

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTE E LOGÍSTICA

CEZÁRIO MARQUES BATISTA NETO

DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA PARA AUXÍLIO DE TOMADA DE
DECISÃO NA IMPLANTAÇÃO DE UM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO DE UMA
EMPRESA DO RAMO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Joinville

2019

CEZÁRIO MARQUES BATISTA NETO
DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA PARA AUXÍLIO DE TOMADA DE
DECISÃO NA IMPLANTAÇÃO DE UM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO DE UMA
EMPRESA DO RAMO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel no Curso de Graduação em Engenharia de Transportes do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Dra. Silvia Lopes de Sena Taglialha

Joinville
2019

DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA PARA AUXÍLIO DE TOMADA DE
DECISÃO NA IMPLANTAÇÃO DE UM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO DE UMA
EMPRESA DO RAMO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Esta Monografia foi julgada e aprovada como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Transportes, Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina. Joinville (SC), de 27 de novembro 2019.

Banca examinadora:

Dra. Silvia Lopes de Sena Tagliapietra
Presidente/Orientador

Dr. Cristiano Vasconcellos Ferreira
Membro

Mestre Tarcísio Ruthes
Membro

AGRADECIMENTOS

Sou muito grato aos meus pais, Admir e Léa, que não pouparam esforços para me proporcionar condições que me permitiram lutar pelos meus sonhos e por me inculcaram valores e princípios responsáveis por quem eu sou hoje. Lembro com apreço de minha irmã, Laís, a quem agradeço pelos momentos agradáveis que passamos juntos.

Agradeço a todos os demais membros da minha família que tornaram especiais, nossos raros momentos juntos.

Faço um agradecimento especial a minha orientadora, professora Silvia, pela incrível dedicação que teve comigo do primeiro ao último dia deste projeto.

A empresa por ter me permitido realizar esse estudo, e a seus funcionários, Tarcísio e Talita, sempre muito empenhados em ajudar e encontrar soluções.

Não poderia deixar de agradecer ao professor Cristiano e a professora Christiane, pelo papel fundamental que tiveram na realização desse projeto, agradeço também, a Uriel e a Pedro, pela amizade e pela ajuda que recebi durante todo esse trabalho.

A todos os meus mestres que me instruíram ao longo dos últimos anos para que pudesse chegar até aqui.

Sou feliz e grato a todas as amigas que conquistei nessa caminhada ao longo dos últimos anos.

RESUMO

Para que uma empresa possa crescer e manter-se competitiva, precisa de custos decrescentes. Estratégias de escalabilidade podem ser interessantes mesmo com custos logísticos elevados. Visando reduzir gastos com compras de matérias primas, apresenta-se neste trabalho uma proposta de construção de um centro de distribuição, analisando a viabilidade de transferir a maior parte do estoque, que hoje fica localizado nas construções, para um novo armazém, possibilitando também que a organização tenha mais condições de negociação com os fornecedores ao comprar e armazenar maior volume de matérias primas. Foi avaliado se a economia gerada pela instalação do armazém supera os custos de operação e de implantação do novo centro de distribuição. O estudo de caso foi realizado em uma construtora da Região Sul do Brasil.

Palavras-chave: Centro de distribuição. Economia de escala. Custos logísticos. Construção.

ABSTRACT

A business needs decreasing costs, in order to grow and stay competitive. Scalability strategies can be beneficial even with high logistic costs. Aiming to reduce expenses with the purchases of raw materials, this abstract presents a proposal for the construction of a distribution center, analyzing the feasibility of transferring most of the inventory, which is now located in the constructions, to a new warehouse. This also enables the organization to be better able to negotiate with suppliers when buying and storing larger volumes of raw materials. It has been evaluated whether the savings generated by the warehouse installation outweigh that of the the operating and deployment costs of the new distribution center. The case study was conducted at a construction company in Southern Brazil.

Keywords: Distribution Center. Economies of Scale. Logistic Costs. Construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Correlação entre crescimento da economia Brasileira e a atividade do setor da construção civil	12
Figura 2 - Etapas da metodologia	15
Figura 3 – Fluxo logístico	18
Figura 4 - Cadeia de suprimentos	19
Figura 5 - Demanda dependente.....	22
Figura 6 - Demanda independente.....	22
Figura 7 - Canteiro de obras.....	24
Figura 8 - Estoque de cimento	26
Figura 9 - Custos logísticos no Brasil em relação ao PIB.....	27
Figura 10 - Custos logísticos no Brasil e nos Estados Unidos (em relação ao PIB)..	27
Figura 11 - Distribuição dos custos logísticos com transporte no Brasil.....	29
Figura 12 - Custos logísticos sem centro de distribuição e com centro de distribuição	34
Figura 13 - Relação entre o número de centros de distribuição e custos com transporte	35
Figura 14 - Suposições da programação linear.....	39
Figura 15 – Ótimo local e global.....	41
Figura 16 – Função constante.....	42
Figura 17 – Imagem representativa do centro de distribuição e empreendimentos ..	46
Figura 18 – Modelo de Localização ótima no Excel – Coordenadas.....	47
Figura 19 – Modelo de Localização ótima no Excel – Distância.....	47
Figura 20 – Fórmula de Haversine	48
Figura 21 – Otimizador Solver.....	49
Figura 22 – Instalação do Solver	49
Figura 23 – Parâmetros do Solver.....	50
Figura 24 – Localização ótima.....	50
Figura 25 – Localização ótima do CD para 7 empreendimentos.....	51
Figura 26 – Localização ótima ponderada do CD para 5 empreendimentos.....	53
Figura 27 - Localização ótima simples do CD para 5 empreendimentos	53
Figura 28 – Disposição dos cenários possíveis.....	54

Figura 29 – Localização deslocada do centro de distribuição com cinco empreendimentos.....	54
Figura 30 – Localização ótima de CD para 12 empreendimentos.....	55
Figura 31 – Foto de satélite cidade de Joinville com a localização ótima para 12 empreendimentos.....	55
Figura 32 – Foto satélite com a localização escolhida	56
Figura 33 – Custos logísticos carga fracionada e carga consolidada.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pesos dos empreendimentos.....	52
Tabela 2 – Cenário Possíveis.....	56
Tabela 3 – Classificação dos pontos e matriz Hessiana – Casos não ponderados .	57
Tabela 4 – Fator de correção da distância percorrida.....	61
Tabela 5 – Distância total percorrida.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil

ILOS - Instituto de Logística e *Supply Chain*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PIB - Produto Interno Bruto

JIT - *Just In time*

PL – Programação Linear

PLI – Programação Linear Inteira

PNL – Programação Não Linear

CD – Centro de Distribuição

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	13
1.1.1 Objetivo geral	13
1.1.2 Objetivos específicos	13
2 LOGÍSTICA.....	17
2.1 CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	18
2.2 DEMANDA	21
2.3 LOGÍSTICA NA CONSTRUÇÃO CIVIL	23
2.4 ESTOQUES	24
2.4.1 Estoques na construção civil	25
2.5 CUSTOS LOGÍSTICOS.....	26
2.5.1 Custos de Estoque	28
2.5.2 Custos de Transporte	28
2.6 DISTRIBUIÇÃO.....	29
2.6.1 Centros de distribuição	30
2.6.2 Armazém.....	30
3. PADRÕES DE LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS	32
3.1 LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS	32
3.2 ECONOMIAS DE TRANSPORTE	33
3.3 MINIMIZAÇÃO DE CUSTOS DE TRANSPORTE	34
4 PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA	37
4.3 PROGRAMAÇÃO NÃO LINEAR.....	41
4.3.1 Otimização irrestrita.....	41
4.3.2 Pontos ótimos.....	41
4.3.3 Funções com múltiplas variáveis.....	43

5. APLICAÇÃO DA PROGRAMACÃO MATEMÁTICA	45
5.1 MODELO DE LOCALIZAÇÃO ÓTIMA DO CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO.....	45
5.1.1 Método de solução	47
5.1.2 Verificação da otimalidade das soluções.....	56
5.2 OTIMIZAÇÃO DE CUSTOS LOGÍSTICOS	57
5.2.1 Exemplo - Caso de viabilidade econômica CD	58
5.2.2 Cálculo do custo de entrega local unitário	60
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
6.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO	64
6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	64
REFERÊNCIAS.....	66

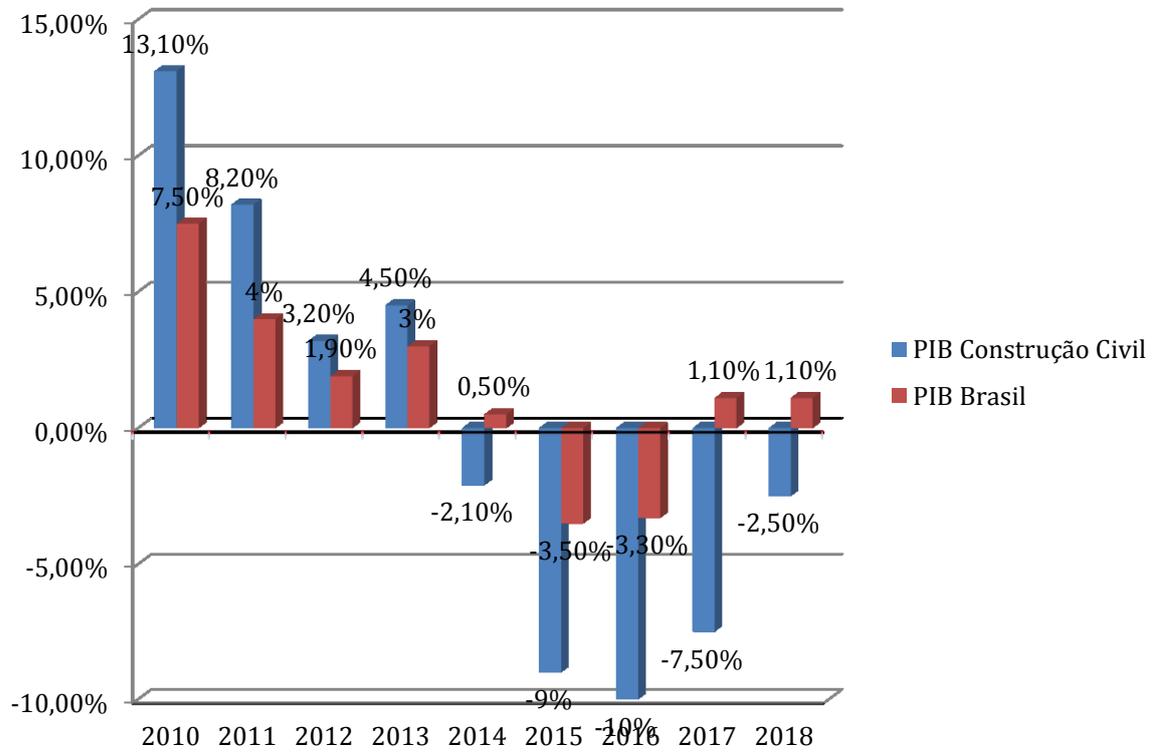
1. INTRODUÇÃO

Na indústria, de maneira geral, a capacidade de crescimento de uma organização está condicionada a sua margem de lucro. No setor da construção civil a baixa diferenciação entre os agentes econômicos reduz o potencial de uma empresa em elevar seus lucros apenas aumentando os preços do produto final, por isso, o controle de custos é muito importante para o futuro das organizações inseridas nesse mercado. Um dos segmentos que as companhias costumam apostar para gerar aumento de competitividade cortando gastos é o setor logístico, cujo objetivo definido por Ballou (2006) é ordenar a mercadoria ou o serviço certo, no lugar e no tempo certo e nas condições desejadas, ao mesmo tempo em que fornece maior contribuição à empresa.

O setor da construção civil é um dos mais importantes para a economia do país, representando 6,2% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro de acordo com o Grupo CCR (2018).

Pode-se observar na Figura 1, elaborada pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil (CBIC) a partir de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) que existe uma correlação entre o crescimento da economia brasileira e a expansão do setor da construção civil no Brasil, bem como, uma queda no segmento está relacionada com retração da atividade econômica no país.

Figura 1 - Correlação entre crescimento da economia Brasileira e a atividade do setor da construção civil



Fonte: CBIC (2019)

Entre 2014 e 2018, segundo dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil (CBIC) (2019), o Produto Interno Bruto (PIB) da construção civil sofreu uma queda de 20,6%. Nesse cenário qualquer redução de despesas que permita uma empresa ajustar suas margens pode resultar em aumento significativo de competitividade.

Considerando esse cenário de incertezas para o setor, uma construtora situada na Região Sul do Brasil, com intuito de gerar vantagem competitiva frente a seus concorrentes, tem interesse em saber sobre a viabilidade de implantar um novo centro de distribuição. Com a implantação de um novo centro de distribuição, a construtora acredita que pode absorver dos fornecedores maior volume de matérias-primas, e conseqüentemente, teria poder de negociação maior para pleitear preços menores, reduzindo, assim, os custos de aquisição de matéria prima, visto que, alguns produtos podem possuir elasticidade de preço.

Para que o centro de distribuição seja viável, a redução dos custos de aquisição teria de compensar o aumento de despesas com armazenagem. De

acordo com Gasnier e Banzato (2001) apud Barros (2005), armazenagem é uma importante função para atender com efetividade a gestão da cadeia de suprimento, por ser um sistema de abastecimento em relação ao fluxo logístico, garante continuidade e uniformidade, permitindo um nível de serviço satisfatório e adicionando valor ao produto final.

Existe a possibilidade do novo armazém gerar também redução de gastos com transporte através da consolidação de cargas. Para Novaes (2001), os custos de transporte podem ser divididos em despesas com frete e estoque em trânsito. As despesas com o frete têm uma parte fixa (basicamente salários, encargos trabalhistas, licenciamento, seguro e amortização do veículo), e outra parte variável (combustível, óleo, lavagens, pneus e demais peças dos veículos).

O presente trabalho traz uma análise quantitativa a partir de dados oferecidos pela empresa, pesquisas com fornecedores, livros e textos científicos, com objetivo de analisar a viabilidade econômica do novo centro de distribuição.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo realizar um estudo a respeito da viabilidade de implantação de um centro de distribuição de uma empresa do ramo da construção civil.

1.1.2 Objetivos específicos

Para atingir esta meta deve-se atender aos seguintes objetivos específicos:

- Determinar a localização ótima para o centro de distribuição;
- Elaborar uma ferramenta que possibilite determinar a localização ótima do centro de distribuição de acordo com o tamanho e a localização de cada obra;
- Cálculo do custo unitário de transporte entre o centro de distribuição e os empreendimentos.

1.2 METODOLOGIA

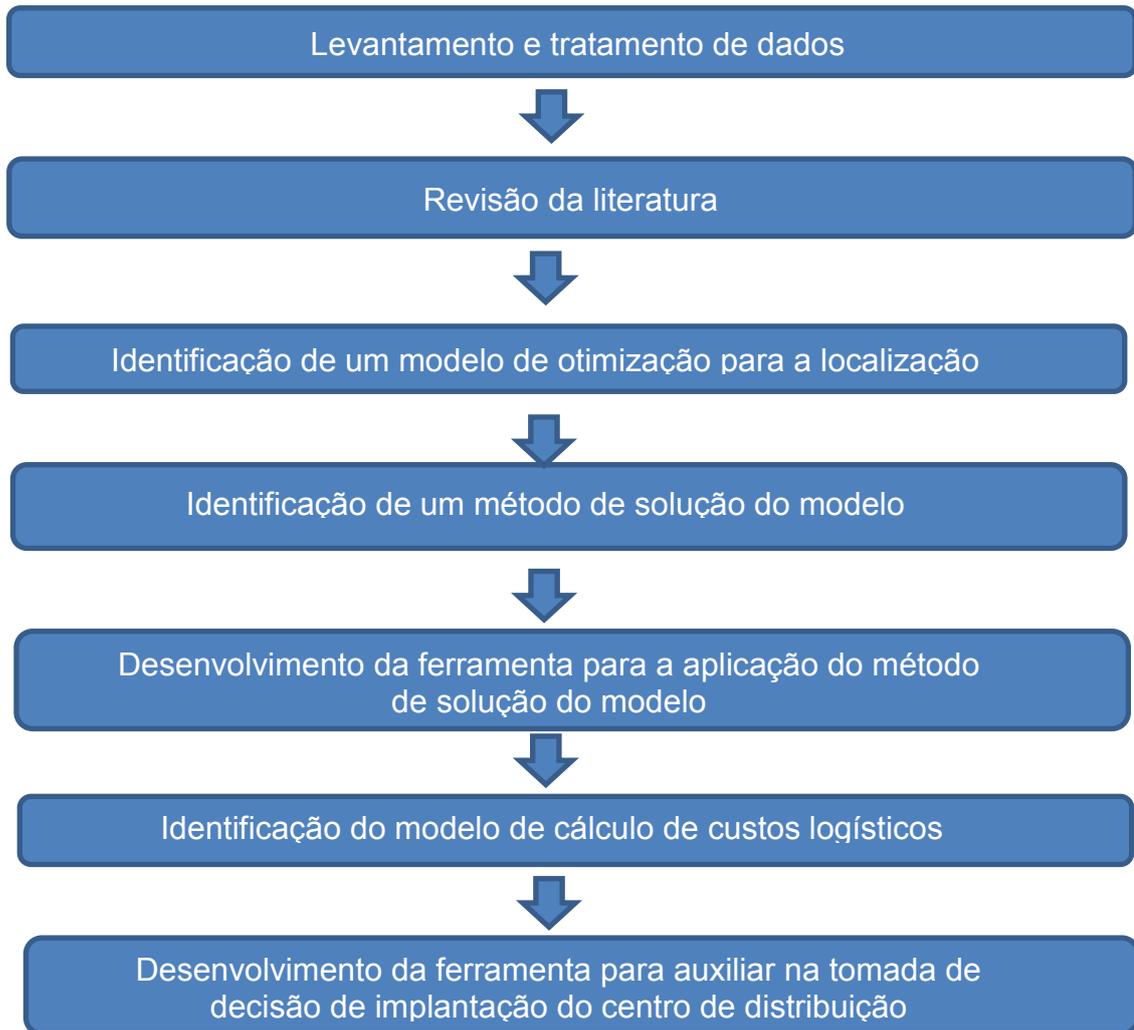
De acordo com Prodanov e Freitas (2013) “O estudo de caso consiste em coletar e analisar informações sobre determinado indivíduo, família, grupo ou uma comunidade, a fim de estudar aspectos variados de sua vida, de acordo com o assunto da pesquisa.” (p. 60)

Segundo Bowersox e Closs (2011) os procedimentos operacionais realizados nos depósitos são o fracionamento e reagrupamento de mercadorias de acordo com as exigências dos clientes. O intuito é movimentar de modo eficiente grandes volumes de mercadorias para dentro do depósito e expedir pedidos dos clientes.

O objetivo deste estudo de caso é auxiliar na tomada de decisão de implantação de um centro de distribuição para uma construtora na cidade de Joinville (Região Sul do Brasil), transferindo a localização dos estoques nas obras para o novo local. Espera-se que as economias geradas pelo aumento na quantidade de matérias primas compradas supere o acréscimo nos custos operacionais gerados pelo novo armazém e o investimento para a implantação da nova instalação seja recuperada em um prazo de tempo aceitável pelos administradores da Companhia.

Serão realizadas entrevistas com fornecedores e funcionários da própria empresa para esclarecer os preços esperados de aquisição das matérias primas, conforme as etapas da metodologia indicadas na Figura 2, de acordo com o volume de compras. Um dos primeiros objetivos do projeto será encontrar localização ótima do centro de distribuição.

Figura 2 - Etapas da metodologia



Fonte: O autor (2019)

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos, sendo iniciado por este capítulo de introdução, em que foi apresentada a problemática do trabalho, bem como a justificativa e a metodologia utilizada para a realização deste trabalho. No segundo capítulo apresenta-se o referencial teórico sobre logística necessário para o entendimento do problema exibido nesse trabalho, partindo de uma abordagem macro sobre os temas de Logística, Cadeia de Suprimentos, Demanda, Estoque, Custos Logísticos e Distribuição, assim como introduzindo conceitos mais específicos como logística na construção civil.

No terceiro capítulo expõe-se sobre padrões de localização de depósitos, economias com transporte e fatores que justificam a implantação de um centro de distribuição. Inclusive discorre-se sobre economias geradas por escala.

No quarto capítulo apresenta-se uma breve contextualização a cerca da programação matemática, modelagem de problemas de programação linear, programação não linear, assim como condições de otimalidade e programação convexa, ferramentas que serão utilizadas neste trabalho.

No quinto capítulo explicita-se o detalhamento da aplicação dos modelos propostos e destacam-se os fatores influenciados na tomada de decisão de implantação do centro de distribuição.

E finalmente, no sexto capítulo são apresentadas as considerações finais e as recomendações para estudos futuros.

2 LOGÍSTICA

Nesta sessão serão abordados os aspectos de Logística que servirão de base para a realização do trabalho. A revisão da literatura discorrerá sobre cadeia de suprimentos, demanda, logística na construção civil, estoques, custos logísticos e distribuição.

Christopher (2011) define Logística como uma estrutura de planejamento e uma orientação, com objetivo de formar um único plano para o fluxo de produtos e informações através de um negócio.

Bowersox e Closs (2011) acreditam que o objetivo da logística é disponibilizar produtos e serviços no lugar onde são desejados, no momento em que são necessários. (está repetitivo – ver primeiro parágrafo na introdução).

Segundo Silva e Cardoso (2000) logística é uma parte do processo de gestão da cadeia de suprimentos que está relacionada com o planejamento, implementação e controle eficaz e eficiente do fluxo e armazenagem de bens, serviços e informações, do local de origem até o local de consumo, de forma a atender todas as necessidades dos clientes.

Para Bowersox e Closs (2011) a reponsabilidade da operação logística envolve a disponibilidade de matérias primas, produtos semiacabados e estoques de produtos acabados, no ponto onde são requisitados, ao menor custo possível.

Logística como ilustrado na Figura 3, é definida por Christopher (2011), 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.

Figura 3 – Fluxo logístico



Fonte: Logística de Suprimentos (2012)

Bertaglia (2009) corrobora com Christopher, e define a logística como a união das atividades de aquisição, de movimentação, de armazenagem e de entrega de produtos. Se integradas e realizadas de forma sinérgica, essas atividades terão êxito na cadeia de suprimentos.

Bowersox e Closs (2011) a logística de uma empresa é um esforço conjunto com o intuito de auxiliar a criar valor para o cliente com o menor custo total possível. A logística existe para atender as necessidades do cliente, permitindo as operações importantes de produção e marketing.

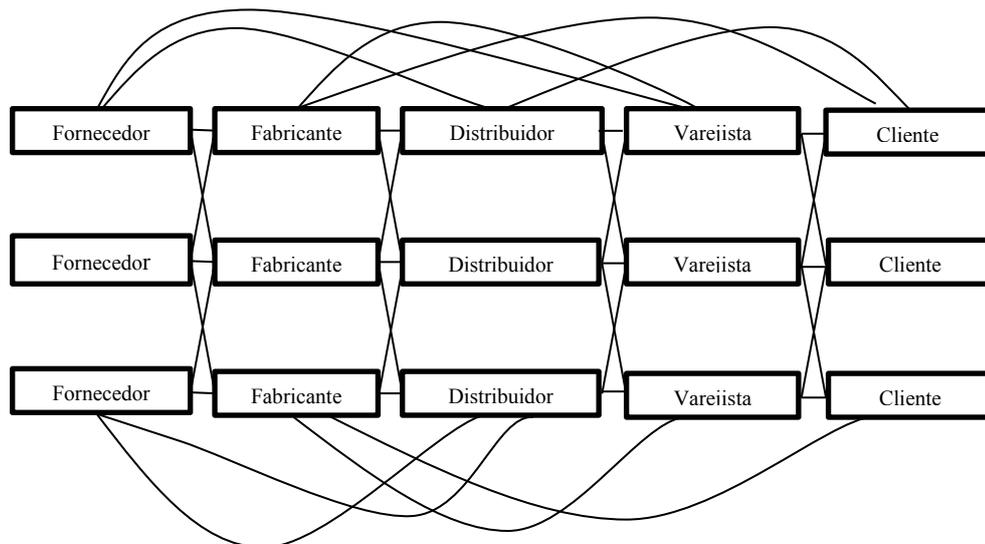
2.1 CADEIA DE SUPRIMENTOS

De acordo com Chopra e Meindl (2011), uma cadeia de suprimentos consiste em todas as partes envolvidas direta ou indiretamente na realização do pedido de um cliente. Inclui, além do fabricante e dos fornecedores, transportadoras, armazéns, varejistas e os próprios clientes.

Dentro de cada organização, a cadeia de suprimentos inclui todas as funções envolvidas na recepção e na realização de uma solicitação do cliente. Essas funções são desenvolvimento de produto, marketing, operações, distribuição, finanças e serviços ao cliente.

Uma cadeia de suprimentos é dinâmica, e envolve o fluxo constante de informações, produtos e fundos entre diferentes estágios. Os estágios de uma cadeia de suprimentos, como representado na Figura 4, são: clientes, varejistas, atacadistas /distribuidores, fabricantes, fornecedores de componentes/matéria-prima. Os fluxos normalmente ocorrem em duas direções, e podem ser gerenciados por um dos estágios ou por um intermediário.

Figura 4 - Cadeia de suprimentos



Fonte: Chopra e Meindl (2011) - Adaptado

Para Christopher (2011) a cadeia de suprimentos deve satisfazer os requisitos dos clientes, através da sustentação do fluxo eficiente de materiais e informações.

Chopra e Meindl (2011) indicam que o objetivo da gestão da cadeia de suprimentos deve ser maximizar o valor total gerado. O valor gerado por uma cadeia de suprimentos é a diferença entre o valor do produto final para o cliente e os custos da cadeia de suprimentos gerados para atender ao pedido do cliente. O valor, também conhecido como excedente, está ligado a lucratividade da cadeia de suprimentos, a diferença entre a receita faturada com o cliente e o custo total ao longo da cadeia.

Christopher (2011) aponta que o objetivo da gestão da cadeia de suprimentos está na gestão das relações, com intuito de aumentar a lucratividade de todas as partes da cadeia, o autor defende que o nome pela qual deveria ser chamada é gestão da cadeia de demanda.

Para Chopra e Meindl (2011), O gerenciamento da cadeia de suprimentos eficaz envolve o gerenciamento de ativos e produtos, informações e fluxo de fundos para maximizar o valor total da cadeia de suprimentos. Os autores defendem que há uma relação entre o sucesso de uma cadeia de suprimentos e o projeto e gerenciamento dos fluxos da cadeia de suprimentos.

De acordo com Carvalho, Pereira e Geraldles (2012) a cadeia de suprimentos pode ser considerada como um trabalho de entidades, cuja eficácia e eficiência são fortemente determinados pelo desempenho geral da rede.

Fazer parcerias na cadeia de suprimentos resulta em otimização e transferência de valor para os clientes Abrahamsson *et al.* (2015). Qazi *et al.*, (2018) sustentam que esforços complementares e mútuos feitos pelos membros da cadeia de suprimentos atuam como os propulsores da criação de valor.

Para Christopher (2011), uma melhor gestão da logística e da cadeia de suprimentos por parte de uma empresa proporciona um posicionamento mais vantajoso sobre a escolha dos clientes em relação aos seus concorrentes, ou seja, gera vantagem competitiva.

As empresas que possuem orientação para a cadeia de suprimentos não conseguem obter benefícios com elas isoladamente. Isso só é possível se todas as empresas envolvidas na cadeia de suprimentos exibirem orientação para a cadeia de suprimentos levando ao gerenciamento da cadeia de suprimentos (Diabat *et al.*, 2012).

Para Kamalahmadi e Parast (2016) A orientação da cadeia de suprimentos apoia que todos os membros da cadeia de suprimentos aloquem suas habilidades, capacidades e recursos para a criação de valor para seus clientes.

Xu *et al.* (2014) sustentam que a agilidade da cadeia de suprimentos refere-se à capacidade organizacional de modificar rapidamente as operações e táticas com seu CS, a fim de reagir a ameaças, oportunidades e mudanças ambientais .

De acordo com Gligor *et al.* (2016), em uma cadeia de suprimentos agilidade e flexibilidade sempre ficam em harmonia entre si. Não é possível obter agilidade sem flexibilidade. (Flynn *et al.*, 2010). Flexibilidade é a capacidade de se adaptar a circunstancias inesperadas.

Levi *et al* (2010) aponta que a gestão da cadeia de suprimentos leva em conta todas as instalações que tem um impacto no custo e que desempenham um papel na fabricação do produto de acordo com as exigências do cliente, desde as instalações do fornecedor e do fabricante, dos centros de distribuição até os varejistas e pontos de comércio.

2.2 DEMANDA

Segundo Ballou (2006), “O planejamento e o controle das atividades da cadeia de suprimentos/logística dependem de estimativas acuradas dos volumes de produtos e serviços a serem processados pela cadeia de suprimentos.” (p. 241). A previsão dos níveis de demanda é muito importante para todos os tipos de empresas, pois proporciona a base para o planejamento e controle de todas as áreas funcionais da organização, como Logística, Marketing, Finanças e Produção. O autor identifica seis tipos de demanda, a saber: Demanda Espacial, Demanda Temporal, Demanda Irregular, Demanda Regular, Demanda Dependente, Demanda Independente.

Demanda Temporal é a variação da demanda no tempo, e ocorre em decorrência de três fatores, aumento ou redução de vendas, influencia sazonal ou por flutuações causadas por diversos motivos previamente desconhecidos. Métodos de séries temporais são os mais indicados para lidar com este tipo de demanda.

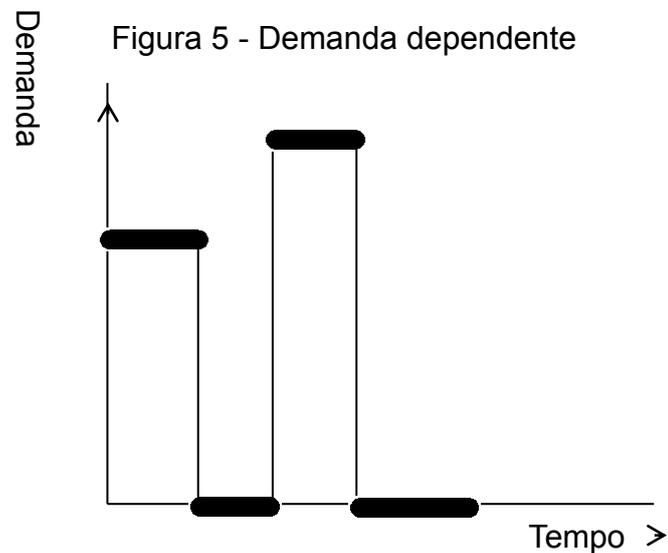
Para Ballou (2006), a localização espacial da demanda é indispensável para planejar a localização de armazéns, determinar o balanceamento dos estoques ao longo da rede logística, e alocar geograficamente os recursos de transporte.

Demanda Irregular ocorre quando a demanda é intermitente em decorrência do baixo volume e da incerteza em relação ao nível e ao momento em que essa demanda vai ocorrer.

A Demanda Regular apresenta determinados padrões e pode ser dividida em componentes de tendência, sazonais ou até mesmo aleatórias, desde que essas variações sejam pequenas.

Demanda Dependente (Figura 5) normalmente é derivada de outro produto, como por exemplo, um carro, quando um automóvel é encomendado,

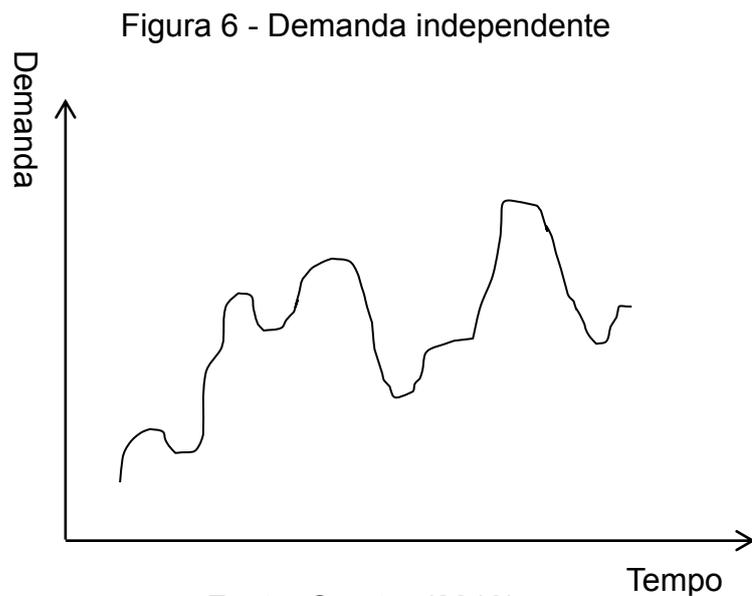
quatro pneus também o são contratados. Diz-se que o pneu é um produto com demanda dependente de outro bem.



Fonte: O autor (2019)

Demanda Independente (Figura 6) é caracterizada quando a demanda é proveniente de diversos clientes, e o número de pedidos não está relacionado com a quantidade de encomendas de outro produto.

Projeções de Tendência é um método de previsão de demanda que identifica uma linha de tendência baseada em uma equação matemática, projetando-a para o futuro.



Fonte: O autor (2019)

2.3 LOGÍSTICA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Silva e Cardoso (2000) apontam que a logística de uma construção apresenta atividades relacionadas com o suprimento de materiais e atividades ligadas com o canteiro de obras propriamente dito.

Argumentam ainda que a logística de suprimentos na construção civil pode ser delimitada por cinco atividades básicas, que são cíclicas e recorrentes ao longo de todo o processo, a saber:

- especificação de recursos e planejamento de suprimentos;
- emissão e transmissão de pedidos de aquisição;
- transporte de recursos até a obra e seu recebimento;
- manutenção dos suprimentos previstos no planejamento;
- provimento e dimensionamento de recursos humanos para atividades de canteiro;

Os autores consideram ainda que a logística de suprimentos apresenta um papel estratégico na construção civil, pois atua na interface entre a produção e os fornecedores, sendo determinante para os custos totais do empreendimento.

Na construção civil de acordo com Silva e Cardoso (2000):

O gerenciamento da cadeia pressupõe o estabelecimento de políticas estratégicas para o suprimento, pela alta direção da empresa, a partir de uma visão de toda ela como uma entidade única. Desta maneira, a construtora tem de se preocupar com os custos e a qualidade dos suprimentos desde onde são produzidos os insumos. Há aí, portanto, uma evolução no pensamento relativo à logística de suprimentos: não basta gerenciar a interface entre fornecedores, é preciso integrá-los ao processo de produção. (p. 8)

A logística na construção civil também é conhecida como logística no canteiro de obras, pode-se observar um canteiro de obras na Figura 7.

Figura 7 - Canteiro de obras



Fonte: Escola Engenharia (2018)

2.4 ESTOQUES

Para Bowersox e Closs (2011) a estocagem é um aspecto importante no desenvolvimento econômico, no passado os consumidores realizavam a armazenagem e assumiam os riscos associados a ela. Com o desenvolvimento dos meios de transporte surgiu a atividade econômica de estocagem, varejistas, atacadistas e fabricantes passaram a realizar tal atividade.

Até a segunda guerra mundial foi dada muito pouca importância para o processo de armazenagem, o qual, era visto apenas como um custo adicional ao processo produtivo, com mão de obra barata abundante disponível, quase nenhum tipo de melhoria na eficiência ou otimização do processo de estocagem foi desenvolvido. A partir da década de 50 houve aumentos na eficiência dos depósitos, nas décadas de 60 e 70 novas tecnologias associadas aos depósitos foram utilizadas. E na década de 90, a flexibilidade e o uso de Tecnologias de informação foram adicionados aos armazéns, para atender as exigências dos clientes relacionados ao prazo de entrega e a produtos mais diferenciados.

Segundo Bowersox e Closs (2011), nenhum depósito deve fazer parte de sistemas logísticos, a menos que a inclusão se justifique por meio de análise de custo benefício.

Ballou (2006) acredita que existem muitos motivos que justificam a presença de estoques, porém muitos especialistas os consideram desnecessários e onerosos. Para o autor as razões que justificam a manutenção de armazéns são:

- melhorar o serviço ao cliente, pois os níveis de disponibilidade proporcionados pelos estoques permitem reação imediata às demandas dos consumidores;
- redução de custos, mesmo que sua implantação e operação gerem custos, sua utilização reduz outros custos na cadeia de suprimentos, pois possibilita operações de produções mais prolongadas e equilibradas e;
- economias em compras. Ballou (2006) escreveu “um departamento de compras faz aquisições ocasionais que superam as necessidades imediatas da empresa quando isso proporciona descontos de preços exatamente em função da quantidade.” (p. 273).

Segundo Ballou (2006), os críticos aos estoques afirmam que ele absorve capital que poderia ser melhor empregado para aumentar a produtividade e competitividade da organização, esses custos de oportunidade acabam não sendo contabilizados nos relatórios da administração.

2.4.1 Estoques na construção civil

Para Silva e Cardoso (2000) na construção civil os estoques servem para evitar que a produção seja descontinuada, que em geral é provocada por fatores como:

- não pontualidade na entrega dos materiais e componentes e consequente falta destes;
- indisponibilidade dos fornecedores em fazer entregas em lotes muito pequenos;
- problemas de dimensionamento das equipes de produção e de domínio dos índices de produtividade;

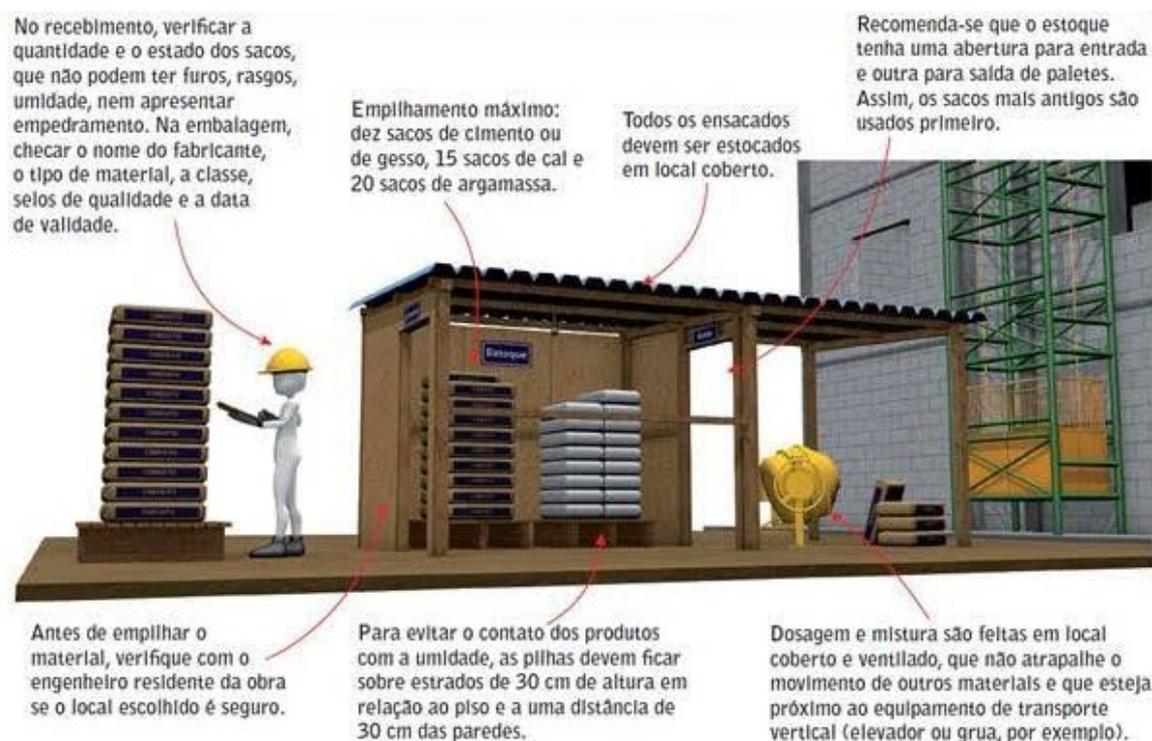
- falta de conhecimento dos índices de perdas de materiais e componentes;
- falta de planejamento da produção o que leva a antecipação de serviços que poderiam ser executados num momento posterior.

Silva e Cardoso (2000) acreditam que um volume muito elevado de materiais em estoque pode ser encarado como um indicador de desperdícios, havendo a necessidade de eliminá-los para aumentar a competitividade da empresa.

A aplicação de práticas *Just in Time* (JIT) na construção civil pode aumentar muito a eficiência do setor, baseando-se em aplicações em outros setores.

A Figura 8 indica como deve ser guardado estoque de cimento em um canteiro de obras.

Figura 8 - Estoque de cimento



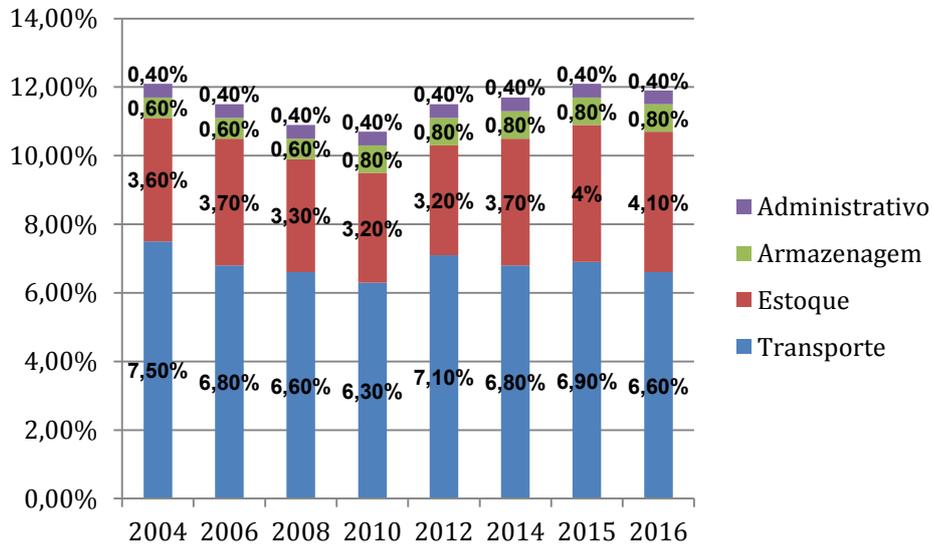
Fonte: Serviço Bem Feito (2016)

2.5 CUSTOS LOGÍSTICOS

De acordo com dados do Instituto de Logística e *Supply Chain* (2017) os custos logísticos representaram 12% do PIB brasileiro em 2016 sendo que

transporte e estoque são responsáveis por quase 90% desse valor, como pode ser observado na Figura 9.

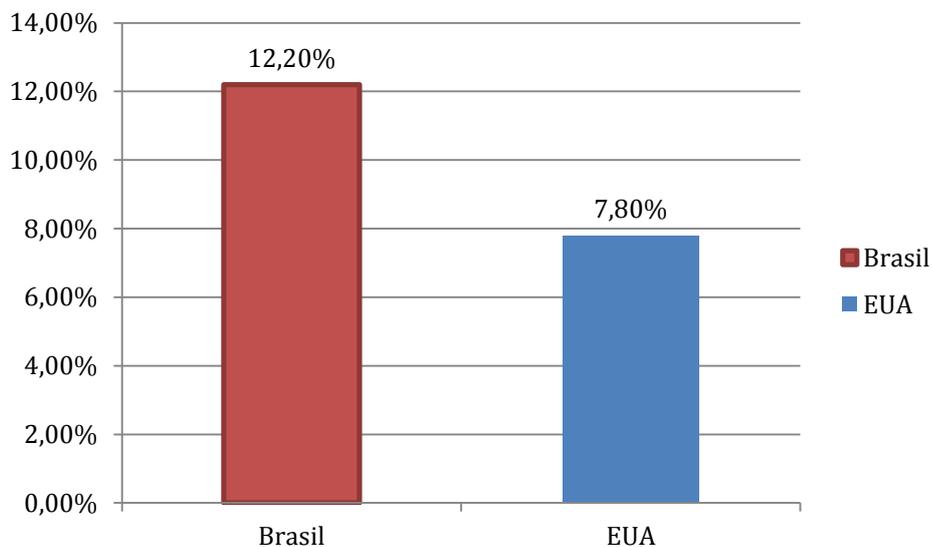
Figura 9 - Custos logísticos no Brasil em relação ao PIB



Fonte: ILOS (2017)

Observa-se na Figura 10 que esses custos são elevados no Brasil quando compara-se com os Estados Unidos, um país com dimensões semelhantes ao país latino, apresentou custos logísticos 36% menores em relação ao PIB no ano de 2015.

Figura 10 - Custos logísticos no Brasil e nos Estados Unidos (em relação ao PIB)



Fonte: ILOS (2016)

As principais causas apontadas para essa discrepância são as altas taxas de juros e a matriz de transportes predominantemente rodoviária.

2.5.1 Custos de Estoque

Ballou (2006) indica que existem três classes de custos relevantes para a determinação da política de estoques: custos de aquisição, manutenção e custos de falta de estoque.

Custos de aquisição são custos relacionados com a compra de mercadorias para a reposição de estoques. No momento em que é feito um pedido de reposição de estoque, são incorridos custos de processamento, preparação, transmissão, manutenção e custos relacionados ao pedido de compra.

Custos de manutenção são custos decorrentes do armazenamento de produtos durante um período de tempo. Podem ser divididos em:

- custos de espaço, que em geral é cobrado pelo uso do volume do prédio;
- custo de capital, o qual está relacionado ao custo do dinheiro imobilizado em estocagem;
- custos de serviço de estocagem, normalmente seguros e impostos;
- custos dos riscos de estocagem são relacionados com roubo, deterioração, danos ou obsolescência.

Custos de falta de estoque existem quando os pedidos não podem ser atendidos a partir do estoque atual, são custos mais difíceis de serem calculados, e são divididos em dois tipos:

- custo de venda perdida ocorre quando o cliente cancela a compra, o custo é o lucro que não é realizado;
- os custos de pedidos atrasados ocorrem quando o cliente aceita esperar pelo produto, porém, são gerados novos custos de processamento e de operação, bem como, custos de transporte e manuseio quando esses pedidos são atendidos por outro canal.

2.5.2 Custos de Transporte

Ballou (2006) classifica os custos de transporte em três grandes categorias: Custos fixos, custos do operador e custos operacionais dos veículos. Esses custos, na maioria das vezes, são representados por milhas.

Custos fixos não variam de acordo com a distância percorrida por veículo no tempo. Fazem parte dos custos fixos: seguro do veículo, juros sobre o montante investido na sua compra, amortização do equipamento, taxas de licenciamento, e despesas relacionadas com garagem/armazém do veículo.

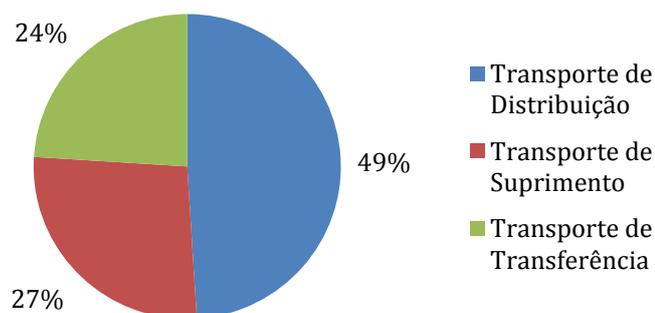
Custos do operador são despesas que estão relacionados com motoristas e ajudantes, as mais usuais são salários, contribuições à previdência social; seguro desemprego; indenizações aos trabalhadores; despesas relacionadas com diárias em trânsito – refeições, hotel e outras despesas; seguro saúde e despesas extraordinárias como telefonemas.

Custos operacionais são as despesas de manutenção dos veículos em trânsito, como combustível, pneus e manutenção. Esses custos são divididos pela distância percorrida e depois pelo número de veículos da frota, resultando em um custo médio por milha/veículo.

2.6 DISTRIBUIÇÃO

Na cadeia logística a distribuição é definida por Russo (2009) como sendo o transporte de materiais e produtos até seus respectivos pontos de venda ou consumidores finais, para o autor a distribuição física é facilitada em decorrência da comunicação por internet, na medida em que rapidamente disponibilizam informações ao longo da cadeia de suprimentos.

Figura 11 - Distribuição dos custos logísticos com transporte no Brasil



Fonte: ILOS (2017)

No Brasil custos com distribuição no ano de 2015 foram responsáveis por 49% dos custos totais com transporte, como apontado na Figura 11.

2.6.1 Centros de distribuição

Depósito, segundo Chopra e Meindl (2011) são os locais de e para onde o estoque é transportado e armazenado. Podem ser flexíveis ou dedicadas ou uma combinação de ambas. Capacidade flexível pode ser usada para vários produtos diferentes, mas é menos eficiente. Já a capacidade dedicada pode ser usada para um número limitado de produtos, porém, com mais eficiência.

Chopra e Meindl (2011) definem centro de distribuição como sendo uma camada adicional entre fornecedores e os locais de compra, e possui duas funções diferentes, uma é armazenar o estoque e a outra é servir como local de transferência, pode gerar uma economia na cadeia de suprimentos quando os fornecedores estão longe dos locais de compra e os custos de transporte são elevados. Essa redução de custos na cadeia ocorre porque o centro de distribuição permite envios de grandes carregamentos por parte do fornecedor, gerando economias de escala para o transporte.

De acordo com Chopra e Meindl (2011) a armazenagem é a etapa seguinte ao processo de embalagem e de manuseio, a armazenagem não agrega valor ao produto, exceto quando a qualidade do produto melhora com o tempo, como nos casos de vinhos e uísques.

2.6.2 Armazém

Para Bartholdi e Hackman (2019) existem quatro principais razões pelas quais os armazéns são úteis:

- consolidar produtos em condições de reduzir custos com transporte e melhorar o atendimento ao cliente;
- gerar economias de escala;
- prover serviços de processamento de alto valor agregado
- melhorar o nível de serviço.

Tompkins (2003) acredita que os armazéns continuarão sendo nós importantes das redes logísticas no futuro, pois se essas instalações não conseguirem processar os pedidos dos clientes rapidamente, efetivamente e com precisão, toda a otimização da cadeia de suprimentos estará prejudicada.

Carvalho, Pereira e Geraldes (2012) distinguem dois tipos de armazéns, armazéns de distribuição e armazéns de produção.

Van den Berg and Zjim (1999) apontam que um armazém de distribuição é aquele no qual, produtos de fornecedores diferentes são coletados e as vezes montados para serem entregues a inúmeros clientes. Enquanto armazéns de produção são utilizados para o armazenamento de materiais crus, produtos semiacabados e produtos finalizados na instalação de produção.

Heragu *et al.* (2005) aponta que após a localização do depósito, número e tamanho dos armazéns, pode-se determinar quais áreas de armazenamento devem ser incluídas e o tamanho de cada área, para que um sistema apropriado de manuseio seja escolhido e o armazém projetado. Embora determinar o tamanho de cada área funcional seja um problema de nível estratégico, depende de um problema de nível tático: como os produtos serão distribuídos entre as áreas funcionais do armazém. Assim, uma solução conjunta entre a determinação do tamanho da área final e a alocação de produtos é mais desejável.

Strack e Pochet (2010) apresentaram uma abordagem que integra aspectos como o tamanho das áreas funcionais, a atribuição e alocação de produtos para armazenamento e a decisão de reabastecimento do inventário.

3. PADRÕES DE LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS

De acordo com Bowersox e Closs (2011) deve-se incluir um centro de distribuição em um sistema logístico toda vez que o depósito represente redução de custos ou permita aumentar o nível de serviço oferecido pela cadeia de suprimentos, as quantidades de armazéns necessários e suas respectivas localizações são definidas por diversos fatores como localização de clientes, localizações de fábricas e necessidades de produtos.

Em um sistema logístico, depósitos devem ser construídos apenas quando reduzem custos totais de transporte ou aumentem vendas e o impacto de *marketing*.

3.1 LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS

Bowersox e Closs (2011) apontam que existem três formas de classificação de localização armazéns.

Depósitos localizados em atenção ao mercado tem o objetivo de suprir o estoque dos clientes, situado próximo dos principais clientes tem o intuito de oferecer um elevado nível de serviço, o exemplo clássico deste modelo é o setor alimentício, onde o supermercado mais distante está a no máximo 500 quilômetros do depósito.

Depósitos localizados em atenção à produção, normalmente localizados próximos às fábricas tem como característica atender à produção, situam-se próximos a fábricas pois tem o objetivo de servir como local de consolidação e montagem dos produtos fabricados. Possibilita enviar cargas com diferentes produtos em um caminhão a um mesmo cliente, reduzindo assim, o custo unitário de transporte.

Depósitos localizados em pontos intermediários entre os clientes e as fábricas são indicados para empresas que possuem mais de uma fábrica e produtos de diferentes fábricas devem ser entregues a um mesmo cliente, logo ela

precisa receber produtos diferentes de fábricas diferentes e consolidar as cargas enviá-las aos clientes.

Teoricamente as fábricas com linhas específicas de produtos devem situar-se próximas a fontes de matéria prima ou energia. Porém, algumas empresas descentralizam a produção para reduzir custos. Neste cenário, quando produtos de diferentes fábricas precisam ser consolidados e enviados a um mesmo cliente, recomenda-se que o depósito situe-se em posição intermediária.

3.2 ECONOMIAS DE TRANSPORTE

Segundo Bowersox e Closs (2011), depósitos devem ser inseridos em um sistema logístico, apenas, quando proporcionem incrementos no nível de serviço ou redução de custos totais na cadeia de suprimentos. Do ponto de vista do transporte esta economia existe quando os pedidos dos clientes são pequenos, e portanto, há necessidade de consolidação de cargas.

Como pode ser observado na Figura 12, a reta A-B determina o custo unitário de transporte de carga consolidada, do local de produção (LP) até a localização do centro de distribuição (LD). O eixo horizontal representa a distância percorrida e o eixo vertical o custo logístico.

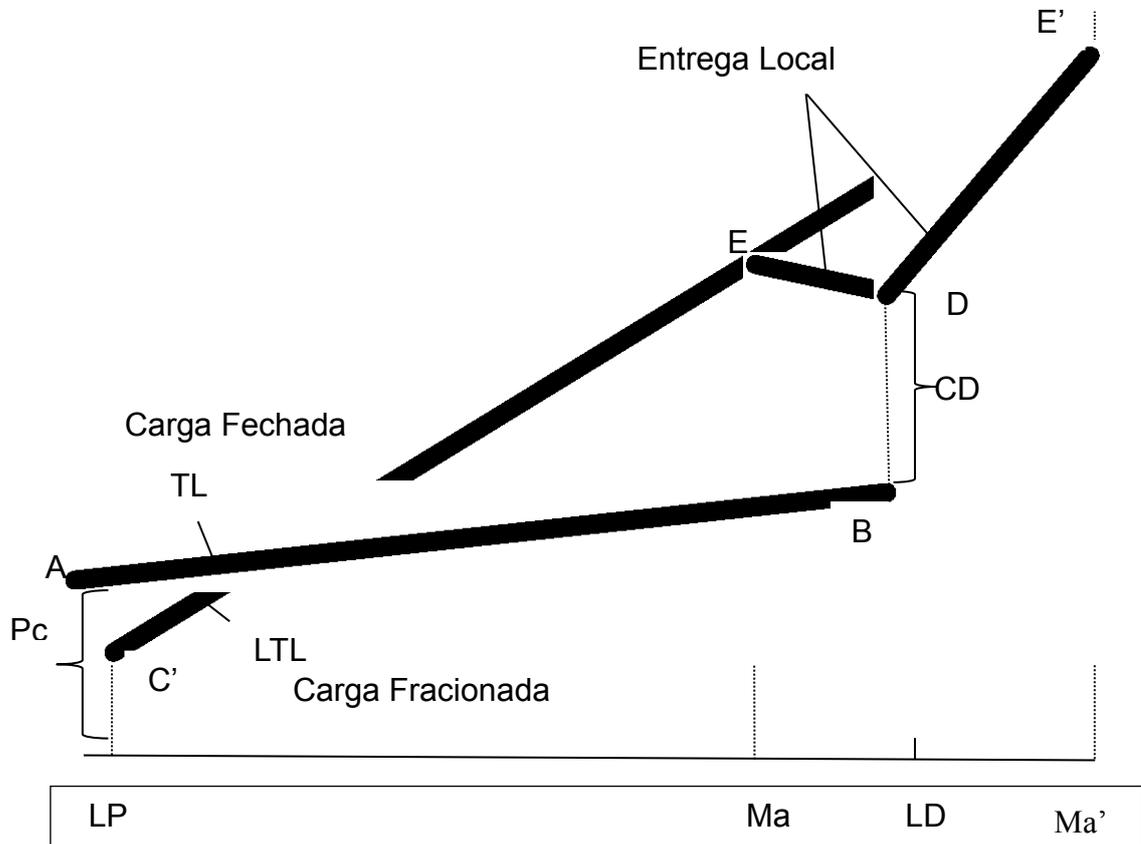
Na Figura 12, CD indica o custo de armazenamento da carga, as retas D-E e D-E' indicam o custo de transporte de entrega local unitário entre o centro de distribuição e a região atendida (Ma-Ma').

As retas C'-E e C'-E' apontam o custo de transporte de carga fracionada entre o local de produção e a região atendida (Ma-Ma').

Pc é o custo de processamento de carga consolidada, enquanto LP-C' é o custo de processamento de carga fracionada.

É possível perceber que a carga fracionada tem um custo inicial mais baixo, à medida que a distância de transporte aumenta, o custo de transporte aumenta mais do que o custo de transporte de carga consolidada, para que um centro de distribuição seja viável, o custo de armazenagem precisa ser inferior a B-D.

Figura 12 - Custos logísticos sem centro de distribuição e com centro de distribuição



Fonte: Bowersox e Closs (2011)

3.3 MINIMIZAÇÃO DE CUSTOS DE TRANSPORTE

De acordo com Bowersox e Closs (2011), os depósitos são incluídos em um sistema logístico quando a relação da Equação 3.1 é respeitada:

$$\sum \frac{P_{\bar{v}} + T_{\bar{v}}}{N_{\bar{x}}} + W_{\bar{x}} + L_{\bar{x}} \leq \sum P_{\bar{x}} + T_{\bar{x}} \quad (3.1)$$

Em que:

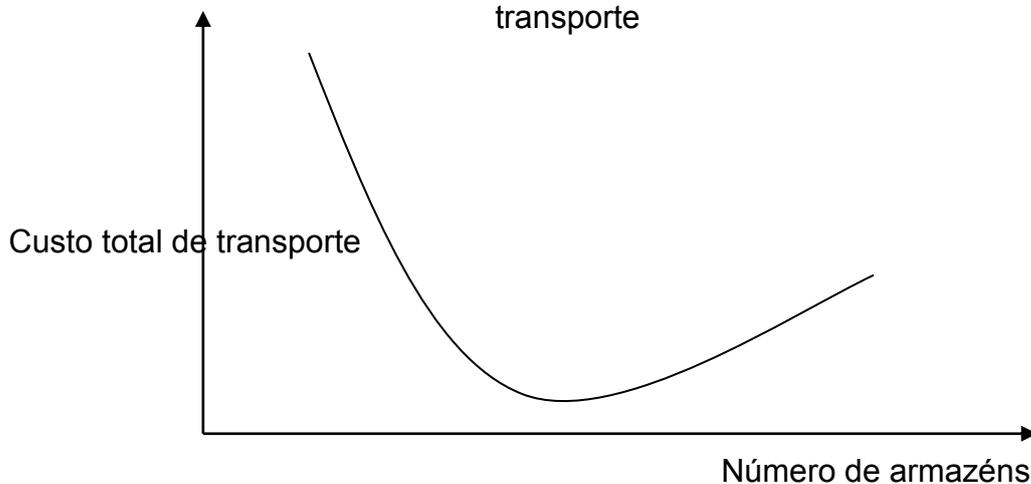
- $P_{\bar{v}}$ = custo de processamento de carga consolidada;
- $T_{\bar{v}}$ = custo de transporte de carga consolidada;
- $W_{\bar{x}}$ = custo de armazenagem de carga média;
- $L_{\bar{x}}$ = entrega local de carga média;

- $N_{\bar{x}}$ = numero de cargas medias por carga consolidada;
- $P_{\bar{x}}$ = custo de processamento de carga média;
- $T_{\bar{x}}$ = custo direto de frete de carga média.

Se os custos de armazenagem, transporte e transporte local somados forem inferiores ao custo de expedição direta aos clientes, há justificativa para a implantação do depósito. Na equação (3.1) o único custo fixo apresentado é o custo de armazenagem, logo o volume deve ser suficientemente elevado para cobrir estes custos.

O custo total de transporte diminui à medida que novas instalações de consolidação são incrementadas a rede logística, até que se obtenha consolidação máxima, a partir de então o custo com transporte volta a aumentar, pois o volume de produtos capaz de ser consolidado diminui, como pode ser observado na Figura 13.

Figura 13 - Relação entre o número de centros de distribuição e custos com transporte



Fonte: Bowersox e Closs (2011)

3. 4 DESCONTO POR QUANTIDADE

Segundo Ballou (2006) a teoria econômica demonstra que quanto maior a quantidade de produtos envolvidos em uma mesma transação, menor será o custo unitário. Princípio conhecido como economias de escala.

Esse princípio tem estimulado muitas empresas a incentivar a compra por volume como uma estratégia para oferecer preços mais baixos e aumentar a

vendas. O comprador se beneficia por que reduz seu custo de aquisição, já o fornecedor aumenta seu lucro motivado pelo incremento das vendas.

De acordo com o autor inúmeras leis estão sendo promulgadas para coibir essa prática, sob alegação de que é ilegal discriminar preços entre clientes diferentes, resultando em diminuição de concorrência e a criação de monopólios. Descontos por quantidade são justificados pela economia de custos obtida na produção, venda e métodos de entrega.

4 PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA

A programação matemática é uma técnica muito difundida e utilizada para lidar com problemas de alocação de recursos limitados entre atividades concorrentes, bem como outros problemas com uma formulação matemática semelhante.

Tornou-se uma ferramenta padrão de grande importância para inúmeras empresas e organizações industriais. Além disso, grande parte das organizações estão preocupadas em alocar recursos em algum contexto, e há um reconhecimento crescente da aplicabilidade extremamente ampla dessa técnica.

Um modelo matemático de otimização em geral pode ser representado pelas Equações (4.1)-(4.4).

$$\text{Minimizar } Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (4.1)$$

Sujeito às restrições:

$$g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \sim b_1 \quad (4.2)$$

⋮

$$g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \sim b_m \quad (4.3)$$

$$x_j \geq 0, j = 1, \dots, n \quad (4.4)$$

As variáveis x_j representam as quantidades variáveis utilizadas, $j = 1, \dots, n$, $Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ representa a medida de desempenho a ser otimizada, e $g(x_1, x_2, \dots, x_n)$ funções que definem as restrições do problema e b_i representam a quantidade disponível do recurso i , $i = 1, \dots, m$. O termo (\sim) pode assumir as nomenclaturas $<$, \leq , $=$, $>$ ou \geq .

Dependendo da definição das funções f e g , este modelo pode ser classificado como de programação linear (PL) ou de programação não linear (PNL). Quando as variáveis x_j são declaradas inteiras e f e g são funções

lineares, diz-se que o modelo definido pelas Equações (4.1)-(4.4) representa um problema de programação linear inteira (PLI).

Para Colin (2007) um bom modelo é aquele que consegue representar as principais características do sistema a ser otimizado, gerando uma solução que facilita muito a tomada de decisões com a maior simplicidade possível. Um modelo simples com 95% de precisão é preferível em relação a um modelo sofisticado, mesmo que esse último tenha mais precisão.

A programação matemática determina a solução ótima, caso exista, para o problema (4.1)-(4.4). Os métodos de solução considerados na programação matemática levam em consideração as características das funções e das variáveis que a definem.

4.1 PROGRAMAÇÃO LINEAR

A função objetivo é uma função matemática que representa o principal objetivo do tomador de decisão, pode ser de minimização, quando se quer minimizar algum valor, ou de maximização, quando tem o objetivo de maximizar algo.

Uma função é dita função linear se assume a forma da Equação (4.5), em que (x_1, x_2, \dots, x_n) representa as variáveis de decisão do problema e $C = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ são parâmetros constantes.

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (4.5)$$

As restrições são limitações dos recursos e atividades associadas ao modelo, ou regra do que deve (ou não) ser cumprido ou realizado.

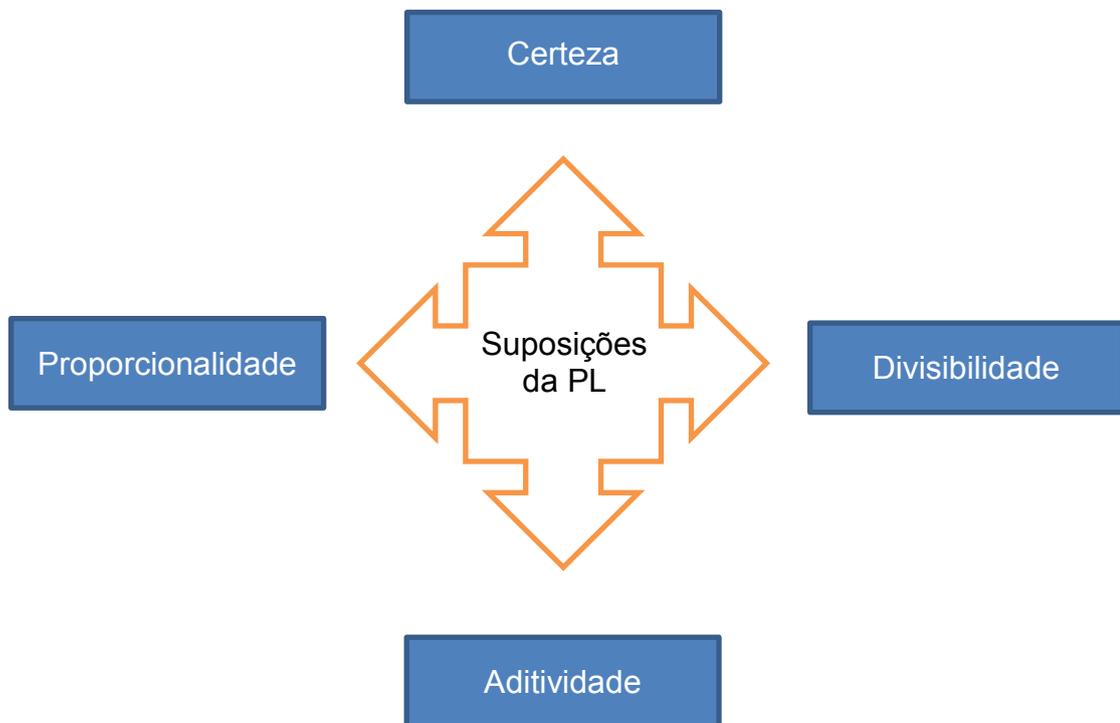
O modelo de programação linear deve ser resolvido por um algoritmo que resolva problemas de programação linear. O método mais conhecido deles é o Algoritmo Simplex (Colin, 2007).

Na programação linear o termo solução indica valores atribuídos as variáveis de decisão, fazendo com que existam soluções viáveis, inviáveis e ótimas, em que:

- Solução viável é aquela cujas variáveis de decisão atendem a todas as restrições. Na solução inviável os valores das variáveis de decisão fazem com que pelo menos uma das restrições não seja atendida.
- Solução ótima é uma solução que garante um valor extremo da função-objetivo, no caso de uma função de minimização, o menor valor dentre todos os possíveis. E o maior valor possível no caso de uma função de maximização.

Para Colin (2007) existem quatro características que são necessárias para um problema de programação linear, que são: divisibilidade, aditividade, proporcionalidade e certeza. Como explicitado na Figura 14.

Figura 14 - Suposições da programação linear



Fonte: Colin (2007) - Adaptado

A divisibilidade indica que as variáveis podem ser divididas em qualquer nível fracional, ou seja, as variáveis podem ter valores fracionados. Esta suposição implica que caso haja exigência de que as variáveis sejam inteiras, invalida a utilização da programação linear. No caso, por exemplo, em que as variáveis sejam o número de caminhões de uma frota, esse número deve ser inteiro e portanto a programação linear não pode ser utilizada. Neste caso, indica-se o uso da PLI, discutida na próxima seção.

A suposição da aditividade representa que os relacionamentos entre as variáveis são sempre adições e subtrações, e nunca outras operações. Isto implica que não pode haver relações de dependência (funcionais) entre as variáveis. Preço e quantidade vendida normalmente estão inter-relacionados, e um modelo que queira maximizar o lucro não pode utilizá-los tendo em vista que possuem relacionamentos multiplicativos entre as variáveis.

A necessidade da proporcionalidade significa que as contribuições de cada variável de decisão são proporcionais ao valor da variável de decisão, As variáveis de decisão contribuem tanto na função-objetivo como nas restrições.

A suposição de certeza indica que todos os parâmetros utilizados no modelo são conhecidos, quando essas suposições não são verdadeiras, em casos de eventos futuros, usa-se a análise de sensibilidade para alterar os parâmetros. A análise de sensibilidade identifica como a solução ótima varia quando ocorrem alterações nos parâmetros.

4.2 PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA

De acordo com Colin (2007) a modelagem de problemas de programação linear inteira é semelhante à modelagem de problemas de programação linear, exceto que pelo menos parte das variáveis de decisão pode assumir valores inteiros genéricos, ou números inteiros do tipo 1 e 0, podendo inclusive, indicar respostas sim e não, ou presença e ausência, ou verdadeiro e falso.

Colin (2007) indica três classificações possíveis para problemas de programação inteira:

- Problemas de programação inteira pura, todas as variáveis são inteiros genéricos;
- Problemas de programação inteira mista, parte das variáveis são inteiros e parte das variáveis são contínuas;
- Problemas de programação inteira com variáveis 0-1, todas as variáveis assumem valores 0 ou 1.

Assim, um problema de programação inteira pode ser encarado como um problema de programação linear com uma restrição de que as variáveis devem ser inteiras.

4.3 PROGRAMAÇÃO NÃO LINEAR

4.3.1 Otimização irrestrita

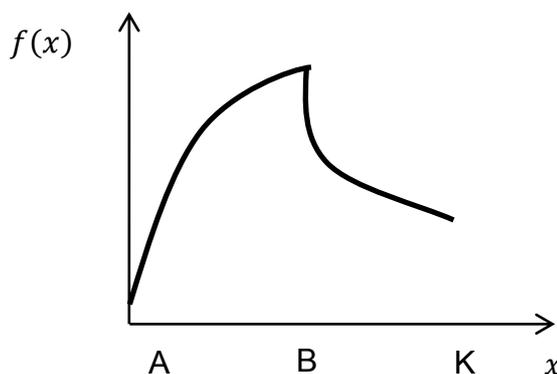
Em problemas de otimização irrestrita o valor da função é buscado em todo o domínio da função, não existem restrições em relação às variáveis independentes, ou seja, as Equações (4.2) e (4.3) inexistem. Em modelagem de problemas de otimização restrita a determinação do ponto de máximo ou de mínimo, é restringido por um conjunto de restrições em relação às variáveis independentes.

4.3.2 Pontos ótimos

Colin (2007) aponta que os pontos ótimos dividem-se em dois grupos: ótimos locais e ótimos globais. Um ponto de ótimo local é um ponto que está relacionado em um ponto extremo de sua redondeza, já um ponto de ótimo global é um ponto de ótimo local, e além disso, é o maior ponto no caso de uma função de maximização, e o menor no caso de uma função de minimização dentre todos os pontos ótimos locais existentes.

Como pode ser observado na Figura 15, o ponto A é um mínimo local, como ele também é o menor mínimo local ele também é mínimo global. O ponto B é um máximo local. E como ele é o maior entre todos os máximos locais, ele também é um ponto de máximo global.

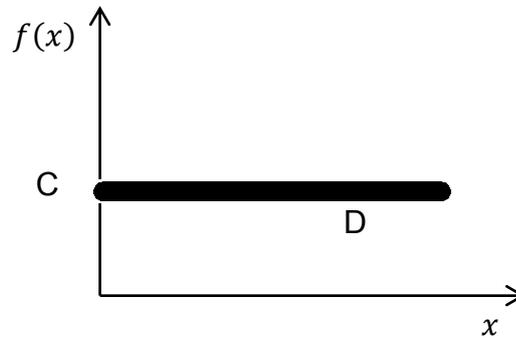
Figura 15 – Ótimo local e global



Fonte: Adaptado de Colin (2007)

Já na Figura 16 qualquer ponto da função é tanto máximo e mínimo, tanto local como global, pois a função é constante.

Figura 16 – Função constante



Fonte: Adaptado Colin (2007)

De acordo com Colin (2007), para uma função derivável $f(X^*)$, um ponto estacionário $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ é encontrado pela solução da Equação (4.6), em que o ponto estacionário pode ser o ponto de máximo, de mínimo ou um ponto de inflexão.

As derivadas tem um papel fundamental na obtenção de ótimos. Num ponto ótimo duas podem acontecer com as derivadas:

- A função não é derivável porque é descontínua ou é um canto;
- A derivada da função é igual a zero.

De acordo com Colin (2007), para uma função derivável $f(X^*)$, um ponto estacionário $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ é encontrado pela solução da Equação (4.6), em que o ponto estacionário pode ser o ponto de máximo, de mínimo ou um ponto de inflexão.

$$f'(X^*) = 0 \quad (4.6)$$

Para analisar se um ponto estacionário é de mínimo, de máximo ou de inflexão utiliza-se a Equação (4.7) e a Equação (4.8).

$$f''(X^*) < 0 \quad (4.7)$$

$$f''(X^*) > 0 \quad (4.8)$$

Então diz-se que X^* é um ponto de máximo se a Equação (4.7) for satisfeita, e será um ponto de mínimo se a Equação (4.8) for satisfeita.

Para problemas irrestritos cuja função objetivo é côncava garante-se que um mínimo local também é mínimo global. Da mesma forma, se função objetivo é convexa, garante-se que um máximo local também é máximo global.

4.3.3 Funções com múltiplas variáveis

Para problemas de múltiplas variáveis a otimização é análoga ao caso de funções com uma única variável. Um ponto estacionário indicado pela Equação (4.9) de uma função de múltiplas variáveis contínuas e suave, representada pela Equação (4.10).

$$X = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) \quad (4.9)$$

$$f(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) \quad (4.10)$$

Encontrado pelo sistema formado pela Equação (4.11), Equação (4.12) e Equação (4.13).

$$\frac{\partial}{\partial x_1} f(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) \quad (4.11)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_2} f(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) \quad (4.12)$$

$$\vdots$$

$$\frac{\partial}{\partial x_n} f(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) \quad (4.13)$$

Usualmente chama-se o vetor das derivadas parciais f de vetor gradiente de f , representado por ∇f .

$$\nabla f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1}, \frac{\partial f}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial f}{\partial x_n} \right) \quad (4.14)$$

A solução da Equação $\nabla f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \vec{0}$ indica os pontos estacionários de f , sendo, portanto, uma condição necessária.

Para analisar a natureza dos pontos estacionários obtidos na equação acima, deve-se analisar as segundas derivadas de f nestes pontos. Para isso, considera-se a matriz das segundas derivadas, a matriz Hessiana de f , definida pela Equação (4.15).

$$\nabla^2 f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_2} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n^2} \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

Uma função $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ é estritamente côncava se, e somente se sua matriz Hessiana $n \times n$ é negativa definida para todos os valores possíveis de x_1, x_2, \dots, x_n , analogamente, Uma função $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ é estritamente convexa se, e somente se sua matriz Hessiana $n \times n$ é positiva definida para todos os valores possíveis de x_1, x_2, \dots, x_n .

Uma matriz é definida positiva se, e somente se puder ser reduzida a uma matriz triangular superior com os termos da diagonal principal todos positivos, apenas utilizando as operações elementares sobre linhas.

Uma condição suficiente para o ponto estacionário ser um mínimo, é que matriz hessiana, H , avaliada neste ponto seja positiva definida. Da mesma forma, uma condição suficiente para um ponto estacionário ser um máximo, é que a matriz hessiana, H , avaliada neste ponto seja negativa definida.

5. APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA

Como apresentado no capítulo 4 a programação matemática pode ser uma importante ferramenta na tomada de decisão nas organizações. Na área de negócios é muito comum a utilização dessa alternativa para identificação e resolução de problemas de localização de fábricas, armazéns, centros de distribuição, torres de distribuição telefônica, entre outros. Auxilia também, na otimização e minimização de custos logísticos dos mais variados tipos, como transporte, armazenagem e distribuição.

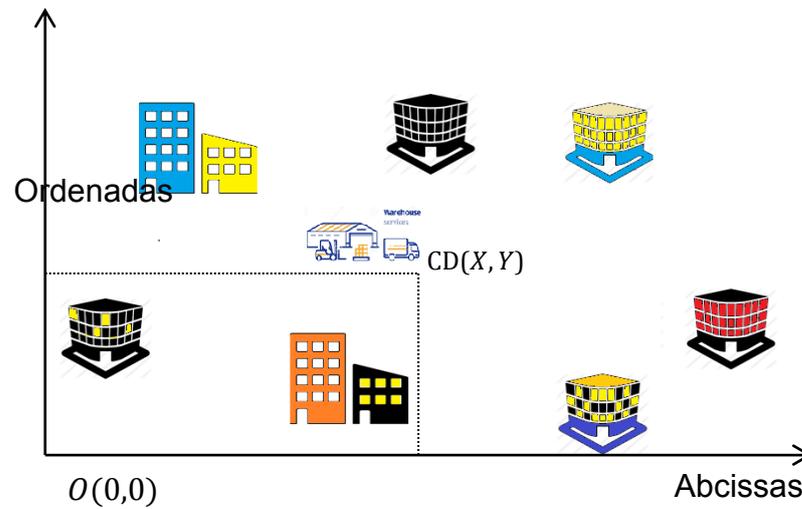
Neste capítulo será desenvolvido uma ferramenta que utiliza programação matemática para determinar a localização ótima do centro de distribuição e um modelo de otimização de custos logísticos para a empresa em estudo.

5.1 MODELO DE LOCALIZAÇÃO ÓTIMA DO CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO

Para um problema de localização ótima de um centro de distribuição de uma construtora, uma das medidas de desempenho a ser otimizada pode a distância total entre o centro de distribuição e as localizações das obras que estão sendo realizadas e as construções previstas, pois podem reduzir consideravelmente o custo com transporte.

Nesta etapa será apresentado um modelo de programação não linear que determinará a localização ótima do centro de distribuição. Será considerado o sistema das coordenadas geográficas para indicar a localização dos empreendimentos. A Figura 17 apresenta um eixo coordenado com o centro de distribuição e as obras.

Figura 17 – Imagem representativa do centro de distribuição e empreendimentos



Fonte: O autor (2019)

Dado que a distância entre dois pontos $P_1(X_1, Y_1)$ e $P_2(X_2, Y_2)$ é calculada pela Equação (5.1),

$$D(P_1 - P_2) = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2}, \quad (5.1)$$

e considerando-se que as localizações dos n empreendimentos são indicadas pelas coordenadas (X_i, Y_i) , $i = 1, \dots, n$, e considerando que:

X – latitude do centro de distribuição;

Y – longitude do centro de distribuição;

então, a função objetivo do modelo que consiste na minimização da soma das distâncias entre os empreendimentos e o centro distribuição, pode ser representada pela Equação (5.2).

$$\text{Min } D(X, Y) = \sum_{i=1}^n \sqrt{(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2} \quad (5.2)$$

Como a função $D(X, Y)$ é não linear, o problema resultante é de programação não linear.

Por se tratar de um problema irrestrito, para avaliar a otimalidade da solução obtida, basta estudar a convexidade/concavidade da função objetivo.

5.1.1 Método de solução

Para determinar a solução do modelo (5.2) será apresentada uma ferramenta que considera planilhas em Excel e o Otimizador Solver. (Solver, 2019)

Como ilustrado na Figura 18, primeiramente são incluídas, para todos os empreendimentos, suas respectivas coordenadas de latitude e longitude (células B3:C9). Neste caso, considerou-se sete empreendimentos indicados pela construtora, como ilustrado nas células A3:A9.

Figura 18 – Modelo de Localização ótima no Excel – Coordenadas

	A	B	C	D	E
1		Cordenadas			
2		Empreendimento	latitude	longitude	Distância Euclidiana empreendimento até CD (KM)
3		EMPREENHIMENTO 1	-26,773637	-48,660819	
4		EMPREENHIMENTO 2	-26,318866	-48,862065	
5		EMPREENHIMENTO 3	-26,311807	-48,83559	
6		EMPREENHIMENTO 4	-26,758726	-48,676383	
7		EMPREENHIMENTO 5	-26,722125	-48,683123	
8		EMPREENHIMENTO 6	-26,507959	-49,113812	
9		EMPREENHIMENTO 7	-26,629421	-48,706721	
10					
11		LOCALIZAÇÃO ótima CD			
12					
13		Distância Euclidiana mínima			
14					
15		Distância mínima			

Fonte: O autor (2019)

As células variáveis estão definidas em B11:C11.

A Função objetivo dada pela Equação (5.2) é representada na Célula B13 (Figura 18), na qual B13= SOMA(D3:D9).

As células D3:D9 determinam a distância de cada empreendimento ao CD (X, Y), e utiliza a fórmula (5.1), como detalhado na Figura 19.

Figura 19 – Modelo de Localização ótima no Excel – Distância

	A	B	C	D	E
1		Cordenadas			
2		Empreendimento	latitude	longitude	Distância Euclidiana empreendimento até CD (KM)
3		EMPREENHIMENTO 1	-26,773637	-48,660819	$=(((B3-\$B\$11)^2)+((C3-\$C\$11)^2))^0,5$
4		EMPREENHIMENTO 2	-26,318866	-48,862065	
5		EMPREENHIMENTO 3	-26,311807	-48,83559	
6		EMPREENHIMENTO 4	-26,758726	-48,676383	
7		EMPREENHIMENTO 5	-26,722125	-48,683123	
8		EMPREENHIMENTO 6	-26,507959	-49,113812	
9		EMPREENHIMENTO 7	-26,629421	-48,706721	

Fonte: O autor (2019)

O modelo determina a distância em linha reta, é preciso transformar a distância euclidiana em uma distância entre dois pontos sobre a superfície de uma esfera, para isso, utiliza-se a fórmula de Haversine, baseada na Lei dos Cossenos, como indicado na célula E3 na Figura 21 (ROA, 2017).

A fórmula de Haversine é muito usada em navegação, fornece a distância entre dois pontos sobre uma esfera, a partir de suas latitudes e longitudes.

Figura 20 – Fórmula de Haversine

f _x =6371*ACOS(COS(RADIANOS(90-C3))*COS(RADIANOS(90-\$C\$11))+SEN(RADIANOS(90-C3))*SEN(RADIANOS(90-\$C\$11))*COS(RADIANOS(B3-\$B\$11)))								
	B	C	D	E	F	G	H	I
Cordenadas								
o	latitude	longitude	Distância Euclidiana empreendimento até CD (KM)	Distância Rodoviária empreendimento até CD (KM)				
	-26,773637	-48,660819	0,143529166	=6371*ACOS(COS(RADIANOS(90-C3))*COS(RADIANOS(90-\$C\$11))+SEN(RADIANOS(90-C3))*SEN(RADIANOS(90-\$C\$11))*COS(RADIANOS(B3-\$B\$11)))				
	-26,318866	-48,862065	0,35400464					
	-26,311807	-48,83559	0,35027010					
	-26,758726	-48,676383	0,124339					
	-26,722125	-48,683123	0,08746651					
	-26,507959	-49,113812	0,42227225					
	-26,629421	-48,706721	0,01194401					

Fonte: O autor (2019)

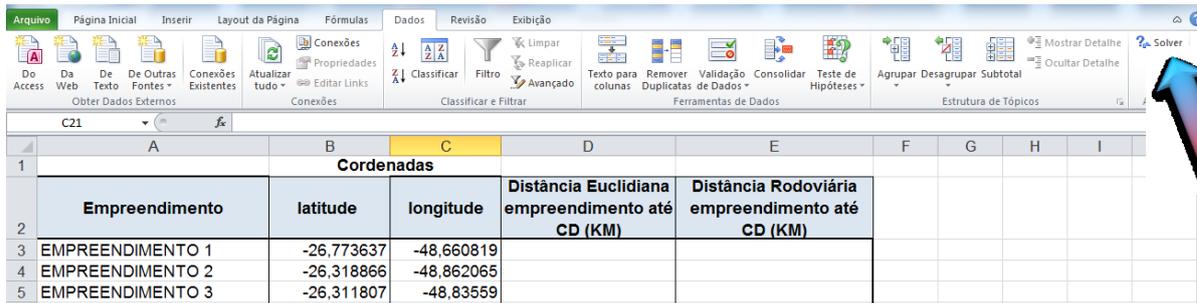
Ou seja, E3 =6371*ACOS(COS(RADIANOS(90-C3))*COS(RADIANOS(90-\$C\$11))+SEN(RADIANOS(90-C3))*SEN(RADIANOS(90-\$C\$11))*COS(RADIANOS(B3-\$B\$11))).

Considerou-se que o raio do planeta da Terra é de seis mil trezentos e setenta e um quilômetros, de acordo com dados do Departamento de Astronomia do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2016).

Assim define-se a função objetivo (distância rodoviária) em B15=SOMA(E3:E9) (Figura 18).

Para obter a solução do modelo proposto utiliza-se o suplemento Solver do Excel, localizado na aba Dados, como destacado na Figura 21.

Figura 21 – Otimizador Solver

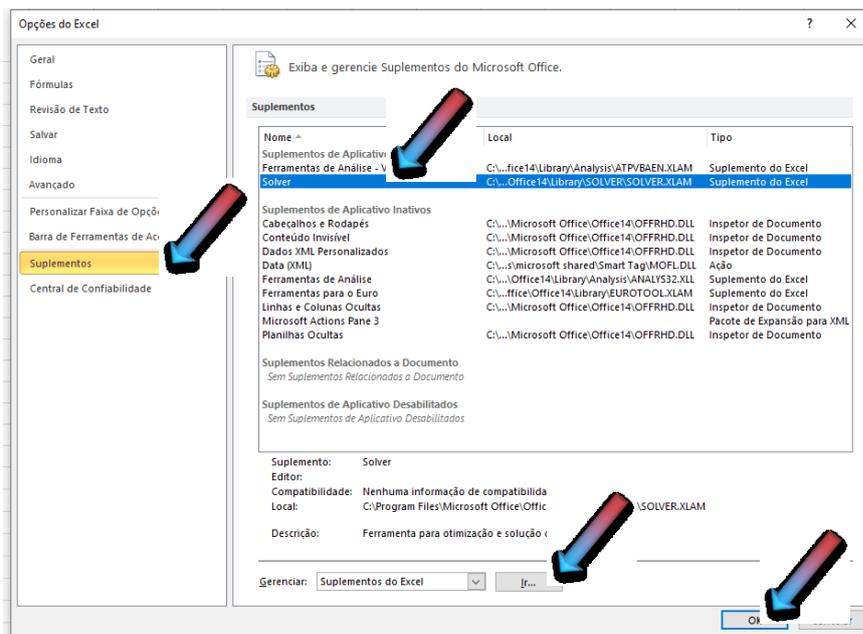


		Cordenadas							
	Empreendimento	latitude	longitude	Distância Euclidiana empreendimento até CD (KM)	Distância Rodoviária empreendimento até CD (KM)				
3	EMPREENDIMENTO 1	-26,773637	-48,660819						
4	EMPREENDIMENTO 2	-26,318866	-48,862065						
5	EMPREENDIMENTO 3	-26,311807	-48,83559						

Fonte: O autor (2019)

Caso o Solver não esteja instalado no Excel é necessário instalá-lo. Isso pode ser feito seguindo os o caminho: Mais Comandos – > Opções do Excel – > Suplementos – > Solver – > Ir – > Ok, como indicado na Figura 22.

Figura 22 – Instalação do Solver



Fonte: O autor (2019)

Para finalizar, clica-se em Solver, escolhe-se a função objetivo para minimização, neste caso dado pela célula B15, indica-se as células variáveis, B11:C11, e escolhe-se o Método de Solução GRG Não Linear, e escolhe-se a opção Resolver, como indicado na Figura 23.

Figura 23 – Parâmetros do Solver

Fonte: O autor (2019)

Destaca-se que é de fundamental importância não tornar as variáveis irrestritas não negativas, já que é possível que possua valores negativos.

A solução ótima é então retornada na Planilha, como destacado na Figura 24.

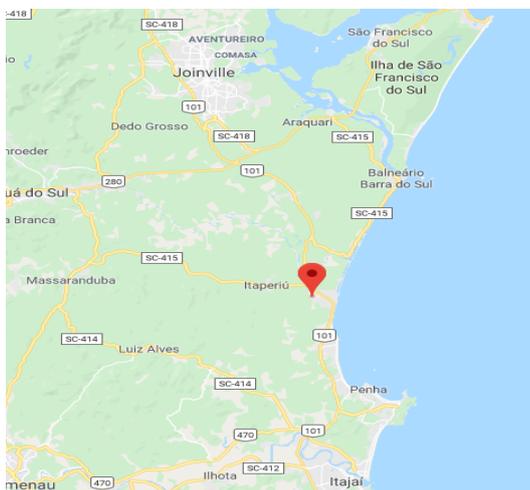
Figura 24 – Localização ótima

	A	B	C	D	E
1		Cordenadas			
2	Empreendimento	latitude	longitude	Distância Euclidiana empreendimento até CD (KM)	Distância Rodoviária empreendimento até CD (KM)
3	EMPREENDIMENTO 1	-26,773637	-48,660819	0,143529166	11,39071999
4	EMPREENDIMENTO 2	-26,318866	-48,862065	0,354004642	28,78944024
5	EMPREENDIMENTO 3	-26,311807	-48,835559	0,350270103	27,65078205
6	EMPREENDIMENTO 4	-26,758726	-48,676383	0,1243398	9,615701831
7	EMPREENDIMENTO 5	-26,722125	-48,683123	0,087466512	6,876769885
8	EMPREENDIMENTO 6	-26,507959	-49,113812	0,42227226	45,63606171
9	EMPREENDIMENTO 7	-26,629421	-48,706721	0,011944017	1,006542354
10					
11	LOCALIZAÇÃO ótima CD	-26,63979171	-48,7126462		
12					
13	Distância Euclidiana mínima	1,4938265			
14					
15	Distância mínima	130,9660181			

Fonte: O autor (2019)

A melhor localização para o centro de distribuição determinada com a solução do modelo proposto possui coordenadas $(X,Y) = (-26,63979171, -48,7126462)$, como ilustrado na Figura 25.

Figura 25 – Localização ótima do CD para 7 empreendimentos



Fonte: Google Maps (2019)

Ressalta-se que o modelo considerou a localização ótima considerando-se que o número de viagens entre os empreendimentos e o centro de localização é o mesmo.

Para o caso e que o número de viagens é proporcional ao tamanho dos empreendimentos, deve-se considerar esse fator de proporcionalidade na função objetivo.

Assim, o segundo modelo considera a quantidade de viagens demandada por cada empreendimento. No entanto, como não foi possível levantar dados para os sete empreendimentos, considerou-se apenas os cinco primeiros empreendimentos indicados nas células A3:A7 na Figura 24.

Para esses empreendimentos, considerando-se uma curva ABC, foram identificados os dez produtos com maior impacto nos custos das obras e acrescentado um peso no modelo, de acordo com a participação de cada obra, como indicado na Tabela 1.

De maneira geral, esses dez produtos com maior custo em cada obra, representa algo em torno de 40% dos custos entre os materiais que deverão ser alojados no centro de distribuição.

Determinou-se a quantidade demandada de viagens por empreendimento considerando-se a Equação (5.3),

$$V_i = \frac{Q_i}{C}, \quad (5.3)$$

em que:

- C representa a capacidade do caminhão em quilogramas, que é de vinte toneladas;
- V_i a quantidade de viagens demandada por cada empreendimento a partir do CD;
- Q_i indica o somatório das massas, em quilogramas, dos dez materiais com maior impacto no custo de cada empreendimento, para $i = 1, \dots, 5$.

As quantidades de viagens V_i de cada empreendimento foram divididas pela quantidade de viagens do empreendimento com menor número de viagens demandadas, resultando em pesos P_i , como indicado pela Tabela 1.

Tabela 1 – Pesos dos empreendimentos

Empreendimentos	Pesos P_i	Quantidade de viagens V_i
Empreendimento 1	1	13,4589123
Empreendimento 2	2,192227161	29,5049931
Empreendimento 3	6,515438967	87,69072165
Empreendimento 4	1,259282702	16,94857545
Empreendimento 5	4,219805675	56,7939945
TOTAL		204,397197

Fonte: O autor (2019)

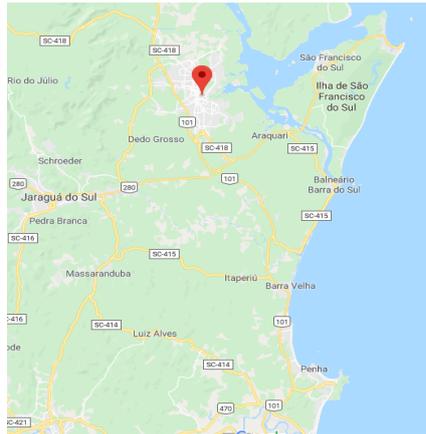
Assim, para calcular a localização ótima do centro de distribuição levando-se em consideração a dimensão de cada empreendimento, os pesos P_i foram acrescentados a Equação (5.2), resultando na Equação (5.4).

$$\text{Min } D(X, Y) = \sum_{i=1}^5 P_i \times \sqrt{(X - X_2)^2 + (Y - Y_2)^2} \quad (5.4)$$

A melhor localização para o centro de distribuição considerando-se o peso proporcional ao tamanho do empreendimento, foi $(X, Y) = (-26,3118208, -48,83558729)$, como representado na Figura 26. Já a

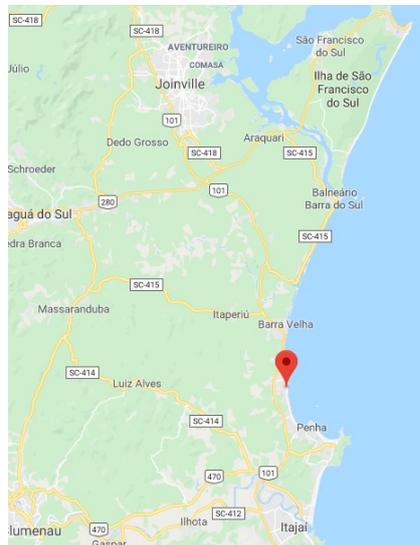
localização ótima para o centro de distribuição considerando apenas as localizações dos cinco empreendimentos, sem considerar as dimensões dos mesmos ($P_i = 1$, para todos os empreendimentos), foi $(X, Y) = (-26,7219419, -48,68330276)$, como indicado na Figura 27.

Figura 26 – Localização ótima ponderada do CD para 5 empreendimentos



Fonte: Google Maps (2019)

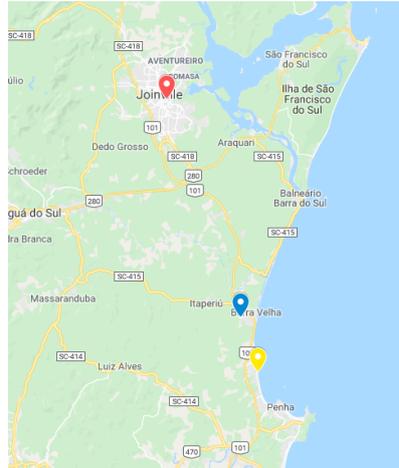
Figura 27 - Localização ótima simples do CD para 5 empreendimentos



Fonte: Google Maps (2019)

Na Figura 28 estão dispostas as localizações ótimas para o centro de distribuição para os dois cenários com cinco obras (simples e ponderado) e o cenário com sete empreendimentos (simples).

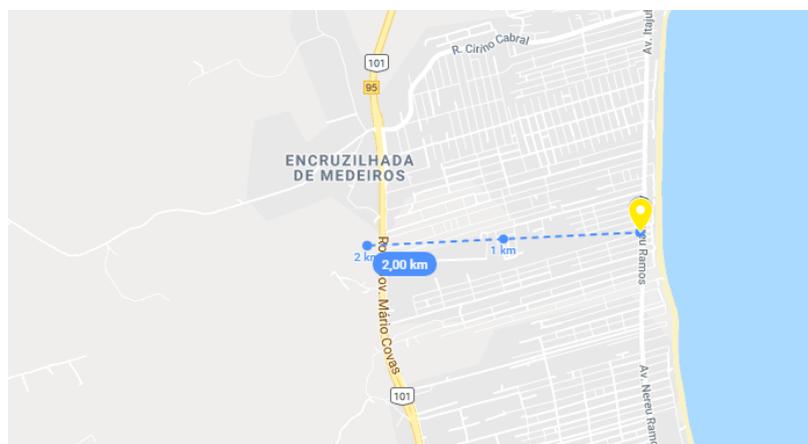
Figura 28 – Disposição dos cenários possíveis



Fonte: Google Maps (2019)

O marcador amarelo representa a localização ótima (não ponderada) do centro de distribuição para o cenário com cinco empreendimentos. O marcador vermelho indica a localização ótima (ponderada) do centro de distribuição considerando-se cinco empreendimentos. Já o marcador azul indica o cenário para sete empreendimentos. No cenário indicado pelo marcador amarelo a localização ótima é muito próxima à praia, muito provavelmente, se a empresa optasse por esse cenário, teria que deslocar a localização do centro de distribuição por dois quilômetros em direção a BR-101, conforme Figura 29, devido ao alto custo que seria implantar um armazém próximo à praia.

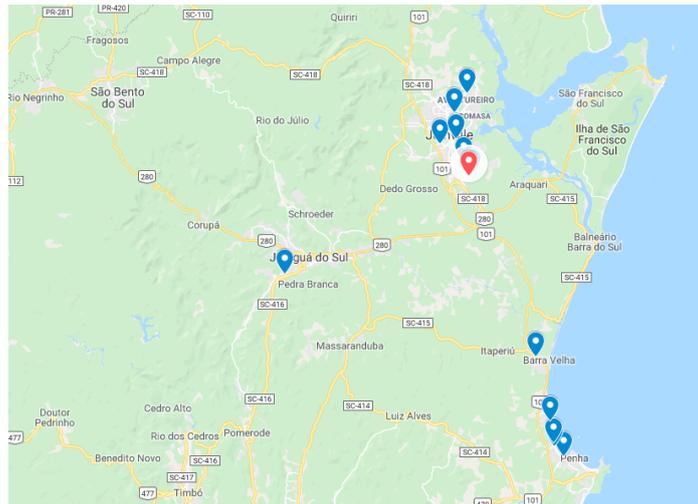
Figura 29 – Localização deslocada do centro de distribuição com cinco empreendimentos



Fonte: Google Maps (2019)

A construtora realiza obras em doze localizações diferentes. Assim, de acordo com o modelo proposto, é possível obter a localização ótima para esse caso, considerando-se que todos os empreendimentos demandem o mesmo número de viagens, como indicado na Figura 30.

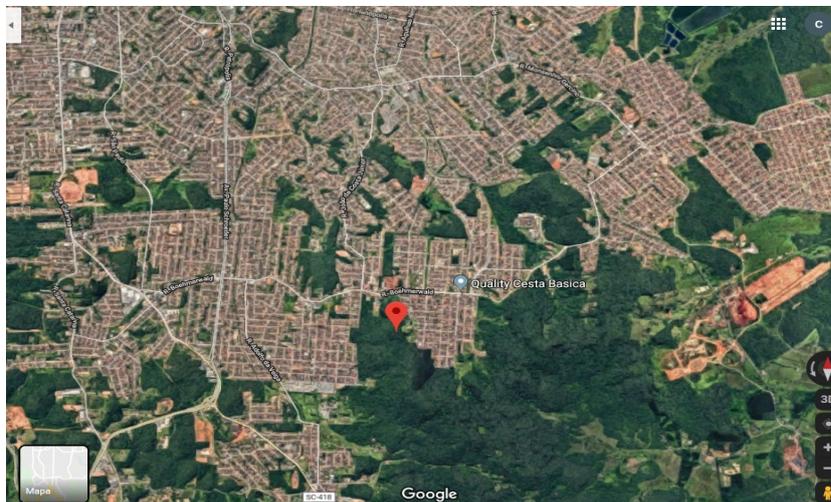
Figura 30 – Localização ótima de CD para 12 empreendimentos



Fonte: Google Maps (2019)

Como a localização ótima indicada pela solução do modelo está situada em uma região de proteção ambiental, representada pela Figura 31 sugere-se que a localização a ser indicada seja alterada para as coordenadas $(X,Y) = (-26,374507, -48,855546)$, localizada na rodovia BR-101, como indicada na Figura 32.

Figura 31 – Foto de satélite cidade de Joinville com a localização ótima para 12 empreendimentos



Fonte: Google Maps (2019)

Figura 32 – Foto satélite com a localização escolhida



Fonte: Google Maps

A Tabela 2 indica os quatro cenários possíveis.

Tabela 2 – Cenário Possíveis

Cenários	Latitude	Longitude
Sete obras (simples)	-26,63979171	-48,7126462
Cinco obras (simples)	-26,7219419	-48,68330276
Cinco obras (ponderada)	-26,3118208	-48,83558729
Doze obras (simples)	-26,374507	-48,855546

Fonte: O autor (2019)

5.1.2 Verificação da otimalidade das soluções

Como apresentado na seção 4.3.3, por se tratar de um problema de programação não linear, é necessário verificar se as soluções obtidas cumprem as condições de otimalidade para problemas irrestritos.

Para isso, será necessário verificar se a matriz Hessiana aplicada nos pontos obtidos são matrizes definidas positivas.

Por se tratar de uma função de duas variáveis, tem-se que a matriz Hessiana para a função objetivo considerada, é da forma:

$$\nabla^2 f(X, Y) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial X^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial X \partial Y} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial X \partial Y} & \frac{\partial^2 f}{\partial Y^2} \end{bmatrix}.$$

Assim, tendo em vista que:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial X^2} = \sum_{i=1}^n \frac{-(X - X_i)}{\sqrt[3]{(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2}} + \frac{1}{\sqrt{(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2}}$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial X \partial Y} = \frac{\partial^2 f}{\partial Y \partial X} = \sum_{i=1}^n \frac{-(X - X_i)(Y - Y_i)}{\sqrt[3]{(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2}}$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial Y^2} = \sum_{i=1}^n \frac{-(Y - Y_i)}{\sqrt[3]{(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2}} + \frac{1}{\sqrt{(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2}}$$

A Tabela 3 dá a natureza da convexidade de F, e nos permite classificar os pontos obtidos com a solução do modelo em relação à sua otimalidade.

Tabela 3 – Classificação dos pontos e matriz Hessiana – Casos não ponderados

Casos	5 empreendimentos	7 empreendimentos	12 empreendimentos
Localização $(X, Y)^T$	$\begin{bmatrix} -26,7219419 \\ -48,68330276 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -26,63979171 \\ -48,7126462 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -26,374507 \\ -48,855546 \end{bmatrix}$
Hessiana $H(X, Y)$	$\begin{bmatrix} 19607,79 & -9603,37 \\ -9603,37 & 9723,96 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 41,61 & 10,24 \\ 10,24 & 66,27 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 202,06 & -18,79 \\ -18,79 & 233,06 \end{bmatrix}$
Classificação de H	Definida positiva	Definida positiva	Definida positiva
Classificação de F no ponto	Convexa	Convexa	Convexa
Classificação do ponto	Ponto de Mínimo	Ponto de Mínimo	Ponto de Mínimo

Fonte: O autor (2019)

5.2 OTIMIZAÇÃO DE CUSTOS LOGÍSTICOS

A possibilidade de redução de despesas é uma das principais razões para as organizações optarem por implementar um centro de distribuição. Portanto faz-se necessário avaliar todos os custos logísticos relacionados.

Como apontado no capítulo 2, os custos logísticos são divididos em custos de transporte e custos de estoque. Partindo dessas premissas é possível que sejam supostos dois cenários:

- o primeiro considerando-se o cenário atual da organização, sem o centro de distribuição;
- e o segundo, relacionado ao estado desejado pela instituição.

No cenário atual a empresa não tem gastos com armazenagem, no entanto possui despesas mais elevadas com transporte, pois opera com cargas fracionadas.

Com a implantação do CD, a organização passará a ter novos custos com estoque, porém, poderá apresentar gastos menores com transporte devido a consolidação de cargas, e possivelmente, uma economia de escala derivada do aumento de aquisições por parte da empresa, já que terá espaço para armazenar volumes maiores de produtos.

Como a instituição não apresenta gargalos, a implantação do CD minimamente resultará em melhoria no nível de serviço.

Conforme já mencionado anteriormente no capítulo 3, segundo Bowersox e Closs (2011), considerando-se a Equação (3.1) e a Figura 33, para que a implantação de um centro de distribuição seja economicamente viável, é necessário que os custos de transporte e processamento da carga consolidada, somados aos gastos de armazenagem do novo depósito, devem ser inferiores aos gastos com transporte e processamento da carga fracionada.

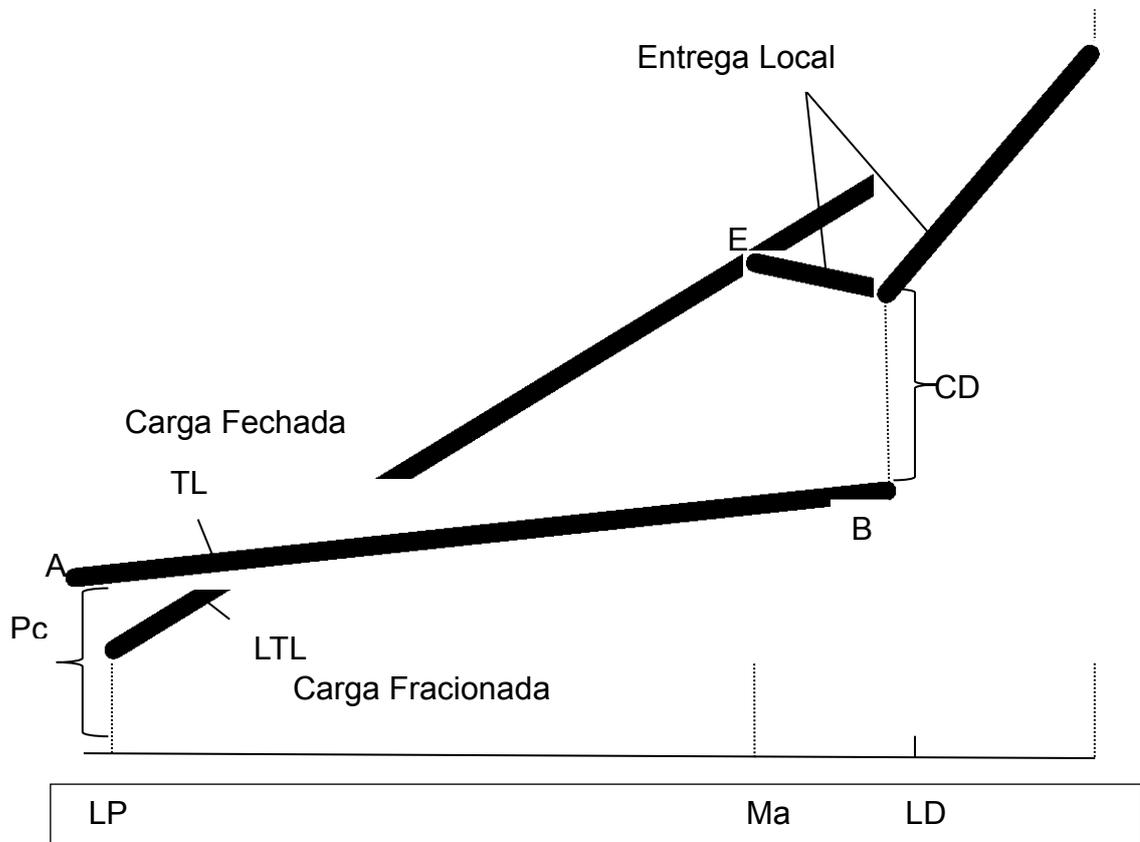
5.2.1 Exemplo - Caso de viabilidade econômica CD

Exemplificando, supondo-se que:

- o peso médio das cargas embarcadas seja de 300 quilogramas;
- que o frete custe R\$ 15,00 para cada 100kg;
- que cada carga enviada diretamente da fábrica ou fornecedor até uma obra tenha um custo de R\$ 45,00;
- que os fretes de cargas consolidados superiores ou iguais a 10 toneladas tenha custo médio de R\$ 0,05 por quilograma.

- que a entrega local dentro da região do cliente seja de R\$ 0,013 por quilograma;
 - que para cargas consolidadas a entrega local custa R\$ 0,08 por quilograma;
- então, custo total de distribuição para uma carga consolidada de 300 quilogramas seria de R\$ 39,00, o qual é inferior ao custo de R\$ 45,00 de uma carga fracionada.

Figura 33 – Custos logísticos carga fracionada e carga consolidada



Fonte: Bowersox e Closs (2011)

Já Ballou (2006), como indicado na seção 3.4, reconhece que aquisições de grandes volumes de produtos podem proporcionar bons descontos de preços.

Portanto, para que seja possível analisar a viabilidade de implantação do centro de distribuição, será preciso adequar a Equação (3.1) proposta por Bowersox e Closs (2011), para atender as especificidades da empresa. Nesse sentido, incrementa-se no lado esquerdo da Equação (3.1) o termo custo de compra futuro (C_f), e no lado direito, o termo custo de compra atual (C_a), resultando na Equação (5.5). Esses custos nada mais são que os preços de

aquisição de produtos após a construção do depósito (Cf) e os preços atuais de aquisição (Ca), sem o benefício da economia de escala.

$$\sum \frac{P_{\bar{v}} + T_{\bar{v}}}{N_{\bar{x}}} + W_{\bar{x}} + L_{\bar{x}} + Cf_{\bar{x}} \leq \sum P_{\bar{x}} + T_{\bar{x}} + Ca_{\bar{x}} \quad (5.5)$$

Em que:

- $P_{\bar{v}}$ = custo de processamento de carga consolidada;
- $T_{\bar{v}}$ = custo de transporte de carga consolidada;
- $W_{\bar{x}}$ = custo de armazenagem de carga média;
- $L_{\bar{x}}$ = entrega local de carga média;
- $N_{\bar{x}}$ = numero de cargas medias por carga consolidada;
- $P_{\bar{x}}$ = custo de processamento de carga média;
- $T_{\bar{x}}$ = custo direto de frete de carga média;
- $Cf_{\bar{x}}$ = preços de aquisição futuro;
- $Ca_{\bar{x}}$ = preços de aquisição atuais.

Ou seja, a Equação (5.5) indica que para a implantação do CD seja viável, é necessário que as economias geradas pelo aumento do número de compras, mais os custos com transporte e processamento das cargas consolidadas somadas aos gastos de armazenagem do novo depósito, sejam inferiores aos gastos com transporte e processamento da carga fracionada.

5.2.2 Cálculo do custo de entrega local unitário

Para realizar a análise de viabilidade de implantação do CD, considerou-se os cinco empreendimentos em que se conhece a estimativa da quantidade de viagens demandadas.

Ressalta-se que foi considerado esse cenário mesmo admitindo-se que esse cenário é hipotético, pois a localização determinada pelo modelo proposto coincide com a localização de uma das obras. Esse fato inusitado deve-se, principalmente, a grande demanda que essa obra tem em relação à demanda de viagens das demais obras.

Para auxiliar na realização do estudo foram adotadas as seguintes premissas:

1. A capacidade de carga do caminhão é equivalente a vinte toneladas;
2. As cargas chegam e partem do CD utilizando carga consolidada, ou seja, toda a capacidade do caminhão;
3. Como a distância indicada pela ferramenta é uma linha reta foi utilizado um fator de correção rodoviário médio de 1,73. Para Levi *et al.* (2010) estudos em malhas urbanas costuma se utilizar o fator de correção igual a 1,30. Foi usado um fator de correção diferente do apontado pelos autores, pois foi possível calcular as distâncias reais através da ferramenta Google Maps, como demonstrado na Tabela 4);
4. O custo de transporte rodoviário adotado foi de vinte dólares por mil toneladas por quilômetros (FLEURY, 2008);
5. O número de viagens foi calculado somando-se os pesos dos dez materiais com maior impacto financeiro em cada uma das cinco obras e dividindo-se pela capacidade do caminhão.

Tabela 4 – Fator de correção da distância percorrida

	Distância entre o CD e cada empreendimento na superfície da terra	Distância rodoviária real	Fator de correção
1	39,04004879	69,2	1,772538768
2	2,988977133	3,8	1,271337929
3	0,001052883	0	0
4	37,23823353	63,3	1,69986581
5	34,52516964	60,1	1,740759007
TOTAL	113,793482	196,4	1,725933653

Fonte: O autor (2019)

Para calcular o custo de transporte é preciso inicialmente calcular a distância rodoviária total percorrida entre o centro de distribuição e os empreendimentos.

Multiplicando-se por dois a distância obtida na solução do modelo proposto na seção 5.1 pelo número de viagens demandada por cada obra, pois deve-se considerar a viagem de ida e de volta do caminhão, resulta-se uma distância total de onze mil e cinquenta e nove quilômetros, como indicado na Tabela 5.

Tabela 5 – Distância total percorrida

Empreendimentos	Quantidade de viagens	Distância total percorrida
Empreendimento 1	13,4589123	1862,713462
Empreendimento 2	29,5049931	224,2379476
Empreendimento 3	87,69072165	0
Empreendimento 4	16,94857545	2145,689652
Empreendimento 5	56,7939945	6826,638139
TOTAL	204,397197	11059,2792

Fonte: O autor (2019)

Considerando-se a premissa 4, para determinar o custo total de transporte, é preciso multiplicar o peso da carga total transportada, o qual é igual a quatro mil e oitenta e oito toneladas, pela distância total percorrida. E multiplicar esse resultado por vinte, resultando assim em um custo de novecentos e quatro mil dólares. Ou seja, dividindo-se esse valor pela quantidade de carga transportada, encontra-se o valor de vinte e dois centavos de dólar por quilograma transportado, compondo assim, a componente $L_{\bar{x}} = U\$ 0,22/\text{kg}$ de entrega local da Equação 5.5, resultando na Equação (5.6).

$$\sum \frac{P_{\bar{v}} + T_{\bar{v}}}{N_{\bar{x}}} + W_{\bar{x}} + 0,22 + Cf_{\bar{x}} \leq \sum P_{\bar{x}} + T_{\bar{x}} + Ca_{\bar{x}} \quad (5.6)$$

Neste cenário, para que o centro de distribuição seja viável, é necessário que o custo de manutenção e operação do centro de distribuição seja menor ou igual aos custos associados com transporte fracionado mais a economia gerada com as aquisições, subtraindo-se os gastos com transporte consolidado e o custo de entrega local, conforme indicado na Equação (5.7).

$$\sum W_{\bar{x}} \leq \sum P_{\bar{x}} + T_{\bar{x}} - \left(\frac{P_{\bar{v}} + T_{\bar{v}}}{N_{\bar{x}}} \right) + Ca_{\bar{x}} - Cf_{\bar{x}} - 0,22 \quad (5.7)$$

A análise realizada tem o intuito de facilitar as ações de alguém que resolva prosseguir com o trabalho.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal do trabalho consistiu em realizar um estudo a respeito da viabilidade de implantação do centro de distribuição voltado para a construção civil.

Para resolver essa problemática realizou-se um levantamento de dados junto à empresa em estudo, elaborou-se uma revisão da literatura sobre logística e seus conceitos mais importantes bem como sobre programação matemática. E apresentaram-se algumas premissas importantes sobre padrões de localização de depósitos e fatores que possibilitam a viabilidade de um centro de distribuição.

Definiu-se um modelo de programação não linear para determinar a localização ótima do CD e apresentou-se uma ferramenta que resolve o modelo considerando-se o otimizador Solver como método de solução. O modelo também determina a localização ótima quando se considera a proporção de quantidade de viagens.

Foram apresentados alguns cenários como soluções possíveis para a localização do depósito considerando-se os dados obtidos.

Estimou-se o custo de entrega local, que é o custo unitário de transporte do centro de distribuição até os empreendimentos, e para isso foram admitidas algumas premissas.

Os fatores determinados nesse trabalho foram cruciais para a análise da viabilidade econômica do armazém e com a aplicação de conceitos logísticos e de programação matemática observou-se que, para os dados analisados, o centro de distribuição é viável para o caso em que os custos com transporte e processamento de carga consolidada, acrescidas à economia gerada pela elasticidade de preços devido ao aumento do volume de compras, superarem os gastos com a manutenção e operação do armazém, bem como, custos de transporte e processamento da carga fracionada.

Nesse sentido, destaca-se que tanto objetivo geral proposto neste trabalho quanto os objetivos foram alcançados.

A ferramenta desenvolvida para determinação da localização ótima que minimiza a distância total percorrida do CD aos empreendimentos será totalmente disponibilizada para empresa, a qual poderá realizar alterações de acordo com as necessidades futuras da organização.

Os resultados obtidos neste trabalho poderão ser considerados pelos gestores da empresa para auxiliarem sua tomada de decisão quanto à implantação ou não do centro de distribuição.

6.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Dentre os desafios e as limitações encontradas para a realização do trabalho, destacam-se questões relacionadas à localização, para realizar a otimização do somatório da menor distância entre as obras e o centro de distribuição foi necessário calcular as distâncias entre dois pontos primeiramente no espaço, depois se transformou entre dois pontos na superfície de uma esfera, para então aplicar um fator de correção rodoviário.

A maior dificuldade enfrentada para a realização deste trabalho foi, sem dúvida, a falta de dados sobre transporte e armazenagem, principalmente por parte de fornecedores.

É importante ressaltar que foram feitas algumas adaptações e premissas para contornar este problema.

Também é válido ressaltar que existem poucas informações e artigos científicos sobre projetos semelhantes com dados confiáveis sobre outras organizações, visto que um projeto dessa magnitude é encarado de forma estratégica pelos gestores responsáveis por trabalhos deste tipo, e na maioria das vezes, acabam não sendo publicados, pois a maioria das empresas receia que ao expor suas informações corra o risco de perder vantagem competitiva frente a seus concorrentes.

6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para projetos futuros sugere-se que seja realizado um trabalho junto à empresa para calcular os custos de transporte entre os fornecedores e o centro de distribuição, seja feito um estudo junto a fornecedores e funcionários da

organização para obter a economia gerada devido ao aumento da escala de aquisições, pois ainda é bastante desafiador levantar esses dados, pois as companhias que fornecem insumos a construtora tem receio em se comprometer a oferecer descontos por volumes maiores sem ter a certeza de compra por parte da empresa.

Eventualmente uma nova forma de calcular gastos com transporte, tanto fazendo uma análise dos custos fixos e variáveis envolvidas com transporte rodoviário, como gastos com combustíveis, manutenção, operação, impostos, depreciação, juros etc.

Seria interessante desenvolver uma metodologia que permitisse analisar e calcular custos com manutenção e operação de armazéns. Uma metodologia adaptada e específica para a realidade da instituição.

REFERÊNCIAS

ABRAHAMSSON, S. *et al.* Living with omega-3: New materialism and enduring concerns. **Environment and Planning D: Society and Space**, v. 33, n. 1, p. 4-19, 2015.

ARAÚJO, F. T. *et al.* Indicadores Imobiliários Nacionais. **Cbicdados**. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/mercado-imobiliario/indicadores-imobiliarios-nacionais>. Acesso em: 26 mai. 2019.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BARROS, M. C. **Warehouse Management System (WMS):** conceitos teóricos e implementação em um centro de distribuição. 2005. Dissertação (Mestrado em Logística) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

BARTHOLDI, J. J.; HACKMAN, S. T. **Warehouse & Distribution Science**. Versão 0.98.1, 2019.

BERTAGLIA, P. R. **Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento**. São Paulo: Saraiva, 2009.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento**. São Paulo: Atlas, 2011.

CBIC dados: Consulta geral a homepage, disponível em: <http://www.cbicdados.com.br>. Acesso em 03 de novembro de 2019

CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gestão da cadeia de suprimentos: estratégia, planejamento e operações**. 4.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos**. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

Departamento de Astronomia do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Consulta geral, disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/dados.htm>. Acesso em 06 de outubro de 2019.

DIABAT, A.; GOVINDAN, K.; PANICKER, V.V. Supply chain risk management and its mitigation in a food industry. **International Journal of Production Research**, v. 50, n. 11, p. 3039-3050, 2012.

ESCOLA ENGENHARIA: Consulta geral a homepage, disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/canteiro-de-obras/>. Acesso em: 28 de novembro de 2019.

FLEURY, F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K.F. **Logística Empresarial: a perspectiva brasileira**. São Paulo: Atlas, 2008.

FLYNN, B.B.; HUO, B.; ZHAO, X. The impact of supply chain integration on performance: A contingency and configuration approach. **Journal of operations management**, v. 28, n. 1, p. 58-71, 2010

GERALDES, C. A.; CARVALHO, M.; PEREIRA, G. Warehouse design and product assignment and allocation: A mathematical programming model. ESM 2012 - 2012 European Simulation and Modelling Conference: Modelling and Simulation 2012. p. 314-320, 2012.

GOOGLE MAPS: Consulta geral a homepage oficial, disponível em: <http://maps.google.com.br/maps>. Acesso em 05 de outubro de 2019.

GLIGOR, D. M.; HOLCOMB, M.C.; FEIZABADI, J. An exploration of the strategic antecedents of firm supply chain agility: The role of a firm's orientations. **International Journal of Production Economics**, v. 179, p. 24-34, 2016

Grupo CCR: consulta geral, disponível em: <https://g1.globo.com/especial-publicitario/em-movimento/noticia/como-a-construcao-civil-movimenta-a-economia-e-gera-empregos.ghtml>. Acesso em 20 de outubro de 2019.

HERAGU, S. *et al.* Mathematical model for warehouse design and product allocation. **International Journal of Production Research**, v. 43, n. 2, p. 432-440, 2005.

ILOS: Consulta geral a homepage, disponível em: <https://www.ilos.com.br/web/analise-de-mercado/relatorios-de-pesquisa/custos-logisticos-no-Brasil/>. Acesso em 25 de outubro de 2019.

KAMALAHMADI, M.; PARAST, M. M. A review of the literature on the principles of enterprise and supply chain resilience: Major findings and directions for future research. **International Journal of Production Economics**, v. 171, p. 116-133, 2016.

LEVI, S. D.; KAMINSKY, P.; LEVI, S. E. **Cadeia de suprimentos: projeto e gestão**. 3. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

Logística de Suprimentos: Consulta geral a homepage, disponível em: <http://logisticadesuprimentos.blogspot.com/2012/04/perdigao-redesenhando-operacao.html>. Acesso em 22 de outubro de 2019.

NOVAES, A. G. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégia, operações e planejamento**. Rio de Janeiro: Campos, 2001.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2005.

QAZI, A. *et al.* Supply chain risk network management: A Bayesian belief network and expected utility based approach for managing supply chain risks. **International Journal of Production Economics**, v. 196, p. 24-42, 2018.

ROA, C. R. Distância entre locais (Latitude e Longitude). **Acadêmicos do Excel**, 2017. Disponível em: <http://academicosdoexcel.com.br/2017/10/01/distancia-entre-locais-latitude-e-longitude/>. Acesso em 21 de setembro de 2019.

RUSSO, C. P. **Armazenagem, controle, distribuição**. Curitiba: Ibpex, 2009.

Serviço Bem Feito: Consulta geral a homepage, disponível em: <http://servicobemfeito.blogspot.com/2016/06/armazenamento-de-materiais-em-canteiros.html>. Acesso em 22 de outubro de 2019.

SILVA, F. B.; CARDOSO, F. F.. **Ferramentas e diretrizes para a gestão da logística no processo de produção de edifícios**. São Paulo: EPUSP, 2000.

Solver: Consulta geral a homepage, disponível em: <https://www.solver.com>. Acesso em 18 de outubro de 2019.

STRACK, G.; POCHET, Y. An integrated model for warehouse design and planning. **European Journal of Operational Research**, v. 204, p. 35-50, 2010. Levi *et al.* 2010.

TOMPIKINS, J. A. *et al.* **Facilities Planning**. New York: John Wiley & Sons, 2003.

VAN DEN BERG, J.; ZJIM, W. Models for warehouse management: Classification and examples. **International Journal of Production Economics**, v. 59, p. 519-528, 1999.

XU, D.; HUO, B.; SUN, L. Relationships between intra-organizational resources, supply chain integration and business performance: An extended resource-based view. **Industrial Management & Data Systems**, v. 114, n. 8, p. 1186-1206, 2014.