.343	1.355.142	466,72
Abril.....	235,41	279,75	2.752.193	1.361.070	619,67
Maio.....	209,40	317,11	2.772.023	1.366.976	477,26
Junho.....	188,99	255,97	2.793.147	1.375.824	585,44
Julho.....	141,71	244,04	2.815.749	1.385.229	633,80
Agosto.....	436,96	225,43	2.840.855	1.396.371	393,32
Setembro.....	172,25	284,62	2.860.178	1.400.465	187,75
Outubro.....	270,05	188,84	2.882.143	1.407.412	488,52
Novembro.....	333,76	299,63	2.902.892	1.413.413	569,19
Dezembro.....	170,38	373,84	2.929.508	1.420.971	223,57
2013					
Janeiro.....	622,32	228,78	2.947.476	1.430.782	923,97
Fevereiro.....	207,36	178,11	2.963.483	1.437.090	839,63
Março.....	326,83	275,76	2.982.330	1.445.036	990,56
Abril.....	388,94	489,36	3.002.793	1.452.843	790,18
Maio.....	485,27	501,96	3.022.501	1.460.099	1.046,59
Junho.....	329,70	445,72	3.044.011	1.466.202	1.145,97
Julho.....	626,94	372,65	3.065.430	1.475.047	1.176,55
Agosto.....	427,32	430,79	3.087.309	1.481.998	1.178,42
Setembro.....	315,23	250,46	3.106.782	1.488.933	876,01
Outubro.....	481,87	397,06	3.125.333	1.497.075	16,07
Novembro.....	349,13	198,74	3.145.903	1.502.751	901,59
Dezembro.....	257,24	356,93	3.169.088	1.511.110	970,00
2014					
Janeiro.....	405,04	398,41	3.187.304	1.521.081	1.539,70
Fevereiro.....	297,05	236,69	3.205.901	1.527.912	1.557,83
Março.....	240,94	213,59	3.223.125	1.532.583	1.540,17
Abril.....	408,53	376,28	3.241.096	1.540.236	1.105,39
Maio.....	276,38	164,71	3.259.359	1.545.990	707,73
Junho.....	175,01	529,16	3.276.399	1.550.368	403,51
Julho.....	217,87	454,86	3.295.425	1.556.499	1.419,68
Agosto.....	365,16	300,18	3.312.836	1.560.780	1.740,92
Setembro.....	255,10	304,43	3.332.523	1.566.814	1.579,92
Outubro.....	156,59	334,59	3.349.275	1.573.503	1.172,78
Novembro.....	154,79	217,71	3.367.896	1.577.813	1.982,67
Dezembro.....	163,50	254,68	3.386.702	1.586.169	1.638,96

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

A análise de *outliers* foi realizada com o auxílio do *software* JMP *Statistical Discovery*™, analisando anualmente cada uma das variáveis, através da construção de *Outlier Box Plot*, que permitem identificar possíveis valores espúrios.

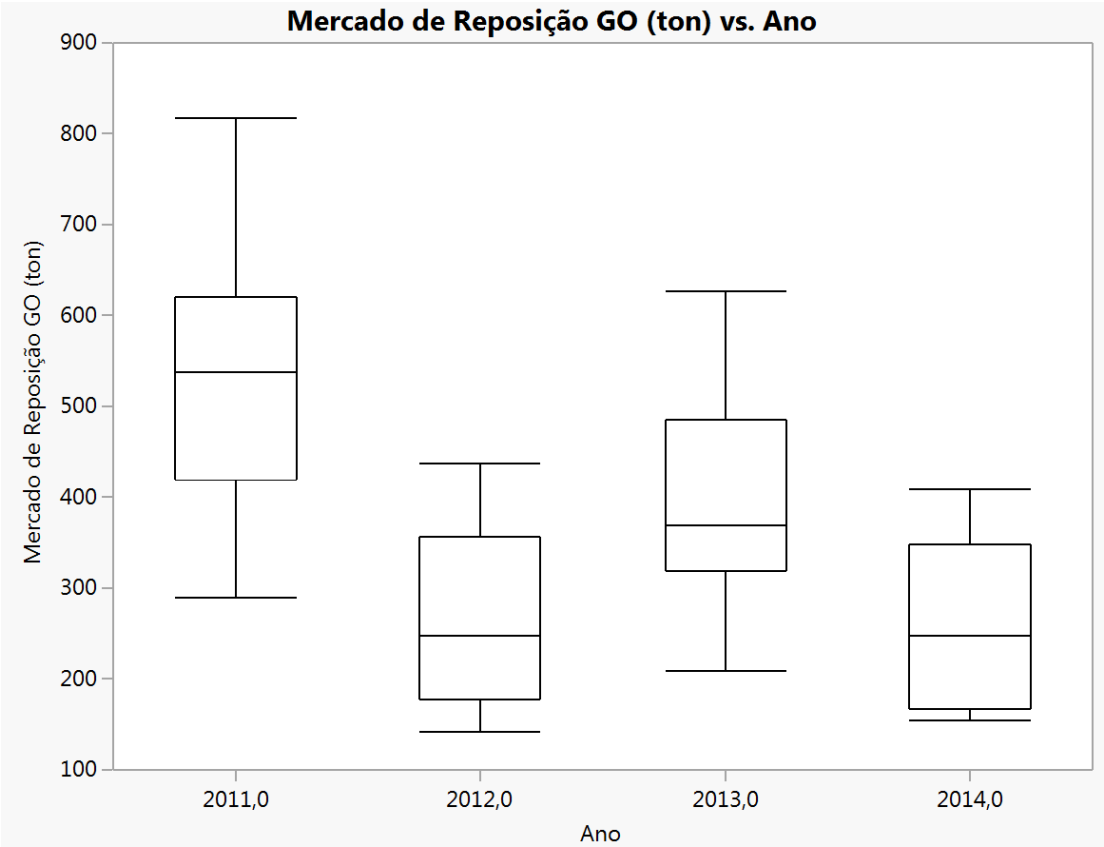
Os *Outlier Box Plot* das variáveis da Tabela 8 são apresentados nas Figuras 15, 16, 17, 18 e 19, em que os valores espúrios são simbolizados pelos pontos na cor vermelha, e por suas respectivas Tabelas 9, 10, 11, 12 e 13, nas quais apresentam o 1º e 3ºquartil, e os limites superiores e inferiores dos dados obtidos pelas Equações 25 e 26.

$$LI = 1º\ quartil\ -\ 1.5 * (3º\ quartil - 1º\ quartil) \tag{25}$$

$$LS = 3º\ quartil +\ 1.5 * (3º\ quartil - 1º\ quartil) \tag{326}$$

A diferença entre o quartil superior (3ºquartil) e quartil inferior (1º quartil), também conhecido como intervalo interquartil foi a nomenclatura adotada neste trabalho.

Figura 15 – *Outlier Box Plot* do Mercado de Reposição do Estado de Goiás de 2011 a 2014



Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Tabela 9 – Limites e quartis do mercado de reposição do Estado de Goiás, nos anos de 2011 a 2014

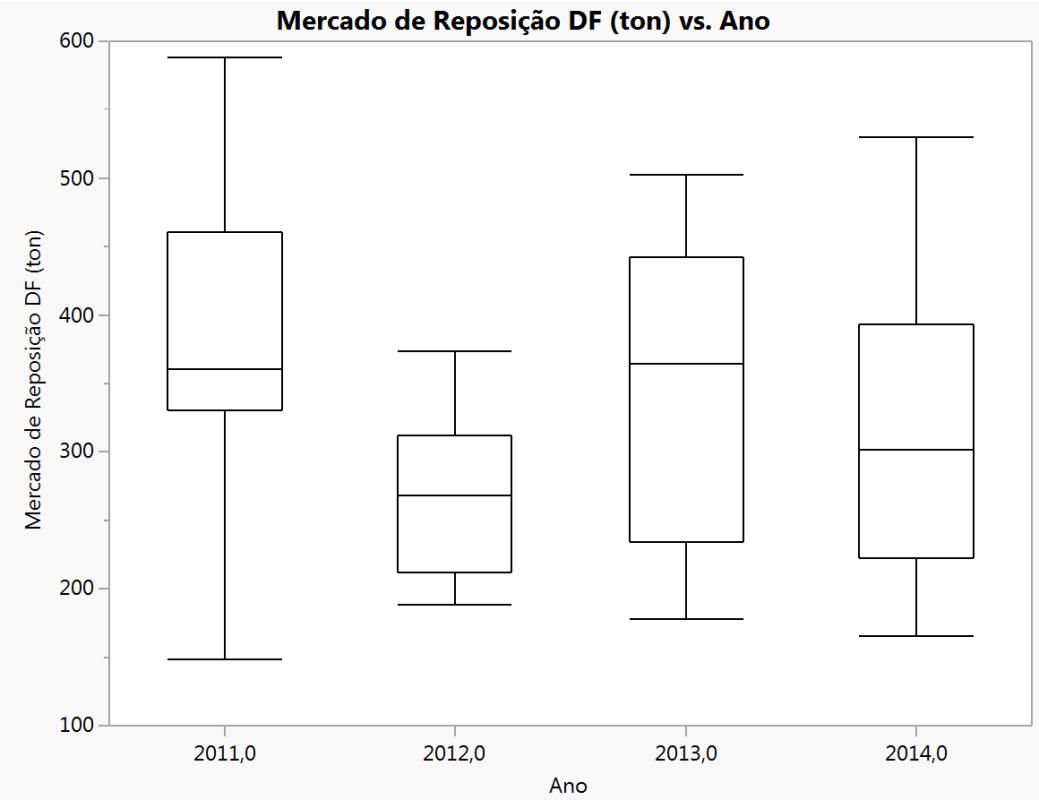
	ANO			
	2011	**2012**	**2013**	**2014**
Limite Superior	921,87	625,77	733,86	620,77
75.0%	619,99	356,17	484,42	348,13
50.0%	536,57	247,82	369,04	248,02
25.0%	418,74	176,44	318,13	166,38
Limite Inferior	116,87	-93,17	68,70	-106,25
Intervalo Interquartil	201,25	179,74	166,29	181,76

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Conforme pode ser observado na Figura 15, a série temporal do mercado de reposição do Estado de Goiás não apresenta nenhum *outlier*, pois seus valores permanecem dentro dos limites superiores e inferiores apresentados na Tabela 9, que foram determinados pelas Equações 24 e 25. As demais informações referentes aos quartis, mediana e intervalo interquartil foram determinadas pelo software JMP *Statistical Discovery*™.

Ao analisar os dados do mercado de reposição do Distrito Federal pelo *Outlier Box Plot* da Figura 16 e pelos limites superiores e inferiores pela Tabela 10, nota-se que nenhum valor foi considerado como *outlier* e que todos permaneceram distantes dos limites. Observou-se que esta série temporal foi a que os dados mais se aproximaram dos limites superior e inferior, apresentando uma maior amplitude dos dados, ao considerar o ano de 2011, apesar de apresentar um intervalo interquartil de 129,94 em comparação com o ano de 2013, que apresentou o intervalo interquartil de 207,79.

Figura 16 – *Outlier Box Plot* do Mercado de Reposição do Distrito Federal de 2011 a 2014



Fonte: Elaborada pela autora (2015)

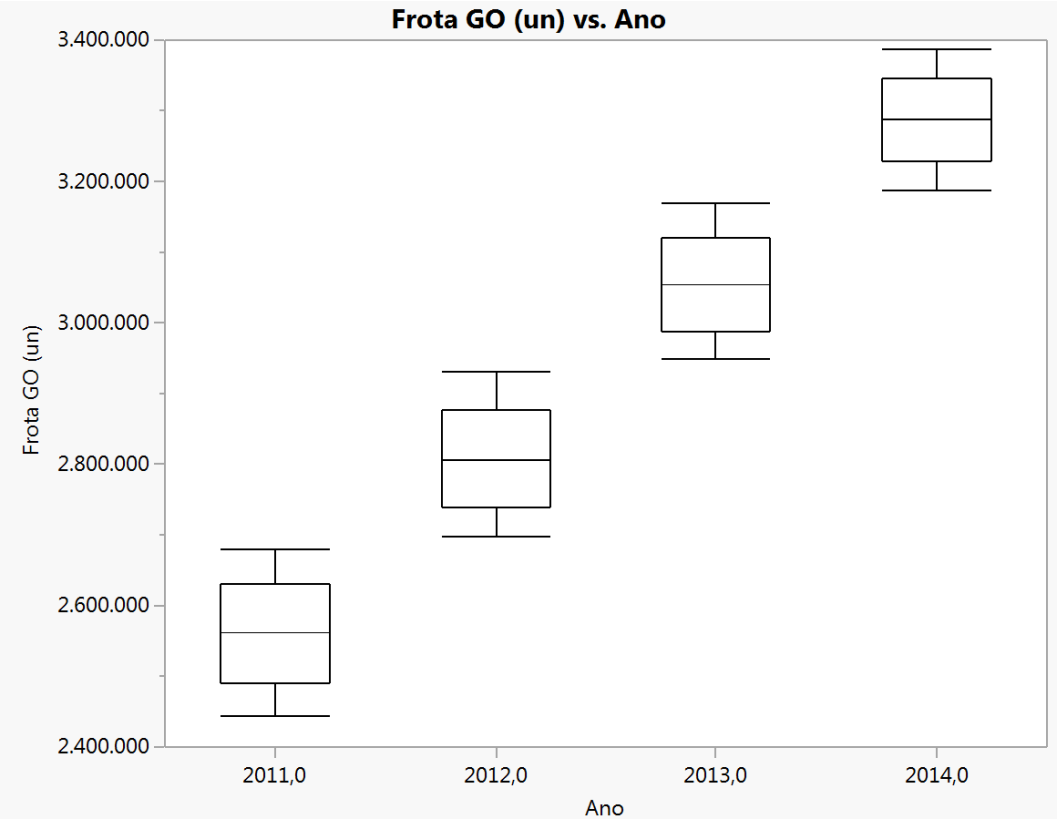
Tabela 10 – Limites e quartis do mercado de reposição do Distrito Federal dos anos de 2011 a 2014

	ANO			
	2011	**2012**	**2013**	**2014**
Limite Superior	655,81	464,06	753,67	648,51
75.0%	460,91	312,74	441,99	392,88
50.0%	359,79	267,86	364,79	302,31
25.0%	330,97	211,86	234,20	222,46
Limite Inferior	136,07	60,55	-77,48	-33,18
Intervalo Interquartil	129,94	100,88	207,79	170,42

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Em relação aos dados da série temporal da frota do Estado de Goiás pela Figura 17, esta também não apresentou nenhum *outlier*. Ao contrário das séries do mercado de reposição de Goiás e do Distrito Federal, foram observadas séries anuais homogeneamente distribuídas, inclusive quando se realizou comparações entre os anos, pois, foram detectados valores do intervalo interquartil próximos pela Tabela 11, variando de 117.469 unidades em 2014 a 140.691 unidades em 2011.

Figura 17 – *Outlier Box Plot* da Frota do Estado de Goiás de 2011 a 2014



Fonte: Elaborada pela autora (2015)

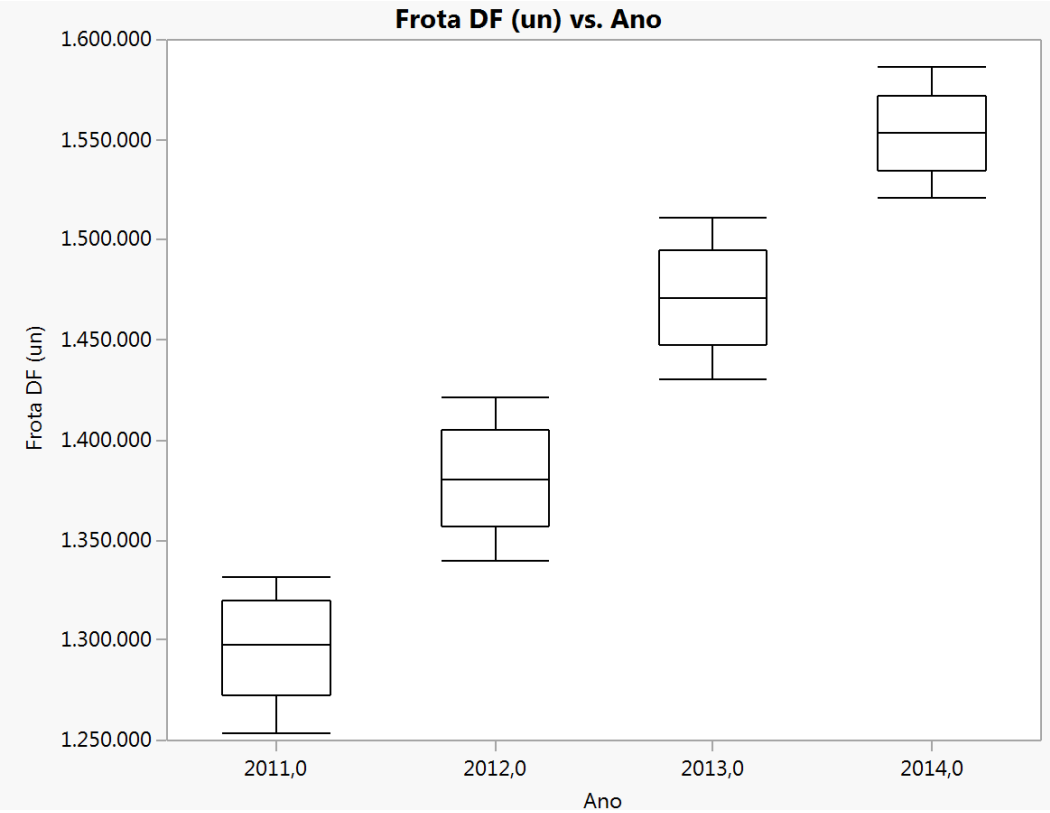
Tabela 11 – Limites e quartis da frota do Estado de Goiás dos anos de 2011 a 2014

	ANO			
	2011	**2012**	**2013**	**2014**
Limite Superior	2.841.293	3.082.296	3.320.569	3.521.291
75.0%	2.630.256	2.876.652	3.120.695	3.345.087
50.0%	2.561.598	2.804.448	3.054.721	3.285.912
25.0%	2.489.565	2.739.556	2.987.446	3.227.618
Limite Inferior	2.278.529	2.533.912	2.787.572	3.051.414
Intervalo Interquartil	140.691	137.096	133.250	117.469

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Ao analisar o *Outlier Box Plot* da frota do Distrito Federal na Figura 18, percebeu-se que esta série temporal também não apresentou *outlier* e apresentou características parecidas com a série temporal da frota de Goiás. Pela Tabela 12, que mostra os limites superiores que vão de 1.390.878 unidades a 1.627.833 unidades e limite inferior de 1.201.224 unidades até 1.478.494 unidades, constata-se que os intervalos interquartis se mostraram bem próximos entre os anos de 2011 a 2013, com uma média de 48.172 unidades, porém com uma redução para 37.335 unidades em 2014.

Figura 18 – *Outlier Box Plot* da Frota do Distrito Federal de 2011 a 2014



Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Tabela 12 – Limites e quartis da frota do Distrito Federal dos anos de 2011 a 2014

	ANO			
	2011	**2012**	**2013**	**2014**
Limite Superior	1.390.878	1.479.252	1.567.118	1.627.833
75.0%	1.319.758	1.405.675	1.495.040	1.571.831
50.0%	1.297.183	1.380.527	1.470.625	1.553.434
25.0%	1.272.344	1.356.624	1.446.988	1.534.496
Limite Inferior	1.201.224	1.283.047	1.374.910	1.478.494
Intervalo Interquartil	47.413	49.051	48.052	37.335

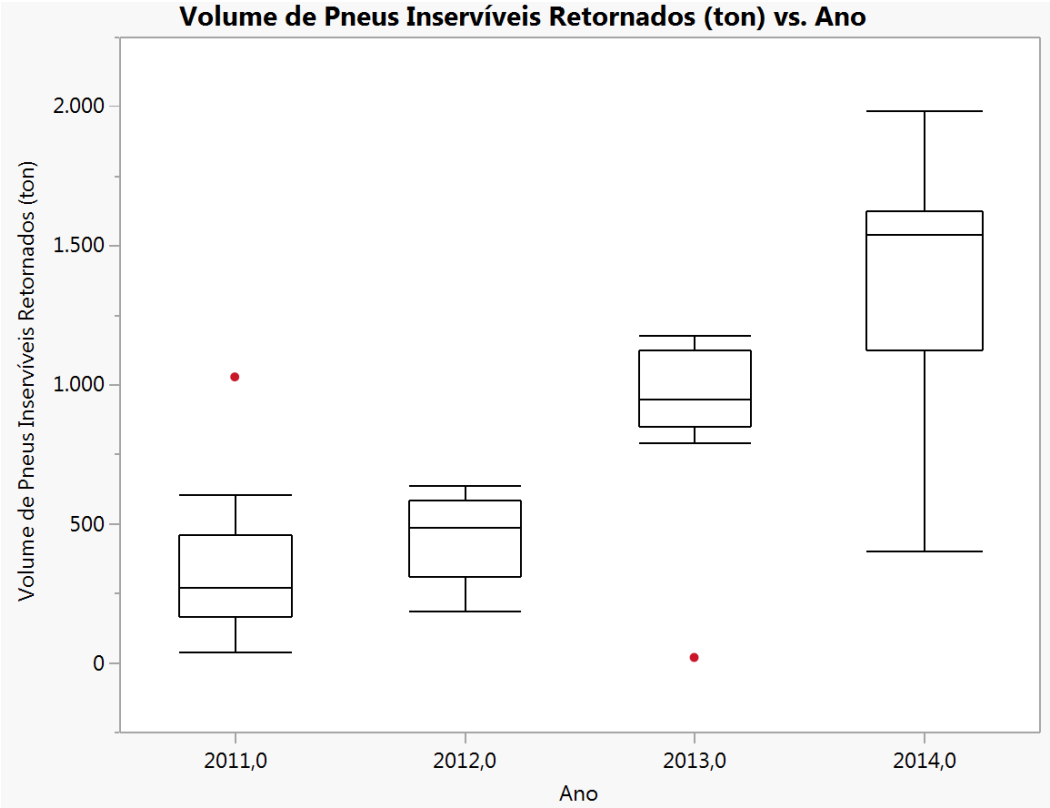
Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Por fim, ao analisar variável referente ao volume de pneus inservíveis retornados para serem destinados, as séries apresentaram dois *outliers*, sendo um no ano de 2011 e um no ano de 2013, como se percebe pelo dois pontos nos *Outlier Box Plot* da Figura 19.

Estes pontos foram considerados *outliers*, pois no ano de 2011 o limite superior, apresentado na Tabela 13, foi de 892,25 toneladas e o valor da quantidade de retorno do *outlier* foi de 1.026,20 toneladas no mês de outubro. Em relação ao *outlier* do ano de 2013 o limite

inferior foi de 440,13 toneladas, enquanto o retorno também do mês de outubro foi de apenas 16,07 toneladas, ficando bem abaixo do limite inferior deste ano.

Figura 19 – *Outlier Box Plot* do Volume Retornado da empresa "X" de 2011 a 2014



Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Tabela 13 – Limites e quartis da frota do Distrito Federal dos anos de 2011 a 2014

	ANO			
	2011	**2012**	**2013**	**2014**
Limite Superior	892,25	990,09	1529,73	2377,14
75.0%	458,17	581,38	1121,13	1624,20
50.0%	269,85	482,89	946,99	1539,94
25.0%	168,78	308,90	848,73	1122,24
Limite Inferior	-265,30	-99,82	440,13	369,30
Intervalo Interquartil	289,39	272,48	272,40	501,96

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Em relação aos *outliers* encontrados nos dados da empresa "X", buscou-se avaliar junto a empresa as causas desses desvios. Foi possível identificar que o *outlier* acima do limite superior, de outubro de 2011, ocorreu devido a uma campanha organizada pelas prefeituras pela conscientização da população da importância da destinação ambientalmente correta dos pneus

inservíveis, o que refletiu em um aumento de pneus retornados.

O *outlier* referente ao ano de 2013 ocorreu devido a um problema técnico com o equipamento que realiza a trituração. Devido à impossibilidade de armazenamento de grandes quantidades de pneus inservíveis e pelo tempo necessário para resolver o problema técnico, a empresa "X" coletou uma pequena quantidade de pneus inservíveis nos pontos de coleta no mês de outubro de 2013.

Após a análise dos *outliers*, estes foram substituídos pela média de seus respectivos períodos anuais, e uma nova tabela de dados foi estruturada como pode ser observado pela Tabela 14, que servirá de base para as análises posteriores, em relação às características das séries temporais e para análise de previsão do retorno pelo Modelo de Função de Transferência.

Tabela 14 – Dados do mercado de reposição, frota e volume de retorno, sem *outliers*

Ano e Mês	Mercado de Reposição GO (ton)	Mercado de Reposição DF (ton)	Frota GO (un)	Frota DF (un)	Volume de Pneus Inservíveis Retornados (ton)
2011					
Janeiro.....	545,53	425,93	2.444.252	1.253.876	310,99
Fevereiro.....	527,61	359,37	2.462.848	1.262.270	228,70
Março.....	288,91	348,88	2.484.329	1.270.644	455,25
Abril.....	512,11	585,06	2.505.274	1.277.445	73,59
Maio.....	609,79	440,41	2.528.471	1.286.284	37,60
Junho.....	521,14	326,62	2.550.234	1.294.225	599,95
Julho.....	387,62	467,74	2.572.961	1.300.140	173,28
Agosto.....	816,27	344,03	2.596.122	1.308.463	167,28
Setembro.....	622,26	588,84	2.617.156	1.314.374	380,51
Outubro.....	337,16	210,08	2.634.623	1.321.552	279,42
Novembro.....	613,19	360,21	2.655.445	1.326.072	187,37
Dezembro.....	816,55	148,80	2.679.948	1.331.933	459,14
2012					
Janeiro.....	363,64	204,09	2.696.978	1.339.646	489,85
Fevereiro.....	260,23	352,50	2.715.151	1.346.861	280,76
Março.....	380,82	207,34	2.735.343	1.355.142	466,72
Abril.....	235,41	279,75	2.752.193	1.361.070	619,67
Maio.....	209,40	317,11	2.772.023	1.366.976	477,26
Junho.....	188,99	255,97	2.793.147	1.375.824	585,44
Julho.....	141,71	244,04	2.815.749	1.385.229	633,80
Agosto.....	436,96	225,43	2.840.855	1.396.371	393,32
Setembro.....	172,25	284,62	2.860.178	1.400.465	187,75
Outubro.....	270,05	188,84	2.882.143	1.407.412	488,52
Novembro.....	333,76	299,63	2.902.892	1.413.413	569,19
Dezembro.....	170,38	373,84	2.929.508	1.420.971	223,57
2013					
Janeiro.....	622,32	228,78	2.947.476	1.430.782	923,97
Fevereiro.....	207,36	178,11	2.963.483	1.437.090	839,63
Março.....	326,83	275,76	2.982.330	1.445.036	990,56
Abril.....	388,94	489,36	3.002.793	1.452.843	790,18
Maio.....	485,27	501,96	3.022.501	1.460.099	1.046,59
Junho.....	329,70	445,72	3.044.011	1.466.202	1.145,97
Julho.....	626,94	372,65	3.065.430	1.475.047	1.176,55
Agosto.....	427,32	430,79	3.087.309	1.481.998	1.178,42
Setembro.....	315,23	250,46	3.106.782	1.488.933	876,01
Outubro.....	481,87	397,06	3.125.333	1.497.075	985,41
Novembro.....	349,13	198,74	3.145.903	1.502.751	901,59
Dezembro.....	257,24	356,93	3.169.088	1.511.110	970,00
2014					
Janeiro.....	405,04	398,41	3.187.304	1.521.081	1.539,70
Fevereiro.....	297,05	236,69	3.205.901	1.527.912	1.557,83
Março.....	240,94	213,59	3.223.125	1.532.583	1.540,17
Abril.....	408,53	376,28	3.241.096	1.540.236	1.105,39
Maio.....	276,38	164,71	3.259.359	1.545.990	707,73
Junho.....	175,01	529,16	3.276.399	1.550.368	403,51
Julho.....	217,87	454,86	3.295.425	1.556.499	1.419,68
Agosto.....	365,16	300,18	3.312.836	1.560.780	1.740,92
Setembro.....	255,10	304,43	3.332.523	1.566.814	1.579,92
Outubro.....	156,59	334,59	3.349.275	1.573.503	1.172,78
Novembro.....	154,79	217,71	3.367.896	1.577.813	1.982,67
Dezembro.....	163,50	254,68	3.386.702	1.586.169	1.638,96

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

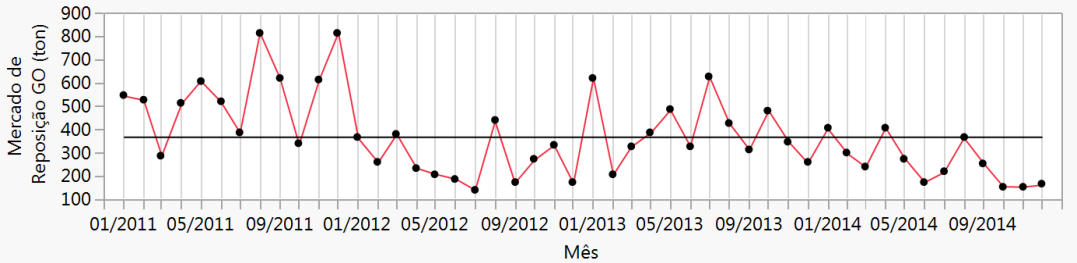
4.3 ANÁLISE DOS DADOS COLETADOS

Com base nos dados das variáveis apresentadas na Tabela 14, foi possível avaliá-los por meio de análise gráfica. Foram construídos gráficos de séries temporais, para apreciar a tendência e sazonalidade e gráficos da função de autocorrelação e do variograma, para avaliar se as séries eram estacionárias, além de análises numéricas, mediante determinação da média e desvio padrão dos dados.

A primeira variável submetida à análise gráfica e numérica foi o mercado de reposição do Estado de Goiás. Para realizar estas análises foi utilizado o software JMP *Statistical Discovery*™, assim como para as demais variáveis.

Ao avaliar a série temporal do mercado de reposição apresentado na Figura 20, pode ser constatado que a série, que compreende os anos de 2011 a 2014, não apresenta tendência e sazonalidade e contêm uma média de 368,66 toneladas, representada pela linha paralela ao eixo das abscissas e desvio padrão de 168,83.

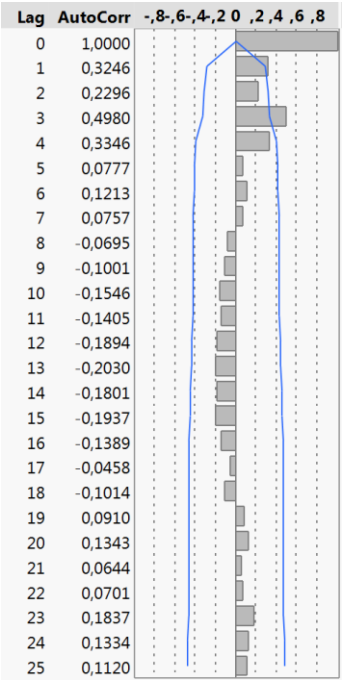
Figura 20 – Série Temporal do Mercado de reposição do Estado de Goiás



Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Para verificar a estacionariedade da série, os dados foram analisados pela função de autocorrelação e pelo variograma, conforme exposto nas Figuras 21 e 22. Como pode ser observado pela função de autocorrelação, os dados apresentaram um decaimento rápido para o zero, demorando apenas 8 *lags*, e após os 8 *lags* permaneceram com uma pequena variação em torno do zero, variando de -0,1937 a 0,1837, o que representa a estacionariedade da série.

Figura 21 – Análise da estacionariedade pela função de autocorrelação do Mercado de reposição do Estado de Goiás

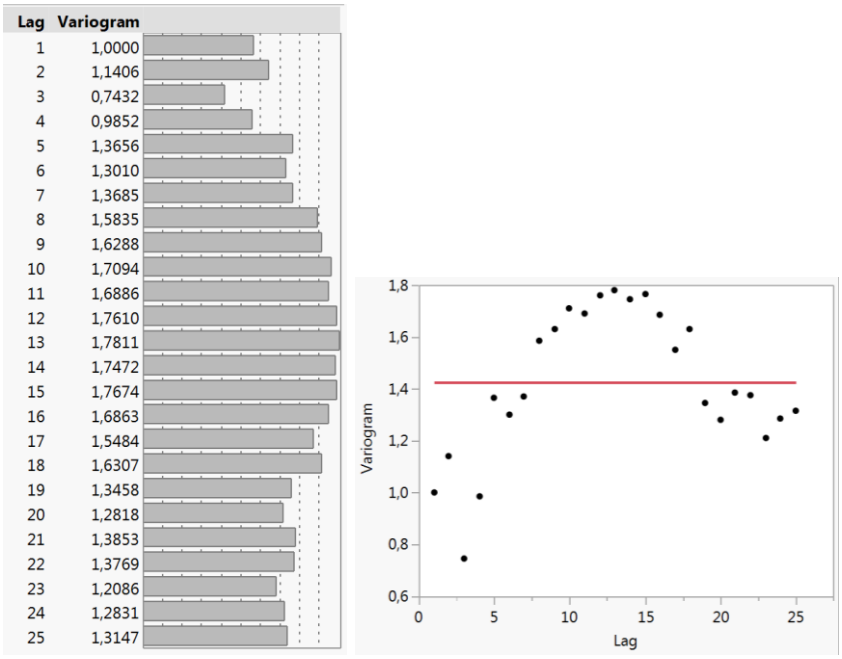


Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Para corroborar tal afirmação da estacionariedade da série, o variograma do mercado de reposição do Estado de Goiás e o gráfico de dispersão do variograma foram elaborados e apresentados nas Figuras 22a e 22b respectivamente.

Pelo variograma na Figura 22a e pelo gráfico de dispersão na figura 22b, percebe-se que a série pode ser considerada estacionária, pois, no variograma os dados variavam pouco, permanecendo entre 0,7432 e 1,7811, e no gráfico de dispersão os pontos apresentaram uma pequena tendência de crescimento, mas que após o quinto *lag*, os dados passaram a apresentar uma oscilação em torno da média 1,4253, representada pela linha paralela ao eixo das abscissas.

Figura 22 – Análise da estacionariedade pelo variograma do Mercado de reposição do Estado de Goiás



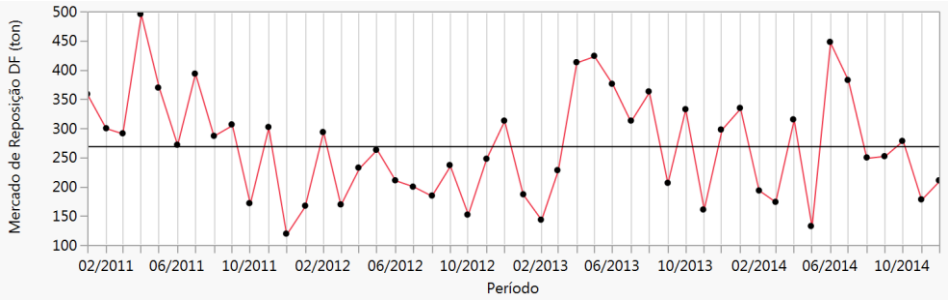
(a) Variograma (b) Dispersão do variograma

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Em relação ao mercado de reposição do Distrito Federal, segunda variável da Tabela 14, percebe-se pelo gráfico da série temporal apresentado na Figura 23, e pelos gráficos da função de autocorrelação, variograma e gráfico de dispersão do variograma nas Figura 24a, 24b e 24c, respectivamente, que está série apresenta características parecidas com o mercado de reposição do Estado de Goiás.

Pela Figura 23 pode ser constatado que a série temporal do mercado de reposição do Distrito Federal não apresenta tendência e nem sazonalidade, e ao realizar a análise numérica apresentou uma média de 328,14 toneladas e desvio padrão de 110,06 ton.

Figura 23 – Série Temporal do Mercado de reposição do Distrito Federal

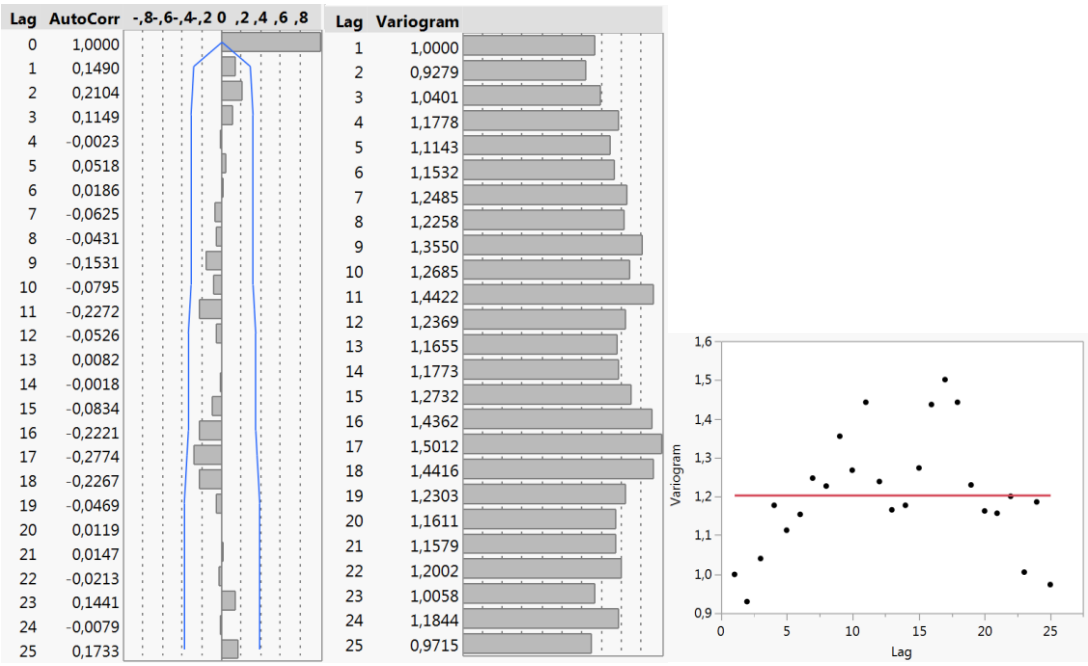


Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Ao avaliar a estacionariedade da série, pelas Figuras 24a, 24b e 24c, pode ser observado que esta série é considerada estacionária, pois pela função de autocorrelação na Figura 24a a série decaiu de forma rápida, atingindo valores abaixo de zero já no quarto *lag*, e posteriormente oscilou em torno do zero, apresentando os valores máximos de 0,2104 e mínimos de -0,2774.

Pelo variograma (Figura 24b), a estacionariedade também fica comprovada pelos dados variarem apenas de 0,9279 a 1,5012 e pelo gráfico de dispersão do variograma (Figura 24c), por ficar evidente a oscilação dos dados em torno da média de 1,2038.

Figura 24 – Análise da estacionariedade do Mercado de reposição do Distrito Federal



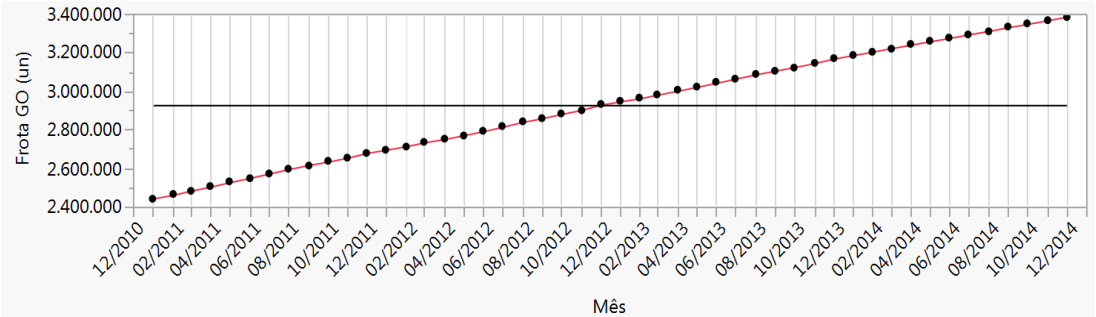
(a) Função de autocorrelação (b) Variograma (c) Dispersão do variograma

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Já na análise dos dados referentes a Frota do Estado de Goiás, os resultados não apresentaram as mesmas características do mercado de reposição.

Pela série temporal da frota do Estado de Goiás, apresentada pela Figura 25, pode ser observado que apesar de não existir sazonalidade, há uma clara tendência de crescimento da série, tornando-a não estacionária. A média da série, pela análise numérica, apresentou um valor de 2.927.688,80 unidades e desvio padrão de 279.953,38, o que não representa uma média invariável para a série, se analisado ano a ano.

Figura 25 – Série Temporal da Frota do Estado de Goiás



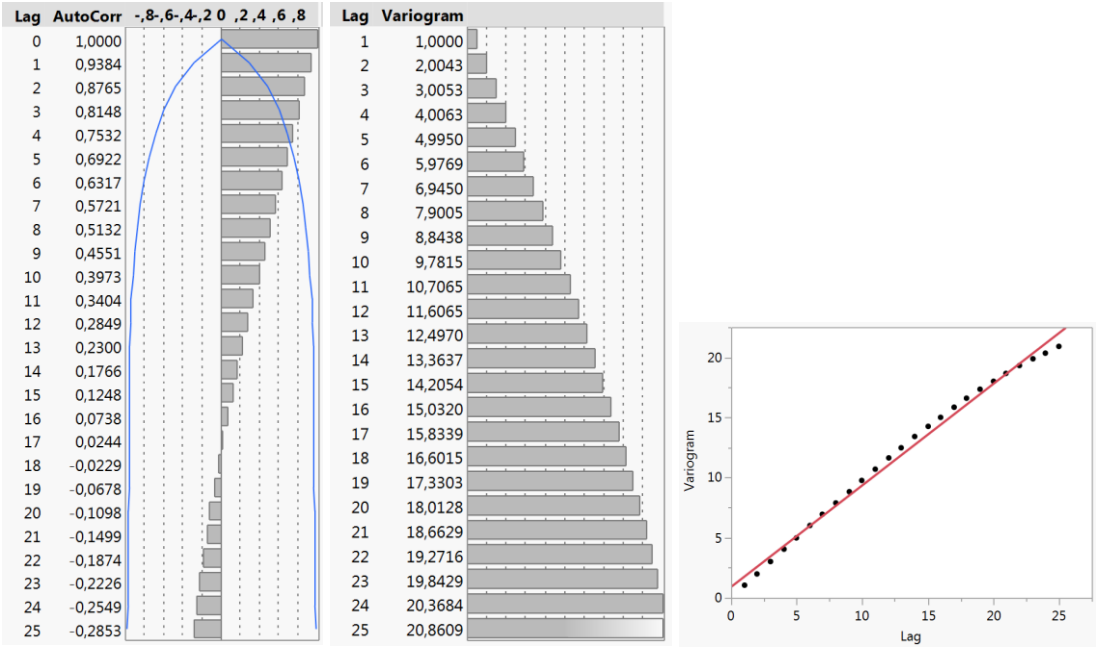
Fonte: Elaborada pela autora (2015)

A não estacionariedade da série também pôde ser comprovada pela função de autocorrelação, pelo variograma e gráfico de dispersão do variograma apresentados nas Figuras 26a, 26b e 26c.

Ao contrário do comportamento das funções de autocorrelação do mercado de reposição, tanto do Estado de Goiás quanto do Distrito Federal, apresentadas nas Figuras 21 e 24, a função de autocorrelação da frota do Estado de Goiás observado na Figura 26a demorou 18 *lags* para convergir ao zero e os dados dos *lags* 19 ao 25 não oscilaram em torno do zero e continuaram crescendo para o lado negativo.

Em relação ao variograma da frota de Goiás e do gráfico de dispersão do variograma, estes também apresentaram comportamento diferente dos mercados de reposição. Conforme os resultados presentados na Figura 26b do variograma, os dados mostraram um comportamento crescente do *lag* 1 com o valor de 1,0000 para o *lag* 25 com o valor de 20,8690 e o gráfico de dispersão, exibido na Figura 26c, com uma tendência de crescimento linear, que conforme análises obtidas no *software* JMP *Statistical Discovery*™ pode ser escrita como Variogram = 0,9664055 + 0,8445989*Lag, não oscilando em torno de uma média.

Figura 26 – Análise da estacionariedade da Frota do Estado de Goiás

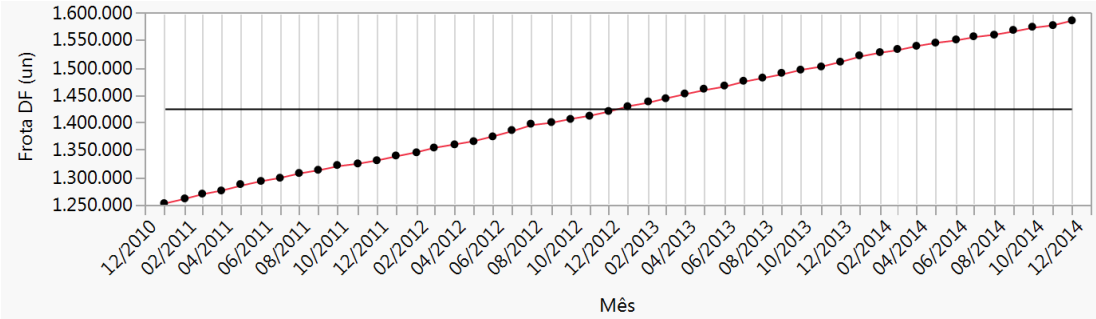


(a) Função de autocorrelação (b) Variograma (c) Dispersão do variograma

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

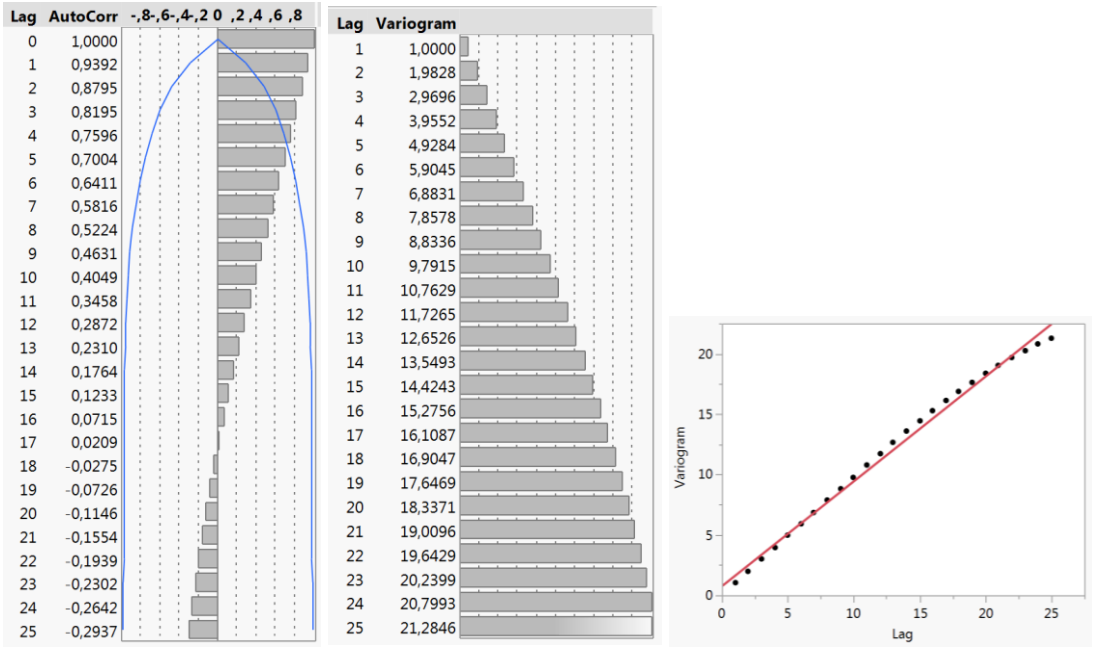
Após a análise da série da frota de Goiás, foi avaliada a quarta variável, que é a frota do Distrito Federal. A partir das Figuras 27 e 28, que representam a série graficamente, foi possível observar que os dados da frota do Distrito Federal apresentaram características semelhantes de tendência de crescimento positivo, com a média de 1.425.111,90 unidades e desvio padrão de 99.467,81 e não estacionariedade da série.

Figura 27 – Série Temporal da Frota do Distrito Federal



Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Figura 28 – Análise da estacionariedade da Frota do Distrito Federal



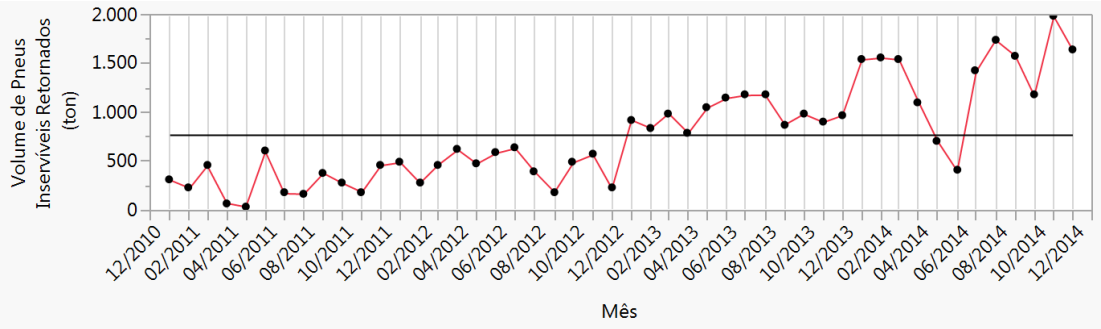
(a) Função de autocorrelação (b) Variograma (c) Dispersão do variograma

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Pelas Figuras 28a, 28b e 28c fica comprovado que os dados referentes à frota do Distrito Federal não são estacionários, pois na função de autocorrelação, expressa na Figura 28a, a série só convergiu ao zero após 18 *lags*, mas não oscilando posteriormente em torno do zero. Na Figura 28b o variograma também não apresentou uma pequena variação, mas um crescimento, indo do 1,0000 no *lag* 1 ao 21,2846 no *lag* 25 e na Figura 28c apresentou uma tendência de crescimento linear, de acordo com a função Variogram = 0,8140202 + 0,8680638**Lag*, segundo os resultados obtidos no *software* JMP.

A última variável, que é o volume de pneus inservíveis retornados para a empresa “X”, inicialmente se mostrou uma série sem tendência do período de janeiro de 2011 a abril de 2013 pela Figura 29. No entanto, a partir de maio de 2013 mostrou uma tendência de crescimento, apresentando uma média de 770,48 toneladas e desvio padrão de 497,46.

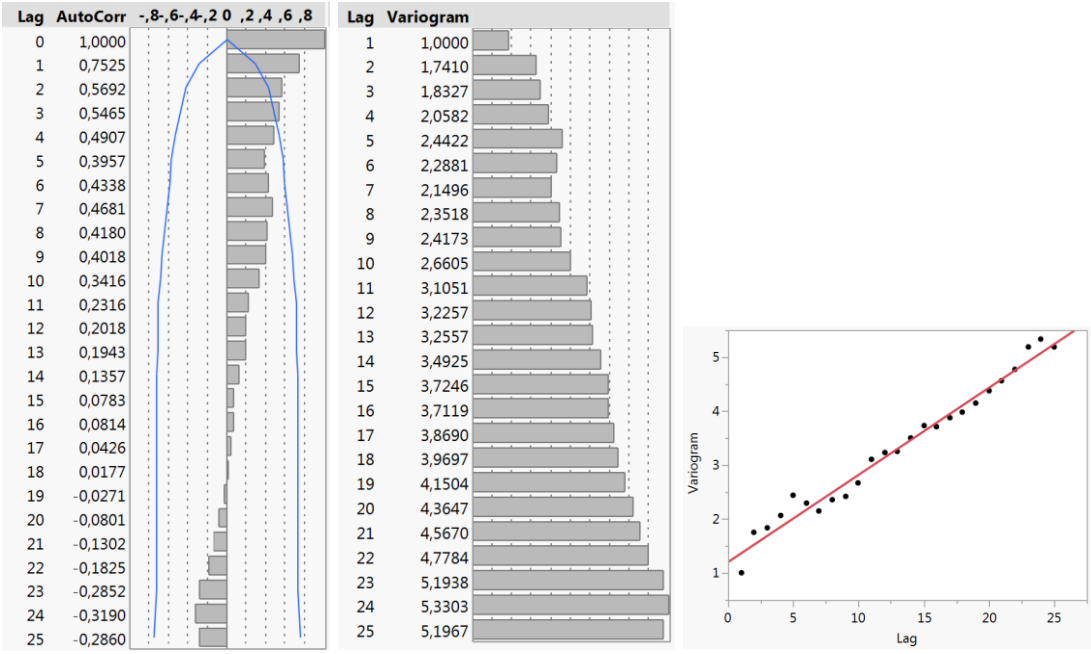
Figura 29 – Série Temporal do Volume de Pneus Inservíveis retornado



Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Para avaliar a estacionariedade da séria do volume de pneus inservíveis retornados, foram elaboradas as Figuras 30a, mostrando a função de autocorrelação, a Figura 30b, apresentando o variograma e a Figura 30c exibindo o gráfico de dispersão do variograma.

Figura 30 – Análise da estacionariedade do Volume de pneus inservíveis retornados



(a) Função de autocorrelação (b) Variograma (c) Dispersão do variograma

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Por meio do gráfico da função de autocorrelação, na Figura 30a, percebe-se que a série caiu lentamente atingindo o zero somente no *lag* 19 e depois voltou a se distanciar do zero. Pela Figura 30b nota-se que os valores do variograma aumentaram do 1,0000 ao 5,1967, um crescimento pequeno em comparação com os dados das frotas apresentados nas Figuras 26b e 28b, mas considerável para avaliar a estacionariedade da série.

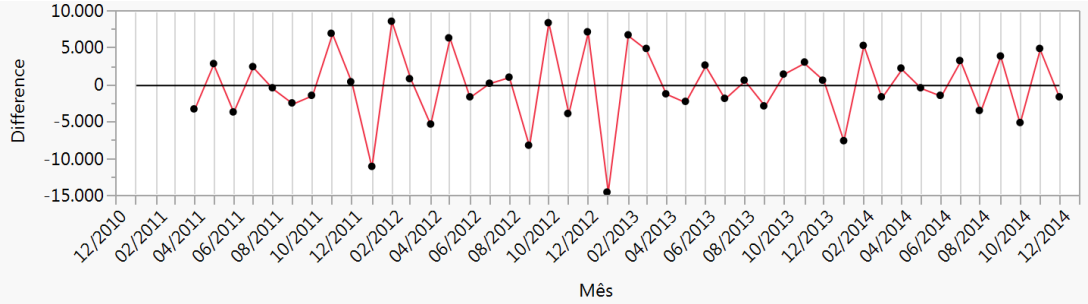
Por fim, para constatar que a série temporal do volume de pneus inservíveis retornados não pode ser considerada uma série estacionária, foi elaborada a Figura 30c que apresenta o gráfico de dispersão do variograma. Na Figura 30c fica evidente a tendência de crescimento linear do variograma, podendo ser escrito na forma da equação Variogram = 1,21476 + 0,1615629*_Lag_, de acordo com resultados gerados pelo *software* JMP.

Dessa forma, devido à restrição do Modelo de Função de Transferência de que as séries necessitam ser estacionárias para serem analisadas por este modelo, as séries referentes às frotas do Estado de Goiás e do Distrito Federal e do volume de pneus inservíveis retornados, por não serem consideradas estacionárias, foram submetidas ao processo de diferenciação para se tornarem séries estacionárias.

Para tornar a série temporal da frota do Estado de Goiás foi realizado o processo de diferenciação de 3 *lags* da série apresentada na Tabela 14. Com este procedimento foi suficiente para tornar a série estacionária, conforme pode ser observado pela Figura 31, que apresenta a nova série temporal, e pela Figura 32, que apresenta a função de autocorrelação, o variograma e o gráfico de dispersão do variograma.

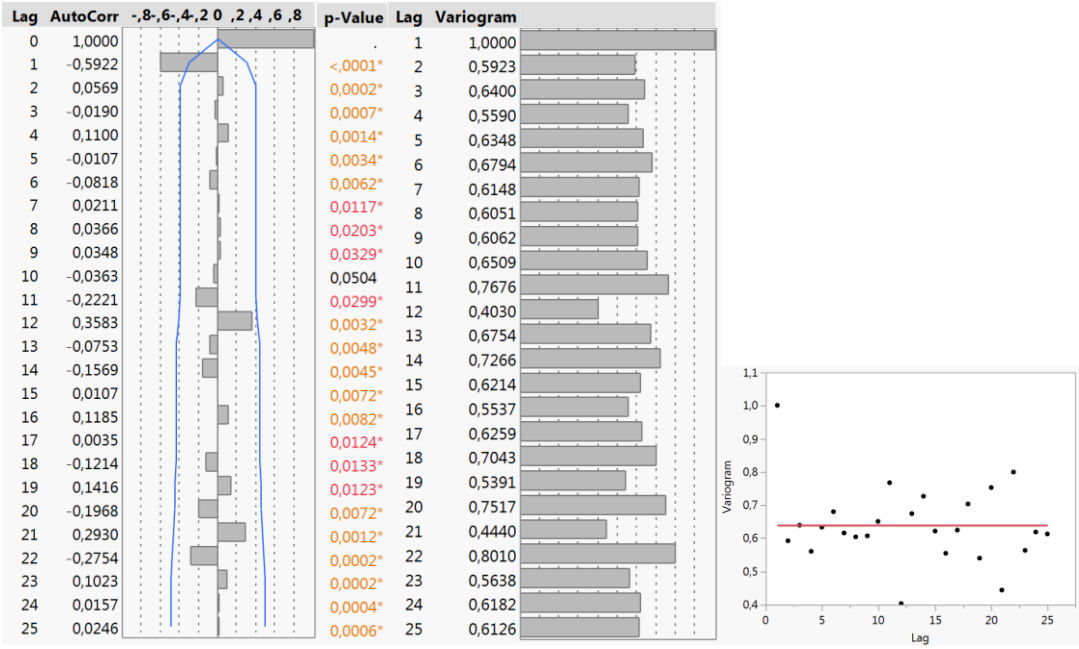
Dessa maneira a nova série da frota de Goiás, apresentada na Figura 31, passou a apresentar um média de -60 unidades e desvio padrão de 4.888,64 unidades.

Figura 31 – Série Temporal da Frota do Estado de Goiás após a diferenciação



Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Figura 32 - Análise da estacionariedade da Frota do Estado de Goiás após a diferenciação



(a) Função de autocorrelação (b) Variograma (c) Dispersão do variograma

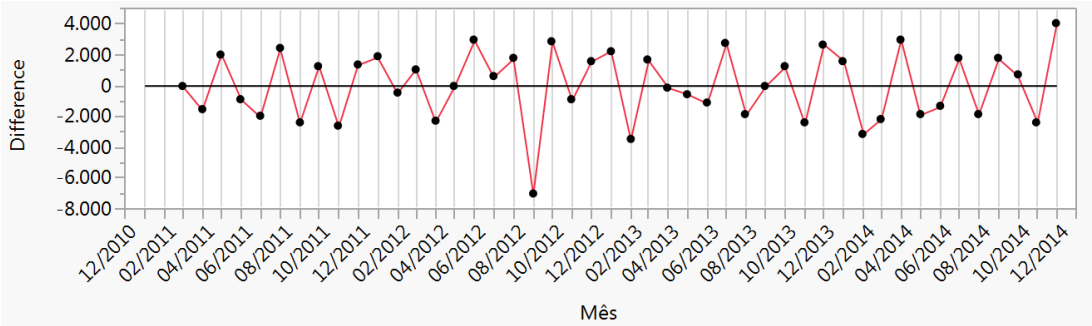
Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Pela análise das Figuras 32a, 32b e 32c, foi possível comprovar a estacionariedade da série da frota de Goiás. A função de autocorrelação na Figura 30a obteve um decaimento rápido já no primeiro *lag* e seus respectivos valores do *p-value* permaneceram abaixo de 5%, com exceção do lag 10, que apresentou um valor de 5,04%.

Os dados do variograma da frota do Estado de Goiás apresentaram uma pequena variação de 0,4030 a 1,0000 e o gráfico de dispersão apresentou os pontos do variograma osclinado em torno da média 0,6396.

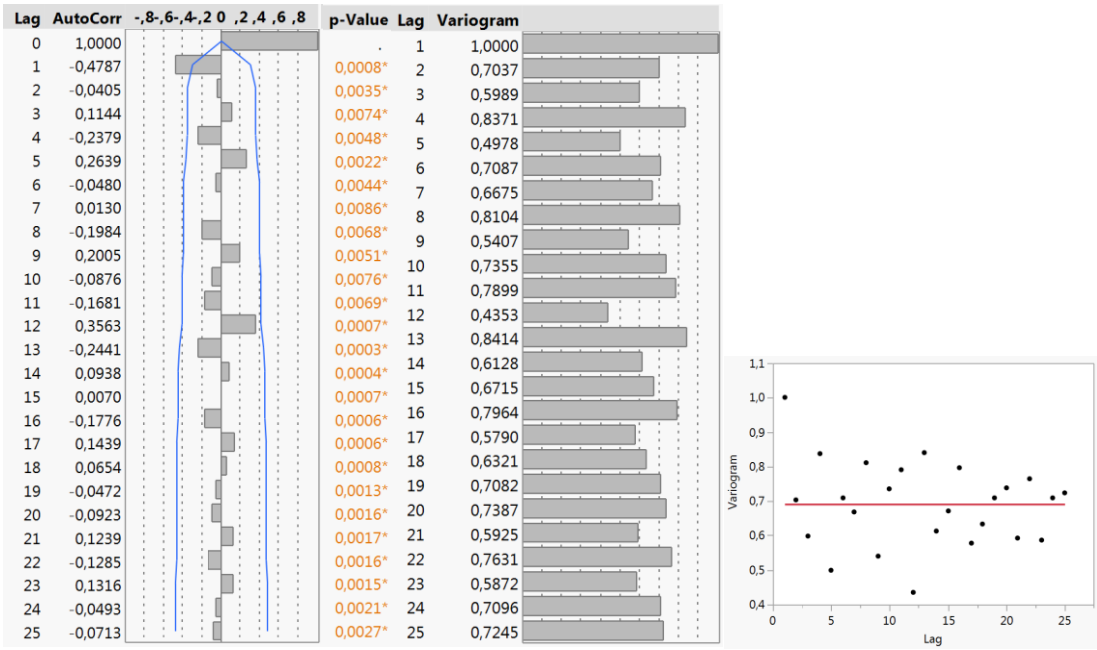
Em relação a frota do Distrito Federal, 2 *lags* foram suficientes para estacionar a série, que apresentou média de -0,8260 unidades e desvio padrão de 2.227,10 apresentada na Figura 33. Também foi possível identificar que a série não apresenta mais tendência de crescimento.

Figura 33 – Série Temporal da Frota do Distrito Federal após a diferenciação



Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Figura 34 – Análise da estacionariedade da Frota do Distrito Federal após a diferenciação



(a) Função de autocorrelação (b) Variograma (c) Dispersão do variograma

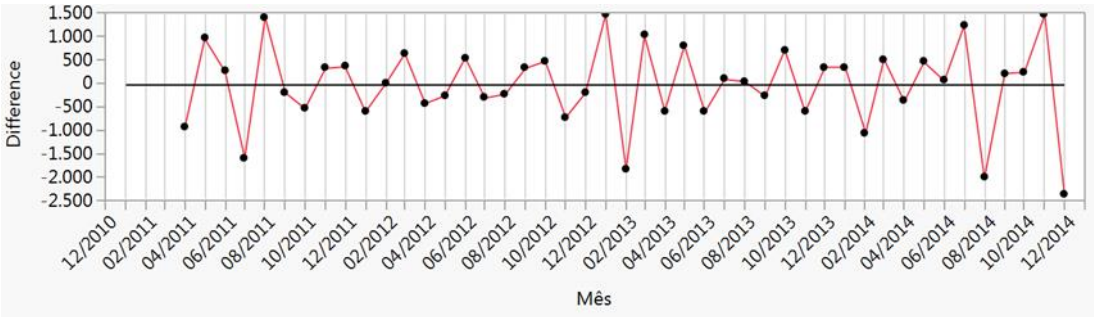
Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Na Figura 34a pode ser observado que os dados atingiram o zero no primeiro *lag* e a posteriori variaram próximos ao zero com *p-value* abaixo de 5%. No variograma, na Figura 34b, os dados variaram de 0,4353 e 1,0000 e os pontos no gráfico de dispersão oscilaram em torno da média corroborando 0,6913 a estacionariedade da série.

Na análise de estacionariedade da série do volume de pneus inservíveis foram necessárias três diferenciações para que apresentassem características de estacionariedade e *os p-value* abaixo de 5%, com excessão dos *lags* 20 e 21 que apresentaram o *p-value* de 6,40% e 6,98% respectivamente.

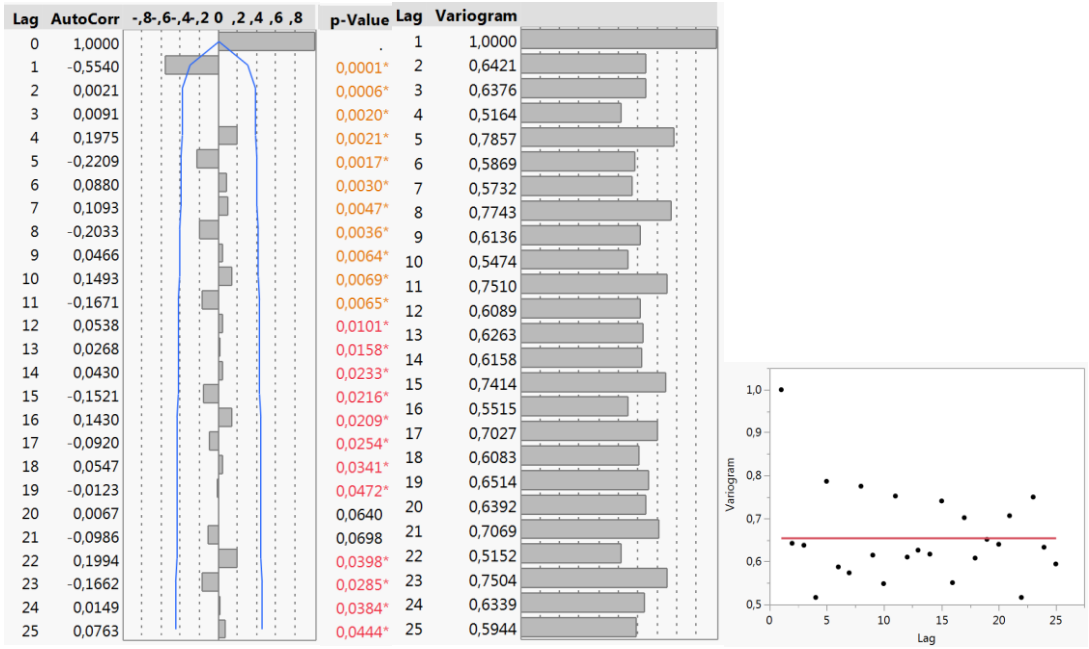
A nova série temporal mostrada na Figura 35 que possui média -32,4986 e desvio padrão 862,7100, pode ser considerada como estacionária, pois pela função de autocorrelação apresentada pela Figura 36a percebe-se que já no primeiro *lag* a série começou a oscilar em torno do zero, pelo variograma os dados variaram de 0,5152 e 1,0000 e o gráfico de dispersão apresentou os pontos do variograma em torno da média de 0,6549.

Figura 35 – Série Temporal do Volume de pneus inservíveis após a diferenciação



Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Figura 36 – Análise da estacionariedade do Volume de pneus inservíveis retornados após a diferenciação



(a) Função de autocorrelação (b) Variograma (c) Dispersão do variograma

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

4.4 ESPECIFICAÇÃO DO MODELO DE FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA

Para determinar e estimar o modelo de função de transferência da previsão do retorno de pneus inservíveis inicialmente é necessário realizar o pré-branqueamento das variáveis de

entrada a fim de encontrar um modelo ARIMA adequado para estas variáveis.

Para a realização do pré-branqueamento das variáveis de entrada foram utilizados os dados da Tabela 14 e com o auxílio do software JMP *Statistical Discovery*™, foi determinado o melhor modelo ARIMA e analisada a correlação cruzada entre os resíduos das séries de entrada e de saída. Estes modelos ARIMA foram posteriormente inseridos no modelo de função de transferência para a estimar os coeficientes da equação do MFT.

Ao analisar a variável do mercado de reposição do Estado de Goiás, foi realizado uma comparação entre alguns modelos ARIMA (*p, d, q*) como foi apresentado pela Tabela 15. A decisão de escolha dos modelos a serem analisados foi baseada inicialmente na análise de todos os possíveis modelos ARIMA (*p, d, q*), com *p* e *q* variando entre 0, 1 e 2 e assumindo *d*=0.

Após a determinação do melhor modelo com a diferenciação 0, foi realizado uma nova análise fazendo alterações no número de diferenciações até encontrar o modelo que apresentasse os melhores indicadores. Os indicadores adotados foram de variância, AIC, SBC, R^2, MAPE e MAE, que são métricas utilizadas para avaliar os modelos ARIMA, sendo o indicador AIC o critério adotado para classificação do posicionamento dos modelos, uma vez que avalia tanto o aspecto da qualidade do ajuste como a complexidade do modelo.

Tabela 15 – Análise ARIMA da variável do mercado de reposição do Estado de Goiás

Modelo	Variância	AIC	SBC	R^2	MAPE	MAE
ARIMA(1, 2, 2)	25.491,88	607,774692	615,089257	-0,0012	38,0670	130,284295
ARIMA(1, 1, 2)	23.673,64	612,568642	619,969233	0,2070	36,7070	119,101821
ARIMA(1, 0, 2)	21.924,97	621,200134	628,684938	0,2726	35,5053	115,294133
ARIMA(1, 3, 2)	43.698,01	621,768447	628,995097	-1,0037	56,2799	188,203721
ARIMA(1, 0, 1)	24.069,20	623,791183	629,404786	0,2015	40,6934	127,691382
ARIMA(2, 0, 1)	24.317,78	625,273334	632,758138	0,2103	40,4177	127,284654
ARIMA(2, 0, 2)	23.918,62	626,494034	635,850039	0,2203	39,5380	124,086717
ARIMA(1, 0, 0)	26.443,62	627,067674	630,810076	0,1087	42,9103	132,757268
ARIMA(0, 0, 1)	26.869,68	627,822955	631,565357	0,0947	43,1119	131,669164
ARIMA(2, 0, 0)	26.340,86	627,882881	633,496484	0,1306	42,6866	133,920501
ARIMA(0, 0, 2)	27.461,51	629,810165	635,423768	0,0950	43,1686	131,972661
ARIMA(0, 0, 0)	29121,48539	630,610648	632,481849	0	45,604477	135,950382

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Como pode ser observado pela Tabela 15 o modelo que apresentou os melhores resultados da variância (25.491,88), AIC (607,7747) e SBC (615,0893), para o mercado de reposição do Estado de Goiás foi o ARIMA (1, 2, 2). Porém, por obter um resultado do R^2

negativo de -0,0012, o que indica que este modelo se ajustou muito mal e apresentou erros significativos, impossibilita a escolha deste modelo.

Desse modo, para a escolha do modelo foram analisados os modelos ARIMA (1, 1, 2) e ARIMA (1, 0, 2), pois o modelo ARIMA (1, 1, 2) apresentou o segundo melhor resultado do AIC (612,5686) e SBC (619,9692), porém nos demais indicadores como a variância (21.924,91), R^2 (0,2726), MAPE (35,5053) e MAE (115,2941), o modelo ARIMA (1, 0, 2) apresentou melhores resultados.

Para definir o melhor modelo entre os modelos ARIMA (1, 1, 2) e ARIMA (1, 0, 2), foi realizada uma análise dos parâmetros estimados destes modelos, a fim de verificar qual melhor representa a série histórica pelo teste *t* e pela probabilidade de se obter um resultado melhor que o teste *t* apresentado.

Os parâmetros estimados do modelo ARIMA (1, 1, 2) podem ser observados na Figura 37 e do modelo ARIMA (1, 0, 2) pela Figura 38.

Figura 37 – Parâmetros estimados do modelo ARIMA (1, 1, 2) para o mercado de reposição do Estado de Goiás

Parameter Estimates

Term	Lag	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob>|t|	Constant Estimate
AR1	1	-0,905526	0,075428	-12,01	<,0001*	-13,460646
MA1	1	-0,244243	0,135414	-1,80	0,0783	
MA2	2	0,755757	0,128633	5,88	<,0001*	
Intercept	0	-7,064007	5,904404	-1,20	0,2381	

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Figura 38 – Parâmetros estimados do modelo ARIMA (1, 0, 2) para o mercado de reposição do Estado de Goiás

Parameter Estimates

Term	Lag	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob>|t|	Constant Estimate
AR1	1	0,8523	0,09058	9,41	<,0001*	52,3413358
MA1	1	1,0234	0,16069	6,37	<,0001*	
MA2	2	-0,5642	0,17011	-3,32	0,0018*	
Intercept	0	354,4253	67,48343	5,25	<,0001*	

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Conforme pode ser observado pelo teste *t*, que precisa apresentar um resultado acima de 2 para considerar os parâmetros estimados bons, e pelas probabilidades estarem todas abaixo de 5%, o modelo que melhor se ajusta a série histórica do mercado de reposição do Estado de

Goiás é o modelo ARIMA (1, 0, 2).

Na análise do pré-branqueamento do mercado de reposição do Distrito Federal foi adotada a mesma forma de análise do mercado de reposição do Estado de Goiás, pois ambas as séries se mostraram estacionárias inicialmente e por isso foi adotada a diferenciação igual a zero, *d*=0.

Conforme a Tabela 16, os modelos que podem representar melhor a série do mercado de reposição do Distrito Federal é o modelo ARIMA (0, 0, 0), por apresentar os melhores valores de AIC (589,5146) e SBC (591,3858), e o modelo ARIMA (1, 0, 0) por apresentar resultados melhores nos demais indicadores, sendo a variância (12.351,3), R^2 (0,0224), MAPE (31,0515) e MAE (88,7393).

Tabela 16 – Análise ARIMA da variável do mercado de reposição do Distrito Federal

Modelo	Variância	AIC	SBC	R^2	MAPE	MAE
ARIMA(0, 0, 0)	12370,43	589,514602	591,385803	0	31,705757	91,139601
ARIMA(1, 0, 0)	12351,30	590,43072	594,173122	0,022422	31,051502	88,739379
ARIMA(2, 0, 0)	12124,83	590,566209	596,179812	0,060542	30,305352	87,648738
ARIMA(0, 0, 1)	12432,52	590,734584	594,476987	0,016171	31,246909	89,362429
ARIMA(0, 0, 2)	12172,96	590,755978	596,369581	0,056753	30,768203	89,294792
ARIMA(1, 0, 1)	12269,65	591,107327	596,72093	0,049394	30,40069	86,834529
ARIMA(1, 0, 2)	12346,17	592,366132	599,850936	0,064522	30,078531	87,174821
ARIMA(2, 0, 1)	12364,12	592,433423	599,918227	0,063232	30,163063	87,143859
ARIMA(2, 0, 2)	12632,90	594,365187	603,721192	0,06456	30,083925	87,176391
ARIMA(0, 1, 0)	21172,41	602,510775	604,360923	-0,703737	40,013718	116,616306
ARIMA(0, 2, 0)	66584,92	642,418053	644,246695	-4,252005	72,143051	206,752363

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

No entanto, ao avaliar parâmetro estimado no modelo ARIMA (1, 0, 0), pela Figura 39, este não se mostrou significativo ao acrescentar o parâmetro autoregressivo, pela probabilidade de *t* ser de 30,02%, mais que 5%, enquanto o modelo ARIMA (0, 0, 0), não apresentou problemas de significância como pode-se observar na Figura 40.

Figura 39 – Parâmetros estimados do modelo ARIMA (1, 0, 0) para o mercado de reposição do Distrito Federal

Parameter Estimates

Term	Lag	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob>|t|	Constant Estimate
AR1	1	0,14978	0,14294	1,05	0,3002	279,067896
Intercept	0	328,22906	18,40260	17,84	<,0001*	

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Figura 40 – Parâmetros estimados do modelo ARIMA (0, 0, 0) para o mercado de reposição do Distrito Federal

Parameter Estimates

Term	Lag	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob>|t|	Constant Estimate
Intercept	0	328,14042	15,88547	20,66	<,0001*	328,140417

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Para as demais séries referentes as frotas de Goiás e do Distrito Federal a forma de análise iniciou-se pela determinação da diferenciação, visto que os valores de "*d*" já foram identificados na etapa de tornar as séries estacionárias, sendo *d*=3 para a frota do Estado de Goiás e *d*=2 para a frota do Distrito Federal. Após a determinação do valor a ser adotado na diferenciação "d", foram testados todos os possíveis modelos do ARIMA (*p*, *d*, *q*) com *p* e *q* variando de 0 a 2.

Em seguida uma nova análise dos modelos ARIMA foi realizada para confirmar a adoção do valor adotado "d" da diferenciação. Esta análise foi executada variando os valores de "*d*" e fixando os valores encontrados na etapa anterior de "*p*" e "*q*".

Na Tabela 17, referente aos modelos ARIMA da frota do Estado de Goiás, percebe-se que o melhor modelo foi o ARIMA (0, 3, 2) por apresentar todos os indicadores melhores.

A adoção deste modelo ARIMA também foi confirmado pelos parâmetros estimados ao se comparar os modelos ARIMA (0, 3, 2), apresentado na Figura 41, e ARIMA (1, 3, 2), na Figura 42, visto que o parâmetro autoregressivo AR(1) do modelo ARIMA (1, 3, 2) não é significativo por apresentar a probabilidade de *t* de 31,59%.

Tabela 17 – Análise ARIMA da variável da frota do Estado de Goiás

Modelo	Variância	AIC	SBC	R^2	MAPE	MAE
ARIMA(0, 3, 2)	5261757,514	838,597888	844,017875	0,999906	0,069194	1990,166398
ARIMA(1, 3, 2)	5379638,129	839,597911	846,824561	0,999908	0,069276	1992,954912
ARIMA(2, 3, 2)	5465212,461	841,477422	850,510735	0,999908	0,068933	1983,526
ARIMA(0, 4, 2)	9657744,029	845,922178	851,274747	0,999819	0,094604	2716,624223
ARIMA(2, 3, 1)	7157115,411	847,131083	854,357733	0,999894	0,075639	2187,559564
ARIMA(0, 2, 2)	5103488,112	847,540854	853,026778	0,999928	0,061893	1779,960631
ARIMA(1, 3, 1)	7849051,271	849,621243	855,04123	0,999882	0,078366	2261,509435
ARIMA(0, 3, 1)	9064593,862	854,382147	857,995472	0,999863	0,082996	2399,213135
ARIMA(0, 1, 2)	5588420,521	866,541268	872,091711	0,99993	0,064337	1858,973896
ARIMA(2, 3, 0)	13077857,82	868,857245	874,277233	0,999819	0,089416	2601,062944
ARIMA(1, 3, 0)	16124052,73	876,893608	880,506932	0,999773	0,102421	2963,513754
ARIMA(0, 3, 0)	24441990,73	894,224781	896,031443	0,99965	0,12994	3792,755556
ARIMA(0, 0, 2)	6,03E+09	1229,527598	1235,141201	0,855756	2,706936	76269,14617

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Figura 41 – Parâmetros estimados do modelo ARIMA (0, 3, 2) para a frota do Estado de Goiás

Parameter Estimates

Term	Lag	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob>|t|	Constant Estimate
MA1	1	1,994844	0,112642	17,71	<,0001*	-4,6550293
MA2	2	-0,999994	0,112650	-8,88	<,0001*	
Intercept	0	-4,655029	3,325816	-1,40	0,1690	

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Figura 42 – Parâmetros estimados do modelo ARIMA (1, 3, 2) para a frota do Estado de Goiás

Parameter Estimates

Term	Lag	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob>|t|	Constant Estimate
AR1	1	0,155596	0,153241	1,02	0,3159	-4,0785657
MA1	1	1,993333	0,096561	20,64	<,0001*	
MA2	2	-0,999968	0,096535	-10,36	<,0001*	
Intercept	0	-4,830112	3,869364	-1,25	0,2190	

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Pela análise da Tabela 18, pode-se observar que os melhores modelos da série histórica da frota do Distrito Federal foram os modelos ARIMA (0, 2, 1), pelo menor valor de variância (2.585.255), AIC (815,5531) e SBC (819,2104), e o modelo ARIMA (1, 2, 1), por apresentar o menor valor de MAE (1.289,311), pois em relação ao R^2 e pelo MAPE os valores encontrados foram os mesmos de 0,99971 e 0,09015 respectivamente.

Tabela 18 – Análise ARIMA da variável da frota do Distrito Federal

Modelo	Variância	AIC	SBC	R^2	MAPE	MAE
ARIMA(0, 2, 1)	2585255,486	815,553081	819,210364	0,99971	0,090151	1289,325952
ARIMA(1, 2, 1)	2645348,815	817,553079	823,039003	0,99971	0,09015	1289,311342
ARIMA(0, 2, 2)	2645352,981	817,553079	823,039003	0,99971	0,09015	1289,311567
ARIMA(1, 2, 2)	2637773,534	818,370202	825,684768	0,999717	0,089833	1284,57982
ARIMA(2, 2, 1)	2709112,766	819,549984	826,86455	0,99971	0,090192	1289,892242
ARIMA(2, 2, 2)	2668694,412	820,008258	829,151465	0,99972	0,088348	1263,355862
ARIMA(2, 2, 0)	3447976,231	826,47276	831,958684	0,999643	0,099927	1426,498238
ARIMA(0, 3, 1)	5295236,284	830,191608	833,804933	0,999373	0,138466	1982,558911
ARIMA(0, 1, 1)	2676872,725	830,945447	834,645742	0,999729	0,091808	1312,336733
ARIMA(1, 2, 0)	3903711,898	830,953669	834,610952	0,999588	0,108554	1561,419117
ARIMA(0, 2, 0)	5070201,525	841,720307	843,548948	0,999452	0,130169	1867,833648
ARIMA(0, 4, 1)	15640254,17	859,502119	863,070499	0,998034	0,23785	3400,605749
ARIMA(0, 0, 1)	2,75E+09	1185,363707	1189,106109	0,67895	3,344364	47048,79983

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Ao analisar os parâmetros estimados do modelo ARIMA (0, 2, 1) na Figura 43, e na Figura 44 do modelo ARIMA (1, 2, 1), percebe-se que o parâmetro autoregressivo do modelo ARIMA (1, 2, 1) não apresentou significância com uma probabilidade de *t* de 97,30%, sendo este o fator de escolha do modelo ARIMA (0, 2, 1).

Figura 43 – Parâmetros estimados do modelo ARIMA (0, 2, 1) para a frota do Distrito Federal

Parameter Estimates

Term	Lag	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob>|t|	Constant Estimate
MA1	1	1,00000	0,08259	12,11	<,0001*	-28,248381
Intercept	0	-28,24838	16,90903	-1,67	0,1019	

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Figura 44 – Parâmetros estimados do modelo ARIMA (1, 2, 1) para a frota do Distrito Federal

Parameter Estimates

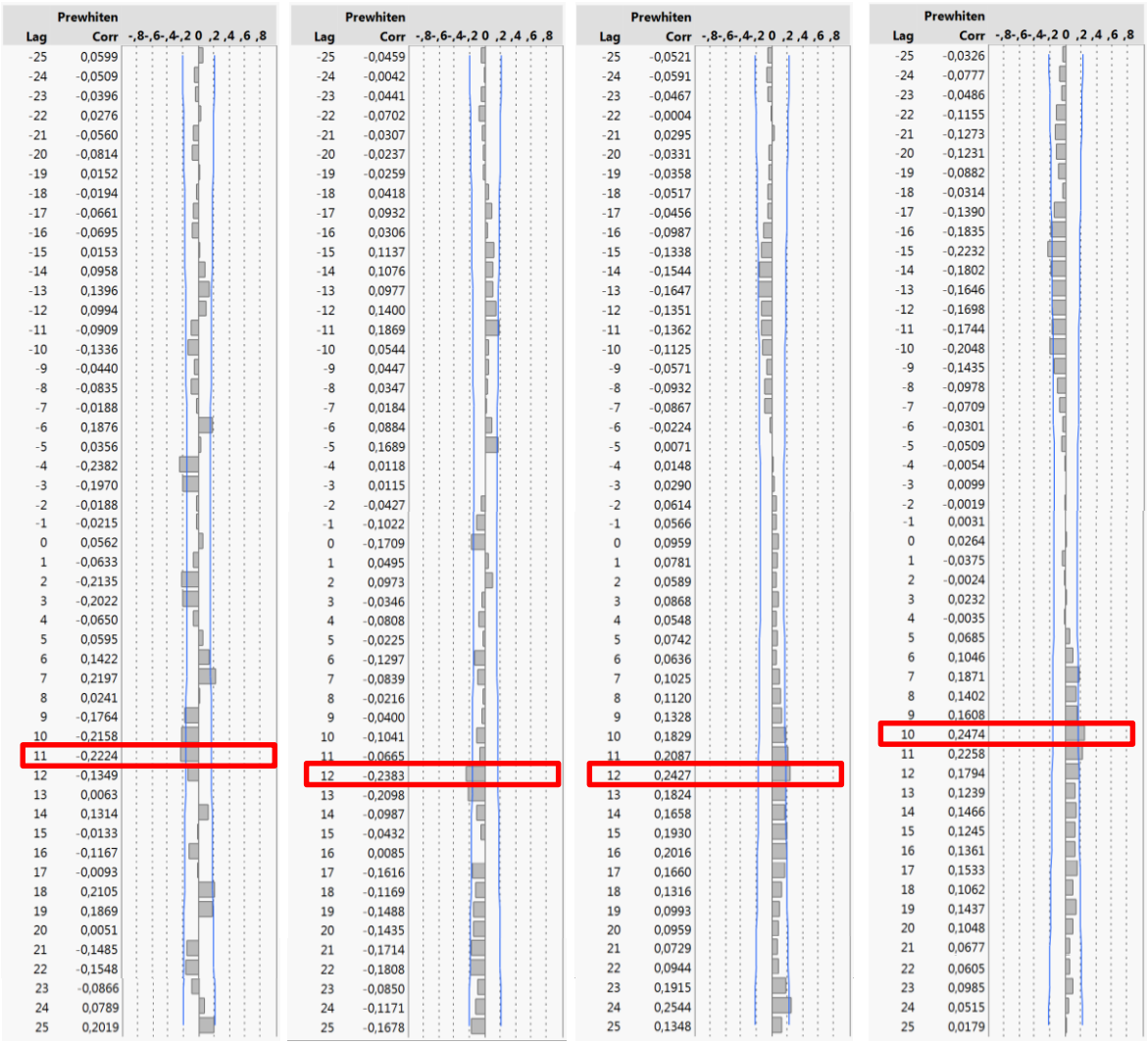
Term	Lag	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob>|t|	Constant Estimate
AR1	1	-0,00024	0,00700	-0,03	0,9730	-28,255961
MA1	1	1,00000	0,08263	12,10	<,0001*	
Intercept	0	-28,24922	16,90607	-1,67	0,1020	

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Após a determinação dos modelos ARIMA, foi realizado o pré-branqueamento dos dados pelo software JMP *Statistical Discovery*™, em que estes modelos foram inseridos para

suas respectivas variáveis de entrada, para obter a correlação cruzada dos resíduos da variável de entrada e de saída, apresentados na Figura 45, e para estimar os coeficientes da função de transferência.

Figura 45 – Função de Correlação Cruzada das variáveis de entrada com a variável de saída



Lag	Corr
-25	0,0599
-24	-0,0509
-23	-0,0396
-22	0,0276
-21	-0,0560
-20	-0,0814
-19	0,0152
-18	-0,0194
-17	-0,0661
-16	-0,0695
-15	0,0153
-14	0,0958
-13	0,1396
-12	0,0994
-11	-0,0909
-10	-0,1336
-9	-0,0440
-8	-0,0835
-7	-0,0188
-6	0,1876
-5	0,0356
-4	-0,2382
-3	-0,1970
-2	-0,0188
-1	-0,0215
0	0,0562
1	-0,0633
2	-0,2135
3	-0,2022
4	-0,0650
5	0,0595
6	0,1422
7	0,2197
8	0,0241
9	-0,1764
10	-0,2158
11	-0,2224
12	-0,1349
13	0,0063
14	0,1314
15	-0,0133
16	-0,1167
17	-0,0093
18	0,2105
19	0,1869
20	0,0051
21	-0,1485
22	-0,1548
23	-0,0866
24	0,0789
25	0,2019

(a) Mercado de reposição do Estado de Goiás

Lag	Corr
-25	-0,0459
-24	-0,0042
-23	-0,0441
-22	-0,0702
-21	-0,0307
-20	-0,0237
-19	-0,0259
-18	0,0418
-17	0,0932
-16	0,0306
-15	0,1137
-14	0,1076
-13	0,0977
-12	0,1400
-11	0,1869
-10	0,0544
-9	0,0447
-8	0,0347
-7	0,0184
-6	0,0884
-5	0,1689
-4	0,0118
-3	0,0115
-2	-0,0427
-1	-0,1022
0	-0,1709
1	0,0495
2	0,0973
3	-0,0346
4	-0,0808
5	-0,0225
6	-0,1297
7	-0,0839
8	-0,0216
9	-0,0400
10	-0,1041
11	-0,0665
12	-0,2383
13	-0,2098
14	-0,0987
15	-0,0432
16	0,0085
17	-0,1616
18	-0,1169
19	-0,1488
20	-0,1435
21	-0,1714
22	-0,1808
23	-0,0850
24	-0,1171
25	-0,1678

(b) Mercado de reposição do Distrito Federal

Lag	Corr
-25	-0,0521
-24	-0,0591
-23	-0,0467
-22	-0,0004
-21	0,0295
-20	-0,0331
-19	-0,0358
-18	-0,0517
-17	-0,0456
-16	-0,0987
-15	-0,1338
-14	-0,1544
-13	-0,1647
-12	-0,1351
-11	-0,1362
-10	-0,1125
-9	-0,0571
-8	-0,0932
-7	-0,0867
-6	-0,0224
-5	0,0071
-4	0,0148
-3	0,0290
-2	0,0614
-1	0,0566
0	0,0959
1	0,0781
2	0,0589
3	0,0868
4	0,0548
5	0,0742
6	0,0636
7	0,1025
8	0,1120
9	0,1328
10	0,1829
11	0,2087
12	0,2427
13	0,1824
14	0,1658
15	0,1930
16	0,2016
17	0,1660
18	0,1316
19	0,0993
20	0,0959
21	0,0729
22	0,0944
23	0,1915
24	0,2544
25	0,1348

(c) Frota do Estado de Goiás

Lag	Corr
-25	-0,0326
-24	-0,0777
-23	-0,0486
-22	-0,1155
-21	-0,1273
-20	-0,1231
-19	-0,0882
-18	-0,0314
-17	-0,1390
-16	-0,1835
-15	-0,2232
-14	-0,1802
-13	-0,1646
-12	-0,1698
-11	-0,1744
-10	-0,2048
-9	-0,1435
-8	-0,0978
-7	-0,0709
-6	-0,0301
-5	-0,0509
-4	-0,0054
-3	0,0099
-2	-0,0019
-1	0,0031
0	0,0264
1	-0,0375
2	-0,0024
3	0,0232
4	-0,0035
5	0,0685
6	0,1046
7	0,1871
8	0,1402
9	0,1608
10	0,2474
11	0,2258
12	0,1794
13	0,1239
14	0,1466
15	0,1245
16	0,1361
17	0,1533
18	0,1062
19	0,1437
20	0,1048
21	0,0677
22	0,0605
23	0,0985
24	0,0515
25	0,0179

(d) Frota do Distrito Federal

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Dessa forma, a partir da Figura 45a pode-se analisar que existe uma correlação cruzada significativa no *lag* 11 de -0,2224, por apresentar a maior correlação cruzada em valores absolutos entre a variável de saída, que é o volume de pneus inservíveis retornados, em relação a variável do mercado de reposição do Estado de Goiás. Sendo assim a partir do momento que os pneus do mercado de reposição são importados eles apresentam um tempo de atraso de 11

meses para substituir o pneu inservível que deve ser destinado.

Para a variável do mercado de reposição do Distrito Federal, que apresenta o mesmo raciocínio de tempo de atraso do mercado de reposição do Estado de Goiás, o *lag* que apresentou correlação cruzada significativa com a variável de saída, foi o *lag* 12 com -0,2383 pela Figura 45b.

Em relação a frota do Estado de Goiás, como pode ser observado na Figura 45c, foi o *lag* 12 com 0,2427 que apresentou a maior correlação cruzada entre os resíduos, ou seja, a partir da venda de veículos novos os pneus inservíveis irão começar a retornar a partir de 1 ano após a venda do carro.

E o mesmo raciocínio do tempo de atraso da frota do Estado de Goiás após a venda do veículo novo também é utilizado para a frota do Distrito Federal apresentada na Figura 45d, sendo tempo de atraso no Distrito Federal de 10 meses pois o *lag* significativo foi o *lag* 10 com 0,2474.

Para determinar a função resposta do impulso, que indica a probabilidade de retorno dos pneus inservíveis relativo a cada variável de entrada, os dados referentes aos resíduos gerados da variável de entrada e da variável de saída pelo pré-branqueamento e os resultados da função de correlação cruzada, fornecidos pelo *software* JMP *Statistical Discovery*™, foram analisados.

Para realizar esta análise, os dados fornecidos pelo *software* JMP *Statistical Discovery*™ foram inseridos no *software* Microsoft Excel© a fim de possibilitar o cálculo da função resposta do impulso pela Equação 18, reapresentada a seguir, e gerar a Tabela 19.

$$v_k = \frac{\gamma_{\alpha\beta}(k)}{\sigma_\alpha^2} = \frac{\rho_{\alpha\beta}(k)\sigma_\alpha\sigma_\beta}{\sigma_\alpha^2} = \rho_{\alpha\beta}(k)\frac{\sigma_\beta}{\sigma_\alpha} \tag{33}$$

Tabela 19 – Função resposta do impulso

Lag	MRGO e Vol. de pneus inservíveis retornados	MRDF e Vol. de pneus inservíveis retornados	Frota GO e Vol. de pneus inservíveis retornados	Frota DF e Vol. de pneus inservíveis retornados
0	0,115114	-0,772281	0,014717	0,005500
1	-0,129718	0,223795	0,011986	-0,007810
2	-0,437340	0,439960	0,009036	-0,000496
3	-0,414291	-0,156266	0,013315	0,004828
4	-0,133182	-0,365204	0,008419	-0,000722
5	0,121939	-0,101848	0,011394	0,014255
6	0,291330	-0,586287	0,009764	0,021766
7	0,449995	-0,379267	0,015734	0,038951
8	0,049464	-0,097499	0,017198	0,029184
9	-0,361278	-0,180782	0,020377	0,033480
10	-0,442063	-0,470380	0,028078	0,051490
11	-0,455599	-0,300613	0,032034	0,046993
12	-0,276420	-1,076982	0,037259	0,037334
13	0,012869	-0,948482	0,027994	0,025798
14	0,269150	-0,446027	0,025451	0,030508
15	-0,027242	-0,195336	0,029622	0,025922
16	-0,238965	0,038456	0,030945	0,028334
17	-0,019151	-0,730559	0,025478	0,031901
18	0,431197	-0,528533	0,020195	0,022099
19	0,382932	-0,672427	0,015242	0,029916
20	0,010348	-0,648698	0,014713	0,021807
21	-0,304238	-0,774517	0,011190	0,014101
22	-0,317139	-0,817107	0,014491	0,012592
23	-0,177445	-0,384388	0,029392	0,020505
24	0,161664	-0,529249	0,039047	0,010728
25	0,413521	-0,758299	0,020692	0,003729

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

De acordo com a Tabela 19 e com os *lags* adotados pela correlação cruzada, percebe-se que a probabilidade de retorno dos pneus inservíveis do mercado de reposição do Estado de Goiás no l*ag* 11 é de aproximadamente 45,56%, em relação ao mercado de reposição do Distrito Federal no *lag* 12 é de aproximadamente 100%, por apresentar um valor de 1,07 na função resposta ao impulso. Para a frota do Estado de Goiás, cujo *lag* foi de 12 meses, a probabilidade de retorno é de 3,72% e a probabilidade de retorno em relação a frota do Distrito Federal no *lag* 10 foi de 5,15%.

Após a determinação dos melhores modelos ARIMA das variáveis de entrada, das correlações cruzadas e da função impulso, estas informações foram inseridas na análise do modelo de função de transferência, por meio do software JMP *Statistical Discovery*™, a fim de estimar os parâmetros do modelo.

Como pode ser observado pela tela do *software* na Figura 46, os valores do teste *t* ficaram próximo de 2. No entanto, ao se analisar a probabilidade de obter um valor melhor para o teste *t* pela probabilidade de *t*, os valores apresentados estão muito acima dos 5%, variando de 16,28% a 96,78%.

Figura 46 – Parâmetros estimados do modelo de função de transferência sem incorporar a análise dos resíduos

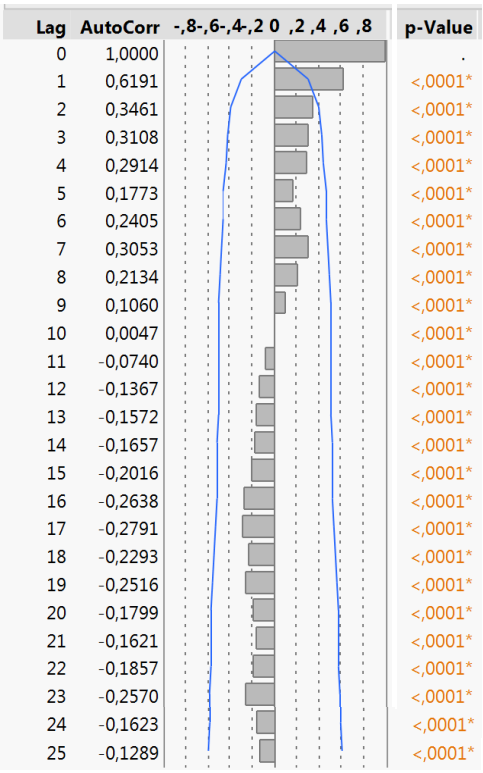
Parameter Estimates

Variable	Term	Factor	Lag	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob>|t|
Mercado de Reposição GO (ton)	Num0,0	0	0	-0,744	0,5134	-1,45	0,1628
Mercado de Reposição GO (ton)	Num1,1	1	1	0,867	0,6008	1,44	0,1644
Mercado de Reposição GO (ton)	Num1,2	1	2	0,545	0,4887	1,12	0,2780
Mercado de Reposição GO (ton)	Den1,1	1	1	-0,288	0,3990	-0,72	0,4785
Mercado de Reposição DF (ton)	Num0,0	0	0	-0,415	0,7336	-0,57	0,5781
Frota GO (un)	Num0,0	0	0	0,00266723	0,0233	0,11	0,9102
Frota GO (un)	Num1,1	1	1	-0,0011363	0,0278	-0,04	0,9678
Frota GO (un)	Num1,2	1	2	0,00378801	0,0209	0,18	0,8578
Frota DF (un)	Num0,0	0	0	-0,017	0,0393	-0,42	0,6770
Frota DF (un)	Num1,1	1	1	0,017	0,0447	0,37	0,7124
	Intercept	0	0	1801,438	272,5690	6,61	<,0001*

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Posteriormente à análise dos parâmetros estimados e ainda analisando os resultados gerados pelo modelo, percebe-se pela Figura 47 que os resíduos ainda apresentam uma grande interferência no MFT pelo *p-value* estar abaixo de 5%. Dessa forma, tornou-se necessário realizar a modelagem do ruído do modelo gerado para de determinar o modelo ARIMA que explica o comportamento do ruído, para em seguida incorporá-lo ao MFT a fim de melhores resultados dos parâmetros estimados, da previsão e obter um ruído branco.

Figura 47 – Função de Autocorrelação dos resíduos do modelo de função de transferência sem incorporar a análise dos resíduos



Lag	AutoCorr	p-Value
0	1,0000	.
1	0,6191	<,0001*
2	0,3461	<,0001*
3	0,3108	<,0001*
4	0,2914	<,0001*
5	0,1773	<,0001*
6	0,2405	<,0001*
7	0,3053	<,0001*
8	0,2134	<,0001*
9	0,1060	<,0001*
10	0,0047	<,0001*
11	-0,0740	<,0001*
12	-0,1367	<,0001*
13	-0,1572	<,0001*
14	-0,1657	<,0001*
15	-0,2016	<,0001*
16	-0,2638	<,0001*
17	-0,2791	<,0001*
18	-0,2293	<,0001*
19	-0,2516	<,0001*
20	-0,1799	<,0001*
21	-0,1621	<,0001*
22	-0,1857	<,0001*
23	-0,2570	<,0001*
24	-0,1623	<,0001*
25	-0,1289	<,0001*

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Dessa maneira, os valores dos resíduos, apresentados na Tabela 19, foram analisados pelo *software* JMP e foram obtidos os modelos ARIMA, na Tabela 21, que melhor explicam o comportamento dos resíduos exibido na Tabela 20.

Tabela 20 – Valores dos resíduos do modelo de função de transferência sem incorporar a análise dos resíduos

Ano e Mês	Resíduos (ton)
2011	
Janeiro.....	-
Fevereiro.....	-
Março.....	-
Abril.....	0,00
Maio.....	0,00
Junho.....	0,00
Julho.....	0,00
Agosto.....	0,00
Setembro.....	0,00
Outubro.....	0,00
Novembro.....	0,00
Dezembro.....	0,00
2012	
Janeiro.....	0,00
Fevereiro.....	0,00
Março.....	0,00
Abril.....	0,00
Maio.....	0,00
Junho.....	-8,10
Julho.....	-46,76
Agosto.....	-182,59
Setembro.....	-462,61
Outubro.....	-418,73
Novembro.....	29,15
Dezembro.....	-507,65
2013	
Janeiro.....	-62,13
Fevereiro.....	-330,60
Março.....	-320,25
Abril.....	-377,09
Maio.....	-243,99
Junho.....	-245,35
Julho.....	-118,47
Agosto.....	-159,79
Setembro.....	-294,89
Outubro.....	-292,72
Novembro.....	-307,46
Dezembro.....	-12,28
2014	
Janeiro.....	412,36
Fevereiro.....	471,59
Março.....	281,80
Abril.....	229,58
Maio.....	-165,07
Junho.....	-383,22
Julho.....	537,79
Agosto.....	863,40
Setembro.....	520,11
Outubro.....	200,31
Novembro.....	881,52
Dezembro.....	512,47

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Tabela 21 – Análise ARIMA do resíduo do modelo de função de transferência sem incorporar a análise dos resíduos

Modelo	Variância	AIC	SBC	R^2	MAPE	MAE
ARIMA(1, 1, 0)	72.438,71	619,252	622,82	0,33159	-	174,103
ARIMA(1, 0, 0)	62.764,00	627,312	630,925	0,40704	-	153,018
ARIMA(1, 0, 2)	62.575,31	629,261	636,488	0,43584	-	158,073
ARIMA(1, 0, 1)	64.239,02	629,303	634,723	0,40721	-	153,371
ARIMA(2, 0, 0)	64.250,93	629,309	634,729	0,4071	-	153,161
ARIMA(0, 0, 2)	66.422,10	630,796	636,216	0,3871	-	154,58
ARIMA(2, 0, 2)	64.140,42	631,259	640,292	0,43584	-	157,854
ARIMA(2, 0, 1)	65.763,70	631,267	638,494	0,4076	-	152,507
ARIMA(0, 0, 1)	70.884,69	632,61	636,223	0,33035	-	168,974
ARMAI(1, 2, 0)	141.894,38	634,388	637,911	-0,2781	-	213,274
ARIMA(0, 0, 0)	103.448,20	648,3	650,107	0	-	219,556

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Conforme resultados apresentados na Tabela 21, o modelo que obteve o menor valor de AIC foi o modelo ARIMA (1, 1, 0) de 619,252. No entanto, ao analisar o parâmetro estimado do modelo ARIMA do resíduo, apresentado na Figura 48, nota-se que o parâmetro não é significativo por apresentar um valor da probabilidade *t* de 14,42%, bem acima de 5%.

Figura 48 – Parâmetros estimados do modelo ARIMA (1, 1, 0) do resíduo

Parameter Estimates

Term	Lag	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob>|t|	Constant Estimate
AR1	1	-0,22116	0,14861	-1,49	0,1442	16,2114232
Intercept	0	13,27541	32,58945	0,41	0,6858	

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Dessa forma, ao eliminar o modelo ARIMA (1, 1, 0) e pelos modelos ARIMA (1, 0, 0) e ARIMA (1, 0, 2) apresentarem os resultados dos indicadores da variância, AIC, SBC, R^2, MAPE e MAE próximos, foram analisados os parâmetros estimados de ambos.

Figura 49 – Parâmetros estimados do modelo ARIMA (1, 0, 0) do resíduo

Parameter Estimates

Term	Lag	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob>|t|	Constant Estimate
AR1	1	0,642457	0,11505	5,58	<,0001*	6,77787789
Intercept	0	18,956826	97,90527	0,19	0,8474	

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Figura 50 – Parâmetros estimados do modelo ARIMA (1, 0, 2) do resíduo

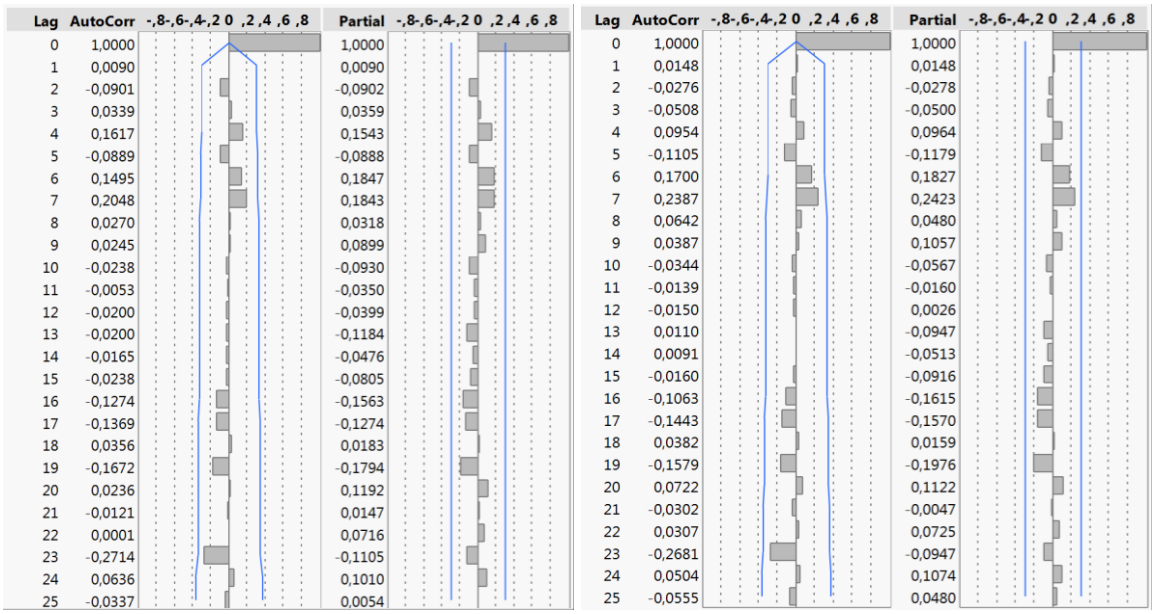
Parameter Estimates

Term	Lag	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob>|t|	Constant Estimate
AR1	1	0,915388	0,0945	9,69	<,0001*	5,8213909
MA1	1	0,322195	0,1740	1,85	0,0713	
MA2	2	0,243585	0,1396	1,75	0,0884	
Intercept	0	68,800923	167,0503	0,41	0,6826	

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Pelas Figuras 49 e 50, percebe-se que o melhor modelo ARIMA do resíduo foi o ARIMA (1, 0, 0), pois os parâmetros da média móvel MA (2) do modelo ARIMA (1, 0, 2) não são significativos. Porém, pelas probabilidades de *t* obtidas serem de 7,13% e 8,84%, este modelo não foi eliminado da análise, para que se possa obter um comparativo dos resultados do MFT com ambos os modelos dos resíduos, visto que ambas as funções de autocorrelação dos resíduos dos ruídos indicaram um bom ajuste pela Figura 51.

Figura 51 – Autocorrelação dos resíduos dos ruídos



(a) Função de Autocorrelação do resíduo ARIMA (1, 0, 0)

(b) Função de Autocorrelação Parcial do resíduo ARIMA (1, 0, 0)

(c) Função de Autocorrelação do resíduo ARIMA (1, 0, 2)

(d) Função de Autocorrelação Parcial do resíduo ARIMA (1, 0, 2)

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Após a determinação de todos os modelos ARIMA das variáveis de entrada e dos dois modelos de resíduos obtidos, estes foram inseridos no *software* a fim de definir qual o modelo de resíduo que ajusta melhor ao MFT, e obter os parâmetros reais do modelo, a análise numérica do modelo e a função do modelo de função de transferência.

Conforme pode ser observado pela Tabela 22, o modelo de função de transferência foi analisado inicialmente com as variáveis de entrada do mercado de reposição do Estado de Goiás, o modelo ARIMA (1, 0, 2), mercado de reposição do Distrito Federal, ARIMA (0, 0, 0), frota do Estado de Goiás, ARIMA (0, 3, 2), frota do Distrito Federal, ARIMA (0, 2, 1) e resíduo com o modelo ARIMA (1, 0, 0). Em seguida uma nova análise foi realizada com as mesmas variáveis de entrada, alterando somente o resíduo para o modelo ARIMA (1, 0, 2).

Tabela 22 – Análise comparativa dos modelos de função de transferência

Modelo	Variância	AIC	SBC	R^2	MAPE	MAE
MFT com resíduo ARIMA (1, 0, 2)	65.765,7233	444,064513	464,140334	0,900499	15,37554	105,336519
MFT com resíduo ARIMA (1, 0, 0)	91.977,6236	451,106513	468,314359	0,844469	19,31164	128,385021

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

De acordo com a Tabela 22, o modelo de função de transferência que apresentou os melhores resultados em todos os indicadores foi o modelo com resíduo ARIMA (1, 0, 2), que obteve uma variância (65.765,7233), AIC (444,0645), SBC (464,1403), R^2 (0,9004), MAPE (15,3755) e MAE (105,3365). Fato que ainda pode ser comprovado ao se analisar os parâmetros do MFT nas Figuras 52, com os parâmetros do modelo com o resíduo ARIMA (1, 0, 0), e Figura 53 com os parâmetros do modelo com o resíduo ARIMA (1, 0, 2).

Figura 52 – Parâmetros do modelo de função de transferência com resíduo ARIMA (1, 0, 0)

Parameter Estimates

Variable	Term	Factor	Lag	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob>|t|
Mercado de Reposição GO (ton)	Num0,0	0	0	-0,5295	0,3607	-1,47	0,1585
Mercado de Reposição GO (ton)	Num1,1	1	1	0,0485	0,5179	0,09	0,9264
Mercado de Reposição GO (ton)	Num1,2	1	2	-0,5713	0,3247	-1,76	0,0946
Mercado de Reposição GO (ton)	Den1,1	1	1	1,0800	0,0399	27,05	<,0001*
Mercado de Reposição DF (ton)	Num0,0	0	0	-1,1488	0,4488	-2,56	0,0192*
Frota GO (un)	Num0,0	0	0	0,0014	0,0118	0,11	0,9098
Frota GO (un)	Num1,1	1	1	0,0035	0,0137	0,26	0,8006
Frota GO (un)	Num1,2	1	2	0,0058	0,0119	0,48	0,6338
Frota DF (un)	Num0,0	0	0	-0,0232	0,0238	-0,98	0,3417
Frota DF (un)	Num1,1	1	1	0,0310	0,0234	1,32	0,2009
Volume de Pneus Inservíveis Retornados (ton)	AR1,1	1	1	0,00033989	0,0086	0,04	0,9691
	Intercept	0	0	892,5136	209,1765	4,27	0,0004*

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Figura 53 – Parâmetros do modelo de função de transferência com resíduo ARIMA (1, 0, 2)

Parameter Estimates

Variable	Term	Factor	Lag	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob>|t|
Mercado de Reposição GO (ton)	Num0,0	0	0	-0,5457	0,1649	-3,31	0,0041*
Mercado de Reposição GO (ton)	Num1,1	1	1	0,0742	0,2213	0,34	0,7415
Mercado de Reposição GO (ton)	Num1,2	1	2	-0,6162	0,1313	-4,69	0,0002*
Mercado de Reposição GO (ton)	Den1,1	1	1	1,0728	0,0229	46,90	<,0001*
Mercado de Reposição DF (ton)	Num0,0	0	0	-0,9547	0,3733	-2,56	0,0204*
Frota GO (un)	Num0,0	0	0	-0,0037	0,0119	-0,31	0,7619
Frota GO (un)	Num1,1	1	1	0,0083	0,0153	0,54	0,5946
Frota GO (un)	Num1,2	1	2	0,0115	0,0125	0,92	0,3712
Frota DF (un)	Num0,0	0	0	-0,0219	0,0240	-0,91	0,3746
Frota DF (un)	Num1,1	1	1	0,0240	0,0231	1,04	0,3131
Volume de Pneus Inservíveis Retornados (ton)	AR1,1	1	1	0,1533	0,2647	0,58	0,5701
Volume de Pneus Inservíveis Retornados (ton)	MA1,1	1	1	0,5365	0,2236	2,40	0,0282*
Volume de Pneus Inservíveis Retornados (ton)	MA1,2	1	2	0,4635	0,2115	2,19	0,0427*
	Intercept	0	0	795,0219	155,5658	5,11	<,0001*

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Ainda analisando as Figuras 52 e 53 percebe-se que o teste *t* da Figura 53, apresentou resultados para os parâmetros bem melhores que os da Figura 52, da mesma forma como a

probabilidade de *t* que apresentou mais resultados abaixo dos 5%. No entanto, mesmo alguns parâmetros obterem a probabilidade de *t* acima de 5%, este modelo de função de transferência pode ser adotado devido aos seus bons resultados do AIC, R^2 e MAPE exibidos na Tabela 22.

Dessa forma, com todos os modelos ARIMA definidos das variáveis de entrada, do ruído e parâmetros estimados, pode-se determinar a equação que representa o modelo de função de transferência do volume de pneus inservíveis retornados conforme a Equação 32 e os resíduos do modelo na Figura 54.

$$VPIR_t = \left[\left[\left[795{,}0219 + \left[\frac{\left[[-0{,}5457 - 0{,}0742 * B] + 0{,}6162 * B^2\right]}{[1 - 1{,}0728 * B]}\right] * MRGO_{t-11}\right] - 0{,}9547 * MRDF_{t-12}\right] + \left[[-0{,}0037 - 0{,}0083 * B] - 0{,}0115 * B^2\right] * \left[\left[[1 - 3 * B] + 3 * B^2\right] - B^3\right] * FGO_{t-12}\right] + [-0{,}0219 - 0{,}024 * B] * \left[[1 - 2 * B] + B^2\right] * FDF_{t-10} + \left[\frac{\left[[1 - 0{,}5365 * B] - 0{,}4635 * B^2\right]}{[1 - 0{,}1533 * B]}\right] * e_t \quad (32)$$

Em que:

VPIR = Volume de pneus inservíveis retornados (ton)

MRGO = Mercado de reposição do Estado de Goiás (ton)

MRDF = Mercado de reposição do Distrito Federal (ton)

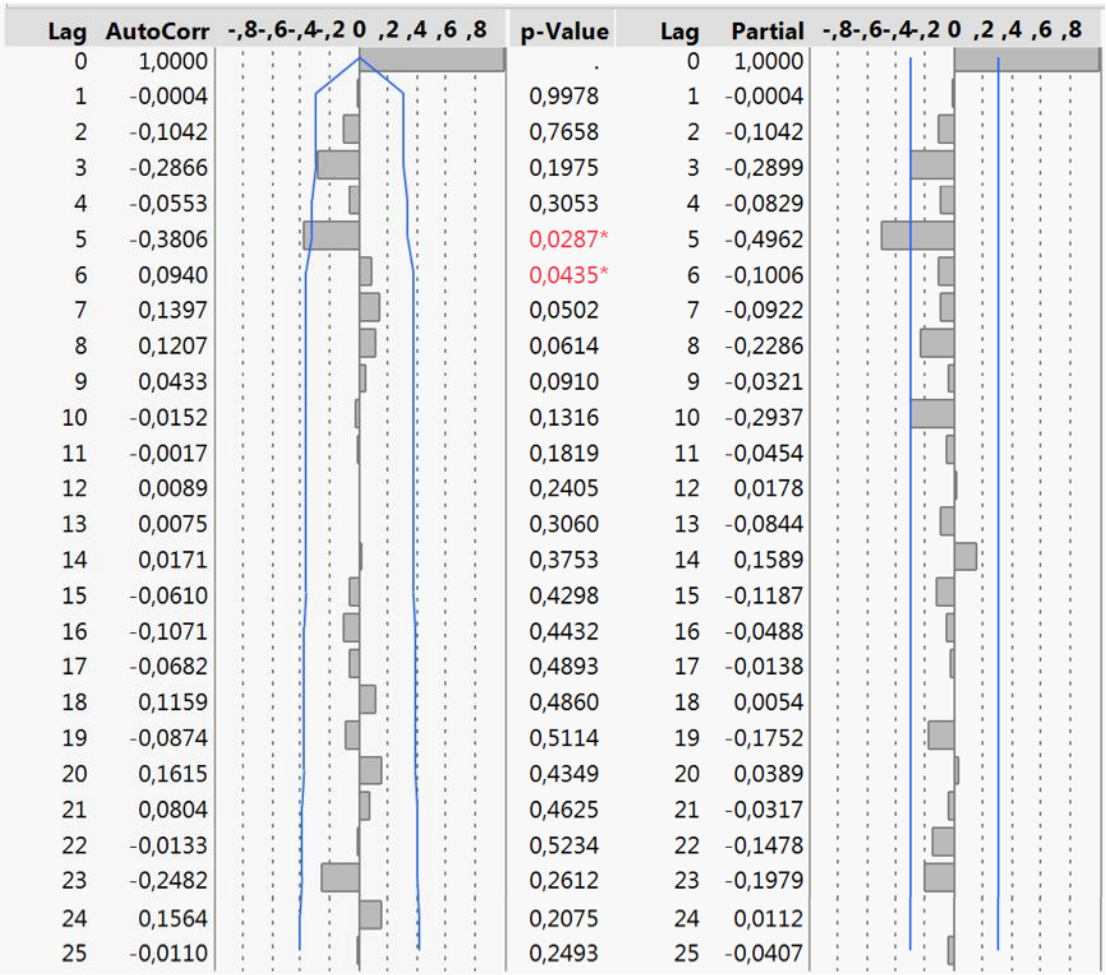
FGO = Frota do Estado de Goiás (um)

FDF = Frota do Distrito Federal (um)

e = ruído branco

B = Operador de defasagem

Figura 54 – Análise dos resíduos do MFT do volume de pneus inservíveis retornados



Lag	AutoCorr	p-Value	Lag	Partial
0	1,0000	.	0	1,0000
1	-0,0004	0,9978	1	-0,0004
2	-0,1042	0,7658	2	-0,1042
3	-0,2866	0,1975	3	-0,2899
4	-0,0553	0,3053	4	-0,0829
5	-0,3806	0,0287*	5	-0,4962
6	0,0940	0,0435*	6	-0,1006
7	0,1397	0,0502	7	-0,0922
8	0,1207	0,0614	8	-0,2286
9	0,0433	0,0910	9	-0,0321
10	-0,0152	0,1316	10	-0,2937
11	-0,0017	0,1819	11	-0,0454
12	0,0089	0,2405	12	0,0178
13	0,0075	0,3060	13	-0,0844
14	0,0171	0,3753	14	0,1589
15	-0,0610	0,4298	15	-0,1187
16	-0,1071	0,4432	16	-0,0488
17	-0,0682	0,4893	17	-0,0138
18	0,1159	0,4860	18	0,0054
19	-0,0874	0,5114	19	-0,1752
20	0,1615	0,4349	20	0,0389
21	0,0804	0,4625	21	-0,0317
22	-0,0133	0,5234	22	-0,1478
23	-0,2482	0,2612	23	-0,1979
24	0,1564	0,2075	24	0,0112
25	-0,0110	0,2493	25	-0,0407

(a) Função de Autocorrelação dos resíduos

(b) *P-value*

(c) Função de Autocorrelação parcial dos resíduos

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Ao analisar os resíduos do modelo de função de transferência do volume de pneus inservíveis retornados na Figura 54, percebe-se que os resíduos, com excessão dos *lags* 5 e 6, apresentaram um *p-value* acima de 5%, variando entre 5,02% e 99,78%. Em relação aos valores dos resíduos da função de autocorrelação e função de autocorrelação parcial, estes indicaram que não há nenhuma sobra de autocorrelação entre os resíduos e o modelo, ou seja, os resíduos não influenciam mais no modelo e podem ser considerados ruídos brancos.

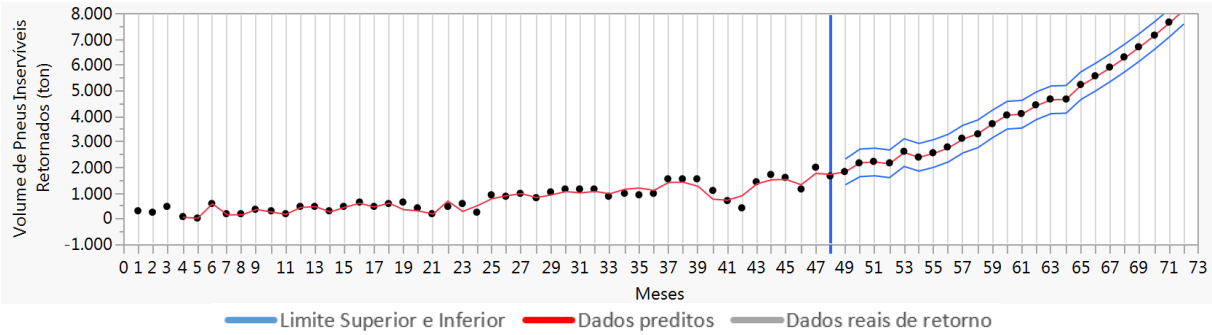
4.5 DETERMINAÇÃO DA PREVISÃO DO RETORNO DOS PNEUS INSERVÍVEIS

A partir da especificação do modelo de função de transferência do volume de pneus inservíveis do Estado de Goiás e Distrito Federal, foi realizado uma previsão de retorno por

meio do *software* JMP *Statistical Discovery*™.

Para a determinação da previsão foram adotados um intervalo de confiança de 95%, e um período de previsão de 24 meses como pode-se observar pela Figura 55 e pela Tabela 23.

Figura 55 – Previsão de retorno dos pneus inservíveis do Estado de Goiás e Distrito Federal



Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Ainda analisando a Figura 55, percebe-se que a figura é dividida em antes do mês 48, que representa o mês de dezembro de 2014, pois contém os dados reais do retorno representados pelos pontos na cor preta e pelos dados preditos representados pela linha na cor vermelha, e os 24 meses após o mês 48, que mostra os dados da previsão tanto pelos pontos pretos quanto pela linha vermelha e as linhas azuis representando os limites inferiores e superiores da previsão.

A partir da Figura 55 pode-se avaliar que o modelo de função de transferência do retorno dos pneus inservíveis apresentou um bom ajuste, visto que, ao analisar a Figura 55 do mês 1 até o mês 48 e comparar o comportamento da série dos dados reais do retorno com os preditos, percebe-se que ambos apresentaram um comportamento aproximado.

Dessa maneira, pressupõem-se que os valores de previsão apresentados na Tabela 23 fiquem próximos ao real, nos quais os valores da previsão indicam um crescimento de 120% para o ano de 2015, que compreende os meses 49 a 60, e um crescimento de 99% para o ano de 2016. Porém para a adoção deste modelo se faz necessário à validação deste com os dados do volume de retorno de pneus inservíveis de janeiro a junho de 2015.

Tabela 23 – Previsão de retorno dos pneus inservíveis do Estado de Goiás e Distrito Federal

Meses	Volume de Pneus Inservíveis retornados (ton)	Previsão do Volume de Pneus Inservíveis retornados (ton)	Limites de Controle Inferior (0,05) Volume de Pneus Inservíveis retornados (ton)	Limites de Controle Superior (0,05) Volume de Pneus Inservíveis retornados (ton)
1	310,9900	-	-	-
2	228,7000	-	-	-
3	455,2500	-	-	-
4	73,5900	73,5900	-429,0394	576,2194
5	37,6000	37,6000	-465,0294	540,2294
6	599,9500	599,9500	97,3206	1.102,5794
7	173,2800	173,2800	-329,3494	675,9094
8	167,2800	167,2800	-335,3494	669,9094
9	380,5100	380,5100	-122,1194	883,1394
10	279,4200	279,4200	-223,2094	782,0494
11	187,3700	187,3700	-315,2594	689,9994
12	459,1400	459,1400	-43,4894	961,7694
13	489,8500	489,8500	-12,7794	992,4794
14	280,7600	280,7600	-221,8694	783,3894
15	466,7200	466,7200	-35,9094	969,3494
16	619,6700	619,6700	117,0406	1.122,2994
17	477,2600	477,2600	-25,3694	979,8894
18	585,4400	626,3767	123,7473	1.129,0061
19	633,8000	369,3423	-133,2871	871,9717
20	393,3200	322,6651	-179,9643	825,2945
21	187,7500	202,1704	-300,4590	704,7998
22	488,5200	707,4527	204,8233	1.210,0821
23	569,1900	301,4734	-201,1560	804,1028
24	223,5700	526,7095	24,0801	1.029,3389
25	923,9700	798,9914	296,3620	1.301,6208
26	839,6300	914,4207	411,7913	1.417,0501
27	990,5600	998,4068	495,7774	1.501,0362
28	790,1800	843,3044	340,6750	1.345,9338
29	1.046,5900	942,9499	440,3205	1.445,5793
30	1.145,9700	1.077,4079	574,7785	1.580,0373
31	1.176,5500	1.025,6906	523,0612	1.528,3200
32	1.178,4200	1.082,9481	580,3187	1.585,5775
33	876,0100	992,1586	489,5292	1.494,7880
34	985,4100	1.165,9015	663,2721	1.668,5309
35	901,5900	1.215,9459	713,3165	1.718,5753
36	970,0000	1.125,0414	622,4120	1.627,6709
37	1.539,7000	1.431,9066	929,2772	1.934,5360
38	1.557,8300	1.441,3429	938,7135	1.943,9723
39	1.540,1700	1.282,0042	779,3748	1.784,6336
40	1.105,3900	780,6891	278,0597	1.283,3185
41	707,7300	739,5242	236,8947	1.242,1536
42	403,5100	918,4352	415,8058	1.421,0647
43	1.419,6800	1.379,0360	876,4066	1.881,6654
44	1.740,9200	1.536,8359	1.034,2065	2.039,4653
45	1.579,9200	1.546,8359	1.044,2065	2.049,4653
46	1.172,7800	1.343,9385	841,3091	1.846,5679
47	1.982,6700	1.784,0163	1.281,3869	2.286,6457
48	1.638,9600	1.752,0425	1.249,4131	2.254,6719
49	-	1.843,6797	1.341,0503	2.346,3091
50	-	2.197,4059	1.659,1332	2.735,6786
51	-	2.232,7667	1.693,6849	2.771,8486
52	-	2.158,7473	1.619,6464	2.697,8481
53	-	2.597,0609	2.057,9596	3.136,1622
54	-	2.414,4805	1.875,3792	2.953,5818
55	-	2.562,3388	2.023,2375	3.101,4401
56	-	2.772,6810	2.233,5797	3.311,7823
57	-	3.125,3636	2.586,2623	3.664,4649
58	-	3.328,9821	2.789,8808	3.868,0834
59	-	3.713,9108	3.174,8095	4.253,0121
60	-	4.055,5676	3.516,4663	4.594,6689
61	-	4.095,1423	3.556,0410	4.634,2436
62	-	4.429,5589	3.890,4576	4.968,6602
63	-	4.657,2600	4.118,1588	5.196,3613
64	-	4.673,6306	4.134,5293	5.212,7319
65	-	5.204,1108	4.665,0096	5.743,2121
66	-	5.542,0217	5.002,9204	6.081,1230
67	-	5.904,5214	5.365,4201	6.443,6227
68	-	6.293,3990	5.754,2977	6.832,5003
69	-	6.710,5741	6.171,4728	7.249,6754
70	-	7.158,1058	6.619,0045	7.697,2071
71	-	7.638,2030	7.099,1017	8.177,3043
72	-	8.153,2354	7.614,1341	8.692,3367

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

4.6 VALIDAÇÃO DO MODELO DE FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DO VOLUME DO RETORNO DOS PNEUS INSERVÍVEIS

Para validar o modelo de função de transferência foram comparando os dados reais com os dados previstos pelo modelo na Tabela 24. Para isso foram utilizados os dados de janeiro a junho de 2015, fornecidos pela empresa "X", e os valores do volume do retorno previsto e limites superior e inferior do modelo apresentados na Tabela 23 dos meses de 49 a 54.

Tabela 24 – Comparação entre os volumes de retorno real e previsto, de janeiro a junho de 2015 com *outlier*

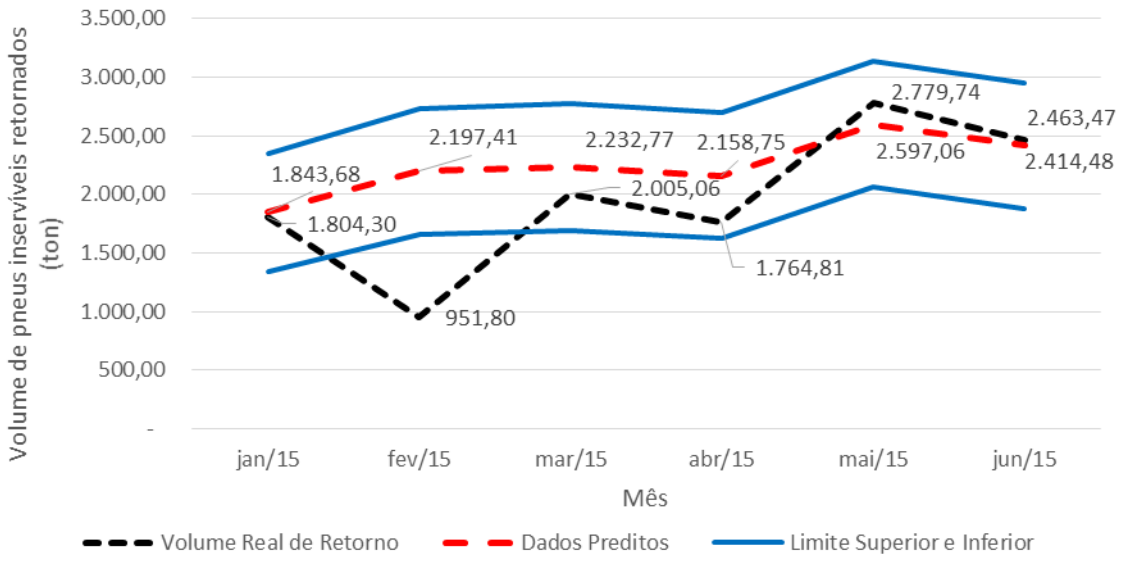
Período	Volume de retorno real (ton)	Volume de retorno previsto (ton)	Limite Superior de controle (ton)	Limite Inferior de controle (ton)
jan/15	1.804,30	1.843,68	2.346,31	1.341,05
fev/15	951,80	2.197,41	2.735,68	1.659,13
mar/15	2.005,06	2.232,77	2.771,85	1.693,68
abr/15	1.764,81	2.158,75	2.697,85	1.619,65
mai/15	2.779,74	2.597,06	3.136,16	2.057,96
jun/15	2.463,47	2.414,48	2.953,58	1.875,38
Total	11.769,18	13.444,14		

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Como pode-se observar na Tabela 24, no mês de fevereiro de 2015, o volume coletado e retornado para a empresa "X" foi de apenas 951,80 toneladas, bem menor que a média do período. Esse fato ocorreu devido ao atraso da liberação da documentação de permissão de coleta e trituração dos pneus inservíveis para a empresa "X", em consequência da necessidade de renovação deste documento provocadas pela entrada do novo governo estadual.

Dessa forma, para facilitar a análise do comparativo dos dados e do comportamento das séries, a partir dos dados da Tabela 24, foi possível montar a Figura 56 com auxílio do *software* Microsoft Excel©, em que os dados do retorno real foram apresentados na linha de cor preta, o resultado da previsão na cor vermelha, e os limites superiores e inferiores representados pela linha na cor azul.

Figura 56 – Comparativo entre os valores reais de retorno e da previsão do modelo



Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Ao se analisar os comportamentos das séries de retorno, previsão e limites, pela Figura 56, percebe-se que em janeiro de 2015 o valor real do retorno e o da previsão do modelo MFT apresentaram um desvio percentual de apenas 2,1%, podendo considerar uma boa previsão.

Já no mês de fevereiro de 2015, o atraso na liberação da documentação repercutiu na quantidade retornada de pneus inservíveis para a empresa “X”, o que fez com que a quantidade retornada real e a previsão apresentassem uma diferença de valor e comportamento da série.

No mês de março de 2015, a empresa “X” buscou sanar o passivo gerado pelo mês de fevereiro de 2015, processando mais do que estava sendo processado nos últimos meses, e em relação ao comportamento das séries, ambas apresentaram um comportamento de crescimento e um desvio percentual de 10,2%.

No mês de abril de 2015 tanto a previsão quanto o valor real apresentarem um comportamento de queda. No entanto, foi o mês de abril que apresentou o maior desvio percentual entre os resultados da previsão e do real, com exceção do mês de fevereiro que pode ser considerado um *outlier*, sendo de 18,2%. Contudo, essa grande redução do volume real retornado se justifica pela presença de dois feriados no mês de abril de 2015, o que impactou negativamente na quantidade retornada.

Devido ao feriado no mês de abril de 2015, o mês de maio de 2015 foi o mês que apresentou a maior quantidade coletada e triturada da empresa “X”, sanando assim todo o

passivo gerado pelos meses anteriores. Neste mês de maio os comportamentos das séries se apresentaram com um crescimento e uma diferença de apenas 7%.

Em junho de 2015, após todo o passivo ser sanado e a operação da empresa “X” voltar a operação normal, percebe-se que a diferença percentual entre o real e o previsto foi de apenas 2%, e que ambas apresentaram um comportamento de queda em relação ao mês de maio de 2015.

Dessa maneira, nota-se que o comportamento do volume do retorno de pneus inservíveis do Estado de Goiás e Distrito Federal apresentou praticamente o mesmo comportamento da previsão, em que todos os valores permaneceram dentro dos limites de controle.

A qualidade da previsão também pode ser observada ao analisar o desvio percentual da somatória dos volumes retornados e previstos dos meses de janeiro a junho de 2015, que foi de 12,5%, porém se o mês de fevereiro for substituído pela média deste mesmo período, visto que pode ser considerado como um *outlier*, o desvio percentual cai par 3,4%.

Para a análise numérica dos resultados, o mês de fevereiro foi tratado como um *outlier*, e seu valor foi substituído pela média do período de janeiro a junho de 2015, o que gerou a Tabela 25.

Tabela 25 – Comparativo volume de retorno real, sem *outlier*, e previsto de janeiro a junho de 2015

Período	Volume de retorno real (ton)	Volume de retorno previsto do MFT (ton)
jan/15	1.804,30	1.843,68
fev/15	2.163,48	2.197,41
mar/15	2.005,06	2.232,77
abr/15	1.764,81	2.158,75
mai/15	2.779,74	2.597,06
jun/15	2.463,47	2.414,48
Total	12.980,86	13.444,14

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

A partir da Tabela 25, foi possível calcular o MSE ou variância pela Equação 31, para analisar a precisão das previsões, o MAPE pela Equação 14, avaliando o erro da previsão e R^2, segundo a Equação 13, para observar o ajuste da previsão. Estes indicadores da previsão foram

comparados aos indicadores do ajuste do modelo para avaliar como o modelo de previsão é capaz de prever o retorno dos pneus inservíveis, sendo apresentados pela Tabela 26.

Tabela 26 – Comparativo dos indicadores do ajuste e previsão do modelo

Modelo	Variância	R^2	MAPE
MFT com resíduo ARIMA (1, 0, 2)	65.765,7233	0,900499	15,37554
Previsão	40.918,4217	0,241013	7,66495

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Conforme pode-se constatar pela Tabela 26, apesar do R^2 apresentar um ajuste de apenas 24,10%, a previsão apresentou resultados melhores de variância, de 40.918,42 e MAPE de 7,66% de erro, sendo assim considerado uma boa previsão.

E para corroborar a adoção do modelo de função de transferência para prever o retorno dos pneus inservíveis e da escolha correta das variáveis de entrada do modelo, a série histórica do volume de pneus inservíveis retornados foi analisada como um modelo ARIMA univariado, a fim de comparar os resultados da previsão de ambos os modelos.

Para determinar o modelo ARIMA que melhor representa a série do volume de pneus inservíveis retornados foi adotado o $d = 3$, visto que a série necessitou de 3 diferenciações para se tornar estacionária, e os valores de p e q variaram de 0 a 2. Os resultados foram apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 – Análise ARIMA da variável do volume de pneus inservíveis retornados

Modelo	Variância	AIC	SBC	R^2	MAPE	MAE
ARIMA(0, 3, 2)	118.014,5116	666,754883	672,17487	0,39839	96,47156	291,472233
ARIMA(1, 3, 2)	114.079,4575	667,053196	674,279846	0,42175	92,65876	283,855701
ARIMA(2, 3, 1)	173988,6195	680,59635	687,823	0,25507	94,37095	312,171031
ARIMA(1, 3, 1)	212495,7436	687,53453	692,954517	0,08405	101,2966	361,814653
ARIMA(2, 3, 2)	221284,1026	691,31886	700,352172	0,08699	101,0329	361,654255
ARIMA(0, 3, 1)	276281,6882	697,300233	700,913558	-0,16778	124,6445	416,432657
ARIMA(2, 3, 0)	358279,8788	707,345674	712,765661	-0,38659	114,7737	446,142912
ARIMA(1, 3, 0)	482725,6198	719,170284	722,783609	-0,88036	139,8947	538,210963
ARIMA(0, 3, 0)	761183,7769	738,111544	739,918207	-1,98073	195,8602	670,607852

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Pela Tabela 27 percebe-se que os melhores modelos foram os ARIMA (0, 3, 2) e ARIMA (1, 3, 2), pois o modelo ARIMA (0, 3, 2) apresentou os melhores resultados do AIC

(666,75) e SBC (672,17), e o modelo (1, 3, 2) obteve os melhores resultados da variância (114.079,4575), do R^2 (0,4217), MAPE (92,66) e MAE (283,8557).

Porém ao se analisar os parâmetros estimado do modelo ARIMA pelas Figuras 57, do modelo ARIMA (0, 3, 2), e Figura 58, do modelo ARIMA (1, 3, 2), observa-se que o parâmetro autoregressivo do modelo ARIMA (1, 3, 2) não é significativo devido a probabilidade de encontrar um resultado melhor que o apresentado pelo teste *t* é de 17%. Sendo assim o modelo que melhor explica a série histórica do volume de pneus inservíveis retornados é o modelo ARIMA (0, 3, 2).

Figura 57 – Parâmetros estimados do modelo ARIMA (0, 3, 2) para o volume de pneus inservíveis retornados

Parameter Estimates

Term	Lag	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob>|t|	Constant Estimate
MA1	1	1,986730	0,0837719	23,72	<,0001*	-0,0687053
MA2	2	-0,999989	0,0818240	-12,22	<,0001*	
Intercept	0	-0,068705	0,6719587	-0,10	0,9190	

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Figura 58 – Parâmetros estimados do modelo ARIMA (1, 3, 2) para o volume de pneus inservíveis retornados

Parameter Estimates

Term	Lag	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob>|t|	Constant Estimate
AR1	1	-0,198187	0,1418791	-1,40	0,1700	-0,0402116
MA1	1	1,988964	0,0846701	23,49	<,0001*	
MA2	2	-1,000000	0,0840597	-11,90	<,0001*	
Intercept	0	-0,033560	0,4936099	-0,07	0,9461	

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

A partir da escolha do melhor modelo ARIMA (0, 3, 2), os valores da previsão do modelo ARIMA (0, 3, 2), do período de janeiro a junho de 2015, forma comparados com os valores do MFT e com o volume de retorno real sem *outlier*, na Tabela 28 para avaliar qual o modelo é capaz de apresentar os melhores resultados para previsão.

Tabela 28 – Comparativo volume do retorno real, sem *outlier*, e previsto de janeiro a junho de 2015

Período	Volume de retorno real (ton)	Volume de retorno previsto do MFT (ton)	Volume de retorno previsto do ARIMA (ton)
jan/15	1.804,30	1.843,68	1.669,24
fev/15	2.163,48	2.197,41	1.699,46
mar/15	2.005,06	2.232,77	1.729,57
abr/15	1.764,81	2.158,75	1.759,48
mai/15	2.779,74	2.597,06	1.789,13
jun/15	2.463,47	2.414,48	1.818,46
Total	12.980,86	13.444,14	10.465,35

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

De acordo com a Tabela 28, foi possível avaliar que o desvio percentual da somatória do volume real retornado, dos meses de janeiro a junho de 2015, e a previsão no MFT foi de 3,4%, enquanto pelo modelo ARIMA univariado foi de 24%.

Dessa maneira, a partir das variáveis do mercado de reposição e frota do Estado de Goiás e Distrito Federal, o modelo de função de transferência se mostrou uma metodologia capaz de realizar a previsão do retorno de pneus inservíveis para o Estado de Goiás e Distrito Federal, apresentando um bom ajuste, precisão e comportamento.

CAPÍTULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo visa apresentar as conclusões obtidas a partir da pesquisa realizada, assim como as recomendações para projetos futuros.

5.1 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo aplicar um modelo de previsão, no qual foi aplicado o modelo causal denominado Modelo de Função de Transferência, na cadeia de suprimentos de ciclo fechado de pneus, para estimar o volume de pneus inservíveis que são retornados mensalmente, a partir dos registros da quantidade de pneus que entram no mercado e da quantidade de pneus que são destinados.

A partir da identificação do problema e entendimento da cadeia de suprimentos de ciclo fechado de pneus no Brasil foi desenvolvida a cadeia de suprimentos de ciclo fechado do Estado de Goiás e do Distrito Federal, a fim de identificar as formas de entrada de pneus novos no mercado e formas de retirada de pneus do mercado.

Através desse desenvolvimento foi possível identificar que há duas formas de entrada de pneus novos no mercado, que são o mercado de reposição de pneus e os pneus que equipam os veículos novos, e que há um ponto de consolidação dos pneus inservíveis para retirá-los do mercado, através de uma organização (Empresa X) que retira os pneus inservíveis do mercado, processa e os encaminha para empresas que dão a destinação final ambientalmente correta.

Após a definição da estrutura da cadeia de suprimentos de ciclo fechado de pneus do Estado de Goiás e Distrito Federal, os dados do mercado de reposição foram coletados nos bancos de dados da ANIP, AliceWeb e IBAMA, dos pneus que equipam veículos novos foi coletado no DENATRAN e do volume de pneus inservíveis retornados foi no banco de dados da empresa “X”.

Visando obter dados mais confiáveis, os dados coletados foram analisados a fim de identificar *outliers* nas séries históricas. Foi possível identificar dois *outliers* no volume de pneus inservíveis retornados e estes foram substituídos pelas médias de seus respectivos períodos.

Com os *outliers* retirados da amostra, as variáveis de entrada (mercados de reposição

e as frotas) e a variável de saída (volume de pneus inservíveis retornados) foram submetidas às análises de tendência, sazonalidade e estacionariedade. Nenhuma série apresentou tendência, sazonalidade e somente as séries das frotas de Goiás, Distrito Federal e volume de pneus inservíveis retornados apresentaram características de não estacionariedade. E com essa análise, as três séries não estacionárias foram diferenciadas, sendo necessárias 3, 2 e 3 diferenciações respectivamente para torná-las estacionárias.

Após a diferenciação, foi realizado o pré-branqueamento dos dados a fim de avaliar o comportamento das séries de entrada que influenciaram o retorno dos pneus inservíveis. O modelo ARIMA que melhor explicou o comportamento do mercado de reposição do Estado de Goiás foi o ARIMA (1, 0, 2), o do mercado de reposição do Distrito Federal foi o ARIMA (0, 0, 0), da frota do Estado de Goiás foi o ARIMA (0, 3, 2) e da frota do Distrito Federal foi o ARIMA (0, 2, 1).

A partir dos modelos ARIMA das variáveis de entrada determinados, foi realizado a análise da função de correlação cruzada e a função resposta do impulso, entre os resíduos das séries de entrada com o resíduo da série de saída.

Nestas análises constatou-se que o mercado de reposição do Estado de Goiás possui uma defasagem de 11 meses em relação ao volume de pneus inservíveis retornados e a probabilidade de retorno de 45,55% neste respectivo mês. O mercado de reposição do Distrito Federal apresentou um atraso de 12 meses com a probabilidade de 100%, a frota de Goiás apontou um *lag* de 12 meses com apenas 3,72% e a frota do Distrito Federal uma defasagem de 10 meses e probabilidade de retorno de 5,15%.

Diante das informações pôde-se observar que os mercados de reposição do Estado de Goiás e Distrito Federal refletem seu comportamento na variável de saída de uma forma pontual e significativa nos respectivos *lags* de 11 e 12 meses, devido às altas probabilidades apresentadas pela função resposta ao impulso. Este fato não ocorreu com as frotas do Estado de Goiás e Distrito Federal, que apresentaram baixas probabilidades de retorno dos pneus inservíveis nos *lags*, de 12 e 10 meses, que registraram maior correlação com a variável de saída.

Assim sendo, constata-se que o retorno dos pneus inservíveis provenientes da venda de veículos novos à cadeia de suprimentos de ciclo fechado não apresenta um tempo específico

de retorno como nos mercados de reposição, mas retornos fracionados ao longo do tempo, e que a baixa probabilidade de retorno reflete o comportamento dos consumidores que não possuem a conscientização de destinação ambientalmente correta dos pneus inservíveis.

Dessa forma, os parâmetros do modelo de função de transferência foram estimados e o resíduo foi obtido para análise de seu comportamento. Por meio da análise ARIMA, foi possível identificar que o modelo ARIMA que melhor explica o comportamento do resíduo era o modelo ARIMA (1, 0, 2).

Com o modelo ARIMA do resíduo definido, determinou-se os parâmetros do modelo de função de transferência e consequentemente a equação do MFT do volume de pneus inservíveis retornados.

A partir do modelo de função de transferência do volume de pneus inservíveis estabelecido, foi realizado a previsão do retorno, com um crescimento de 120% no ano de 2015 e de 99% no ano de 2016.

Ao realizar a validação da previsão do modelo de função de transferência com os dados de janeiro a junho de 2015, percebeu-se que o desvio percentual dos dados previstos pelo modelo em relação aos dados reais do retorno da empresa “X” (com remoção de *outliers*), apresentaram um percentual de 3,4%.

Após a validação da previsão do MFT, foi possível validar a adoção das variáveis de entrada, que são o mercado de reposição e a frota, pois o desvio percentual dos dados previstos da modelagem da série histórica do volume de pneus inservíveis, pelo modelo ARIMA (0, 3, 2) e dos dados reais do retorno da empresa “X” sem *outlier*, do mesmo período de janeiro a junho de 2015 foi de 24%.

A partir de todas as análises realizadas conclui-se que para quantificar o retorno de produtos, este não deve ser observado somente pela ótica da logística reversa, como que seu desempenho não dependesse de fatores externos a sua série histórica, e sim como uma cadeia de suprimentos de ciclo fechado, em que todos os *players* influenciam de forma direta e indiretamente no resultado da cadeia.

Dessa forma, dentre todas as possibilidades de modelos de previsão, o Modelo de Função de Transferência, foi o que se mostrou capaz de incluir na modelagem a influência dos

fatores externos nos resultados de saída do modelo.

Na cadeia de suprimentos de ciclo fechado de pneus, constatou-se que os fatores externos (mercado de reposição e a frota), proporcionaram um melhor resultado da análise da quantidade e do tempo que os pneus inservíveis irão retornar, visto que os resultados do modelo de previsão, tanto em relação aos valores obtidos quanto do comportamento da série, se mostraram satisfatórios.

Ao analisar o fator tempo de defasagem das frotas em relação ao volume de pneus inservíveis retornado obtidos nesta pesquisa, que foram de 10 meses para a frota do Distrito Federal e de 12 meses para a frota do Estado de Goiás, ambos resultados corroboram com o tempo de defasagem adotados na literatura e por especialistas da área, pois ambos afirmam um tempo de defasagem de 1 ano para os pneus inservíveis começarem a retornar.

No entanto percebe-se que a probabilidade de retorno da frota do Estado de Goiás e do Distrito Federal não ocorrem de forma pontual no décimo segundo mês, como é o caso dos mercados de reposição, podendo retornar nos meses anteriores e posteriores com uma probabilidade menor de ocorrência. E devido à baixa probabilidade de retorno dos pneus inservíveis da frota, são necessárias medidas direcionadas a população visando a conscientização de destinação dos pneus após sua utilização.

Com os resultados das análises, conclui-se que as redes de suprimento de ciclo fechado de pneus do Estado de Goiás e do Distrito Federal estão estruturadas, e a partir da previsão do retorno desenvolvida neste estudo, os elos dessa cadeia poderão planejar de forma mais eficiente suas operações viabilizando o planejamento da cadeia de suprimentos de ciclo fechado de pneus.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA PROJETOS FUTUROS

Como continuidade ao presente estudo, recomenda-se a ampliação deste trabalho para os demais estados brasileiros, a fim de identificar os tempos de defasagem e a probabilidade de retorno dos pneus inservíveis, proporcionando assim análise comparativas das regiões brasileiras.

Por este trabalho aplicar somente variáveis quantitativas no dimensionamento da cadeia de suprimentos de ciclo fechado de pneus, visto que os fatores qualitativos não puderam

ser inseridos neste trabalho, propõem-se como recomendações futuras a aplicação da lógica fuzzy para determinação dos parâmetros socioeconômicos que também podem influenciar no retorno dos pneus inservíveis como: a densidade populacional, nível educacional, poder aquisitivo, entre outros.

Outra recomendação é o monitoramento da performance do modelo de previsão, visto que, devido ao aumento do dólar em 2015 a quantidade de pneus importados pode ser comprometida, impactando negativamente na quantidade de pneus novos importados e aumentando a quantidade de pneus comprados das fábricas nacionais. Posto que, a quantidade de pneus novos que entram para o mercado de reposição oriundos das fábricas nacionais, não foram consideradas neste trabalho em virtude da falta de disponibilidade das informações fornecidas pelas fábricas e associações de pneus novos.

REFERÊNCIAS

ACAR, Y.; GARDNER JR, E. S. *Forecasting Method Selection in a Global Supply Chain*, ***International Journal of Forecasting***, v. 28, 2012. p. 842-848.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos: Análise de Viabilidade Técnica e Econômica**. Brasília, 2012. Disponível em <http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1362058667.pdf>. Acesso em 22 mar. 2015.

AGRAWAL, S; SINGH, R.; MURTAZA, Q. *Forecasting Product Returns for Recycling in Indian Electronics Industry*, ***Journal of Advances in Management Research***, v. 11, 2014. p. 102-114.

ALI, M. M., BOYLAN, J. E., SYNTETOS, A. A. *Forecast Errors and Inventory Performance Under Forecast Information Sharing*, ***International Journal of Forecasting***, v. 28, 2012. p. 830-841.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS. **Livro Branco da Indústria de Pneus - uma política industrial para o setor**. 1ª. ed. São Paulo: ANIP, 2015a.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS. **Relatório ANIP - Produção e Vendas 2014**, 2015b. Disponível em: <http://www.anip.com.br/arquivos/producao_vendas.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2015.

BAKI, M. F.; CHAOUCH, B. A.; ABDUL-KADER, W. *A Heuristic Solution Procedure for the Dynamic Lot Sizing Problem with Remanufacturing and Product Recovery*, ***Computers & Operations Research***, v.43, 2014. p. 225-236.

BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M.; REINSEL, G. C. ***Time Series Analysis: Forecasting and Control.*** 4ª. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2008.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Diário Oficial da União**, Brasília, 17 Fevereiro 1998. Seção 1, p. 1.

BRASIL. Resolução nº 416, de 30 de setembro de 2009. **Diário Oficial da União nº188**, Brasília, 1 Outubro 2009. p. 64-65.

BRASIL. **Resolução nº416, de 30 de setembto de 2009**. Brásilia: [s.n.], 2009.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Diário Oficial da União**,

CARRASCO-GALLEGO, R.; PONCE-CUETO, E. ***Forecasting the Returns in Reusable Containers' Closed-loop Supply Chains. A Case in the LPG Industry***. *3rd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management - XIII Congreso de Ingeniería de Organización Barcelona-Terrassa. Barcelona:* [s.n.]. 2009.

CARTER, C.; ROGERS, D. *A Framework of Sustainable Supply Chain Management: Moving Toward New Theory*, ***International Journal of Physical Distribution & Logistics Management***, v. 38, 2008. p. 360 - 387.

CAUCHICK MIGUEL, PAULO A.. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012.

CONTROLADORIA GERAL DA UNIÃO. **E-sic – Sistema Eletrônico do Serviço de Informação ao Cidadão**. Brasília, 2015. Disponível em: < http://www.acessoainformacao.gov.br/sistema/site/index.html?ReturnUrl=%2fsistema%2f>. Acesso em: 10 ago. 2015.

COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS. *Supply Chain Management Terms and Glossary*, 2013. Disponível em < https://cscmp.org/sites/default/files/user_uploads/resources/downloads/glossary-2013.pdf?utm_source=cscmpsite&utm_medium=clicklinks&utm_content=glossary&utm_campaign=GlossaryPDF>. Acesso em 28 jan. 2015.

DAT L. Q.; LINH D. T. T.; CHOU S.; YU V. F. *Optimizing Reverse Logistic Costs for Recycling End-Of-Life Electrical and Electronic Products*. ***Expert Systems with Applications***, v. 39, 2012. p. 6380-6387.

DEMIREL, E.; DEMIREL, N.; GÖKÇEN, H. *A Mixed Integer Linear Programming Model to Optimize Reverse Logistics Activities of End-Of-Life Vehicles in Turkey*. ***Journal of Cleaner Production***, 2014. p. 1-13.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. Frota de veículos 2015. Disponível em < http://www.denatran.gov.br/frota.htm>. Acesso em 26 mar. 2015.

EFENDIGIL, T.; ÖNÜT, S.; KAHRAMAN, C. A. *Decision Support System for Demand Forecasting with Artificial Neural Networks and Neuro-Fuzzy Models: A Comparative Analysis,* ***Expert Systems with Applications***, v. 36, 2009. p. 6697-6707.

FILDES, R. *The Forecasting Journals and their Contribution to Forecasting Research: Citation Analysis and Expert Opinion,* ***International Journal of Forecasting***, v. 22, 2006. p. 415-432.

FILDES, R.; GOODWIN, P.; LAWRENCE, M.; NIKOLOPOULOS, K. *Effective Forecasting and Judgmental Adjustments: an Empirical Evaluation and Strategies for Improvement in Supply-chain Planning,* ***International Journal of Forecasting***, v. 25, 2009. p. 3-23.

GOVINDAN, K.; SOLEIMANI, H.; KANNAN, D. *Reverse Logistics and Closed-loop Supply Chain: A Comprehensive Review to Explore the Future.* ***European Journal of Operational Research***, v. 240, 2015. p. 603-626.

GUIDE JR, V. D. R.; WASSENHOVE, L. N. V. *The Evolution of Closed-Loop Supply Chain Research.* ***Operations Research***, v. 57, 2009. p. 10-18.

IBAMA, Insituto Brasileiro Desenvolvimento Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de Pneumáticos - Resolução CONAMA nº 416/09**. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Brasília, 2011.

IBAMA, Insituto Brasileiro Desenvolvimento Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de Pneumáticos - Resolução CONAMA nº 416/09**. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Brasília, 2012.

IBAMA, Insituto Brasileiro Desenvolvimento Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de Pneumáticos - Resolução CONAMA nº 416/09**. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Brasília, 2013.

IBAMA, Insituto Brasileiro Desenvolvimento Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de Pneumáticos - Resolução CONAMA nº 416/09**. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Brasília, 2014.

IBAMA, Insituto Brasileiro Desenvolvimento Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de Pneumáticos - Resolução CONAMA nº 416/09**. MINISTÉRIO DO

MEIO AMBIENTE. Brasília, 2015.

KRAPP, M.; NEBEL, J.; SAHAMIE, R. *Forecasting Product Returns in Closed-loop Supply Chains.* ***International Journal of Physical Distribution & Logistics Management***, v. 43, 2013a. p. 614 - 637.

KRAPP, M.; NEBEL, J.; SAHAMIE, R. *Using Forescast and Managerial Accounting Information to Enhance Closed-loop Supply Chain Management.* ***OR Spectrum***, v. 35, 2013b. p. 975-1007.

KUMAR D. T.; SOLEIMANI H.; KANNAN G. *Forecasting Return Products in an Integrated Forward/Reverse Supply Chain Utilizing an Anfis*. ***International Journal of Applied Mathematics and Computer Science***, v. 24, 2014. p. 669-682.

LAGARINHOS, C. A. F.; TENÓRIO, J. A. S. Logística Reversa dos Pneus Usados no Brasil. **Polímeros**, São Carlos, v. 23, 2013. p. 49-58.

LEITE, P. R. **Logística Reversa:** Meio Ambiente e Competitividade. 2ª. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

LIANG, X.; JIN, X.; NI, J. *Forecasting Product Returns for Remanufacturing Systems.* ***Journal of Remanufacturing***, v. 4, 2014.

LJUNG, G. M.; LEDOLTER, J.; ABRAHAM, B. *George Box's Contributions to Time Series Analysis and Forecasting*, ***Applied Stochastic Models in Business and Industry***, v. 30, 2014. p. 25-35.

MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. ***Cradle to cradle – Remaking the Way We Make Things***. 1ª. ed. New York: North Point Press, 2002.

MONTGOMERY, D. C.; JENNINGS, C. L.; KULAHCI, M. ***Time Series Analysis and Forecasting***. 2ª. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2015.

NIKNEJAD, A.; PETROVIC, D. *Optimisation of Integrated Reverse Logistics Networks With Different Product Recovery Routes.* ***European Journal of Operational Research***, v. 238, 2014. p. 143–154.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Guide to Corporate Sustainability*. *United*

Nations Global Compact, 2015. Disponível em < https://www.unglobalcompact.org/docs/publications/UN_Global_Compact_Guide_to_Corporate_Sustainability.pdf>. Acesso em 25 jun. 2015.

PATI, R. K.; VRAT, P.; KUMAR, P. *Quantifying Bullwhip Effect in a Closed Loop Supply Chain.* ***OPSEARCH***, v. 47, 2010. p.231-253.

POTDAR, A.; ROGERS, J. *Reason-code Based Model to Forecast Product Returns.* ***Foresight***, v. 14, 2012. p. 105-120.

RECICLANIP. **Site da Reciclanip**, 2015a. Disponível em: <http://www.reciclanip.org.br/v3/pontos-coleta/brasil>. Acesso em: 23 Maio 2015.

RECICLANIP. **Site da Reciclanip**, 2015b. Reciclanip Retirou do Meio Ambiente 445 Mil Toneladas de Pneus Inservíveis em 2014, o Equivalente a 89 Milhões de Pneus de Passeio. Disponível em: < http://www.reciclanip.org.br/v3/releases/reciclanip-retirou-do-meio-ambiente-445-mil-toneladas-de-pneus-inserviveis-em-2014-o-equivalente-a-89-milhoes-de-pneus-de-passeio/74/20150214/>. Acesso em: 23 Maio 2015.

ROGERS, D.; TIBBEN-LEMBKE, R. *An Examination of Reverse Logistics Practices.* ***Journal of Business Logistics***, v. 22, 2001. p. 129–148.

ROGHANIAN E.; PAZHOHESHFARB P. *An Optimization Model for Reverse Logistics Network Under Stochastic Environment by Using Genetic Algorithm.* ***Journal of Manufacturing Systems***, v. 33, 2014. p. 348–356.

SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR. **Dados Estatísticos sobre a importação e exportação de pneus no período de 2011 a 2015**. Brasília: Secex, 2015a. Disponível em: <http://www.aliceweb.desenvolvimento.org.br>. Acesso em: 08 ago. 2015.

SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR. **Definição importação e exportação para UF**. Brasília: Secex, 2015b. Disponível em: < http://aliceweb.mdic.gov.br//menu/index/item/metodologia>. Acesso em: 08 ago. 2015.

SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR. **Lista NCM**. Brasília: Secex, 2015c. Disponível em: < http://aliceweb.mdic.gov.br//menu/index/item/variaveisConsulta>. Acesso em: 08 ago. 2015.

TEMUR, G. T.; BALCILAR, M.; BOLAT, B. *A Fuzzy Expert System Design for Forecasting Return Quantity in Reverse Logistics Network.* ***Journal of Enterprise Information Management***, v. 27, 2014. p. 316-328.

TOKTAY, L. B.; WEIN, L. M.; ZENIOS, S. A. *Inventory Management of Remanufacturable Products.* ***Managment Science***, v. 46, 2000. p. 1412-1426.

TONANONT, A.; YIMSIRI, S.; JITPITAKLERT, W.; ROGERS, K. J. *Performance Evaluation in Reverse Logistics With Data Envelopment Analysis*. In. ***Proceedings of the 2008 Industrial Engineering Research Conference***. p. 764-769.

UNIÃO EUROPÉIA. *Directiva 2008/98/Ce do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Novembro de 2008 Relativa aos Resíduos e que Revoga Certas Directivas*. *Jornal Oficial da União Europeia*, 2008. Disponível em < http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=PT>. Acesso em 20 fev. 2015.

XAVIER, L. C.; CORRÊA, H. L. **Sistemas de Logística Reversa**. São Paulo: Atlas S.A, 2013.

ZERHOUNI, H.; GAYON, J.-P.; FREIN, Y. *Influence of Dependency Between Demands and Returns in a Reverse Logistics System.* ***International Journal of Production Economics***, v. 143, 2013. p. 62-71.

APÊNDICE A – Questionário semiestruturado aplicado com um *expert*.

1. Há quanto tempo o senhor trabalha com pneus? Com fábrica e/ou distribuidora de pneus? E qual foi o tempo em cada uma delas?

2. Quais as principais variáveis que interferem na estruturação da logística reversa do pneu inservível?

3. Como é o processo de recebimento de pneus inservíveis nas empresas distribuidoras de pneus novos?

4. Como é o processo de destinação de pneus inservíveis das distribuidoras do Estado de Goiás e do Distrito Federal?

5. Qual a tendência do mercado em relação a reutilização dos resíduos dos pneus inservíveis?

6. Como tem sido tratada em nosso estado devolução de pneus inservíveis?

7. Existe um programa para a reutilização destes resíduos em nosso estado?

8. Quem são os principais parceiros de relacionamento na cadeia de suprimentos de ciclo fechado dos pneus de Goiás e Distrito Federal?

9. As distribuidoras estão preparadas para absorver o retorno destes pneus e dar destino até as empresas de reciclagem?

10. Como o senhor vê hoje os resultados obtidos em nosso estado com a reciclagem dos pneus inservíveis?

APÊNDICE B – Frota de veículos do Distrito Federal e do Estado de Goiás de Janeiro de 2011 à Junho de 2015.

Período	Distrito Federal (un)	Goiás (un)
jan/11	1.253.876	2.444.252
fev/11	1.262.270	2.462.848
mar/11	1.270.644	2.484.329
abr/11	1.277.445	2.505.274
mai/11	1.286.284	2.528.471
jun/11	1.294.225	2.550.234
jul/11	1.300.140	2.572.961
ago/11	1.308.463	2.596.122
set/11	1.314.374	2.617.156
out/11	1.321.552	2.634.623
nov/11	1.326.072	2.655.445
dez/11	1.331.933	2.679.948
jan/12	1.339.646	2.696.978
fev/12	1.346.861	2.715.151
mar/12	1.355.142	2.735.343
abr/12	1.361.070	2.752.193
mai/12	1.366.976	2.772.023
jun/12	1.375.824	2.793.147
jul/12	1.385.229	2.815.749
ago/12	1.396.371	2.840.855
set/12	1.400.465	2.860.178
out/12	1.407.412	2.882.143
nov/12	1.413.413	2.902.892
dez/12	1.420.971	2.929.508
jan/13	1.430.782	2.947.476
fev/13	1.437.090	2.963.483
mar/13	1.445.036	2.982.330
abr/13	1.452.843	3.002.793
mai/13	1.460.099	3.022.501
jun/13	1.466.202	3.044.011
jul/13	1.475.047	3.065.430
ago/13	1.481.998	3.087.309
set/13	1.488.933	3.106.782
out/13	1.497.075	3.125.333
nov/13	1.502.751	3.145.903
dez/13	1.511.110	3.169.088
jan/14	1.521.081	3.187.304
fev/14	1.527.912	3.205.901
mar/14	1.532.583	3.223.125
abr/14	1.540.236	3.241.096
mai/14	1.545.990	3.259.359
jun/14	1.550.368	3.276.399
jul/14	1.556.499	3.295.425
ago/14	1.560.780	3.312.836
set/14	1.566.814	3.332.523
out/14	1.573.503	3.349.275
nov/14	1.577.813	3.367.896
dez/14	1.586.169	3.386.702
jan/15	1.594.636	3.398.586
fev/15	1.600.786	3.411.592
mar/15	1.607.138	3.428.423
abr/15	1.611.733	3.442.771
mai/15	1.616.445	3.455.857
jun/15	1.621.574	3.470.399
jul/15	1.627.141	3.484.975

APÊNDICE C – Importação e exportação de pneus do Distrito Federal e do Estado de Goiás de Janeiro de 2011 à Junho de 2015.

Período	Distrito Federal		Goiás	
	Importado (ton)	Exportado (ton)	Importado (ton)	Exportado (ton)
jan/11	425,93	0	656,35	0
fev/11	359,37	0	634,79	0
mar/11	348,88	0	347,60	0
abr/11	585,06	0	616,14	0
mai/11	440,41	0	733,67	0
jun/11	326,62	0	627,00	0
jul/11	467,74	0	466,36	0
ago/11	344,03	0	982,09	0
set/11	728,96	0	748,67	0
out/11	210,08	0	405,65	0
nov/11	360,21	0	737,76	0
dez/11	148,80	0	982,42	0
jan/12	204,09	0	584,30	0
fev/12	352,50	0	418,15	0
mar/12	207,34	0	612,16	0,149
abr/12	279,75	0	378,26	0
mai/12	317,11	0	336,47	0
jun/12	255,97	0	303,67	0
jul/12	244,04	0	227,70	0
ago/12	225,43	0	702,12	0
set/12	284,62	0	276,77	0
out/12	188,84	0	434,24	0,2
nov/12	299,63	0	536,29	0
dez/12	373,84	0	273,78	0
jan/13	228,78	0	787,32	0
fev/13	178,11	0	262,37	0,02
mar/13	275,76	0	413,49	0
abr/13	489,36	0	492,06	0
mai/13	501,96	0	613,94	0
jun/13	445,72	0	417,12	0
jul/13	372,65	0	793,16	0
ago/13	430,79	0	540,62	0
set/13	250,46	0	398,81	0
out/13	397,06	0	609,63	0
nov/13	198,74	0	441,83	0,1
dez/13	356,93	0	325,45	0
jan/14	398,41	0	407,00	0
fev/14	236,69	0	298,49	0
mar/14	213,59	0	242,11	0
abr/14	376,28	0	410,50	0
mai/14	164,71	0	277,71	0
jun/14	529,16	0	176,00	0,143
jul/14	454,86	0	219,11	0,185
ago/14	300,18	0	366,93	0
set/14	304,43	0	256,34	0
out/14	334,59	0	157,35	0
nov/14	217,71	0	155,54	0
dez/14	254,68	0	164,29	0
jan/15	205,50	0	165,44	0
fev/15	238,57	0	63,41	0
mar/15	176,47	0	153,66	0,074
abr/15	278,22	0	364,84	0
mai/15	266,87	0	266,46	0
jun/15	234,02	0	196,70	0

APÊNDICE D – Volume de pneus inservíveis retornados do Distrito Federal e do Estado de Goiás de Janeiro de 2011 à Junho de 2015.

Período	Volume de Pneus Inservíveis Retornados (ton)
jan/11	310,99
fev/11	228,70
mar/11	455,25
abr/11	73,59
mai/11	37,60
jun/11	599,95
jul/11	173,28
ago/11	167,28
set/11	380,51
out/11	1026,20
nov/11	187,37
dez/11	459,14
jan/12	489,85
fev/12	280,76
mar/12	466,72
abr/12	619,67
mai/12	477,26
jun/12	585,44
jul/12	633,80
ago/12	393,32
set/12	187,75
out/12	488,52
nov/12	569,19
dez/12	223,57
jan/13	923,97
fev/13	839,63
mar/13	990,56
abr/13	790,18
mai/13	1046,59
jun/13	1145,97
jul/13	1176,55
ago/13	1178,42
set/13	876,01
out/13	16,07
nov/13	901,59
dez/13	970,00
jan/14	1539,70
fev/14	1557,83
mar/14	1540,17
abr/14	1105,39
mai/14	707,73
jun/14	403,51
jul/14	1419,68
ago/14	1740,92
set/14	1579,92
out/14	1172,78
nov/14	1982,67
dez/14	1638,96
jan/15	1804,34
fev/15	951,80
mar/15	2005,06
abr/15	1764,81
mai/15	2779,74
jun/15	2463,47

ANEXO A – Código NCM – Nomenclatura Comum do Mercosul para pneumáticos novos de borracha.

Código NCM	**DESCRIÇÃO**
40.11	**Pneumáticos novos, de borracha.**
4011.10.00	- Dos tipos utilizados em automóveis de passageiros (incluindo os veículos de uso misto (*station wagons*) e os automóveis de corrida)
4011.20	- Dos tipos utilizados em ônibus ou caminhões
4011.20.10	De medida 11,00-24
4011.20.90	Outros
4011.30.00	- Dos tipos utilizados em veículos aéreos
4011.40.00	- Dos tipos utilizados em motocicletas
4011.50.00	- Dos tipos utilizados em bicicletas
4011.6	- Outros, com bandas de rodagem em forma de "espinha de peixe" ou semelhantes:
4011.61.00	-- Dos tipos utilizados em veículos e máquinas agrícolas ou florestais
4011.62.00	-- Dos tipos utilizados em veículos e máquinas para a construção civil ou manutenção industrial, para aros de diâmetro inferior ou igual a 61 cm
4011.63	-- Dos tipos utilizados em veículos e máquinas para a construção civil ou manutenção industrial, para aros de diâmetro superior a 61 cm
4011.63.10	Radiais, para *dumpers* concebidos para serem utilizados fora de rodovias, com seção de largura superior ou igual a 940 mm (37"), para aros de diâmetro superior ou igual a 1.448 mm (57")
4011.63.20	Outros, com seção de largura superior ou igual a 1.143 mm (45"), para aros de diâmetro superior ou igual a 1.143 mm (45")
4011.63.90	Outros
4011.69	-- Outros
4011.69.10	Com seção de largura superior ou igual a 1.143 mm (45"), para aros de diâmetro superior ou igual a 1.143 mm (45")
4011.69.90	Outros
4011.9	- Outros:

4011.92	-- Dos tipos utilizados em veículos e máquinas agrícolas ou florestais
4011.92.10	Nas seguintes medidas: 4,00-15; 4,00-18; 4,00-19; 5,00-15; 5,00-16; 5,50-16; 6,00-16; 6,00-19; 6,00-20; 6,50-16; 6,50-20; 7,50-16; 7,50-18; 7,50-20
4011.92.90	Outros
4011.93.00	-- Dos tipos utilizados em veículos e máquinas para a construção civil ou manutenção industrial, para aros de diâmetro inferior ou igual a 61 cm
4011.94	-- Dos tipos utilizados em veículos e máquinas para a construção civil ou manutenção industrial, para aros de diâmetro superior a 61 cm
4011.94.10	Radiais, para *dumpers* concebidos para serem utilizados fora de rodovias, com seção de largura superior ou igual a 940 mm (37"), para aros de diâmetro superior ou igual a 1.448 mm (57")
4011.94.20	Outros, com seção de largura superior ou igual a 1.143 mm (45"), para aros de diâmetro superior ou igual a 1.143 mm (45")
4011.94.90	Outros
4011.99	-- Outros
4011.99.10	Com seção de largura superior ou igual a 1.143 mm (45"), para aros de diâmetro superior ou igual a 1.143 mm (45")
4011.99.90	Outros