

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

MARCOS WAGNER JESUS SERVARE JUNIOR

**POSTERGAÇÃO DE TEMPO NO PROJETO DE
REDE LOGÍSTICA REVERSA DO ÓLEO DE
COZINHA EM VITÓRIA – ES**

VITÓRIA

2017

MARCOS WAGNER JESUS SERVARE JUNIOR

POSTERGAÇÃO DE TEMPO NO PROJETO DE REDE LOGÍSTICA REVERSA DO ÓLEO DE COZINHA EM VITÓRIA – ES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração Transportes.

Orientador: Prof.^a Dra. Patrícia Alcântara Cardoso

VITÓRIA

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

**POSTERGAÇÃO DE TEMPO NO PROJETO DE REDE LOGÍSTICA
REVERSA DO ÓLEO DE COZINHA EM VITÓRIA – ES**

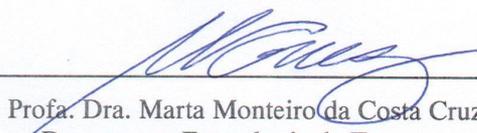
Marcos Wagner Jesus Servare Junior

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de Transportes.

Aprovada no dia **27 de março de 2017** por:



Profa. Dra. Patrícia Alcântara Cardoso
Doutora em Engenharia de Produção
Orientadora - UFES



Profa. Dra. Marta Monteiro da Costa Cruz
Doutora em Engenharia de Transportes
Membro Interno - UFES



Profa. Dra. Marcia Helena Moreira Paiva
Doutora em Engenharia Elétrica
Membro Externo - UFES

Vitória – ES, março de 2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial Tecnológica,
Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

S491p Servare Junior, Marcos Wagner Jesus, 1987-
Postergação de tempo no projeto de rede logística reversa
do óleo de cozinha em Vitória – ES / Marcos Wagner Jesus
Servare Junior. – 2017.
101 f. : il.

Orientador: Patrícia Alcântara Cardoso.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Óleos vegetais – Eliminação de resíduos. 2. Óleo de
cozinha. 3. Postergação de tempo (Logística). 4. Cadeia de
suprimentos. 5. Logística reversa. 6. Modelagem matemática. I.
Cardoso, Patrícia Alcântara. II. Universidade Federal do Espírito
Santo. Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 624

À minha linda Nínive!

AGRADECIMENTOS

Neste momento dedico meus sinceros agradecimentos a Deus, Criador de todas as coisas e que mesmo com sua imensa grandiosidade cuidou de mim. Ele me capacitou, me deu forças e permitiu que esta etapa fosse concluída. O meu Mestre!

Agradeço também a minha querida esposa e companheira de todos os momentos. Te amo, Nine.

Marcos e Gorete, meus tão amados pais! Obrigado por cada puxão de orelha, por cada incentivo no estudo, por acreditarem e investirem tanto em mim, vocês me preparam para que eu chegasse aqui. Esse título, na verdade, tem muito de vocês e quase nada de mim.

Meus agradecimentos a minha irmã Anne que, apesar de todas as diferenças (e não são poucas), é a pessoa no mundo que mais se sente como eu sinto. Eu te amo, gorda (Agora ficou registrado, não posso apagar).

Agradeço aos meus avós por toda base, suporte, amor e carinho. Nunca vou esquecer de vocês.

Agradeço aos tantos amigos que tenho feito nessa caminhada, sou resultado de um pouco da influência de cada um de vocês.

Não posso esquecer da minha orientadora Patrícia, muito obrigado pelos conselhos, pelas sugestões e por cada bom momento que essa aventura no mestrado proporcionou! Eu aprendi muito com você!

Agradeço às professoras Marta e Marcia, pelas dicas e sugestões que ajudaram muito a melhorar o resultado deste trabalho!

Agradeço às colegas de turma e de LabNuLT, pelas risadas e conversa que fizeram momentos alegres.

Agradeço a CAPES, pelo financiamento de minha pesquisa através da bolsa de estudos.

Enfim, agradeço por cada palavra de apoio de cada um que deu um pouco de seu tempo e contribuiu para que concluísse essa etapa!

“Descobri que não há nada melhor para o homem
do que ser feliz e praticar o bem enquanto vive. ”

Eclesiastes 3:12 (NVI)

RESUMO

Uma questão crucial no projeto de eficientes sistemas logísticos é a identificação de locais para instalações dos estoques e a literatura contempla diversos modelos para este tipo de problema, como a proposta promovida pela postergação de tempo, que incentiva a criação e centralização de estoques para minimizar custos e riscos associados ao planejamento de uma cadeia de suprimentos. Em paralelo a isso, o crescimento mundial do consumo de produtos ocasiona o surgimento de um paradigma relacionado ao fim da vida útil ou o fim do consumo destes produtos. Essa questão se torna ainda mais importante a medida que este bem possa provocar avarias e problemas ambientais. O descarte do óleo de cozinha usado é uma destas situações, que quando descartado de forma inapropriada pode acarretar um severo impacto ambiental em uma região. Junto ao crescimento do consumo de óleo de cozinha, leis foram promulgadas, dentre elas a Política Nacional de Resíduos Sólidos, com o objetivo de incentivar o retorno na cadeia reversa e que motivaram o crescimento do campo de pesquisa da logística reversa para questões ambientais, promoção de novas instalações e fluxos para este sistema. Nesta dissertação, é analisado o problema de postergação de tempo. Como fator de aplicação foi realizado o estudo de postergação de tempo na cadeia reversa do óleo de cozinha usado no município de Vitória no Estado do Espírito Santo. Nesse contexto, esse trabalho propõe uma modelagem matemática para utilização da postergação de tempo no projeto da cadeia de suprimentos reversa. O modelo foi aplicado à região de estudo de caso a partir da definição de 24 cenários e, então, solucionado com a implementação no CPLEX 12.6 que pôde solucionar todos estes cenários de maneira ótima. Com os resultados alcançados, foram elaboradas propostas considerando o cenário atual com uma projeção de longo prazo e outra proposta considerando o mesmo cenário com o incremento de capacidade a uma empresa de beneficiamento de resíduo da região. Ainda, foi detectada a importância dos custos de transportes na formação do custo total, além de indicar uma previsão de gastos com a implementação dos cenários e alternativas para que ocorra a implementação do projeto.

Palavras-chave: Postergação de tempo. Logística reversa. Projeto da cadeia de suprimentos. Modelagem matemática. Óleo de cozinha usado.

ABSTRACT

A crucial issue in the design of efficient logistics systems is the identification of locations for inventory facilities and the literature includes several models for this type of problem, such as the proposal promoted by the time postponement, which encourages the creation and centralization of inventories to minimize costs and risks associated with planning a supply chain. Furthermore, the world growth of the consumption of products causes the emergence of a paradigm related to the end of the useful life or the end of the consumption of these products. This issue becomes more important as it can cause damage and environmental problems. The disposal of used cooking oil is one of these situations, which when improperly discarded could cause a severe environmental impact in an area. Along with the increase in the consumption of cooking oil, laws were promulgated, among them the National Solid Waste Policy, with the objective of encouraging the return in the reverse chain and, thus, motivated the growth of the research field of reverse logistics for environmental issues and the promotion of new installations and flows for this system. In this thesis, the problem of time postponement is analyzed. As an application, the study of time postponement in the reverse cooking oil chain in the city of Vitória in the State of Espírito Santo was carried out. In this context, this work proposes a mathematical modeling for the use of time postponement in the design of the reverse supply chain. The model was applied to the case study area from the definition of 24 scenarios and then solved with the implementation in CPLEX 12.6 that was able to solve all these scenarios to the optimality. With the results achieved, proposals were prepared considering the current scenario with a long-term projection and another proposal considering the same scenario with the increase of capacity to a waste processing company in the area. Also, the importance of transport costs in the formation of the total cost was detected, besides indicating a forecast of expenses with the implementation of the scenarios and alternatives for the implementation of the project.

Keywords: Time postponement. Reverse logistics. Supply chain design. Math modelling. Used cooking oil.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Valor da Função objetivo dos cenários de acordo com a restrição político-administrativa para abertura de um CT.....	59
Gráfico 2: Valor da Função objetivo dos cenários de acordo com a restrição geográfica para abertura de um CT.....	59
Gráfico 3: Valor da Função objetivo dos cenários de acordo com a restrição municipal para abertura de um CT.....	60
Gráfico 4: Custo associado a implementação dos cenários com o Horizonte de Planejamento de 5 anos.....	60
Gráfico 5: Custo total da implementação de cada cenário que contabiliza o custo total no Horizonte de Planejamento de 5 anos.....	61
Gráfico 6: Custo total da implementação de cada cenário que contabiliza o custo total no Horizonte de Planejamento de 15 anos.....	61
Gráfico 7: Frequência de escolha da localização do estoque em todos os cenários....	62
Gráfico 8: Quantidade de aparições de cada tipo de estoque em todos os cenários...	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estágios e fluxo em uma cadeia de suprimento.....	21
Figura 2: Classificação da pesquisa.....	33
Figura 3: Etapas do desenvolvimento do modelo – Adaptado de Mapa (2007).....	35
Figura 4: Vitória em bairros (VITÓRIA, 2014b).....	37
Figura 5: Representação gráfica da rede logística reversa deste estudo.....	39
Figura 6: Esquematização simplificada de possíveis locais para postergação na rede logística.....	40
Figura 7: Rede logística com postergação de tempo.....	40
Figura 8: Regiões administrativas de Vitória (VITÓRIA, 2014d).....	55
Figura 9: Resultado do cenário 1.1 - Adaptado de Vitória (2014b).....	65
Figura 10: Resultado do cenário 2.3 - Adaptado de Vitória (2014b).....	67
Figura 11: Resultado do cenário 5.3 - Adaptado de Vitória (2014b).....	68
Figura 12: Resultado do cenário 1.3 - Adaptado de Vitória (2014b).....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Consumo mensal de óleo de cozinha baseado na renda.....	45
Tabela 2: Característica da população, renda e demanda do bairro Centro.....	46
Tabela 3: Custo de aquisição de tanques.....	48
Tabela 4: Custos de instalação de um CT.....	49
Tabela 5: Faixas de capacidade de um CT.....	50
Tabela 6: Cenários de estudo avaliados.....	52
Tabela 7: Resultados dos cenários elaborados	57
Tabela 8: Cenários que atendem os critérios para formulação das propostas.....	70
Tabela 9: Quantidade enviada para cada EBR.....	74
Tabela 10: Cenário adicional com toda a demanda enviada para a Empresa 1.....	74
Apêndice B: Estimativa de resíduos e consumo por bairro e região administrativa de Vitória em 2010.....	91
Apêndice C: Demandas dos bairros nos períodos considerados neste estudo (em litros).....	94
Apêndice D: Demanda total, Capacidade e Custo de instalação de um estoque.....	97
Apêndice E: Demanda mensal, capacidade mensal e custo de um CT.....	98
Apêndice F: Custo de transporte e capacidade da empresa de beneficiamento.....	99

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação dos problemas de postergação de tempo.....	26
Quadro 2: Codificação dos artigos revisados sobre postergação de tempo.....	28
Quadro 3: Desenvolvimento histórico da logística reversa.....	29
Quadro 4: Codificação do problema em questão.....	45
Quadro 5: Bairros que enviam suas demandas para cada um dos CT's abertos.....	73

LISTA DE SIGLAS

ANP	Agência Nacional do Petróleo
CF	Custos Fixos
CT	Centro de Tratamento
CV	Custos Variáveis
EBR	Empresa de Beneficiamento de Resíduos
FO	Função Objetivo
HP	Horizonte de Planejamento
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PLIM	Programação Linear Inteira Mista
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	16
1.1.	OBJETIVOS	18
1.1.1.	Objetivo geral	18
1.1.2.	Objetivos específicos.....	18
1.2.	ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO.....	18
2.	REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1.	CADEIA DE SUPRIMENTOS	20
2.2.	PRINCÍPIO DA POSTERGAÇÃO.....	22
2.2.1.	Postergação de Tempo	22
2.3.	LOGÍSTICA REVERSA	28
2.3.1.	Logística reversa do óleo de cozinha	31
3.	METODOLOGIA.....	33
3.1.	ETAPAS METODOLÓGICAS DA PESQUISA.....	34
3.2.	O PROBLEMA REAL DA POSTERGAÇÃO DE TEMPO NA REDE LOGÍSTICA REVERSA.....	36
3.3.	MODELO MATEMÁTICO	39
3.4.	OBTENÇÃO DE DADOS.....	45
3.4.1.	Geração de demanda do óleo de cozinha usado	45
3.4.2.	Custos fixos	47
3.4.3.	Custos variáveis	50
3.4.4.	Elaboração de cenários	51
4.	RESULTADOS e discussões.....	56
4.1.	RESULTADOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO NO ESTUDO DE CASO 56	
4.2.	ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS	63
4.3.	REDE LOGÍSTICA PROPOSTA.....	69
5.	CONCLUSÕES.....	76

REFERÊNCIAS.....	80
APÊNDICES.....	87
APÊNDICE A: Modelo matemático implementado no CPLEX	87
APÊNDICE B: Estimativa de resíduos e consumo por bairro e região administrativa de Vitória em 2010	91
APÊNDICE C: Demandas dos bairros nos períodos considerados neste estudo	94
APÊNDICE D: Demanda total, Capacidade e Custo de instalação de um estoque ..	97
APÊNDICE E: Demanda mensal, capacidade mensal e custo de um CENTRO DE TRATAMENTO.....	98
APÊNDICE F: custo de transporte e capacidade da empresa de beneficiamento	99

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial tem elevado o consumo de diferentes produtos, provocando demandas e geração de esforços por cada *stakeholder* em disponibilizar e oferecer aquele produto para o consumidor que o deseja.

Dessa forma, a logística torna-se fundamental nas relações comerciais e suas influências em custos e participações implicam em importante parcela no planejamento gerencial e tomada de decisão empresarial.

Com isso, as exigências do mercado não se resumem em apenas levar e trazer mercadorias, é necessária a realização de um planejamento em termos de atendimento a demanda (PORTO, 2011). Logo, o acesso ao produto certo é o principal objetivo destas operações, ou seja, entregue ao cliente, no momento certo, e no local designado, porém, com maior agilidade e segurança.

Neste contexto, Alderson (1950) apresentou o princípio da postergação como alternativa do *marketing* para auxiliar neste processo. O princípio recomenda uma postergação (do inglês, *postponement*), ou atraso, na movimentação física e na configuração do produto quanto for possível nos processos de produção e distribuição dos produtos.

Um dos segmentos deste campo de pesquisa é a postergação na movimentação física de produtos, atraso este que gera um acúmulo de produtos até a sua movimentação ao seguinte nó da cadeia de suprimentos. No presente trabalho este acúmulo proposital será tratado como estoque.

De maneira específica, Alderson (1950) ainda sugere que postergar a movimentação de um produto no processo de distribuição física seja tratado como postergação de tempo. Por sua vez, Cardoso (2002) destaca a redução de custos logísticos como uma das ferramentas chaves da competição entre as empresas proporcionados pela postergação,

A cadeia de suprimentos que motivou este estudo foi a da logística reversa do óleo de cozinha usado, que tem sido objeto de discussões em diversos trabalhos na literatura. No município de Vitória o Projeto de Lei 308 de 2014 (VITÓRIA, 2014) estabelece a obrigatoriedade de supermercados com mais de 50 m² de manter em seu estabelecimento um recipiente para receber óleo descartado.

O Projeto de Lei obteve a aprovação pela Comissão de Defesa do Consumidor e Fiscalização de Lei (PITTELLA, 2015), embora não tenha ido adiante. Ainda assim, a sua importância no contexto local e a oportunidade de aplicação dos conceitos da postergação de tempo permitiram que esta cadeia de suprimentos fizesse parte do escopo desta pesquisa.

Dessa maneira, o estudo de caso apresentado nesta pesquisa traz consigo o campo da logística reversa, área que houve um aumento de importância nos últimos tempos devido ao crescimento dos fluxos reversos para remanufatura, recuperação de produtos ou descarte (SERVARE JUNIOR *et al.*, 2012).

Outro importante fator que justifica o desenvolvimento desse tipo de pesquisa é a crescente observação dos aspectos ambientais pelos legisladores, a partir de leis que estimulem a preservação e o controle da produção de resíduos e poluentes (JABALI *et al.*, 2012), dentre elas a Lei 12.305 de 2010 (BRASIL, 2010), que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), situação que vem motivando ainda mais as pesquisas na área de logística reversa.

A PNRS destaca a elaboração de planos de abrangência organizacional, municipal, regional, estadual e nacional para que seja dado um fim adequado aos resíduos produzidos, atribuindo e compartilhando as responsabilidades do ciclo de vida do produto ao fabricante, importador, distribuidor e comerciante que disponibilizam o produto aos consumidores.

Ainda, mediante a crise hídrica vivida pela região nos últimos anos, um fator de destaque na motivação desse estudo é a questão ambiental, uma vez que um litro de óleo pode poluir 20 mil litros de água (BRASIL, 2014). Essa estimativa implica que um destino inadequado para todo óleo consumido na região metropolitana pode gerar um acidente ambiental muito elevado.

Diante do exposto, com a motivação destas duas importantes áreas – logística reversa e postergação de tempo, esta pesquisa foi desenvolvida de modo a sugerir uma alternativa de estruturação da rede logística reversa para o óleo de cozinha usado e como objeto de aplicação foi implementado um modelo matemático para um estudo de caso real no município de Vitória no estado do Espírito Santo.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

O presente estudo tem como objetivo geral apresentar um modelo matemático para o problema de projetos de redes logísticas com postergação de tempo para o fluxo reverso do óleo de cozinha usado em Vitória - ES, sugerindo a utilização da postergação de tempo como alternativa no contexto gerencial.

1.1.2. Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral, são propostos os seguintes objetivos específicos:

- Fazer um levantamento a respeito da geração de óleo de cozinha usado no município de Vitória – ES;
- Determinar os componentes dos custos de transporte;
- Identificar melhorias no modelo matemático para adaptação e aplicação no estudo de caso;
- Submeter os dados considerados ao modelo matemático desenvolvido;
- Analisar alternativas de proposição a partir da elaboração de cenários, a fim de avaliar vantagens e desvantagens para cada uma destas alternativas;

1.2. ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO

O presente trabalho está dividido em sete capítulos, sendo este primeiro, a parte introdutória, com a apresentação e delimitação do problema e os objetivos do estudo. Na sequência, no Capítulo 2 apresenta-se revisão de literatura, com a apresentação de conceito e definições a respeito de Postergação de Tempo, cadeia de suprimentos e a logística reversa. Também foi desenvolvido um arcabouço teórico a respeito da modelagem matemática na Postergação de Tempo, abrangendo outras

nomenclaturas identificadas durante o processo, além de técnicas de soluções e aplicações na literatura.

O capítulo 3 discorre acerca dos procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa. Além da proposta de uma modelagem com base no estudo de literatura realizado, e suas principais características para aplicação na cadeia de suprimentos estudada.

Ainda neste Capítulo, são apresentados os procedimentos utilizados para obtenção de dados, além de discorrer e apresentar os cenários propostos para abrangência e análise da implementação do modelo matemático para o estudo do caso em questão.

A análise e discussão dos resultados da implementação da modelagem é realizada no Capítulo 4, a fim de sugerir uma proposta de implementação da rede logística reversa do óleo de cozinha a partir do levantamento de dados realizado e a inserção destes no modelo matemático.

Por fim, o Capítulo 5 apresenta as considerações finais do trabalho e as recomendações para futuros estudos, em seguida as referências que foram utilizadas para formular este documento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção é apresentada o estudo do estado da arte referente ao tema de otimização de projetos de redes logísticas com postergação de tempo e a evolução da conceitualização da logística reversa.

A revisão engloba o estudo de postergação, do inglês *postponement*, com suas ramificações para efeito de diferenciação de nomenclaturas e conceitos, e estudos de modelos matemáticos de postergação de tempo, ou *time postponement*. Esta caracterização fundamentou e considerou os trabalhos mais relevantes nesta área a fim de proporcionar uma visão ampla do estado da arte da temática.

Posteriormente, ainda nesta seção, é desenvolvida uma revisão a respeito da logística reversa do óleo de cozinha, a qual apresentará conceitos e fundamentações importantes para compreensão e desenvolvimento da cadeia de suprimentos que é estudo de caso em que foi implementada o modelo matemático para utilização da postergação de tempo.

2.1. CADEIA DE SUPRIMENTOS

Uma cadeia de suprimento pode ser resumida como o fluxo de materiais utilizando as diferentes organizações participantes, desde etapas relacionadas ao fornecimento de matéria-prima até a disponibilização dos produtos já acabados ao consumidor final (GAITHER; FRAZIER, 2002).

Assim, a necessidade de conhecimento sobre as características da cadeia de suprimento e suas informações, que são transmitidas em todos os seus níveis, são proveitos que as empresas procuram no mercado para seu fortalecimento na atual economia globalizada.

Chopra e Meindl (2011) tratam uma cadeia de suprimento como todos os envolvidos, direta ou indiretamente, no atendimento do pedido (Figura 1), sejam eles clientes, varejistas distribuidores, fabricantes, fornecedores ou qualquer outro envolvido. Além de estágios, desde fornecedores a clientes, os envolvidos apresentam fluxos

específicos, restrições e relacionamento entre os estágios para que ocorra o recebimento do produto pelo consumidor final.

Os autores, ainda, sugerem que os participantes de uma cadeia de suprimento a participação se comportam, basicamente, compradores e vendedores entre vários níveis. A cadeia se tem seu início com um fornecedor de matéria prima que vende a matéria-prima primária. E este produz seu produto intermediário e atende seu cliente, com a repetição deste ciclo e incluindo novos integrantes, até que o produto final esteja disponível para o consumidor. E, assim, o gerenciamento realizado de maneira adequada de todos os fluxos presentes na cadeia – informação, produtos e fundos – alteram a dinâmica dos custos e, portanto, são fatores chaves para o sucesso da mesma.

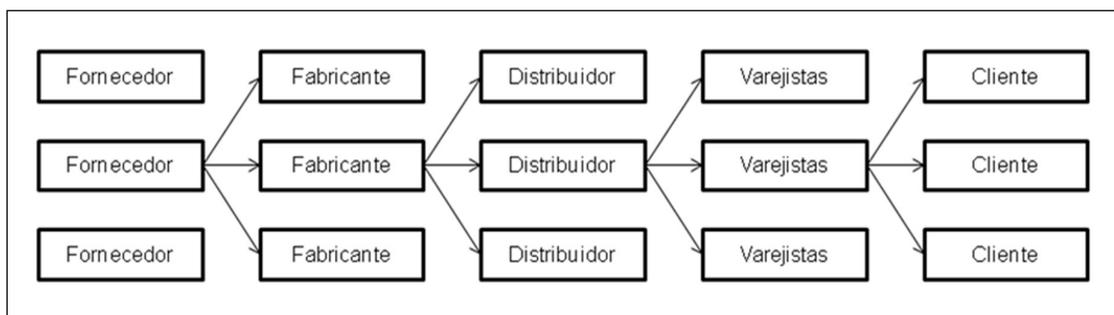


Figura 1:Estágios e fluxo em uma cadeia de suprimento

Fonte: Adaptado de Chopra e Meindl (2011)

Cardoso (2002) destaca a capacidade de reação como uma exigência competitiva essencial para que esta ideia de integração da cadeia de suprimentos desponte como uma vantagem competitiva à medida que as empresas continuam a direcionar seus esforços para vencer a “concorrência baseada no tempo”.

Tomando como base estes referenciais, pode ser apontado que a integração entre as empresas e as informações que são passadas em todos os níveis facilitam o gerenciamento de toda a cadeia de suprimento. Os estudos a partir do fluxo de materiais e informações indicam características particulares a cada cadeia de suprimento.

2.2. PRINCÍPIO DA POSTERGAÇÃO

O princípio da postergação foi introduzido na literatura por Alderson (1950) como uma ferramenta para auxílio na gestão e realização do gerenciamento de risco. Ainda sendo este princípio definido como um ordenamento nas etapas de geração de valor nos processos relacionados ao *marketing* e a manufatura com a mudança de forma, identidade ou lugar acontecendo no instante mais tardio que for possível.

Assim, a postergação na movimentação do produto no canal de distribuição foi denominada postergação de tempo (do inglês, *time postponement*), enquanto a postergação na diferenciação de um produto foi chamada de postergação de forma (do inglês, *form postponement*).

Para concluir a delimitação desta área de estudo Bucklin (1965) apresentou o princípio da especulação. Nesta alternativa, as empresas apontam a não utilização da postergação na cadeia de suprimentos e o risco e o estoque vão estar amplamente concentrados no varejo, em discordância ao que é proposto no princípio da postergação.

2.2.1. Postergação de Tempo

O atraso na movimentação dos produtos com o passar dos tempos foi tratado de diversas formas e também foi tratado por outros autores, além de Alderson (1950), abordando o tema utilizando diferentes terminologias. La Londe e Mason (1985) trataram sobre o tema como postergação geográfica e em Bowersox e outros (2002) e Lambert e outros (1998) a nomenclatura utilizada para este tipo de processo foi postergação logística.

Assim, essa abordagem sobre postergação na movimentação resultou em um novo campo de pesquisa a respeito de centralização de estoques, sendo esta outra nomenclatura utilizada na literatura (EVERS, BEIER 1998; MAISTER 1976; ZINN, LEVY, BOWERSOX 1989).

Para García-Dastugue e Lambert (2007), a postergação baseada no tempo consiste no atraso da movimentação do produto adiante na cadeia de suprimentos. Para

utilização no planejamento da cadeia de suprimento os autores apresentam uma modelagem matemática para auxiliar nesse processo.

Servare Junior e Cardoso (2016) apresentam uma revisão sobre os trabalhos de modelos matemáticos para postergação de tempo na cadeia de suprimentos a partir de 1996.

Assim, o tópico a seguir é dedicado a reunir trabalhos com a utilização da modelagem matemáticos para projetos de redes logística com postergação de tempo, postergação geográfica, postergação logística ou centralização de estoques.

2.2.1.1. Modelagem Matemática para problemas de projeto de redes logísticas com postergação de tempo

Nesta seção serão apresentados os modelos matemáticos que a literatura oferece para utilização da postergação de tempo no projeto de redes logísticas. A apresentação segue a ordem cronológica.

Lau e Lau (1996) apresentam uma formulação para minimizar o custo total esperado de N produtos sujeita a um limite de capacidade. Como técnica de solução utilizaram um procedimento de multiplicação Lagrangeana e, em seguida, aplicaram uma heurística.

A implementação foi do algoritmo de Levenberg-Marquardt, com a sub-rotina IMSL. A partir de uma solução inicial a execução da heurística permitiu a convergência para a solução ótima nas instâncias que os autores indicaram.

Por sua vez, Das e Tiagy (1997) apresentam um modelo que busca uma solução para o trade-off entre os três papéis de um estoque: o estoque cíclico, o estoque de segurança, e a distribuição do estoque, sujeito ao cumprimento dos requisitos de serviço ao cliente.

O modelo apresentado pelos autores foi resolvido com o uso de técnica exata e apresenta uma função objetivo (FO) de minimização de custo total, que inclui os custos de pedido, custos de manutenção de estoque, custos de estoque de segurança e custos logísticos (ou de transportes).

Das e Tiagy (1997), ainda, selecionam 8 zonas de clientes e 3 instalações na região sudeste dos Estados Unidos, com dados obtidos de fontes secundárias. A implementação do modelo indica o grau de centralização dos estoques em cada cenário proposto. São sugeridos e solucionados 5 cenários que variam, entre eles, as características da formulação de custos do modelo.

Eynan (1999) demonstra que a alocação de estoque para os dois locais é independente do tempo t permite expressar a função de lucro sem a necessidade de especificar o momento em que a empresa esgote o seu inventário.

Além disso, o autor mostra que este problema de localização com duas camadas pode ser reduzido a um problema de localização. A FO do problema indica a maximização dos lucros esperados sujeito a restrição que representa a probabilidade acumulada mínima quando a demanda média do período é λ .

Nozick e Turnquist (2001) propõem um modelo de minimização de dois objetivos, resolvendo através da adoção de pesos para balanceamento da FO. Os objetivos que se deseja minimizar são os custos de instalação de um estoque em determinada localidade e a não cobertura de uma região, ocasionando o não atendimento da demanda.

Definem, também, um parâmetro W que indica o peso dado para a parte do objetivo que se refere a não cobertura, quando este valor é suficientemente grande o modelo se equipara ao de minimização de não cobertura da demanda.

Nozick e Turnquist (2001) aplicaram o modelo por eles sugeridos em um estudo de caso da indústria automotiva dos Estados Unidos, com 698 zonas consumidoras o modelo foi solucionado para que se tenha os casos de menor custo e maior cobertura com 23 e 64 armazéns, respectivamente

O modelo apresentado por Aviv e Ferdegruen (2001) consideram um problema de alocação míope, ou seja, um problema de alocação com entrada de ordem de um produto para minimização dos custos esperados no primeiro instante e que tenha impactos em momentos posteriores; isto é, l períodos mais tarde.

A FO deseja a minimização do custo de desconto esperado total dada a demanda histórica observada no início do período n . Os autores não apresentaram uma técnica

de solução para resolver o modelo matemático apresentado neste trabalho. São realizadas diversas aplicações algébricas e provas que visam simplificar o problema.

Gaur e Ravindran (2006) apresentam um problema que envolve os riscos de decisões atribuídas aos armazéns (Centros de Distribuição) para zonas de clientes (varejos) e as políticas de estoque nos armazéns, a fim de minimizar o custo total do sistema e maximizar a disponibilidade do produto/nível de serviço do sistema. Para resolver, os autores utilizam dois solvers comerciais para resolução do modelo através um algoritmo que utiliza os solvers para execução de etapas propostas.

Garcia-Dastugue e Lambert (2007) implementam o modelo de Graves e Willens (2000) e utilizam técnicas exatas para solucionar o modelo nas instancias apontadas.

O modelo aponta a FO para minimização do tempo de serviço, ou seja, o tempo de serviço cotado para a próxima camada de clientes sujeito a restrições de processamento, de tempo de serviço e de natureza das variáveis de decisão.

Kutanoglu e Lohyia (2008) apresentam uma formulação para seleção da política de estoques e modo de transportes para reposição de peças, considerando o nível de serviço baseado no tempo.

A FO estima o custo total, que é compreendido por três componentes, são eles o: o custo total de manutenção, o custo total e o custo para satisfazer as demandas passadas a partir das instalações e satisfazer pelo embarque direto a partir do estoque.

Os autores resolveram o modelo para casos de uma instalação e três instalações com a linguagem de modelagem GAMS em conjunto com o CPLEX para as instancias geradas.

O problema apresentado por Razmi, Zahedi-Anaraki e Zakerinia (2013) é a respeito de um produto único e período único. Visando a adoção de múltiplos cenários, foi proposto um sistema com um conjunto de plantas com um dado nível de produção, um conjunto de depósitos potenciais disponíveis e zonas dos clientes pré-determinados. Há um conjunto de cenários com um determinado.

A técnica de solução usada foi a partir da implementação o algoritmo de sistema geral de modelagem algébrica (GAMS) em conjunto com o solver CPLEX para encontrar a

solução do modelo no cenário proposto, que se trata de um estudo de caso de uma empresa de distribuição farmacêutica em Teerã, capital do Irã.

Na situação, a rede de distribuição contém 2 fábricas, 6 armazéns disponíveis e 20 zonas consumidoras de tal forma que as fábricas produzem as drogas, enviam para os armazéns e, finalmente, as entregam aos clientes

No que concerne a Çelebi (2015), foi realizado a solução com o uso de uma meta heurística, o Algoritmo Genético, para um modelo com uma FO de minimização dos custos totais do sistema.

E, por fim, Servare Junior e outros (2017)¹ apresentam um modelo matemático pra projetos de redes logísticas com postergação de tempo e resolvem a sistemática apresentada com o uso de um solver comercial, o CPLEX 12.6 (IBM, 2012).

A FO minimiza o custo total, abrangendo os custos fixos, como os custos de abertura e os custos operacionais, além dos custos variáveis (custos de transportes) que estão relacionados com a quantidade de mercadoria transportada em cada trecho.

De maneira geral, os problemas de postergação de tempo que foram abordados neste trabalho podem ser observados com suas principais características de maneira resumida nas Quadro 1 e Quadro 2.

Quadro 1: Classificação dos problemas de postergação de tempo

(Continua)

Objetivo	
Maximizar Nível de Serviço	Res
Minimizar Custo/Maximizar Lucro	C
Maximizar Cobertura	Cb
Saídas	
Estoque	I
Quantidade da ordem	Q
Quantidade transportada	TA
Localização de Instalação	L
Localização de Produto	LP
Ponto de reabastecimento	PR

¹ O modelo não foi publicado até a entrega deste trabalho

Quadro 1: Classificação dos problemas de postergação de tempo
(Conclusão)

Tempo de Serviço	ST
Modo de Transporte	Md
Custo	Ct
Capacidade	Cp
Satisfação da Demanda	DS
Modelagem	
Programação dinâmica	DP
Programação não-linear Inteira Mista	MINLP
Programação Linear Inteira Mista	MILP
Programação Estocástica Inteira Mista	SMIP
Definição do Problema	
<i>Período</i>	
Multi-períodos	MPr
Período único	SPr
<i>Número de instalações abertas</i>	
Indeterminado	Em
Determinado	Ex
<i>Produto</i>	
Único	SP
Multi produtos	MP
<i>Fluxo transportado</i>	
Sem capacidade	UCF
Com capacidade	CF
<i>Demanda</i>	
Estocástica	S
Determinística	D
<i>Capacidade de Instalação</i>	
Sem capacidade	UC
Com capacidade	Ca

Quadro 2: Codificação dos artigos revisados sobre postergação de tempo

Artigo	Definição do Problema	Modelagem	Saídas	Objetivos	Método de Solução
Lau e Lau (1996)	SPr; En; MP; UCF; UC; D	MINLP	Q	C	Heurística
Das e Tiagy (1997)	SPr; En; SP; UCF; UC; D	MINLP	TA	C	Heurística
Eynan (1999)	SPr; En; SP; UCF; UC; S	MILP	I	C	Exato
Nozick e Turnquist (2001)	Spr; En; SP; UCF; UC; D	MILP	TA; L	C	Exato
Aviv e Ferdegruen (2001)	Mpr; En; MP; UCF; UC; S	DP	LP	C	
Gaur e Ravindran (2006)	SPr; En; SP; UCF; Ca; D	MINLP	TA; L; Q; PR	C; Res	Heurística
Garcia-Dastugue e Lambert (2007)	MPr; En; SP; UCF; UC; D	MILP	ST	C	Exato
Kutanoglu e Lohyia (2008)	MPr; En; MP; UCF; UC; D	MINLP	I; Md; DS	C	Heurística
Razmi, Zahedi-Anaraki e Zakerinia (2013)	SPr; Ex; SP; UCF; Ca; S	SMIP	TA; L; Ct; Cp	C; Cb	Heurística
Çelebi (2015)	MPr; Ex; SP; UCF; Ca; D	MILP	I	C	GA
Servare Junior e outros (2017) ²	SPr; Ex; SP; UCF; UC; D	MINLP	I; TA. L; Ct	C	Exato

2.3. LOGÍSTICA REVERSA

Um projeto de rede logística é uma decisão complexa e importante no gerenciamento da cadeia de suprimentos, da mesma forma nos últimos anos verifica-se o crescimento dos fluxos reversos para remanufatura ou recuperação de produtos (SERVARE JUNIOR *et al.*, 2012).

Dekker e outros (2013) sugerem a mudança de mentalidade no planejamento empresarial como importante fator gerador de demandas reversas, uma vez que foi constatado o aumento da importância do fluxo reverso em detrimento ao pensamento de que são apenas produtos seguindo o fluxo contrário ao fluxo logístico convencional.

O crescimento destacado da logística e fluxos reversos são justificados pelo aumento de duas principais forças no segmento empresaria, a primeira delas é a preocupação

² O modelo não foi publicado até a entrega deste trabalho

com meio ambiente, seja ele influenciado por novos pensamentos ligados a sustentabilidade ou por novas leis propostas pelo legislativo, e a influência nos custos da empresa através de ganhos extras gerados pelos produtos retornados (MEADE *et al*, 2007).

Assim, a logística reversa ganha importância como a área de planejamento, operação e controle de fluxos e informações logísticas no sentido de retorno de bens no canal de distribuição reverso para reutilização do produto ou reaproveitamento de seus componentes. Enquanto a logística tradicional lida com o fluxo de produtos a jusante na cadeia, a logística reversa trata do fluxo a montante, isto é, após o seu consumo o fluxo de material se direciona para o início do processo produtivo (LEITE, 2002, PIRES, 2004).

Embora se trate de um conceito relativamente recente na literatura acadêmica, De Brito e Dekker (2004) destacam que a logística reversa está presente a algum tempo na literatura, com trabalhos que tratam desta área de conhecimento com outras nomenclaturas que em sua essência convergem à definição de um estudo de logística reversa.

Para maior abrangência do estudo e entendimento acerca da logística reversa o Quadro 3 foi desenvolvido para facilitar a compreensão e condensar um breve registro histórico do desenvolvimento do conceito logística reversa.

Quadro 3: Desenvolvimento histórico da logística reversa

(Continua)

Autor	Definição
Zikmund e Staton (1971)	Ainda não era tratada com o termo logística reversa, embora os autores utilizem o termo distribuição reversa para tratar a respeito do fluxo de produtos no sentido contrário ao convencional, com o objetivo da reciclagem.
Ginter e Starling (1978)	Usando a terminologia canal de distribuição reversas os autores destacam a importância destes para a reciclagem, com benefícios econômicos e ambientais.
Pohlen e Farris (1992)	Movimentação de mercadorias do consumidor em direção ao fabricante através do canal de distribuição.

Quadro 3: Desenvolvimento histórico da logística reversa

(Continuação)

Stock (1992)	Incluiu novos conceitos ao campo de estudo da logística reversa como a remanufatura, reaproveitamento, reutilização, substituição de componentes, redução de custos, entre outros.
Byrne e Deeb (1993)	Os autores apresentam a logística reversa como o sistema em que os fabricantes tomam de volta os produtos ou embalagens que causam impactos em aterros ou tem dificuldade para serem incinerados.
Kopicki e outros (1993)	O termo logística reversa refere-se ao gerenciamento logístico do fluxo de distribuição contrário ao tradicional.
Kroon e Vrijens (1995)	Apresentam a definição com um contexto ambiental que se aplicam os esforços administrativos da logística para a redução, administração e disposição do lixo.
Fleischmann e outros (1997)	Apresenta e discorre sobre situações que pode ocorrer reaproveitamento e sugere a classificação segundo alguns critérios como motivo e a forma do reuso, por exemplo.
Rogers e Tibben-Lembke (1998)	Refere-se ao processo de planejamento, implementação e controle do fluxo de entrada e armazenamento de materiais e informações em sentido oposto ao sentido convencional da cadeia, para que sejam recuperados ou descartados de forma apropriada.
Dowlatshahi (2000)	Processo no qual o fabricante recebe o seu produto ou parte do seu produto do ponto de consumo para realização de reciclagem, remanufatura ou descarte.
Arima e Battaglia (2003)	Trata a movimentação reversa como uma fase de um processo oriundos do fornecedor de matéria-prima até o seu uso, seu descarte e reaproveitamento
Fernandez (2003)	Administração de um produto, seja ele usado ou não, que é movimentado entre dois membros da cadeia de suprimento, sendo o destino a montante da origem.
Gonzalez-Torre e outros (2004)	Os autores sugerem a composição da cadeia reversa iniciando no consumidor, com o produtor se tornando a última ligação.
Bei e Linyan (2005)	Envolve a coleta, inspeção, desmontagem, processamento, redistribuição e reuso de produtos usados e o descarte apropriados de resíduos que não puderam ser reprocessados.

Quadro 3: Desenvolvimento histórico da logística reversa	
(Conclusão)	
Stock e outros (2006)	Apresentam a logística reversa não como um evento secundário no planejamento da cadeia de suprimento, sua importância é notória e tem que ser vista como uma oportunidade de alavancar uma vantagem competitiva.
Linton e outros (2007)	Elucidam a interação entre sustentabilidade e a cadeia de suprimentos considerando questões ambientais do projeto de produto, aumento da vida útil do produto e recuperação após o seu consumo.
Sarkis e outros (2010)	Os autores destacam a logística reversa no contexto empresarial para considerar as implicações ambientais de recuperação, reutilização e reciclagem na economia de espaço, combustível e locais de descarte.
Silva e outros (2013)	Atribuem à logística reversa a melhoria de desempenho em atividades como redução do impacto ambiental, redução do estoque de matérias-primas e as economias obtidas pela reciclagem/reutilização de produtos retornados mercadorias devolvidas.
Khor e outros (2016)	O tratamento sugerido no trabalho é de que a logística reversa é um componente primário das iniciativas de gestão da cadeia de suprimentos verde.

2.3.1. Logística reversa do óleo de cozinha

Conforme apresentando na última seção, a logística reversa tem como caráter fundamental dar um fim adequado a um produto ou praticar um reaproveitamento de seus componentes. No óleo de cozinha a prática é similar, o retorno leva o produto usado constituir-se como matéria prima parte do processo de outros subprodutos, como biodiesel, tinta, sabão e detergentes, por exemplo (PITTA JUNIOR *et al.*, 2009).

Melo e outros (2009) destaca a existência de três principais fatores que motivam a utilização da logística para auxiliar o gerenciamento da cadeia de suprimentos no fluxo reverso dos produtos e informações, são eles os aspectos econômicos, as leis governamentais e o mercado.

No primeiro deles, as questões econômicas se tratam do ganho financeiro obtido com o retorno dos produtos. Especificamente, a respeito do fluxo de retorno do óleo de cozinha usado já foram apresentados subprodutos que podem conter como uma de suas matérias-primas esse resíduo. Mei e outros (2011) e Zhang e outros (2012)

apresentaram resultados satisfatórios para a utilização do óleo usado na produção do biodiesel.

Gonçalves (2015) reitera que apesar da exigência de padrões de qualidades pela Agência Nacional de Petróleo (ANP) para comercialização já existem trabalhos que apresentam características de rendimento, tempo e custo de produção atraentes para o mercado, tal como o proposto por Silva e Puget (2010).

O segundo aspecto é referente ao ponto de vista da legislação, quando alguma lei aponta a necessidade ou obrigatoriedade do recolhimento do produto, atribuindo obrigações para um ou mais atores da cadeia de suprimentos daquele bem. De forma direcionada, o Brasil através da Lei 12.305 de 2010 (BRASIL, 2010) instituiu a PNRS. Apesar do conteúdo e dos esforços na elaboração da PNRS, a fiscalização neste setor é caracterizada como tímida por Gonçalves (2015) e não poderia ser considerado fator motivador por si apenas, uma vez que não haja legislação local para esta finalidade específica.

Caso particular apresentado pelo autor, quando ocorre a existência de legislação municipal, a fiscalização ocorreria de maneira apropriada, fazendo com que os responsáveis cumpram o estabelecido por Lei.

Em Vitória - ES, o Projeto de Lei 308 de 2014 (VITÓRIA, 2014a) de autoria do Vereador Davi Esmael foi aprovado por seus pares e determina a obrigatoriedade de estabelecimentos que praticam a venda do óleo de cozinha manter em local visível um recipiente especial para o seu descarte (PITTELLA, 2015; G1 ES, 2015).

Por fim, o mercado se relaciona com a questão a partir da diferenciação da empresa no ponto de vista do cliente, ao se criar uma imagem ambiental consciente pela população.

Apesar da população não estar ciente dos malefícios causados pela contaminação da água pelo óleo, um litro de óleo pode poluir 20 mil litros de água (BRASIL, 2014), a empresa que promover esse retorno ou participar de alguma forma nesse ciclo reverso pode ter sua imagem solidificada no ponto de vista ambiental.

3. METODOLOGIA

Segundo a classificação proposta por Silva e Menezes (2005), foram enquadradas em categorias taxonômicas quanto a quatro importante fatores, são eles quanto à natureza da pesquisa, à forma de abordagem, aos objetivos e os procedimentos técnicos adotados – Figura 2.

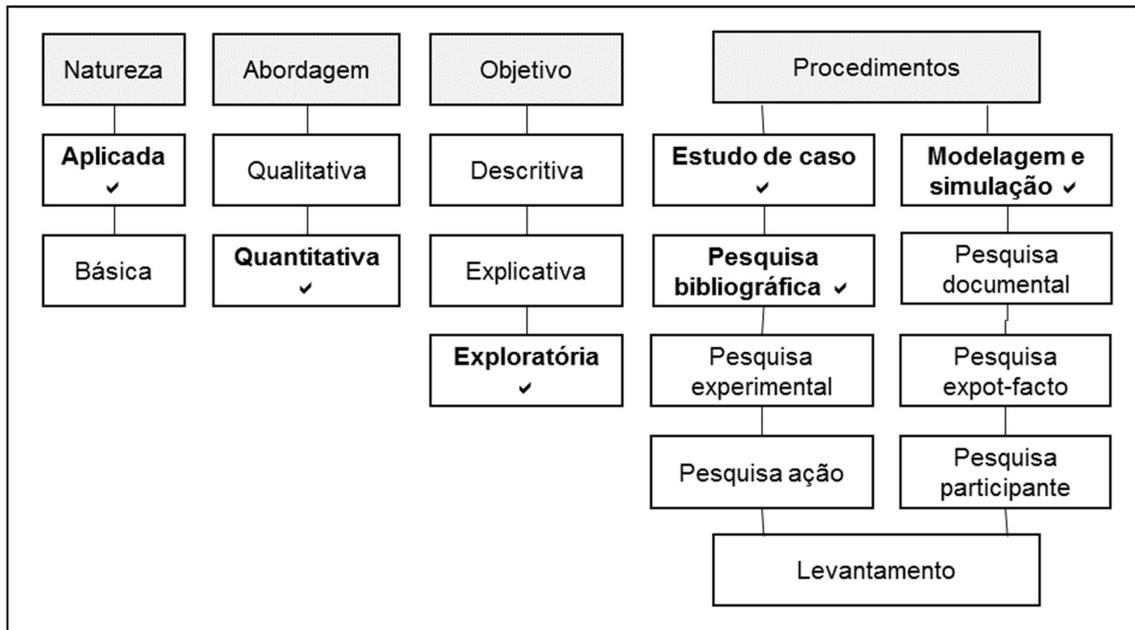


Figura 2: Classificação da pesquisa

Na primeira categoria de classificação, em relação à natureza, a pesquisa foi enquadrada como aplicada, uma vez que seu objetivo é produzir conhecimento com a utilização de um modelo matemático para projeto de rede logística usando a postergação de tempo e que será aplicado a um problema específico (LACERDA *et al.*, 2007).

Em sequência, a forma de abordagem é quantitativa, dado que este trabalho visa encontrar e estimar valores para que sejam realizadas análises e sugestões. Especificamente, o valor obtido da função objetivo, que é o custo total de implementação daquela configuração da rede logística servirá de parâmetro para comparação entre os cenários.

Por sua vez, a classificação quanto aos objetivos, esta pesquisa é classificada como exploratória, em razão da busca por uma maior familiaridade com o problema de projetos de redes logísticas usando a postergação de tempo, a partir de análises de

modelos similares, observados na literatura, para melhor compreensão do problema. Por último, esta pesquisa é considerada bibliográfica quanto aos procedimentos técnicos, porquanto utiliza-se de material publicado como, por exemplo, artigos científicos na área. Também se enquadra na classificação de estudos de caso, por se tratar de um caso particular representativo para descrever casos análogos e fundamentar um modelo geral para estes casos, com o objetivo de entender e esclarecer uma decisão ou um conjunto destas (YIN, 2015).

Ainda, segundo proposta de Vergara (2011), a classificação se estende para uma pesquisa de laboratório, devido a utilização da modelagem matemática e de *softwares* de otimização para propor e avaliar cenários que não poderiam simulados no campo ou, conforme apresentado na Figura 2, modelagem e simulação.

3.1. ETAPAS METODOLÓGICAS DA PESQUISA

Ainda antes de apresentar o modelo, serão apresentadas etapas importantes para o desenvolvimento desta pesquisa (MAPA, 2007), são elas a definição, modelagem e solução – Figura 3. Na primeira delas, a etapa de definição do problema, o principal objetivo em relação ao desenvolvimento do modelo matemático era inerente a contabilidade de custos, sejam eles de instalação ou de transportes.

Já a modelagem matemática será estabelecida com base na definição de parâmetros, conjuntos e variáveis, quantificando e determinando características que alinhem de forma precisa a cadeia de suprimentos ao modelo, que resultará em uma solução exata e ótima para o problema.

É importante ressaltar a ligação entre os nós na formulação matemática, garantindo que todo o fluxo possa atingir o cliente final satisfazendo a demanda. No estudo de caso deste trabalho, por se tratar do fluxo reverso, a demanda coletada em cada localidade deverá ser transportada ao longo da cadeia de suprimentos e ser levado para o nó final que é a empresa de beneficiamento de resíduo.

Outro fator de extrema importância para o modelo foi a limitação dos locais de instalação de estoques, no que é proposto pela postergação de tempo, o estoque poderá acontecer no elo de fornecedor, neste trabalho o fornecedor é a própria

população, ou no elo dos fabricantes, neste estudo é caracterizado como centro de tratamento, e todo o fluxo de mercadoria passe por ele.

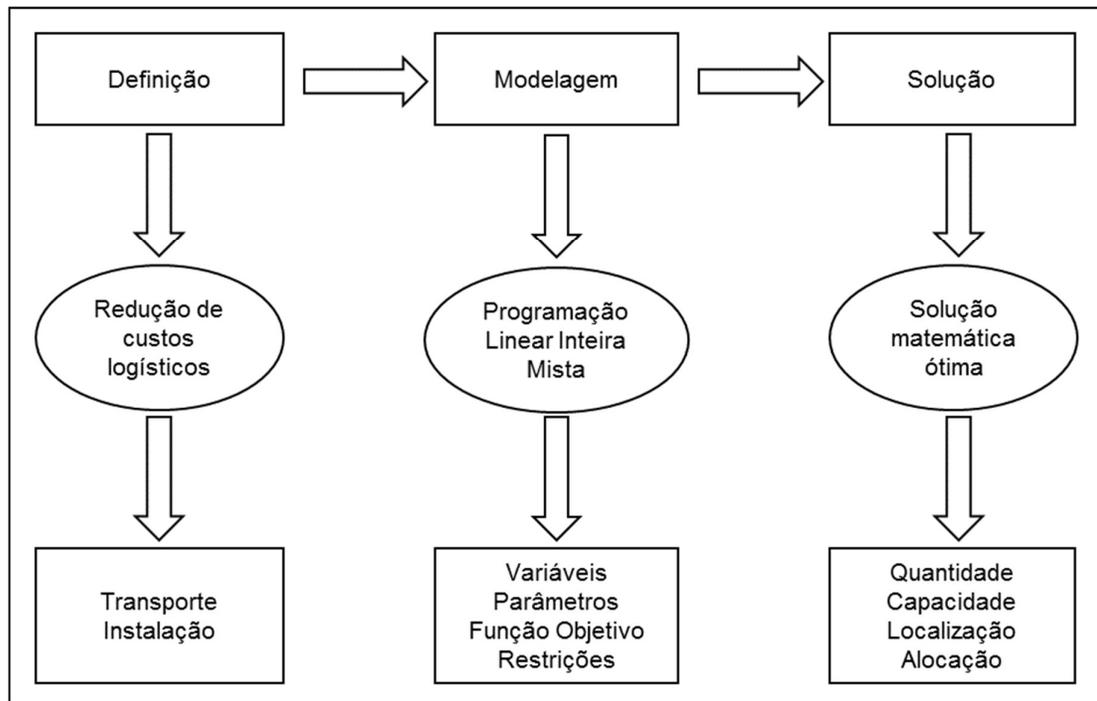


Figura 3: Etapas do desenvolvimento do modelo – Adaptado de Mapa (2007)

Ainda, caso o estoque se localize no varejo, paralelamente aqui representado pela empresa de beneficiamento de resíduos, o estudo sairia dos limites da postergação e seria considerado um estudo do princípio da especulação, além de caracterizar uma descentralização do estoque.

Assim, considerando todas as características inerentes a um estudo de postergação de tempo e o levantamento da modelagem matemática realizado para o estudo preliminar a modelagem, foi desenvolvido um modelo matemático ajustável a diversas situações de estudo.

É importante destacar que o modelo proposto fora principalmente idealizado para a implementação da postergação de tempo na logística reversa da cadeia de suprimentos, área de conhecimento que não havia sido privilegiada na modelagem matemática para a postergação de tempo.

Dessa forma, considerando pontos presentes em outros estudos, o modelo matemático desenvolvido foi um modelo de Programação Linear Inteira Mista (PLIM) que será apresentado e descrito na próxima seção.

Por fim, o modelo irá definir um projeto de cadeia de suprimento no fluxo reverso para o estudo da cadeia em questão, o óleo de cozinha usado. Para isso a solução deverá apresentar os fluxos entre os nós, localização e capacidade das instalações de tratamento do resíduo e a localização do estoque na cadeia de suprimentos.

A técnica de solução escolhida foi a técnica de solução exata, onde um *solver* soluciona a formulação matemática do problema indicando uma solução ótima, ou seja, uma solução que apresente as melhores características entre as possíveis soluções do modelo.

Para tanto, o tratamento dos dados foi realizado de forma preliminar na forma de planilhas eletrônicas no *Microsoft Excel 2016* (MICROSOFT, 2016) antes de ser inserido no *solver* CPLEX 12.6 (IBM, 2012) para obtenção de soluções dos cenários criados.

3.2. O PROBLEMA REAL DA POSTERGAÇÃO DE TEMPO NA REDE LOGÍSTICA REVERSA

O estudo nesta dissertação concentra-se em propor um projeto de rede logística para o óleo de cozinha usado para o município de Vitória, capital do estado do Espírito Santo, Brasil. A região estudada é constituída por um arquipélago de 33 ilhas e uma porção continental é o centro da região metropolitana, que engloba outros seis municípios, são eles Cariacica, Fundão, Guarapari, Serra, Viana e Vila Velha (VITÓRIA, 2017).

O município de Vitória tem população estimada para 2016 em 359.555 habitantes, segundo o IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, seu território possui extensão de 96,536 km² e densidade demográfica de 3338,3 habitantes por quilometro quadrado (IBGE, 2010).

No último levantamento censitário realizado pelo IBGE em 2010 foi contabilizada uma população de 327.801 habitantes distribuídos em 80 bairros (VITÓRIA, 2010a), conforme delimitação da área urbana utilizada para o estudo e apresentada no mapa da Figura 4.

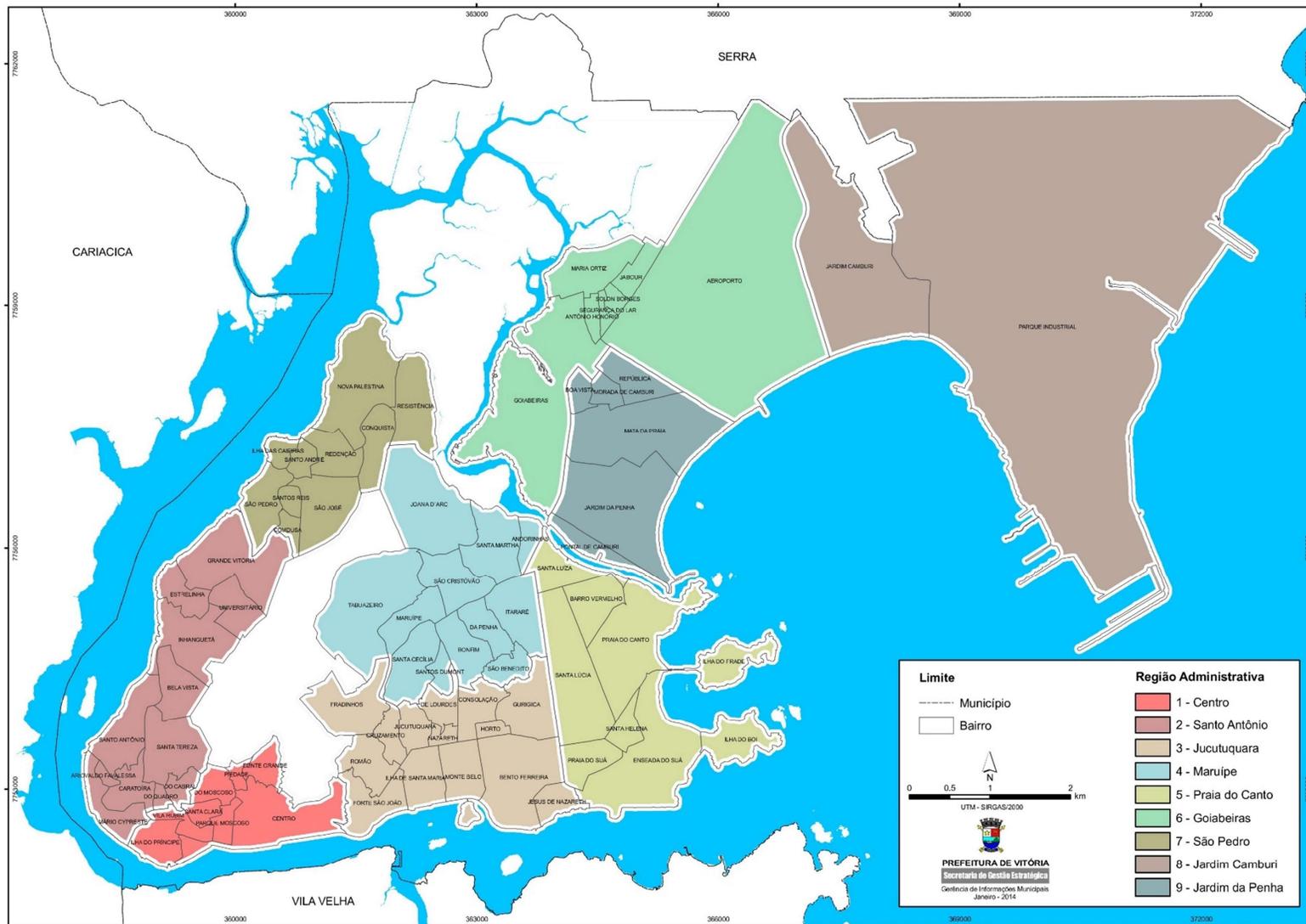


Figura 4: Vitória em bairros (VITÓRIA, 2014b)

A população de Vitória que foi base para essa pesquisa foi dividida segundo a quantidade de habitantes por bairro, a razão desta divisão foi a possibilidade de contabilizar proporcionalmente a este dado o consumo de óleo e a demanda de retorno deste produto.

Assim, cada bairro terá sua própria demanda contabilizada que servirá de parâmetro para o modelo matemático desenvolvido para solucionar o problema objeto de estudo desta pesquisa.

A partir da coleta deste óleo usado, o fluxo deste material se direciona para os centros de tratamento (CT). Um CT tem como objetivo oferecer um tratamento prévio ao óleo usado a fim de eliminar impurezas antes de encaminhá-lo para uma indústria de beneficiamento (LEITE, 2009).

A instalação de destino deste óleo coletado definido nesta pesquisa é uma empresa de beneficiamento de resíduo (EBR). Essa empresa vai proporcionar ao óleo usado um fim adequado, de forma a ser reutilizado na indústria ou pela população para outros fins como, por exemplo, sabão, biodiesel ou tinta (GONÇALVES, 2015).

Embora a rede contenha estes participantes como atores principais, a caracterização deste estudo indica a utilização de um estoque na cadeia para que seja um estudo de postergação de tempo.

Dessa forma, como participante fundamental deste estudo aparece a utilização de estoques e por se tratar de postergação de tempo, este estudo de centralização de fluxos para um estoque possui limitações de tipo de instalações para que ocorra a postergação de tempo.

Em um estudo de postergação de tempo, o estoque deverá ser localizado em um nível da cadeia de suprimentos que não seja o último estágio por, nesta situação, se tratar de um estudo do princípio da especulação.

Assim, como neste estudo tem-se três estágios, a primeira opção de instalação de estoques ocorrerá no primeiro nível, ou seja, os bairros geradores de demanda poderão enviar os resíduos para um destes bairros, concentrando o fluxo para um ponto específico e, a partir deste ponto, direcionar para o nó seguinte. Se tratando deste tipo de configuração, o óleo recebido no estoque será o óleo usado, isto é, um óleo sem tratamento, pois ainda não passou pelo processo de eliminação de impurezas que ocorre no CT.

A outra opção é a localização do estoque em algum dos bairros, recebendo o fluxo diretamente do segundo nível, um CT. Como o óleo já teve passagem pelo CT, neste caso se aborda um óleo tratado, sendo assim, este estoque será chamado de estoque de óleo tratado para diferenciar o caso anterior, o estoque de óleo usado

Diante do exposto para os participantes desta cadeia de suprimentos, a Figura 5 esquematiza os participantes e os fluxos da cadeia de suprimentos reversa proposta neste estudo.

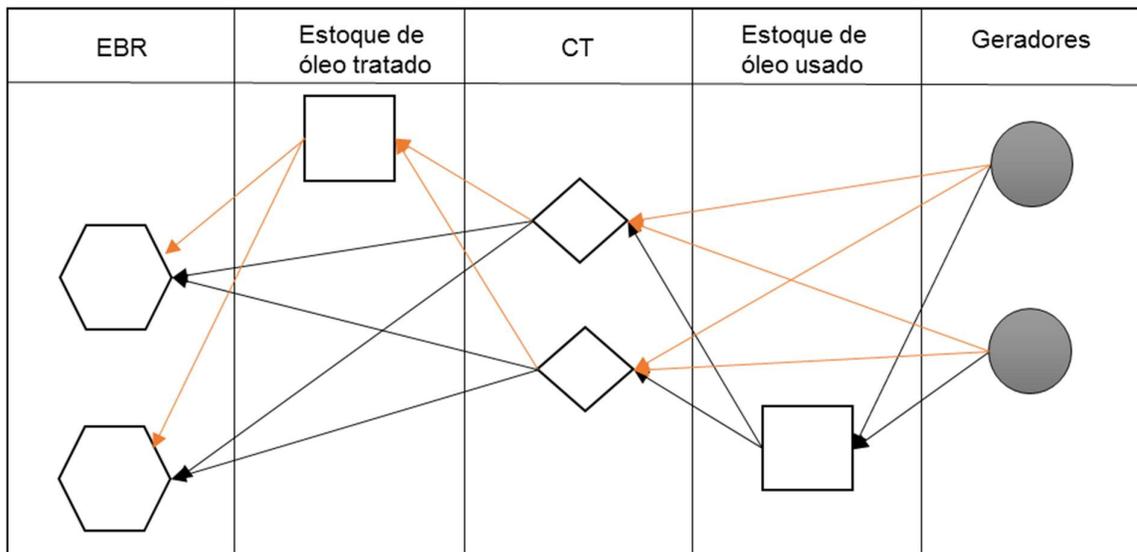


Figura 5: Representação gráfica da rede logística reversa deste estudo

3.3. MODELO MATEMÁTICO

A Figura 6 apresenta um esquema simplificado do funcionamento da rede logística considerada neste projeto. Pela figura verifica-se a inter-relação dos integrantes da rede, bem como os fluxos diretos e possíveis casos de abertura de um estoque entre dois tipos de instalações.

Destaca-se também, o fluxo entre as instalações e, ainda, que um dos fluxos entre as instalações existirá caso a instalação seja aberta em um nível e a outro fluxo de transporte não, uma vez que a Postergação de Tempo, indica apenas a abertura de um estoque na rede logística.

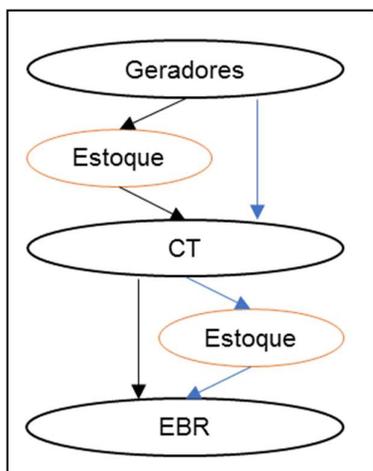


Figura 6: Esquematização simplificada de possíveis locais para postergação na rede logística

Assim, com base no que é apresentado na Figura 6 o modelo matemático é proposto e suas relações estão baseadas no que é observado na Figura 7.

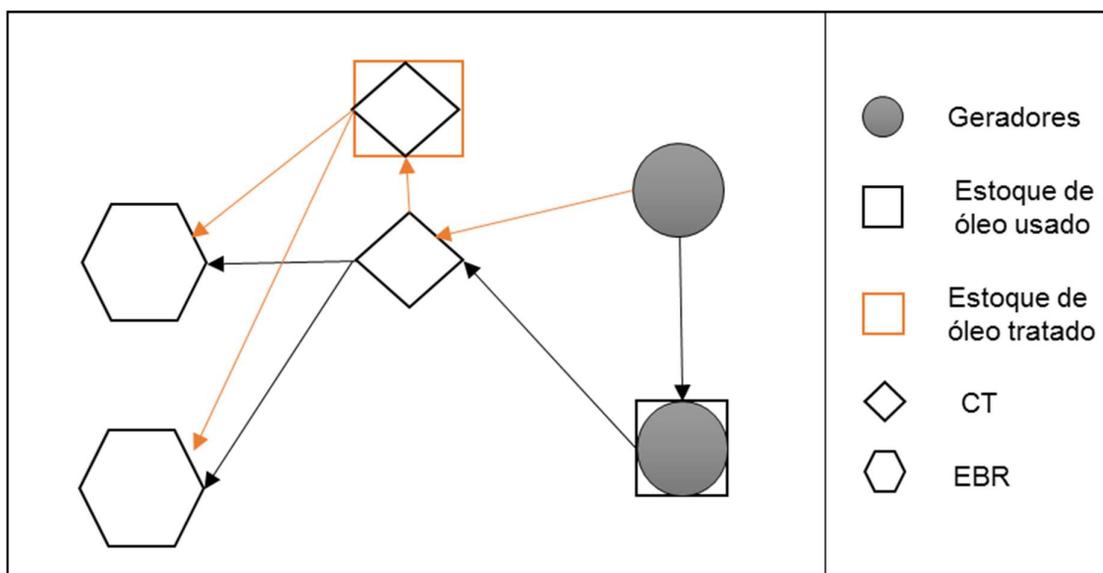


Figura 7: Rede logística com postergação de tempo

O modelo foi desenvolvido com base na rede logística estudada e trabalhos anteriores, dentre eles Servare Junior e outros (2017)³. A diferenças principais é a inclusão de níveis de capacidade ao modelo, a adaptação para descontos em caso de abertura de qualquer estoque e a adaptação para o modelo se tornar um modelo PLIM.

³ Artigo submetido à revista Transportes em etapa de revisão até a entrega deste trabalho.
 Título: MATHEMATICAL MODEL FOR SUPPLY CHAIN DESIGN WITH TIME POSTPONEMENT
 Autores: Servare Junior, Cardoso, Paiva e Cruz

A seguir estão descritos os conjuntos, parâmetros e variáveis do modelo matemático proposto.

Conjuntos

H	Conjunto de localização fixa dos bairros geradores de demanda $h \in H$
I	Conjunto de potenciais localizações de um estoque de óleo usado $i \in I$ em um bairro gerador de demanda
J	Conjunto de potenciais localizações de um centro de tratamento $j \in J$
K	Conjunto de potenciais localizações de um estoque de óleo tratado $k \in K$ em um centro de tratamento
L	Conjunto de localização fixa das empresas de beneficiamento de resíduos $l \in L$
E	Conjunto de bairros que podem possuir um centro de tratamento e estoque ao mesmo tempo $e \in E, e \subset J, e \subset K$
N	Conjunto dos níveis de capacidade disponíveis para instalação $n \in N$

Parâmetros

Fw_i	Custos fixos de abertura de um estoque de óleo usado no bairro i
Fx_j^n	Custos fixos de abertura de um centro de tratamento no bairro j na faixa de capacidade n
Fy_k	Custos fixos de abertura de um estoque de óleo tratado no bairro k
f_e	Redução de custos fixos associados com a abertura de um centro de tratamento e um estoque no bairro e
Cp_{hi}	Custo de transporte por litro de óleo usado do bairro gerador de demanda h para o estoque de óleo usado i
Cq_{hj}	Custo de transporte por litro de óleo usado do bairro gerador de demanda h para o centro de tratamento j
Cr_{ij}	Custo de transporte por litro de óleo usado do estoque de óleo usado i para o centro de tratamento j
Cs_{jk}	Custo de transporte por litro de óleo tratado do centro de tratamento j para o estoque de óleo tratado k
Ct_{jl}	Custo de transporte por litro de óleo tratado do centro de tratamento j para a empresa beneficiadora de resíduo l

Cu_{kl}	Custo de transporte por litro de óleo tratado do estoque de óleo tratado k para o varejo l
d_h	Quantidade demandada de óleo usado no bairro h
x_h	Percentual de óleo usado recolhido no bairro h
p	Percentual de perda no processo de tratamento
$Nmax$	Quantidade máxima de centro de tratamentos abertos
caw_i	Capacidade do estoque de óleo usado i
cax_j^n	Capacidade do centro de tratamento j na faixa de capacidade n
cay_k	Capacidade de óleo tratado no estoque k
cal_l	Capacidade da empresa beneficiadora de resíduos l

Variáveis

W_i	= 1 se um estoque de óleo usado é aberto no bairro i ; 0 caso contrário
X_j^n	= 1 se um centro de tratamento é aberto no bairro j na faixa de capacidade n ; 0 caso contrário
Y_k	= 1 se um estoque é aberto na localidade k no 2º nível da rede; 0 caso contrário
P_{hi}	Quantidade transportada de óleo usado do bairro gerador de demanda h para o estoque de óleo usado i
Q_{hj}	Quantidade transportada de óleo usado do bairro gerador de demanda h para o centro de tratamento j
R_{ij}	Quantidade transportada de óleo usado do estoque de óleo usado i para o centro de tratamento j
S_{jk}	Quantidade transportada de óleo tratado do centro de tratamento j para o estoque de óleo tratado k
T_{jl}	Quantidade transportada de óleo tratado do centro de tratamento j para a empresa beneficiadora de resíduo l
U_{kl}	Quantidade transportada de óleo tratado do estoque de óleo tratado k para o varejo l

De acordo com a notação definida, a seguir é apresentado o modelo matemático proposto.

$$\begin{aligned}
\text{Min } & \sum_{i \in I} Fw_i W_i + \sum_{j \in J} Fx_j X_j + \sum_{k \in K} Fy_k Y_k - \sum_{e \in E} f_e Z_e + \sum_{h \in H} \sum_{i \in I} Cp_{hi} P_{hi} \\
& + \sum_{h \in H} \sum_{j \in J} Cq_{hj} Q_{hj} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Cr_{ij} R_{ij} + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} Cs_{jk} S_{jk} \\
& + \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} Ct_{jl} T_{jl} + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} Cu_{kl} U_{kl}
\end{aligned} \tag{1}$$

Sujeito a:

$$\sum_{i \in I} P_{hi} + \sum_{j \in J} Q_{hj} = x_h \cdot d_h \quad \forall h \in H \tag{2}$$

$$\sum_{h \in H} P_{hi} = \sum_{j \in J} R_{ij} \quad \forall i \in I \tag{3}$$

$$(1 - p) \cdot \left(\sum_{h \in H} Q_{hj} + \sum_{i \in I} R_{ij} \right) = \sum_{k \in K} C_{jk} + \sum_{l \in L} S_{jl} \quad \forall j \in J \tag{4}$$

$$\sum_{j \in J} S_{jk} = \sum_{l \in L} U_{kl} \quad \forall k \in K \tag{5}$$

$$\sum_{h \in H} P_{hi} \leq caw_i W_i \quad \forall i \in I \tag{6}$$

$$\sum_{h \in H} Q_{hj} + \sum_{i \in I} R_{ij} \leq \sum_{n \in N} cax_j^n X_j^n \quad \forall j \in J \tag{7}$$

$$\sum_{j \in J} S_{jk} \leq cay_k Y_k \quad \forall k \in K \tag{8}$$

$$\sum_{j \in J} T_{jl} + \sum_{k \in K} U_{kl} \leq cal_l \quad \forall l \in L \tag{9}$$

$$\sum_{i \in I} W_i + \sum_{k \in K} Y_k = 1 \tag{10}$$

$$\sum_{k \in K} X_j^n \leq 1 \quad \forall j \in J \tag{11}$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} X_j^n \leq Nmax \quad \forall j \in J \tag{12}$$

$$\sum_{j \in J} Q_{hj} \leq \left(1 - \sum_{i \in I} W_i \right) \cdot x_h \cdot d_h \quad \forall h \in H \tag{13}$$

$$\sum_{j \in J} T_{jl} \leq \left(1 - \sum_{k \in K} Y_k \right) \cdot cal_l \quad \forall l \in L \tag{14}$$

$$2 * Z_e \leq W_e + \sum_{n \in N} X_e^n + Y_e \quad \forall e \in E \quad (15)$$

$$P_{hi}, Q_{hj}, R_{ij}, S_{jk}, T_{jl}, U_{kl} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, h \in H, l \in L \quad (16)$$

$$W_i, X_j, Y_k, Z_e \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, e \in E \quad (17)$$

A função objetivo (1) minimiza o custo total, abrangendo os custos fixos, como os custos de abertura, além dos custos variáveis (custos de transportes) que estão relacionados com a quantidade de mercadoria transportada em cada trecho.

O conjunto de restrições (2) assegura que a demanda de óleo usada disponibilizada em cada bairro é recolhida. Já os conjuntos (3), (4) e (5) são restrições relativas aos fluxos de entrada e saída dos estoques de óleo usado, centros de tratamento e estoques de óleo tratado, respectivamente.

As restrições (6) a (9) limitam que as quantidades enviadas às instalações ou enviadas a partir destas sejam menores que as suas capacidades, caso estas forem abertas. A restrição (10) garante que haverá apenas a utilização de um estoque, seja ele de óleo usado ou óleo tratado, condição que indica a postergação de tempo como fator para este estudo.

O conjunto de restrições (11) indica que será aberto no máximo um centro de tratamento por bairro e a restrição (12) limita a quantidade de centros de tratamento abertas na rede logística.

As restrições (13) asseguram que caso um estoque de óleo usado seja aberto, todos os produtos passarão por este estoque antes de ir para centro de tratamento. Por sua vez, em (14) é garantido que caso um estoque de óleo tratado seja aberto, todos os produtos oriundos do centro de tratamento passarão por este estoque antes de serem direcionados à empresa beneficiadora de resíduos.

As restrições (15) indicam que o valor de desconto na função objetivo vai acontecer somente com abertura de um estoque e um centro de tratamento no mesmo bairro.

E, por fim, as restrições (16) e (17) referem-se a natureza das variáveis.

Conforme notação definida no Quadro 1, a classificação do modelo é feita no Quadro 4.

Quadro 4: Codificação do problema em questão

Artigo	Definição do Problema	Modelagem	Saídas	Objetivos	Método de Solução
Servare (2017)*	Junior SPr; En; MP; UCF; UC; D	MILP	I; TA. L; Ct; Cp	C	Exato

* Modelo ainda não publicado

A transcrição deste modelo matemático para a linguagem do CPLEX (IBM, 2012) é apresentado no APÊNDICE A.

3.4. OBTENÇÃO DE DADOS

Nesta seção serão apresentados os valores utilizados como parâmetros no modelo matemático para aplicação no estudo de caso da cadeia logística reversa do óleo de cozinha no município de Vitória, bem como a origem de cada um destes.

3.4.1. Geração de demanda do óleo de cozinha usado

A produção de óleo de cozinha usado em Vitória foi definida a partir da pesquisa de Madalozo (2008) que estimou o consumo mensal de óleo de Ponta Grossa, Paraná, com base na população e renda. Para tal, o autor utilizou informações advindas do IBGE e entrevistas domiciliares para que fosse calculada a demanda regional de retorno do óleo de cozinha usado.

Tabela 1: Consumo mensal de óleo de cozinha baseado na renda *per capita*

Renda (Salários mínimos/mês)	Até 1	1 até 3	3 até 5	5 até 10	Acima de 10
Consumo de óleo (Litros/pessoa/mês)	1,12	1,34	0,95	1,07	0,75
Geração de rejeito (Litros/pessoa/mês)	0,19	0,21	0,24	0,17	0,15
Percentual de rejeito	17%	16%	25%	16%	20%

Fonte: Adaptada de Madalozo (2008)

Para inserção destes valores na modelagem matemática foram contabilizados os dados da população de Vitória (VITÓRIA, 2010a; IBGE, 2010) conforme as características apresentadas na Tabela 1.

Para elaboração da tabela de demandas (APÊNDICE B), foi necessário contabilizar a população de acordo com cenários. Os dados apresentados pela Prefeitura de Vitória (2010a, *apud* IBGE, 2010) agrupam-se de acordo com faixa de renda para pessoas a partir de 10 anos de idade.

Dessa forma, foram contabilizados e agrupados os valores de forma pertinente ao apresentado na Tabela 1, além da população excedente não contabilizada nos valores apresentados para renda, mas que foi contabilizada como população. Para isso, foram preenchidas as 4 últimas colunas, da população com renda de 1 a 3, 3 a 5, 5 a 10 e acima de 10 salários mínimos, e, então, a coluna de até 1 salário mínimo foi contabilizada a partir do total de população descontando as 4 colunas já preenchidas.

Como caráter ilustrativo o fragmento do APÊNDICE B é apresentado na Tabela 2, o procedimento usado no preenchimento dos campos da população do bairro Centro foi realizado da seguinte forma:

A população do bairro Centro foi contabilizada pelo Censo do IBGE (2010) como 9.838 habitantes. O Instituto, ainda, mensurou a população acima de 10 anos com renda de até 1 salário mínimo em 959 pessoas, de 1 a 3 salários mínimos como 2.516 pessoas, 1.304 pessoas recebendo de 3 a 5, outras 1.392 tem o rendimento enquadrado na faixa de 5 a 10 e 604 pessoas com o rendimento acima de 10 salários (VITÓRIA, 2010a).

Tabela 2: Característica da população, renda e demanda do bairro Centro

Bairro	População	Renda em salários mínimos						Consumo mensal	Resíduo mensal
		Sem rendimento	Até 1	1 a 3	3 a 5	5 a 10	10+		
Centro	9.838	2.276	959	2.516	1.304	1.392	604	11.057	1.933

Como na Tabela 1 não existe consumo indicado pra pessoas sem rendimento, para efeito de aplicação do modelo as pessoas sem rendimento são adicionadas na faixa até 1 salário mínimo, uma vez que o valor médio para o consumo apresentado na Tabela 1 corresponde a essa faixa. Esse critério visa a inclusão destas pessoas sem rendimento e cuja família poderia pertencer a qualquer uma destas faixas de renda.

Quanto às informações adicionais, o consumo foi calculado através da soma dos produtos entre a taxa de consumo por faixa de renda (vide Tabela 1) e a quantidade de pessoas naquela faixa de renda. Da mesma forma procedeu-se para o cálculo da

quantidade de resíduo utilizando o valor de geração de rejeito para cada faixa de renda.

3.4.2. Custos fixos

Os custos fixos (CF) são os custos que serão realizados em uma única oportunidade durante o processo de planejamento, não possuindo uma variação linear de acordo com a quantidade produzida. Na fase inicial, a implantação de uma instalação em alguma localidade se torna um deles, uma vez que será necessária a adequação do espaço para abrigar a planta.

A alteração do volume de produção ou de capacidade de uma instalação afeta de forma discreta o valor do custo, ou seja, de acordo com uma faixa de capacidade ou de produção o custo permanecerá constante até o limite desta faixa, caracterizando assim o tratamento como custo fixo e não variável.

Os principais custos fixos envolvidos nesta pesquisa são os custos de abertura das instalações que serão discutidos nos tópicos a seguir.

3.4.2.1. Custo de instalação de estoque

Ponto primordial para este estudo, o custo de alocação de um estoque foi definido a partir de estimativas realizadas por Gonçalves (2015). No estudo, o autor não apresenta uma instalação específica para fazer o armazenamento na cadeia, embora planeje a capacidade das instalações de tratamento do óleo considerando a demanda mensal da rede.

Desta forma, o estudo de Gonçalves (2015) indica a alocação de despesas de um estoque ao armazenamento no centro de tratamento. Realizando procedimento semelhante ao proposto naquela pesquisa, este projeto define como um estoque o acúmulo de óleo na cadeia de suprimento, aguardando ser enviada ao próximo nível da cadeia.

Assim, para a formação de um estoque de óleo e, por consequência, a utilização da postergação de tempo, nesta pesquisa será necessária uma instalação ou uma

adequação de instalação para que ocorra este armazenamento. No caso do óleo, a alternativa para que ocorra o armazenamento é a alocação de tanques que possam abrigar o produto até a movimentação ao nó a jusante na cadeia.

Por se tratar de um estudo de implantação de uma cadeia logística reversa, o interesse de autoridades municipais em realizar a coleta e a necessidade de um planejamento prévio de localização e capacidade de instalações, esta pesquisa considera que os custos necessários para implantação de estoques serão apenas relativos a adquirir os tanques para armazenamento do óleo.

Por sua vez, segue a consideração da utilização de uma área pública ou uma associação de coleta de resíduos para a manutenção do estoque. Essas alternativas eliminam os custos em adquirir um terreno para mobilizar um projeto de construção de instalação no local.

Entretanto, com a projeção de alteração na distribuição populacional no município, conforme observado em dados obtidos da Prefeitura de Vitória (2010b) para o período entre a realização do Censo em 2000 e 2010 constata-se a necessidade de projetar os efeitos que esta alteração causam na demanda.

Para cálculo das demandas futuras foi utilizado o método geométrico para projeção populacional, conforme Von Sperling (1996) sugere para o cálculo do crescimento populacional para projeto de estações de tratamento.

Assim, com esse método foi possível projetar a população e, por consequência, a demanda mensal por bairro no ano 2017, 2022 e 2032, ou seja, projeções para um horizonte de planejamento (HP) de 5 e 15 anos a partir do ano corrente. Também foi possível calcular a demanda total durante estes períodos, todos estes valores podem ser observados no APÊNDICE C.

Na Tabela 3 são apresentados valores para aquisição dos tanques, de forma que a capacidade de um estoque será definida como combinação da utilização destes equipamentos.

Tabela 3: Custo de aquisição de tanques

Descrição	Custo
Tanque 10.000 l	R\$ 4250,00
Tanque 20.000 l	R\$ 6820,00
Tanque 30.000 l	R\$ 9100,00

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2015)

Como exemplo, para um estoque de capacidade 75.000 litros serão utilizados dois tanques de 30.000 litros e um tanque de 20.000 litros.

Ainda, no APÊNDICE D são apresentados os valores dos custos de instalação dos estoques. Estes valores foram obtidos a partir das informações relativas a demanda no APÊNDICE C e dos custos dos equipamentos da Tabela 3 .

3.4.2.2. Custo de instalação de um Centro de Tratamento

Schwartz Filho (2006) relaciona como custo de instalação de uma facilidade os custos relacionados a aquisição de terreno, edificação da parte estrutural, compra de máquinas e equipamentos e, ainda, a formação de trabalhadores. Além destas despesas, um fator importante neste custo é a capacidade desta instalação, sendo diretamente proporcional à capacidade escolhida (GONÇALVES, 2015).

Da mesma forma como o estoque, o centro de tratamento ficará localizado em um terreno público ou em alguma instituição que firme parceria para receber essa instalação. Assim, o primeiro quesito de custeio quanto a instalação, relacionada a aquisição de um terreno foi desconsiderado.

Outra alternativa adotada para redução de custos é a descaracterização do funcionário como gerador de despesa. Dessa forma, uma parceria com uma instituição de coleta de resíduos seria importante, uma vez que o retorno em função da quantidade coletada ficaria destinado a esta função.

Os outros custos listados são descritos na Tabela 4 em adição aos custos de aquisição de tanques apresentados na Tabela 3.

Tabela 4: Custos de instalação de um CT

Descrição	Custo
Construção	R\$ 62.000,00
Recipiente de contenção	R\$ 2.150,00
Carro transportador	R\$ 1.430,00
Bomba de sucção	R\$ 1.150,00
Kit de filtragem	R\$ 645,00

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2015)

Dessa forma, utilizando estes equipamentos, a faixa de capacidade será definida a partir das instalações dos tanques de armazenamento. A escolha destes níveis de capacidade que a instalação irá receber poderá ser observado na Tabela 5.

Tabela 5: Faixas de capacidade de um CT

Faixa de capacidade	1	2	3	4
Percentual da demanda	25%	50%	75%	100%

A definição destes valores foi realizada de forma proporcional à demanda, para que possam ocorrer combinações na seleção que consiga receber a demanda do município em sua totalidade, de forma independente da quantidade de instalações abertas.

Da mesma forma que na seção anterior, utilizando os valores da Tabela 3 e da Tabela 4, além das informações do APÊNDICE C e do APÊNDICE D, foram estimados valores para os custos de instalação do CT, que encontram-se descritos no APÊNDICE E.

3.4.3. Custos variáveis

Em contrapartida, os custos variáveis (CV) são os custos que estão diretamente relacionados a demanda da cadeia de suprimentos. Um exemplo de custo variável é o custo de transporte, uma vez que esse valor é calculado conforme a quantidade transportada.

Uma vez que seja elevada ou diminuída a quantidade transportada, o custo envolvido no transporte dessa mercadoria irá aumentar ou diminuir de forma proporcional ao fluxo de produtos. Na seção seguinte são apresentados os procedimentos que foram adotados para o cálculo do custo de transporte.

3.4.3.1. Custo de transporte

O primeiro passo para estimar os valores relacionados ao custo de transporte foi estabelecer as distâncias entre os bairros envolvidos neste estudo. Os valores foram

obtidos e a matriz custo de transporte foi preenchida com base em informações obtidas pelo Google *Maps* (GOOGLE, 2017).

A ligação entre os bairros foi contabilizada considerando a localização fixa que é sugerida pelo aplicativo ao sinalizar como origem ou destino aquele bairro. Não houve nenhuma ligação que não pudesse ser realizada, sendo possível a conexão por diversos caminhos e escolhida a rota que indicasse o menor trecho a ser percorrido.

Para maior aproximação dos valores mensurados, é recomendada a movimentação entre os nós em horários com menor fluxo de veículos, para que sejam evitadas discrepâncias com a realidade. Outro importante fator considerado foi que o fluxo dentro de um mesmo bairro não tivesse um custo contabilizado, essa situação deve-se ao fato de o estudo não envolver a localização de pontos de coleta específico dentro de um bairro.

Ferri e outros (2015) mensuraram o custo de transporte do óleo em R\$ 10,50 / km/ton, para efeito de cálculos nesse estudo o valor utilizado foi de R\$ 0,0094 / km/l, que constituiu em uma transformação de unidade de massa, tonelada, para a unidade de volume utilizada neste estudo. Embora unidades diferentes, o valor físico é o mesmo e foi obtido a partir do valor da densidade do óleo de cozinha. Este valor foi utilizado para a movimentação do produto em todos os estágios da cadeia de suprimentos reversa do óleo de cozinha e no APÊNDICE F são apresentados os valores das capacidades e custos de transporte até a empresa de beneficiamento de resíduos. Foram selecionadas três empresas, Empresa 1 localizada em Cariacica, na região metropolitana de Vitória, Empresa 2 em Campos de Goytacazes, no norte do estado do Rio de Janeiro e Empresa 3 em Belo Horizonte.

3.4.4. Elaboração de cenários

Os procedimentos adotados para a elaboração de cenários constituem alterações em parâmetros de entrada do modelo, visando uma maior abrangência em relação a possibilidades de localização, capacidades, HP e custos a partir da utilização da modelagem matemática desenvolvida.

Cada caso estudado agrupa informações que alteram a dinâmica da resposta e proporcionam alteração no valor da função objetivo do modelo. Os cenários estão agrupados de acordo com o limite de CT's abertos na cadeia.

A divisão político-administrativa de Vitória foi importante para essa análise, uma vez que a cidade é dividida em regiões administrativas. Além deste tipo de divisão, também foi considerada nesta abordagem a divisão do município de Vitória considerando o contexto geográfico.

Da mesma forma, considerando uma taxa de perda no processo de tratamento essa margem foi estipulada para que contemplasse maior precisão e mais conjuntos de opções neste estudo. Outro importante fator de tratamento de dados para elaboração de cenários foi o estudo quanto ao horizonte de planejamento, isto é, a vida útil projetada para o projeto de cadeia de suprimentos estudado. Este fator se torna essencial na análise quando é projetado um consumo durante este período e, este, influencia de forma direta nos custos envolvidos.

Na Tabela 6 são apresentados de forma detalhada os parâmetros utilizados para a variação e estudos dos cenários. Dentre eles estão os já descritos nesta seção e outros que foram considerados no desenvolvimento desta pesquisa e que se tornam importantes à medida que podem causar impacto nas escolhas do modelo.

Tabela 6: Cenários de estudo avaliados

(continua)

Grupo	Cenário	Custos		HP	Perda	Limite de CT's abertos	Níveis de capacidade
		CF	CV				
1	1.1	✓	✓	5 anos	10%	8	4
	1.2		✓	5 anos	10%	8	4
	1.3	✓	✓	15 anos	10%	8	4
	1.4		✓	15 anos	10%	8	4
2	2.1	✓	✓	5 anos	25%	8	4
	2.2		✓	5 anos	25%	8	4
	2.3	✓	✓	15 anos	25%	8	4
	2.4		✓	15 anos	25%	8	4
3	3.1	✓	✓	5 anos	10%	2	4
	3.2		✓	5 anos	10%	2	4
	3.3	✓	✓	15 anos	10%	2	4
	3.4		✓	15 anos	10%	2	4

Tabela 6: Cenários de estudo avaliados							(conclusão)
4	4.1	✓	✓	5 anos	25%	2	4
	4.2		✓	5 anos	25%	2	4
	4.3	✓	✓	15 anos	25%	2	4
	4.4		✓	15 anos	25%	2	4
5	5.1	✓	✓	5 anos	10%	1	1
	5.2		✓	5 anos	10%	1	1
	5.3	✓	✓	15 anos	10%	1	1
	5.4		✓	15 anos	10%	1	1
6	6.1	✓	✓	5 anos	25%	1	1
	6.2		✓	5 anos	25%	1	1
	6.3	✓	✓	15 anos	25%	1	1
	6.4		✓	15 anos	25%	1	1

A primeira forma de separação entre os cenários foi a limitação de quantidade de CT's que podem ser abertas. Os Grupos 1 e 2 tiveram como fator limite a divisão político-administrativa de Vitória que conta com a divisão do território em 8 regiões administrativas, conforme apresentado pelo IBGE (2010) citado pela Prefeitura de Vitória (VITÓRIA, 2011). Esta divisão pode ser observada na Figura 8 que contém os limites administrativos estipulados pela Lei nº 8.611 de 2014 (VITÓRIA, 2014c). Embora os limites administrativos tenham sido alterados para 9 regiões, para efeito de observação do procedimento deste estudo as regiões administrativas de Jardim da Penha e Goiabeiras são consideradas uma, conforme limites anteriores a esta Lei.

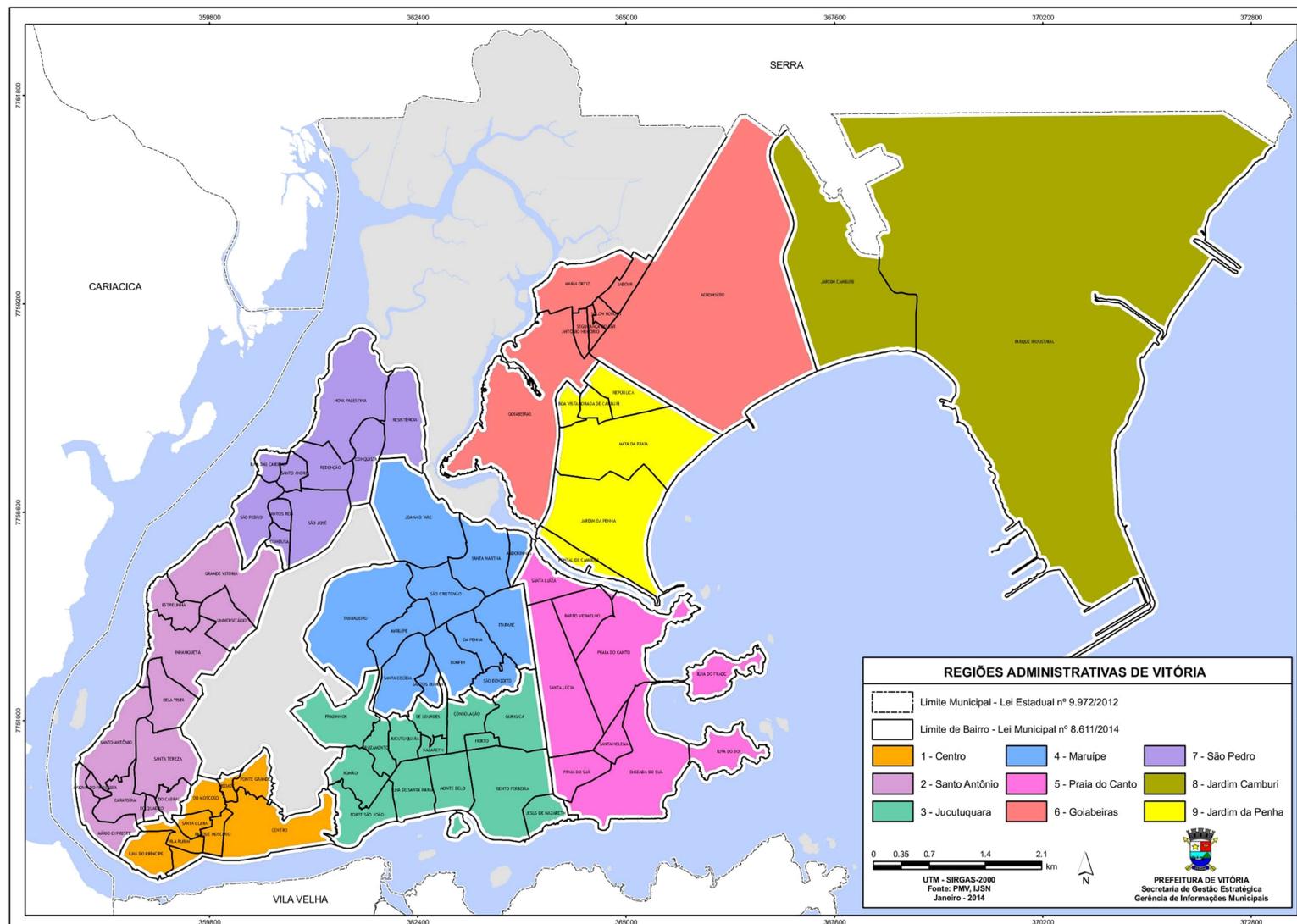


Figura 8: Regiões administrativas de Vitória (VITÓRIA, 2014d)

Posteriormente, os Grupos 3 e 4 foram condicionados às características geográficas que o território de Vitória apresenta. Assim, foram limitadas em no máximo 2 possibilidades de abertura, uma na ilha de Vitória e outra dentro dos limites continentais do município.

Por fim, os Grupos 5 e 6 apresentam a restrição de 1 CT aberto em todo limite municipal.

Por sua vez, os custos foram divididos em duas opções, a primeira contabiliza tanto o CV quanto o CF como forma de apresentar uma solução com todos os fatores envolvidos. A segunda opção se trata de conhecer e identificar o comportamento do fator transporte e sua influência na distribuição do óleo na cadeia.

Considerando a perda que acontece no processo de tratamento pra retirada de impurezas, foram usados os valores de 10% e 25% para que pudessem, também, demonstrar sua importância na escolha dos estoques, uma vez que quanto maior for a perda o custo de instalar um estoque de óleo tratado será menor do que um estoque de óleo usado, devido à sua capacidade de operar em uma faixa inferior ocasionada pela perda.

Os níveis de capacidade de um CT permaneceram fixos durante todo o desenvolvimento de cenários para que a combinação entre os 4 níveis propostos (25%, 50%, 75% ou 100% da demanda) pudesse ser usada em sua totalidade (Grupos 5 e 6) ou em combinação de acordo com a necessidade (Grupos 1 a 4).

A última característica analisada no desenvolvimento dos cenários foi o tempo considerado para cálculo das demandas e planejamento da rede. Os valores 5 e 15 anos foram escolhidos por abranger o planejamento em médio e longo prazo e propor soluções para um período de tempo que incentive a instalação da rede.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. RESULTADOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO NO ESTUDO DE CASO

Para solucionar a modelagem dos cenários foi utilizado um computador com processador *Intel core i5*, com 4 GB de memória RAM, operando sob o sistema operacional Microsoft Windows 10 Professional versão 64 bits para todos os 24 cenários propostos. O *solver* comercial CPLEX 12.6 (IBM, 2012) foi o *software* escolhido para resolver os cenários deste estudo, estabelecidos e apresentados na seção 3.4.4 da presente dissertação.

Os resultados desta implementação podem ser observados na Tabela 7, onde a coluna Grupo representa o agrupamento dos cenários, facilitando a observação dos impactos de cada alteração em uma visão superficial de casos similares com valores próximos. A coluna Cenário identifica o cenário daquele experimento, cada um com suas características específicas.

Já a coluna “Função Objetivo” representa o valor da solução em reais. No caso representado neste estudo é o gasto total para implementação desta configuração logística daquele cenário. A coluna tempo não tem impacto significativo para a questão logística deste estudo, embora seja considerado um fator que requer cuidados no planejamento, uma vez que se fosse um valor demasiadamente grande poderia atrasar o desenvolvimento dos planos. Assim, a sua apresentação tem caráter informativo, para demonstrar quanto tempo durou a busca do computador pela solução ótima.

Por sua vez, o grupo de colunas CT's irá apontar o número de CT's abertos naquele cenário, seguido da sua localização e faixa de capacidade que o modelo indicou para que fosse aberta.

E, por fim, a coluna Estoques irá indicar o principal objetivo deste estudo, a adequação da rede daquele cenário para a utilização da postergação de tempo. Esta característica será formalizada com a sinalização por parte do modelo da localização onde ocorrerá a abertura de um estoque nesta cadeia de suprimentos reversa, além do tipo de estoque que deverá ser construído naquela localidade.

Tabela 7: Resultados dos cenários elaborados

(Continua)

Cenário	FO	Tempo (segundos)	CT's			Estoques	
			CT's abertos	Localização de CT's	Faixa de capacidade	Localização de estoque	Tipo de estoque
1.1	R\$ 4.731.618,10	88,79	1	Parque Moscoso	4	Parque Moscoso	Óleo Usado
1.2	R\$ 4.585.511,94	42,87	8	Centro, do Quadro, Consolação, da Penha, Santa Luíza, Goiabeiras, Comdusa e Jardim Camburi	4	Vila Rubim	Óleo Tratado
1.3	R\$ 15.115.092,21	197,92	2	Ilha do Príncipe; Consolação	1; 2	Ilha do Príncipe	Óleo Tratado
1.4	R\$ 12.102.180,35	407,83	8	Centro, do Quadro, Consolação, da Penha, Santa Luíza, Pontal de Camburi, Comdusa e Jardim Camburi	4	Vila Rubim	Óleo Tratado
2.1	R\$ 3.380.399,25	171,73	1	Parque Moscoso	4	Parque Moscoso	Óleo Tratado
2.2	R\$ 3.217.984,12	27,72	8	Parque Moscoso, Universitário, Consolação, da Penha, Santa Lúcia, Jardim da Penha, Resistência e Jardim Camburi	4	Parque Moscoso	Óleo Tratado
2.3	R\$ 10.833.996,25	215,28	2	do Cabral e Consolação	1; 2	Bonfim	Óleo Tratado

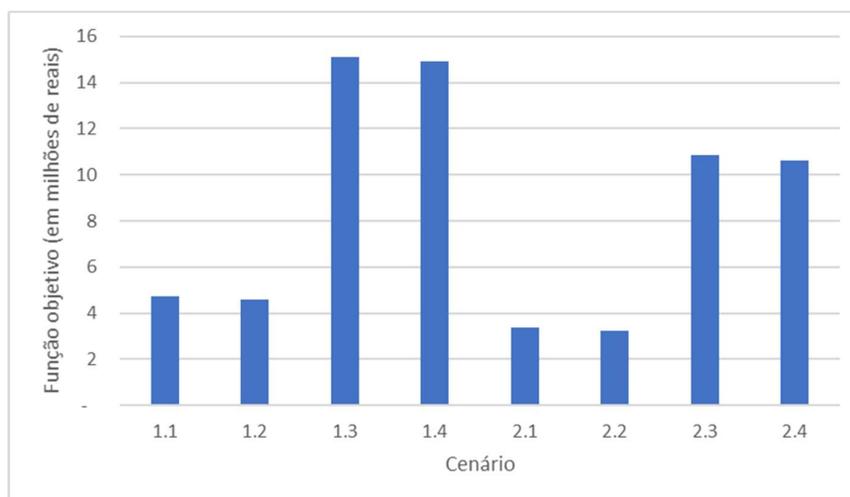
Tabela 7: Resultados dos cenários elaborados

(Conclusão)

2.4	R\$	10.606.010,36	26,97	2	Parque Moscoso, Universitário, Consolação, da Penha, Santa Lúcia, Jardim da Penha, Resistência e Jardim Camburi	2; 4; 4; 4; 3; 1; 2; 2,	Vila Rubim	Óleo Tratado
3.1	R\$	4.731.618,10	57,70	1	Parque Moscoso	4	Parque Moscoso	Óleo Usado
3.2	R\$	4.620.056,44	30,95	2	Parque Moscoso e Jardim da Penha	4	Parque Moscoso	Óleo Tratado
3.3	R\$	15.138.900,04	71,52	1	Parque Moscoso	4	Parque Moscoso	Óleo Tratado
3.4	R\$	15.006.090,73	97,91	2	Parque Moscoso e Jardim da Penha	4	Parque Moscoso	Óleo Tratado
4.1	R\$	3.380.399,51	227,02	1	Parque Moscoso	4	Parque Moscoso	Óleo Tratado
4.2	R\$	3.259.318,28	116,57	2	Parque Moscoso e Jardim da Penha	4	Parque Moscoso	Óleo Tratado
4.3	R\$	10.889.681,27	267,19	1	da Penha	4	Bonfim	Óleo Tratado
4.4	R\$	10.737.473,60	511,32	2	Parque Moscoso e Jardim da Penha	2; 2	Parque Moscoso	Óleo Tratado
5.1	R\$	4.731.618,10	34,17	1	Parque Moscoso	1	Parque Moscoso	Óleo Usado
5.2	R\$	4.627.414,26	340,82	1	Centro	1	Vila Rubim	Óleo Tratado
5.3	R\$	15.138.900,04	52,71	1	Parque Moscoso	1	Parque Moscoso	Óleo Tratado
5.4	R\$	15.030.018,41	12,48	1	Centro	1	Vila Rubim	Óleo Tratado
6.1	R\$	3.380.399,25	50,71	1	Parque Moscoso	1	Parque Moscoso	Óleo Tratado
6.2	R\$	3.273.413,17	23,16	1	da Penha	1	Bonfim	Óleo Tratado
6.3	R\$	10.889.681,27	35,98	1	da Penha	1	Bonfim	Óleo Tratado
6.4	R\$	10.779.086,27	12,16	1	da Penha	1	Bonfim	Óleo Tratado

No Gráfico 1, podem ser observados os custos agrupados segundo a restrição político-administrativa para abertura de um CT, isto é, é limitado a abertura de no máximo um CT por região administrativa de Vitória e, portanto, no máximo 8 CT's poderiam ser abertos na cadeia.

Gráfico 1: Valor da Função objetivo dos cenários de acordo com a restrição político-administrativa para abertura de um CT



Ainda, o Gráfico 2 apresenta os cenários que tiveram como restrição o enquadramento geográfico, ou seja, no máximo dois CT's, sendo um na parte continental do município e outro na Ilha de Vitória. No Gráfico 3 são apresentados os casos em que somente um CT poderá ser instalado no município.

Gráfico 2: Valor da Função objetivo dos cenários de acordo com a restrição geográfica para abertura de um CT

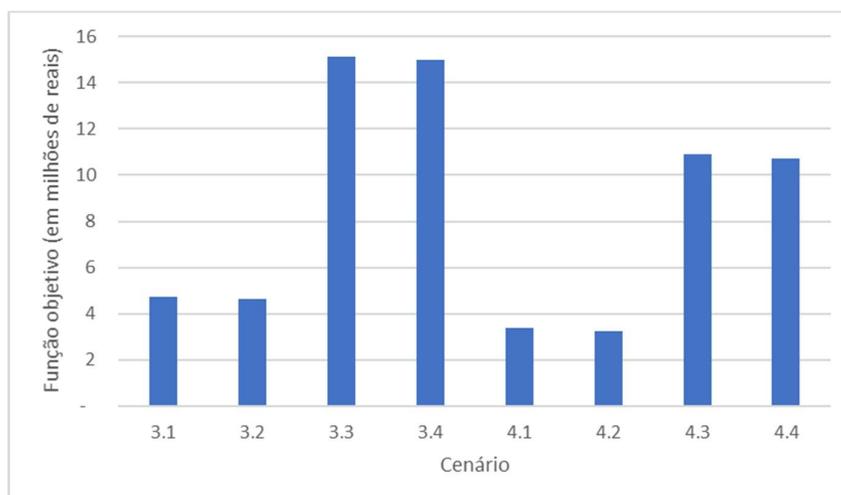
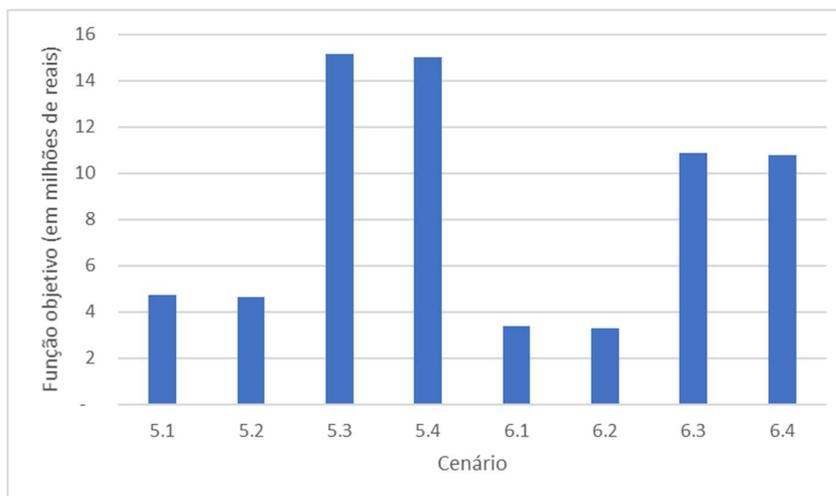


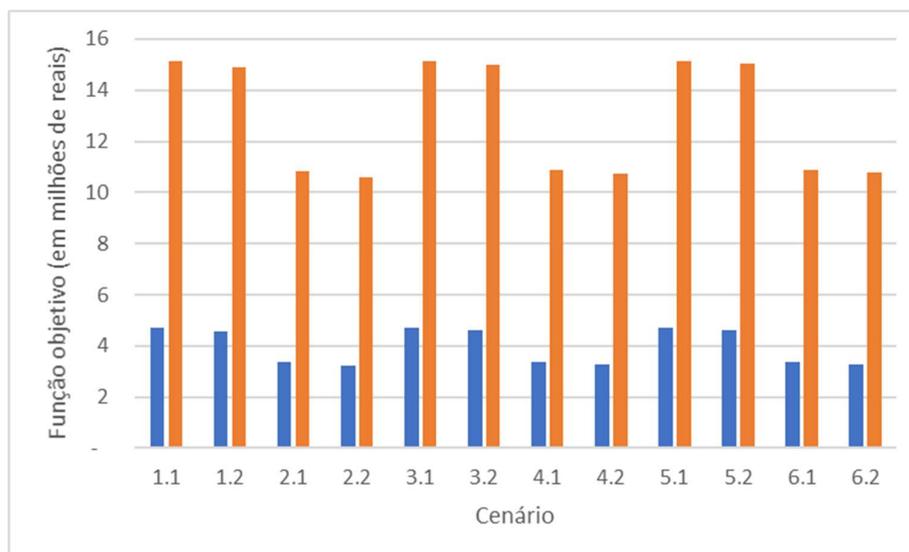
Gráfico 3: Valor da Função objetivo dos cenários de acordo com a restrição municipal para abertura de um CT



Ainda, é importante destacar a alteração da FO dentro de cada grupo dos gráficos já apresentados, essa alteração ocorre devido ao impacto do HP na contabilização dos custos em cada um dos cenários. Assim, se torna importante para a análise observar o comportamento da solução dentro de um mesmo HP.

Os resultados quanto ao valor da FO em cada HP são apresentados no Gráfico 4 para os períodos de 5 anos e 15 anos, respectivamente. Esse agrupamento identifica possíveis tendências de acordo com as variações impostas nos cenários e que serão discutidas na próxima seção.

Gráfico 4: Custo associado a implementação dos cenários com o Horizonte de Planejamento de **5 anos** e **15 anos**



Por sua vez, a fim de realizar uma análise do contexto geral dos cenários, foi considerados para a elaboração dos Gráfico 5 e Gráfico 6 o agrupamento dos cenários que contabilizam o custo total da implementação da rede logística, ou seja, a soma dos custos fixos e variáveis.

Essa abordagem se torna importante uma vez que como hoje não existe uma rede logística reversa e nem sugestões de possíveis parceiros para o recolhimento ou o tratamento do óleo de cozinha no município de Vitória a configuração logística poderá ser projetada sem nenhuma limitação quanto a imposição de localizações fixas.

Gráfico 5: Custo total da implementação de cada cenário que contabiliza o custo total no Horizonte de Planejamento de 5 anos

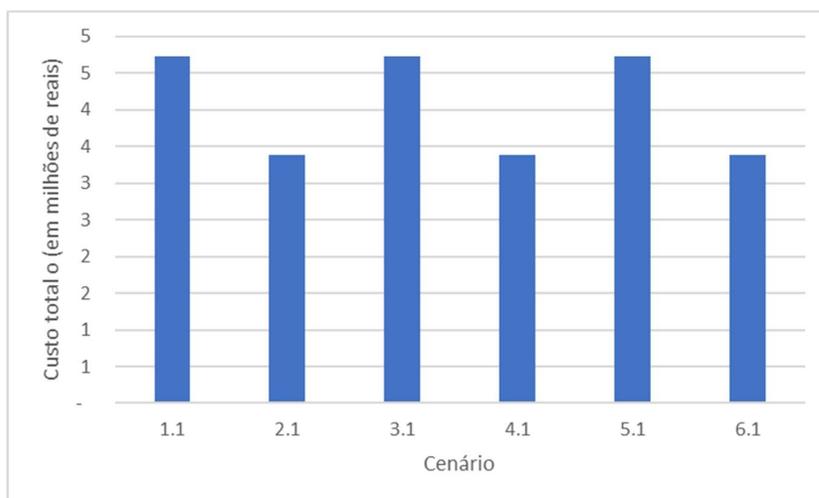
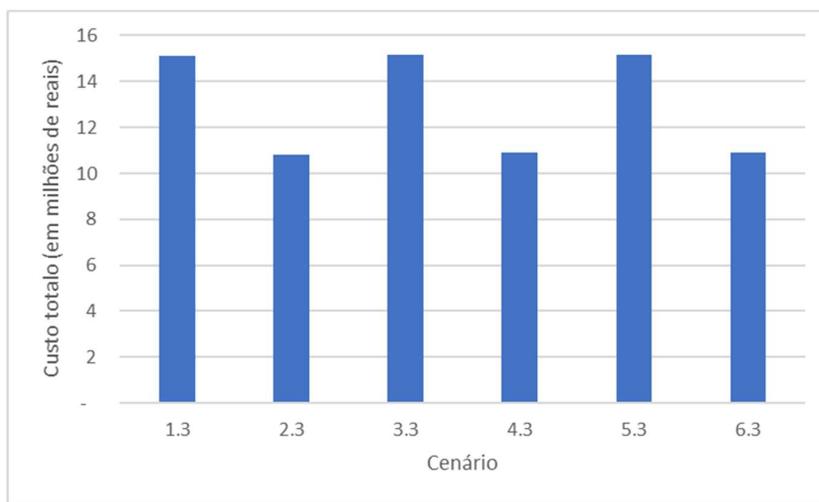
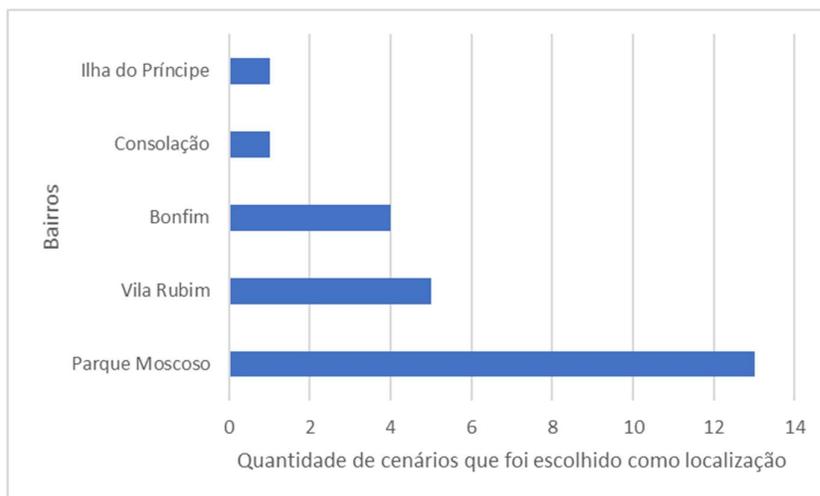


Gráfico 6: Custo total da implementação de cada cenário que contabiliza o custo total no Horizonte de Planejamento de 15 anos



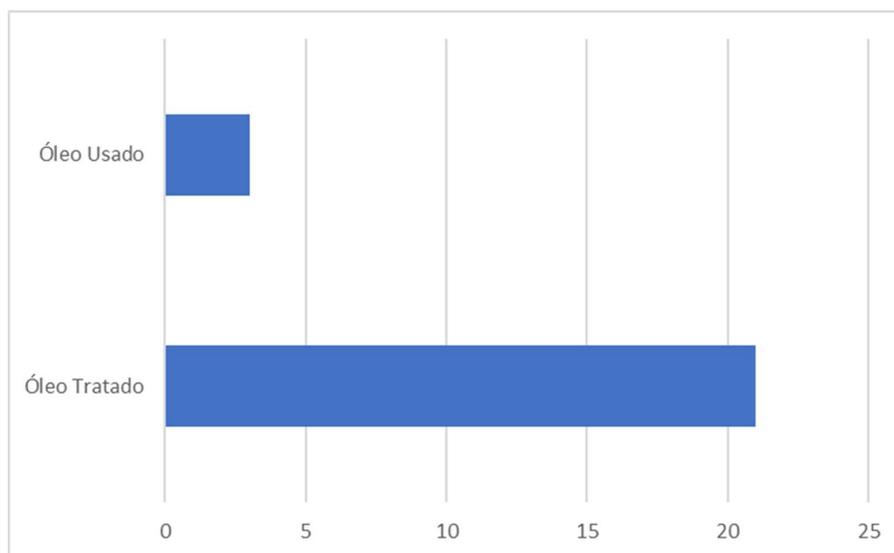
Do ponto de vista da implantação de estoques na rede logística, o Gráfico 7 discrimina a composição das localizações de estoque neste estudo de Postergação do Tempo na cadeia de suprimentos reversa. É de se notar a predominância da localização escolhida ser o Parque Moscoso.

Gráfico 7: Frequência de escolha da localização do estoque em todos os cenários



Da mesma maneira procede-se a caracterização quanto ao tipo de estoque que será implementado em cada cenário. Para a elaboração do Gráfico 8, as informações a respeito destas características foram contabilizadas e foi identificado que o estoque de óleo tratado é parte da solução da maioria dos cenários elaborados.

Gráfico 8: Quantidade de aparições de cada tipo de estoque em todos os cenários



4.2. ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS

Nesta seção será realizada a discussão a respeito das configurações logísticas apontadas em cada um dos cenários deste estudo e no contexto geral a partir da problemática envolvida.

A primeira questão a ser levantada é de que o modelo proposto foi capaz de resolver o problema em todos os cenários apresentados com tempo médio para obter a solução de cerca de 131,86 segundos, com um tempo de solução variando de 12,16 segundos a 511,32 segundos. Além de que o tempo total para rodar todos os modelos foi de aproximadamente 3033 segundos, isto é, em torno de 51 minutos.

Para a elaboração de um projeto de uma cadeia de suprimentos reversa para um estudo de implantação destas configurações este tempo é totalmente aceitável, uma vez que estudos de implantação duram um tempo consideravelmente maior para determinar a disposição de instalações em uma rede.

Percebe-se também que a influência dos custos fixos na FO altera a dinâmica das soluções do problema. Embora os cenários possam ser agrupados em pares como, por exemplo, o cenário 1.1 e o cenário 1.2, que se diferem apenas em considerar ou não o custo fixo, respectivamente, as soluções apresentadas para o problema tem disposição logística diferentes.

Isso destaca a importância do custo fixo, mesmo que ele represente uma pequena parcela do custo. No cenário 1.1 o custo total foi de R\$ 4.731.618,10 e no cenário 1.2 o custo total representou R\$ 4.585.511,94, ou seja, para considerar o custo fixo ocorreu um acréscimo de cerca de 3,2%. Considerando apenas o cenário 1.2, ao adicionar os custos para abertura daquelas instalações, o valor sugerido pelo cenário 1.1 seria superado, o que geraria um custo total de R\$ 5.326.561,94.

Dessa forma, a relevância do custo fixo e seus impactos devem ser considerados para uma proposta de solução considerada eficaz para a cadeia logística reversa objeto deste estudo.

Do ponto de vista logístico, o modelo indicou a abertura de instalações em de localidades centrais ao município de Vitória, que estivessem em regiões com facilidade de acesso e que, ainda, tivessem distâncias médias baixas de grandes concentrações habitacionais.

Observando-se os dados populacionais utilizados e a tendência de crescimento ou decréscimo populacional destas regiões é possível que esse fator distância das principais regiões geradoras de demandas fosse contrapartida da proximidade das EBR apontadas neste estudo. Assim, o modelo indicava uma localidade no percurso da EBR que gerasse o valor mínimo possível e alocava o transporte e instalações apropriadas para esse local.

Com a finalidade de melhor compreensão deste estudo, algumas das soluções obtidas para os cenários serão apresentadas graficamente para melhor contemplação das suas disposições no espaço.

Na Figura 9, estão apresentados os resultados da implementação do cenário 1.1, que indica como limitação abertura de CT's a distribuição política administrativa dos bairros, ou seja, em regiões administrativas.

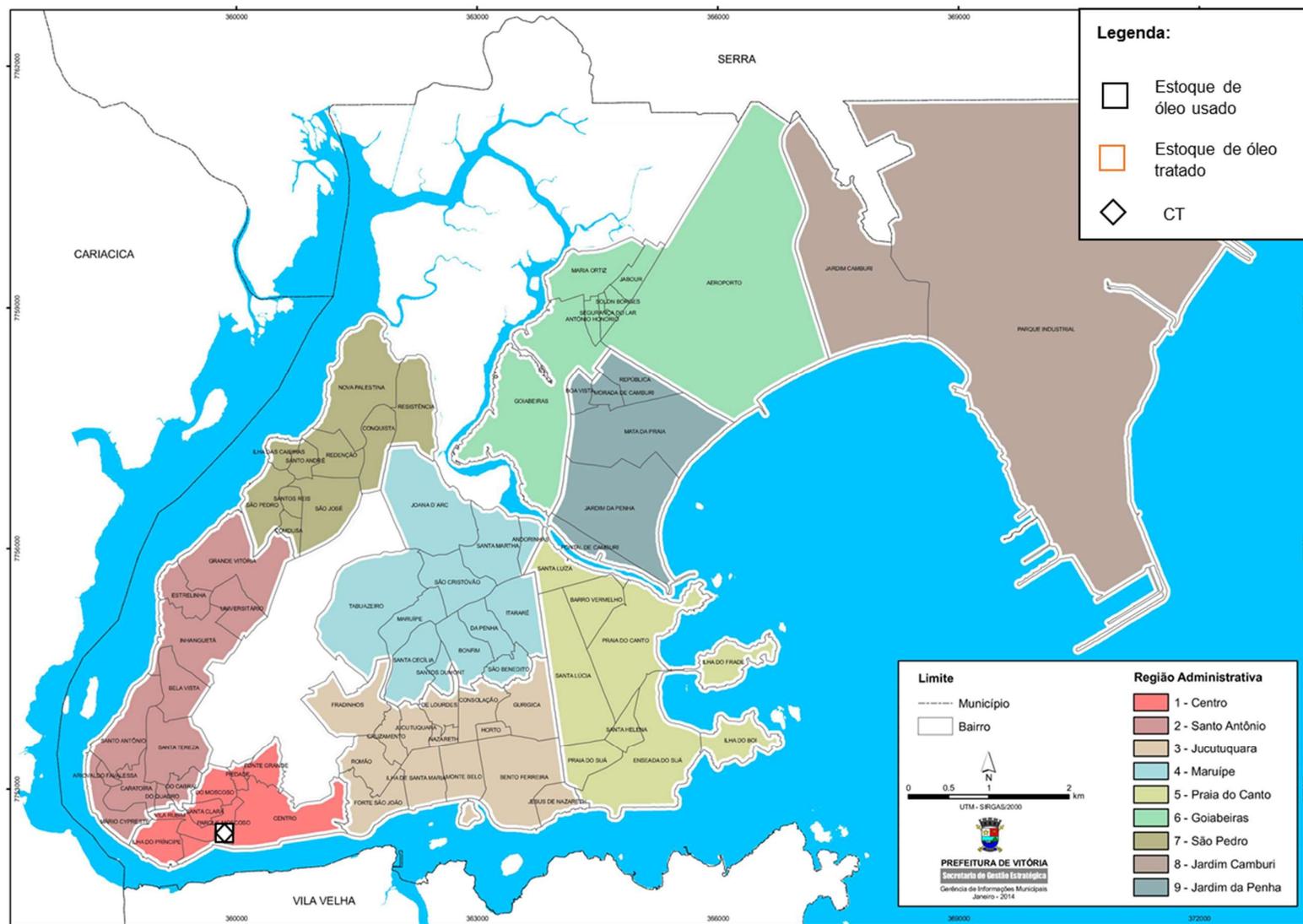


Figura 9: Resultado do cenário 1.1 - Adaptado de Vitória (2014b)

Esta primeira solução indicou a abertura de um CT e estoque de óleo usado no bairro Parque Moscoso. Essa indicação resultou em aproveitar a mesma localidade para a abertura de uma instalação híbrida para um HP de 5 anos. Neste cenário também foi recomendado que o CT será instalado com a faixa de capacidade 4, o que indica que esta planta deverá receber 100% da demanda total dos bairros de Vitória.

Como não houve indicação de nenhuma outra localidade a receber outra instalação, os fluxos oriundos de todos os bairros se direcionam para a região do Parque Moscoso no estoque de óleo usado, que será acumulado e passará pelo processo de tratamento, na mesma instalação, e seguirá para o próximo nível.

Por sua vez, a solução apresentada na Figura 10, que diz respeito ao cenário 2.3 que, como no cenário 1.1, tem a restrição político-administrativa para a abertura de CT. Neste caso o *solver* indica a abertura de duas instalações em locais diferentes. É possível que essa sugestão seja resultado de que o custo de transporte entre as duas localidades indique que essa alternativa seja priorizada em detrimento do desconto associado a abertura de uma instalação híbrida.

Ainda, aponta que toda a demanda coletada nos bairros seja enviada para o CT localizado no bairro da Penha, com capacidade de receber toda esta demanda, e após o processo de tratamento essa será enviada para um estoque de óleo tratado aberto no bairro vizinho, o Bonfim.

Duas principais características diferem os cenários 1.1 e 2.3, como na segunda situação ocorre uma perda maior no processo de tratamento (de 25%) a escolha do tipo de estoque foi de um estoque de óleo tratado, por se tratar de abrigar menor quantidade de produto e, assim, ter um custo menor de instalação.

A outra característica que impacta na diferença entre as soluções é o HP, na primeira hipótese, o período tratado se limita a 5 anos e a segunda a 15 anos. O comportamento de crescimento ou decréscimo populacional dos bairros provoca este deslocamento na escolha do local que vai abrigar a(s) instalação (ões) e, assim, alterando a configuração logística recomendada.

De maneira similar aos cenários anteriores, a Figura 11 apresenta a disposição das soluções apontada ao simular o cenário 5.3 de acordo com o modelo matemático utilizado para projetar a rede logística reversa da cadeia de suprimentos do óleo de cozinha usado.

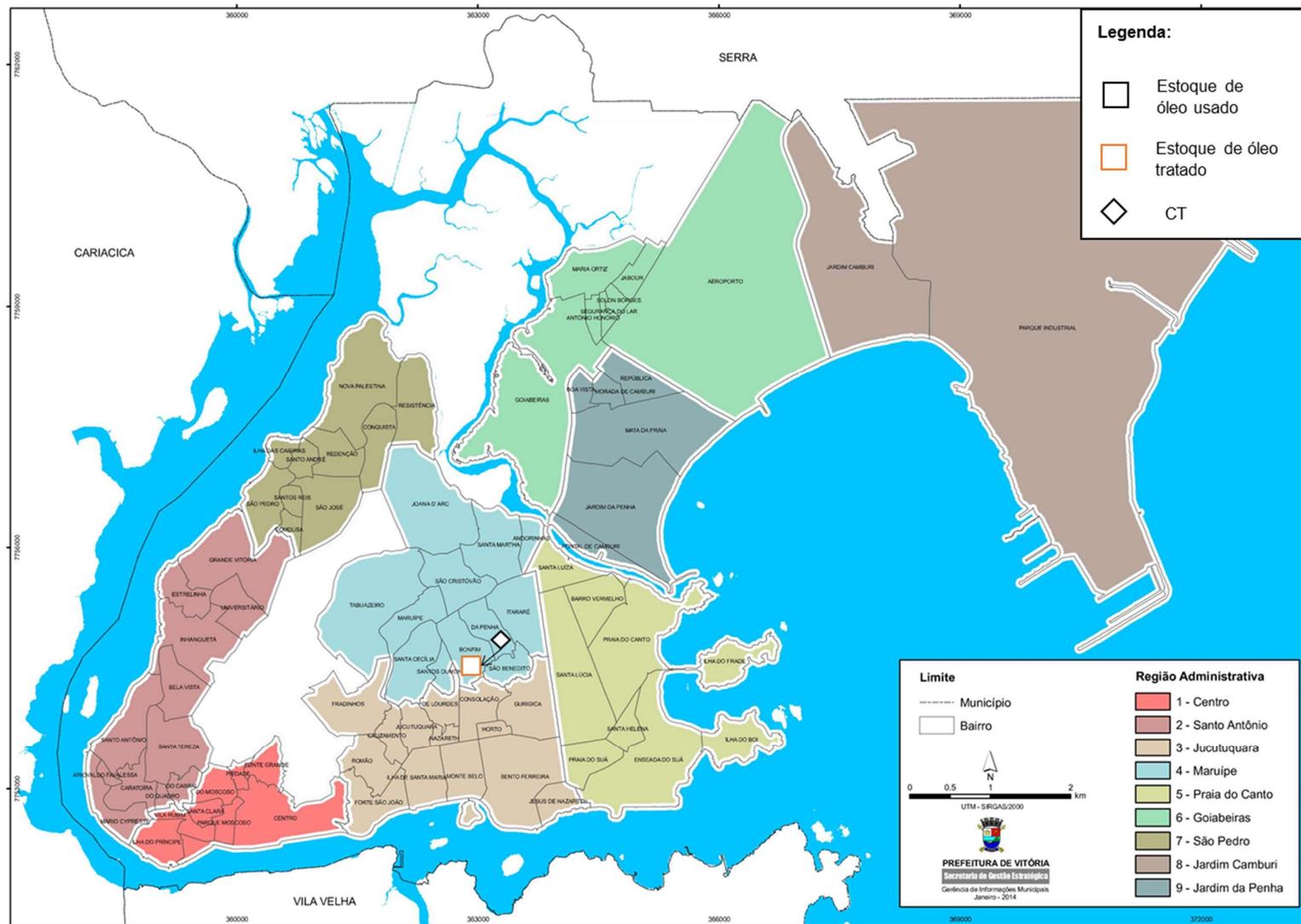


Figura 10: Resultado do cenário 2.3 - Adaptado de Vitória (2014b)

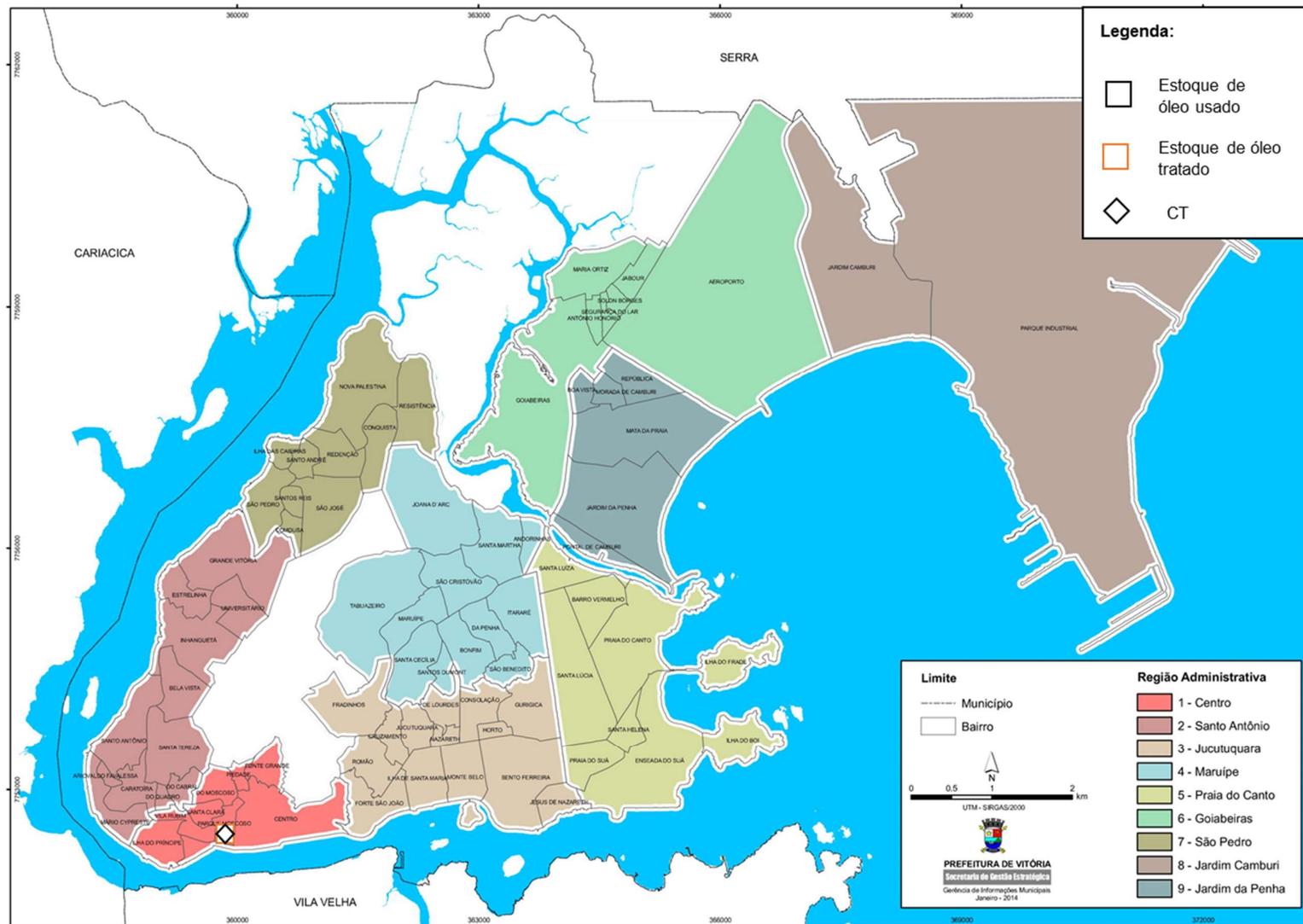


Figura 11: Resultado do cenário 5.3 - Adaptado de Vitória (2014b)

Diferente das outras duas situações já abordadas, os cenários 1.1 e 2.3, o cenário 5.3 utiliza a restrição municipal para abertura de CT's, ou seja, limita a abertura de uma instalação para todo o município.

Em uma perspectiva contrária, conforme o primeiro cenário (Figura 9), o cenário 5.3 - Figura 11 - indica que o processo de tratamento acarreta uma perda de 10% e, conforme o segundo cenário apresentado (Figura 10) possui um HP de 15 anos para contabilização das demandas das localidades.

Conforme ocorreu no cenário 1.1, a este cenário sugere a abertura de uma instalação híbrida que contém um estoque de óleo usado e um centro de tratamento com faixa de capacidade 4, isto é, que contempla toda a demanda da região de estudo. Em uma análise semelhante, a característica quanto ao tipo de estoque para períodos mais longos de planejamento como observado no cenário 2.3 foi de escolha de estoque de óleo tratado também ocorreu no cenário 5.3.

Assim, o fluxo deste cenário ocorre com o direcionamento das demandas de todos os bairros para o processo de tratamento, localizado no bairro Parque Moscoso, e depois é enviado para o estoque de óleo tratado na mesma planta e, enfim, de lá para as EBR's.

Quanto ao envio às EBR, todos os cenários foram contemplados da mesma forma. A escolha ocorria de acordo com a distância até local de remanufatura, a Empresa 1 recebia toda a sua capacidade, à medida que se a demanda fosse suficiente para superar esse valor, enviaria para a Empresa 2 e, depois de atingida a capacidade, para a Empresa 3, nesta ordem, a partir da distância até a EBR.

4.3. REDE LOGÍSTICA PROPOSTA

Para que se tenha um maior dimensionamento desta rede e sabendo que uma rede logística é projetada para trabalhar em um horizonte de longo prazo, algumas considerações devem ser observadas para propor qual cenário deverá servir como base para a proposta de um projeto de rede logística com postergação de tempo para a cadeia de suprimentos reversa do óleo de cozinha.

O primeiro aspecto a ser observado é o horizonte de planejamento, uma vez que o projeto deve ser realizado com a perspectiva de HP longo. Neste estudo, foram elaborados cenários com duas opções de tempo para HP, a alternativa que contempla um maior período é o HP de 15 anos.

O segundo aspecto a ser levantado para consideração dos cenários é relativo à perda no processo de tratamento. Como este projeto de rede logística se sustenta na minimização de custos, o retorno obtido com a prática da logística reversa do óleo de cozinha não deverá ser apenas uma atividade custosa, como também uma atividade que gere retorno para os participantes.

Este retorno se torna fundamental à medida que os custos de funcionamento das instalações, como funcionários, custos com manutenção e gastos mensais e eventuais, entre outros, deverá ser utilizado para cobertura dessas despesas ou outros que, porventura, surjam.

Dessa forma, uma rede logística que contemple de forma mais abrangente essa situação deverá ter uma menor quantidade de perda no processo de tratamento. Como neste estudo foram consideradas duas taxas médias de perda, de 10% e 25%, a que se enquadra nesse padrão é a de menor valor.

Por fim, para seleção dos cenários deverá ser considerado o custo envolvido e, assim, os cenários que não contemplem a inclusão dos custos fixos são descartados desta análise.

Em vista disso, a Tabela 8 apresenta os cenários selecionados para análise da proposta.

Tabela 8: Cenários que atendem os critérios para formulação das propostas

Cenário	FO (em R\$)	Tempo (segundos)	CT's abertos	CT's	Faixa de capacidade	Estoques	
				Localização de CT's		Localização de estoque	Tipo de estoque
1.3	15.115.092,21	197,92	2	Ilha do Príncipe; Consolação	1;2	Ilha do Príncipe	Óleo Tratado
3.3	15.138.900,04	71,52	1	Parque Moscoso	4	Parque Moscoso	Óleo Tratado
5.3	15.138.900,04	52,71	1	Parque Moscoso	1	Parque Moscoso	Óleo Tratado

Diante das soluções que se enquadram nestes quesitos, o cenário 1.3 apresenta um menor valor da FO, sendo assim em um estudo de minimização de custos a escolha indicada e, por consequência, melhor detalhado na Figura 12.

Com isso, o cenário 1.3 apresenta a configuração logística proposta por este estudo. Nesta opção serão abertos dois CT's e um estoque de óleo tratado, o primeiro CT é uma instalação híbrida, com funcionamento paralelo do estoque no mesmo local, aberto no bairro Ilha do Príncipe, com faixa de capacidade 1, e o outro com localização no bairro Consolação de nível de capacidade 2.

Embora as definições das faixas de capacidade indicassem a Faixa 1 recebendo 25% da demanda e a Faixa 2 com capacidade de 50% do total da demanda, a combinação dos tanques apresentados na Tabela 3 excederam esses valores pré-estabelecidos (APÊNDICE D). Embora ocorra essa situação, os dois CT's são suficientes, com estas faixas de capacidade para receber toda a demanda oriunda de cada bairro, conforme apresentado no Quadro 5.

Quadro 5: Bairros que enviam suas demandas para cada um dos CT's abertos

Ilha do Príncipe		Consolação	
Centro do Moscoso	Ilha de Santa Maria	Forte São João*	Barro Vermelho
Fonte Grande	Monte Belo	Bento Ferreira	Enseada do Suá
Forte São João*	Romão	Consolação de Lourdes	Ilha do Frade
Parque Moscoso	Santa Cecília	de Lourdes	Praia do Canto
Piedade	Ilha do Boi	Fradinhos	Praia do Suá
Santa Clara	Comdusa	Gurigica	Santa Helena
Vila Rubim	Conquista	Horto	Santa Lúcia
Ariovaldo Favalessa	Ilha das Caieiras	Jesus Nazareth	Santa Luíza
Bela Vista	Nova Palestina	Jucutuquara	Antônio Honório
Caratoíra	Redenção	Nazareth	Boa Vista
do Cabral	Santo André	Andorinhas	Goiabeiras
do Quadro	Santos Reis	Bonfim	Jabour
Estrelinha	São José	da Penha	Jardim da Penha
Grande Vitória	São Pedro	Itararé	Maria Ortiz
Ilha do Príncipe		Joana D'Arc	Mata da Praia
Inhanguetá		Maruípe	Morada de Camburi
Mário Cypreste		Santa Cecília	Pontal de Camburi
Santa Tereza		Santa Martha	República
Santo Antônio		Santos Dumont	Segurança do Lar
Universitário		São Benedito	Sólon Borges
Cruzamento		São Cristóvão	Resistência
		Tabuazeiro	Jardim Camburi

* A demanda do bairro Forte São João é dividida entre os dois CT's

Uma vez enviadas as demandas dos bairros aos CT's abertos na cadeia, esse fluxo de óleo usado passará pelo processo de tratamento e, posteriormente, será enviado ao estoque de óleo tratado.

Como este estoque está localizado na mesma planta que um dos CT's, no bairro Ilha do Príncipe, o outro CT aberto no bairro Consolação enviará todo a sua produção para este local de armazenagem, concentrando todo o fluxo em um único estoque na rede logística, característica fundamental da Postergação de Tempo.

Por sua vez, o estoque aberto envia o óleo tratado para as EBR's conforme apresentado na Tabela 9

Tabela 9: Quantidade enviada para cada EBR

Destino	Quantidade (em litros)
Empresa 1	5.400.000
Empresa 2	5.865.082

Ao observar a quantidade de óleo tratado enviado para a Empresa 2, localizada no norte do Rio de Janeiro, fica evidente a necessidade de incremento da capacidade da Empresa 1, localizada na região metropolitana de Vitória.

Nessa situação o modelo apresenta um comportamento diferente e um impacto gigantesco no custo total do cenário. Na Tabela 10 encontra-se o resultado encontrado com a adaptação do cenário 1.3 para que a Empresa 1 tenha capacidade suficiente de absorver toda a demanda gerada pela rede logística.

Tabela 10: Cenário adicional com toda a demanda enviada para a Empresa 1

FO (em R\$)	Tempo (segundos)	CT's abertos	CT's		Estoques	
			Localização de CT's	Faixa de capacidade	Localização de estoque	Tipo de estoque
2.647.766,40	26,44	1	Segurança do Lar	4	Aeroporto	Óleo Tratado

Assim, o custo é alterado drasticamente e a localização das instalações também. Em caso de viabilidade da expansão da capacidade de beneficiamento da Empresa 1, essa configuração deverá ser adotada e priorizada. Caso contrário, a indicação apresentada pelo cenário 1.3 se torna a mais apropriada e recomendada para um melhor aproveitamento.

Nota-se, também, que a maior parcela do custo total é referente ao custo de transporte. Havendo a possibilidade de aproximação das EBR's aos bairros geradores

de demanda, é de considerável importância essa alternativa. A redução dos custos associados a movimentação do produto é outro fator importante nesta análise

Assim, é constatado que o modelo proposto é capaz de realizar o planejamento da logística reversa do óleo de cozinha no município de Vitória, no estado do Espírito Santo. O modelo foi capaz de minimizar os custos de abertura de instalações e custos de transporte.

Por fim, o estudo apresentou um novo modelo para projetos de cadeia de suprimentos com a postergação de tempo e, dentre os casos observados na literatura, foi o primeiro trabalho a implementar este tipo de estudo em uma cadeia de abastecimento reversa e indicado para ser usado em casos similares, tanto da logística tradicional quanto da logística reversa.

5. CONCLUSÕES

Nesta dissertação foi proposto um modelo matemático para o problema de projeto de redes logísticas com postergação de tempo para a logística reversa do óleo de cozinha usado com uma cadeia logística funcional estruturada em 3 níveis, são eles a demanda, o Centro de Tratamento e a Empresa de Beneficiamento de Resíduos.

O desenvolvimento do modelo teve como base uma coletânea de trabalhos anteriores de onde foram retiradas características e considerações para a proposta de um novo modelo matemático que pudesse contemplar o estudo de caso no qual seria implementada a modelagem.

Além disso, outros aspectos foram absorvidos a partir de considerações da logística reversa, como a perda do processo e a taxa de retorno. Ademais, as diversas combinações entre diferentes características dos diversos modelos matemáticos considerados para a elaboração do modelo oferecem o retorno de uma rede logística que, ainda, não fora considerada em outros trabalhos.

Essas alterações e considerações resultaram em um modelo matemático que indicasse um projeto com o custo total reduzido o quanto fosse possível, com uma proposta de solução ótima, além de utilizar conceitos da postergação de tempo na cadeia de suprimentos reversa.

Em um contexto geral, o modelo matemático demonstrou ser capaz de realizar o planejamento logístico reverso de óleo de cozinha usado e estruturar toda a cadeia de suprimentos proposta neste estudo, contendo as quantidades, origem e destinos das etapas relacionados ao transporte de óleo e, ainda, identificar abertura de instalações e suas localizações ótimas, faixas de capacidades dos CT's e tipos de estoques.

Do mesmo modo, a implementação do modelo para este estudo de caso, por se tratar de logística reversa, apresenta um diferencial adicional, além da redução total de custos envolvidos. A preservação do meio ambiente com o descarte de forma apropriada ou o reaproveitamento do óleo em outros processos torna maior o porte deste estudo, abrangendo questões relacionadas a considerações ambientais e conservação de cursos d'água, por exemplo.

Ainda, de maneira específica este trabalho conseguiu estimar o consumo e a geração de resíduo produzido no município de Vitória – ES a respeito do óleo de cozinha usado, a partir de levantamentos bibliográficos, população em cada bairro e taxas de crescimento populacional para indicar a demanda futura.

Este estudo, ainda, projetou fluxos de transportes entre as facilidades de acordo com as demandas locais e capacidades de cada instalação. Para isso, os custos de transportes foram mensurados a partir de levantamentos geográficos sobre a distâncias entre os bairros associadas ao custo unitário para o transporte do óleo de cozinha entre as instalações.

No levantamento bibliográfico foram obtidas informações e técnicas necessárias para a realização do estudo de caso, considerando aspectos importantes para as duas análises principais deste trabalho. A primeira é a postergação de tempo para projetar a cadeia de suprimentos e localizar um estoque em um nível diferente do último nó da rede e, posteriormente, a logística reversa para levantar pontos e conceitos importantes para incrementar no modelo.

Com isso, um modelo matemático foi desenvolvido para aplicação da postergação de tempo no projeto da cadeia de suprimentos reversa do óleo de cozinha usado e foi submetido aos dados a respeito de custos, demandas e capacidades, entre outros, obtidos com o levantamento.

Dessa maneira, considerando aspectos importantes no planejamento, como o horizonte de tempo que deve ser considerado, taxas de perda e consideração do tipo de custos, foram elaborados cenários que pudessem identificar abordagens inerentes ao estudo que indicassem vantagens e desvantagens em cada característica que foi diferenciada pelo cenário.

Somente, então, cada peculiaridade foi identificada, considerando cada situação levantada pelos cenários, e escolhido um cenário que pudesse ser utilizado como proposta de projeto de rede logística reversa do óleo de cozinha usado para o estudo em questão.

O *solver* CPLEX 12.6 (IBM, 2012) se mostrou eficiente para resolver todos os cenários com um esforço computacional baixo, este medido em relação ao tempo de processamento da solução.

Esta questão, levantada a partir da identificação da solução dos cenários, é o envio do óleo para rebeneficiamento em outro estado, devido a capacidade da planta existente em no ES ser atingida, gerando custos adicionais de transporte excessivos motivados pela distância para as outras EBR's.

Com isso, motivado pela possibilidade de redução de custos e com o incentivo para o aumento da capacidade da planta da Empresa 1 foi criado um cenário adicional para que sugerisse uma rede com as mesmas considerações do cenário previamente escolhido, no entanto, que a Empresa 1 contasse com uma capacidade suficiente para atendimento integral da demanda.

Essa solução alternativa apresentou um custo ainda mais reduzido, o que sugere que essa motivação de incremento de capacidade da planta deve ser considerada previamente ao estabelecimento de um projeto, uma vez que depois de concretizado ele se torna rígido e custoso às mudanças.

Os resultados apresentados com a implementação do modelo resultam em alternativas para a tomada de decisão de gestores de empresas que participam da cadeia reversa do óleo de cozinha e, ainda, de autoridades públicas que competem essas decisões de estabelecer diretrizes para a projeto de rede logística deste estudo de caso.

Em adição a isso, a metodologia utilizada nesta dissertação contribui com a elaboração de procedimentos, etapas e recomendações para o dimensionamento e definição de um projeto de rede logística reversa com postergação de tempo com as variações impostas pelos diferentes cenários considerados. E, ainda, com a adição de considerações acerca de outra localidade e uma rede reversa distinta são informações suficientes para implementação em outro estudo.

No caso de sistemas logísticos de grande porte, onde um *solver* não seja capaz de dar uma solução exata devido à complexidade e tamanho do problema sugere-se a utilização de heurísticas e meta-heurísticas para a solução da modelagem matemática proposta.

Em relação a rede logística reversa do óleo de cozinha uma limitação deste trabalho foi identificar a população e estimar demandas futuras com base no último censo, o de 2010. Para um valor mais preciso neste quesito é fundamental ter uma medição

atualizada desta informação para que a projeção se alinhe ainda mais como o que será visto no futuro.

Assim, como sugestão para trabalhos futuros será implementar essa modelagem matemática para outras redes logísticas, tradicionais ou reversas, utilizar outras técnicas de solução para problemas de porte maior e, ainda, realizar uma atualização no estudo com base em dados populacionais atualizados quando estes forem divulgados.

REFERÊNCIAS

- Alderson, W. Marketing efficiency and the principle of postponement. **Cost and Profit Outlook**, 1950.
- ARIMA, S.; BATTAGLIA, A.. Da terra para terra, uma visão do ciclo total. **Revista Tecnológica**, 2003.
- AVIV, Y.; FEDERGRUEN, A. Design for postponement: A comprehensive characterization of its benefits under unknown demand distributions. **Operations Research**, v. 49, n. 4, p. 578-598, 2001.
- BEI, Wang; LINYAN, Sun. A review of reverse logistics. **Applied sciences**, v. 7, n. 1, p. 16-29, 2005.
- BOWERSOX, D. J. Some Unresolved Channel Research Opportunities and One Framework for Integration. **Marketing Channels: Domestic and International Perspectives**. Eds. Michael G. Harvey and Robert F. Lusch. Chicago, IL: American Marketing Association, 1982.
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B. **Supply chain logistics management**. New York, NY: McGraw-Hill, 2002.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 03 ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 19 dez. 2016.
- BRASIL. Óleo de cozinha pode ser descartado de forma consciente. **Portal Brasil**. 2014. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2014/08/oleo-de-cozinha-pode-ser-descartado-de-forma-consciente>>. Acesso em: 7 fev. 2017
- BUCKLIN, L. P. Postponement, speculation and the structure of distribution channels. **Journal of marketing research**, p. 26-31, 1965.
- BYRNE, Patrick M. Deeb, A. LOGISTICS MUST MEET THE " GREEN" CHALLENGE. **Transportation & Distribution**, 1993.
- CARDOSO, P. A. **O princípio da postergação**: um estudo na cadeia de suprimentos das tintas para impressão. 2002. 158p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia Industrial da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.
- CARTER, Craig R.; ELLRAM, Lisa M. Reverse logistics: a review of the literature and framework for future investigation. **Journal of business logistics**, v. 19, n. 1, p. 85, 1998.
- ÇELEBI, D. Inventory control in a centralized distribution network using genetic algorithms: A case study. **Computers & Industrial Engineering**, v. 87, p. 532-539, 2015.
- CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gestão da cadeia de suprimentos**: estratégia, planejamento e operações. 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.
- DAS, C.; TIAGY, R. Role of inventory and transportation costs in determining the optimal degree of centralization. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 33, n. 3, p. 171-179, 1997.

DE BRITO, M. P.; DEKKER, R. **A framework for reverse logistics**. Springer Berlin Heidelberg, 2004.

DEKKER, R. *et al.* (Ed.). **Reverse logistics: quantitative models for closed-loop supply chains**. Springer Science & Business Media, 2013.

DOWLATSHAHI, S. Developing a theory of reverse logistics. **Interfaces**, v. 30, n. 3, p. 143-155, 2000.

EVERS, Philip T.; BEIER, Frederick J. Operational aspects of inventory consolidation decision making. **Journal of Business Logistics**, v. 19, n. 1, p. 173, 1998.

EYNAN, Amit. The multi-location inventory centralization problem with first-come, first-served allocation. **European Journal of Operational Research**, v. 114, n. 1, p. 38-49, 1999.

FERNANDES, B. C.; GALAMBA, F. H.; TOSTA, L. I.; LIMA R. S. **Impactos da utilização de centros de distribuição na logística de distribuição de produtos acabados**. Revista de literatura do transporte, v. 5, p. 163-181, 2011.

FERNANDEZ, I. The concept of reverse logistics. A review of literature. **15th Annual NOFOMA**, v. 3, 2003.

FERREIRA, K. A.; ALCANTARA R. L. C. **Postponement: abordagens para sua aplicação em empresas da indústria de alimentos**. In. XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Belo Horizonte, 2011. Anais... Belo Horizonte, ABEPRO, XXXI ENEGEP, 2011.

FERRI, G. L.; CHAVES, G. L. D.; RIBEIRO, G. M. Análise e localização de centros de armazenamento e triagem de resíduos sólidos urbanos para a rede de logística reversa: um estudo de caso no município de São Mateus, ES. **Revista Produção**, v. 25, n. 1, p. 27-42, 2015

FLEISCHMANN, Moritz *et al.* Quantitative models for reverse logistics: A review. **European journal of operational research**, v. 103, n. 1, p. 1-17, 1997.

G1 ES. **Lei obriga estabelecimentos a terem posto de coleta de óleo em vitória**, 16 de nov. de 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/espirito-santo/noticia/2015/09/lei-obriga-estabelecimentos-terem-posto-de-coleta-de-oleo-em-vitoria.html>>. Acesso em 7 fev. 2017.

GAITHER, N.; FRAZIER, G. **Administração da produção e operações**. 8 ed. São Paulo: Thomson, 2002.

GARCÍA-DASTUGUE, S. J.; LAMBERT, D. M. Interorganizational time-based postponement in the supply chain. **Journal of Business Logistics**, v. 28, n. 1, p. 57-81, 2007.

GAUR, S.; RAVINDRAN, A. R. A bi-criteria model for the inventory aggregation problem under risk pooling. **Computers & industrial engineering**, v. 51, n. 3, p. 482-501, 2006.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 4ª ed., 2002.

GINTER, P. M.; STARLING, J. M. Reverse distribution channels for recycling. **California Management Review**, v. 20, n. 3, p. 72-82, 1978.

GONÇALVES, M. F. S. **Planejamento da logística reversa do óleo residual de fritura para uma destinação ambientalmente correta**. 2015. 112p. Dissertação

(Mestrado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia e Tecnologia da Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2015.

GONZALEZ-TORRE, Pilar L. et al. Environmental and reverse logistics policies in European bottling and packaging firms. **International Journal of Production Economics**, v. 88, n. 1, p. 95-104, 2004.

GOOGLE. **Google Maps**. Disponível em: < <http://maps.google.com.br>>. Acesso em: 09 jan. 2017.

GRAMAN, Gregory A. A partial-postponement decision cost model. **European Journal of Operational Research**, v. 201, n. 1, p. 34-44, 2010.

GRAVES, S. C.; WILLEMS, S. P. Optimizing strategic safety stock placement in supply chains. **Manufacturing & Service Operations Management**, v. 2, n. 1, p. 68-83, 2000.

IBGE. **Cidades**. 2010. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=320530>>. Acesso em: 03 fev. 2017.

IBM. **IBM ILOG CPLEX v12.6**: User's manual for CPLEX, 2012.

JABALI, O.; WOENSEL, T.; DE KOK, A. G. Analysis of travel times and CO2 emissions in time-dependent vehicle routing. **Production and Operations Management**, v. 21, n. 6, p. 1060-1074, 2012.

KHOR, K. S; UNDIN, Z. M.; RAMAYAH, T.; HAZEN, B. T. Reverse logistics in Malaysia: The Contingent role of institutional pressure. **International Journal of Production Economics**, v. 175, p. 96-108, 2016.

KOPICKI, R.; BERG, M. J.; LEGG, L. **Reuse and recycling-reverse logistics opportunities**. 1993.

KROON, Leo; VRIJENS, Gaby. Returnable containers: an example of reverse logistics. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 25, n. 2, p. 56-68, 1995.

KUTANOGLU, E.; LOHIYA, D.. Integrated inventory and transportation mode selection: A service parts logistics system. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 44, n. 5, p. 665-683, 2008.

LACERDA, D. P. et al. Algumas caracterizações dos métodos científicos em Engenharia de Produção: uma análise de periódicos nacionais e internacionais. **XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2007.

LALONDE, B. J.; MASON, B. E. Some thoughts on logistics policy and strategies: management challenges for the 1980s. **International Journal of Physical Distribution & Materials Management**, v. 15, n. 5, p. 5-15, 1985.

LAMBERT, D. M.; COOPER, M. C.; PAGH, J. D. Supply chain management: implementation issues and research opportunities. **The international journal of logistics management**, v. 9, n. 2, p. 1-20, 1998.

LAU, H. S.; LAU, A. H. L. The newsstand problem: A capacitated multiple-product single-period inventory problem. **European Journal of Operational Research**, v. 94, n. 1, p. 29-42, 1996

- LEITE, P. R. Logística reversa: nova área da logística empresarial. **Revista Tecnológica**, maio, 2002.
- LEITE, P. R. **Logística reversa: meio ambiente e competitividade**. Pearson Prentice Hall, 2009.
- LI, H.; WOMER, K.. Modeling the supply chain configuration problem with resource constraints. **International Journal of Project Management**, v. 26, n. 6, p. 646-654, 2008.
- LINTON, J. D.; KLASSEN, R.; JAYARAMAN, V.. Sustainable supply chains: An introduction. **Journal of operations management**, v. 25, n. 6, p. 1075-1082, 2007.
- MADALOZO, J. A. **O potencial de uso do rejeito de óleo vegetal para produção de biodiesel em Ponta Grossa – PR**. 2008. 98p. Dissertação (Mestrado em Gestão Territorial) – Setor de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Estadual do Paraná, Ponta Grossa, 2008.
- MAISTER, D. H. Centralization of inventories and the “Square Root Law”. **International Journal of Physical Distribution**, v. 6, n. 3, p. 124-134, 1976.
- MAPA, S. M. S. **Localização-Alocação de instalações com sistema de informações geográficas e modelagem matemática**. 2007. 142 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.
- MEADE, L.; SARKIS, J.; PRESLEY, A.. The theory and practice of reverse logistics. **International Journal of Logistics Systems and Management**, v. 3, n. 1, p. 56-84, 2007.
- MEI, L. B.; CHRISTIANI, V. S.; LEITE, P. R. A logística reversa no retorno de óleo de cozinha usado. **ENCONTRO NACIONAL DA ANPAD**, v. 35, 2011.
- MELO, M. T.; NICKEL, S.; SALDANHA-DA-GAMA, F.. Facility location and supply chain management—A review. **European journal of operational research**, v. 196, n. 2, p. 401-412, 2009.
- MICROSOFT. **MICROSOFT EXCEL 2016**, Version 1611. 2016.
- NOZICK, L. K.; TURNQUIST, M. A. Inventory, transportation, service quality and the location of distribution centers. **European Journal of Operational Research**, v. 129, n. 2, p. 362-371, 2001.
- PIRES, S. R. I. **Gestão da cadeia de suprimentos: conceitos, estratégias, práticas e casos**. São Paulo: Atlas, 2004.
- PISHVAEE, M. R.; FARAHANI, R. Z.; DULLAERT, W. **A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistic network design**. *Computers & Operations Research*, v. 37, p. 1100 – 1112, 2010.
- PITTA JUNIOR, O. S. R.; NOGUEIRA NETO, M. S.; SACOMANO, J. B., LIMA, J. L.A. **Reciclagem do óleo de cozinha usado: uma contribuição para aumentar a produtividade do processo**. In: 2ns International Workshop—Advences in Cleaner Production. São Paulo, Brasil. 2009.
- PITTELA, F. Supermercados vão coletar óleo de cozinha usado. **Câmara Municipal de Vitória**, 2015. Disponível em: <<http://www2.cmv.es.gov.br/noticia/ler/6479/supermercados-vo-coletar-leo-de-cozinha-usado>>. Acesso em 7 fev. 2017.

- POHLEN, T L.; FARRIS, M. T. Reverse logistics in plastics recycling. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 22, n. 7, p. 35-47, 1992.
- PORTO, M. M. **Portos e o desenvolvimento**. São Paulo: Aduaneiras, 2011. 208 p.
- RAZMI, J.; ZAHEDI-ANARAKI, A. H.; ZAKERINIA, M. S. A bi-objective stochastic optimization model for reliable warehouse network redesign. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 58, n. 11, p. 1804-1813, 2013.
- RODRIGUES, E. F.; PIZZOLATO, N. D. **The economy of distribution centers: The case of large retail networks in Brazil**. African Journal of Business Management, v. 7, pp. 1541-1552, 2013.
- ROGERS, D S.; TIBBEN-LEMBKE, S.R. **Going backwards**: reverse logistics trends and practices. 1998.
- SANTOS, A. **Centros de distribuição como vantagem competitiva**. Revista de ciências gerenciais, v. 10, p. 34-40, 2006.
- SARKIS, J.; HELMS, M. M.; HERVANI, A. A. Reverse logistics and social sustainability. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, v. 17, n. 6, p. 337-354, 2010.
- SCHWARTZ FILHO, A. J. **Localização de indústrias de reciclagem na cadeia logística reversa do coco verde**. 2006.127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.
- SERVARE JUNIOR, M. W. J., RIBEIRO, G. M.; CHAVES, G. L D. **Um modelo matemático para redes logísticas com fluxos diretos e reversos e novos integrantes**. In. XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Bento Gonçalves, 2012. Anais... Bento Gonçalves, ABEPRO, XXXII ENEGEP, 2012.
- SERVARE JUNIOR, M. W. J., CARDOSO, P. A.; **Time postponement in supply chain: a mathematical programming review**. In. 23rd European Operations Management Association Conference, Trondheim, 2016. Anais... Trondheim, 23rd EurOMA, 2016.
- SILVA, B. G.; PUGET, F. P. Sabão de sódio glicerinado: produção com óleo residual de fritura. 2010.
- SILVA, D. A. L.; RENÓ, G. W. S.; SEVEGNANI; T. B.; TRUZZI, O. M. S. Comparison of disposable and returnable packaging: a case study of reverse logistics in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 47, p. 377-387, 2013.
- SILVA, E. L. d.; MENEZES, E. M. **Metodologia de Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 3^a ed. rev. atualizada. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.
- STOCK, J. R. **Reverse logistics: White paper**. Council of Logistics Management, 1992.
- STOCK, James; SPEH, Thomas; SHEAR, Herbert. Managing product returns for competitive advantage. **MIT Sloan Management Review**, v. 48, n. 1, p. 57, 2006.
- VERGARA, S. C..**Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 13. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

- VITÓRIA. Censo Demográfico 2010. **Prefeitura Municipal de Vitória**. 2010a. Disponível em: <http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/Censo_2010/Dados_Universo/bairro/trabalho_rendimento/universo_trab_rend.asp>. Acesso em 27 jan. 2017.
- VITÓRIA. Censo Demográfico 2010. **Prefeitura Municipal de Vitória**. 2010a. Disponível em: <http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/Censo_2010/Tab19.pdf>. Acesso em 5 fev. 2017.
- VITÓRIA. Censo Demográfico 2010. **Prefeitura Municipal de Vitória**. 2011. Disponível em: <http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/Censo_2010/Tab3_sinopse_pop.asp>. Acesso em 5 fev. 2017
- VITÓRIA. Projeto de Lei n° 308, de 13 de outubro de 2014. Estabelece a obrigatoriedade aos estabelecimentos comercializadores de óleo de cozinha, especificamente mercados e supermercados, acima de 50 metros quadrados de área destinada ao consumidor, a manter em local visível e de fácil acesso, recipiente especial para o seu descarte. **Câmara Municipal de Vitória**, ES, 13 out. 2014a. Disponível em: <<http://www.cmv.es.gov.br/Arquivo/Documents/PL/PL3082014.pdf>>. Acesso em 9 jan. 2017.
- VITÓRIA. Vitória em mapas. **Prefeitura Municipal de Vitória**. 2014b. Disponível em: <http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/bairros/Mapa_bairros/LIMITE_BAIRROS.pdf>. Acesso em 3 fev. 2017.
- VITÓRIA. Lei n° 8.611, de 2 de janeiro de 2014. Altera o artigo 2° da Lei nº6.077, de 30 de dezembro de 2003. **Câmara Municipal de Vitória**, ES, 13 out. 2014c. Disponível em: <<http://sistemas.vitoria.es.gov.br/webleis/Arquivos/2013/L8611.PDF>>. Acesso em: 9 jan. 2017.
- VITÓRIA. Regiões Administrativas. **Prefeitura Municipal de Vitória**. 2014d. Disponível em: <http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/geral/regiao_administrativa/RA_GERAL.pdf>. Acesso em 9 jan. 2017.
- VITÓRIA. História de Vitória. **Prefeitura Municipal de Vitória**. 2017. Disponível em: <<http://www.vitoria.es.gov.br/cidade/historia-de-vitoria>>. Acesso em 3 fev. 2017.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1996.
- ZHANG, Y. BAO, X.; REN, G.; CAI, X.; LI, J. Analysing the status, obstacles and recommendations for WCOs of restaurants as biodiesel feedstocks in China from supply chain perspectives. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 60, p. 20-37, 2012.
- YIN, Robert K. **Estudo de Caso-: Planejamento e Métodos**. Porto Alegre: Bookman editora, 2015.
- ZIKMUND, W. G.; STANTON, W. J. Recycling solid wastes: a channels-of-distribution problem. **The Journal of Marketing**, p. 34-39, 1971.
- ZINN, W.; BOWERSOX, D. J. Planning physical distribution with the principle of postponement. **Journal of Business Logistics**, v. 9, n. 2, 1988.
- ZINN, W.; LEVY, M.; BOWERSOX, D. J. Measuring The Effect OF Inventory Centralization/Decentrali. **Journal of Business Logistics**, v. 10, n. 1, p. 1, 1989.

APÊNDICES

APÊNDICE A: MODELO MATEMÁTICO IMPLEMENTADO NO CPLEX

Apêndice A: Modelo matemático implementado no CPLEX (IBM, 2012)

```

// Número de bairros
int N_h = ...;

// Conjunto de bairros
range H = 1..N_h;

// Número de potenciais localidades potenciais de armazenagem das
demandas dos bairros
int N_i = ...;

// Conjunto de localidades potenciais de armazenagem das demandas dos
bairros
range I = 1..N_i;

// Número de localidades potenciais de centros de tratamento
int N_j = ...;

// Conjunto de localidades potenciais de centros de tratamento
range J = 1..N_j;

// Número de localidades potenciais de armazenagem do óleo tratado
int N_k = ...;

// Conjunto de localidades potenciais de armazenagem do óleo tratado
range K = 1..N_k;

// Número de empresas beneficiadoras de resíduos
int N_l = ...;

// Conjunto de empresas beneficiadoras de resíduos
range L = 1..N_l;

// Número de potenciais locais de utilização conjunta de centros de
tratamento e estoques
int N_e = ...;

// Conjunto de locais de utilização conjunta de centros de tratamento e
estoques
range E = 1..N_e;

// Número de faixas de capacidades para os centros de tratamentos
int N_n = ...;

// Conjunto de faixas de capacidades para os centros de tratamento
range N = 1..N_n;

// Custo de transporte para enviar a demanda de óleo usado do bairro h
para o estoque de óleo usado
float Cp[H][I] = ...;

```

```

// Custo de transporte para enviar um litro de óleo usado do bairro h
para o centro de tratamento j
float Cq[H][J] = ...;

// Custo de transporte para enviar um litro do estoque de óleo usado i
para o centro de tratamento j
float Cr[I][J] = ...;

// Custo de transporte para enviar um litro do centro de tratamento j
para o estoque de óleo tratado k
float Cs[J][K] = ...;

// Custo de transporte para enviar um litro do centro de tratamento j
para a empresa de beneficiamento de resíduo l
float Ct[J][L] = ...;

// Custo de transporte para enviar um litro de óleo do estoque de óleo
tratado k para a empresa de beneficiamento de resíduo l
float Cu[K][L] = ...;

/*// Custo fixo de abertura de estoque de óleo usado no bairro i
float Fw[I] = ...;

// Custo fixo de abertura de um centro de tratamento no bairro j com
faixa de capacidade n
float Fx[J][N]= ...;

// Custo fixo de abertura de um estoque de óleo tratado no bairro k
float Fy[K] = ...;

// Custo fixo de desconto associado a abertura de um centro de tratamento
e um estoque de óleo tratado na localidade E
float Fe[E] = ...;

// Custo fixo de manutenção do estoque de óleo usado no bairro i
float Coi[I] = ...;

// Custo de operacionalização de centro de tratamento no bairro j
float Coj[J] = ...;

//Custo fixo de manutenção do estoque de óleo tratado no bairro k
float Cok[K] = ...;*/

// Demanda de óleo usado no bairro h
float D[H] = ...;

// Porcentagem coletada da demanda de óleo usado no bairro h
float r[H] = ...;

// Porcentagem de perda do óleo no centro de tratamento
float p = ...;

// Quantidade limite de centros de tratamento abertos
float Nmax = ...;

// Capacidade do estoque de óleo usado no bairro i
float Caw[I]= ...;

// Capacidade de um centro de tratamento no bairro j na faixa de
capacidade n
float Cax[J][N] = ...;

```

```

// Capacidade de um centro do estoque de óleo tratado no bairro k
float Cay[K] = ...;

// Capacidade da empresa beneficiadora de resíduo l
float Cal[L] = ...;

// *****
// Variáveis de Decisão
// *****

// Quantidade transportada de óleo usado do bairro h para o estoque de
// óleo usado
dvar float+ P[H][I];

// Quantidade transportada de óleo usado do bairro h para o centro de
// tratamento j
dvar float+ Q[H][J];

// Quantidade transportada de óleo usado do estoque i para o centro de
// tratamento j
dvar float+ R[I][J];

// Quantidade transportada de óleo tratado do centro de tratamento j para
// o estoque de óleo tratado k
dvar float+ S[J][K];

// Quantidade transportada de óleo tratado do centro de tratamento j para
// a empresa de beneficiamento de resíduos l
dvar float+ T[J][L];

// Quantidade de óleo transportado do estoque de óleo tratado k para
// empresa de beneficiamento de resíduos l
dvar float+ U[K][L];

// X[i] = 1 se um estoque de óleo usado é aberto no bairro i
dvar boolean W[I];

// W[j] = 1 se centro de tratamento no bairro j é aberto
dvar boolean X[J] [N];

// Y[k] = 1 se um estoque de óleo tratado é aberto no bairro k
dvar boolean Y[K];

// Ze[e] = 1 se centro de tratamento e um estoque (de qualquer tipo) são
// abertos no bairro e
dvar boolean Ze[E];

// *****
// Função objetivo
// *****

// Minimizar o custo
minimize /*sum(i in I) (Fw[i]*W[i]) + sum(j in J) (Fx[j]*X[j]) + sum(k in
K) (Fy[k]*Y[k]) - sum(e in E) (Fe[e]*Ze[e]) + sum(i in I) (Coi[i]*X[i]) +
sum(j in J) (Coj[j]*W[j]) + sum(k in K) (Cok[k]*Y[k]) +*/ sum(h in H, i
in I) (Cp[h][i]*P[h][i]) + sum(h in H, j in J) (Cq[h][j]*Q[h][j]) + sum(i
in I, j in J) (Cr[i][j]*R[i][j]) + sum(j in J, k in K) (Cs[j][k]*S[j][k])
+ sum(j in J, l in L) (Ct[j][l]*T[j][l]) + sum(k in K, l in L)
(Cu[k][l]*U[k][l]);

```

```

// *****
// Restrições
// *****
subject to {

// Recolhimento de óleo usado do bairro h
forall (h in H)
    sum(i in I) P[h][i] + sum(j in J) Q[h][j] == r[h]*D[h];

// Fluxo no estoque de óleo usado no bairro i
forall (i in I)
    sum(h in H) P[h][i] == sum (j in J) R[i][j];

// Fluxo e balanço no Centro de tratamento
forall (j in J)
    (1-p) * (sum(i in I) R[i][j] + sum(h in H) Q[h][j]) == (sum (k in K)
S[j][k] + sum(l in L) T[j][l]);

// Fluxo e balanço no estoque de oleo tratado no bairro j
forall (k in K)
    sum(j in J) S[j][k] == sum (l in L) U[k][l];

// Restrição de Capacidade no estoque de óleo usado
forall (i in I)
    sum(h in H) P[h][i] <= W[i]*Caw[i];

// Restrição de Capacidade no Centro de tratamento
forall (j in J)
    sum(i in I) R[i][j] + sum(h in H) Q[h][j] <= sum (n in N)
(Cax[j][n] * X[j][n]);

// Restrição de Capacidade no estoque de óleo tratado
forall (k in K)
    sum(j in J) S[j][k] <= Y[k]*Cay[k];

// Restrição de Capacidade na empresa de beneficiamento de resíduo l
forall (l in L)
    sum(k in K) U[k][l] + sum(j in J) T[j][l] <= Cal[l];

// Apenas uma unidade de centro de tratamento pode ser aberta por bairro
forall (j in J)
    sum (n in N) X[j][n] <= 1;

// Limita a quantidade de centros de tratamento abertas
sum (j in J, n in N) X[j][n] <= Nmax;

// Apenas um estoques pode ser aberto na cadeia
sum (i in I) W[i] + sum (k in K) Y[k] == 1;

// Garante o desconto da abertura de um estoque e um centro de tratamento
na mesma localidade
forall (e in E)
    2 * Ze[e] <= W[e] + Y[e] + sum (n in N) X [e][n];

forall (h in H)
    sum(j in J) Q[h][j]<= (1 - sum(j in J) W[j])* r[h] * D[h];

forall (l in L)
    sum(j in J) T[j][l]<= (1 - sum(k in K) Y[k]) * Cal[l]; }

```

APÊNDICE B: ESTIMATIVA DE RESÍDUOS E CONSUMO POR BAIRRO E REGIÃO ADMINISTRATIVA DE VITÓRIA EM 2010

Apêndice B: Estimativa de resíduos e consumo por bairro e região administrativa de Vitória em 2010
(Continua)

Região	Bairro	População	Renda em salários mínimos					Consumo mensal	Resíduo mensal
			Até 1	1 a 3	3 a 5	5 a 10	Mais de 10		
1	Centro	9.838	4.022	2.516	1.304	1.392	604	11.057	1.933
	Do Moscoso	795	555	180	35	21	4	922	156
	Fonte Grande	1.231	837	307	37	35	15	1.433	241
	Forte São João	1.553	985	438	64	44	22	1.815	305
	Parque Moscoso	1.773	740	419	263	243	108	1.981	349
	Piedade	323	218	87	5	6	7	377	63
	Santa Clara	1.608	798	420	157	175	58	1.836	316
	Vila Rubim	1.430	817	417	98	81	17	1.666	283
Total	18.551	8.972	4.784	1.963	1.997	835	21.087	3.645	
2	Ariovaldo Falavessa	787	477	227	48	30	5	920	156
	Bela Vista	4.371	2.864	1.249	165	82	11	5.134	862
	Caratoíra	5.149	3.609	1.245	187	89	19	5.998	1.010
	Do Cabral	1.623	1.150	398	42	26	7	1.894	318
	Do Quadro	1.041	615	310	57	48	11	1.218	205
	Estrelinha	2.381	1.598	646	99	33	5	2.789	469
	Grande Vitória	4.402	3.112	1.094	130	55	11	5.142	863
	Ilha do Príncipe	2.613	1.625	785	139	63	1	3.072	518
	Inhanguetá	4.154	2.692	1.233	155	64	10	4.890	820
	Mário Cypreste	1.145	667	417	44	15	2	1.365	228
	Santa Tereza	3.343	2.020	922	231	139	31	3.889	661
	Santo Antonio	5.947	3.458	1.761	422	230	76	6.937	1.179
Universitário	918	512	259	69	62	16	1.064	181	
Total	37.874	24.399	10.546	1.788	936	205	44.312	7.469	
3	Bento Ferreira	5.569	2.188	923	705	1.039	714	6.004	1.062
	Consolação	2.766	1.774	683	138	136	35	3.205	542
	Cruzamento	2.407	1.739	561	54	44	9	2.805	470
	De Lourdes	1.920	825	443	234	273	145	2.141	374
	Fradinhos	1.756	785	375	195	236	165	1.943	340
	Gurigica	5.997	4.230	1.524	167	63	13	7.016	1.176

	Horto	98	60	23	3	10	2	113	19
	Ilha de Santa Maria	2.325	1.241	744	185	127	28	2.720	462
	Jesus de Nazareth	2.565	1.826	625	74	34	6	2.994	503
	Jucutuquara	1.515	668	444	165	181	57	1.736	299
	Monte Belo	1.988	1.097	586	163	118	24	2.313	394
	Nazareth	586	261	164	63	67	31	667	115
	Romão	3.096	2.181	753	102	45	15	3.608	607
	Total	32.588	18.875	7.848	2.248	2.373	1.244	37.264	6.364
4	Andorinhas	2.031	1.210	692	89	35	5	2.408	403
	Bonfim	7.106	4.548	1.973	355	192	38	8.309	1.402
	Da Penha	5.603	3.839	1.393	214	140	17	6.532	1.100
	Itararé	7.913	4.863	2.412	389	221	28	9.306	1.566
	Joana D'Arc	2.853	1.646	786	232	153	36	3.308	565
	Maruípe	3.859	1.735	1.043	480	463	138	4.396	763
	Santa Cecília	1.264	544	285	177	184	74	1.412	248
	Santa Martha	8.456	5.158	2.492	481	279	46	9.906	1.673
	Santos Dumont	1.850	1.127	577	88	48	10	2.178	366
	São Benedito	2.789	2.110	604	50	21	4	3.246	544
	São Cristóvão	4.182	2.366	1.198	343	231	44	4.861	829
	Tabuazeiro	6.496	3.788	1.941	412	289	66	7.594	1.285
	Total	54.402	32.934	15.396	3.310	2.256	506	63.455	10.744
5	Barro Vermelho	5.629	2.142	624	539	1.026	1.298	5.819	1.037
	Enseada do Suá	1.062	441	132	99	204	186	1.123	198
	Ilha do Boi	1.111	481	141	61	173	255	1.162	203
	Ilha do Frade	418	150	69	11	45	143	426	75
	Praia do Canto	15.147	5.530	1.805	1.387	2.690	3.735	15.610	2.780
	Praia do Suá	2.885	1.764	593	193	199	136	3.269	560
	Santa Helena	2.372	889	244	204	402	633	2.421	432
	Santa Lúcia	4.367	1.704	804	513	756	590	4.725	833
	Santa Luíza	1.245	558	238	126	178	145	1.363	238
	Total	34.236	13.659	4.650	3.133	5.673	7.121	35.916	6.356
6	Aeroporto		-						
	Antonio Honório	1.347	642	344	151	152	58	1.530	265
	Boa Vista	1.183	632	385	67	71	28	1.384	233
	Goiabeiras	2.633	1.432	790	205	156	50	3.062	521
	Jabour	1.066	439	278	121	170	58	1.205	208

	Jardim da Penha	30.571	11.821	5.457	3.905	5.717	3.671	33.132	5.852
	Maria Ortiz	13.197	7.654	4.233	806	401	103	15.517	2.620
	Mata da Praia	10.594	4.292	1.085	897	1.818	2.502	10.935	1.943
	Morada de Camburi	1.164	469	238	122	190	145	1.272	222
	Pontal de Camburi	889	446	194	113	94	42	999	175
	República	3.760	1.625	1.017	483	450	185	4.262	742
	Segurança do Lar	550	254	175	66	38	17	635	110
	Solon Borges	1.523	719	500	173	104	27	1.771	305
	Total	68.477	30.425	14.696	7.109	9.361	6.886	75.703	13.197
	Comdusa	894	680	203	8	3	-	1.044	174
	Conquista	1.914	1.437	410	36	24	7	2.224	373
	Ilha das Caieiras	1.845	1.327	448	47	21	2	2.155	361
	Nova Palestina	6.471	4.723	1.554	126	56	12	7.561	1.265
7	Redenção	3.125	2.107	849	82	86	1	3.668	613
	Resistência	6.620	4.716	1.721	126	48	9	7.766	1.297
	Santo André	3.054	2.083	857	80	32	2	3.593	601
	Santos Reis	1.049	790	232	18	8	1	1.222	205
	São José	4.480	3.118	1.203	111	45	3	5.260	880
	São Pedro	4.294	2.899	1.168	152	65	10	5.033	845
	Total	33.746	23.880	8.645	786	388	47	39.527	6.614
	Jardim Camburi	39.157	15.516	7.358	5.446	7.290	3.547	42.872	7.572
8	Parque industrial	0	-	-	-	-	-	-	-
	Total	39.157	15.516	7.358	5.446	7.290	3.547	42.872	7.572

APÊNDICE C: DEMANDAS DOS BAIRROS NOS PERÍODOS CONSIDERADOS NESTE ESTUDO

Apêndice C: Demandas dos bairros nos períodos considerados neste estudo (em litros)

Bairros	2010	2017		2022	2032	HP		Variação %	
	Mensal	Mensal	Anual	Mensal	Mensal	5 anos	15 Anos	(2000-2010)	
Centro	1933	2102	25222	2232	2516	129186	411976	6.47	
Do Moscoso	156	143	1717	135	119	8378	23675	-	6.91
Fonte Grande	241	219	2631	205	180	12814	36031	-	15.63
Forte São João	305	277	3322	258	224	16154	45264	-	26.57
Parque Moscoso	349	378	4538	400	448	23213	73791	3.81	
Piedade	63	57	681	53	45	3307	9230	-	47.14
Santa Clara	316	346	4147	368	419	21274	68131	12.53	
Vila Rubim	283	265	3177	253	230	15590	44666	-	0.49
Ariovaldo Favalessa	156	145	1743	138	125	8543	24409	-	0.88
Bela Vista	862	941	11296	1003	1138	57938	185401	11.11	
Caratoíra	1010	927	11129	873	772	54312	153492	-	6.82
Do Cabral	318	293	3517	277	247	17185	48725	-	3.85
Do Quadro	205	189	2271	178	159	11090	31407	-	4.76
Estrelinha	469	514	6170	549	625	31669	101536	14.86	
Grande Vitória	863	943	11318	1005	1140	58047	185756	11.16	
Ilha do Príncipe	518	475	5704	447	396	27836	78656	-	7.01
Inhanguetá	820	906	10866	972	1120	55905	180332	35.13	
Mário Cypreste	228	208	2500	195	172	12187	34353	-	10.41
Santa Tereza	661	719	8630	764	861	44206	140999	6.67	
Santo Antonio	1179	1078	12934	1011	890	63048	177686	-	10.83
Universitário	181	201	2414	217	252	12441	40300	61.05	
Bento Ferreira	1062	1150	13800	1217	1363	70586	224311	3.61	
Consolação	542	599	7187	643	742	36984	119361	37.68	
Cruzamento	470	504	6045	529	585	30834	97282	0.96	
De Lourdes	374	348	4179	331	299	20476	58419	-	1.18
Fradinhos	340	364	4371	383	423	22302	70409	1.09	
Gurigica	1176	1075	12894	1007	885	62833	176925	-	12.45
Horto	19	17	205	16	14	998	2788	-	39.51
Ilha de Santa Maria	462	425	5095	400	354	24868	70298	-	6.51
Jesus de Nazareth	503	456	5475	426	371	26632	74675	-	23.98
Jucutuquara	299	327	3927	349	397	20151	64557	13.23	
Monte Belo	394	361	4326	338	298	21088	59426	-	10.97
Nazareth	115	105	1266	99	87	6173	17413	-	9.29

Romão	607	560	6726	530	473	32877	93284	-	3.40
Andorinhas	403	372	4464	351	313	21817	61856	-	3.88
Bonfim	1402	1277	15319	1194	1044	74584	209575	-	17.31
Da Penha	1100	1002	12026	938	821	58567	164669	-	15.74
Itararé	1566	1697	20364	1797	2017	104203	331492		4.32
Joana D'Arc	565	619	7425	660	752	38108	122177		14.76
Maruípe	763	710	8520	674	608	41731	118990	-	1.33
Santa Cecília	248	228	2732	214	189	13330	37659	-	7.26
Santa Martha	1673	1840	22075	1969	2254	113427	364690		22.32
Santos Dumont	366	337	4047	318	283	19767	55989	-	4.64
São Benedito	544	607	7290	657	770	37628	122411		104.32
São Cristóvão	829	895	10735	944	1052	54854	173879		2.32
Tabuazeiro	1285	1389	16670	1469	1641	85235	270589		3.03
Barro Vermelho	1037	1148	13782	1236	1431	70974	229519		49.19
Enseada do Suá	198	219	2628	235	272	13530	43720		44.49
Ilha do Boi	203	187	2244	176	156	10957	31004	-	5.53
Ilha do Frade	75	82	984	88	100	5055	16230		18.41
Praia do Canto	2780	3052	36626	3263	3728	188113	604139		18.99
Praia do Suá	560	518	6214	490	438	30385	86267	-	3.03
Santa Helena	432	478	5732	513	591	29493	95161		36.40
Santa Lúcia	833	912	10945	973	1108	56174	180090		14.68
Santa Luíza	238	262	3146	281	322	16166	52004		24.00
Aeroporto	0	0	0	0	0	0	0		-
Antonio Honório	265	284	3412	299	331	17410	54975		1.13
Boa Vista	233	254	3049	270	305	15623	49878		7.74
Goiabeiras	521	570	6838	607	690	35078	112310		12.04
Jabour	208	227	2726	242	273	13972	44631		8.44
Jardim da Penha	5852	6439	77265	6894	7902	397094	1277449		24.16
Maria Ortiz	2620	2869	34427	3061	3484	176681	566294		14.17
Mata da Praia	1943	2127	25521	2269	2581	130963	419665		13.71
Morada de Camburi	222	242	2899	256	288	14845	47300		5.63
Pontal de Camburi	175	160	1920	150	132	9360	26384	-	10.38
República	742	686	8233	648	579	40249	114239	-	3.19
Segurança do Lar	110	121	1453	130	149	7474	24080		29.72
Solon Borges	305	330	3958	349	390	20240	64298		3.39
Comdusa	174	191	2297	205	234	11799	37910		20.16
Conquista	373	409	4905	436	497	25179	80766		15.93
Ilha das Caieiras	361	399	4790	429	494	24645	79512		36.06
Nova Palestina	1265	1386	16632	1479	1685	85369	273719		14.94
Redenção	613	673	8078	720	823	41491	133271		19.37

Resistência	1297	1421	17056	1517	1729	87549	280760	15.33
Santo André	601	659	7905	704	803	40590	130260	17.01
Santos Reis	205	223	2678	237	269	13727	43865	8.93
São José	880	972	11665	1044	1204	60026	193708	37.21
São Pedro	845	915	10979	968	1084	56158	178484	3.69
Jardim Camburi	7572	8412	100948	9069	10542	520276	1685923	63.96
Parque Industrial	0	0	0	0	0	0	0	-
Total	61962	65418	785021	68222	74728	3991019	12516758	

APÊNDICE D: DEMANDA TOTAL, CAPACIDADE E CUSTO DE INSTALAÇÃO DE UM ESTOQUE

Apêndice D: Demanda total, Capacidade e Custo de instalação de um estoque

Tipo de estoque	Demanda (em litros)	Capacidade (em litros)	Custo
Estoque de óleo usado para HP de 5 anos	68.222	70.000	R\$ 22.450,00
Estoque de óleo usado para HP de 15 anos	74.728	80.000	R\$ 25.020,00
Estoque de óleo tratado para HP de 5 anos com perda no processo de tratamento de 10%	61.400	70.000	R\$ 22.450,00
Estoque de óleo tratado para HP de 5 anos com perda no processo de tratamento de 25%	51.167	60.000	R\$ 18.200,00
Estoque de óleo tratado para HP de 15 anos com perda no processo de tratamento de 10%	67.255	70.000	R\$ 22.450,00
Estoque de óleo tratado para HP de 15 anos com perda no processo de tratamento de 10%	56.046	60.000	R\$ 18.200,00

APÊNDICE E: DEMANDA MENSAL, CAPACIDADE MENSAL E CUSTO DE UM CENTRO DE TRATAMENTO

Apêndice E: Demanda mensal, capacidade mensal e custo de um CT

Faixa de capacidade	Horizonte de planejamento					
	5 anos			15 anos		
	Demanda (litros)	Capacidade (litros)	Custo	Demanda (litros)	Capacidade (litros)	Custo
1	17.056	20.000	R\$74.195,00	18.682	20.000	R\$74.195,00
2	34.111	40.000	R\$80.725,00	37.364	40.000	R\$80.725,00
3	51.167	60.000	R\$85.575,00	56.046	60.000	R\$85.575,00
4	68.222	70.000	R\$89.925,00	74.728	80.000	R\$92.395,00

APÊNDICE F: CUSTO DE TRANSPORTE E CAPACIDADE DA EMPRESA DE BENEFICIAMENTO

Apêndice F: Custo de transporte e capacidade da empresa de beneficiamento

	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3
Capacidade mensal (litros) *	30.000	35.000	35.000
Bairro			
Centro	0.19	2.25	4.84
Do Moscoso	0.18	2.25	4.83
Fonte Grande	0.19	2.25	4.84
Forte São João	0.21	2.32	4.86
Parque Moscoso	0.18	2.25	4.83
Piedade	0.19	2.25	4.84
Santa Clara	0.18	2.25	4.84
Vila Rubim	0.17	2.24	4.83
Ariovaldo Falavessa	0.19	2.25	4.83
Bela Vista	0.20	2.25	4.84
Caratoíra	0.19	2.25	4.83
Do Cabral	0.19	2.25	4.84
Do Quadro	0.18	2.25	4.83
Estrelinha	0.21	2.26	4.86
Grande Vitória	0.22	2.27	4.86
Ilha do Príncipe	0.17	2.24	4.82
Inhanguetá	0.21	2.26	4.85
Mário Cypreste	0.19	2.25	4.83
Santa Tereza	0.19	2.25	4.84
Santo Antonio	0.19	2.25	4.83
Universitário	0.22	2.27	4.86
Bento Ferreira	0.22	2.30	4.86
Consolação	0.22	2.30	4.87
Cruzamento	0.21	2.27	4.86
De Lourdes	0.22	2.28	4.87
Fradinhos	0.22	2.28	4.87
Gurigica	0.22	2.30	4.87
Horto	0.22	2.30	4.87
Ilha de Santa Maria	0.21	2.27	4.86
Jesus de Nazareth	0.22	2.30	4.87
Jucutuquara	0.22	2.28	4.87
Monte Belo	0.21	2.30	4.86

Nazareth	0.21	2.30	4.86
Romão	0.21	2.27	4.86
Andorinhas	0.20	2.32	4.89
Bonfim	0.21	2.29	4.87
Da Penha	0.21	2.31	4.91
Itararé	0.20	2.31	4.89
Joana D'Arc	0.21	2.33	4.90
Maruípe	0.21	2.29	4.87
Santa Cecília	0.22	2.28	4.87
Santa Martha	0.21	2.32	4.89
Santos Dumont	0.21	2.29	4.87
São Benedito	0.21	2.32	4.89
São Cristóvão	0.21	2.32	4.88
Tabuazeiro	0.22	2.29	4.88
Barro Vermelho	0.20	2.30	4.89
Enseada do Suá	0.23	2.29	4.88
Ilha do Boi	0.24	2.30	4.90
Ilha do Frade	0.23	2.31	4.90
Praia do Canto	0.22	2.30	4.89
Praia do Suá	0.22	2.29	4.88
Santa Helena	0.22	2.28	4.89
Santa Lúcia	0.21	2.30	4.88
Santa Luíza	0.20	2.31	4.90
Aeroporto	0.15	2.43	5.02
Antonio Honório	0.17	2.34	5.03
Boa Vista	0.17	2.34	4.95
Goiabeiras	0.19	2.33	5.01
Jabour	0.16	2.35	5.02
Jardim da Penha	0.19	2.32	4.91
Maria Ortiz	0.17	2.34	5.03
Mata da Praia	0.18	2.33	4.92
Morada de Camburi	0.18	2.33	5.04
Pontal de Camburi	0.20	2.32	4.91
República	0.17	2.34	5.04
Segurança do Lar	0.17	2.34	5.03
Solon Borges	0.16	2.34	5.02
Comdusa	0.23	2.29	4.87
Conquista	0.24	2.31	4.90
Ilha das Caieiras	0.23	2.29	4.87
Nova Palestina	0.24	2.30	4.88

Redenção	0.24	2.30	4.88
Resistência	0.23	2.34	4.91
Santo André	0.23	2.29	4.87
Santos Reis	0.24	2.29	4.88
São José	0.24	2.29	4.87
São Pedro	0.23	2.28	4.87
Jardim Camburi	0.16	2.36	5.03
Parque industrial	0.19	2.47	4.89

* Fonte: Gonçalves (2015)