

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS, ADMINISTRATIVAS E CONTÁBEIS
CURSO DE ADMINISTRAÇÃO
CAMPUS CARAZINHO
ESTÁGIO SUPERVISIONADO

ANA PAULA MENEGUZZO

PROGRAMAÇÃO LINEAR DO MÉTODO DE TRANSPORTE
O Excel como ferramenta de apoio nas decisões logísticas.

CARAZINHO
2015

ANA PAULA MENEGUZZO

PROGRAMAÇÃO LINEAR DO MÉTODO DE TRANSPORTE
O Excel como ferramenta de apoio nas decisões logísticas

Estágio Supervisionado apresentado ao Curso de Administração da Universidade de Passo Fundo, campus Carazinho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Administração.

Orientador: Profa. Amanda Guareschi.

CARAZINHO
2015

ANA PAULA MENEGUZZO

PROGRAMAÇÃO LINEAR DO MÉTODO DE TRANSPORTE

O Excel como ferramenta de apoio nas decisões logísticas.

Estágio Supervisionado aprovado em 20 de junho de 2015, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Administração no curso de Administração da Universidade de Passo Fundo, campus Carazinho, pela banca examinadora formada pelos professores:

Prof^a. Amanda Guareschi.
UPF – Orientador

Prof. Ms. Fábio Roberto Barão
UPF

Prof . Sérgio Luiz Piazza
UPF

CARAZINHO
2015

Dedico este trabalho a meus pais Paulo e Ilse que me fizeram chegar até este momento, e à toda minha família que sempre me incentivou.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus, por me proporcionar saúde e forças para que eu vencesse essa caminhada.

À minha mãe Ilse, por sua capacidade de acreditar em meu potencial, cobrar resultados, me apoiar e me incentivar no intuito de buscar o melhor para o meu futuro profissional.

Ao meu pai Paulo, que nunca me deixou desanimar, sempre me incentivou para que continuasse me passando a segurança de que não estou sozinha nesta jornada.

Aos meus amigos, por jamais questionarem minha ausência e sempre me deram o apoio necessário para que eu jamais desanimasse.

Aos professores, pelo empenho em transmitir seus conhecimentos que foram tão importantes não somente para a minha vida acadêmica e no desenvolvimento deste trabalho, mas para a vida em si.

Aos meus colegas, que sempre estiveram juntos nos momentos de dificuldades, transformando o convívio em amizades sinceras.

“Sonhos determinam o que você quer. Ação
determina o que você conquista.”

(ALDO NOVAK)

RESUMO

MENEGUZZO, Ana Paula. **Programação linear do método de transporte: o Excel como ferramenta de apoio nas decisões logísticas**. Carazinho, 2015. 51f. Estágio Supervisionado (Administração). UPF, 2015.

Os custos de transporte influenciam significativamente nos resultados de uma organização, visto que uma decisão quando não tomada corretamente, pode mudar totalmente o rumo de um negócio. Portanto, a utilização de ferramentas que auxiliem na redução desses custos é essencial para dar suporte aos gestores na tomada de decisões. O principal objetivo desse estudo é apresentar a eficiência de uma ferramenta computacional perceptivelmente de fácil acesso –Excel® –, que dispõem de uma estrutura matemática possibilitando a administração dos custos de transporte a fim de obter a melhor resposta para os problemas logísticos, através da alimentação das células do software com os dados do problema é possível obter a melhor rota, a distribuição ideal e ainda minimizar ao máximo os custos envolvidos na operação. Contando com a Pesquisa Operacional, que se estrutura da utilização de modelos para avaliar e testar esses modelos antes de serem efetivamente implantados, foi realizada modelagem do problema de transporte de múltiplas origens para múltiplos destinos com o uso da ferramenta Solver, onde toda sua elaboração está demonstrada em toda a sua evolução. Esse modelo apresentou resultados ótimos quando comparado a modelos de softwares de logística previamente estabelecidos na literatura, mostrando-se uma ferramenta eficaz, fácil de ser implantada e que apresenta resultados práticos para a tomada de decisão diária.

Palavras-chave: Problemas de transporte, Pesquisa Operacional, Planilha Eletrônica.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Evolução do conceito de logística | 14 |
| Figura 2 - Exemplo de problema de origem e destino múltiplos..... | 23 |
| Figura 3 – Visão geral da tomada de decisão por Pesquisa Operacional | 27 |
| Figura 4 – Introdução das variáveis na planilha | 40 |
| Figura 5 – Introdução dos limites e das restrições na planilha..... | 41 |
| Figura 6 – Introdução dos parâmetros do Solver..... | 43 |
| Figura 7 – Opções de resolução do Solver | 44 |
| Figura 8 – Aviso de resolução ótima do Solver | 44 |
| Figura 9 - Exemplo de Ballou otimizado a partir do modelo proposto | 46 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 9 |
| 1.1 | IDENTIFICAÇÃO E JUSTIFICATIVA DO ASSUNTO..... | 10 |
| 1.2 | OBJETIVOS..... | 12 |
| 1.2.1 | <i>Objetivo Geral</i> | 12 |
| 1.2.2 | <i>Objetivos específicos</i> | 12 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 13 |
| 2.1 | LOGÍSTICA..... | 13 |
| 2.2 | CUSTOS..... | 16 |
| 2.2.1 | <i>Custeio Logístico</i> | 17 |
| 2.3 | LOGÍSTICA DE DISTRIBUIÇÃO..... | 18 |
| 2.4 | LOGÍSTICA DO TRANSPORTE..... | 20 |
| 2.5 | PROBLEMAS DE TRANSPORTE..... | 21 |
| 2.5.1 | Ponto de origem e de destino únicos..... | 22 |
| 2.5.2 | Múltiplos pontos de origem para múltiplos pontos de destino..... | 22 |
| 2.5.3 | Ponto de origem e destino coincidentes..... | 23 |
| 2.6 | PESQUISA OPERACIONAL..... | 24 |
| 2.7 | A TOMADA DE DECISÃO, O PROCESSO DE MODELAGEM E O DECISOR..... | 28 |
| 2.8 | MODELOS DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA..... | 29 |
| 2.9 | PROGRAMAÇÃO LINEAR..... | 30 |
| 2.10 | MODELAGEM EM PLANILHAS ELETRÔNICAS..... | 31 |
| 3 | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS | 34 |
| 3.1 | DELINEAMENTO DA PESQUISA..... | 34 |
| 3.2 | VARIÁVEIS DE ESTUDO..... | 35 |
| 3.3 | UNIVERSO DE PESQUISA..... | 35 |
| 3.4 | PROCEDIMENTO E TÉCNICA DE COLETA DE DADOS..... | 35 |
| 3.5 | ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS..... | 36 |
| 4 | APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS | 37 |
| 4.1 | CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA ESTUDADO..... | 37 |
| 4.2 | INTRODUÇÃO DO MODELO NA PLANILHA ELETRÔNICA..... | 39 |
| 4.3 | COMPARAÇÃO DO MODELO CONTRA EXEMPLO REFERENCIADO..... | 45 |
| 5 | CONCLUSÃO | 47 |
| | REFERÊNCIAS | 48 |

1 INTRODUÇÃO

A busca pela minimização dos custos de transporte têm se tornado uma tarefa crescentemente trabalhosa e mesmo com mudanças globais, procura-se, sempre que possível, reduzi-las ao máximo - uma vez que as atividades de transporte, hoje, representam a maior parte dos custos de uma empresa - com o intuito de favorecer consumidores finais e mantê-los satisfeitos além de encontrar soluções estratégicas que efetivamente sirvam como ferramentas de apoio na tomada de decisões para a empresa.

As empresas cada vez mais rapidamente, se obrigam a decidir como disponibilizar seus produtos no local onde o mercado o exige, de forma a vir obter o máximo de retorno com o mínimo custo possível, ou seja, precisam otimizar seus processos. Tendo em vista que nos últimos anos a economia e a população também tiveram um grande crescimento e isso movimenta cada vez mais o consumo de bens e serviços.

De acordo com Cristopher (2014, p.320) em uma visão logística para o ano de 2020, afirma que “Nessa era de incertezas, qualquer tentativa de desenvolver um cenário do futuro é repleta de dificuldades. Fazer mais com menos, se tornará cada vez mais o mantra de organizações que buscam sobreviver em um mundo com restrições de recursos”.

No entanto, a busca por economias de recursos e soluções mais eficientes muitas vezes esbarra na exigência da aplicação de soluções cada vez mais complexas de serem modeladas e aplicadas em situações onde a necessidade de solução é imediata e deve ser tratada de maneira tal que cada vez mais pessoas possam obter resultados mais rápidos, contando com as ferramentas que tem em mãos no seu dia a dia.

Um exemplo bastante comum dessa situação diz respeito aos problemas logísticos envolvendo o transporte de mercadorias e a roteirização dos veículos que realizam a distribuição dos bens dentro da cadeia de suprimentos.

Problemas logísticos desse porte usualmente não recebem muita atenção no decorrer de todas as atividades ligadas à logística de distribuição uma vez que podem existir diversas soluções para esse problema, todas elas possibilidades factíveis, porém, em termos

econômicos só há uma única resposta ideal, aquela que minimiza os custos e proporciona a melhor roteirização para cada operação, possibilitando que a operação seja realizada com o menor custo em comparação a todos os outros resultados factíveis.

Ballou destaca que “o valor da logística é manifestado primariamente em termos de tempo e lugar e que produtos e serviços não têm valor a menos que estejam sob poder dos clientes quando (tempo) e onde (lugar) eles pretendem consumi-los, e que quando pouco valor pode ser agregado a essa atividade, torna-se questionável a sua própria existência” (2006, p.33).

Dessa maneira, buscar ferramentas que possibilitem que a logística siga agregando valor aos consumidores e ainda assim seja realizada da maneira mais econômica para as partes torna-se essencial para as organizações.

1.1 IDENTIFICAÇÃO E JUSTIFICATIVA DO ASSUNTO

Uma das preocupações básicas da Ciência ao longo dos tempos têm sido a observação e a reprodução de fenômenos das mais distintas naturezas. Denominamos de *Management Sciences* a área de estudos que utiliza computadores, estatística e matemática para resolver problemas de negócios.

Baseado nessa premissa, este trabalho visa determinar um método que além de eficiente e eficaz para a logística de distribuição e transporte com foco em reduzir custos e maximizar lucros, possa se valer de uma ferramenta computacional de uso comum, que seja amplamente utilizada e não necessite de grandes mudanças para a resolução de problemas, que neste estudo específico irá se limitar aos problemas de transporte na logística de distribuição.

No universo de ferramentas utilizadas no ambiente corporativo, talvez um dos pacotes de soluções mais amplamente utilizado hoje em dia seja o pacote Office ofertado pela Microsoft que tem no software Excel[®] uma solução que permite criar tabelas, calcular e analisar dados, normalmente chamado de planilha eletrônica e que hoje é um dos aplicativos mais populares do gênero.

Para tanto, pretende-se aliar uma abordagem matemática à eficiência de uma ferramenta computacional disponível e de fácil acesso, como auxílio na tomada de decisões de processos logísticos do transporte, que crescem em complexidade à medida que mais variáveis são adicionadas ao problema.

Dentro das diversas funções implantadas no software Excel®, uma delas em especial será destacada neste trabalho, denominada Solver. Segundo a própria Microsoft, o Solver faz parte de um pacote de programas algumas vezes chamado de ferramentas de teste de hipóteses e com ele podemos encontrar um valor ideal (máximo ou mínimo) para uma determinada fórmula conforme restrições, ou limites, sobre os valores de outras células de fórmula em uma planilha (MICROSOFT, 2015) o que faz dessa função um elemento essencial para esta proposta aqui explorada.

De acordo com Ballou (2006, p. 191) o transporte representa normalmente entre um e dois terços dos custos logísticos totais e por isso mesmo, aumentar a eficiência por meio da máxima utilização dos equipamentos e pessoal de transporte é uma das maiores preocupações do setor e, portanto descobrir os melhores roteiros para os veículos ao longo de uma rede rodovias, ferrovias, hidrovias ou rotas de navegação aérea a fim de minimizar os tempos e as distâncias constituem problemas muito frequentes de tomada de decisão.

No entanto, essa classe de problemas quando analisada de forma mais profunda tende a se encontrar diversas variações dos problemas de roteirização que crescem em complexidade na medida em que mais variáveis são consideradas dentro do estudo conforme apresentado em detalhes no seguimento deste trabalho. Dentre os diferentes modelos de problemas de roteirização este trabalho tem como objetivo focar na classe de problemas que aborda múltiplos destinos para múltiplas origens, procurando combinar os destinos com as fontes de origem encontrando a melhor rota entre eles.

Dessa forma o presente trabalho se justifica pelo fato de buscar aliar o uso de uma ferramenta computacional simples e amplamente utilizada nas organizações como uma ferramenta de auxílio na tomada de decisão operacional com o objetivo de encontrar soluções ótimas com a ajuda do processamento computacional e consequentemente o aumentar a competitividade da empresa frente aos desafios impostos pela crescente complexidade das operações logísticas, o que remete à seguinte pergunta de pesquisa:

“Como elaborar uma planilha em MS Excel com o objetivo de otimizar o problema de distribuição de transporte de múltiplas origens para múltiplos destinos?”

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Elaborar uma planilha em MS Excel[®] com o objetivo de otimizar o problema de distribuição de transporte de múltiplas origens para múltiplos destinos.

1.2.2 Objetivos específicos

- Conceituar os problemas de transporte na logística;
- Caracterizar os diferentes problemas de transporte e suas abordagens de solução;
- Compor o referencial matemático para problemas de otimização;
- Transpor o problema de otimização para a ferramenta MS Excel[®]

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O capítulo a seguir apresenta o referencial teórico, abordando os conceitos sobre as várias áreas que envolvem a temática, estruturado a fim de contemplar o objetivo desse estudo.

2.1 LOGÍSTICA

De acordo com o dicionário Aurélio (1999, p.1231), a palavra logística vem do francês *logistique* a qual trata do planejamento e realização de vários projetos remetendo à organização e contabilidade. Diversos autores apresentam-se a seguir abordando o conceito, importância e objetivos da logística.

A logística tem sido utilizada desde os tempos de guerra, na época para tratar do planejamento e organização de alguns itens importantes como o armazenamento, distribuição e manutenção dos materiais pelos militares. Alt e Martins (2003, p.251) relatam que: “no Brasil, a logística apareceu nos anos 1970, por meio de dois aspectos: a distribuição física, tanto interna quanto externa”.

Segundo Lampert, Stock e Vantine:

Historicamente, a logística já recebeu denominações diversas: distribuição física, engenharia de distribuição, logística empresarial, logística de marketing, logística de distribuição, administração de materiais, administração logística de materiais, logística, sistema de resposta rápida, administração da cadeia de abastecimento, logística industrial. Em ocasiões distintas, esses termos referiam-se essencialmente à mesma coisa: a administração do fluxo de bens do ponto de origem ao ponto de consumo (LAMPERT; STOCK; VANTINE, 1998, p.54).

Identificando as dimensões continentais do Brasil, tornou-se notória a necessidade de acoplar às empresas um gerenciamento logístico eficaz. Diante dessa percepção, dando ênfase ao consumidor final, Ballou (2006, p.27) percebe a logística como “o processo de

planejamento, implantação e controle do fluxo eficiente e eficaz de mercadorias, serviços e das informações relativas desde o ponto de origem até o ponto de consumo com o propósito de atender às exigências dos clientes”. Portanto, o fato de desenvolver produtos e serviços de alta qualidade é uma ação imprescindível para manter e satisfazer as necessidades dos clientes.

Pesquisas realizadas por Andersson (1986, p.55), revelam que as revoluções logísticas ao longo dos séculos, resumem-se em quatro fases:

- Primeira Revolução Logística: estendeu-se do século XI ao século XV. O aumento do comércio sobre grandes distâncias, o aperfeiçoamento da produção e a aparição de novas regiões mercantis são os fatores que marcaram essa fase.
- Segunda Revolução Logística: a obra do eficiente sistema bancário para a execução de transações internacionais foi o ponto de partida para a segunda revolução logística, foi aí que aconteceram as melhorias na rede e na tecnologia de transportação, o que possibilitou na infraestrutura da rede comercial.
- Terceira Revolução Logística: os fatos ocorridos nas revoluções anteriores estimulam a terceira revolução logística em meados do século XVIII, que foi distinta pelo surgimento da consciência da divisão coordenada de trabalho entre diferentes regiões do sistema de economia global, produção em série e urbanização.
- Quarta Revolução Logística: o marco para o surgimento dessa fase foi a expansão industrial, bem como o surgimento de grandes complexos industriais e empresas multinacionais, avanços da robótica e da engenharia genética.

Para Wood Jr. (2000) a evolução histórica do conceito de logística apresentou-se conforme a Figura 1 a seguir:

| Fases | Fase Zero | Primeira Fase | Segunda Fase | Terceira Fase |
|------------------------------|--|---|---|--|
| Perspectiva Dominante | Administração de materiais | Administração de materiais + distribuição | Logística integrada | <i>Supply Chain Management</i> |
| Foco | <ul style="list-style-type: none"> – Gestão de estoques – Gestão de compras – Movimentação de materiais | <ul style="list-style-type: none"> – Otimização do sistema de transporte | <ul style="list-style-type: none"> – Visão sistêmica da empresa – Integração por meio de sistema de informações | <ul style="list-style-type: none"> – Visão sistêmica da empresa incluindo fornecedores e canais de distribuição |

Figura 1 – Evolução do conceito de logística

Fonte: Adaptado de WOOD JUNIOR (2000: p.197)

Em síntese, a figura esquematiza o fato de que, na primeira fase, o que predominava na logística era a gestão de estoques e de compras e o deslocamento de materiais.

Na segunda fase, considerou-se o desencadeamento de outras funções logísticas como transporte, manutenção de estoques, armazenamento, processamento de pedidos, produção, etc., com o intuito de reduzir o custo total e analisar *trade-offs*.

Na terceira fase, o SCM teve início rompendo as fronteiras organizacionais e estabelecendo a homogeneidade dos membros da cadeia de suprimentos, representando assim uma integração atividades externas que compreendem o fornecimento das matérias primas e entrega ao consumidor final.

Christopher (2011, p.2), define a logística sendo como “o processo de gestão estratégica da aquisição, movimentação e armazenagem de materiais, peças e estoques finais (e os fluxos de informação relacionados) por meio da organização e seus canais de comercialização, de tal forma que as rentabilidades atual e futura sejam maximizadas através da execução de pedidos, visando custo-benefício”.

Para Bowersox e Closs (2004, p. 19) a logística “é singular: nunca pára! Está ocorrendo em todo o mundo, 24 horas por dia, sete dias por semana, durante 52 semanas por ano. Poucas áreas de operações envolvem a complexidade ou abrangem o escopo geográfico característicos da logística [...]”. Acrescentam ainda que a logística “envolve a integração de informações, transporte, estoque, armazenamento, manuseio de materiais e embalagem. Todas essas áreas que envolvem o trabalho logístico oferecem ampla variedade de tarefas estimulantes”.

A orientação de Gurgel e Rodriguez (2009, p.71) é de que a logística não é mais vista somente como uma área de transportes de mercadorias, que possui uma visão puramente operacional, passou a ser fundamental para o sucesso das empresas.

Na mesma linha de pensamento, Ballou (2006, p.33) alega que “quando a gerência reconhece que a logística afeta uma parte significativa dos custos da empresa e que o resultado das decisões tomadas sobre a cadeia de suprimentos leva a diferentes níveis de serviços ao cliente, ela está em condições de usá-la de maneira eficaz para penetrar em novos mercados, para ampliar a sua participação no mercado e para elevar os lucros”.

Dall'Agnol *et al* encerram com a afirmação:

Ainda por mais que evolua em sua concepção, a logística requer o que já se sabe há algum tempo: que haja nas atividades internas e entre as empresas, parceria, confiança mútua e participação. Afinal, os clientes e os competidores estão direcionando essas mudanças. Os clientes estão exigindo tamanhos menores de lotes, *lead times* mais curtos e melhores níveis de serviço e qualidade. Por isso, as empresas que juntamente com os seus parceiros não conseguirem fazer isto estarão ameaçadas, pois certamente seus concorrentes o farão (DALLI'AGNOL ET AL, 2005, p.819).

Tendo em vista essas referências sobre a logística pode-se concluir que o capitalismo cada vez maior têm tornado a logística gradativamente mais importante para as empresas inseridas nesse cenário competitivo e, que graças ao aumento disparado de produção e consumo de mercadorias, assim como o comércio mundial, o desafio atualmente é conseguir criar mecanismos para entregar os produtos ao destino final num tempo mais curto possível, reduzindo os custos.

2.2 CUSTOS

Muito se fala em custos e na sua minimização nas operações. A seguir serão apresentadas algumas definições na perspectiva de alguns autores.

De acordo com Andrade (2004, P.155) podemos classificar os custos em duas grandes categorias, com base nos recursos que a atividade exige para sua realização: “os custos diretos, que correspondem aos recursos utilizados e variam na proporção direta da realização da atividade. E os custos indiretos, que dizem respeito aos recursos utilizados na atividade que variam proporcionalmente com a execução da atividade”.

Taylor (2005, p.177 e p.178) expressa de maneira mais simplificada que “custos diretos são aqueles atribuídos diretamente à fabricação de produtos acabados”. Cita como exemplo de custos indiretos o custo de materiais e o custo pago pela mão-de-obra utilizada. Já os custos indiretos, “são aqueles custos necessários para gerenciar a empresa, mas que não podem ser diretamente atribuídos ao desenvolvimento de determinado produto”, como por exemplo, o custo de uma instalação ou um custo de oportunidade.

Bowersox e Closs (2001, p.27) classificam os custos em várias categorias:

- Custos variáveis: são custos que se alteram de maneira direta e previsível em relação a determinado nível de atividade, em dado período. Custos variáveis só podem ser evitados não operando o veículo. Exceto em situações excepcionais, as taxas de frete devem cobrir pelo menos os custos variáveis.

- Custos fixos: são custos que não se alteram em curto prazo e são incorridos ainda que a empresa deixe de operar. Essa categoria de custo inclui custos de transportadora não afetada diretamente pela quantidade de carga movimentada.
- Custos conjuntos: são custos derivados inevitavelmente criados por decisões de prestar serviço especial. Têm impacto significativo no preço do transporte.
- Custos comuns: inclui custos da transportadora incorridos para atendimento de todos os clientes ou de um segmento de clientes

2.2.1 Custeio Logístico

Custo logístico diz respeito a qualquer custo relacionado com a logística de uma empresa e são geralmente os segundos mais importantes. Segundo Ballou (2001, pág. 25) afirma que: “estimamos que os custos logísticos, que são substanciais para a maioria das empresas, percam somente para o custo das mercadorias vendidas”. Em função disso, a sobrevivência de uma empresa depende crucialmente da gestão ter a sabedoria para administrar estes custos. A definição de custeio logístico de acordo com Christopher é:

Um dos princípios básicos do custeio logístico é que o sistema deve refletir o fluxo de materiais, isto é, deve ser capaz de identificar os custos que resultam do provimento de serviços ao cliente. Um segundo princípio é que deve ser capaz de possibilitar análises separadas de custo e receita, a serem feitas por tipo de clientes, segmento de mercado, ou canal de distribuição. Essa última exigência emerge em virtude dos perigos inerentes ao se lidar unicamente com médias (CHRISTOPHER, 2011, p. 97).

Para Bowersox e Closs (2001 p.26) “O nível adequado de custos logísticos está relacionado com o desempenho desejado de serviço”. Podendo ser usado como exemplo, uma empresa que se compromete com seus consumidores em relação à disponibilidade de estoques, ao garantir entregas sólidas em até 24 horas implicará na duplicação de seu custo logístico em comparação a um compromisso menos desejoso.

Segundo Ballou (2009, p.34) são consideradas atividades-chaves para atingir os objetivos logísticos, em relação ao custo e nível de serviços, as atividades de transportes, manutenção de estoques e processamento de pedidos, que são classificadas pelo autor como atividades primárias, pelo fato de contribuírem para a maior parte do custo total logístico.

O objetivo de um transportador é tomar decisões de investimento e determinar políticas operacionais que maximizem o retorno sobre os seus ativos.

Chopra e Meindl (2003, p. 267 e 268) destacam que os transportadores devem levar em consideração os seguintes custos:

- Custo relacionado ao veículo: que é o custo contraído pela compra ou aluguel do veículo a ser utilizado no transporte;
- Custo operacional fixo: que deve incluir todo o custo contraído associado a terminais, portões de embarque, mão-de-obra, sejam os veículos utilizados ou não;
- Custo relacionado à viagem: que é contraído toda vez que um veículo inicia uma viagem e inclui o preço da mão-de-obra e combustível, mas que depende da sua distância e duração, mas independe da quantidade transportada;
- Custo relacionado à quantidade: categoria que inclui os custos de carregamento/descarregamento e uma parte do custo de combustível que varia de acordo com a quantidade que está sendo transportada;
- Custo indireto: que inclui o custo de planejamento e elaboração de cronograma de uma rede transporte, bem como um eventual investimento em tecnologia de informação.

Em suma, podemos afirmar segundo o que foi estudado neste capítulo que o custo de transporte é composto por custos fixos e variáveis onde, os custos fixos representam: depreciação, salários, manutenção. E, os custos variáveis: pneus, combustível, etc.

Outra observação importante é que quando o serviço de transporte é terceirizado, todo o custo é incluso no frete. Bornia (2002, p.57) alega que quando os custos são vistos separadamente, facilita a identificação de quanto se paga por cada processo.

2.3 LOGÍSTICA DE DISTRIBUIÇÃO

A distribuição física é uma das principais atividades que compõe o processo operacional de uma empresa, pois é ela que disponibiliza os produtos aos clientes.

Novaes (2015, p.161) denomina Logística de Distribuição para o “segmento que desloca os produtos acabados desde a manufatura até o consumidor final”. E afirma ainda que “especialistas em logística denominam de distribuição física de produtos, ou resumidamente distribuição física, os processos operacionais e de controle que permitem os produtos desde o ponto de fabricação, até o ponto em que a mercadoria é finalmente entregue ao consumidor”.

Para Ballou (1993, p.55) “a distribuição física é aquele aspecto da administração de empresas que trata de servir a demanda pelos produtos e serviços da firma. As muitas alternativas que a administração tem para garantir serviço de distribuição física eficiente e eficaz fazem desta uma área complexa para o gerenciamento”. Ballou afirma ainda que nenhuma empresa moderna consegue operar sem fazer a movimentação de seus materiais e por isso “o transporte é de extrema importância na logística, pois adiciona valor de lugar ao produto”.

Zylstra (2008, p.34) coloca como objetivos da distribuição, o serviço ao cliente, gerenciamento de estoques e redução de custos. O autor afirma que esses objetivos são conflitantes entre si, porém são extremamente importantes para o processo e que, qualquer processo de distribuição, independente do seu grau de dinamismo, deve possuir uma rede bem estruturada e auxiliada por tecnologias de automação e bons processos de negócios.

Alvarenga e Novaes (2000, p.46) percebem a logística separadamente: “suprimento, distribuição física e produção, englobando as operações de extração ou retirada de matéria prima na sua origem até a sua distribuição no mercado/cliente final”. Ressalta que dentre essas, a distribuição é de suma importância nas organizações, pois com o propósito de reduzir custos as empresas diminuem estoques e aperfeiçoam a movimentação, o transporte e a distribuição dos produtos.

Existem outros diversos fatores que exigem um nível mais elevado de serviços, como entregas rápidas e sem atrasos – ou com o mínimo de atraso- o que proporciona aos clientes a disponibilidade e segurança dos produtos, a concorrência pode ser usada como um fator nesse caso.

Novaes (2015, p. 162) entende como o objetivo principal da distribuição física, “levar o produto certo, para o lugar certo, no momento certo, com nível de serviço elevado e ao menor custo possível”.

Bowersox e Closs (2004, p. 23) concluem que o objetivo principal da distribuição física “é ajudar na geração de receita, prestando níveis estrategicamente desejados de serviço ao cliente, ao menor custo total”.

2.4 LOGÍSTICA DO TRANSPORTE

A logística de transportes é o ramo da logística que envolve a escolha do melhor modal de transporte, para transportar o maior número de mercadorias, com o mínimo custo e menor tempo possível, garantido a integridade da carga.

Ballou (2006, p. 187) afirma que “exceção os produtos adquiridos, o transporte é, dentre as atividades logísticas, a que absorve a maior percentagem dos custos”.

Araújo (1981, p.213) define transportes como “comparadamente, o serviço de transportes de uma empresa é o sangue que pulsa nas veias da produção, o êxito de uma empresa depende, em grande parte, dos meios rápidos que possui, não só para buscar matéria-prima, como também para entrega rápida dos seus produtos aos consumidores”.

Bowersox e Closs (2001, p.279) definem o transporte como um dos elementos mais visíveis das operações logísticas. Para eles, a funcionalidade do transporte divide-se em duas funções principais: movimentação e estocagem de produtos:

- Movimentação de produtos: o transporte é necessário para movimentar produtos até a fase seguinte do processo de fabricação ou até um local fisicamente mais próximo ao cliente final, estejam os produtos na forma de materiais, componentes, subconjuntos, produtos semiacabados ou produtos acabados. O transporte utiliza recursos temporais, visto que o produto torna-se inacessível durante seu transporte. Utiliza recursos financeiros, porque são necessários gastos internos para manter uma frota própria ou gastos externos para a contratação de terceiros. E utiliza ainda, recursos ambientais tanto direta como indiretamente. De forma direta, ele é um dos maiores consumidores de energia (combustível e óleo lubrificante) e indiretamente, o transporte causa danos ambientais em consequência de engarrafamentos, poluição do ar e poluição sonora.
- Estocagem de produtos: uma função menos comum do transporte é a estocagem temporária. Os veículos representam um local de estocagem bastante caro. Entretanto, se o produto em trânsito precisa ser estocado para ser movimentado novamente em curto período de tempo, o custo com a descarga e o carregamento do produto em um depósito para exceder a taxa diária de uso do próprio veículo do transporte. Quando o espaço do depósito é limitado, a utilização dos veículos de transporte para a guarda dos produtos pode tornar-se uma opção viável. Um dos métodos é o transporte do produto por um itinerário mais longo até seu destino, com maior tempo de trânsito.

Os autores ainda elencam os cinco tipos de modais de transportes básicos como: o rodoviário, ferroviário, aquaviário, dutoviário e aéreo. Para eles “a importância relativa de

cada tipo pode ser medida pela distância coberta pelo sistema, pelo volume de tráfego, pela receita e pela natureza da composição do tráfego”, e detalham:

- O transporte rodoviário diz respeito ao trânsito pelas rodovias, realizados por caminhões, carretas, e afins;
- O transporte ferroviário é o trânsito pelas ferrovias, realizados por vagões fechados ou plataformas;
- O transporte aquaviário abrange em uma só definição os modais marítimo e hidroviário;
- O transporte aéreo é realizado através do espaço aéreo, por aviões;
- O transporte dutoviário transporta sua carga através de dutos, sempre na forma de graneis sólidos, líquidos ou gasosos. (BOWERSOX; CLOSS, 2001, p.283)

2.5 PROBLEMAS DE TRANSPORTE

O primeiro e mais importante passo da resolução de um problema de transporte é a sua identificação, após isso teremos mais condições de formularmos um modelo que poderemos usar para resolver o problema.

Chopra e Meindl (2003, p. 266) destacam que transporte significa o movimento de um local a outro, partindo do início da cadeia de suprimentos e chegando até o cliente, exercendo papel crucial em toda a cadeia porque os produtos raramente são produzidos e consumidos no mesmo local, sendo que o transporte eficaz é a chave para o sucesso de qualquer negócio por fazer uma conexão vital entre os diferentes estágios da cadeia de suprimentos global.

Os autores destacam ainda que o projeto de uma rede de transporte afeta o desempenho de uma cadeia de suprimentos por estabelecer uma infraestrutura dentro da qual as decisões operacionais de transporte acerca de cronogramas e rotas são tomadas, sendo que uma rede de transporte bem projetada permite que a cadeia alcance o grau desejado de responsividade a um baixo custo (CHOPRA; MEINDL, 2003, p. 274).

Lachtermacher (2007, p.120) destaca que o problema de transporte básico é aquele em que queremos determinar, dentre as diversas maneiras de distribuição de um produto, a que resultará no menor custo de transporte entre as fabricas e os centros de distribuição ou consumo.

Ballou (2006, p.192) aponta que embora sejam muitas variações dos problemas de transporte é possível reduzi-los a alguns modelos básicos, que de acordo com a definição do autor são detalhados a seguir:

2.5.1 Ponto de origem e de destino únicos

Uma abordagem matemática clássica para esse problema envolve o projeto de uma rotas de entrega e/ou coleta de custo mínimo partindo de um determinado ponto da rede sujeito a restrições adicionais estabelecidos sobre um grafo, cuja função objetivo seja minimizar o custo total de viagens (ARENALES *et al*, 2007, p.195).

No entanto, Ballou (2006, p. 192) propõe uma forma simplificada de resolução desse problema sem a necessidade de aplicação de referencial matemático avançado.

Segundo o autor o problema de roteirização de um veículo ao longo de uma rede de caminhos tem o método do caminho mais curto como a técnica mais simples e direta. Essa abordagem pode ser exemplificada da seguinte forma: uma rede representada por ligações e nós, sendo os nós os pontos de conexão entre as ligações e consideramos como custos (distâncias, tempos, ou uma combinação desses dois formados como uma média ponderada entre tempo e distância) a serem percorridos entre nós.

Dessa forma, uma maneira de resolução simples e de fácil aplicação proposta pelo autor consiste em encontrar o enésimo nó mais próximo da origem, repetindo a operação até que o nó mais próximo seja o nó de destino pretendido dentro da rede, incluindo os (n-1) nós mais próximos da origem que foram calculados em iterações anteriores até formar uma rota entre a origem e o destino final (BALLOU, 2006, p. 192).

Embora o procedimento pareça um tanto complicado, o autor destaca que o mesmo pode ser adotado facilmente nas organizações uma vez que a rota já esteja estabelecida.

2.5.2 Múltiplos pontos de origem para múltiplos pontos de destino

Sempre que existirem pontos múltiplos de fontes em condições de servir a pontos múltiplos de destinos haverá também o problema de combinar os destinos com as fontes e de se encontrar as melhores rotas entre eles.

Ballou (2006, p. 195) destaca que este problema normalmente ocorre quando há mais de um vendedor, fábrica ou armazém para servir a mais de um cliente com o mesmo produto.

A situação se complica ainda mais quando os pontos de origem são limitados ao montante de demanda total do cliente que pode ser suprida a partir de cada localização, tudo isso sem deixar de levar em consideração os custos de transporte entre cada um dos pontos

Um exemplo desse problema está representado na figura 2 a seguir:

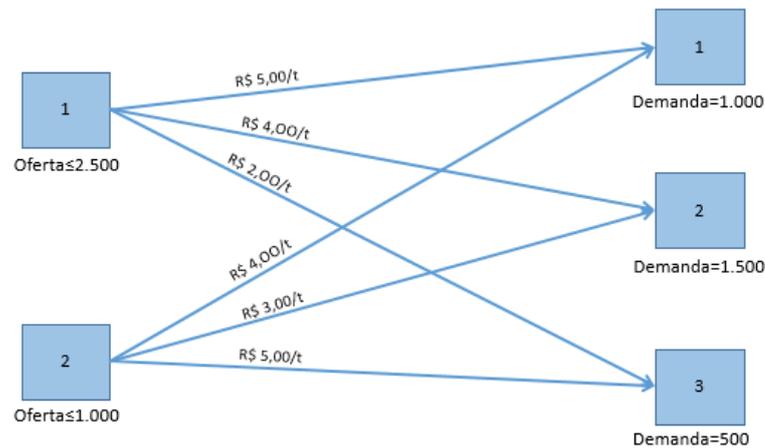


Figura 2 – Exemplo de problema de origem e destino múltiplos

Fonte: Adaptado de Ballou (2006, p. 196).

O autor destaca ainda que o uso de um algoritmo de programação linear do método de transporte é frequentemente aplicado a este tipo de especial de problema.

2.5.3 Ponto de origem e destino coincidentes

Esse tipo de problema normalmente é enfrentado com empresas que possuem frota própria, fazendo que os veículos saiam e devam retornar ao mesmo ponto.

Ballou (2006, p. 197) destaca que aqui o objetivo, é encontrar a sequência na qual os pontos visitados minimizam a distância ou o tempo total de viagem. Esse problema de transporte é conhecido como “o problema do caixeiro viajante” e vários métodos já foram propostos para resolvê-lo, porém “o tempo de processamento nos computadores mais rápidos para otimização têm sido até agora insuficiente para resolver muitos desses problemas”.

O problema do caixeiro-viajante é um problema de otimização associado à determinação dos caminhos denominados coincidentes, o objetivo consiste em determinar um único roteiro com menor custo possível que permita o caixeiro-viajante (veículo) visitar todos os nós (clientes) de uma rede uma única vez.

De acordo com Barão (2008) “sob a ótica de otimização, os problemas de roteamento de veículos, incluindo o caso particular do caixeiro viajante, pertencem à categoria conhecida como NP-difícil (do inglês “*NP-hard*”), o que significa que possuem ordem de complexidade não polinomial.

2.6 PESQUISA OPERACIONAL

Uma das preocupações básicas da Ciência ao longo dos tempos tem sido a observação e a reprodução de fenômenos das mais distintas naturezas.

De acordo com a SOBRAPO - Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional, a Pesquisa Operacional (2015) é uma ciência aplicada voltada para a resolução de problemas reais. Tendo como foco a tomada de decisões, aplica conceitos e métodos de várias áreas científicas na concepção, planejamento ou operação de sistemas. A Pesquisa Operacional é usada para avaliar linhas de ação alternativas e encontrar as soluções que melhor servem aos objetivos dos indivíduos ou organizações.

Através de desenvolvimentos de base quantitativa, a Pesquisa Operacional visa também introduzir elementos de objetividade e racionalidade nos processos de tomada de decisão, sem descuidar, no entanto, dos elementos subjetivos e de enquadramento organizacional que caracterizam os problemas.

A Pesquisa Operacional surgiu durante a Segunda Guerra Mundial, da necessidade de lidar com problemas de natureza logística, tática e de estratégia militar de grande dimensão e complexidade.

Segundo Arenales *et al* (2007, p. 1) o termo Pesquisa Operacional é uma tradução (brasileira) do termo em inglês *Operational Research* cujo surgimento está ligado à invenção do radar na Inglaterra em 1934 com aplicações voltadas inteiramente à técnicas de guerra mas foi a partir de do início da década de 1950 até o final da década de 1960 que a pesquisa operacional foi aplicada em uma variedade de problemas oriundos dos setores públicos e privado.

Denominamos de *Management Sciences* a área de estudos que utiliza computadores, estatística e matemática para resolver problemas de negócios.

Segundo Lachtermacher (2007, p.1), esta área pode ser considerada como uma subárea de Pesquisa Operacional por tratar-se de modelagem matemática aplicada à área de negócios e que a poucos anos nos Estados Unidos as duas sociedades que estudavam separadamente a *Management Sciences* e a Pesquisa Operacional fundiram-se em uma única sociedade

denominada *International Federation of Operations Research Societies*, que tem contraparte no Brasil na SOBRAPO e destaca que entre os tipos de problemas em que a Pesquisa Operacional pode ser utilizada para ajudar no processo de decisão, encontram-se:

- Problemas de Otimização de Recursos
- Problemas de Localização
- Problemas de Roteirização
- Problemas de Carteiras de Investimento
- Problemas de Alocação de Pessoas
- Problemas de Previsão e Planejamento

O autor segue afirmando que a definição de *Management Sciences* nos leva a três objetivos inter-relacionados (LACHTERMACHER, 2007, p.1):

a) Converter dados em informações significativas:

Transformar dados brutos (números e fatos) em dados, através de seu armazenamento de forma organizada. Os Sistemas de Informações Gerenciais serão responsáveis pela transformação destes dados em Informações Gerenciais que podem ser utilizados no processo de tomada de decisão através dos Sistemas de Apoio a Decisão.

b) Apoiar o processo de tomada de decisão de formas transferíveis e independentes:

Através dos Sistemas de Apoio a Decisão, dar suporte às decisões para que estas sejam independentes do decisor e assegurar que o processo de tomada de decisão seja claro e transparente.

c) Criar sistemas computacionais úteis para usuários não-técnicos:

Facilitar, através de sistemas de fácil utilização, os processos de tomada de decisão operacional, gerencial e técnico.

Colin (2011, p.9) afirma que a pesquisa operacional oferece ferramentas concretas: “a partir de um modelo que representa bem um problema do mundo real, um software é usado, e a melhor solução possível referente ao modelo é encontrada”.

Silva *et al* conceituam a pesquisa operacional como “um método científico de tomada de decisões. Em linhas gerais, consiste na descrição de um sistema organizado com o auxílio de um modelo, e através da experimentação com o modelo, na descoberta da melhor maneira de operar o sistema”.

Para eles, as fases de um estudo em PO costuma envolver seis fases, são:

- Formulação do problema;
- Construção do modelo do sistema;
- Cálculo da solução através do modelo;
- Teste do modelo e da solução;
- Estabelecimento de controle da solução;
- Implantação e acompanhamento.

Os autores ainda seguem a descrição, apontando que essas fases interagem entre si a fim de alcançar uma melhor perspectiva entre o modelo usado e o real. Se a pesquisa operacional é utilizada a fim de resolver problemas de uma empresa, expandindo os itens acima citados, o seguinte procedimento poderá ser seguido:

a) Identificação e formulação do problema:

Primeiramente o problema tem de estar claramente definido, incluindo a especificação dos objetivos e as partes da organização que devem ser estudadas antes que o problema possa ser resolvido.

b) Formulação do modelo matemático para o problema:

Consiste no desenvolvimento do modelo matemático para o problema. A técnica adequada para se aplicar no modelo escolhido é selecionada em função das características do modelo representativo do problema, porém algumas situações são tão complexas que não existem modelos analíticos tratáveis que possam representá-las. Quando isso acontece é possível desenvolver modelos de simulação e usar a capacidade dos computadores para aproximar o comportamento desses sistemas.

c) Verificação e uso do modelo para aplicação:

Verifica-se se o modelo matemático proposto para o problema é uma representação digna da realidade. Os dados coletados durante a observação do problema podem ser usados para a validação do modelo na situação corrente.

d) Apresentação dos resultados e conclusões:

A partir da definição do modelo e das alternativas determinadas para o problema são feitas as recomendações para os gerentes das organizações para que estes possam tomar as decisões que melhor atendem aos objetivos buscados.

e) Selecionar uma alternativa aceitável:

Dado o modelo do problema e um conjunto de alternativas deve-se escolher aquela que melhor atende aos objetivos da organização. Em alguns casos, a seleção da melhor

alternativa possível é um problema de difícil solução e, nesses casos, aceita-se uma “boa” alternativa apenas.

f) Implantação e avaliação das recomendações:

Se a organização aceita o estudo realizado e as recomendações feitas, parte-se para a fase de implantação da solução, a qual deve ser constantemente monitorada e atualizada dinamicamente, fazendo-se mudanças quando necessárias.

Taylor (2005) aponta como vantagens da utilização de modelos a possibilidade de representar de forma gráfica a realidade aprendida em determinado momento, simplificando a visualização da amplitude das variáveis sem alterar a sua essência, identificando as várias relações possíveis entre os elementos, servindo como base para estabelecer e aprimorar parâmetros.

No entanto o autor também destaca como desvantagens as limitações na identificação de todas as variáveis relevantes que influenciam em determinada situação, além dos problemas na definição das propriedades a serem mensuradas e na especificação de procedimentos para tal.

De um modo geral a pesquisa operacional auxilia na tomada de decisão e é vista conforme a figura 3 a seguir:

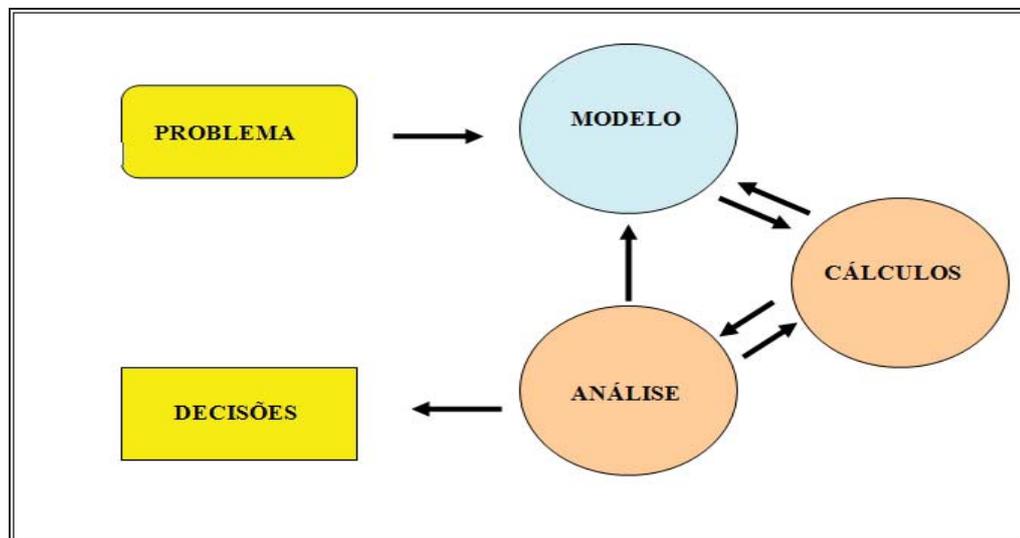


Figura 3 - Visão geral da tomada de decisão por Pesquisa Operacional

Fonte: Adaptado de Lachtermacher (2007, p.5).

2.7 A TOMADA DE DECISÃO, O PROCESSO DE MODELAGEM E O DECISOR

Quando os gestores se veem diante de uma situação na qual uma decisão deve ser tomada entre uma série de alternativas conflitantes, duas opções básicas se apresentam: 1) usar a sua intuição gerencial e 2) realizar um processo de modelagem da situação e realizar exaustivas simulações dos mais diversos cenários de maneira a estudar mais profundamente o problema.

Lachtermacher (2007, p. 3) destaca que diversas vantagens podem ser citadas quando o decisor utiliza um processo de modelagem para a tomada de decisão:

- Os modelos forçam os decisores a tornarem explícitos seus objetivos;
- Os modelos forçam a identificação e o armazenamento das diferentes decisões que influenciam os objetivos;
- Os modelos forçam a identificação e o armazenamento dos relacionamentos entre as decisões;
- Os modelos forçam a identificação das variáveis a serem incluídas e em que termos elas serão quantificáveis;
- Os modelos forçam o reconhecimento das limitações;
- Os modelos permitem a comunicação de suas ideias e seu entendimento para facilitar o trabalho de grupo.

O autor destaca ainda que basicamente podemos ter três tipos de modelos. Os Modelos Físicos, Análogos e Matemáticos ou Simbólicos. Os modelos físicos remetem às maquetes e modelagens reais ou virtuais utilizadas por engenheiros e projetistas. O segundo tipo representa as relações através de diferentes meios como um marcador analógico do nível de combustível em um automóvel. O terceiro e mais utilizado na modelagem de situações gerenciais são os modelos matemáticos em que as grandezas são representadas por variáveis de decisão e as relações entre as mesmas por expressões matemáticas, fazendo com que esse tipo de modelo esteja baseado em informações quantificáveis e que contenha um conjunto suficiente de detalhes de maneira que os resultados atinjam a sua necessidade dentro do tempo disponível à sua concepção.

2.8 MODELOS DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA

Lachtermacher (2007, p.15) destaca que em diversas áreas do mundo real existe escassez de um certo produto ou matéria-prima por sua dificuldade de produção ou obtenção, entre outras razões. Esta dificuldade gera problemas para empregar estes recursos escassos de forma eficiente e eficaz. Busca-se, portanto, maximizar ou minimizar uma quantidade (Lucro, Custo, Receita, Número de Produtos, entre outros), chamada de objetivo, que depende de um ou mais recursos escassos. Estes processos de otimização de recursos são aplicados nas mais diversas áreas como escalonamento de produção, planejamento financeiro, análise de projetos, carteiras de investimento e roteamento e logística.

Moreira (2010, p. 22) destaca que estuda a otimização matemática é denominada Programação Matemática e nela a quantidade a ser maximizada ou minimizada é descrita como uma função matemática dos recursos escassos. As relações entre as variáveis são formalizadas através de restrições ao problema expressas como equações e/ou inequações matemáticas que podem ser representados, de forma geral da seguinte maneira:

$$\begin{array}{l} \text{Otimizar:} \quad Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \text{Sujeito a:} \quad \left\{ \begin{array}{l} g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \vdots \\ g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{array} \right\} \leq = \geq \left\{ \begin{array}{l} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{array} \right\} \end{array}$$

Onde:

x_j - representa as quantidades das variáveis utilizadas; ($j = 1, 2, \dots, n$)

b_i - representa a quantidade disponível de um determinado recurso; ($j = 1, 2, \dots, m$)

X - vetor de x_j

$f(X)$ - Função-objetivo

$g_i(X)$ - Funções utilizadas nas restrições do problema; ($j = 1, 2, \dots, m$)

n - número de variáveis de decisão

m - número de restrições do modelo

Lachtermacher (2007, p.17) afirma ainda que por ser muito extensa, a programação matemática é subdividida em áreas menores dependendo do tipo das funções utilizadas nas funções-objetivo e restrições, entre as quais o autor destaca dois grandes grupos compostos pela programação linear (programação matemática em que todas as funções-objetivo e restrições são representadas em funções lineares) e a programação não-linear (programação

matemática em que pelo menos uma das funções-objetivo e/ou restrições são representadas por funções não lineares).

2.9 PROGRAMAÇÃO LINEAR

A Programação Linear visa fundamentalmente encontrar a melhor solução para problemas que tenham seus modelos representados por expressões lineares. A sua grande aplicabilidade e simplicidade devem-se a linearidade do modelo. A tarefa da PL consiste na maximização ou minimização de uma função linear, denominada Função objetivo, respeitando-se um sistema linear de igualdades ou desigualdades, que recebem o nome de Restrições do Modelo (MARINS, 2001, p.23).

Silva *et al* (2010, p.4), são convictos de que “o modelo em programação linear é uma das técnicas mais utilizadas na abordagem de problemas em Pesquisa Operacional. A simplicidade do modelo envolvido e a disponibilidade de uma técnica de solução programável em computador facilitam sua aplicação. As aplicações mais conhecidas são feitas em sistemas estruturados, como os de produção, finanças, controles de estoques etc”.

Colin resume:

A programação linear trata do problema de alocação ótima de recursos escassos para a realização de atividades. Por ótimo entendemos que não haja outra solução que seja melhor do que a oferecida (pode haver outras tão boas quanto). Os recursos escassos representam nossa realidade de existência finita de recursos, por mais abundantes que sejam. As atividades se relacionam com algum interesse que tenhamos na fabricação de produtos, na mistura de substâncias, no atendimento ao público, no transporte e armazenagem de mercadorias, entre outras atividades. (COLIN, 2011, p.5)

Lachtermacher (2007, p.19) descreve que um modelo de programação linear pode ser descrito em sua forma reduzida da seguinte maneira:

$$\text{Maximizar: } Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

$$\text{Sujeito a: } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$

Onde:

n é o número de variáveis

m é o número de restrições do problema

i é o índice de uma determinada restrição ($i = 1, 2 \dots m$)

j é o índice de uma determinada variável ($j = 1, 2 \dots n$)

c é o coeficiente (constante) da variável x_i na função-objetivo

a_{ij} é o coeficiente (constante) da variável x_i da j -ésima restrição

A programação linear é uma das técnicas mais utilizadas na pesquisa operacional. Sua aplicação é facilitada devido à simplicidade do modelo e a disponibilidade de uma técnica de solução programável em computador. As aplicações mais comuns são feitas em Produção, Finanças, Logística, Matemática aplicada entre outras. (SILVA *et al*, 1998, p.18)

Conforme Taylor (2005, p. 96), “no gerenciamento da cadeia de suprimentos, a técnica de otimização mais comum é a programação linear e que por se tratar de uma ferramenta de gerenciamento extremamente poderosa, que chega mais próximo da mágica que qualquer outra ferramenta de negócios. A programação linear pode ser realizada no Excel, por meio de seu otimizador predefinido”.

Os autores seguem ao afirmar que uma planilha eletrônica como o MS Excel[®], através do uso da ferramenta Solver, possibilita a resolução de um problema que envolva programação linear de uma forma simples sendo necessário que o usuário apenas tenha habilidade de definir respostas para os três primeiros passos apresentados anteriormente.

Em conclusão, Novaes afirma que um problema de rota também pode envolver múltiplas origens e destinos. Na sua resolução devem-se considerar as restrições das capacidades de oferta nos pontos de origem e das necessidades de produtos nos pontos de destino, assim como os custos associados aos diversos caminhos possíveis. É um problema comum que ocorre ao se roteirizar mercadorias de fornecedores às fábricas, de fábricas aos depósitos e de depósitos aos clientes, o qual é frequentemente resolvido por programação linear (NOVAES, 2001, p. 23).

2.10 MODELAGEM EM PLANILHAS ELETRÔNICAS

Lachtermacher (2007, p. 52) aponta que as planilhas eletrônicas estão entre as ferramentas que vem ganhando mais adeptos, pois além da facilidade de utilização, estão presentes em praticamente todas as empresas modernas, sendo que no Brasil a mais popular delas é o MS Excel[®], que conta com a ferramenta Solver, ideal para resolução de problemas de programação matemática.

Conforme o manual do usuário do Office 2003, o Solver faz parte de um conjunto de programas, que geralmente são chamados de ferramentas de análise hipotética, ou seja, uma ferramenta que possibilita encontrar um valor ideal (otimizado) para uma determinada

equação. Para resolver problemas lineares e de números inteiros, o Solver utiliza o algoritmo Simplex com limites sobre as variáveis e o método de desvio e limite.

Andrade (2004, p.75) com seu vasto conhecimento em programação linear, afirma em uma passagem que “o programa MS Excel[®] pode ser utilizado para resolver os problemas de transporte, de maneira análoga à utilização para solução dos problemas de alocação de recursos através da programação linear”.

Segundo Cunha e Gualda (1999), a demanda por softwares de roteirização tem aumentado muito nos últimos anos, em especial no Brasil, para os autores “alguns fatores contribuíram para esse aumento, a estabilização da economia, as exigências - por parte dos clientes, relacionadas a prazos, datas e horários de entrega- problemas de trânsito, acesso e circulação, a busca por um melhor atendimento, redução dos estoques e aumento na frequência das entregas”. Unidos, esses fatores têm incentivado as empresas pela busca de tecnologias de ponta para serem usadas em seus sistemas de roteirização.

Novaes (2015) explica que “as tendências tecnológicas vêm para melhorar cada vez mais os sistemas de roteirização”. E hoje, perceptivelmente o mercado oferece inúmeras variedades de softwares de roteirização, porém deve-se destacar a dificuldade de se escolher um, devido ao fato destes serem verdadeiras ‘caixas pretas’ em termos de seus algoritmos de solução, e ao pouco conhecimento por parte de representantes locais, em razão disso muitas vezes ocorrem escolhas equivocadas, que não suprem as necessidades para as quais os softwares foram adquiridos.

De acordo com pesquisa realizada pelo Sebrae (2015), sobre a informatização nas pequenas empresas do estado de São Paulo, a planilha eletrônica, sobretudo o MS Excel[®], tem um grau de utilização na ordem de 70% entre os softwares mais utilizados por estas empresas, estando na frente inclusive de sistemas de gestão empresarial. No entanto, muitas destas empresas não utilizam alguns recursos do Excel, os quais, quando são aliados a algumas atividades, se tornam uma ferramenta simples para o apoio gerencial e decisório, de baixo custo e aderente à realidade das pequenas empresas.

De acordo com a Microsoft (2015), o propósito básico do Solver é o de encontrar uma solução – isso é, valores para as variáveis de decisão apresentadas no modelo – que satisfaça todas as restrições e maximize ou minimize a célula que contenha a função objetivo. O tipo de solução que pode ser esperado do Solver, bem como o tempo de computação necessário dependem diretamente de três características do modelo:

- 1) O tamanho do modelo (número de variáveis de decisão e restrições, número total de fórmulas);
- 2) Os relacionamentos matemáticos entre a função objetivo e as restrições e as variáveis de decisão (se são lineares ou não conforme já apresentado neste capítulo);
- 3) O uso de restrições inteiras nas variáveis do modelo (os valores de restrição não podem assumir valores discretos).

Outros problemas como uma modelagem pouco suficiente também podem afetar o tempo e a qualidade da solução, mas as características aqui elencadas afetam as capacidades intrínsecas do modelo. No entanto, algoritmos e processadores mais rápidos podem auxiliar a melhor essa situação, alguns modelos não convexos ou não lineares podem levar anos ou décadas para serem otimizados até mesmo nos computadores mais velozes do mundo.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo aborda os procedimentos metodológicos que foram utilizados na presente pesquisa.

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O presente estudo tem por objetivo desenvolver um modelo em planilha eletrônica que possibilite a obtenção de uma solução ótima para o problema de transporte envolvendo múltiplas origens para múltiplos destinos, desenvolvendo assim padrão baseado na ferramenta Solver do MS Excel® que possa ser facilmente reproduzido e adaptado às necessidades de muitos operadores.

Portanto, o presente estudo trata-se de um estudo descritivo, que de acordo com Köche (2007, p.124) “estuda as relações entre duas ou mais variáveis de um dado fenômeno sem manipulá-las”.

Para Silva e Menezes (2000, p. 21), “a pesquisa descritiva visa descrever as características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Envolve o uso de técnicas padronizadas de coleta de dados: questionário e observação sistemática. Assume, em geral, a forma de levantamento”.

Além disso, a pesquisa foi realizada pela abordagem quantitativa, e esta, segundo Diehl e Tatim (2004, p.51) “caracteriza-se pelo uso da quantificação tanto na coleta quanto no tratamento das informações por meio de técnicas estatísticas”.

3.2 VARIÁVEIS DE ESTUDO

As variáveis principais abordadas no presente estudo são:

PROBLEMA DE TRANSPORTE: pode-se dizer que o problema de transporte pode ser formulado como um problema de programação linear. O primeiro e mais importante passo da resolução de um problema de transporte é a sua identificação, após isso teremos mais condições de formularmos um modelo que poderemos usar para resolver o problema. (ANDRADE, 2004, p. 73).

PROGRAMAÇÃO LINEAR: tipo de programação matemática em que todas as funções-objetivo e restrições são representadas em funções lineares (LACHTERMACHER, 2007, p.9).

PLANILHAS ELETRÔNICAS: são uma classe de programa de software que permitem criar tabelas e calcular e analisar dados através da criação de tabelas que calculam automaticamente os totais de valores numéricos introduzidos e criando gráficos simples (MICROSOFT, 2015).

3.3 UNIVERSO DE PESQUISA

População, segundo Diehl e Tatim (2004) é um conjunto de elementos passíveis de serem mensurados com respeito às variáveis que se pretende levantar, a população pode ser formada por pessoas, famílias, empresas ou qualquer outro tipo de elemento, conforme os objetivos da pesquisa.

O universo abordado no presente estudo aborda os problemas logísticos de transporte, mais especificamente a classe de problemas que cuida dos transportes dentro de uma rede com múltiplas origens e múltiplos destinos.

3.4 PROCEDIMENTO E TÉCNICA DE COLETA DE DADOS

Por se tratar de uma proposta de formulação, o presente estudo baseou-se na construção de uma fundamentação teórica que possa embasar a montagem consistente do modelo proposto, aliando toda a fundamentação apresentada por diferentes autores na construção de um modelo prático.

3.5 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Uma vez elencada toda a base teórica que possa contribuir para a modelagem proposta o modelo será construído e testado para então ser apresentado de forma detalhada no capítulo 4 do presente estudo, visando permitir a reprodutibilidade da modelagem em qualquer ambiente computacional dotado da planilha eletrônica MS Excel®, podendo ser adaptado tanto no número de pontos de origem e destino como também para as variáveis que impõe restrição ao modelo.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta os princípios que norteiam a construção do modelo bem como um detalhamento de sua montagem e operação.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA ESTUDADO

O problema de transporte básico é aquele em que queremos determinar, dentre as diversas maneiras de distribuição de um produto, a que resultará no menor custo de transporte entre os centros produtores e os centros consumidores, conforme já contextualizado no capítulo 2.

Matematicamente, busca-se a minimização do custo total de transporte, a qual é dada por:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij}x_{ij}$$

Onde:

x_{ij} é a quantidade de itens transportados da origem i para o destino j ;

c_{ij} é o custo unitário de transporte da origem i para o destino j ;

m é o número de origens;

n é o número de destinos.

Em outras palavras, busca-se o menor resultado possível para a soma do produto das quantidades a serem transportadas pelo custo envolvido em cada operação, sendo que as quantidades os custos entre os diferentes pontos são constantes e as quantidades a serem transportadas poderão variar até se encontrar o menor resultado entre todos os resultados possíveis (variáveis).

Conforme já referenciado anteriormente, esse tipo de problema deve estar sujeito à uma série de restrições que fazem com que o modelo esteja adequado à resposta buscada.

Neste tipo de problema as restrições são: as origens que não podem enviar mais do que suas disponibilidades e os destinos que não devem receber quantidades maiores que as desejadas.

Para implantar essas restrições nesse tipo de modelo devemos nos assegurar que o somatório dos produtos enviados pela origem seja igual ao somatório dos produtos recebidos pelos centros de destino. No entanto, podem existir situações onde as quantidades de oferta e de demanda não são exatamente iguais, portanto para operacionalizar essa situação devemos impor as seguintes regras:

- No caso de oferta maior que demanda, devemos introduzir um destino fantasma. Nesse destino fantasma ficarão alocados a diferença entre o valor total ofertado e o total demandado;
- No caso de demanda maior que oferta, devemos introduzir uma origem fantasma. Nessa origem fantasma ficarão alocadas as diferenças entre o total do valor demandado e o total ofertado;
- Os custos unitários entre essas origens e destino fantasma devem ser sempre de zero uma vez que esses valores não devem ser considerados no total a ser minimizado.

Inserindo uma demanda e uma oferta fantasma garantimos que todas as restrições do problema serão tratadas como igualdades, ou seja, o total ofertado será virtualmente igual ao total demandado e vice-versa, facilitando assim a montagem do modelo.

Matematicamente, estas restrições podem ser representadas pelas seguintes equações:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = f_i \quad (\text{para } i = 1, 2, \dots, m) \quad \text{– Restrição das capacidades das origens}$$

Ou seja, a soma das quantidades enviadas de cada origem para os destinos (x_{ij}) deve ser igual ao total ofertado por aquela origem (f_i).

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = d_j \quad (\text{para } j = 1, 2, \dots, n) \quad \text{– Restrição das necessidades dos destinos}$$

Que em outras palavras representa que a soma das quantidades recebidas pelo destino a partir das m origens deve ser igual ao total demandado por aquele destino (d_j).

Como as duas equações acima representam a soma dos custos de todos os itens transportados das origens para os destinos podemos concluir então que as duas equações são iguais, isto é:

$$\sum_{i=1}^m f_i = \sum_{j=1}^n d_j$$

Essa igualdade é uma condição necessária para que qualquer problema de transporte tenha uma solução ótima quando modelado utilizando variáveis fantasma, assim podemos garantir que qualquer desequilíbrio entre as quantidades de oferta e demanda seja considerado no modelo mas não influencie no resultado do custo a ser minimizado.

Outra restrição importante que deve ser considerada no modelo é a não-negatividade da variáveis, conforme já fundamentado, uma vez que os modelos de programação linear devem apresentar valores positivos. Em outras palavras, as restrições de não-negatividade asseguram que o modelo somente considere valores positivos de quantidades a serem transportadas.

4.2 INTRODUÇÃO DO MODELO NA PLANILHA ELETRÔNICA

O primeiro passo é a determinação das variáveis de decisão. Nesta situação modelada são utilizadas somente 3 origens e 3 destinos, no entanto essa quantidade é meramente para fins de modelagem, podendo ser ajustada para a quantidade de origens e destino que for necessária. Sendo assim as variáveis a serem introduzidas na planilha são:

X_{1A} – número de itens a serem transportados entre origem 1 e destino A

X_{1B} – número de itens a serem transportados entre origem 1 e destino B

X_{1C} – número de itens a serem transportados entre origem 1 e destino C

X_{1F} – número de itens a serem transportados entre origem 1 e fantasma

X_{2A} – número de itens a serem transportados entre origem 2 e destino A

X_{2B} – número de itens a serem transportados entre origem 2 e destino B

X_{2C} – número de itens a serem transportados entre origem 2 e destino C

X_{2F} – número de itens a serem transportados entre origem 2 e fantasma

X_{3A} – número de itens a serem transportados entre origem 3 e destino A

X_{3B} – número de itens a serem transportados entre origem 3 e destino B

X_{3C} – número de itens a serem transportados entre origem 3 e destino C

X_{3F} – número de itens a serem transportados entre origem 3 e fantasma

Também deve-se introduzir os custos entre as diferentes origens e os diferentes destinos:

C_{1A} – custo para cada item entre origem 1 e destino A

C_{1B} – custo para cada item entre origem 1 e destino B

C_{1C} – custo para cada item entre origem 1 e destino C

C_{2A} – custo para cada item entre origem 2 e destino A

C_{2B} – custo para cada item entre origem 2 e destino B

C_{2C} – custo para cada item entre origem 2 e destino C

C_{3A} – custo para cada item entre origem 3 e destino A

C_{3B} – custo para cada item entre origem 3 e destino B

C_{3C} – custo para cada item entre origem 3 e destino C

O que resultará em uma função objetivo representada por:

$$\text{Min } Z = (C_{1A} \cdot X_{1A}) + (C_{1B} \cdot X_{1B}) + (C_{1C} \cdot X_{1C}) + (C_{2A} \cdot X_{2A}) + (C_{2B} \cdot X_{2B}) + (C_{2C} \cdot X_{2C}) + (C_{3A} \cdot X_{3A}) + (C_{3B} \cdot X_{3B}) + (C_{3C} \cdot X_{3C})$$

Vale ressaltar que as variáveis fantasmas não estão consideradas nem nos custos nem na função objetivo, pois como apresentam custo zero entre origem e destino, matematicamente isso resultará em um custo de transporte igual a zero e também assumimos que a quantidade atribuída às variáveis fantasma jamais serão remetidas pela origem para aquele destino.

Na planilha de Excel, essas informações podem ser organizadas conforme a Figura 4 a seguir:

| | A | B | C | D | E | F | G | H |
|----|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|---|---|---|
| 1 | Custos de Transporte | | | | | | | |
| 2 | Origens | Destino A | Destino B | Destino C | Fantasma | | | |
| 3 | Origem 1 | C_{1A} | C_{1B} | C_{1C} | 0 | | | |
| 4 | Origem 2 | C_{2A} | C_{2B} | C_{2C} | 0 | | | |
| 5 | Origem 3 | C_{3A} | C_{3B} | C_{3C} | 0 | | | |
| 6 | | | | | | | | |
| 7 | Quantidades Transportadas | | | | | | | |
| 8 | Origens | Destino A | Destino B | Destino C | Fantasma | | | |
| 9 | Origem 1 | X_{1A} | X_{1B} | X_{1C} | X_{1F} | | | |
| 10 | Origem 2 | X_{2A} | X_{2B} | X_{2C} | X_{2F} | | | |
| 11 | Origem 3 | X_{3A} | X_{3B} | X_{3C} | X_{3F} | | | |
| 12 | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | |
| 15 | Custo Total | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | |

Figura 4 – Introdução das variáveis na planilha

Fonte: Dados primários

A seção relativa aos custos de transporte deverá receber no intervalo entre as células B3 e D5 os valores relativos ao custo entre cada ligação. Tais valores são constantes, portanto podem ser introduzidos diretamente nas respectivas células.

A seção relativa às quantidades transportadas (células B9 a E11) serão destinadas às quantidades a serem transportadas.

Para o desenvolvimento do modelo, faz-se então necessária a introdução dos campos destinados às quantidades disponíveis, quantidades demandadas, bem como um conjunto de células dedicado aos totais produzidos e demandados necessários para a determinação das igualdades necessárias para as restrições. Esses campos estão representados na Figura 5 abaixo:

| | A | B | C | D | E | F | G | H |
|----|-------------|---------------------------|-----------|-----------|----------|-----------|------------|---|
| 1 | | Custos de Transporte | | | | | | |
| 2 | Origens | Destino A | Destino B | Destino C | Fantasma | | | |
| 3 | Origem 1 | | | | 0 | | | |
| 4 | Origem 2 | | | | 0 | | | |
| 5 | Origem 3 | | | | 0 | | | |
| 6 | | | | | | | | |
| 7 | | Quantidades Transportadas | | | | | | |
| 8 | Origens | Destino A | Destino B | Destino C | Fantasma | Fabricado | Capacidade | |
| 9 | Origem 1 | | | | | | | |
| 10 | Origem 2 | | | | | | | |
| 11 | Origem 3 | | | | | | | |
| 12 | Entregue | | | | | | | |
| 13 | Demanda | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | |
| 15 | Custo Total | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | |

Figura 5 – Introdução dos limites e das restrições na planilha
Fonte: Dados primários

Por se tratarem de valores constantes, o conjunto de células G9, G10 e G11 vão receber os valores relativos à capacidade máxima de fornecimento dos pontos de origem 1, 2 e 3 respectivamente, ou seja, cada célula vai representar a quantidade máxima que aquele ponto de origem pode fornecer.

Da mesma forma, o conjunto de células B13, C13 e D13 deverá receber os valores relativos às demandas dos pontos de destino A, B e C respectivamente.

Caso haja desequilíbrio entre as quantidades ofertadas e as quantidades demandas, essa diferença deverá ser lançada na célula E13, que representa o total que será destinado à variável fantasma que então trará equilíbrio ao modelo na busca do resultado ótimo.

Uma vez determinados os campos, as fórmulas para o modelo podem ser inseridas em suas respectivas células segundo o detalhamento da Tabela 1 a seguir:

Tabela 1 – Fórmulas referentes à função objetivo e restrições do modelo

| Função Objetivo | Célula | Fórmula |
|--|---------------|---------------------------------|
| $\text{Min } Z = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 c_{ij}x_{ij}$ | C15 | =SOMARPRODUTO (B3:D5;B9:D11) |
| Restrições | Célula | Fórmula |
| $X_{1A} + X_{1B} + X_{1C} + X_{1F} =$ Capacidade origem 1 | F9 | =SOMA(B9:E9) |
| $X_{2A} + X_{2B} + X_{2C} + X_{2F} =$ Capacidade origem 2 | F10 | =SOMA(B10:E10) |
| $X_{3A} + X_{3B} + X_{3C} + X_{3F} =$ Capacidade origem 3 | F11 | =SOMA(B11:E11) |
| $X_{1A} + X_{2A} + X_{3A} =$ Necessidade destino A | B12 | =SOMA(B9:B11) |
| $X_{1B} + X_{2B} + X_{3B} =$ Necessidade destino B | C12 | =SOMA(C9:C11) |
| $X_{1C} + X_{2C} + X_{3C} =$ Necessidade destino C | D12 | =SOMA(D9:D11) |
| $X_{1F} + X_{2F} + X_{3F} =$ Total excedente | E12 | =SOMA(E9:E11) |

Fonte: Dados Primários

Com as fórmulas atribuídas aos respectivos campos, pode-se então determinar os parâmetros para o Solver (Menu Dados – Solver) executar a otimização de acordo com a representação da Figuras 6.

Dentro dos parâmetros do Solver deve-se determinar como célula de destino a célula que contem a função objetivo (célula C15) e então determinar que se busca a minimização do valor dessa célula, no campo Minimização.

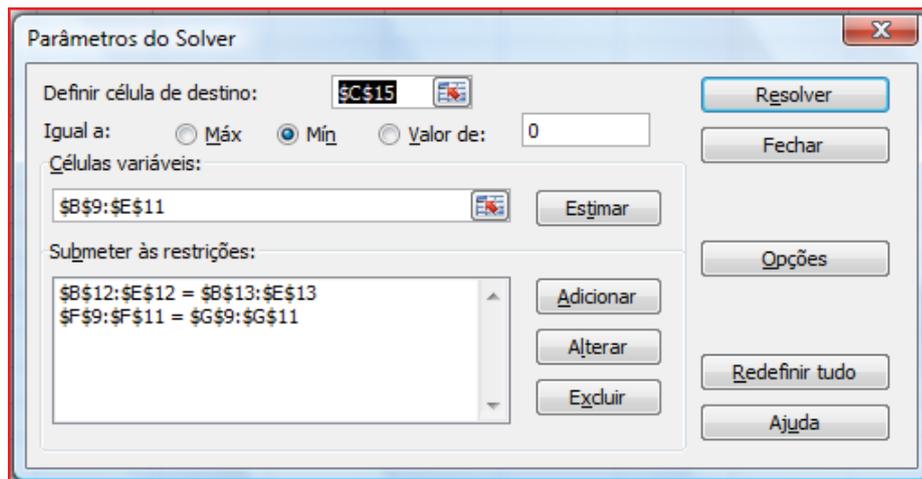


Figura 6 – Introdução dos parâmetros do Solver

Fonte: Dados primários

O conjunto de células que contém as variáveis de decisão que deverão ser atribuídas pelo Solver (quantidades transportadas) deve ser descrito no conjunto “células variáveis”. Importante destacar que neste campo deve-se também incluir as células destinadas ao destino fantasma uma vez que esses devem ser considerados para o equilíbrio do modelo conforme anteriormente descrito.

No campo “submeter às restrições” deve-se construir as igualdades entre o total de itens entregues e o total de itens demandados ($B12:E12 = B13:E13$), bem como o total de itens fabricados e o total de itens que compõe a capacidade das origens ($F9:F11 = G9:G11$). Tais restrições são os elementos principais que irão fazer com que o modelo não exceda os limites impostos, da maneira demonstrada no capítulo 4.1.

As restrições de não-negatividade e a informação sobre modelagem linear são parametrizadas no Solver através do botão Opções, conforme demonstra a Figura 7.

Para assegurar a correta abordagem e resolução do modelo deve-se certificar que a caixa “Presumir modelo linear”, que garante que o modelo será tratado como um problema de programação linear, e a caixa “Presumir não negativos”, que traz a restrição de não negatividade ao modelo, estejam marcadas antes de se resolver o modelo.

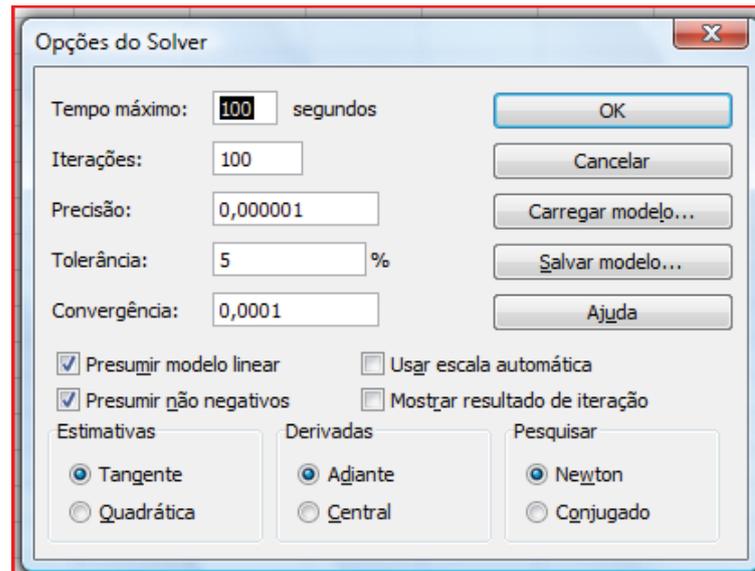


Figura 7 – Opções de resolução do Solver

Fonte: Dados primários

Uma vez que todos os parâmetros do Solver estejam definidos, basta selecionar o botão Resolver do Solver, que ao chegar a um resultado final ótimo (menor valor de custo existente entre todas as possíveis soluções para o modelo) apresentará uma mensagem similar à ilustrada na Figura 8.

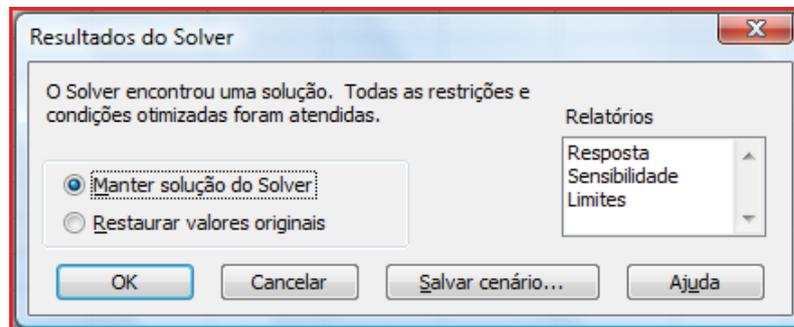


Figura 8 – Aviso de resolução ótima do Solver

Fonte: Dados primários

Uma forma de evidenciar que o modelo não chegou a uma solução ótima se dá quando ao final da simulação seja exibida a mensagem “*Não foi possível ao Solver encontrar uma solução viável*”. Caso tal mensagem seja exibida os valores inseridos devem ser todos verificados para assegurar que foram inseridos no modelo da maneira correta.

4.3 COMPARAÇÃO DO MODELO CONTRA EXEMPLO REFERENCIADO

Com vistas a assegurar que o modelo proposto esteja correto, foi realizada uma simulação utilizando dados de um exemplo apresentado por Ballou (2006, p.195), conforme segue:

Um fabricante de vidros contrata três fornecedores de barrilha (usada na fabricação) em vários locais para o abastecimento de três de suas fábricas. As quantidades contratadas não podem ser ultrapassadas, mas as exigências da produção precisam ser satisfeitas. As tarifas de transporte por tonelada de material expressa em Dólares Americanos por tonelada movida e os limites de suprimento e demanda estão apresentados na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2 – Exemplo de problema e origem e destinos múltiplos

| Origem \ Destino | Fábrica 1 | Fábrica 2 | Fábrica 3 | Abastecimento |
|------------------|------------|------------|------------|---------------|
| Fornecedor A | 4,00 | 7,00 | 6,00 | ≤ 400 |
| Fornecedor B | 5,00 | 5,00 | 5,00 | ≤ 700 |
| Fornecedor C | 9,00 | 5,00 | 8,00 | ≤ 500 |
| Necessidades | 600 | 500 | 300 | |

Fonte: Adaptado de Ballou (2006, p.195)

No referido exemplo evidencia-se o desequilíbrio de 200 peças entre a oferta (≤ 1.600 unidades) e a demanda (1.400 unidades), o que faz desse exemplo uma situação ideal para comparação.

Em sua obra, o autor utiliza o módulo TRANLP de um software especializado em resolver problemas de transporte de nome LOGWARE, parte de um conjunto de softwares voltados a resolver problemas logísticos, onde o mesmo obteve como melhor resultado um custo de US\$ 6,600.00, para a seguinte distribuição de material:

- 400 toneladas do fornecedor A para a fábrica 1
- 200 toneladas do fornecedor B para a fábrica 1
- 200 toneladas do fornecedor B para a fábrica 2
- 300 toneladas do fornecedor B para a fábrica 3
- 300 toneladas do fornecedor C para a fábrica 2

Tomando esse exemplo como base os mesmo dados foram inseridos no modelo proposto e a resposta obtida está representada na Figura 9 a seguir:

| | A | B | C | D | E | F | G | H |
|----|----------------|----------------------------------|-----------|-----------|----------|-----------|------------|---|
| 1 | | Custos de Transporte | | | | | | |
| 2 | Origens | Fabrica 1 | Fabrica 2 | Fabrica 3 | Fantasma | | | |
| 3 | Forn A | 4,00 | 7,00 | 6,00 | - | | | |
| 4 | Forn B | 5,00 | 5,00 | 5,00 | - | | | |
| 5 | Forn C | 9,00 | 5,00 | 8,00 | - | | | |
| 6 | | | | | | | | |
| 7 | | Quantidades Transportadas | | | | | | |
| 8 | Origens | Fabrica 1 | Fabrica 2 | Fabrica 3 | Fantasma | Fabricado | Capacidade | |
| 9 | Forn A | 400 | 0 | 0 | 0 | 400 | 400 | |
| 10 | Forn B | 200 | 200 | 300 | 0 | 700 | 700 | |
| 11 | Forn C | 0 | 300 | 0 | 200 | 500 | 500 | |
| 12 | Entregue | 600 | 500 | 300 | 200 | | | |
| 13 | Demanda | 600 | 500 | 300 | 200 | | | |
| 14 | | | | | | | | |
| 15 | Custo Total | | 6.600,00 | | | | | |
| 16 | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | |

Figura 9 – Exemplo de Ballou otimizado a partir do modelo proposto

Fonte: Dados primários

Como demonstrado na Figura 8 o modelo proposto atingiu o mesmo resultado que o do software especializado, requerendo um tempo de processamento de menos de 1 segundo para o cálculo final pelo Solver, comprovando então que o modelo aqui proposto pode ser uma alternativa viável para a solução do problema de múltiplas origens para múltiplos destinos

5 CONCLUSÃO

Distribuir produtos para cada vez mais mercados e com custos cada vez menores tem sido um dos principais desafios das empresas na era moderna.

Ferramentas que possibilitem tomadas de decisão mais rápidas e mais efetivas são cada vez mais necessárias em ambientes extremamente competitivos onde, no entanto muitas vezes deixa-se de explorar o potencial de ferramentas comuns que temos disponíveis e que podem ser poderosas aliadas nas tomadas de decisão.

Nesse sentido este trabalho teve como objetivo principal elaborar uma planilha em MS Excel com o objetivo de otimizar o problema de distribuição de transporte de múltiplas origens para múltiplos destinos, justamente por se tratar de uma ferramenta poderosa e amplamente utilizada nas empresas brasileiras.

Para isso buscou-se conceituar os problemas de transporte na logística, demonstrando suas características, alcances e complexidades através da perspectiva de diferentes autores, bem como demonstrar as suas diferentes formas de abordagem e de buscas de solução.

A partir dessa composição buscou-se compor o referencial matemático normalmente aplicado a problemas desse tipo, onde foram abordadas as teorias da pesquisa operacional e da programação linear.

Uma vez constituída essa caracterização esses problemas matemáticos foram transcritos para o MS Excel[®] que através do seu módulo Solver também resolve problemas de pesquisa operacional de forma rápida, prática e com resultados igualmente eficientes quando comparado com outros programas especializados em problemas logísticos referenciados pela literatura.

Dessa forma fica evidenciado que o MS Excel[®] pode ser utilizado amplamente na resolução dos mais diferentes problemas logísticos e justamente por estar amplamente disponível pode ser uma solução viável e disponível imediatamente.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, A. C; NOVAES, A. G. Logística Aplicada: suprimentos e distribuição física. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.
- ALT, Paulo R. & MARTINS, Petrônio G. Administração de Materiais e Recursos Patrimoniais. São Paulo: Saraiva, 2003.
- ANDERSSON, Ake. The four logistical revolutions. Papers in Regional Science, 1986.
- ANDRADE, Eduardo Leopoldino de. Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para análise de decisões. Rio de Janeiro: LTC, 2004.
- ARAUJO, Jorge Siqueira de. Administração de materiais. São Paulo: Atlas, 1981.
- ARENALES, Marcos, et al. Pesquisa Operacional para cursos de engenharia. Rio de Janeiro, Elsevier, 2007.
- BALLOU, Ronald H. Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física. São Paulo: Atlas, 1993.
- _____. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: planejamento, Organização e logística empresarial. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- _____. Logística da cadeia de suprimentos/ Logística empresarial. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- _____. Logística empresarial: transportes, distribuição de materiais, distribuição física. São Paulo: Atlas, 2009.
- BARAO, Fabio R. “Problemas de localização e roteamento aplicados na otimização da coleta de resíduos sólidos urbanos no município de Passo Fundo-RS”. Dissertação de Mestrado, PPGEng - UPF, 2008.
- BORNIA, Antonio Cezar. Análise gerencial de custos: Aplicação em empresas modernas. Porto Alegre: Bookman, 2002.
- BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J.. Logística Empresarial: O processo de integração da cadeia de suprimento. São Paulo: Atlas, 2004.
- _____. Logística Empresarial: O processo de integração da cadeia de suprimento. São Paulo: Atlas, 2001.

CHOPRA, Sunil; MEINDL, Peter. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: estratégia, planejamento e operação. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

COLIN, Emerson Carlos. Pesquisa Operacional. São Paulo: LTC, 2011.

CHRISTOPHER, Martin. Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

CUNHA, C.B. e GUALDA, N.D.F. Heurísticas baseadas em Relaxação Lagrangiana para o problema de roteirização de veículos com restrições operacionais. São Paulo: Makron Books, 1999.

DALL'AGNOL, Waldomiro José; VIEIRA, Guilherme Ernani; FAVARETTO, Fábio. Cargolift, operador logístico da Volvo, um facilitador de gestão e integração da cadeia de suprimentos. Porto Alegre, In: XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENGEPE), 2005.

DIEHL, Astor Antonio; TATIM, Denise Carvalho. Pesquisa em ciências sociais aplicadas: métodos e técnicas. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. Novo Aurélio Século XXI: o dicionário da língua portuguesa. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999.

GURGEL, Claudio; RODRIGUEZ, Martius Vicente Rodriguez y. Administração: elementos essenciais para a gestão das organizações. São Paulo: Atlas, 2009.

KÖCHE, José Carlos. Fundamentos de metodologia científica: Teoria da ciência e iniciação à pesquisa. Rio de Janeiro: Vozes, 2007.

LACHTERMACHER, Gerson. Pesquisa Operacional na tomada de decisões: modelagem em Excel. São Paulo: Editora Campus Ltda, 2007.

LAMPERT, Douglas M.; STOCK, James R.; VANTINE, J. G. Administração Estratégica da Logística. São Paulo: Vantine Consultoria, 1998.

MARINS, Fernando Augusto Silva; Introdução à pesquisa operacional. São Paulo, Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, 2001.

MICROSOFT. *Sobre o Solver*. Disponível em: <http://office.microsoft.com/ptbr/assistance/hp051983681046.aspx> acessado em: 14 de maio de 2015.

__. Definir e resolver um problema usando Solver. Disponível em: < <https://support.office.com/pt-br/article/Definir-e-resolver-um-problema-usando-o-Solver-9ed03c9f-7caf-4d99-bb6d-078f96d1652c>>. Acesso em : 24 de maio de 2015.

__. O que é o Excel:. Disponível em: < <https://support.office.com/pt-pt/article/O-que-%C3%A9-o-Excel-8373c3d7-bd64-4b7f-bdbd-1fa4b2007b09?ui=pt-PT&rs=pt-PT&ad=PT>>. Acesso em : 25 de maio de 2015.

MOREIRA, Daniel Augusto. Pesquisa Operacional: curso introdutório. Rio de Janeiro, Cengage Learning, 2010.

NOVAES, Antonio Galvão. Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

__. Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição: Estratégia, Operação e Avaliação. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

SEBRAE. A informática nas MPEs paulistas: relatório de pesquisa. Disponível em <http://www.sebrae.com.br>. Acessado em 25 de maio de 2015

SILVA, Edna Lúcia; MENEZES, Estera Muszkat. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação: Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

__, Ermes Medeiros; et al. PESQUISA OPERACIONAL: Programação linear. São Paulo: Atlas, 1998.

__. Pesquisa Operacional para os cursos de administração e engenharia: programação linear: simulação. São Paulo: Atlas, 2010.

SOBRAPO. O que é PO? Disponível em < http://www.sobrapo.org.br/o_que_e_po.php>. Acesso em: 24 de maio de 2015.

TAYLOR, David A. Logística na cadeia de suprimentos: uma perspectiva gerencial. São Paulo: Pearson Addison-Wesley, 2005.

WOOD JUNIOR, Thomaz. Mudança organizacional: liderança, teoria do caos, qualidade total, recursos humanos, logística integrada, inovações gerenciais, cultura organizacional. São Paulo: Atlas, 2000.

ZYLSTRA, Kirk. Distribuição *Lean*. Porto Alegre: Bookman, 2008.