

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROJETO DE GRADUAÇÃO**

JULIANA SILVEIRA VALLE SILVEIRA

**ANÁLISE SISTÊMICA PARA O PROCESSO DE COLETA DE PNEUS
INSERVÍVEIS PARA UMA PLANTA DE DESTINAÇÃO NO ESPÍRITO
SANTO**

VITÓRIA – ES
AGOSTO/2017

JULIANA SILVEIRA VALLE SILVEIRA

**ANÁLISE SISTÊMICA PARA O PROCESSO DE COLETA DE PNEUS
INSERVÍVEIS PARA UMA PLANTA DE DESTINAÇÃO NO ESPÍRITO
SANTO**

Parte manuscrita do Projeto de Graduação da aluna **Juliana Silveira Valle Silveira**, apresentado ao Departamento de Engenharia de Produção do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro de Produção.

Orientador: Profa. Dra. Marta Monteiro da Costa Cruz

VITÓRIA – ES
AGOSTO/2017

JULIANA SILVEIRA VALLE SILVEIRA

ANÁLISE SISTÊMICA PARA O PROCESSO DE COLETA DE PNEUS INSERVÍVEIS PARA UMA PLANTA DE DESTINAÇÃO NO ESPÍRITO SANTO

Parte manuscrita do Projeto de Graduação da aluna **Juliana Silveira Valle Silveira**, apresentado ao Departamento de Engenharia de Produção do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheira de Produção

Aprovada em (dia), de (mês) de (ano).

COMISSÃO EXAMINADORA:

Marta Monteiro da Costa Cruz
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Herbert Barbosa Carneiro
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador interno

Luiz Alberto Baptista Pinto Junior
Pneuvix
Examinador externo

Patrícia Alcântara Cardoso
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinadora interna

Aqueles que um dia me ensinaram que no estudo e conhecimento tenho as ferramentas para alcançar sonhos e galgar novos desafios.

Aos meus pais, Claudine Silveira Valle Silveira e Fabio Jose Silveira.

Agradeço acima de tudo a minha família, por ser o combustível que me move adiante para cada conquista. Ao Igor agradeço pelo incentivo e ajuda na revisão deste trabalho, sem esse auxílio não teria tido o mesmo resultado final. A Professora Marta, agradeço não só pela orientação neste trabalho, mas pela trajetória que me proporcionou na UFES, agregando conhecimentos extracurriculares a minha formação. Saio da UFES com uma professora a qual posso chamar de amiga. Agradeço ao LabNult por ter gentilmente autorizado o uso do software *Stella Professional* nessa pesquisa acadêmica. Agradeço também ao supervisor do meu estágio, o engenheiro Luiz Alberto Baptista, por generosamente ceder as informações necessárias para a realização deste trabalho, estendendo também esse agradecimento a Empresa A. Obrigada a Universidade Federal do Espírito Santo, que através de seu corpo docente e oportunidades transformadoras me forma Bacharela em Engenharia de Produção.

RESUMO

Apesar de a destinação de pneus inservíveis ser considerada um problema ambiental e sanitário, o conceito e a estruturação da logística reversa possibilitou que esse inconveniente ambiental se tornasse uma oportunidade de negócio sustentável e lucrativo. No estado do Espírito Santo ainda existe a carência de empresas destinadoras de pneus, porém esse cenário está para mudar com a implantação de uma planta de destruição que será localizada no município de Cariacica. Diante de todos os agentes presentes na implantação de um novo negócio, como clientes, fornecedores, investidores, competidores e parcerias que podem surgir, é importante investigar as suas relações em rede, e seu comportamento diante dos prováveis cenários de atuação que a empresa pode vivenciar. Neste trabalho, será utilizada uma abordagem sistêmica para investigar a atuação da logística reversa de pneus no país e a relação da empresa com as partes envolvidas e como essas relações podem afetar o negócio de forma estratégica, financeira e qualitativa.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura do pneu de passeio.....	17
Figura 2 – Fluxo ideal que o pneu deve percorrer.	21
Figura 3 - Metas para a reciclagem de pneus com base nas Resoluções CONAMA nº 258/1999, 301/2002 e 416/2009.....	24
Figura 4 – Pontos de coleta cadastrados por estado.....	25
Figura 5 – Enlace reforçador.	28
Figura 6 – Enlace equilibrador.....	28
Figura 7 – Um modelo básico de um diagrama de estoque e fluxo.	30
Figura 8 – Fluxo do processo produtivo da planta multimodal da Empresa A.	32
Figura 9 – Representação esquemática do desenvolvimento metodológico deste trabalho.....	35
Figura 10 – Mapa Sistêmico da coleta de pneus inservíveis.	36
Figura 11 – Enlaces R1, R2 e B1	37
Figura 12 – Enlaces B2, R3 e R4.	38
Figura 13 – Modelagem computacional – Diagrama de fluxo e estoque.	40

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Mercado de reposição - Fabricação nacional de pneus novos.	45
Gráfico 2 – Mercado de reposição - Importação de pneus novos.	46
Gráfico 3 – Cumprimento da meta de destinação de pneus.....	47
Gráfico 4 – Destinação de pneus em toneladas para a Empresa A.	50
Gráfico 5 – Destinação de pneus em toneladas para a empresa concorrente.	51
Gráfico 6 – Destinação de pneus em toneladas para os demais estados do Brasil.	51
Gráfico 7 – Produção da Empresa A para um turno de trabalho.	55
Gráfico 8 – Produção da Empresa A para dois turnos de trabalho.....	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Composição Química medida de um pneu.....	17
Quadro 2 – Comparação de materiais contidos em pneus de automóveis e de caminhões.	18
Quadro 3 – Notações da linguagem sistêmica.	29
Quadro 4 – Relação de variáveis do modelo.....	42
Quadro 5 – Cenários simulados	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Frota de veículos	47
------------------------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTF	Cadastros Técnicos Federais
Ibama	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MIT	Massachusetts Institute of Technology

LISTA DE SÍMBOLOS

MR	Mercado de reposição de pneus
P	Total de pneus produzidos
I	Total de pneus importados
E	Total de pneus exportados
EO	Total de pneus que equipam veículos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA	14
1.2	OBJETIVO	14
1.2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.3	ORGANIZAÇÃO DESTE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1	PNEUS.....	17
2.1.1	PROBLEMAS DO DESCARTE INCORRETO	17
2.1.2	POTENCIAL RECICLÁVEL	19
2.2	LOGÍSTICA REVERSA DE PNEUS.....	20
2.3	ABORDAGEM SISTÊMICA	26
2.3.1	MAPA SISTÊMICO.....	27
2.3.2	MODELAGEM COMPUTACIONAL	29
3	APLICAÇÃO E MODELAGEM.....	32
3.1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	32
3.1.1	A EMPRESA A	32
3.2	PROBLEMAS DA PESQUISA	34
3.3	METODOLOGIA	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4.1	MAPA SISTÊMICO	36
4.2	MODELAGEM COMPUTACIONAL.....	40
4.3	QUANTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS	45
5	SIMULAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	48
5.1	RESULTADOS DA SIMULAÇÃO E DISCUSSÃO	50
5.1.1	SITUAÇÃO PARA DIFERENTES TURNOS DE TRABALHO.....	54
6	CONCLUSÕES.....	57
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
	GLOSSÁRIO	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
	APÊNDICE A	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
	ANEXO A	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem ambos caráter qualitativo e quantitativo. O caráter qualitativo da pesquisa se dá no desenvolvimento da abordagem sistêmica, com a busca do entendimento dos fenômenos sobre a perspectiva dos *stakeholders* e através da exposição de dados descritivos. A pesquisa assume caráter quantitativo devido a simulação no software *Stella Professional*, quando dados são gerados para elucidar a análise estratégica dos cenários propostos para o estudo de caso na Empresa A.

1.1 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA

A Logística Reversa ainda é um assunto de grande importância no setor produtivo e industrial e seu desenvolvimento traz benefícios para a área de conhecimento tanto operacional e estratégica de uma empresa, quanto na evolução das questões ambientais para a sociedade.

A abordagem do Pensamento Sistêmico no estudo da Logística Reversa vem sendo explorada de forma inovadora, o que torna o objetivo do trabalho mais interessante academicamente. Além disso, ainda há a escassez de trabalhos que tragam o tema dos pneumáticos tendo a logística e a estratégia como foco, em contraste aos temas de **sustentabilidade ou roteamento**. O que é proposto neste trabalho acadêmico é unir esses pontos através da abordagem sistêmica, onde será possível ter uma visão macro da questão sem perder de vista os detalhes dos relacionamentos em rede.

A destinação ambientalmente correta de pneus inservíveis no Espírito Santo é carente, o que torna essa pesquisa regionalmente muito relevante, trazendo benefícios diretos para a Empresa A, e abrindo portas para novas linhas de pesquisa que abordem o assunto nacionalmente.

1.2 OBJETIVO

Investigar a possível atuação estratégica da logística da Empresa A na coleta de pneus inservíveis e sua relação com as partes envolvidas através de uma abordagem sistêmica.

1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Construir o mapa sistêmico para a definição da melhor estratégia de atuação logística para a Empresa A;
- ✓ Analisar como as relações dos agentes no sistema logístico podem afetar o negócio da Empresa A de forma estratégica e qualitativa;
- ✓ Realizar a modelagem do mapa sistêmico através do *Software Stella Professional*;
- ✓ Propor soluções para cenários diversos de atuação logística da Empresa A;

1.3 ORGANIZAÇÃO DESTE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

O trabalho foi organizado em cinco capítulos para melhor progressão da linha de raciocínio desta pesquisa.

O primeiro consiste na introdução do tema ao leitor, compreendendo a justificativa para a realização desse trabalho, bem como os objetivos que o direcionam.

O segundo capítulo contém a fundamentação teórica necessária para compreensão do trabalho. A revisão bibliográfica comporta o potencial reciclável dos pneus, aspectos legais da logística reversa de pneumáticos e a abordagem sistêmica voltada para a logística.

No terceiro capítulo, uma contextualização sobre o estudo de caso e suas particularidades, tal como os problemas que circunscreveram o seu desenvolvimento deste trabalho, são apresentados para uma melhor compreensão do mapa sistêmico e sua configuração.

O quarto capítulo aborda a construção do mapa sistêmico e a modelagem computacional através do *software Stella Professional*.

O quinto capítulo revela os resultados provenientes da simulação e a análise dos cenários estabelecidos, gargalos e limitações.

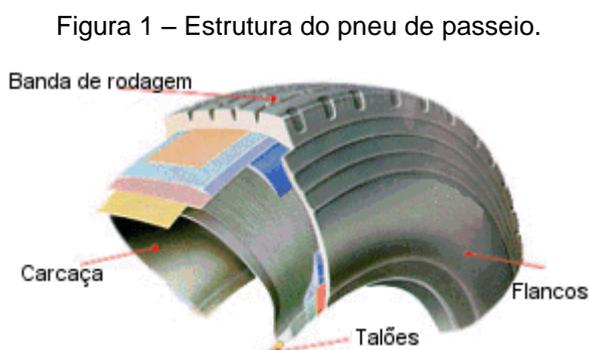
Por fim, o trabalho é concluído no sexto capítulo, com uma breve conclusão deste trabalho acadêmico.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PNEUS

2.1.1 PROBLEMAS DO DESCARTE INCORRETO

Segundo Rodrigues e Henkes (2015, p. 451), a estrutura básica do pneu é composta pela carcaça, talão, flancos e banda de rodagem, onde se distribuem os três materiais que constituem o pneu: borracha, aço e nylon. A Figura 1, a seguir, ilustra a estrutura citada.



Fonte: RICCHINI, 2015.

Quando um pneu chega ao fim de seu ciclo de vida útil e apresenta danos irreparáveis em sua estrutura, de forma que não se preste mais a rodagem nem seja passível de recuperação através de reforma, ele passa a ser considerado um pneu inservível (CONAMA, 2009). Seu descarte inadequado pode gerar consequências muitas vezes irreparáveis ambientalmente. Segundo Resende (2004, p. 14) o pneu pode demorar cerca de 600 anos para se decompor completamente, e nesse processo, devido à sua composição química, pode liberar substâncias tóxicas que são prejudiciais ao ambiente de diversas formas.

De acordo com Andrietta, (2002, apud RESENDE, 2004, p. 51), a composição química do pneu é indicada pelo Quadro 1 e os materiais contidos nos pneus de carros e caminhões estão indicados na Tabela 1 a seguir.

Quadro 1 - Composição Química medida de um pneu

Elemento/ Composto	%
Carbono	70,0
Hidrogênio	7,0
Óxido de Zinco	1,2
Enxofre	1,3
Ferro	15,0
Outros	5,5

Fonte: ANDRIETTA, 2002, apud RESENDE, 2004, p. 51.

Quadro 2 – Comparação de materiais contidos em pneus de automóveis e de caminhões.

Material	Automóvel	Caminhão
	%	%
Borracha/Elastômeros	48,0	45,0
Negro de fumo	22,0	22,0
Aço	15,0	25,0
Tecido de Nylon	5,0	-
Óxido de Zinco	1,0	2,0
Enxofre	1,0	1,0
Aditivos	8,0	5,0

Fonte: ANDRIETTA, 2002, apud RESENDE, 2004, p. 51.

A composição química e os materiais contidos nos pneus, indicados no Quadro 1 e Tabela 1, favorecem a liberação de substâncias tóxicas na atmosfera, sendo as dioxinas, lançadas pelos pneus em sua queima, consideradas as substâncias mais tóxicas e perigosas conhecidas pela ciência. Quando ocorre a queima descontrolada dos pneus, além da fumaça tóxica liberada no incêndio, as cinzas e a fração líquida residual composta por hidrocarbonetos mais pesados gerados nesse processo podem contaminar também os lençóis freáticos. Destacam-se também outras formas de poluição geradas pelo descarte incorreto de pneus, tais como a poluição visual e poluição do solo e cursos d'água, causando distúrbios na flora e fauna e obstruindo a passagem natural das águas, o que pode, por sua vez, provocar enchentes. (VELOSO, 2013).

Quando descartados incorretamente, os pneus também podem se tornar local de proliferação de vetores nocivos à saúde do ser humano tais como o *Aedes aegypti*, transmissor da Dengue, Zika e Chikungunya. De acordo com Franco (2008), os pneus são considerados um dos criadouros preferenciais do *Aedes* devido a sua cor

escura, rugosidade e formato que confere as larvas do mosquito um micro-habitat perfeito para a proliferação. Configurando assim mais uma forma de risco à saúde pública.

2.1.2 POTENCIAL RECICLÁVEL

Apesar de poluentes, os materiais que compõe o pneu, descritos no Quadro 1 e Tabela 1, têm potencial altamente reciclável e podem retornar à indústria como matéria prima após sua separação.

Estudos mostram que a borracha proveniente de pneus reciclados é um dos poucos materiais atuais no mercado que apresentam desempenho superior aos materiais convencionais. A borracha do pneu pode ser reaproveitada na forma de granulado ou pó, e dependendo de sua espessura é destinada para a fabricação de diferentes produtos, sendo o asfalto borracha um exemplo de sucesso. (Eco Green Equipments, 2016).

De acordo com o Instituto Aço Brasil (2009), o aço é um dos materiais mais recicláveis do mundo e seu retorno em forma de sucata para a siderurgia ocorre sem nenhuma perda de qualidade na fabricação de novos produtos, economizando energia e evitando o descarte inadequado da sucata no ambiente.

Para a Eco Green Equipments (2016), o nylon reciclado do pneu pode ser utilizado para diversas aplicações tais como na fabricação de carpete, concreto, estuque, entre outros.

Diante da magnitude dos problemas que pneus inservíveis descartados incorretamente no ambiente podem gerar para a sociedade, e o seu potencial como material reciclável, o CONAMA através da Resolução nº 258/99, começou a regulamentar a questão da sua destinação. Com a Resolução CONAMA 416/2009, os fabricantes e importadores de pneus ficaram obrigados a coletar e destinar os pneus corretamente. Esse fato gerou uma melhor estruturação da logística reversa para os pneus inservíveis e uma oportunidade de negócio para empresas chamadas de destinadoras de pneus. As destinadoras utilizam técnicas admitidas pelos órgãos

ambientais para descaracterizar os pneus e propiciar a utilização de seus componentes constituintes para outros fins.

De acordo com o relatório de pneumáticos do Ibama (2016), as tecnologias adequadas de destinação de pneus adotadas no ano de 2015 foram:

- ✓ Coprocessamento: utilização dos pneus inservíveis em fornos de clínquer como substituto parcial de combustíveis e como fonte de elementos metálicos.
- ✓ Laminação: processo de fabricação de artefatos de borracha.
- ✓ Granulação: processo industrial de fabricação de borracha moída, em diferentes granulometrias, com separação e aproveitamento do aço.
- ✓ Regeneração da borracha: processo industrial de desvulcanização da borracha.
- ✓ Pirólise: processo de decomposição térmica da borracha conduzido na ausência de oxigênio ou em condições em que a concentração de oxigênio é suficientemente baixa para não causar combustão, com geração de óleos, aço e negro de fumo.

2.2 LOGÍSTICA REVERSA DE PNEUS

Muitas são as definições dadas para a logística reversa. Uma abordagem abrangente é dada por Novaes (2004, p. 54), e estabelece que a “Logística reversa cuida dos fluxos de materiais que se iniciam nos pontos de consumo dos produtos e terminam nos pontos de origem, com o objetivo de recapturar valor ou de disposição final.”

Stock (1992) e Kopichi et. al. (1993) definem a logística reversa como o termo que se refere ao papel da logística e todas as suas atividades que envolvam a reciclagem, disposição final e gestão de materiais perigosos.

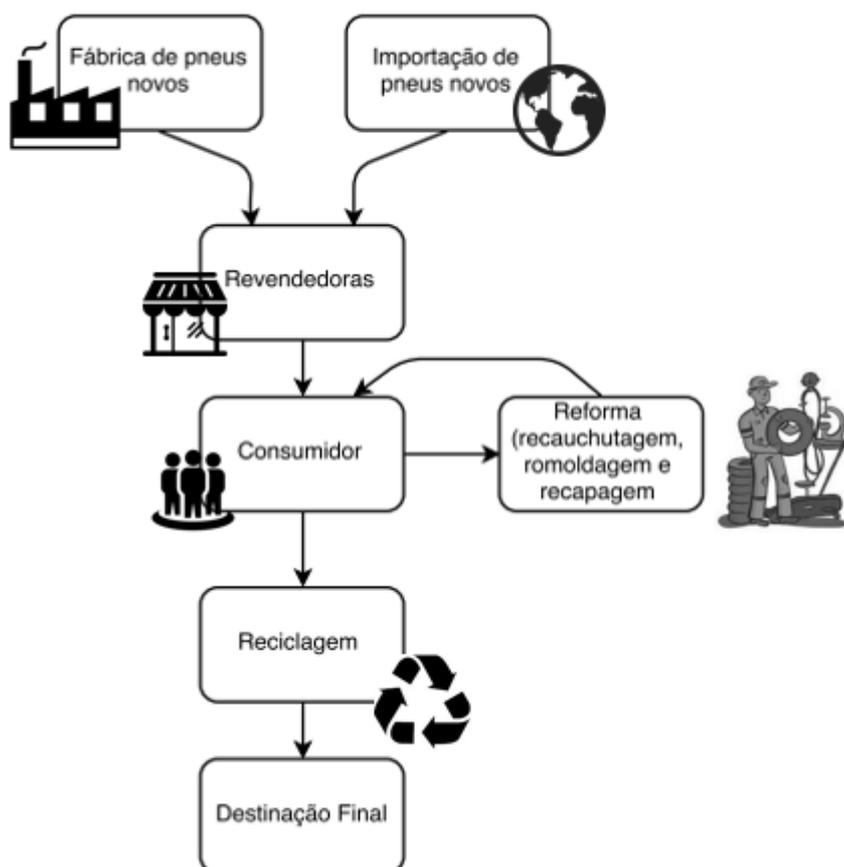
Ambas definições se complementam e elucidam o contexto do retorno do pneu inservível tanto reciclado com sua reutilização em cadeias produtivas, quanto com a sua disposição final.

A logística reversa de pneus no Brasil é regulamentada pelo CONAMA em sua Resolução Nº 416 de 2009 que considera que os pneus dispostos inadequadamente constituem passivo ambiental, podendo resultar em sério risco ao meio ambiente e à saúde pública.

A Resolução estabelece que, a destinação ambientalmente adequada de pneus inservíveis consiste na utilização de procedimentos técnicos em que os pneus são descaracterizados de sua forma inicial, e que seus elementos constituintes são reaproveitados, reciclados ou processados. Além disso, alguns outros fatos são apontados, tais como a preferência pela reutilização e reforma dos pneus antes de sua destinação final adequada, e que a reforma de pneus, em todas as suas formas como recapagem, recauchutagem ou remoldagem, não é considerada fabricação ou destinação adequada, sendo assim, não pode ser declarada como o fechamento do ciclo de vida do pneumático. Outro aspecto importante é que a geração de pneus inservíveis fica restrita ao consumo direto dos mesmos no país devido a proibição da importação de pneumáticos usados de acordo com as Resoluções nº 23, de 12 de dezembro de 1996, e nº 235, de 7 de janeiro de 1998. (CONAMA, 2009).

A figura a seguir ilustra resumidamente o fluxo ideal pelo qual o pneu deve percorrer, de acordo com o entendimento da Resolução CONAMA 416/2009. Sendo preferencialmente reformado antes de seguir para a reciclagem e ter seu destino final. Como abordado no capítulo anterior deste trabalho, o destino final pode ser dado de diversas formas.

Figura 2 – Fluxo ideal que o pneu deve percorrer para a Resolução CONAMA 416/2009.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Dentre muitos aspectos relevantes para a logística reversa de pneus, o mais importante sobre a Resolução N° 416/2009 do CONAMA é a definição da responsabilidade pela correta destinação, estabelecendo que “os fabricantes e os importadores de pneus novos, [...] ficam obrigados a coletar e dar destinação adequada aos pneus inservíveis existentes no território nacional [...]” (CONAMA, 2009). Com esta regulamentação em vigor, os fabricantes e importadores de pneus se viram obrigados a estruturar um sistema logístico reverso para coletar e destinar corretamente os pneus inservíveis no país.

Para se organizar melhor, a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP), representada pelos fabricantes de pneus, criou em 2007, a Reciclanip, uma entidade sem fins lucrativos que cuida exclusivamente da coleta e destinação de pneus inservíveis em todo país. São mais de 1000 pontos de coleta de pneus distribuídos em todos os estados (RECICLANIP, 2016).

Os importadores de pneus criaram a ABIDIP – Associação Brasileira de Importadores e Distribuidores de Pneus, associação também sem fins lucrativos que tem como objetivo estruturar a logística reversa de pneus por parte dos importadores (ABIDIP, 2011).

Ambas associações, agem fazendo a coleta dos pneus através de pontos de coleta, também chamados de ecopontos. Esses pontos são distribuídos por todo o país e tem o objetivo de receber e armazenar provisoriamente os pneus inservíveis. Todos os municípios com mais de 100.000 habitantes devem possuir pelo menos um ponto de coleta e os demais devem ser atendidos por sistemas de coleta locais estabelecidos no plano de gerenciamento de coleta, armazenamento e destinação de pneus inservíveis (PGP) entregues pelos fabricantes e importadores ao SISNAMA como estabelecido na Resolução. (CONAMA, 2009)

Após a coleta, as associações entregam os pneus a empresas que fazem a sua correta destruição, as destinadoras, e comprovam para o IBAMA a destruição dos pneus em peso. Para cada pneu novo comercializado para o mercado de reposição, as empresas fabricantes ou importadoras deverão dar adequada destinação a um pneu inservível, utilizando a fórmula a seguir. (CONAMA, 2009).

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

Na qual:

MR = mercado de reposição de pneus;

P = total de pneus produzidos;

I = total de pneus importados;

E = total de pneus exportados;

EO = total de pneus que equipam veículos.

É importante salientar que sobre esse cálculo, deve-se acrescentar o fator de desgaste relativo a 30% do peso original do pneu (IBAMA, 2017).

A Figura a seguir mostra a evolução das metas de destinação adequada dos pneus inservíveis e o estabelecimento da meta desde 2010 em que para cada pneu comercializado para o mercado de reposição, um pneu inservível deve ser corretamente destinado.

Figura 3 - Metas para a reciclagem de pneus com base nas Resoluções CONAMA nº 258/1999, 301/2002 e 416/2009

ANO	PNEUS PRODUZIDOS NO PAÍS OU IMPORTADOS NOVOS	FATOR PARA RECICLAGEM
2002	04 pneus produzidos = 01 pneu inservível reciclado.	0,25
2003	04 pneus produzidos = 02 pneus inservíveis reciclados.	0,5
2004	04 pneus produzidos = 04 pneus inservíveis reciclados.	1
2005	04 pneus produzidos = 05 pneus inservíveis reciclados.	1,25
2006	04 pneus produzidos = 05 pneus inservíveis reciclados.	1,25
2007	04 pneus produzidos = 05 pneus inservíveis reciclados.	1,25
2008	04 pneus produzidos = 05 pneus inservíveis reciclados.	1,25
2009	04 pneus produzidos = 05 pneus inservíveis reciclados, até o 3º trimestre de 2009. Com a aprovação da Resolução nº 416/2009, para cada pneu colocado no mercado de reposição, 01 pneu inservível deve ser reciclado.	1,25 (até o 3º trimestre). A partir do 3º trimestre, 01 pneu vendido no mercado de reposição = 01 pneu inservível reciclado.
2010 (*)	01 pneu vendido no mercado de reposição = 01 pneu inservível reciclado.	01 pneu vendido no mercado de reposição = 01 pneu inservível reciclado.
2011(**)	01 pneu vendido no mercado de reposição = 01 pneu inservível reciclado.	01 pneu vendido no mercado de reposição = 01 pneu inservível reciclado.

(*) Reportagem trimestral e (**) Reportagem anual para o Ibama.

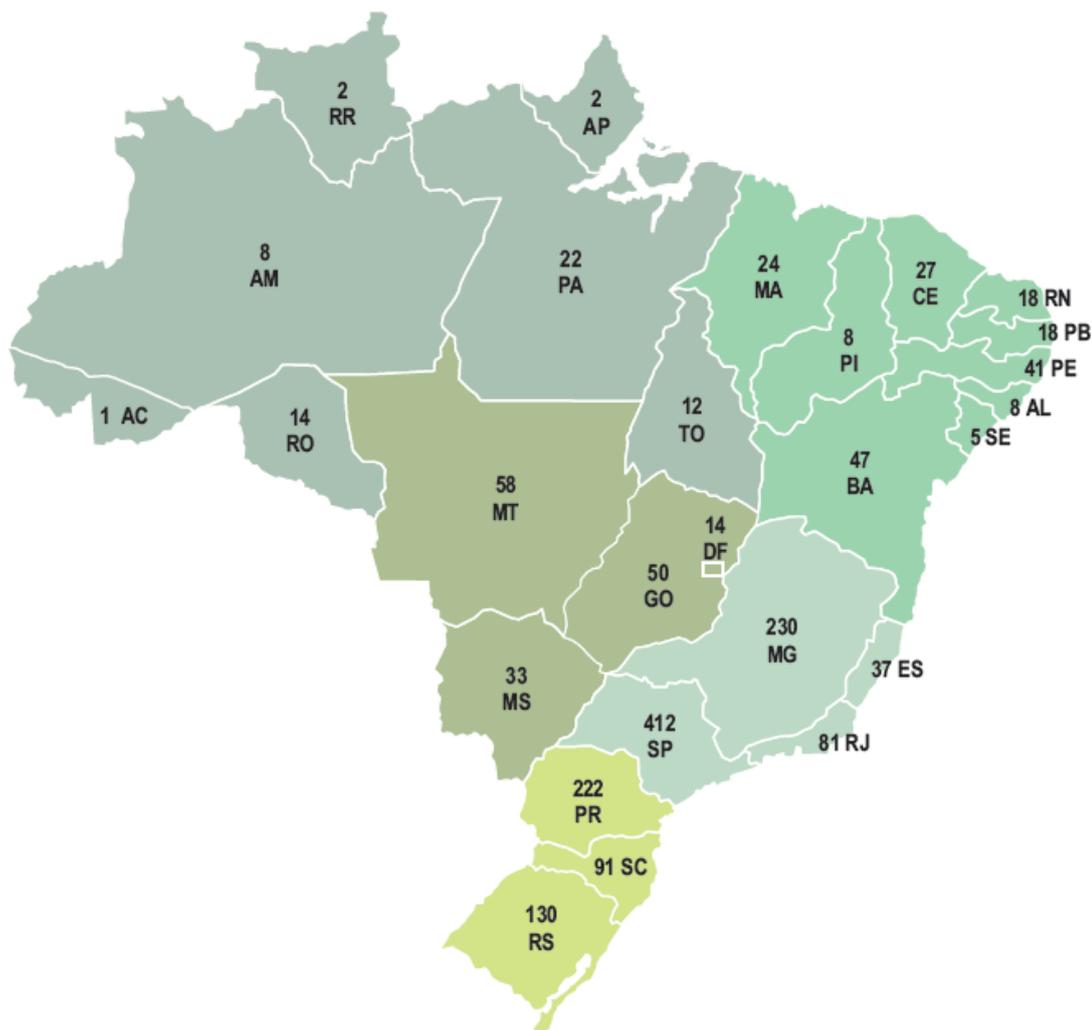
Fonte: Amorim (2015, apud LAGARINHOS, 2011)

O controle do cumprimento das metas da CONAMA 416/2009 é realizado pela Instrução Normativa nº 01/2010 do Ibama. Utilizando o cadastro Técnico Federal – CTF como instrumento, o Ibama é o responsável por receber as informações prestadas por parte dos fabricantes, importadores e destinadores de pneumáticos. A comprovação da destinação correta dos pneumáticos pelas empresas fabricantes e importadoras de pneus é realizada individualmente e trimestralmente em relatório específico. Todavia, as quantidades informadas pelos fabricantes e importadores, somente são contabilizadas após a declaração realizada pela(s) empresa(s) destinadora(s). (IBAMA, 2010).

De acordo com o Relatório de Pontos de Coleta de Pneus Inservíveis mais recente do Ibama (IBAMA, 2016), “em 2015, foram cadastrados 1.615 pontos de coleta,

sendo 1.024 localizados em municípios com população acima de 100 mil habitantes, restando onze municípios com esta característica sem nenhum ponto de coleta declarado”. Pode-se observar na figura a seguir que o Espírito Santo possui um total de 37 pontos de coleta declarados no CTF.

Figura 4 – Pontos de coleta cadastrados por estado.



Fonte: (IBAMA, 2016)

Apesar disso, segundo o Relatório de Pneumáticos do Ibama (2016) existe somente uma destinadora de pneus no estado do Espírito Santo, uma cimenteira conhecida nacionalmente. Tal fato reafirma a carência do estado nesse ramo de atividade, evidenciando uma oportunidade de um negócio lucrativo e sustentável.

Problemas da gestão estratégica de longo prazo em sistemas de logística reversa não foram adequadamente analisados no passado, possivelmente devido a dificuldade em lidar com a variedade de fatores envolvidos nos fluxos tanto da cadeia de suprimentos quanto da logística reversa e com a complexibilidade de sua interdependência. Nesse caso, o uso da abordagem sistêmica através da Dinâmica de Sistemas pode promover modelos que auxiliem a tomada de decisão para a melhor solução desses problemas. (GEORGIADIS & VLACHOS, 2004)

2.3 ABORDAGEM SISTÊMICA

Para tratar de qualquer problema com uma abordagem sistêmica, primeiramente é necessário entender o que é um sistema. Para Kim (1999), em sua percepção mais básica, um sistema é qualquer grupo de partes interativas, interrelacionadas ou interdependentes que formam um complexo e unificado 'todo' com um propósito específico. Nesse contexto, Chapman (2013) enfatiza que sistemas são úteis para abordar questões que estão entranhadas em complexidades criadas pela atividade humana. Manifesta-se então para Aronson (1996), o Pensamento Sistêmico, que foca em entender essas complexibilidades olhando como as partes interagem com os outros constituintes do sistema para produzir um comportamento.

Segundo Nunes (2015), a Abordagem Sistêmica da Gestão, também chamada de Teoria de Sistemas, parte do princípio que em uma organização, as pessoas, as tarefas e a gestão são interdependentes e são componentes de um sistema que é a própria organização; e que da mesma forma que em um organismo vivo, qualquer mudança em uma das partes afeta obrigatoriamente as restantes. Entende-se então, um sistema como um conjunto de elementos que estão dinamicamente relacionados a fim de atingir um objetivo específico. Ainda para o autor, a Abordagem Sistêmica foi ainda mais longe ao considerar a organização como um sistema aberto a influências de e para o exterior. Dessa forma, surge uma nova forma de pensamento, o Pensamento Sistêmico dentro das empresas para identificação dos problemas e suas causas, e a avaliação do impacto das diversas alternativas de solução.

A origem do Pensamento Sistêmico está no campo da Dinâmica de Sistemas, fundada em 1956 pelo professor do MIT Jay Forrester. A Dinâmica de Sistemas veio para suprir a necessidade de se testar sistemas sociais da mesma forma que ideias são testadas na engenharia. (ARONSON, 1996).

Para Yuan (2011), a Dinâmica de Sistemas é uma abordagem que se preocupa em criar modelos ou representações de sistemas do mundo real e estudar a sua dinâmica. Essas representações são exibidas através de duas ferramentas essenciais da metodologia, o mapa sistêmico e o diagrama de estoque e fluxo. O mapa sistêmico é um modelo conceitual e tem a função de capturar os mecanismos de feedback envolvidos no sistema. Já o diagrama de estoque e fluxo é uma modelagem computacional que proporciona uma análise quantitativa do modelo conceitual. (YE, 2012).

2.3.1 MAPA SISTÊMICO

Para ANDRADE (2006, p. 58) algumas características do Pensamento Sistêmico e da sua linguagem são essenciais ao se desenvolver um mapa sistêmico, tais como:

- Pensar mais no todo do que nas partes;
- Enfatizar mais os relacionamentos que os objetos;
- Promover o entendimento da realidade mais como redes que como hierarquias;
- Procurar enxergar círculos maiores de causalidade ao invés das cadeias lineares de causa e efeito;
- Focar na dinâmica e nos processos subjacentes do que na estrutura estática;
- Perceber a organização como um organismo vivo e não como uma máquina.

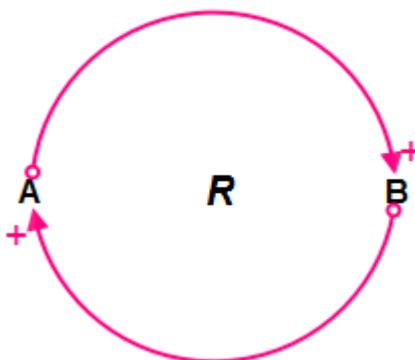
Sendo assim, o mapa sistêmico é construído através da linguagem sistêmica, onde se mapeiam as variáveis e as relações de causa e efeito entre elas. Esse mapa é uma espécie de representação que permite encontrar as causas estruturais dos padrões de comportamento entre os agentes. No mapa sistêmico deve-se adicionar os Modelos Mentais que visam levantar as crenças ou pressupostos que os agentes

mantém em suas mentes e que influenciam seus comportamentos, gerando as estruturas do mundo real. (ANDRADE 2006, p. 98).

Para construir um mapa sistêmico, é necessário fazer uso da notação da linguagem sistêmica, que tem como elementos principais as variáveis. Para estabelecer o relacionamento entre elas, utiliza-se setas que ligam a causa ao efeito e são chamadas de enlaces. Existem dois tipos de enlaces na linguagem sistêmica, os reforçadores e os balanceadores. Enlaces reforçadores são os responsáveis por situações em que as mudanças apoiam-se em si mesmas. Já os enlaces balanceadores são aqueles em que há forças de resistência que limitam o crescimento, se equilibrando. (ANDRADE, 2006).

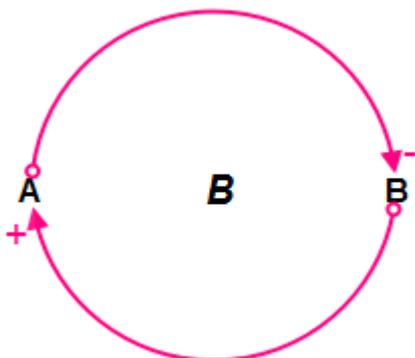
Para fazer a relação de causa e efeito entre os enlaces, as setas são sinalizadas com sinais positivos ou negativos. Um enlace que vai de uma variável A para uma variável B recebe sinal positivo se uma mudança em A provocar uma mudança em B na mesma direção. Por outro lado, recebe sinal negativo se uma mudança em A provocar uma mudança em B na direção oposta (YUAN, 2011 apud Kirkwood, 1998). As figuras a seguir ilustram enlaces reforçadores e equilibradores e o quadro mostra a notação da linguagem sistêmica.

Figura 5 – Enlace reforçador.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Figura 6 – Enlace equilibrador.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Quadro 3 – Notações da linguagem sistêmica.

A;B: Variáveis	
→	Relação de causa e efeito
→	Relação de causa e efeito com atraso
→ ⁺	↑A ↑B ↓A ↓B
→	↑A ↓B ↓A ↑B
<i>R</i> : Enlace reforçador	
<i>B</i> : Enlace equilibrador	

Fonte: Adaptado de (Andrade, 2006), 2017.

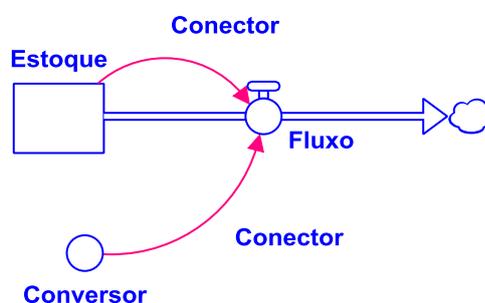
2.3.2 MODELAGEM COMPUTACIONAL

De acordo com Andrade (2006), a modelagem computacional da Dinâmica de Sistemas trata de partir de um modelo qualitativo, o mapa sistêmico, para um modelo quantitativo, o diagrama de estoque e fluxo.

O diagrama de estoque e fluxo possui quatro elementos para definir o sistema: estoque, fluxo, conversor e conector. Segundo Andrade (2006), os estoques nada

mais são do que os recursos que se acumulam em determinados níveis no decorrer do tempo, enquanto os fluxos representam as atividades que transformam os estoques dentro do sistema. Um fluxo pode ser positivo quando é uma entrada para o estoque ou negativo, quando representa uma saída do estoque. O conversor é responsável por atribuir aos fluxos as equações ou parâmetros necessários para a transformação de um estado para o próximo no modelo. Já o conector representa a transmissão da informação de um elemento ao outro. (YUAN, 2011). A figura a seguir ilustra um modelo básico de diagrama de estoque e fluxo.

Figura 7 – Um modelo básico de um diagrama de estoque e fluxo.



Fonte: Adaptado de (YUAN, 2011), 2017.

As relações entre estoque e fluxo são estabelecidas de acordo com as expressões a seguir:

$$\text{Estoque}(t) = \text{Estoque}(t - dt) + (\text{fluxo})dt \quad (2)$$

e

$$\text{Estoque} = \int (\text{fluxo})dt \quad (3)$$

A simulação do modelo computacional permite que sejam explorados cenários de atuação com a realização de testes de novas políticas e estratégias para que se ganhe conhecimento e confiança em determinadas abordagens antes de partir para a prática. (RICHARDSON, 2008).

Dentre os diferentes *softwares* de simulação voltados para a Dinâmica de Sistemas que se encontram no mercado, destacam-se os pacotes oferecidos pelo grupo desenvolvedor ISEE Systems por possuírem uma interface intuitiva que permite a

construção de diagramas de estoque e fluxo e uma interpretação do comportamento do sistema. (ISEE SYSTEMS, 2017).

Um dos produtos oferecidos é o *software Stella Professional*, considerado pelo desenvolvedor como uma completa ferramenta de modelagem para análise e desenvolvimento estratégico. Com o *Stella* é possível desenvolver cenários e explorá-los para dar suporte as tomadas de decisão estratégicas e aprimorá-las. (ISEE SYSTEMS, 2017).

3 APLICAÇÃO E MODELAGEM

3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

3.1.1 A EMPRESA A

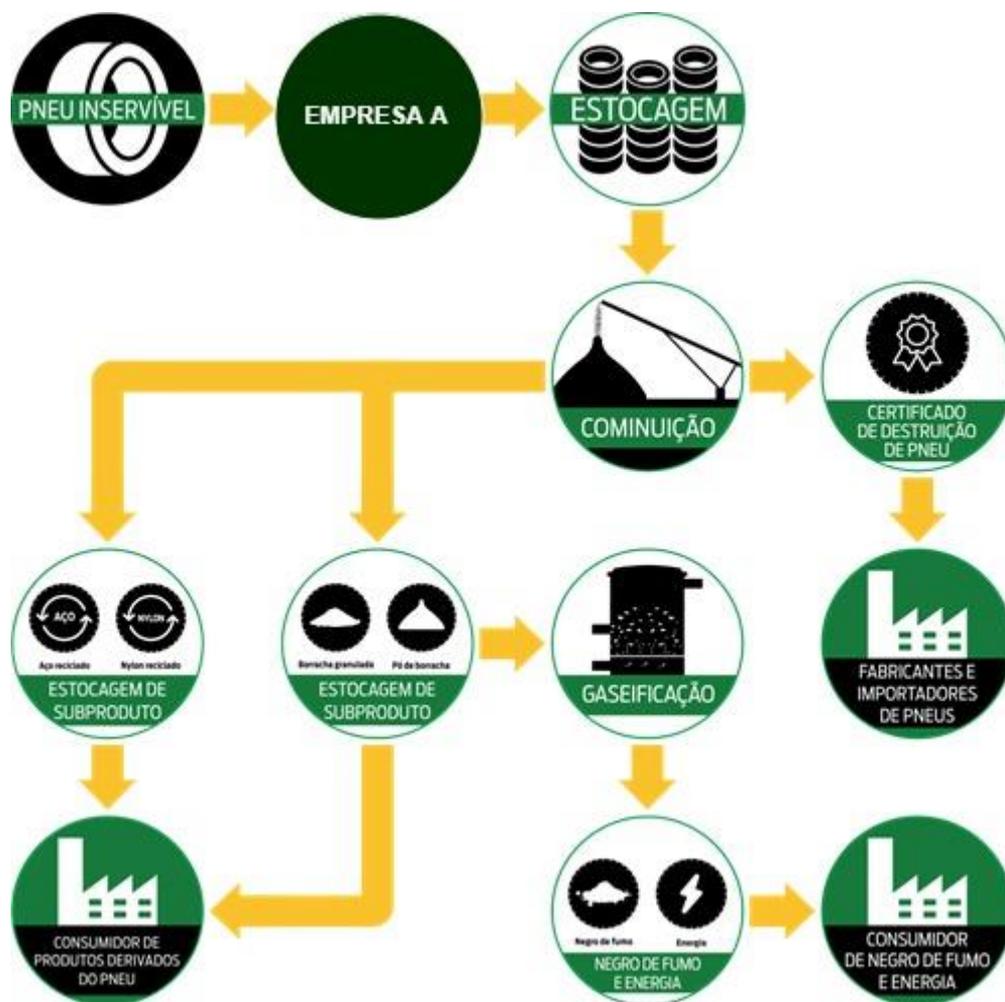
Chamaremos de Empresa A, o objeto desse estudo acadêmico com o intuito de preservar a identidade da organização. As informações aqui apresentadas foram gentilmente cedidas pela Empresa A com o propósito da elaboração deste trabalho acadêmico.

A Empresa A é um projeto de uma recicladora de pneus inservíveis localizada no município de Cariacica no Espírito Santo. A Empresa A tem suas atividades operacionais previstas para iniciar em 2017 e será a primeira empresa totalmente voltada para a destruição de pneus inservíveis do estado. Esse é um negócio ainda não explorado, visto que a única destinadora atualmente cadastrada no Ibama é uma cimenteira que utiliza pneus inservíveis como matéria em coprocessamento.

O projeto da Empresa A consiste em uma inovação tecnológica devido a característica multimodal de sua planta. Através da junção dos processos de cominuição dos pneus ao processo de gaseificação da borracha para a geração de energia, a produção da Empresa A é capaz de se adaptar às necessidades do mercado.

O processo de cominuição compreende a separação dos três componentes do pneu, borracha, aço e nylon, concomitantemente a trituração da borracha. Após esse processo, os componentes podem ser comercializados separadamente. A borracha, além de poder ser vendida para diversos fins e em diversas granulometrias após triturada, pode seguir como matéria prima para o processo de gaseificação, gerando assim energia que pode tanto manter a planta autossustentável, quanto ser vendida para a concessionária de energia local. A Figura a seguir ilustra o processo produtivo da Empresa A.

Figura 8 – Fluxo do processo produtivo da planta multimodal da Empresa A.



Fonte: Adaptado Empresa A (2017)

Além da inovação no processamento do pneu, a Empresa A também traz como fator de competitividade o fato de se localizar dentro da Empresa B, que é uma empresa especializada no gerenciamento integrado de resíduos, já conhecida e conceituada no estado.

Por ainda estar em fase de implantação, a Empresa A vem definindo sua estratégia de negócios e atuação, porém o cenário da logística de coleta de pneus ainda é incerto, visto que há muitos agentes no processo.

3.2 PROBLEMAS DA PESQUISA

A Empresa A ainda não está operando, sendo assim uma das dificuldades encontradas na pesquisa é o estabelecimento de padrões comportamentais reais da empresa diante do mercado e a sua relação com os agentes atuantes. Além disso, os detalhes da logística reversa da coleta de pneus ainda são pouco divulgados, principalmente no que tange as parcerias das empresas destinadoras com os fabricantes e importadores de pneus. O entendimento dessas relações é essencial no desenvolvimento dos modelos mentais e conseqüentemente, fundamental para as conclusões do trabalho acadêmico.

O principal material quantitativo que embasou esse estudo foi o Relatório de Pneumáticos desenvolvido pelo Ibama anualmente. Entretanto, o relatório mais atual é o de 2016, que tem 2015 como ano base, sendo assim, para efeitos de estratégia de negócios, de 2015 para 2017 alguns aspectos competitivos podem ter mudado e serem desconhecidos deste trabalho acadêmico, o que pode implicar em desatualização dos resultados gerados.

Para contornar essa dificuldade realizou-se pesquisas científicas que retratassem realidades próximas as da logística reversa e reciclagem de pneus. Trabalhos que tratam da logística reversa de resíduos provenientes da construção civil foram muito úteis para a construção deste trabalho acadêmico, visto a sua paridade em tema e abordagem. Destacam-se os trabalhos de Yuan (2012, 2011) que trazem modelos para a análise social e do custo benefício relacionado a gestão dos resíduos de demolição e construção; o trabalho de Ye (2012) que reproduz a simulação do sistema dinâmico da logística reversa desses materiais e seus efeitos ambientais; e o trabalho de Farazee (2015) que traz modelos para auxiliar a análise da implementação de *product multiple lifecycle*.

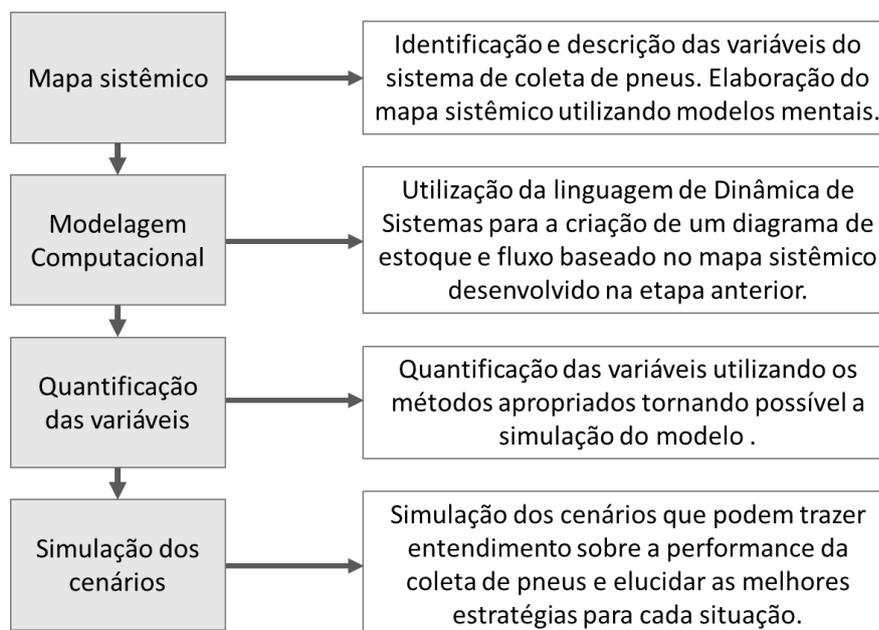
Somado a isso, a utilização de prováveis cenários na simulação dos eventos minimiza o problema tanto da desatualização dos dados oficiais, quanto ajuda a alcançar diferentes perspectivas no relacionamento dos *stakeholders* desse sistema logístico.

É importante ressaltar que o pensamento sistêmico por si só não se demonstra capaz de solucionar problemas, posto que seu objetivo, na realidade, é o de mapear os possíveis gargalos e limitações decorrentes das relações entre as variáveis sendo um instrumento muito útil para a tomada de decisões estratégicas. (FERNANDES, 2016)

3.3 METODOLOGIA

Para a formulação do modelo que representará a coleta de pneus destinada a Empresa A, utilizou-se uma metodologia alinhada a Dinâmica de Sistemas que se desdobra como apresentado na figura a seguir:

Figura 9 – Representação esquemática do desenvolvimento metodológico deste trabalho.

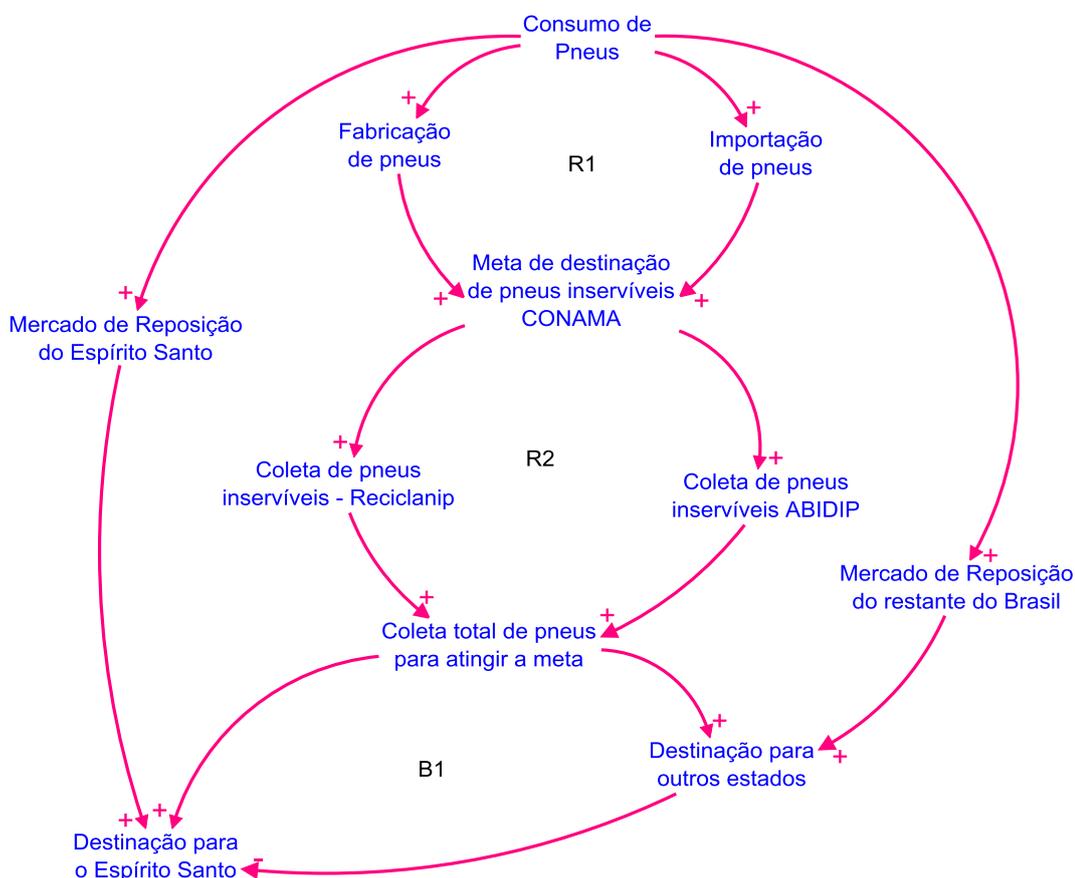


Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Fonte: Elaborado pela autora através do *software Stella Professional* (2017).

As interações que ocorrem no sistema podem ser explicadas através dos enlaces.

Figura 11 – Enlaces R1, R2 e B1



Fonte: Elaborado pela autora através do *software Stella Professional* (2017).

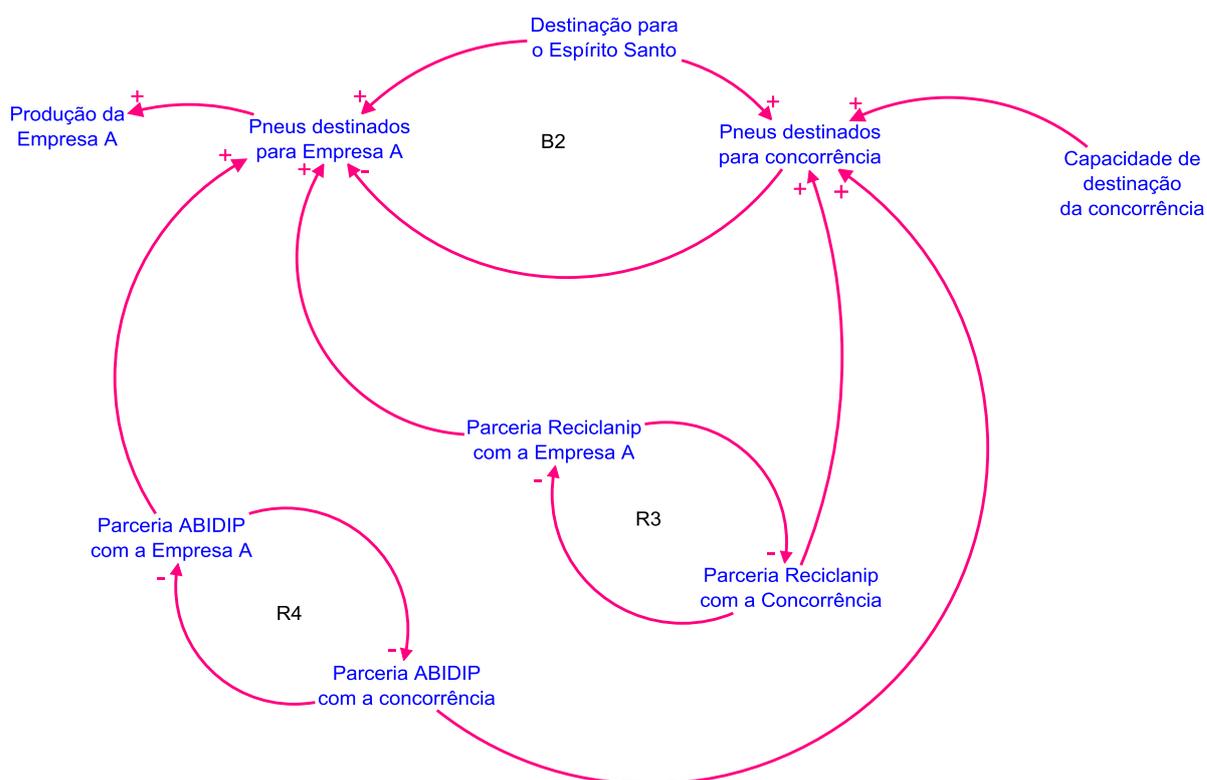
A figura acima traz a primeira parte do mapa sistêmico, iniciando com o enlace reforçador R1, seguido do enlace reforçador R2 e do enlace equilibrador B1.

O enlace reforçador R1 é o modelo mental de como a meta instituída pelo CONAMA 416/2009 funciona. Quanto maior o consumo de pneus no país, mais os fabricantes de pneus deverão produzir, assim como mais importações ocorrerão por parte dos importadores. Isso implica diretamente na meta, já que ela é definida como citado na fórmula (1) no capítulo 2, como a quantidade de pneus novos colocados no mercado com a aplicação de uma taxa de desgaste dos pneus.

Segue-se então para o segundo enlace reforçador, o R2. Visto que os fabricantes e importadores se estruturaram para fazer a logística reversa de pneus para atender a resolução do CONAMA 416/2009, a Reciclanip e ABIDIP realizam a coleta dos pneus nos pontos de coleta cadastrados, o que nos leva ao enlace B1. (CONAMA, 2009)

O enlace B1 é equilibrador. Nele pode-se ver que quanto maior for a coleta, maior é volume de pneus destinados. Ainda de acordo com a resolução CONAMA 416/2009, deve-se assegurar que o passivo seja destinado o mais próximo possível de seu local de geração. Nesse contexto, para melhor estruturação deste trabalho acadêmico, inferiu-se que as destinadoras do Espírito Santo devem ter a preferência no recebimento dos pneus inservíveis gerados no próprio estado, sendo afetados diretamente pelo seu mercado de reposição. Porém, se o Espírito Santo não é capaz de realizar a destinação de todo o seu passivo, este, por sua vez, deve ser destinado para outro estado, o que implica em uma relação inversamente proporcional entre a destinação de pneus para o Espírito Santo e para o restante do Brasil. (CONAMA, 2009)

Figura 12 – Enlaces B2, R3 e R4.



Fonte: Elaborado pela autora através do *software Stella Professional* (2017).

A figura acima traz a segunda parte do mapa sistêmico, composta pelo enlace equilibrador B2 e os reforçadores R3 e R4.

O enlace B2 sintetiza que mais pneus destinados para o Espírito Santo implicam em mais pneus direcionados para Empresa A e para outras destinadoras que venham a existir, podendo ser configuradas como concorrentes de Empresa A. Atualmente, de acordo com o mais recente relatório de pneumáticos do IBAMA, uma cimenteira realizou no ano de 2015 a destinação de 890 toneladas de pneus (IBAMA MMA, 2016).

De acordo com Lagarinhos (2011), os pneus devem passar pelo processo de trituração para se transformar nos chamados chips, que são basicamente lascas da borracha do pneu, ainda sem a sua separação do aço e nylon. Ainda segundo o autor, a Reciclanip paga as empresas trituradoras para transformar os pneus em chips e posteriormente os envia para a realização do coprocessamento. É possível refletir então, que caso a cimenteira localizada no Espírito Santo não possua equipamentos de trituração, ela recebe chips de pneus provenientes de outras trituradoras, o que implica que a concorrência na trituração para a Empresa A ocorre fora dos limites do Espírito Santo. Essa relação pode ser então revertida para uma parceria, onde a Empresa A receberia os pneus a serem revertidos para a cimenteira, realizando a sua trituração para geração do chip de pneu. Por desconhecer o modelo de negócio que a cimenteira segue, neste mapa sistêmico considera-se que destinações para ela implicam em menos pneus destinados à Empresa A, considerando também que concorrentes podem surgir no mercado a qualquer momento, é importante que o mapa inclua essa relação competitiva. Entretanto, na simulação do modelo, o cenário para a parceria entre a Empresa A e a cimenteira será tratado e analisado.

A quantidade de pneus destinados para a Empresa A e também para a concorrência são afetados pelos enlaces reforçadores R3 e R4. Ambos enlaces seguem a mesma lógica, se a parceria entre a Empresa A e a Reciclanip ou ABIDIP aumentar, significa

que a parceria com as concorrentes diminuiu. A quantidade de pneus destinados para a Empresa A bem como a quantidade destinada para a concorrência estão diretamente relacionadas as parcerias estabelecidas com as associações responsáveis pela logística reversa desses pneus. Por sua vez, a capacidade de destinação que a cimenteira tem afeta também a quantidade de pneus aceitos por ela para realizar o coprocessamento, entendendo que não é de interesse da cimenteira acumular um estoque de pneus em sua planta. Portanto quanto maior a capacidade de destinação, mais pneus podem ser destinados para a concorrente atual.

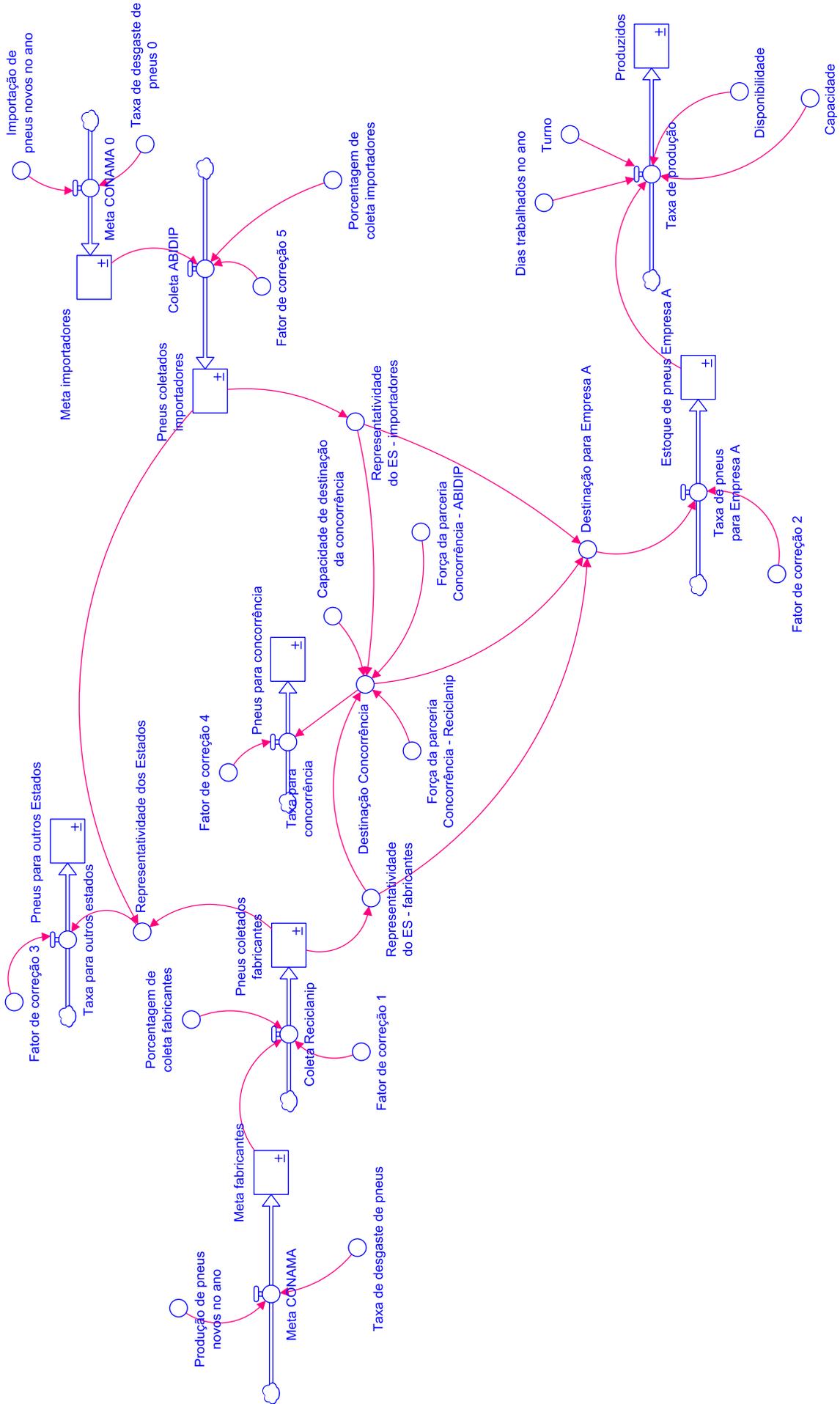
Para concluir o mapa sistêmico deve-se analisar que quanto mais pneus são destinados para a Empresa A, significa que mais a empresa possuirá mais matéria prima para a produção.

4.2 MODELAGEM COMPUTACIONAL

Para Andrade (2006), a tarefa de modelagem computacional não é simplesmente a tradução da linguagem sistêmica e do mapa sistêmico para a linguagem de Dinâmica de Sistemas. A modelagem deve ser portanto, a expressão do que se está interessado em testar através do modelo.

A figura a seguir mostra o resultado do diagrama de fluxo e estoque desenvolvido através do *software Stella Professional* com base no mapa sistêmico.

Figura 13 – Modelagem computacional – Diagrama de fluxo e estoque.



Cada conversor, fluxo e estoque se encontram listados, explicados e quantificados no quadro a seguir.

Quadro 4 – Relação de variáveis do modelo.

Variável	Significado	Quantificação
Produção de pneus novos no ano	Previsão da produção de pneus novos pelos fabricantes no ano.	2018 - 993135 toneladas
Taxa de desgaste de pneus	Taxa referente ao desgaste de 30% do pneu considerado pelo CONAMA	0,7
Meta CONAMA	Meta estabelecida pela Resolução 416/2009 do CONAMA	Produção de pneus novos no ano * Taxa de desgaste de pneus
Meta fabricantes	Meta dos fabricantes no decorrer do ano.	Meta fabricantes(t) = Meta fabricantes(t - dt) + (Meta CONAMA) * dt
Importação de pneus novos no ano	Previsão da importação de pneus novos pelos fabricantes no ano.	2018 - 120623 toneladas
Taxa de desgaste de pneus 0	Taxa referente ao desgaste de 30% do pneu considerado pelo CONAMA	0,7
Meta CONAMA 0	Meta estabelecida pela Resolução 416/2009 do CONAMA	Importação de pneus novos no ano * Taxa de desgaste de pneus 0
Meta importadores	Meta dos importadores no decorrer do ano.	Meta Importadores (t) = Meta importadores(t - dt) + (Meta CONAMA 0) * dt
Porcentagem de coleta fabricantes	Previsão da porcentagem de coleta de pneus pelos fabricantes baseado no histórico de dados contido no relatórios do Ibama.	2018 - 102,99%
Fator de correção 1	Fator utilizado para corrigir a propagação de erro resultante da integralização de cada estoque.	2
Coleta Reciclanip	Taxa de coleta dos fabricantes	Meta fabricantes * Porcentagem de coleta fabricantes * Fator de correção 1
Pneus coletados fabricantes	Pneus coletados pela Reciclanip	Pneus coletados fabricantes(t) = Pneus coletados fabricantes(t - dt) + (Coleta Reciclanip) * dt

Porcentagem de coleta importadores	Previsão da porcentagem de coleta de pneus pelos importadores baseado no histórico de dados contido no relatórios do Ibama.	2018 - 82,59%
Fator de correção 5	Fator utilizado para corrigir a propagação de erro resultante da integralização de cada estoque.	2
Coleta ABIDIP	Taxa de coleta dos importadores	Meta importadores*Porcentagem de coleta importadores*Fator de correção 5
Pneus coletados importadores	Pneus coletados pela Reciclanip	Pneus coletados importadores(t) = Pneus coletados importadores(t - dt) + (Coleta_ABIDIP) * dt
Representatividade dos Estados	Representatividade do Mercado de Reposição dos estados brasileiros excluindo o ES	(1-0,0193)*(Pneus coletados fabricantes+Pneus coletados importadores)
Fator de correção 3	Fator utilizado para corrigir a propagação de erro resultante da integralização de cada estoque.	3
Taxa para outros estados	Taxa de pneus coletados que serão destinados em outros estados	Representatividade dos Estados*Fator de correção 3
Pneus para outros estados	Pneus destinados a outros estados do Brasil	Pneus para outros estados(t)= Pneus para outros estados(t - dt) + (Taxa para outros estados) * dt
Representatividade do ES - fabricantes	Representatividade do mercado de reposição do ES	0,0193*Pneus coletados fabricantes
Representatividade do ES - importadores	Representatividade do mercado de reposição do ES	0,0193*Pneus coletados importadores
Capacidade de destinação da concorrência	Capacidade que a cimenteira tem de destinar pneus inservíveis baseado no relatório de 2016 do Ibama.	890 toneladas
Força da parceria Concorrência - ABIDIP	Intensidade da parceria	De 0 a 1
Força da parceria Concorrência - Reciclanip	Intensidade da parceria	De 0 a 1

Destinação Concorrência	Todo o volume de pneus destinado para a concorrência da Empresa A.	IF(("Representatividade do ES - fabricantes"*"Força da parceria Concorrência - Reciclanip")+("Representatividade do ES - importadores"*"Força da parceria Concorrência - ABIDIP"))<=Capacidade de destinação da concorrência)THEN(("Representatividade do ES - fabricantes"*"Força da parceria Concorrência - Reciclanip")+("Representatividade do ES - importadores"*"Força da parceria Concorrência - ABIDIP"))ELSE(Capacidade de destinação da concorrência)
Fator de correção 4	Fator utilizado para corrigir a propagação de erro resultante da integralização de cada estoque.	1
Taxa para concorrência	Taxa de pneus coletados que foram destinados ao ES e que serão enviados para a concorrência	Destinação Concorrência*Fator de correção 4
Pneus para concorrência	Pneus efetivamente enviados a concorrência.	Pneus para concorrência(t) = Pneus para concorrência(t - dt) + (Taxa para concorrência) * dt
Destinação para Empresa A	Todo o volume de pneus destinados para a Empresa A.	("Representatividade do ES - fabricantes"+"Representatividade do ES - importadores")-(Destinação Concorrência)
Fator de correção 2	Fator utilizado para corrigir a propagação de erro resultante da integralização de cada estoque.	3
Taxa de pneus para Empresa A	Taxa de pneus coletados que foram destinados ao ES e que serão enviados para a Empresa A	Destinação para Empresa A*Fator de correção 2
Estoque de pneus Empresa A	Comportamento do estoque de pneus da Empresa A no período de um ano.	Estoque de pneus da Empresa A(t) = Estoque de pneus Empresa A(t - dt) + (Taxa de pneus para Empresa A) * dt
Turno	Quantidade de turnos trabalhados na Empresa A	8, 16 ou 24 horas
Capacidade	Capacidade de produção da Empresa A	3 ton/h

Dias trabalhados no ano	Dias úteis considerados em um ano.	335 dias
Disponibilidade	Disponibilidade produtiva da planta da Empresa A.	0,95
Taxa de produção	Taxa de produção da Empresa A	IF(Estoque de pneus Empresa A>0) THEN(Capacidade*Turno*Dias trabalhados no ano*Disponibilidade) ELSE 0
Produzidos	Produção da Empresa A baseada no estoque de pneus.	Produzidos(t) = Produzidos(t - dt) + (Taxa de produção) * dt

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

4.3 QUANTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS

Para chegar nesse modelo algumas pré suposições foram necessárias.

Utilizou-se o ano de 2018 como base de dados. A base histórica de dados do mercado de reposição foi retirada do relatório do Ibama (IBAMA MMA, 2016). Por se tratar de uma base histórica curta, houve uma dificuldade de definir tendência e sazonalidade, e portanto o método mais apropriado para a previsão de demanda. Optou-se então por utilizar a linha de tendência que melhor atendesse aos dados vide o valor do R² gerado. De acordo com o Portal Action (2017), o R² é uma medida descritiva da qualidade do ajuste obtido, sendo que quanto maior o R², melhor ajustada está a curva aos dados. Sendo assim, os melhores R²s resultaram os gráficos a seguir para os mercados de reposição do pneus fabricados no Brasil e para os importados, respectivamente.

Gráfico 1 – Mercado de reposição - Fabricação nacional de pneus novos.

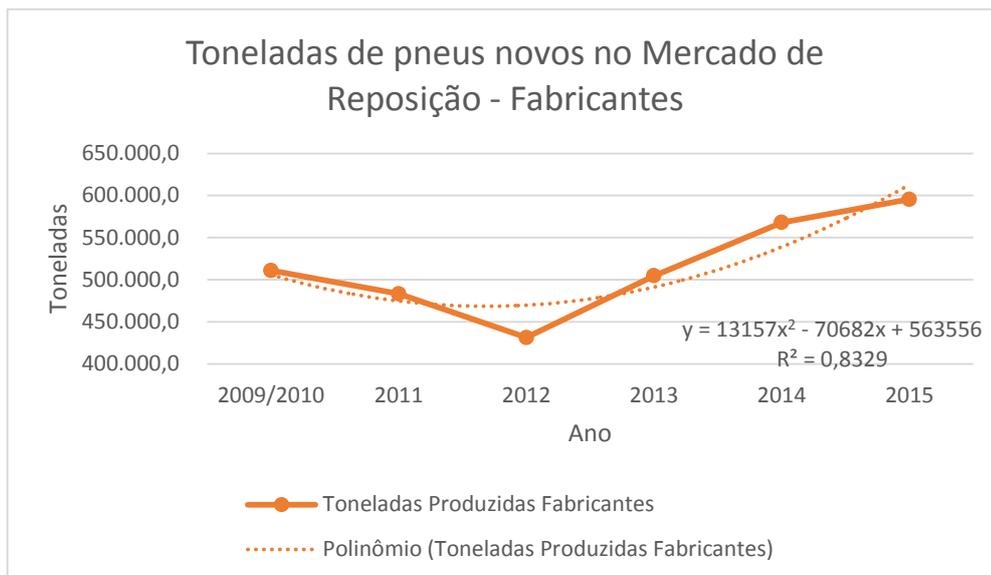
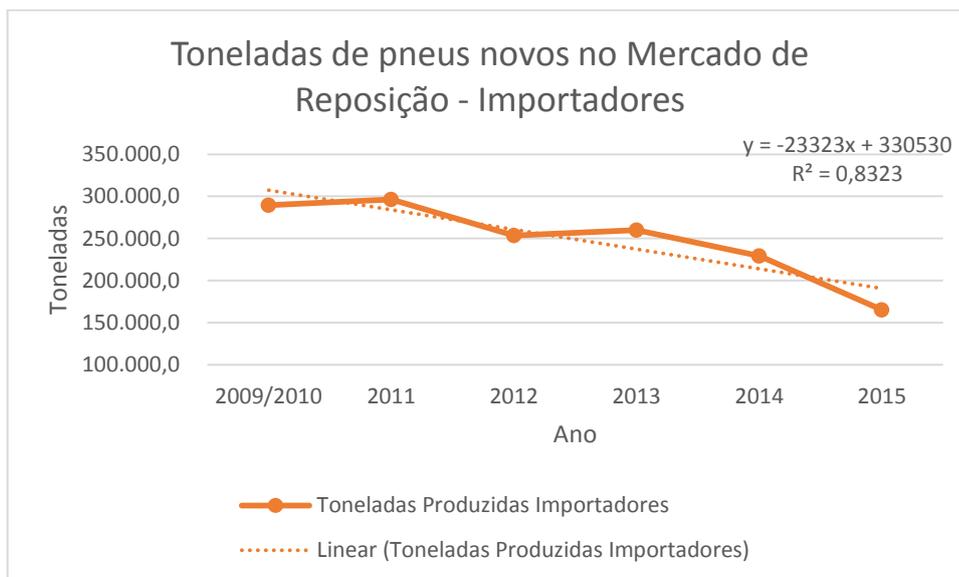


Gráfico 2 – Mercado de reposição - Importação de pneus novos.

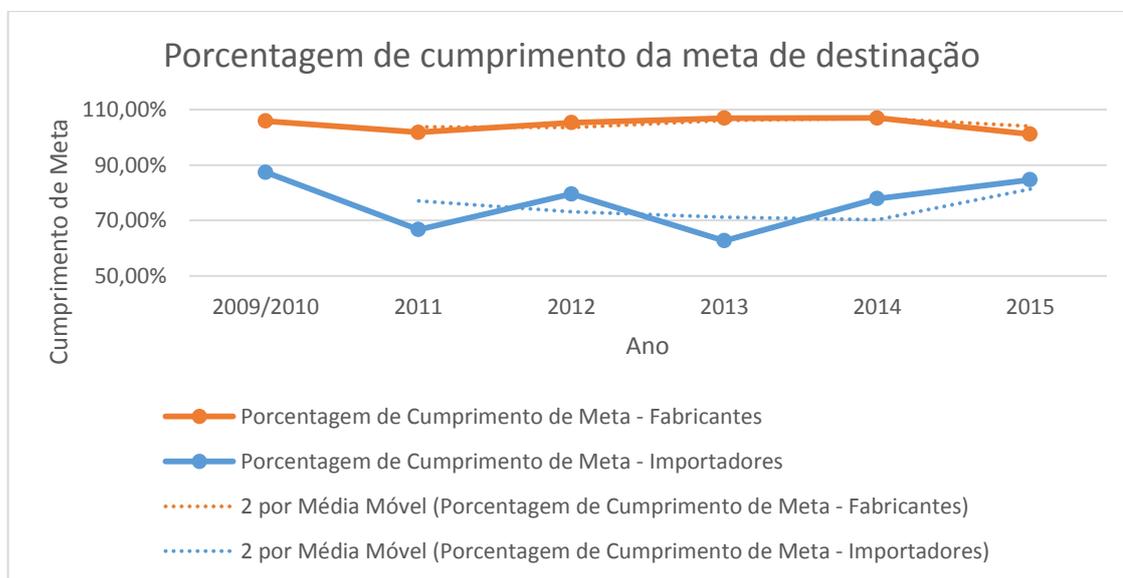


Os valores previstos para o ano de 2018 portanto, foram de 993.135,00 toneladas produzidas pelos fabricantes e 120.623,00 toneladas importadas pelos importadores.

A porcentagem do cumprimento da meta de destinação foi baseada também nos dados históricos fornecidos pelo relatório do Ibama. (IBAMA MMA, 2016). Porém nenhuma linha de tendência apresentou R^2 satisfatório, o que indica que não há uma tendência no cumprimento da meta por parte de nenhuma das associações,

considerando a base histórica de dados disponível. Optou-se então por utilizar o método da Média Móvel, gerando o gráfico a seguir.

Gráfico 3 – Cumprimento da meta de destinação de pneus.



Fonte: Adaptado de (IBAMA MMA, 2016)

Os valores gerados prevêm que no ano de 2018 os fabricantes destinarão 102,99% da meta e os importadores 82,59%.

Outro dado importante é a quantidade de pneus que seriam destinados no Espírito Santo. Poderou-se que todos os pneus inservíveis gerados no estado serão efetivamente destinados no próprio estado, considerando a Resolução CONAMA 416/2009. (CONAMA, 2009).

Entretanto, até o momento o mercado de pneus não divulgou a fatia pela qual cada estado é responsável no mercado de reposição. Levando em consideração que o mercado de reposição tem a função de recolocar no mercado pneus para substituição nos veículos ativos, utilizou-se como base os dados da frota de veículos no país. Os dados foram obtidos no IBGE e podem ser observados na tabela a seguir.

Tabela 1 – Frota de veículos

Variável	Espírito Santo	Proporção ES	Brasil	Proporção Brasil
Automóveis	900.623,00	51,25%	51.296.981,00	56,26%
Caminhões	70.884,00	4,03%	2.684.227,00	2,94%
Caminhões- trator	17.086,00	0,97%	606.679,00	0,67%
Caminhonetes	153.515,00	8,74%	6.880.333,00	7,55%
Caminhonetas	53.722,00	3,06%	3.053.759,00	3,35%
Micro-ônibus	7.873,00	0,45%	383.325,00	0,42%
Motocicletas	421.358,00	23,98%	20.942.633,00	22,97%
Motonetas	99.461,00	5,66%	3.990.558,00	4,38%
Ônibus	14.581,00	0,83%	601.522,00	0,66%
Tratores	2.147,00	0,12%	30.896,00	0,03%
Utilitários	16.069,00	0,91%	707.152,00	0,78%
Total	1.757.319,00	100,00%	91.178.065,00	100,00%

Fonte: Adaptado de (IBGE, 2016).

Seguindo os dados da frota de veículos, foi possível inferir que o Espírito Santo tem 1,93% da fatia do mercado de reposição de pneus do Brasil.

5 SIMULAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A simulação do modelo ocorreu através dos cenários apresentados na tabela a seguir.

Quadro 5 – Cenários simulados

Simulação	Cenários	Parceria Empresa A - Reciclanip	Parceria Concorrência - Reciclanip	Parceria Empresa A - ABIDIP	Parceria Concorrência - ABIDIP
Run 1	Pior Cenário	0	1	0	1
Run 2	Cenário intermediário 1	1	0	0	1
Run3	Cenário intermediário 2	0	1	1	0
Run 4	Cenário intermediário 3	0,5	0,5	0,5	0,5
Run 5	Melhor cenário	1	0	1	0

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Esses cenários foram estrategicamente pensados para que seja possível uma comparação dos resultados mais relevantes a este trabalho acadêmico. Além disso, para analisar o comportamento da produção da Empresa A com o potencial de pneus destinados para a mesma, outras três situações diferentes foram analisadas: utilização de 1, 2 e 3 turnos de trabalho pela Empresa A, considerando 8 horas de trabalho por turno.

O primeiro cenário é o pior caso para a Empresa A. Ele reflete uma parceria fraca com os fabricantes e importadores responsáveis pela logística reversa de pneus. Como já mencionado no capítulo 4 deste trabalho, considerou-se que todo o passivo gerado no estado do Espírito Santo deve ser destinado no próprio estado, a Empresa A pode vir a receber pneus, porém a preferência é dada à concorrente, sendo assim, somente o excedente é destinado para a Empresa A. Lembrando que para essa análise foi estabelecida uma restrição para a quantidade total de pneus que a empresa concorrente pode receber baseado na sua capacidade de destinação de 890 toneladas no ano de 2015 de acordo com o Relatório de Pneumáticos do Ibama de 2016. (IBAMA MMA, 2016).

Os cenários intermediários 1 e 2 ocorrem quando a parceria da Empresa A é forte somente com um dos lados geradores de pneus, ou com fabricantes ou com importadores, perdendo uma parte da destinação total de pneus para a concorrência.

O cenário intermediário 3 reflete uma parceria com força média, onde a quantidade total de pneus é direcionada tanto para a Empresa A quanto para a concorrente.

Os parâmetros de simulação foram ajustados de forma que o tempo analisado é referente ao período de 1 ano, e o DT (delta time) do modelo é de 335. O DT é a quantidade de vezes que o programa fraciona o período analisado, sendo assim 335 é o valor ideal para análise já que é a quantidade considerada de dias trabalhados no ano pela Empresa A.

O cenário 5, reflete o melhor cenário possível para a Empresa A, em que sua parceria tanto com os fabricantes quanto com os importadores de pneus é tão forte que todo o passivo gerado no Espírito Santo é destinado para a mesma.

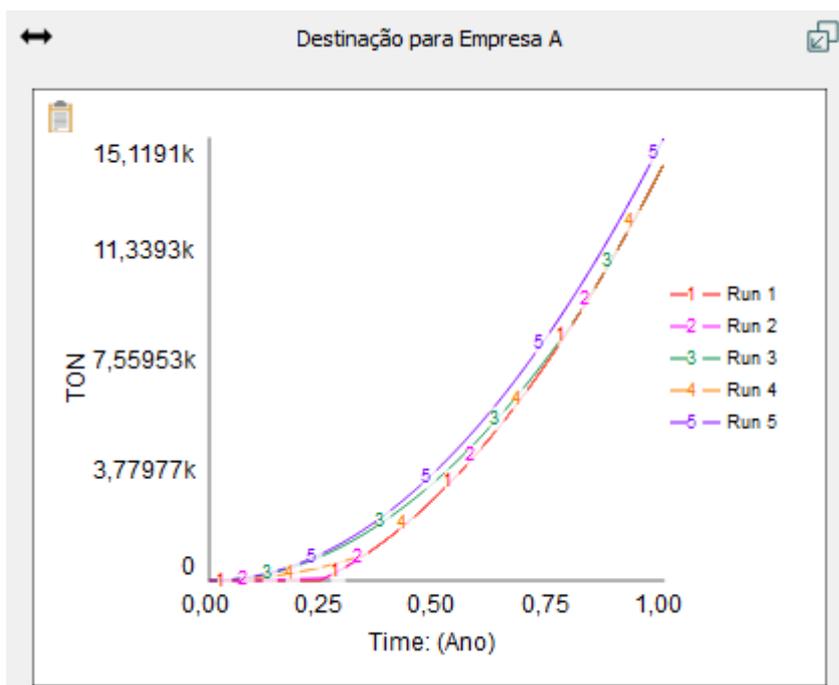
5.1 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO E DISCUSSÃO

É importante salientar que o software trabalha com uma simulação em cadeia, e a forma como trabalha seus cálculos resulta em atrasos, chamado “*artifactual delays*”, o que na prática significa que se uma variável é dependente de outra, no instante 1 o software calculará a primeira variável para no instante 2 calcular a segunda. O que conceitualmente, é real e reflete um atraso inevitável no sistema. (ISEE SYSTEMS, 2017).

Como a divisão do tempo no período DT estabelecido é de 335 dias, significa que cada intervalo de tempo entre o cálculo em cadeia é de um dia. Essa observação é importante para o entendimento dos resultados, já que devido a esse artifício do software os valores não expressam o resultado direto do uso das equações.

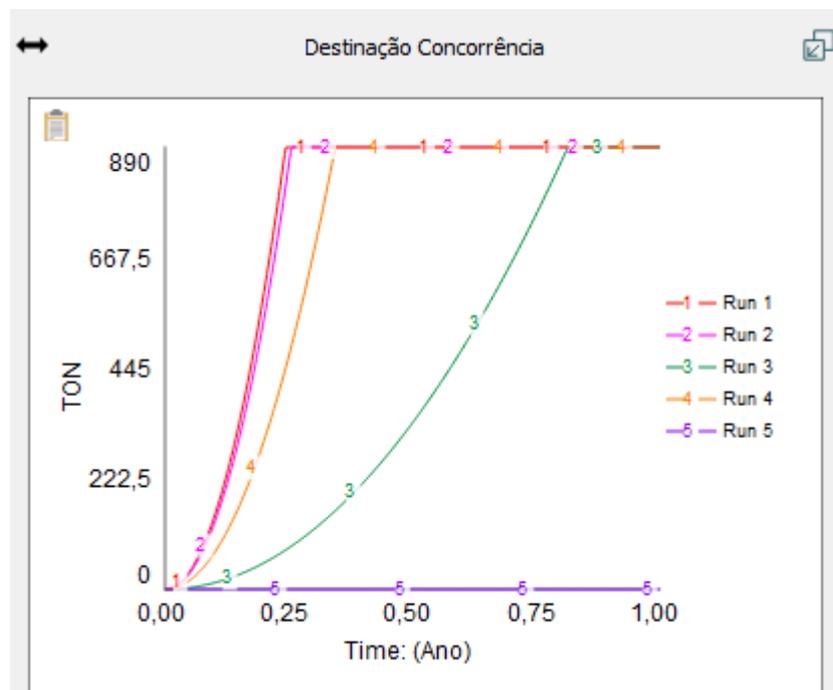
Os gráficos a seguir foram extraídos do *software Stella Professional* após a simulação do modelo para os 5 cenários discutidos no tópico anterior.

Gráfico 4 – Destinação de pneus em toneladas para a Empresa A.



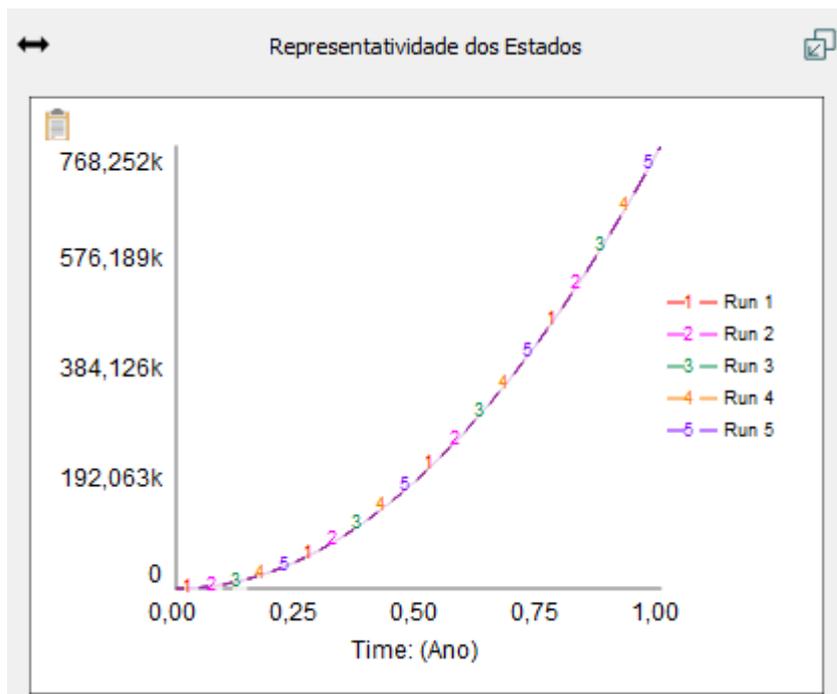
Fonte: *Stella Professional*, 2017.

Gráfico 5 – Destinação de pneus em toneladas para a empresa concorrente.



Fonte: *Stella Professional*, 2017.

Gráfico 6 – Destinação de pneus em toneladas para os demais estados do Brasil.



Fonte: *Stella Professional*, 2017.

Algumas conclusões interessantes podem ser retiradas do resultado do modelo.

O melhor cenário é o único caso em que a Empresa A receberia todo o passivo referente ao Espírito Santo, isso pode ser percebido pela curva 5 no gráfico 4, onde o valor final é de aproximadamente 15.200,00 toneladas de pneus. Apesar de a quantidade final destinada para a Empresa A nos demais cenários ser a mesma devido aos parâmetros utilizados, aproximadamente 14.200,00 toneladas de pneus, a diferença se encontra no comportamento da curva de destinação para cada cenário.

Tomemos a curva 3 de simulação no gráfico 4, ela é a que possui o comportamento mais próximo da curva 5. Isso é explicado pelo fato de os fabricantes serem os responsáveis por destinar a maior quantidade de pneus no país, e para esse cenário a força da parceria da Empresa A com a Reciclanip é intensa, provocando um comportamento próximo ao observado no melhor cenário de destinação. Observa-se também o comportamento das mesmas curvas no gráfico 5, de destinação para a concorrência, onde a curva 5 mostra que nenhum pneu foi encaminhado a concorrente, e na curva 3 as 890 toneladas chegam até a concorrente através dos importadores, levando mais tempo para atingir essa capacidade se comparado a outras curvas onde existe uma parceria da concorrente com os fabricantes.

A simulação 1 é o pior cenário de destinação para a Empresa A, que não possui parceria com os responsáveis pela logística de coleta e somente recebe pneus devido a capacidade de destinação da concorrente estar limitada a 890 toneladas. Este cenário demonstra uma ameaça para a Empresa A, que fica a mercê da concorrência, podendo ela aumentar sua capacidade de destinação o que implicaria em menos pneus destinados a Empresa A. Neste cenário, caso outra empresa concorrente surgisse no mercado de destinação de pneus a Empresa A poderia ter seu fluxo de estoque proveniente da coleta por fabricantes e importadores reduzido a zero.

A simulação 2 considera que a Empresa A possui uma parceria forte somente com os importadores. Este é o cenário que sucede o pior cenário, devido ao fato de os importadores terem pouca representatividade na destinação de pneus se comparado aos fabricantes.

No capítulo 4, explicou-se que a cimenteira e a Empresa A não necessariamente serão concorrentes. Essa é uma situação desejável que é comportada na simulação 5, o melhor cenário para a Empresa A. Nesse cenário, não necessariamente a cimenteira receberia nenhum pneu, ao contrário, ela receberia a quantidade de pneus que atendam a sua capacidade, porém eles seriam provenientes do processo de trituração da Empresa A. Nesse modelo ambas empresas se beneficiariam já que as duas receberiam a quantidade total de pneus que necessitam.

O gráfico 6 mostra a destinação no restante do Brasil. Visto que a representatividade do Espírito Santo foi calculada em 1,93% do total de pneus, o restante dos estados brasileiros recebem os remanecentes 98,07%. É importante perceber, portanto, que caso a prioridade de destinação estabelecida pela resolução CONAMA 416/2009 não for efetiva e os passivos não forem destinados o mais próximo possível de seu lugar de geração, a Empresa A sofre a ameaça de destinadoras concorrentes já estabelecidas em outros estados. O modelo apresentado nesse trabalho não abrange esse cenário, devido à falta de disponibilidade de dados que tornem possível o mapeamento dessa prioridade de destinação.

Isto posto, alguns gargalos do sistema puderam ser identificados. O sistema exposto revela que para todos os cenários a Empresa A está altamente dependente das associações de fabricantes e importadores e da quantidade de pneus que ambos destinariam para o Espírito Santo. Outro gargalo importante é a força das parcerias entre as associações e empresas destinadoras de outros estados.

Essa reflexão mostra a importância do fortalecimento de parcerias como estratégia no mercado e que uma alternativa a esses cenários é a Empresa A realizar a própria coleta de pneus, estruturando seu roteamento e logística de captação. Isso implicaria em um novo estudo, onde a Empresa A se enquadraria como concorrente das associações, aumentando a competitividade na coleta de pneus inservíveis.

5.1.1 SITUAÇÃO PARA DIFERENTES TURNOS DE TRABALHO

Os gráficos 7 e 8 a seguir mostram a quantidade de pneus que a Empresa A foi capaz de processar para um turno e para dois turnos de trabalho.

É possível perceber que com um turno de trabalho a Empresa A não possui capacidade para processar a quantidade total de pneus encaminhada a ela, sendo necessário dois turnos para produzir o equivalente a aproximadamente 15.000,00 toneladas de pneus triturados.

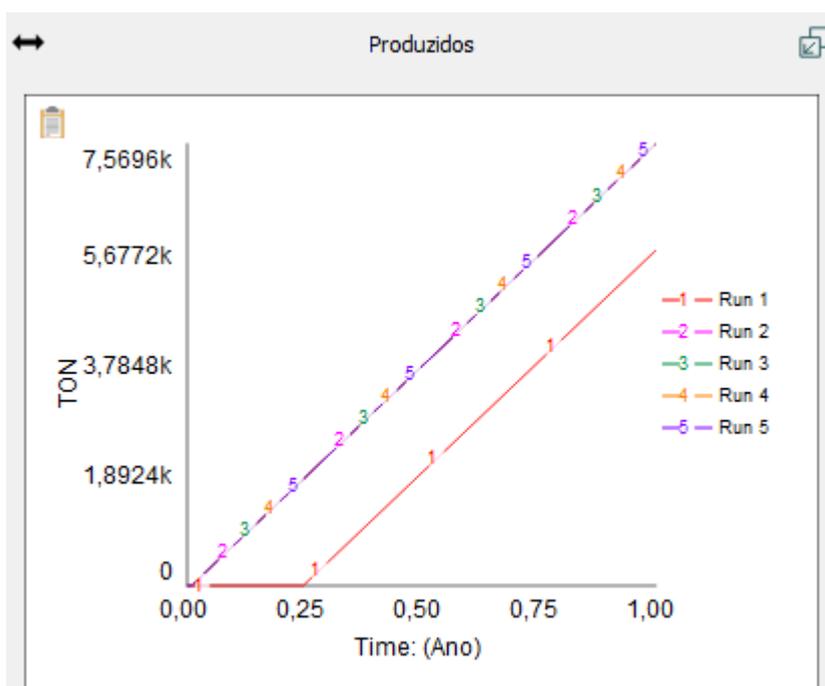
No pior cenário, a Empresa A não conseguiria realizar o processamento dos pneus utilizando a capacidade total da planta. Isso se deve ao fato de os pneus só chegarem a Empresa A após o recebimento da concorrente de todos os pneus que a mesma é capaz de processar, provocando um atraso no recebimento de pneus da Empresa A, que por sua vez, apesar de possuir capacidade anual para processar a quantidade total destinada, só teria pneus disponíveis depois do primeiro quarto do ano ter passado.

Considerando a destinação dos cenários, três turnos de trabalho tornariam a planta ociosa por muito tempo, o que é contra produtivo e não indicado. Para que trabalhar

três turnos seja viável, a Empresa A pode buscar maneiras alternativas de coleta de pneu, de maneira independente as associações.

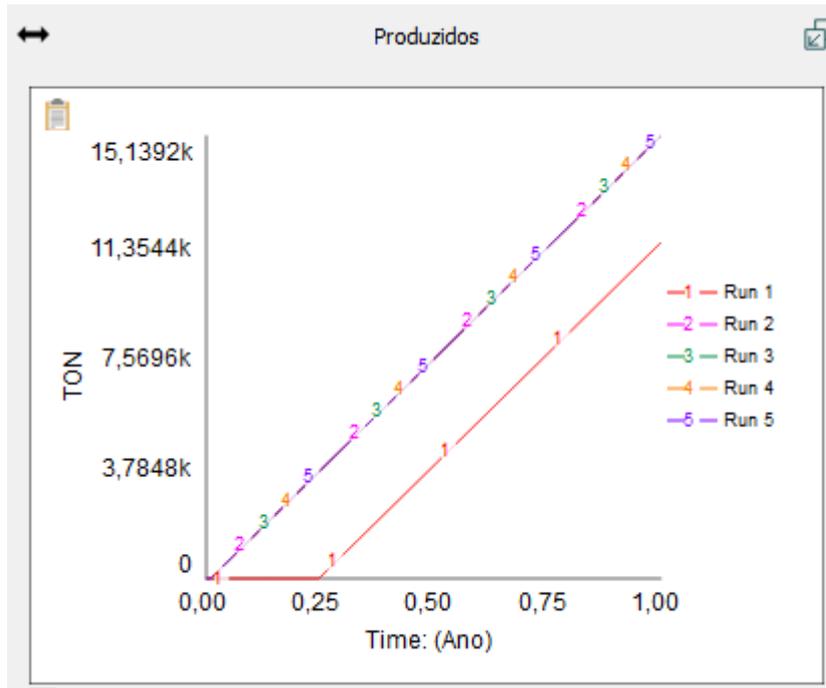
Uma maneira alternativa é identificar borracharias e recauchutadoras no estado que não estejam associadas à Reciclanip ou ABIDIP e estabelecer uma parceria para que o passivo gerado nesses locais possa ser destinado na Empresa A. Diante da dificuldade de fazer o levantamento de quantos pneus inservíveis ainda se encontram como passivos no meio ambiente, considerando os anos anteriores à Resolução CONAMA 416/2009, e também, os pneus não rastreados pelas associações desde que a Resolução entrou em vigor, não fez parte do escopo deste trabalho acadêmico a análise do potencial de pneus passíveis de coleta pela Empresa A.

Gráfico 7 – Produção da Empresa A para um turno de trabalho.



Fonte: *Stella Professional*, 2017.

Gráfico 8 – Produção da Empresa A para dois turnos de trabalho.



Fonte: *Stella Professional*, 2017.

6 CONCLUSÕES

Diante dos dados gerados, é possível estabelecer que, para a Empresa A, uma análise sistêmica da questão da logística de coleta de pneus se faz útil e benéfica, pois identifica os agentes do sistema e suas relações.

Isso se refletirá na gestão estratégica da Empresa A, visto que um melhor entendimento dos cenários possíveis e como a dinamicidade do sistema pode afetar o negócio, assim como identificar os gargalos, quais parceiros são essenciais e quais serão os fatores de risco para a organização, permitem enxergar quais são as possíveis soluções para cada situação. Isso tornará a empresa mais preparada para responder às adversidades futuras através do autoconhecimento.

É importante salientar que o modelo aqui apresentado possui oportunidades de melhoria, principalmente se considerados os parâmetros utilizados para reger os modelos mentais do sistema. Quanto mais acurados forem os parâmetros e mais próximos da realidade, melhores serão os resultados obtidos.

Além disso, sempre que necessário, novos agentes e relações podem ser adicionados ao sistema, e adaptar o modelo se torna essencial para a melhoria e aprendizados contínuos. A versatilidade do modelo o torna benéfico não somente para a Empresa A, mas para outros estudos ou empreendimentos que pretendam utilizar a modelagem computacional da Dinâmica de Sistemas para elucidar soluções estratégicas para sistemas com relações diversas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIDIP. *Institucional*. Disponível em: < <http://www.abidip.com.br/>>. Acesso em 13 de dezembro de 2016.

AMORIM, E. S. *Logística Reversa de Pneus Inservíveis: Uma Pesquisa-Ação no Município de Três Corações (MG)*. 2015. 152 p. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção) Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais, 2015.

ANDRADE, Aurélio L., et al. *Pensamento Sistêmico: Caderno de Campo: O desafio da mudança sustentada nas organizações e na sociedade*. Porto Alegre: Bookman, 2006. 488 p.

ARONSON, D. *Overview of Systems Thinking*. Estados Unidos: Pegasus Communication, 1996.

ARONSON, D. *Applying the Power of Systems Thinking to Innovation*. Innovative Leader. Estados Unidos, v. 6, n. 2, 1997.

CHAPMAN, J. *An Introduction to 'Systems'*. 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências. Resolução n. 416, de 30 de setembro de 2009. Publicado no DOU nº 188, EM 01/10/2009, págs. 64-65.

ECO GREEN EQUIPMENTS. *Applications – By-products*. Disponível em: <<http://ecogreenequipment.com/applications/by-products/>>. Acesso em 13 de dezembro de 2016.

FARAZEE, M. A. et. al. *System dynamics models for decision making in product multiple lifecycles*. Resources, Conservation and Recycling, v. 101, p. 20–33, 2015.

FERNANDES, L. R. *Mapa Sistêmico da Nova Legislação Portuária Brasileira - Lei N. 12.815/2013*. 2016. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2016.

FRANCO, G. N. *Problemática Pneus x Dengue*. Secretária de Vigilância em Saúde. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/83C56F5F/DENGUE%20PNEUS%20STF3%201507_MSaude.pdf>. Acesso em 02 de julho de 2017.

FREITAS, T. A. F., et. al. *Logística Reversa como ferramenta para a sustentabilidade: Um estudo sobre pneumáticos*. In: XXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Salvador - BA, 2009.

GEORGIADIS, P.; VLACHOS, D. (2003). *Decision Making in Reverse Logistics Using System Dynamics*. Yugoslav Journal of Operations Research, v. 14, n. 2, p. 259-272, 2004.

IBAMA MMA. *Relatório de Pneumáticos de 2016: Resolução CONAMA nº 416/09*. IBAMA, Brasília, 2016.

IBAMA MMA. *Relatório de Pneumáticos de 2016: Resolução CONAMA nº 416/09: Pontos de Coleta de Pneus Inservíveis*. IBAMA, Brasília, 2016.

IBGE. *Infográficos*. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/frota.php?lang=&codmun=320530&search=esp%E Drito-santo|vitoria>>. Acesso em 24 de julho de 2017.

INSTITUTO AÇO BRASIL. *Sustentabilidade: Reciclagem*. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/sustentabilidade/reciclagem.asp>>. Acesso em 13 de dezembro de 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. *Pneumáticos Inservíveis*. Disponível em <<http://www.ibama.gov.br/residuos/pneus#relatoriodepneumaticos>>. Acesso em 02 de julho de 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Institui, no âmbito do IBAMA, os procedimentos necessários ao cumprimento da Resolução CONAMA nº 416 de 2009, pelos fabricantes e importadores de pneus novos, sobre coleta e destinação final de pneus inservíveis. Instrução Normativa nº 1, de 18 de março de 2010. Publicado no DO em 19 mar 2010.

ISEE SYSTEMS. *About*. Disponível em <<https://www.iseesystems.com/about.aspx>>. Acesso em 02 de julho de 2017.

ISEE SYSTEMS. *Systems Thinking*. Disponível em <<https://www.iseesystems.com/systems-thinking.aspx>> Acesso em 02 de julho de 2017.

ISEE SYSTEMS. *Stella Professional*. Disponível em <<https://www.iseesystems.com/store/products/stella-professional.aspx>>. Acesso em 02 de julho de 2017.

KIM, D. H. *Introduction to Systems Thinking*. Pennsylvania State University: Pegasus Communications, 1999. 20 p.

KOPICHI, R. J. et. al. *“Reuse and recycling,”* Reverse logistics opportunities Illinois: OAK Brook, Council of Logistics Management, 1993.

LAGARINHOS, C.A.F. *Reciclagem de pneus: análise do impacto da legislação ambiental através da logística reversa*. 2011. 291 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Logística Reversa*. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-perigosos/logistica-reversa>>. Acesso em 02 de julho de 2017.

NOVAES, Antônio G. *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição: Estratégia, Operação e Avaliação*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

NUNES, Paulo. *Abordagem Sistêmica da Gestão*. Disponível em: <<http://know.net/cienceconempr/gestao/abordagem-sistemica-da-gestao/>>. Acesso em: 13 de dezembro de 2016.

PORTAL ACTION. *Coeficiente de Determinação*. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/analise-de-regressao/16-coeficiente-de-determinacao>> Acesso em 24 de julho de 2017.

RECICLANIP. *Institucional Reciclanip*. Disponível em <<http://www.reciclanip.org.br/v3/quem-somos-institucional>>. Acesso em 13 de dezembro de 2016.

RESENDE, E. L. *Canal de Distribuição Reverso na Reciclagem de Pneus: Estudo de Caso*. 2004. 120 f. Tese (Mestrado em Engenharia Industrial) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2004.

RICHARDSON GP, OTTO P. *Application of system dynamics in marketing: editorial*. Journal of Business Research. v. 61, n. 11, p.1099–101, 2008.

RICHMOND, B. *Systems Dynamics / Systems Thinking*. Escócia, 1994.

RODRIGUES, C. M.; HENKES, J. A. *Reciclagem de pneus: Atitude ambiental aliada à estratégia econômica*. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental. Florianópolis, v. 4, n. 1, p. 448- 473, 2015.

RYLANDER, A. *Design Thinking as Knowledge Work: Epistemological Foundations and Practical Implications*. Design Management Journal, 4, 7–19, 2009.

STOCK, J. R. *Reverse Logistics*. Illinois: OAK Brook, Council of Logistics Management, 1992.

VELOSO, Z. M. F. *Ciclo de Vida dos Pneus*. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br/painelsetorial/palestras/Zilda-Maria-Faria-Veloso-Ciclo-Vida-Pneus.pdf>>. Acesso em 02 de julho de 2017.

YE, G. et. al. *Simulating effects of management measures on the improvement of the environmental performance of construction waste management*. Resources, Conservation and Recycling, v. 62, p. 56– 63, 2012.

YUAN, H. P. et. al. *A model for cost–benefit analysis of construction and demolition waste management throughout the waste chain*. Resources, Conservation and Recycling, v. 55, p. 604–612, 2011.

YUAN, H. *A model for evaluating the social performance of construction waste management*. Waste Management, v. 32, p.1218–1228, 2012.