



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Karina Nagao Guidotti Saldanha

**Gestão da cadeia de suprimentos da
construção: uma proposta para a tomada de
decisão na compra de materiais**

Outubro de 2021



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Karina Nagao Guidotti Saldanha

**Gestão da cadeia de suprimentos da
construção: uma proposta para a tomada de
decisão na compra de materiais**

Dissertação de Mestrado

Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de Mestre
em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do

Professor Doutor João Pedro Pereira Maia Couto

Outubro de 2021

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Os meus sinceros agradecimentos são dirigidos a todos aqueles que me apoiaram e contribuíram de alguma forma para a conclusão da presente dissertação.

Em especial, agradeço ao meu orientador, Professor Doutor João Pedro Couto, e aos Engenheiros João Marcelo Silva e Cláudia Duarte pela disponibilidade e apoio dado ao longo do trabalho.

Agradeço ao Grupo DST e a todos os profissionais que se disponibilizaram e deram o seu contributo no estudo de caso.

A todos os meus amigos que estiveram comigo e que foram essenciais nessa jornada, em particular ao Leandro Barretiri, Taís Magalhães, Paulo Anacleto e Giselle Mendes.

À minha família e, principalmente, aos meus pais, José Saldanha e Liriam Nagao, que sempre me apoiaram incondicionalmente e me proporcionaram o melhor para que eu pudesse alcançar os meus objetivos.

Por fim, ao meu parceiro e melhor amigo, Cristiano Seiji Watanabe, pelo apoio, paciência, compreensão e amor incondicional dado ao longo dessa importante etapa da minha vida.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

A crescente complexidade e competitividade do mercado exigem que as empresas procurem novas estratégias que contribuam para a obtenção de vantagens competitivas ligadas à redução de custos, diminuição de desperdícios e otimização dos processos. Dada a importância do processo de aquisição e ao esforço das empresas de construção civil de buscarem novas estratégias que impulsionem o setor, a presente dissertação, desenvolvida em parceria com uma empresa de construção portuguesa, teve como objetivo principal analisar a gestão da cadeia de suprimentos, bem como apresentar um modelo de auxílio ao processo de tomada de decisão de compra de materiais.

Para alcançar os objetivos deste estudo, realizou-se inicialmente uma consulta às literaturas relacionadas às estratégias existentes para o aprimoramento das principais atividades que compõem a gestão da cadeia de suprimentos, mais especificamente a aquisição, o transporte e o armazenamento. Em seguida, foi feita uma análise do funcionamento da cadeia de suprimentos da empresa, no qual foram identificadas as principais dificuldades da mesma.

Assim, para a resolução do estudo de caso, foi escolhido um material comum a duas obras da empresa que serviu como base para o desenvolvimento do modelo de otimização de corte unidimensional, cujo o objetivo era minimizar o consumo do material varão, bem como reduzir o seu desperdício. Posteriormente, foi proposta uma ferramenta de tomada de decisão de compra, que permite avaliar diferentes cenários a fim de identificar a influência da alteração dos tipos de aquisição e transporte. Além disso, a ferramenta indica o valor ideal de compra a ser negociado junto do fornecedor, favorecendo a aquisição em grandes quantidades e, conseqüentemente, a obtenção de vantagens competitivas.

Os resultados obtidos apresentam-se promissores através de uma redução significativa da quantidade de material a ser adquirido para suprir a demanda. Por fim, a contribuição deste trabalho está associada à obtenção do valor ideal de aquisição do material que simplifica e agiliza o processo de tomada de decisão de compra.

PALAVRAS-CHAVE

Gestão da Cadeia de Suprimentos, Modelo de Otimização, Tomada de Decisão de Compra, Vantagem Competitiva.

ABSTRACT

The increasing complexity and competitiveness of the market require companies to find new strategies to contribute to the achievement of competitive advantages related to cost reduction, waste reduction and process optimization. Given the importance of the procurement process and the effort of construction companies to find new strategies that boost the sector, this thesis, developed in partnership with a Portuguese construction company, had as its main objective to analyze the supply chain management, as well as to present a model to assist the decision-making process of materials purchase.

To achieve the objectives of this study, it was initially conducted a search of literature related to existing strategies for the improvement of the main supply chain management activities, specifically the procurement, transportation and warehousing. Next, an analysis of the functioning of the company's supply chain was made, in which its main difficulties were identified.

Thus, to solve the case study, a material common to two of the company's construction sites was chosen, which served as the basis for the development of the one-dimensional cutting optimization model, in order to minimize the consumption of the steel rod material, as well as to reduce its waste. Afterwards, a purchase decision making tool was proposed, which allows the evaluation of different scenarios in order to identify the influence of changing the types of procurement and transportation. In addition, the tool indicates the ideal purchase value to be negotiated with the supplier, favoring the purchase in large quantities and, consequently, the achievement of competitive advantages.

The results obtained are promising through a significant reduction in the amount of material to be purchased to supply the demand. Finally, the contribution of this work is associated with obtaining the ideal acquisition value for the material, which simplifies and speeds up the purchase decision making process.

KEYWORDS

Competitive Advantage, Optimization Model, Purchasing Decision Making, Supply Chain Management.

ÍNDICE

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vi
Índice	vii
Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas.....	xi
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xii
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Metodologia de Investigação.....	3
1.4 Estrutura da Dissertação	5
2. Logística e Gestão da Cadeia de Suprimentos.....	6
2.1 Logística	6
2.1.1 Importância e definição.....	6
2.1.2 Vantagem competitiva	7
2.2 Gestão da Cadeia de Suprimentos.....	11
2.2.1 Visão história, definição e planeamento	11
2.2.2 Gestão de compras.....	15
2.2.3 Gestão do risco.....	20
2.2.4 Gestão de <i>stock</i>	26
2.2.5 Gestão de transportes	34
3. A empresa	39
3.1 O Grupo DST.....	39
3.2 DST, s.a.....	40
3.3 A gestão da cadeia de suprimentos	40
3.4 Apresentação da situação atual	42
3.5 Apresentação do problema.....	44

4.	Desenvolvimento de um modelo de tomada de decisão de compra	46
4.1.1	Objetos de estudo	46
4.1.2	O problema do corte	48
4.1.3	Modelo de otimização de corte unidimensional	51
4.1.4	Modelo de tomada de decisão de compra	57
5.	Conclusão.....	64
	Referências Bibliográficas	68
	Anexo 1 – Resultados para o varão de 12 metros.....	71
	Anexo 2 – Resultados para o varão de 6 metros.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - O processo de construção e solução do modelo.....	4
Figura 2 - Processo de gestão logística	7
Figura 3 - Vantagem competitiva e a ligação triangular "The Three Cs"	8
Figura 4 - A curva da experiência	9
Figura 5 - O desafio da logística e da gestão da cadeia de suprimentos.....	10
Figura 6 - Eventos históricos da gestão da cadeia de suprimentos.....	12
Figura 7 - A rede da cadeia de suprimentos.....	14
Figura 8 - Integração da cadeia de suprimentos no geral e na indústria da construção	15
Figura 9 - Curva de custo total com desconto inclusivo de preço por quantidade	17
Figura 10 - Curva de custo total com desconto não-inclusivo de preço por quantidade	17
Figura 11 - Resiliência na cadeia de suprimentos	23
Figura 12 - Risco versus recompensa no setor da manufatura	24
Figura 13 - Risco versus recompensa no setor AECO.....	24
Figura 14 - Probabilidade de falha no setor AECO.....	25
Figura 15 - Probabilidade de falha no setor AECO com a gestão da cadeia de suprimentos	26
Figura 16 - Compensação dos custos relevantes de stock com a quantidade adquirida	29
Figura 17 - Quantidade econômica de compra	31
Figura 18 - Quantidade de pedido para diferentes níveis de preço.....	33
Figura 19 - Relação entre a distância e o custo de transporte	35
Figura 20 - Relação entre o peso da carga e o custo de transporte.....	35
Figura 21 - Curvas de custo total para descontos incrementais e de quantidade total	36
Figura 22 - Fluxograma do processo de aquisição junto ao fornecedor	41
Figura 23 - Fluxograma do processo de compra	43
Figura 24 - Materiais da Obra I.....	47
Figura 25 - Materiais da Obra II.....	47
Figura 26 - Exemplo de CSP unidimensional	48
Figura 27 - Padrões de cortes unidimensionais e vetores associados	49
Figura 28 - Comprimentos da matéria-prima e demandas	52
Figura 29 - Dados gerais do problema.....	52
Figura 30 - Cálculo dos padrões de corte.....	53

Figura 31 - Padrões de corte	54
Figura 32 – Dados do modelo	56
Figura 33 – Resultados	56
Figura 34 – Padrões de corte para o varão de 12m	57
Figura 35 - Dados de entrada	58
Figura 36 - Aquisição	59
Figura 37 - Opções de transportes	60
Figura 38 - Transporte	61
Figura 39 - Stock	61
Figura 40 - Análise se resultados	63
Figura 41 - Tomada de decisão	64
Figura 42 - Resultados obtidos para o varão de 12 metros.....	71
Figura 43 - Resultados obtidos para o varão de 12 metros.....	72
Figura 44 - Resultados obtidos para o varão de 12 metros.....	73
Figura 45 - Resultados obtidos para o varão de 12 metros.....	74
Figura 46 - Resultados obtidos para o varão de 12 metros.....	75
Figura 47 - Resultados obtidos para o varão de 12 metros.....	76
Figura 48 - Resultados obtidos para o varão de 6 metros.....	77

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Benefícios e riscos envolvidos no desenvolvimento de parcerias	19
Tabela 2 - Atividades da gestão de risco na cadeia de suprimentos.....	21
Tabela 3 - Tipos de inventários e suas finalidades.....	27
Tabela 4 – Demanda de barras para as Obras I e II.....	51
Tabela 5 – Quantidade de matéria-prima.....	51
Tabela 6 – Cenários estudados	62

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AECO – Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação

BIM – *Building Information Modeling*

CSC – *Construction Supply Chain*

CSCM – *Construction Supply Chain Management*

CSP – *Cutting Stock Problem*

SCM – *Supply Chain Management*

SIG – Sistema de Informação Geográfica

UE – União Europeia

WMS – *Web Map Service*

1. INTRODUÇÃO

Neste primeiro capítulo será apresentado o enquadramento do estudo, seguido da definição dos objetivos, a metodologia de investigação e finalmente a estrutura da dissertação.

1.1 Enquadramento

Desde os primórdios da civilização, os conceitos de gestão de projetos e logística vêm sendo aplicados. O sucesso de construções históricas como as Pirâmides de Gizé, a Grande Muralha da China, o Taj Mahal, a Torre Eiffel, o Coliseu e o Canal do Panamá deve-se a um conjunto de práticas, princípios, processos, ferramentas e técnicas eficazes que foram empregados (PMBOK®, 2017).

O termo logística foi inicialmente usado para descrever a organização, movimentação, armazenamento e manutenção de forças militares no terreno (Goetschalckx, 2011). Segundo Christopher (2011), a capacidade logística tem sido um fator determinante em vitórias e derrotas nas guerras ao longo da história. Complementarmente, Christopher (2011) atribui o fracasso das tropas britânicas na Guerra da Independência dos Estados Unidos à logística inadequada no abastecimento de suprimentos vitais, o que afetou a moral das tropas e o rumo das operações.

O sistema logístico tem ganhado cada vez mais destaque no cenário econômico mundial. Apesar das forças armadas terem compreendido a importância da logística diante das guerras, somente nos últimos tempos é que as empresas perceberam o valor que a gestão da logística pode agregar na obtenção de vantagens competitivas (Christopher, 2011). No entanto, devido as constantes mudanças econômicas, ambientais e políticas, a logística do fluxo de materiais e do fluxo de informação ainda é considerada um desafio global da gestão da cadeia de suprimentos (Dobroszek, 2020; Harrison, 2008).

No início da década de 1980, Keith Oliver introduziu o *Supply Chain Management* (SCM) pela primeira vez como o “*processo de planejamento, implementação e controle das operações da cadeia de suprimentos com o objetivo de satisfazer os requisitos dos clientes da forma mais eficiente possível*” (Kransdorff, 1982; Pounder, 2014). No entanto, apesar do conceito SCM ter sido aplicado em vários setores da indústria ao longo das últimas décadas, o processo de implementação no setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) ainda encontra-se a um ritmo mais lento (Le, Elmughrabi, Dao, & Chaabane, 2018). Junto a isso, a indústria AECO apresenta números expressivos relacionados ao desperdício de suprimentos da construção.

Segundo a Comissão Europeia (2019), cerca de 30% de todos os resíduos gerados na UE são oriundos da construção civil. A visão de desperdício torna-se ainda mais ampla quando é levado em consideração os impactos econômicos e ambientais causados pela má aplicação, o consumo exagerado e a falta de planejamento. Além disso, a importância da gestão da cadeia de suprimento deve-se ao fato de que cerca de 64% do custo total do projeto é destinado à compra de materiais (Kulkarni & Halder, 2019). Aspectos relacionados com o armazenamento de materiais de construção e suas origens também impactam significativamente no custo e no cronograma final de um projeto. Ahmadian et al. (2014) afirmam que as despesas relacionadas com o transporte de materiais representam cerca de 10 a 20% do custo total de um projeto.

Diante da competitividade do mercado e do aumento pela demanda por empreendimentos mais consistentes, o setor AECO tem adotado novas medidas para superar os desafios econômicos, políticos e ambientais. Dentre as prioridades para o futuro definidas pela Comissão Europeia (2020), destacam-se a eficiência energética, a acessibilidade econômica, a economia circular e a digitalização. Portanto, assim como na indústria automobilística, o uso de tecnologias alternativas pode contribuir para que as empresas do setor AECO atinjam metas como as estipuladas pela UE (Tahir Muhammad et al., 2019).

Atualmente, atividades como a compra de materiais, por exemplo, ainda ocorrem de modo ineficiente e não integrado, principalmente no setor da construção. Os problemas associados a este processo estão ligados, principalmente, à falta de otimização, o que gera um grande desperdício de materiais, capital e tempo. Tais problemas estimulam as empresas do setor a procurem, cada vez mais, novas estratégias que promovam a otimização de processos, ao mesmo tempo que contribuam para a obtenção de vantagens competitivas.

Diante deste cenário, a DST, s.a., empresa de construção civil onde foi desenvolvida a presente dissertação, tem expandido suas atividades em diversas áreas em resposta às constantes exigências do mercado, priorizando o progresso rumo à sustentabilidade e a redução de impactos ambientais causados pela construção civil. Adicionalmente, existe um esforço por parte da empresa de impulsionar o desenvolvimento do setor através da redução de custos de aquisição, o desperdício de materiais e os riscos ligados ao fornecimento.

Dado a importância da gestão da cadeia de suprimentos da construção e tendo em vista as vantagens competitivas que a mesma é capaz de proporcionar enquanto meio estratégico para alcançar objetivos relacionados à diminuição dos impactos ambientais, redução de custos e desperdício de materiais, a presente dissertação visa propor um modelo de tomada de decisão de compra através da otimização do

aproveitamento de um determinado tipo material de construção comum entre duas ou mais obras, bem como a análise da viabilidade de aquisição em grandes quantidades. Complementarmente, pretende-se ainda avaliar alguns aspectos importantes relacionados com a compra de materiais como os custos envolvidos com o transporte e armazenamento.

1.2 Objetivos

O estudo desenvolvido nesta dissertação tem como objetivo principal analisar a gestão da cadeia de suprimentos, mais precisamente nas fases de aquisição, transporte e armazenamento de materiais. Além disso, pretende-se desenvolver um modelo de tomada de decisão de compra que visa simplificar o processo de aquisição de materiais de construção, bem como otimizar o aproveitamento do material varão.

De forma sucinta, os objetivos específicos são:

- Compreender a importância das principais atividades que compõem a gestão da cadeia de suprimentos da construção;
- Propor um modelo de otimização de corte unidimensional, que visa a minimização do consumo de matéria-prima através do corte de materiais maiores para atender uma demanda específica de itens menores;
- Propor um procedimento de tomada de decisão de compra de um determinado material de construção comum em duas ou mais obras em andamento;
- Avaliar a viabilidade de aquisição em grandes quantidades como estratégia para obtenção de vantagens competitivas através da análise de diversos cenários possíveis.

1.3 Metodologia de Investigação

A metodologia de investigação utilizada foi baseada no método do estudo de caso, no qual consiste em solucionar uma problemática real da empresa analisada. A presente dissertação seguiu um conjunto de etapas, sendo a primeira delas constituída pela pesquisa bibliográfica, que teve como objetivo principal auxiliar no enquadramento da situação exposta e na fundamentação das soluções para o presente estudo de caso.

A etapa seguinte referiu-se ao processo de recolha e análise de informações que permitiram compreender o problema a ser solucionado. Nesta fase, foram recolhidos os dados sobre o funcionamento dos processos de aquisição, transporte e armazenamento de materiais atualmente.

Em seguida, procedeu-se à elaboração do modelo de tomada de decisão de compra. Para isso, o estudo foi dividido em duas fases distintas. A primeira fase consistiu na definição do material a ser estudado e na elaboração de um modelo de otimização, que visa minimizar a quantidade de material a ser adquirido. Na segunda fase do estudo, foi dado prosseguimento à construção de uma ferramenta que permite a análise dos diversos cenários que compõem o processo de tomada de decisão de compra. No processo de construção e solução do presente estudo de caso, apresenta-se, de forma simplificada, a esquematização das etapas seguidas (Figura 1).

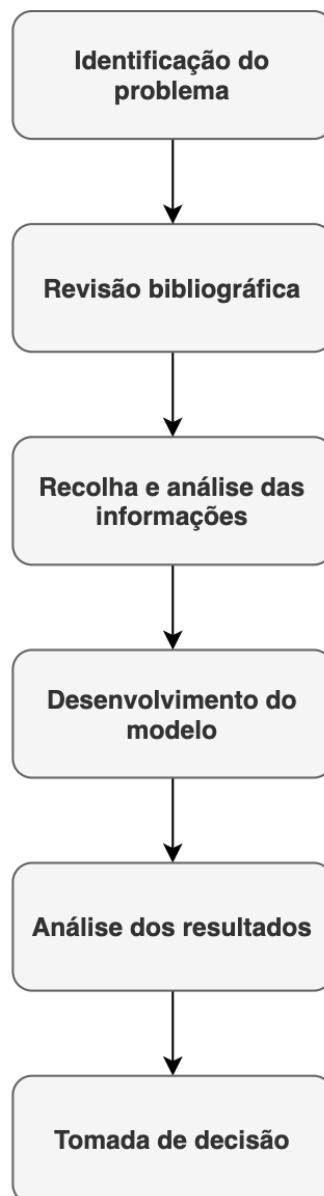


Figura 1 - O processo de construção e solução do modelo.

1.4 Estrutura da Dissertação

O trabalho apresentado está estruturado em cinco capítulos. O presente capítulo pretende introduzir o tema através de um breve enquadramento sobre a logística e a gestão da cadeia de suprimentos. Além disso, são apresentados os objetivos, o método utilizado para o desenvolvimento do modelo e a estrutura da dissertação.

No segundo capítulo, através de uma revisão bibliográfica, são apresentadas as temáticas relacionadas à logística e à gestão da cadeia de suprimentos, mais especificamente o que diz respeito ao processo de aquisição, risco, transporte e *stock*. São abordados os principais aspectos ligados à importância do controle logístico e planejamento da cadeia de suprimentos, além de estratégias que favorecem o ganho de vantagens competitivas.

O capítulo três traz uma breve apresentação da empresa, o funcionamento da cadeia de suprimentos e a descrição da situação atual. Por último, são sintetizados os problemas a serem solucionados.

O quarto capítulo é dedicado ao processo de desenvolvimento de um modelo de tomada de decisão de compra. Este processo é composto por duas fases, sendo a primeira delas o desenvolvimento de um modelo de otimização de corte unidimensional que visa minimizar o consumo de matéria-prima, e a segunda fase consiste na construção de um modelo de tomada de decisão de compra.

No último capítulo são apresentadas as conclusões do estudo e os resultados obtidos através da aplicação do modelo desenvolvido. Além disso, são apresentadas sugestões para trabalhos futuros.

2. LOGÍSTICA E GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

No presente capítulo reúne uma síntese das referências teóricas que contextualizam a logística, a gestão da cadeia de suprimentos e as principais atividades que a compõe. Adicionalmente, foram abordados a importância de cada atividade, suas vantagens e o funcionamento de cada uma delas.

2.1 Logística

2.1.1 Importância e definição

Nos últimos anos, os projetos do setor AECO têm se tornado cada vez mais complexos e desafiadores. Operar de forma a garantir a satisfação de todas as partes envolvidas, além do cumprimento de metas e prazos, exige que as empresas estejam em constante interação com os seus clientes e fornecedores (Dobroszek, 2020; Wisner et al., 2012). Diante das exigências do mercado cada vez mais concorrido e em constante expansão, a gestão logística surge como uma ferramenta estratégica capaz de promover vantagens competitivas e proporcionar aos clientes o produto certo, no momento certo e no local certo (Bowersox et al., 2006; Christopher, 2011; Goetschalckx, 2011; Harrison, 2008).

A logística e a gestão da cadeia de suprimentos não são ideias novas e têm se tornado cada vez mais presentes nas práticas de atividades comerciais e de serviços. Em meados do século XX, os princípios básicos de logística foram inicialmente aplicados pela pelas tropas militares diante das batalhas, porém o impacto vital que a gestão logística é capaz de promover só foi reconhecido pelas organizações empresariais quase 100 anos depois (Christopher, 2011). Ao longo dos últimos trinta anos, devido a dificuldade de gerir todas as funções de forma integrada e simultânea, as empresas passaram a restringir seus esforços somente nas atividades essenciais, destinando outras tarefas e serviços, como transporte, armazenamento e distribuição, à fornecedores especializados a fim de criarem parcerias estratégicas (Wisner et al., 2012). Tais alianças ao longo da cadeia de suprimentos têm proporcionado o sucesso para muitas empresas e são de fundamental importância na prática de SCM (Cooper et al., 1997).

Até o início da década de 90, os termos logística e SCM eram confundidos e tratados como sinônimos (Cooper et al., 1997), no qual a gestão da cadeia de suprimentos era vista como logística fora da empresa (Harrison, 2008). O termo logística refere-se ao processo de gestão estratégica do abastecimento, movimentação e planejamento eficaz de materiais e pessoas, e frequentemente é dividido em dois tipos de fluxos principais: fluxo de materiais e fluxo de informação (Christopher, 2011; Goetschalckx, 2011).

A Figura 2 traz a noção de gestão logística.

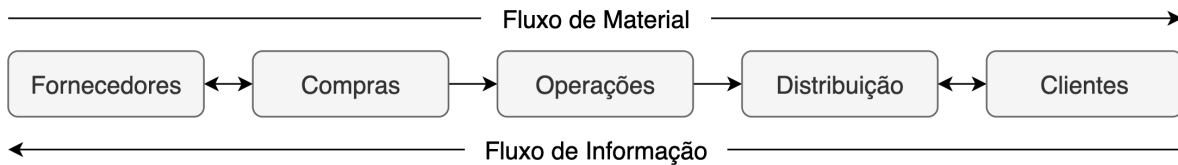


Figura 2 - Processo de gestão logística
(Adaptado de Christopher, 2011).

- Fluxo de materiais: está relacionado ao bem material e seu armazenamento, a fim de garantir um fluxo de materiais contínuo e síncrono;
- Fluxo de informação: está relacionado ao compartilhamento rápido de informações detalhadas e atualizadas sobre o estado do fluxo de materiais que permitem que as diferentes organizações executem as funções logísticas.

Do ponto de vista geral, a logística prioriza atender e satisfazer as necessidades dos clientes através da gestão dos fluxos de materiais e de informação (Christopher, 2011). A missão da logística é fazer a gestão do estoque, tendo em vista o local e o período que ele for requerido a fim de facilitar as vendas lucrativas (Bowersox et al., 2006). Segundo Christopher (2011), a logística é uma ferramenta integradora que identifica as necessidades do mercado e desenvolve estratégias que incluem o plano de produção e o plano de compras. Já a gestão logística tem como objetivo a união dos projetos de marketing, distribuição, produção e fornecimento em um único âmbito (Christopher, 2011).

Atualmente, a gestão logística do fluxo de materiais e do fluxo de informação tem um papel indispensável na gestão da cadeia de suprimentos (Harrison, 2008). O *Council of Supply Chain Management Professionals* (CSCMP) (2013), conhecido como a principal associação mundial de profissionais de SCM, define a gestão logística como “a parte da gestão da cadeia de suprimentos que planeja, implementa e controla o fluxo e armazenamento eficiente, efetivo e reverso de bens, serviços e informação relacionada entre o ponto de origem e o ponto de consumo, a fim de satisfazer os requisitos dos clientes”. Deste modo, a gestão logística pode ser encarada como parte do desafio global do SC, sendo considerada um subconjunto da gestão cadeia de suprimentos (Christopher, 2011).

2.1.2 Vantagem competitiva

A gestão logística pode proporcionar diversas vantagens competitivas. Muitas delas dizem respeito a habilidade das empresas de se distinguirem da concorrência e de operarem a baixo custo, priorizando uma maior margem de lucro (Christopher, 2011). Assim, diante da competitividade do mercado e das diferentes estratégias para alcançar o sucesso, Christopher (2011) apresenta um modelo simples

baseado na ligação triangular entre empresa, seus clientes e os concorrentes, conhecido como “*The Three Cs*”. A Figura 3 ilustra a relação entre clientes, concorrentes e a empresa.

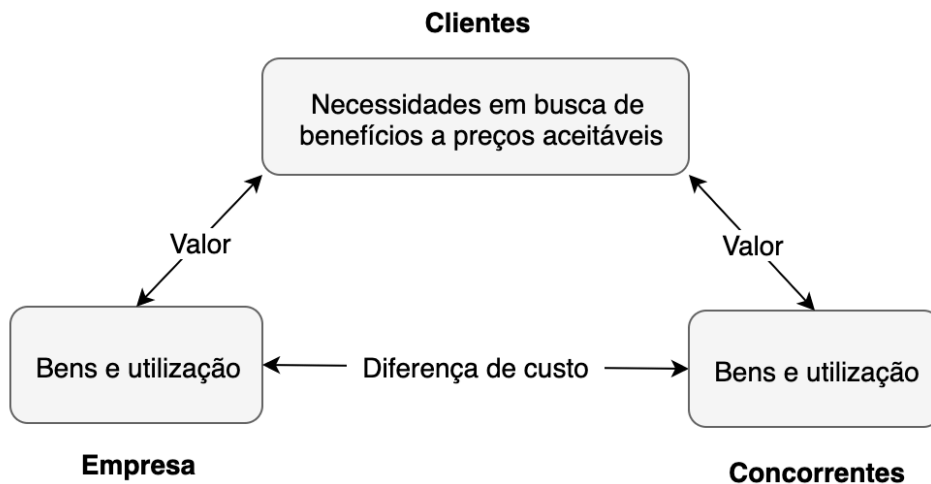


Figura 3 - Vantagem competitiva e a ligação triangular "The Three Cs"

(Adaptado de Christopher, 2011).

A preocupação das empresas em obter vantagens competitivas sustentáveis relaciona-se em estar preparado para as realidades do mercado. De acordo com Christopher (2011), a base para o sucesso é resultado ou de vantagens de valor ou de vantagens de custo ou, preferivelmente, a combinação de ambas. Em outras palavras, a empresa que produzir a um custo reduzido ou fornecer um produto com os preços competitivos notáveis tende a lucrar mais, independente do setor industrial (Christopher, 2011).

Tradicionalmente, uma das estratégias que as empresas aplicavam para reduzir custos e proporcionar preços mais atrativos aos seus clientes era através da obtenção de um volume maior de vendas, o que permitia que os custos fixos fossem distribuídos por uma quantidade maior de unidades (Christopher, 2011). Tal método refere-se ao impacto causado pela “curva de experiência”, na qual está relacionada à melhoria da taxa de produção a medida em que a qualificação da mão de obra aumenta (Figura 4). No entanto, Christopher (2011) afirma que devido ao fato de existirem inúmeros fatores a serem considerados em um sistema logístico, nem sempre se pode garantir que a rentabilidade seja adquirida exclusivamente através do volume de vendas. Em outras palavras, o aumento de volume pode nem sempre significar maior lucratividade e é cada vez mais evidente que através de uma boa gestão logística é possível alcançar maior eficiência, produtividade e redução significativa dos custos unitários.

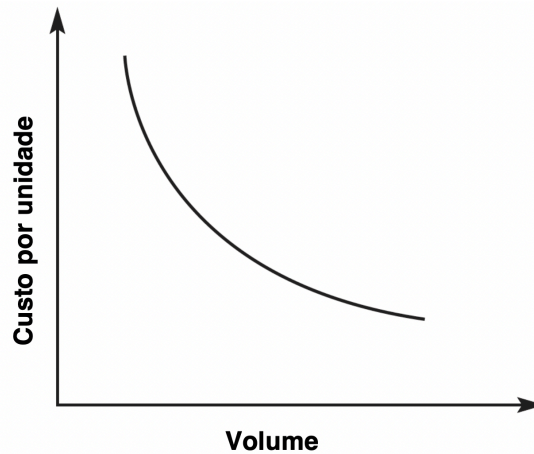


Figura 4 - A curva da experiência
(Christopher, 2011).

Agregar valor ao produto é outra estratégia poderosa no que diz respeito à vantagem competitiva. Christopher (2011) explica que um fornecedor que consegue oferecer produtos de baixo custo tende a atrair mais clientes que os seus concorrentes. No entanto, quando o produto ou serviço oferecido é diferenciado, ou seja, quando há um maior valor entregue, há uma forte probabilidade de o mercado migrar para aquele produto. Christopher (2011) ainda cita que a importância de se “segmentar o valor” está relacionada com possibilidade de criar oportunidades diferenciadas para segmentos específicos, ou seja, diferentes compradores atribuem importância diferente a diferentes vantagens.

O sucesso das organizações líderes de mercado está diretamente relacionado aos seus potenciais de liderança de custos e excelência em serviços (Christopher, 2011) (Figura 5) . Diante da disputa para alcançar níveis cada vez mais competitivos, surge a necessidade de se reduzir custos e melhorar os serviços prestados. Nesse sentido, a gestão logística vem como uma ferramenta estratégica capaz promover a satisfação do cliente a um custo mais baixo através da interligação entre o mercado, a rede de distribuição, o processo de fabrico e a atividade de compras (Christopher, 2011).

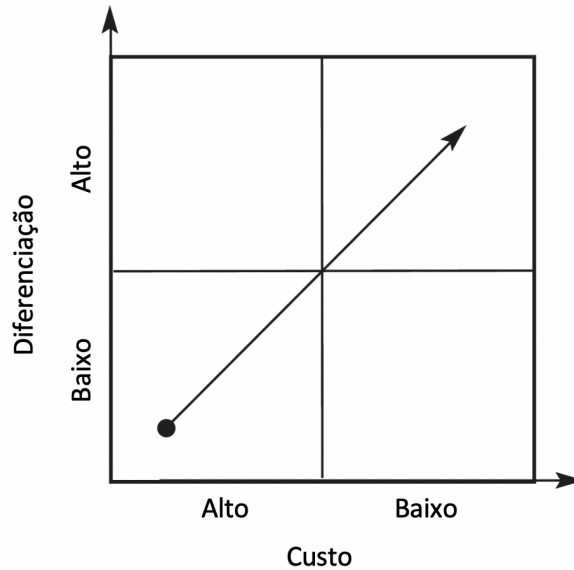


Figura 5 - O desafio da logística e da gestão da cadeia de suprimentos

(Christopher, 2011).

Wisner et al. (2012) afirmam que as atividades logísticas relacionadas ao transporte, armazenamento, sistemas de informação e atendimento ao cliente são indispensáveis e têm a função de criar um fluxo de mercadorias dentro da cadeia de suprimentos de forma a otimizar os lucros e as vantagens competitivas. Estabelecer vantagens logísticas implica na definição de metas claras, mensuráveis e quantificáveis. Harrison (2008) define três categorias importantes para se criar vantagens competitivas: objetivos fortes, capacidades de apoio e objetivos moderados.

Os objetivos fortes referem-se às vantagens oferecidas ao consumidor final nas quais estão relacionadas com a qualidade do produto, o tempo que leva para este ser entregue e o preço a que é oferecido (Harrison, 2008). É evidente a importância do custo ao longo do processo logístico. Reduzir custos significa proporcionar preços mais atraentes para os clientes ou obter margens de lucro mais altas. No entanto, muitas vezes a redução do custo só é possível graças a parceria entre grandes empresas e seus fornecedores (Harrison, 2008). Além disso, segundo Harrison (2008), garantir que não haja defeitos do produto, erros de quantidade e problemas na entrega são fundamentais dentro da gestão logística. Tais falhas se tornam evidentes para o cliente e podem influenciar negativamente a sua lealdade.

O tempo é uma medida incontestável e também deve ser considerado quando se fala de vantagem competitiva. O tempo, diferentemente da qualidade e do custo, não está sujeito a interpretações e representa o quanto o consumidor tem que esperar desde o momento da encomenda até recebê-la (Harrison, 2008). Harrison (2008) argumenta que a espera pode variar de zero, quando o produto já encontra-se disponível a pronta entrega, a anos, como é o caso de edifícios em construção. O tempo

pode ser usado como estratégia para atrair os clientes que não podem esperar e estão dispostos a pagar um preço mais elevado para obter o produto rapidamente.

Embora os objetivos fortes sejam considerados fundamentais na construção de uma vantagem competitiva, a capacidade de apoio surge como um diferencial quando o aprimoramento da qualidade, tempo ou custo são limitados (Harrison, 2008). Tão importante quanto controlar o tempo de entrega de um produto ou garantir a qualidade do mesmo é controlar as incertezas dos processos logísticos. Saber gerir a instabilidade representa a credibilidade que a empresa obtém aos olhos dos clientes, ou seja, quanto maior o êxito da mesma no cumprimento de suas promessas, maior será a credibilidade conquistada (Harrison, 2008).

Harrison (2008) ainda argumenta que existem formas mais sutis de se obter vantagem logística, como por exemplo através da confiança e da segurança. Estes são denominados objetivos suaves e podem ser identificados através de análise comportamental do público alvo. Tais objetivos podem complementar outras formas de atrair clientes, como o *design* do produto e o *marketing*. Segundo Harrison (2008), de nada vale ter um sistema logístico eficiente se o produto não agrada ou atende as exigências do consumidor final.

2.2 Gestão da Cadeia de Suprimentos

2.2.1 Visão história, definição e planeamento

Até meados de 1940, a baixa capacidade de distribuição por parte das organizações era reflexo do pouco conhecimento que se tinha sobre sistema logístico (Wisner et al., 2012). Entre as décadas de 1950 e 1960, surgiu a necessidade de se reduzir custos, melhorar a produtividade e aumentar a qualidade dos produtos, impulsionando o desenvolvimento da indústria através da aplicação de técnicas de produção em massa (Ivanov & Sokolov, 2010; Wisner et al., 2012) (Figura 6).

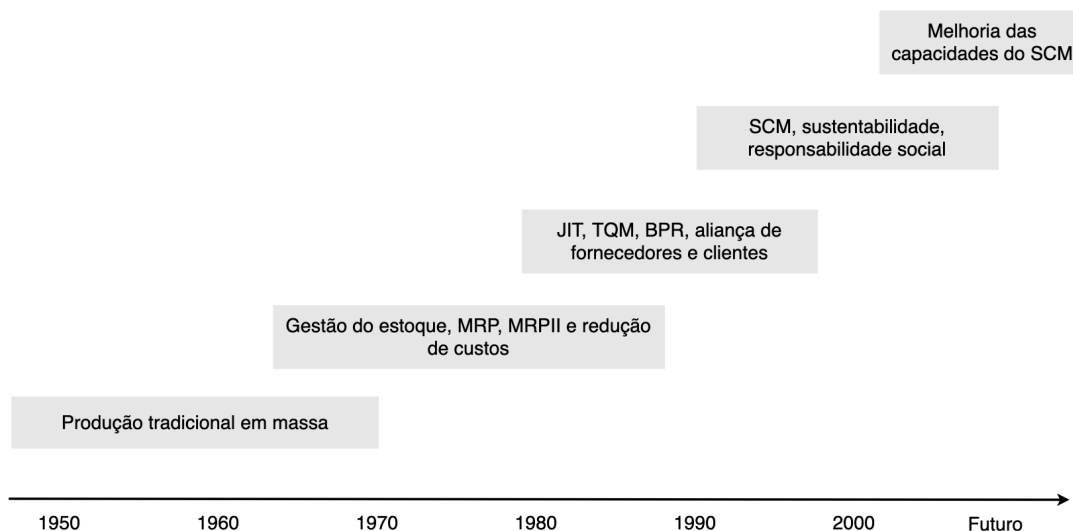


Figura 6 - Eventos históricos da gestão da cadeia de suprimentos

(Wisner et al., 2012).

No final dos anos 60, as novas tecnologias impulsionaram o surgimento de *softwares* que auxiliavam no planejamento das necessidades de materiais (MRP) e no planejamento dos recursos de fabricação (MRPII), promovendo a redução de custos associados ao estoque e a melhora da comunicação interna nas empresas (Wisner et al., 2012). Desta forma, as organizações passaram a visualizar a importância e os benefícios que uma gestão eficaz dos materiais poderia proporcionar.

Os anos 80 foram marcados pela transição do mercado que antes era dos produtores, para o mercado voltado para o consumidor. A gestão de uma grande variedade de produtos e a concorrência global incentivaram os fabricantes a oferecerem produtos cada vez mais acessíveis e que atendessem as exigências dos clientes (Wisner et al., 2012). Conseqüentemente, essas mudanças fizeram com que as empresas buscassem estratégias para ganhar destaque, foi então que surgiram os conceitos de *just-in-time* (JIT) e gestão da qualidade total (TQM), que tinham o propósito de auxiliar a melhoria da qualidade, eficiência de fabricação e otimizar os prazos de entrega (Wisner et al., 2012).

A evolução natural do conceito de logística integrada deu origem ao que chamamos hoje de *Supply Chain Management*, termo que foi introduzido pela primeira vez por Keith Oliver em 1982 (Kransdorff, 1982). Devido a globalização do mercado, o aumento da concorrência e dos custos relacionados ao estoque, a gestão da cadeia de suprimentos tornou-se relevante a partir dos anos 90, principalmente na indústria automobilística, eletrônica e têxtil (Ivanov & Sokolov, 2010).

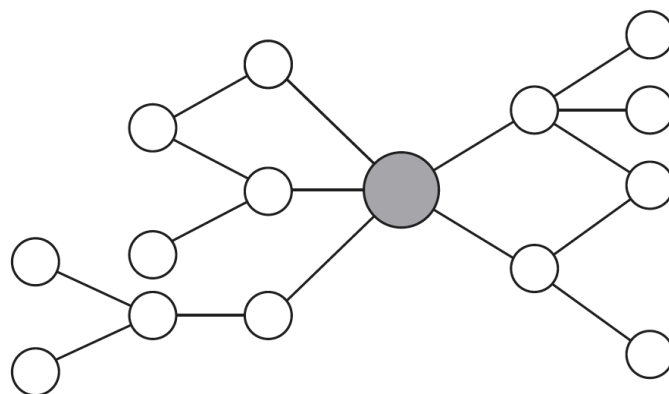
Com o objetivo de superar os novos desafios, as instituições iniciaram um movimento de compra certificada, no qual selecionavam os fornecedores com a mais alta reputação e capazes de garantir a qualidade do produto, e os inseriam dentro de uma cadeia onde ambas as partes poderiam ser

beneficiadas (Wisner et al., 2012). Em outras palavras, as empresas ofereciam boa parte de seus negócios aos melhores fornecedores que, em troca, garantissem maior qualidade do produto a um custo reduzido.

Atualmente, já se sabe que a gestão da cadeia de suprimentos vai além da logística e é capaz de coordenar e conectar todos processos e partes envolvidas (Christopher, 2011). O surgimento de novos fenômenos como a Indústria 4.0, tecnologia avançada e soluções baseadas na Internet tornam ainda mais desafiadora e complexa a dinâmica da cadeia de suprimentos e sua gestão (Dobroszek, 2020). Segundo Dobroszek (2020), a complexidade da SC está relacionada com o desafio de adotar novas direções que incluam não só objetivos econômicos, mas também aqueles relacionados à dimensões social e ambiental.

De acordo com o *Council Supply Chain Management Professionals* (2013), o SCM engloba o planejamento, o controle de todas as atividades envolvidas no fornecimento e aquisição, a conversão e todas as atividades da gestão logística. Além disso, também inclui a coordenação e a colaboração de fornecedores, mediadores, prestadores de serviço e clientes. Nesse sentido, pode ser considerado um processo mais complexo e que diz respeito à todas as envolventes relacionadas ao abastecimento, produção e entrega de produtos ou serviços. De maneira geral, a gestão da cadeia de suprimentos tem como objetivo integrar as principais funções e os processos comerciais dentro e entre empresas em um modelo de negócios coeso e de alto desempenho, priorizando a redução de custos em todas as etapas da produção (CSCMP, 2013).

O SCM é geralmente definido como uma cadeia de organizações que, através da relação com clientes e fornecedores nos diferentes processos de concepção de um produto ou serviço, desenvolvem e entregam valor superior ao consumidor final a um custo reduzido para a cadeia como um todo (Christopher, 2011). Christopher (2011) argumenta que, na verdade, o termo “gestão da cadeia de suprimentos”, deveria ser substituído por “gestão da cadeia da demanda”, indicando que a cadeia deve ser impulsionada pelo mercado e não pelos fornecedores. Mais adiante, Christopher (2011) ainda sugere que o SCM deveria ser visto com uma rede, pois normalmente é formado por múltiplos fornecedores, fornecedores de fornecedores, clientes e clientes de clientes que, interligados em um sistema total, formam um *network*. A Figura 7 ilustra a ideia de que empresa está no centro de uma rede interligada de clientes e fornecedores.



*Figura 7 - A rede da cadeia de suprimentos
(Christopher, 2011).*

O planeamento da cadeia de suprimentos permite traçar diferentes objetivos relacionados aos mais diversos níveis de decisão como otimização de processos, redução de custos, identificação de oportunidades, etc (Goetschalckx, 2011). Já a tomada de decisão, dá suporte a todos os tipos de decisões e envolve múltiplas soluções que são definidas de acordo com os interesses e valores das diferentes partes que a compõe (Goetschalckx, 2011; Ivanov & Sokolov, 2010). Segundo Ballou (2006), o processo de planeamento da cadeia de suprimentos pode ser classificado em três diferentes níveis de acordo o seu horizonte temporal, sendo eles: estratégico, tático e operacional.

O planeamento estratégico é considerado o mais importante e arriscado entre eles, no qual define a direção geral da organização à longo prazo (Waters, 2003). Já o planeamento tático, tem um horizonte temporal de médio prazo, normalmente inferior a um ano, e envolvem menos recursos e riscos moderados (Ballou, 2006). Por fim, o planeamento operacional é caracterizado pelo seu processo de decisão de curto prazo, sendo mais detalhado e envolvendo menos riscos (Ballou, 2006; Waters, 2003). A principal diferença entre os três tipos de planeamento está relacionada com o nível de importância das decisões (Waters, 2003). Em outras palavras, situações nas quais são requeridas conhecimentos mais aprofundados sobre determinados problemas ou métodos mais específicos são classificadas como táticas ou operacionais (Ballou, 2006). Por outro lado, quando existe uma incerteza de dados e, portanto, são considerados valores médios, é preferível adotar um planeamento estratégico através de uma abordagem geral (Goetschalckx, 2011).

Diante das diversas atividades logísticas que a cadeia de suprimentos da construção engloba, destacam-se as práticas ligadas à aquisição, transporte e armazenamento (Said & El-Rayes, 2014; Vidalakis et al., 2011; Ying et al., 2014). De acordo com Le (2018), o processo de tomada de decisão dentro CSC apresenta suas particularidades e, como resultado, suas práticas encontram-se em um nível de integração interna (Figura 8). Assim, com o objetivo de promover o desenvolvimento da cadeia de

suprimentos da construção e reduzir os impactos ambientais causado pelo setor, diferentes metodologias inovadoras vêm sendo aplicadas na área (Dave et al., 2016; Deng et al., 2019; Papadonikolaki et al., 2015; Sacks et al., 2010).

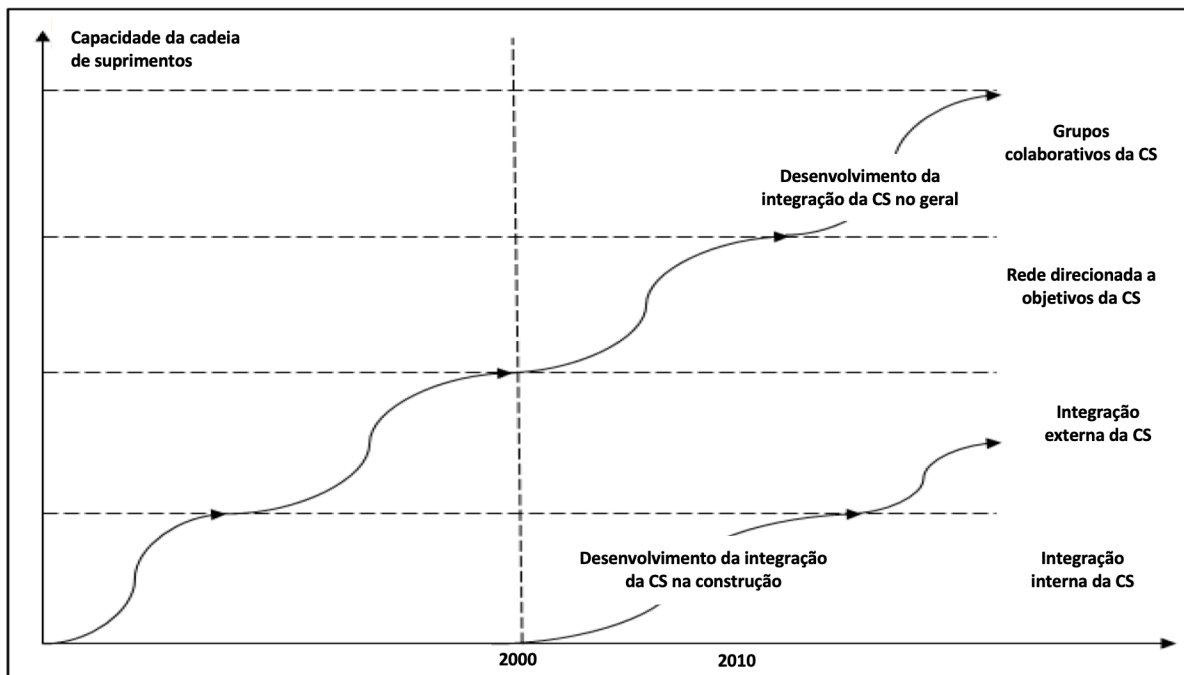


Figura 8 - Integração da cadeia de suprimentos no geral e na indústria da construção

(Le, Elmughrabi, Dao, & Chabaane, 2018).

2.2.2 Gestão de compras

Um sistema de compras eficaz e eficiente pode contribuir significativamente para o alcance de objetivos estratégicos e ser determinante para o êxito de um negócio (Wisner et al., 2012). A gestão de compras representa cerca de 40 a 60% da receita bruta, sendo considerada a atividade mais relevante dentro da cadeia de suprimentos (Ballou, 2006). Nesse sentido, reconhecendo a importância desse processo, é notório o papel que os fornecedores podem assumir quando se fala em redução de custos (Ballou, 2006). A compra é a atividade responsável pela aquisição e controle de materiais, serviços e equipamentos necessários (Bowersox et al., 2006; Wisner et al., 2012). Segundo Bowersox (2006), a gestão de compras exige esforços como o planejamento de recursos, fornecimento, negociação, colocação dos pedidos, transporte de entrada, coleta e inspeção, armazenamento e manuseio, além de garantia de qualidade.

O principal objetivo do processo de aquisição é decidir o que, quando e quanto comprar, priorizando o menor custo total e a melhor qualidade possível (Burt & Pinkerton, 1996; Wisner et al., 2012). Tendo em vista que a quantidade adquirida afeta diretamente os custos de aquisição, transporte e

armazenamento, existem estratégias que priorizam a compra de produtos de acordo com a necessidade da demanda, como é o caso do *just-in-time* (Ballou, 2006). Por outro lado, Ballou (2006) cita outras estratégias eficientes que visam a redução do custo de aquisição, como por exemplo a compra adiantada e a compra especulativa, que se diferem por obter uma quantidade superior à previsão de futuras demandas.

A compra adiantada é tida como um método eficiente quando existe uma expectativa de aumento de preço de um determinado produto e que visa não exceder às previsões de demanda do futuro próximo. Para que essa estratégia proporcione benefícios econômicos, é importante que os preços sazonais sejam razoavelmente sólidos e intuitivos, possibilitando prever o custo médio do produto (Ballou, 2006). Existe ainda a possibilidade de uma estratégia mista, que inclui a compra do que é estritamente necessário quando ocorre uma alta nos preços e a compra antecipada em épocas de queda de preços (Ballou, 2006).

Comprar em grandes quantidades pode significar uma economia através descontos por parte dos fornecedores. Contudo, é necessário considerar custos ocultos relacionados ao transporte e *stock*, por exemplo (Shin & Benton, 2007). Shin e Benton (2007) explicam que, apesar do desconto por quantidade ser atrativo, geralmente os compradores buscam adquirir lotes econômicos que minimizem os custos de frete e inventário. Assim, para conciliar o conflito de interesses entre ambas as partes, é fundamental encontrar um ponto de equilíbrio que ofereça tanto descontos atrativos para quem compra, quanto maior lucratividade para quem vende (Ballou, 2006).

Segundo Ballou (2006), existem dois tipos de incentivos relacionados à desconto por quantidade: inclusivo e não-inclusivo. Os incentivos inclusivos são aqueles que fornecem um desconto aplicado a todos os itens, quando adquiridos a partir de uma determinada quantidade elevada (Figura 9). Em contrapartida, o plano não-inclusivo oferece desconto apenas para quantidade de itens superior a uma quantidade mínima de compra (Figura 10). No entanto, independente do incentivo oferecido, Ballou (2006) destaca a importância de determinar a quantidade ótima de compra para que compense a aquisição em grandes escalas.

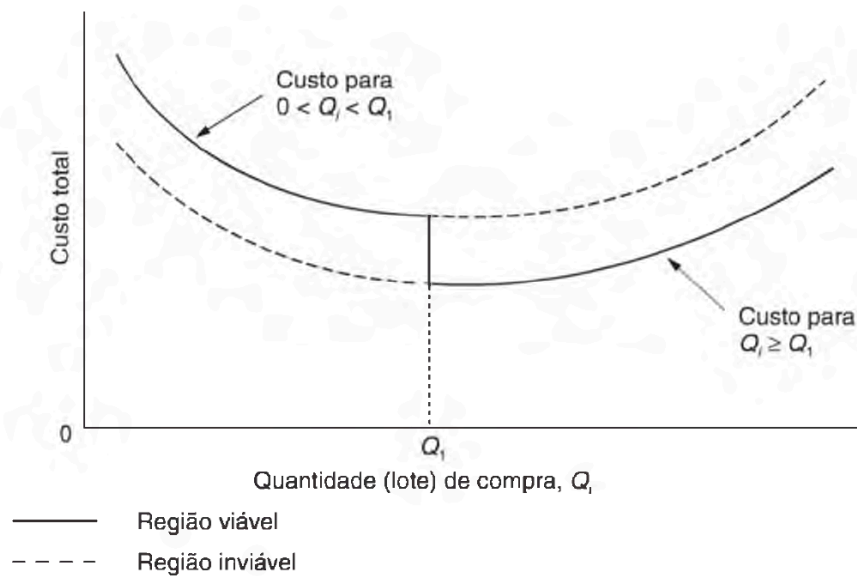


Figura 9 - Curva de custo total com desconto inclusivo de preço por quantidade
(Ballou, 2006).

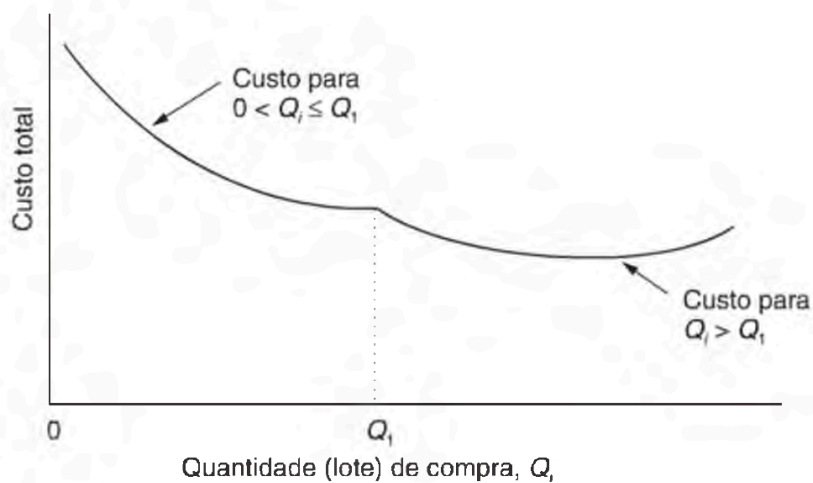


Figura 10 - Curva de custo total com desconto não-inclusivo de preço por quantidade
(Ballou, 2006).

No setor AECO, a atividade de compras tem a finalidade de garantir a aquisição de todo o material necessários em obra de acordo com os prazos estabelecidos em cada etapa de construção (Santos & Jungles, 2008). Normalmente, o departamento de compras é responsável pela gestão e a realização da aquisição de materiais de construção, sendo o principal vínculo entre a organização e a cadeia de suprimentos (Santos & Jungles, 2008). No entanto, pouco se investe em novas ferramentas e tecnologias para aprimorar o processo de compra. Santos e Jungles (2008) ainda explicam que, tradicionalmente,

as empresas de construção concentram-se na atividade de compras de acordo com a necessidade imediata de matéria-prima.

No ramo da construção, o inventário prioriza garantir que não falte matéria-prima durante o processo de conclusão de cada etapa de um projeto (Tanubrata & Gunawan, 2018).

A quantidade de material em *stock* deve ser grande o suficiente para garantir que não haja prejuízos em termos de custo de manutenção, como também não pode ser muito restrito a ponto de gerar gastos extras devido à falta do mesmo (Ballou, 2006). Tanubrata e Gunawan (2018) listam alguns dos principais fatores que afetam o processo de aquisição de materiais:

- Demanda estimada: o planejamento deve considerar a quantidade total de material necessário, a quantidade armazenada em *stock* e cronograma do projeto;
- Despesa estimada: o custo total de aquisição depende da disponibilidade financeira especificada no cronograma de inventário;
- Tempo de espera: tempo necessário entre a encomenda de material e a sua chegada no centro logístico;
- Situações econômicas: as condições econômicas do mercado podem afetar o planejamento de metas; e
- Condições de armazenagem: o armazenamento deve ser planejado para que a distribuição e administração dos materiais sejam eficazes.

Nas últimas décadas, o termo gestão de suprimentos vem sendo cada vez mais difundido no ambiente empresarial para se referir ao processo de compra devido à sua complexidade e o importante papel estratégico que o sistema de aquisição pode assumir (Wisner et al., 2012). Burt e Pinkerton (1996) afirmam que o processo de aquisição inicia desde o desenvolvimento do produto e envolve diversos departamentos responsáveis por atividades que afetam a qualidade entregue pela empresa, a capacidade de produção e a rentabilidade da mesma. Portanto, através da gestão de suprimentos integrada é possível promover um melhor controle dos custos e da qualidade dos bens e serviços adquiridos.

Um sistema de compra proativa pode ser usado como uma ferramenta auxiliadora na evolução do sistema integrado de aquisição (Burt & Pinkerton, 1996). De acordo com Burt e Pinkerton (1996), cada departamento reconhece o seu papel e contribui de forma eficaz para que o processo de aquisição seja mais produtivo, lucrativo e garanta a qualidade de forma rápida. Burt e Pinkerton (1996) ainda sugerem que o processo de compra proativa pode ser usado como estratégia de negociação com fornecedores, visto que o relacionamento a longo prazo promove a redução do custo total dos materiais.

O desenvolvimento de parcerias de sucesso com fornecedores necessita a existência de uma série de elementos-chave como confiança, alinhamento dos objetivos, necessidades compatíveis, compromisso, compartilhamento de informações (Wisner et al., 2012). Wisner (2012) afirma que um dos principais pilares para um relacionamento a longo prazo é a construção da confiança que, quando consolidado, motiva a busca por soluções mais eficientes através do compartilhamento de informações e avaliação dos mecanismos para alcançar os resultados.

Da mesma forma, para que a aliança alcance o sucesso pretendido, é necessário que os objetivos estejam alinhados estrategicamente, isso pode ser traduzido no estabelecimento de controle igualitário dos parceiros na tomada de decisões (Wisner et al., 2012). Parcerias tendem a ser bem sucedidas quando há envolvimento e compromisso entre as empresas, além disso as necessidades de ambas devem ser compatíveis para que haja um benefício mútuo (Wisner et al., 2012).

Por último, de acordo com Wisner (2012), outro elemento fundamental para estabelecer uma parceria bem sucedida abrange o compartilhamento de informações. O troca de informações se torna mais eficiente quando há um alto grau de confiança entre empresas. A precisão e a qualidade das informações trocadas promovem uma comunicação facilitada e, conseqüentemente, contribuem para o sucesso dessa parceria (Wisner et al., 2012).

Embora a implementação dos elementos-chave abordados anteriormente aumente as chances de se criar parcerias bem sucedidas, é importante salientar que existem riscos inerentes que podem trazer potenciais prejuízos aos envolvidos (Benton & McHenry, 2010; Thomas et al., 1990). A Tabela 1 mostra os benefícios e os riscos existentes no processo de desenvolvimento de parcerias.

*Tabela 1 - Benefícios e riscos envolvidos no desenvolvimento de parcerias
(Adaptado de Thomas et al., 1990).*

	Benefícios	Riscos
Comprador (empresa)	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do custo de produção; • Aumento da qualidade; • Redução da complexidade e dos custos de montagem e aquisição; • Garantia de fornecimento; • Relações das cooperativas com os fornecedores; • Previsão de contratos; 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior dependência de fornecedores; • Implantação de um novo estilo de negociação; • Menor competição entre os fornecedores; • Aumento das habilidades administrativas (ferramentas de gestão); • Redução da mobilidade de pessoal; • Aumento nos custos de comunicação e coordenação;

	<ul style="list-style-type: none"> • Transparência nas informações relacionadas ao custo dos fornecedores; • Redução de preços negociada durante o tempo de contrato. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento do apoio ao fornecedor; • Novas estruturas de recompensa aos fornecedores; • Perda de contato direto com fornecedores secundários.
Vendedor (fornecedor)	<ul style="list-style-type: none"> • Previsão de contratos; • Mão-de-obra e produção mais estáveis; • Aumento de eficácia dos esforços de pesquisa e desenvolvimento; • Suporte dos <i>status</i> da empresa por parte de aliados na empresa compradora; • Assistência por parte de comprador; • Influência nos processos de decisão do comprador; • Informação quanto às decisões relacionadas a compras pelo comprador. 	<ul style="list-style-type: none"> • Transparência das informações de custos; • Pressão para assumir as cargas de todas as fases, desde o projeto até a garantia, enquanto se aumenta a qualidade e se reduzem os custos; • Menos autonomia; • Aumento nos custos de coordenação e comunicação; • Insegurança quanto à possibilidade da extinção da parceria.

2.2.3 Gestão do risco

É notável que uma boa gestão da cadeia de suprimentos tem um potencial de proporcionar melhor qualidade de mercado e redução de custos. Porém, como consequência, pode representar maiores níveis de risco (Wisner et al., 2012). As consequências financeiras causadas por imprevistos em toda a rede de suprimentos carecem do desenvolvimento de programas para mitigar tais riscos (Christopher, 2011). Para que a gestão de risco seja bem sucedida, é preciso definir quais níveis de exposição são considerados aceitáveis a fim de se cumprir os objetivos de um projeto (PMBOK®, 2017) A vulnerabilidade da cadeia de suprimentos e a probabilidade do colapso podem ser identificadas através da definição do perfil de risco, sendo possível prevê-lo de acordo com as decisões estratégicas tomadas. Christopher (2011) identifica cinco principais fontes de risco:

1. Risco de fornecimento
2. Risco de demanda
3. Risco de processo
4. Risco de controle

5. Risco ambiental

À medida que a competitividade do mercado aumenta, a exposição das instituições ao risco se torna cada vez mais crescente. A exposição ao risco de maneira estratégica e controlada pode proporcionar recompensas, porém, na ausência de uma gestão eficaz, pode resultar em grandes sequelas (PMBOK®, 2017). Segundo Wisner (2012), existem cinco atividades a serem consideradas para uma gestão bem sucedida do risco da cadeia de suprimentos (Tabela 2).

Tabela 2 - Atividades da gestão de risco na cadeia de suprimentos

(Adaptado de Wisner et al., 2012).

Atividades da gestão de risco	Descrição
Aumentar o <i>stock</i> de segurança e compras antecipadas	Pode custar caro. É uma alternativa de escala.
Identificar fornecedores de apoio e serviços logísticos	Pode prejudicar o relacionamento com os parceiros atuais. Requer tempo e construção de relacionamentos.
Diversificar a base de fornecimento	Escolha de fornecedores geograficamente diversos para minimizar os impactos de interrupções.
Utilizar um sistema de TI da cadeia de suprimentos	Coleta e compartilhamento de informações apropriadas com os parceiros da cadeia de suprimentos.
Desenvolver um programa formal de gestão de risco	Identifica potenciais rupturas e a resposta apropriada.

Com o surgimento de novo modelos de gestão, a crítica ao *stock* de segurança vem aumentando progressivamente devido, principalmente, ao seu elevado custo de manutenção (Ballou, 2006). No entanto, em alguns casos, essa estratégia pode ser considerada como uma alternativa para a gestão do risco quando aplicada a curto prazo (Wisner et al., 2012). O cenário econômico atual ilustra uma crescente preocupação das empresas com a escassez de recursos e, conseqüentemente, o aumento de preços. Nesse sentido, a implementação de uma programação estocástica pode render soluções mais econômicas e seguras (Hsu et al., 2020; Wisner et al., 2012).

A fim de evitar interrupções de fornecimento, a identificação de potenciais fornecedores e serviços terceirizados surge como outra alternativa em situações onde não há a disponibilidade do fornecedor ou serviço elegido (Wisner et al., 2012). Contudo, Wisner (2012) alerta para as possíveis desvantagens que esse modelo pode promover, como o prejuízo da relação entre os envolvidos e insegurança por parte do fornecedor ao diminuir o seu percentual de vendas para o comprador.

Concentrar a demanda em uma única fonte de suprimento pode representar um alto risco. Medidas como ter fornecedores alternativos ou trabalhar com múltiplas fontes de recursos garantem que não ocorra suspensão no fornecimento (Ballou, 2006). Ao longo da história, diversas crises afetaram negativamente o fornecimento dos mais diversos produtos dentro da cadeia de suprimentos. Portanto, é imprescindível diversificar as fontes de aquisição a fim de evitar possíveis eventos inesperados, sejam eles econômicos, ambientais ou políticos (Wisner et al., 2012).

A necessidade de troca de informações entre clientes e fornecedores foi impulsionada pelo crescimento da gestão da cadeia de suprimentos. O conceito de TI surge como uma ferramenta de união de vários setores como compra, transporte, *stock*, financeiro e recursos humanos através de um único banco de dados comum (Wisner et al., 2012). Além disso, esse sistema auxilia na precisão na troca de informações, o que diminui significativamente os riscos que envolvem o acúmulo excessivo de inventário e custos desnecessários.

Por último, Wisner (2012) enfatiza a importância de se criar um plano formal de gestão de risco que abrange todas as partes envolvidas. As organizações devem criar planos para garantir a continuidade de fornecimento através da identificação e monitoramento dos possíveis riscos, como atrasos de entrega, dependência de infraestrutura específica e falta de fornecedor (Christopher, 2011). Estratégias que envolvem a reestruturação da empresa, monitoramento da capacidade de gestão de risco, supervisionamento dos riscos e o controle de negócios também devem ser implementadas em conjuntos (Wisner et al., 2012).

A capacidade de superar as adversidades se torna ainda mais relevante quando se trata de riscos. Christopher (2011) destaca a importância da resiliência dentro da cadeia de suprimentos através da flexibilidade e agilidade dos processos. Assim, o objetivo final é compreender as consequências das decisões estratégicas tomadas para mitigar e controlar os riscos, de forma a garantir um bom funcionamento da cadeia de suprimentos. A Figura 11 ilustra as principais exigências que devem ser cumpridas para que a resiliência dentro do SCM seja alcançada.

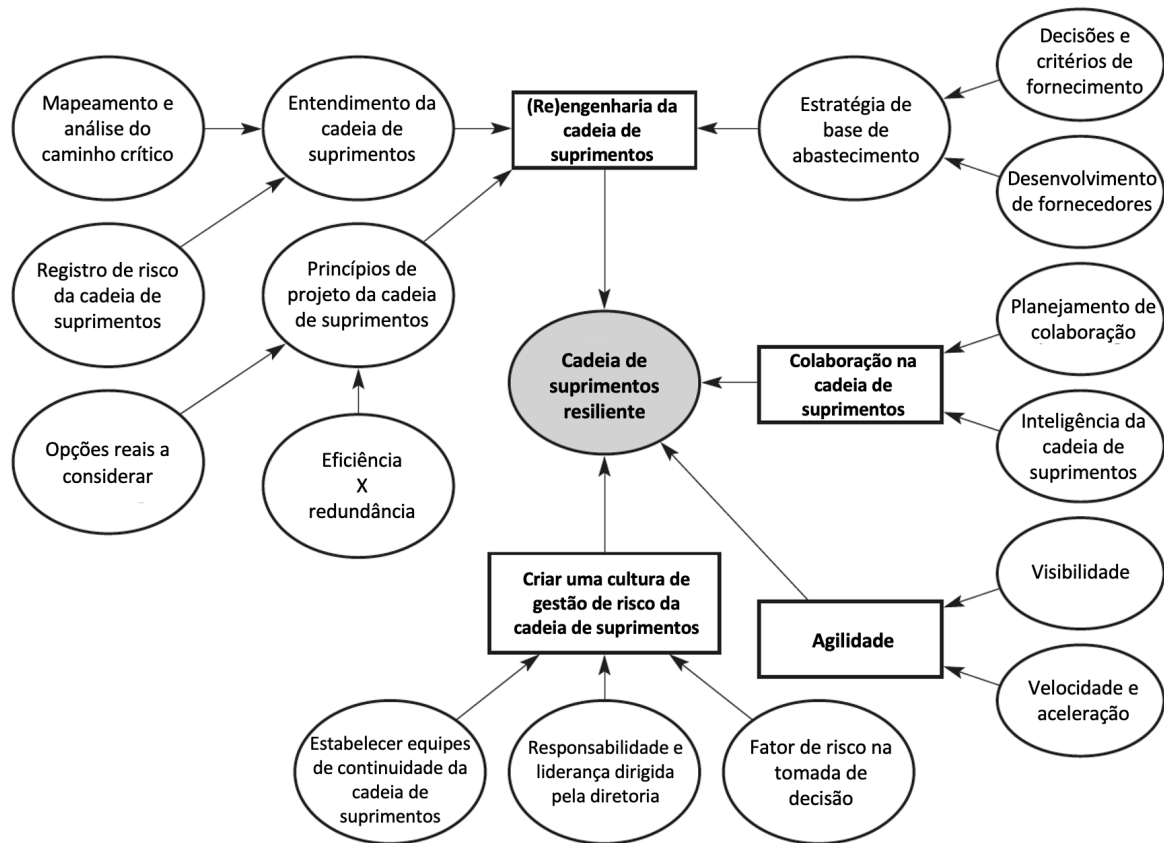
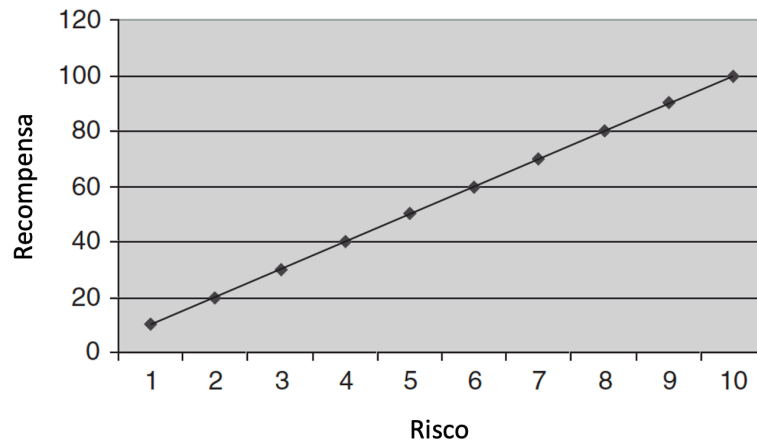


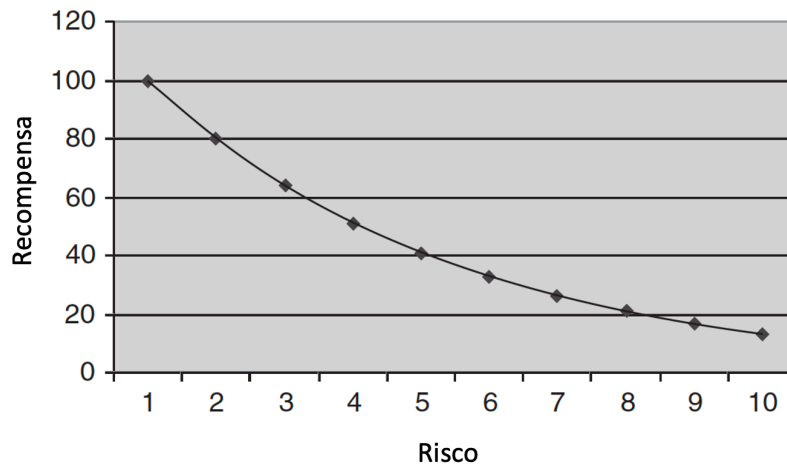
Figura 11 - Resiliência na cadeia de suprimentos

(Christopher, 2011).

De modo geral, as recompensas expectáveis são diretamente proporcionais ao nível de exposição ao risco (Benton & McHenry, 2010). Em outras palavras, quanto maior for o risco corrido, maior será a recompensa final (Figura 12). Por outro lado, no setor AECO, esse comportamento é contraintuitivo, pois a minimização de riscos durante a execução do projeto reduz as perdas e, conseqüentemente, haverá mais recompensas (Figura 13).

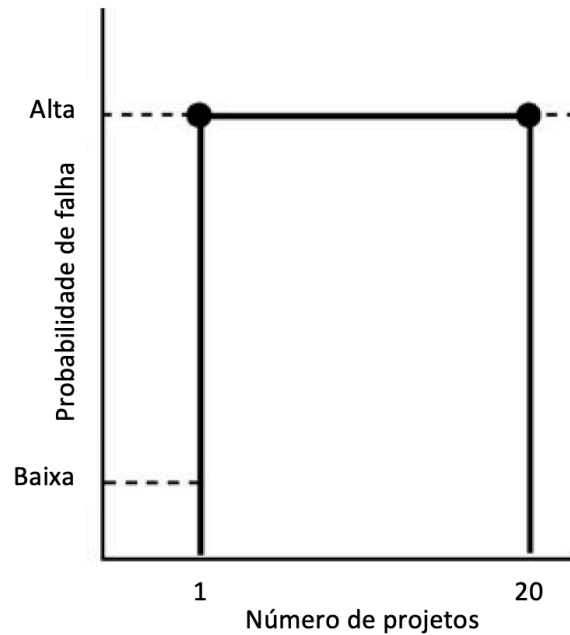


*Figura 12 - Risco versus recompensa no setor da manufatura
(Benton & McHenry, 2010).*



*Figura 13 - Risco versus recompensa no setor AECO
(Benton & McHenry, 2010).*

O contraste entre os riscos nos setores da manufatura e construção estão presentes principalmente no que diz respeito à operação. Um processo de fabricação clássico é previsível e estável, diferentemente do setor AECO, onde o produto final é único e não pode ser produzido em longa escala (Benton & McHenry, 2010). A complexidade da cadeia de suprimentos na construção faz com que a probabilidade de falha se mantenha constante (Figura 14).



*Figura 14 - Probabilidade de falha no setor AECO
(Benton & McHenry, 2010).*

Normalmente, as relações entre os elementos da cadeia são de curto prazo e constantemente influenciadas pelos processos de negociação na busca por preços mais baixos (Benton & McHenry, 2010). Benton e McHenry (2010) ainda abordam o fator tempo como sendo crítico no processo de construção, pois o valor final de uma obra depende do cumprimento de prazos estabelecidos no contrato. Dessa forma, imprevistos relacionados à atrasos, incluindo eventualidades causadas pelas condições climáticas, devem ser considerados a fim de se evitar gastos desnecessários.

A implementação da cadeia de suprimentos da construção tende a ser ainda mais desafiadora quando comparada à metodologia praticada em outras indústrias, pois, quando nasce um projeto, nasce também uma nova cadeia de suprimentos. Sendo assim, a CSCM pode ser considerada uma excelente oportunidade de aprimoramento das ferramentas já aplicadas no setor manufatureiro para mitigar riscos (Benton & McHenry, 2010). A Figura 15 ilustra a probabilidade de falha no setor AECO com a gestão da cadeia de suprimentos.

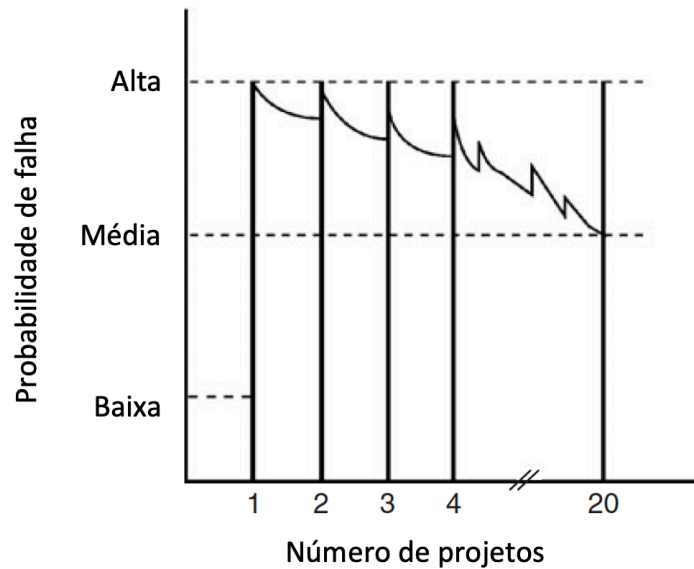


Figura 15 - Probabilidade de falha no setor AECO com a gestão da cadeia de suprimentos

(Benton & McHenry, 2010).

2.2.4 Gestão de *stock*

O inventário é considerado um dos ativos mais importantes de uma organização, visto que o mesmo pode representar um percentual significativo da receita total de uma empresa (Wisner et al., 2012). Como uma estratégia para oferecer um alto nível de serviço ao cliente, o inventário prioriza a prevenção contra as incertezas da demanda e a indisponibilidade de matéria-prima (Goetschalckx, 2011; Ravindran & Warsing Jr., 2013). No entanto, para que o controle de *stock* seja bem sucedido, é necessário uma gestão eficiente a fim de se evitar a falta de recursos e desperdícios desnecessários (Wisner et al., 2012). Até meados do século XX, os sistemas de transporte e informação não eram eficientes, provocando o acúmulo de mercadorias em grandes armazéns. Após esse período, com processo de globalização, o surgimento de fontes alternativas de fornecimento e plataformas de comunicação transformaram a opinião existente sobre inventário (Goetschalckx, 2011). Tendo em vista que o custo de manutenção de *stock* pode representar cerca de 20 a 40% do seu valor por ano, a decisão de manter ou não o inventário passou a depender do equilíbrio de outras despesas, como aquisição e transporte (Ballou, 2006; Goetschalckx, 2011).

Embora exista uma tendência mundial de aplicar metodologias para redução de *stock*, como é o caso do *just-in-time*, ainda existem motivos que justificam a presença do mesmo dentro da cadeia de suprimentos (Ballou, 2006). A utilização de um inventário pode promover a melhoria do serviço ao cliente, de forma a garantir constantemente a disponibilidade de um produto e, conseqüentemente, proporcionar o aumento do nível de vendas. Além disso, Ballou (2006) ainda argumenta que, em alguns

casos, o custo relativo à manutenção de um inventário pode compensar outras despesas associadas as demais atividades da cadeia de suprimentos.

A existência de um inventário é capaz de proporcionar muitos benefícios econômicos. Um dos principais ganhos está relacionado com o volume de produção, possibilitando uma produtividade mais equilibrada, independente da variação da demanda. Os gastos de manutenção de *stock* também se justificam quando há um incentivo econômico em aquisição e transporte, principalmente quando se obtém descontos na compra de grandes quantidades e redução de despesas com portes através de um melhor aproveitamento do veículo. Além disso, comprar uma quantidade maior que a demanda imediata por um valor mais baixo pode ser vantajoso quando se espera uma alta dos preços. Por último, os riscos relacionados ao incumprimento de prazos e imprevistos podem impactar negativamente os custos operacionais e no relacionamento com o cliente (Ballou, 2006). Em contrapartida, Ballou (2006) argumenta que o inventário pode ser considerado uma fonte de desperdício de recursos, uma vez que esse capital poderia ser investido em melhorias de produtividade e competitividade.

A criação de um inventário requer o entendimento da sua função dentro da cadeia de suprimentos (Bowersox et al., 2006). De acordo com Goetschalckx (2011), existem diferentes tipos de inventários que variam de acordo com a sua finalidade. A Tabela 3 apresenta os tipos de inventário.

Tabela 3 - Tipos de inventários e suas finalidades
(Goetschalckx, 2011).

Tipo de inventário	Descrição
Inventário cíclico	<i>Stock</i> criado para suprir uma demanda média entre sucessivos reabastecimentos. Depende das limitações de espaço de armazenamento, lote de produção, prazos de reposição, etc.
Inventário sazonal	<i>Stock</i> criado ao longo de um período de tempo prolongado para suprir uma demanda sazonal. Exemplo: produção de artigos decorativos de natal.
Inventário de transporte	Inventário de produtos em transporte. Os custos associados a esse inventário tendem a ser mais econômicos utilizando meios de transporte mais rápidos ou reduzindo a distância entre fornecer e cliente.
Inventário de trabalho em progresso	Inventário criado por materiais que são parcialmente processados, mas ainda não prontos para a venda. Exemplo: produção de queijo e vinhos.

Inventário especulativo	<i>Stock</i> adquirido antecipadamente por um valor mais baixo, prevendo uma futura alta nos preços.
Inventário de segurança	É um acréscimo ao <i>stock</i> necessário com o objetivo de se prevenir de possíveis imprevistos.
Inventário de emergência	Inventário criado para responder a emergências num prazo curto de tempo. Exemplo: peças de reposição de componentes críticos de rede elétrica regional.
Inventário de materiais	Stock de matérias-primas necessárias em um processo de produção. Exemplo: peças de computador.

O controle de custos é um dos principais pilares para que a gestão de *stock* seja bem sucedida (Wisner et al., 2012). Segundo Wisner et al. (2012), as despesas relacionadas ao inventário podem ser classificadas como diretas ou indiretas, fixas ou variáveis e custo de pedido ou manutenção. Os custos diretos são aqueles facilmente identificados, como os custos de matéria-prima e mão-de-obra utilizados. Em contrapartidas, os custos indiretos estão relacionados com os encargos gerais de fabricação que são obtidos após a conclusão do processo e que envolvem despesas com energia elétrica, aquecimento, equipamentos, etc. Custos de aluguel, segurança e equipamentos são classificados como fixos, pois são independentes da quantidade produzida, enquanto que os custos variáveis mudam de acordo com número de itens fabricados. O custo de pedido está associado à solicitação de um determinado produto junto ao fornecedor, incluindo gastos administrativos de preparação. Já os custos de manutenção compreendem em despesas de manuseio, armazenamento, seguro, roubo, impostos e custo de capital. Garantir a disponibilidade de um produto envolve o equilíbrio entre a quantidade ideal a ser adquirida e os custos envolvidos com o processo de abastecimento (Figura 16). Para além da classificação anterior, os custos de inventário podem ser divididos em três categorias principais: custo de aquisição, manutenção e falta de *stock* (Ballou, 2006). O custo de aquisição representa o montante necessário para reposição de *stock* e engloba todas as despesas geradas durante o processo de compra que inicia no momento do processamento do pedido e finaliza com a recepção do produto final.

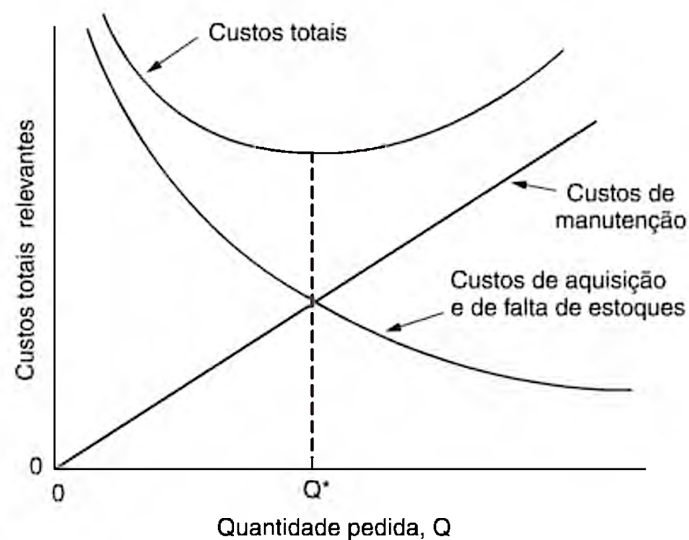


Figura 16 - Compensação dos custos relevantes de stock com a quantidade adquirida
(Ballou, 2006, p. 279).

Por outro lado, os custos de manutenção dos *stocks* resultam do armazenamento de produtos durante um determinado período e são divididos em quatro classes distintas: custo de espaço, custo de capital, custo de serviço e custo de risco (Ballou, 2006). O custo de espaço é calculado a partir do volume ocupado no centro logístico. Normalmente, as taxas são cobradas por peso e período de tempo e representam uma parcela irrelevante do custo de manutenção. Já o custo de capital, equivale ao valor imobilizado em *stock*, representando cerca de 80% do custo total. Em outras palavras, o capital investido constitui os ativos de curto e longo prazo e, além disso, o seu custo final pode variar de acordo com a taxa máxima de juros e o custo de oportunidade. As despesas com serviço, como seguros e impostos, também são consideradas custos de manutenção, pois o seu nível depende do *stock* total disponível. Por fim, devem ser estimados os custos relativos à deterioração, danos ou obsolescência do material, tendo em conta que, na maioria dos casos, ocorrem perdas durante o processo de manutenção do stock.

Finalmente, Ballou (2006) classifica duas principais fontes de custos referentes à falta de *stock*: vendas perdidas e pedidos atrasados. A complexidade de ambos é resultado de determinadas ações por parte dos compradores e da dificuldade de calculá-los com exatidão. A indisponibilidade de um certo produto pode provocar o cancelamento do pedido por parte do cliente, além de prejudicar o relacionamento entre as partes, acarretando na perda potencial de negócios para outros os concorrentes (Christopher, 2011). Outra consequência da falta de *stock* se dá através do incumprimento do prazo de entrega por parte do fornecedor, gerando custos adicionais em termos de operação, transporte e manuseio. Nessas situações,

os custos são facilmente mensurados, porém é impossível estimar a quantia que as vendas futuras renderiam.

Nos últimos anos, a pressão sobre os fornecedores vem crescendo à medida que as empresas têm adotado estratégias de redução de *stock*, como o *just-in-time* (Christopher, 2011). Com o aumento dos níveis de exigência relacionados à redução dos prazos de entrega e a priorização por fornecedores de confiança, a prestação de um serviço superior ao cliente tem se tornado cada vez mais relevante. Christopher (2011) ainda destaca que o foco em estratégias de marketing, como atividades promocionais, ou estratégias operacionais e logísticas de redução de custos, são importantes, porém não suficientes para aumentar o número de vendas. Na maioria das vezes, o que destaca um fornecedor é o impacto positivo que a sua ação pode promover no processo de criação de valor do cliente.

O planejamento de inventário envolve três principais parâmetros: quando encomendas, quanto encomendar e controle de *stock* (Bowersox et al., 2006). O momento de reabastecimento é determinado pela variação média da demanda e o seu desempenho em termos de dias de fornecimento ou unidades. Bowersox et al. (2006) sugerem uma fórmula básica para definir o ponto de reabastecimento:

$$R = D \times T \quad (1)$$

No qual:

R = Ponto de reabastecimento em unidades;

D = Demanda média diária em unidades; e

T = Duração média do ciclo de desempenho em dias.

Bowersox et al. (2006) ainda propõem o cálculo do ponto de abastecimento adicionado de um *stock* de segurança, para quando há uma incerteza com relação à demanda ou duração do ciclo de desempenho:

$$R = D \times T + SS \quad (2)$$

Onde:

R = Ponto de reabastecimento em unidades;

D = Demanda média diária em unidades;

T = Duração média do ciclo de desempenho em dias; e

SS = *Stock* de segurança em unidades.

O quanto encomendar diz respeito ao ponto de equilíbrio entre os custos de aquisição e transporte, que é determinado pelo dimensionamento da quantidade do pedido (Bowersox et al., 2006). Logo, quanto maior o volume do pedido, maiores serão os gastos com transporte. Por outro lado, quanto maior a quantidade encomendada, mais baixo será o custo total de aquisição. A determinação dos tamanhos de

lotes de compra indica a quantidade ideal a ser adquirida para que o custo total anual com inventário seja o menor possível (Figura 17).

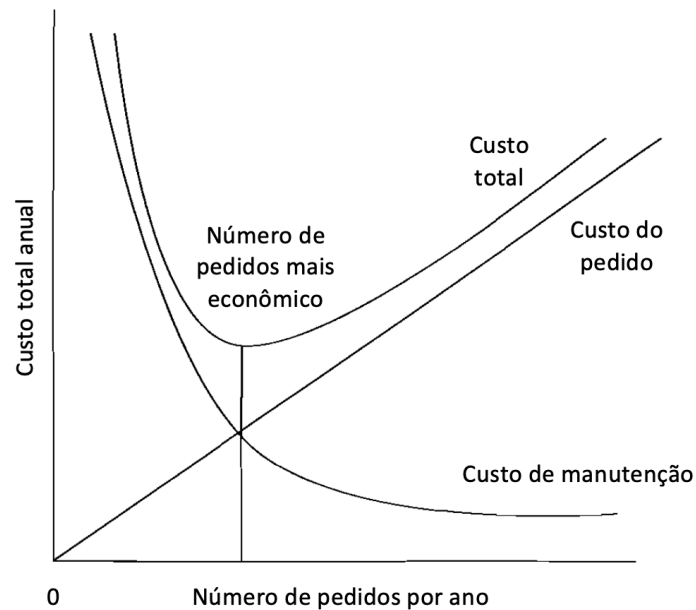


Figura 17 - Quantidade econômica de compra
(Bowersox et al., 2006).

O modelo da *Economic Order Quantity* (EOQ), também conhecido como Lote Econômico de Compra (LEC), tem como principal objetivo minimizar os custos anuais totais do *stock* através da determinação de um tamanho ideal de pedido (Bowersox et al., 2006; Wisner et al., 2012).

Segundo Wisner et al. (2012), essa prática pressupõe que a demanda, tempo de entrega, preço, custo de manutenção e custo de aquisição são conhecidos e constantes. Além disso, a entrega deve ser realizada em uma única remessa e o *stock* deve estar sempre disponível. Wisner et al. (2012) sugere uma fórmula simples para o cálculo da EOQ:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2RS}{kC}} \quad (3)$$

Onde:

R = necessidade ou demanda anual;

C = custo de aquisição por unidade;

S = custo para fazer um pedido; e

k = taxa de retenção.

O modelo de desconto por quantidade é uma extensão do clássico EOQ, no qual a suposição de preço constante se torna mais flexível (Wisner et al., 2012). Essa prática incentiva os compradores a adquirirem

um volume maior de produtos através de descontos que variam de acordo com a quantidade comprada. Bowersox et al. (2006) explicam que, para que essa estratégia seja viável, o desconto oferecido deve compensar os custos adicionais de transporte e manutenção do *stock*. Como consequência da flexibilidade do preço por unidade, o custo anual de compra se torna um fator fundamental para determinar a quantidade ideal da ordem (Wisner et al., 2012):

$$TAIC = APC + AHC + AOC = (R \times C) + \left(\frac{Q}{2}\right) \times (k \times C) + \left(\frac{R}{Q}\right) \times S \quad (4)$$

No qual:

TAIC = Custo total de estoque anual;

APC = Custo de compra anual;

AHC = Custo de manutenção anual;

AOC = Custo de pedido anual; e

Q = Quantidade do pedido.

Nesse modelo, para cada preço, existe um determinado custo anual. Dessa forma, a curva do custo total anual de *stock* é uma combinação das curvas para cada nível de preço, no qual existe um EOQ associado para cada um deles (Wisner et al., 2012). No entanto, a viabilidade do EOQ depende de que quantidade do pedido esteja dentro da faixa de quantidade do preço unitário estipulado. Wisner et al. (2012) resumem em duas etapas o procedimento para resolver o desconto por quantidade:

1. Calcular o EOQ para cada nível de preço, começando pelo valor mais baixo, até que um EOQ viável seja encontrado. Para encontrar a quantidade ideal de pedido, é requisito que o EOQ viável esteja associado ao menor preço de compra (Figura 18). Caso não se cumpra, prosseguir para o passo 2.
2. Calcular o custo total do inventário anual do EOQ viável definido na 1ª etapa, além de todos os intervalos de preços para cada nível. Os intervalos de preços que estiverem acima do EOQ viável não precisam ser avaliados, pois resultam em custos totais de *stock* anuais elevados. A quantidade ideal de pedido será definida pela quantidade do pedido que render o menor custo anual.

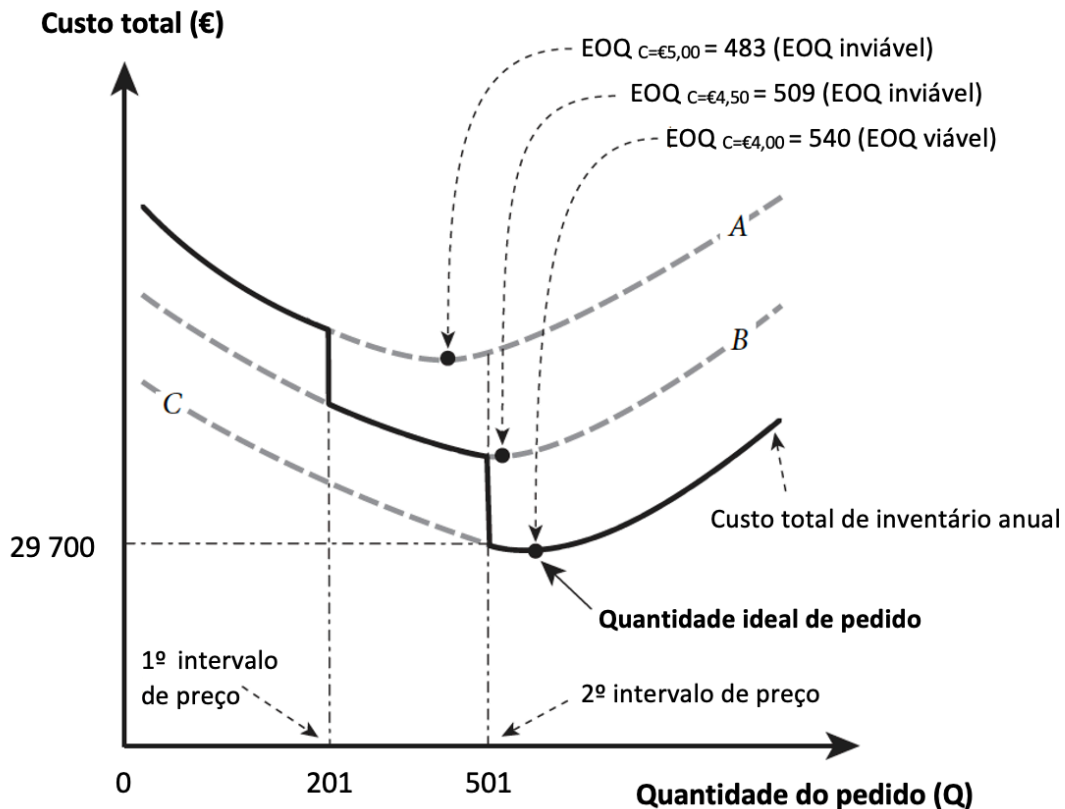


Figura 18 – Quantidade de pedido para diferentes níveis de preço
(Wisner et al., 2012).

Existem ainda outras variações do clássico modelo EOQ que são adaptadas de acordo com o tamanho do lote de produção, a compra de múltiplos itens, o capital limitado e transportes particulares (Bowersox et al., 2006). Do ponto de vista econômico, a quantidade ideal a ser fabricada é determinada pelo modelo do tamanho de lote de produção. Quando o objetivo é comprar múltiplos itens, o impacto das combinações de produtos deve ser considerado na determinação da quantidade e descontos de transporte. Já o capital limitado visa otimizar a quantidade ideal de compra para um determinado limite de orçamento. Por fim, os meios de transportes particulares influenciam na quantidade de pedidos, visto que um transporte otimizado evita viagens desnecessárias para transportar um único item, por exemplo. Finalmente, para garantir a qualidade de um determinado produto, em uma quantidade ideal, no tempo especificado e da maneira mais econômica possível de acordo com o custo estabelecido, é de fundamental importância que exista um bom controle de *stock* (Tanubrata & Gunawan, 2018). Segundo Goetschalckx (2011), uma política de *stock* considerada ótima deve promover uma redução de, no mínimo, 25% do custo médio de um sistema.

2.2.5 Gestão de transportes

O esforço das instituições para reduzirem os custos, ao mesmo tempo que priorizam um melhor atendimento ao cliente é resultado da crescente complexidade e competitividade do mercado nas últimas décadas (Coyle et al., 2011). Coyle et al. (2011) explicam que, para que tais objetivos possam ser alcançados, é fundamental que exista não só a organização da cadeia de suprimentos, como também a gestão de transportes.

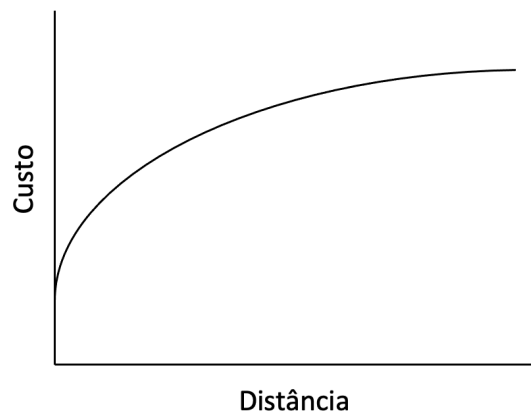
Frequentemente, o termo logística é associado às atividades de transporte. Uma possível justificativa se deve ao fato do mesmo representar cerca de um a dois terços dos custos logísticos totais (Ballou, 2006). Waters (2003) define o transporte como uma ferramenta responsável pelo deslocamento físico de bens entre os diferentes pontos da cadeia de suprimentos.

O transporte desenvolvido é capaz de promover a competitividade através da expansão da rede de fornecimento para diferentes localidades (Ballou, 2006). Além disso, um sistema de transporte eficiente e econômico pode contribuir no que diz respeito à vantagem competitiva, liberdade geográfica, estímulo de produção e redução de preços. Ballou (2006) destaca que um transporte otimizado permite disponibilizar produtos em mercados de diferentes localidades, incentivando a concorrência direta e a competitividade. Mais ainda, um transporte acessível pode oferecer a disponibilidade constante de certas mercadorias ao longo de um determinado período, a redução do custo de produção devido à ampliação do mercado, a liberdade da escolha do local de produção de acordo com as vantagens geográficas e a contribuição para a redução do valor final de um produto.

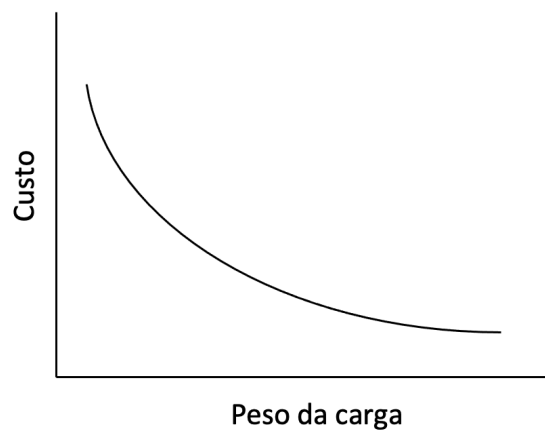
A dinâmica global e os desafios econômicos dos últimos tempos impulsionaram o desenvolvimento do setor de transportes, viabilizando o acesso a outros recursos, pessoas e lugares distintos, além de estimular o crescimento econômico de modo geral (Coyle et al., 2011). Coyle et al. (2011) sugerem que percepção dos princípios relacionados à economia do transporte pode esclarecer a importância do papel do transporte no desenvolvimento econômico de um país. Segundo Bowersox (2006), existem quatro principais fundamentos econômicos de transporte: fatores que impulsionam os custos de transporte, as estruturas de custos ou classificações, estratégias de preços de transportadoras, e tarifas e classificação de transportes.

Os custos de transporte podem ser influenciados por diversos fatores, como a distância, o volume de carga, o peso, os cuidados necessários para o manuseio do material, seguro, entre outros (Figura 20 e Figura 20). Além disso, tais custos são classificados de acordo com a sua categoria, sendo eles variáveis, fixos, conjuntos e comuns (Bowersox et al., 2006; Goetschalckx, 2011). As despesas relacionadas ao

transporte consistem em altos níveis de custos variáveis e custos fixos parcialmente baixos, no qual representam cerca de 10 a 30% (Coyle et al., 2011).



*Figura 19 - Relação entre a distância e o custo de transporte
(Bowersox et al., 2006).*



*Figura 20 - Relação entre o peso da carga e o custo de transporte
(Bowersox et al., 2006).*

De acordo com Bowersox (2006), os custos variáveis são previsíveis e são determinadas de acordo com a quantidade de material, peso ou volume. Por outro lado, os custos relacionados com manutenção de veículos, terminais, tarifas, sistemas de informação e equipamentos de apoio são contabilizados de forma independente e assim, classificados como custos fixos. Por último, Bowersox (2006) destaca a importância de se incluir custos conjuntos implícitos com base em considerações sobre as acusações apropriadas de transporte de retorno, bem como as despesas de transporte comuns relacionadas às taxas administrativas.

Diante das estratégias para estabelecer as tarifas de transporte, destacam-se duas principais: o custo de serviço e o valor de serviço. Em situações onde existe um alto nível de competitividade ou o preço da

mercadoria é relativamente baixo, é comum a aplicação da estratégia do custo de serviço, no qual considera, para além da taxa do serviço, uma margem de lucro. Como alternativa para produtos de alto valor agregado ou concorrência limitada, é aplicada a estratégia de valor de serviço. Essa última, pressupõe que o remetente está disposto a pagar um preço mais alto pelo serviço de transporte, sendo o valor de serviço compatível com o valor da mercadoria (Bowersox et al., 2006).

As mercadorias transportadas são agrupadas de acordo com uma série de características, como a densidade, capacidade de armazenamento, manuseio e valor. Essa classificação influencia diretamente nos custos de manutenção e transporte, e é usada para determinar a taxa de transporte (Bowersox et al., 2006). Waters (2003) destaca a importância da taxa de transporte para o sistema logístico, que pode ser definida pelo custo do serviço prestado, valor para o cliente, a distância movimentada, peso, tamanho e valor da mercadoria, complexidade da viagem, entre outros.

Geralmente, o transporte de mercadorias está sujeito a economias de escala significativas, o que resulta em uma redução do custo em grandes quantidades (Goetschalckx, 2011). Goetschalckx (2011) explica que os descontos adquiridos através do transporte em grandes quantidades podem ser incrementais, dados apenas para o frete adicional, ou totais, dada para todo o frete. A Figura 21 ilustra as curvas de custos total para descontos incrementais e de quantidade total, no qual a curva resultante pode ter discontinuidades. Os descontos por quantidade implicam que $c_1 > c_2 > c_3$.

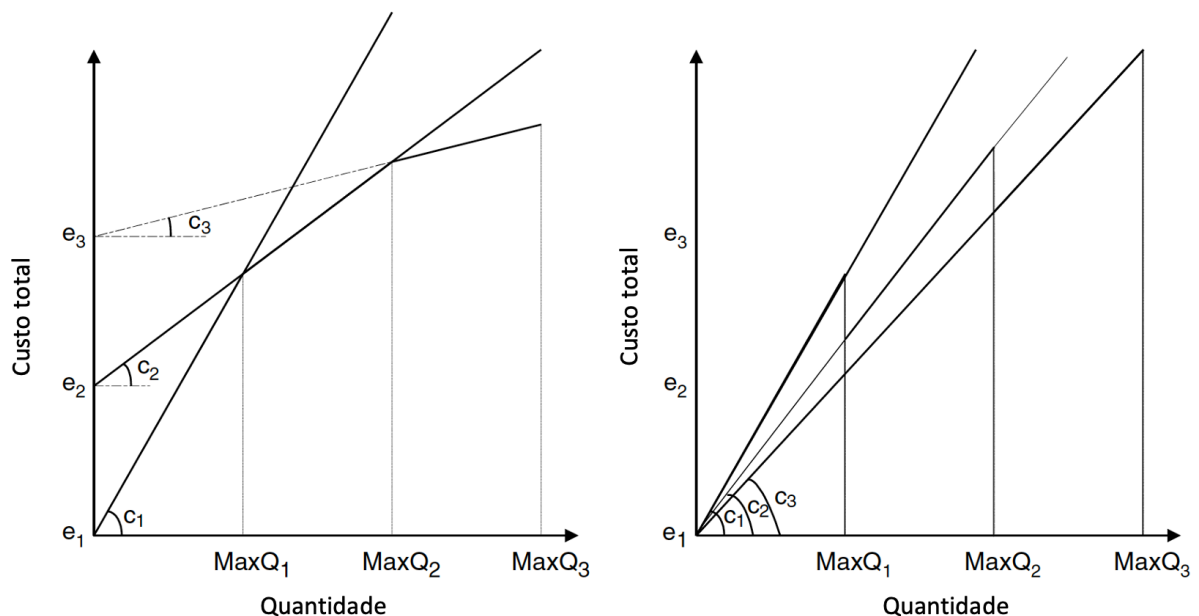


Figura 21 - Curvas de custo total para descontos incrementais e de quantidade total
(Goetschalckx, 2011).

O grande fluxo unidirecional de mercadorias pode contribuir significativamente para a assimetria dos custos de transporte (Goetschalckx, 2011). Em outras palavras, o preço do transporte de cargas de um determinado local A para o local B pode ser diferente do custo de envio do local B para o local A. Esse fenômeno se justifica pelo fato de muitas vezes o meio de transporte ir abastecido e voltar vazio para o seu ponto de origem, reduzindo consideravelmente o preço para o transporte de cargas nessa direção e contribuindo para o lucro ou prejuízo do transportador (Goetschalckx, 2011).

Estabelecer preços de transporte como estratégia para obter vantagens competitivas pode ser um processo complexo e desafiador. A determinação de preços de transporte envolve não só os custos de prestação do serviço, como também muitos outros fatores ligados à competitividade do mercado, preferências, valores para o cliente e regulamentações governamentais (Coyle et al., 2011). A falta de experiência em gestão de transportes faz com que as empresas estejam mais propensas a certas falhas. Um exemplo de erro comum praticado pelas organizações está relacionado com a falta de variação dos preços para diferentes ofertas de serviços, o que minimiza o lucro do transportador. Segundo Coyle et al. (2011), a elaboração de preços, quando feita de forma estratégica e integrada com os objetivos do transportador, favorece a obtenção de benefícios financeiros.

O serviço de transporte dispõe de uma série ilimitada de opções, existindo basicamente cinco modos de transporte diferentes: hidroviário, ferroviário, rodoviário, aeroviário e dutoviário (Ballou, 2006; Waters, 2003). Para Waters (2003), os modos de transporte se diferem de acordo com suas características e são selecionados dependendo do tipo de mercadoria a ser movimentada, a localização, distância, valor, entre outros fatores. Normalmente, a tomada de decisão no que diz respeito à escolha do serviço de transporte é influenciada principalmente pela economia e qualidade oferecidas pelo mesmo (Ballou, 2006).

Como dito anteriormente, na maioria das vezes, o custo do transporte é representado pela taxa de transporte dos produtos mais as despesas complementares. No entanto, o valor final pode variar consoante a escolha do transportador. No caso de serviços terceirizados, o valor total inclui tarifas adicionais, como taxas de embarque, entrega no destino, seguros, preparação de mercadorias para embarque e outros (Ballou, 2006). Já quando o próprio embarcador é quem faz o serviço, deve-se considerar os custos com combustível, salários, manutenção, depreciação dos equipamentos e custos administrativos (Ballou, 2006).

Com o intuito de melhorar o desempenho operacional, aumentar a disponibilidade e capacidade do serviço de transportes e diminuir custos, muitas organizações optam por terem suas próprias frotas (Ballou, 2006). A necessidade por entregas cada vez mais velozes, disponibilidade de transporte,

manuseio e equipamentos adequados para transporte de mercadoria específicas, induz as empresas a adquirirem um transporte particular. Por último, Ballou (2006) destaca os benefícios econômicos que um serviço próprio de transporte pode viabilizar nos casos onde há um volume relevante de embarque. No setor AECO, as empresas de construção buscam cada vez mais alargar as fontes de matérias-primas ao redor do mundo. Para isso, é necessário que exista um bom planejamento da cadeia de transporte, a fim de se evitar problemas de entregas de material e, conseqüentemente, atrasos nos projetos de construção (Ahmadian et al., 2014). Além disso, o fornecimento de material antecipado pode acarretar em despesas indesejáveis de estoque no transporte, armazenamento, atrasado e seguros (Lin et al., 2017).

Apesar do custo ser o foco principal no que diz respeito à escolha da melhor opção de transporte, o fator tempo também deve ser avaliado conjuntamente no processo de tomada de decisão (Ahmadian et al., 2014). Ahmadian et al. (2014) explicam que o tempo, como ferramenta de análise, pode auxiliar no processo de gestão do transporte de uma empresa, indicando o seu desempenho em termos de planejamento. De acordo com Ballou (2006), o tempo médio e a variabilidade do tempo de entregas são características fundamentais para o sucesso de um sistema de transporte eficaz.

Com o intuito de aprimorar a logística de transporte de materiais de construção, pesquisadores têm sugerido o uso de novas tecnologias que integra o BIM (*Building Information Modeling*) e sistemas de informação geográfica (GIS) em um único sistema que permite um melhor controle de toda a cadeia (Cengiz et al., 2016; Deng et al., 2019; Irizarry et al., 2013). Chen e Nguyen (2019) ainda sugerem a integração entre BIM e *Web Map Service* (WMS) como ferramenta de apoio à decisão na escolha de materiais de construção através da avaliação do custo final e do prazo de entrega. Ao que tudo indica, estudos recentes evidenciam positivamente as contribuições que o BIM pode trazer à gestão da CSC, porém ainda há muito a ser explorado (Le et al., 2019; Rathnasinghe et al., 2020; Sholeh et al., 2020).

3. A EMPRESA

Neste capítulo será apresentada a empresa onde foi realizado o presente estudo de caso. Inicialmente, é feita uma introdução do Grupo DST através de um breve resumo sobre sua história, filosofia e objetivos. Em seguida, é brevemente apresentada uma das principais empresas do grupo, a DST, s.a., na qual atua no ramo da construção civil e obras públicas. Por fim, é explorado o funcionamento da cadeia de suprimentos dentro da empresa e, finalmente, os problemas identificados.

3.1 O Grupo DST

O Grupo DST é uma das mais importantes e influentes empresas portuguesas com mais de 80 anos de experiência no setor da engenharia e construção. Sediada no concelho de Braga, a empresa iniciou suas atividades na década de 1940 com a extração de inertes pela família Silva Teixeira e se consolidou em 1984, com a constituição da empresa Domingos da Silva Teixeira & Filhos, Lda.

Ao longo dos últimos 40 anos, o Grupo DST tem expandido suas atividades em diversas áreas em resposta às constantes exigências do mercado, entre elas engenharia e construção, ambiente, energias renováveis, telecomunicações, *real estate* e *ventures*. A criação e aquisição de novas empresas abriu novas portas e permitiu a atuação em segmentos complementares à construção civil.

Desde 2012, a empresa vem desempenhando operações internacionais em mais de 10 países da América, Europa, Ásia e África. Dentre as principais atividades realizadas no exterior, destacam-se a construção civil, energias renováveis e ambiente. Além disso, foram apresentadas diversas iniciativas comerciais e propostas em outros 16 países com o intuito de manter a diversificação geográfica.

Diante dos constantes desafios do mercado, o Grupo DST aposta em iniciativas que permitem impulsionar a tripla dimensão econômica, social e ambiental. Através do compromisso com a sociedade e o meio ambiente, a empresa prioriza o progresso rumo à sustentabilidade, mantendo uma política de gestão que inclui critérios ligados à prática do consumo responsável de matéria-prima e a redução dos impactos ambientais causados pela construção civil.

Ambicionada em atingir objetivos estratégicos e pelo compromisso com o meio ambiente, a empresa tem adotado cada vez mais práticas de gestão ambiental que lhe permite ter um conhecimento claro dos impactos provocados pelas suas atividades. Além disso, o Grupo DST compromete-se a promover a sustentabilidade e a economia circular através da inovação. Assim, as buscas pela melhoria continua se traduzem nas certificações conquistadas pela empresa, sendo elas a ISO 9001, Marcação CE, ISO 14001, EMAS e a OHSAS 18001.

3.2 DST, s.a.

Dentre as várias empresas que compõem o grupo, a DST, s.a., no qual o presente projeto foi desenvolvido em parceria, se destaca como uma das principais entidades do grupo com foco voltado para a construção civil e obras públicas. Geralmente, os projetos realizados pela empresa são lançados em concursos públicos e estão sujeitos a orçamentos pré-aprovados e prazos de entregas conhecidos. Tal sistema de funcionamento promove a competitividade do setor e exige uma logística eficaz dos processos que envolvem a execução do projeto.

A DST,s.a. opera de forma extremamente competitiva nos diferentes ramos ligados à construção civil, infraestruturas, água, ambiente e energia. Localizada na região norte, a empresa está sediada num complexo industrial com mais de 500.000 m² e possui equipamentos de ponta para atuar nas mais diversas áreas, sendo elas metalomecânica, geotecnia, produção de betuminosos, direção de equipamentos de grandes dimensões, unidade de gestão de resíduos, centro de estudos e projetos, laboratório de engenharia civil, entre outras.

3.3 A gestão da cadeia de suprimentos

Dentre as principais atividades da cadeia de suprimentos, destacam-se a aquisição, o transporte e o armazenamento. A complexidade desses processos dentro de uma empresa gera a necessidade de existir setores atribuídos aos mesmos. Dessa forma, o Grupo DST possui atualmente um departamento responsável pela compra de materiais e outro destinado à logística da empresa, mais precisamente à gestão de transportes e armazenamento de matérias-primas.

O departamento de compras do grupo é responsável por todas as atividades que envolvem a obtenção de todo o material necessário para que a empresa mantenha seus processos produtivos ativos, garantindo o material certo, na quantidade certa, na hora certa e com o preço certo. Dentro das atribuições desse setor estão a cotação de preços, as negociações junto aos fornecedores, avaliação de propostas, estudo do mercado, tomada de decisão de compra, entre outras. Além disso, o setor também é responsável por avaliar questões ligadas ao transporte de materiais, de forma a garantir que o mesmo chegue em obra dentro do prazo e que o custo para transportar esteja de acordo com o limite financeiro imposto pela administração. A Figura 22 ilustra o processo de aquisição junto ao fornecedor.

Por outro lado, o departamento responsável pela logística da empresa atua principalmente na gestão de transportes e armazenamento de materiais de construção que chegam aos centros logísticos da empresa. As funções do setor incluem o controle de inventário, administração da entrada e saída de materiais dos armazéns, gestão da frota de caminhões e equipamentos, entre outras. Atualmente, o

sistema informático utilizado para controlar o *stock* é o SAP ERP (*Systems Application and Product Enterprise Resource Planning*), onde são registradas todas as informações relativas a entrada e saída de materiais, níveis de inventário, histórico de pedidos, etc.

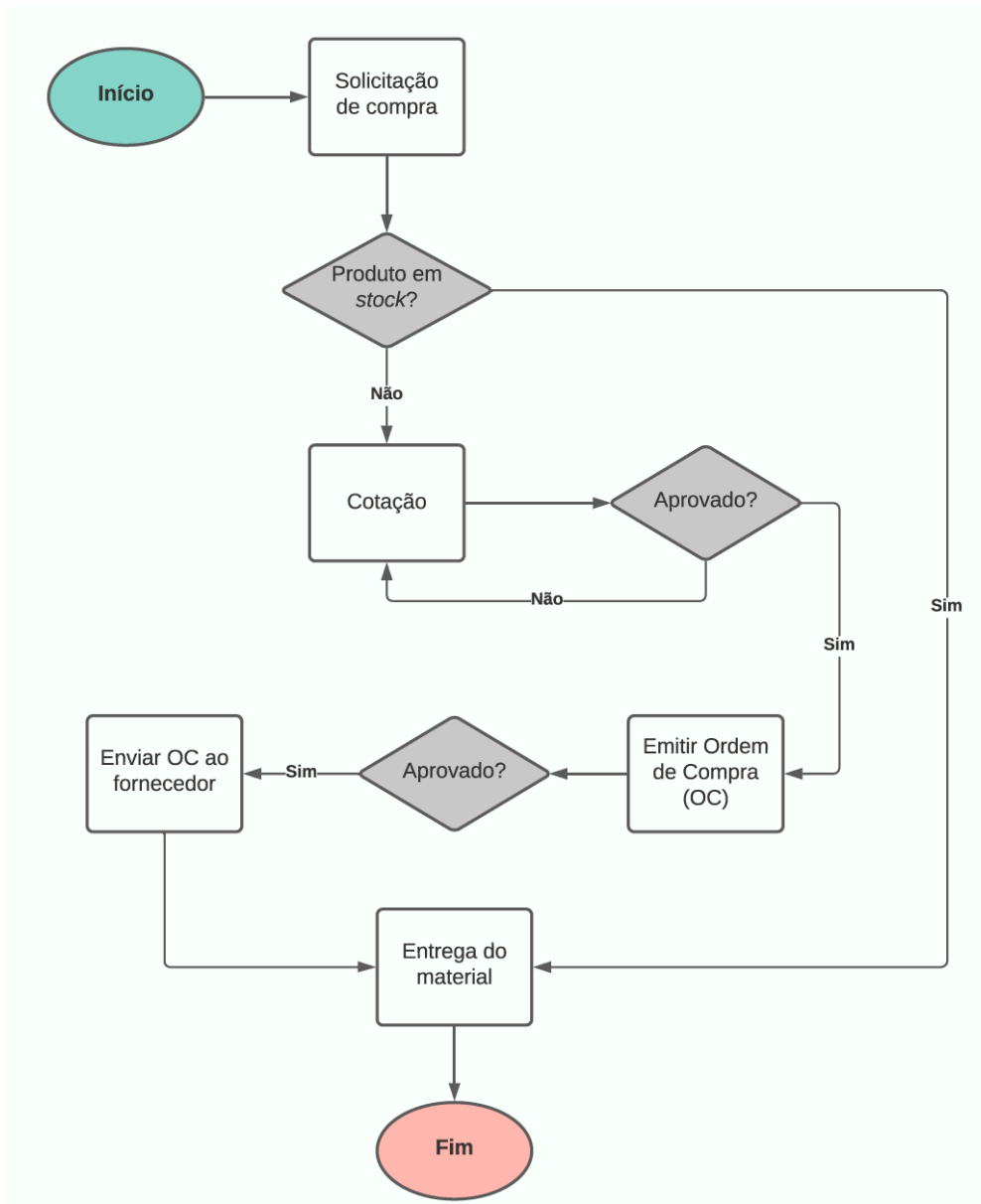


Figura 22 - Fluxograma do processo de aquisição junto ao fornecedor
(Fonte: Grupo DST).

Relativamente ao transporte de materiais, o Grupo DST possui uma frota própria de caminhões. No entanto, devido a limitação da capacidade logística, ou até mesmo pela redução de custos, muitas vezes se opta por contratar transportadoras externas para a realização do deslocamento de insumos. Existe ainda a possibilidade do próprio fornecedor ser o encarregado de transportar a mercadoria para a obra, o que implica em custos adicionais de aquisição. Cabe ao departamento de compras avaliar qual será a

opção mais adequada de acordo com o custo, prazo de entrega, localização, capacidade de abastecimento, entre outros.

3.4 Apresentação da situação atual

Atualmente, o processo de aquisição de matéria-prima é executado de acordo com a demanda de material por obra, de modo que relação de materiais necessários e suas respectivas quantidades para cada construção é definida de acordo com o projeto. A Figura 23 mostra de forma simplificada as atividades ligadas ao funcionamento da cadeia de suprimentos, mais precisamente o processo de compras, transporte e armazenamento de materiais.

Após a aprovação do projeto, é dado início ao processo de aquisição do material através de uma solicitação feita ao departamento de compras, que analisa o mapa de quantidades, no qual contém os tipos de materiais requeridos, suas características e quando serão necessários. Em seguida, é realizado uma consulta ao departamento logístico, no qual verifica se há material em *stock*. Atualmente, devido ao processo de digitalização que está sendo implementado na empresa, existem atrasos na atualização de dados relacionados aos materiais e quantidades disponíveis em armazém, o que prejudica a troca de informações entre os departamentos e exige uma comunicação direta e eficaz.

Após a verificação da existência de inventário, o departamento logístico informa ao setor de compras a quantidade disponível para utilização. Caso exista, é requerido o material para a obra. Logo após, o departamento de compras analisa se a quantidade existente é suficiente para a obra em questão e, se necessário, é dado prosseguimento para a compra da porção faltante. Assim, é realizada uma consulta ao mercado e feita uma análise das situações dos últimos meses a fim de se apurar a variação de preços e ofertas de material. Só então, após a análise dos cenários, é possível prosseguir para a tomada de decisão de compra.

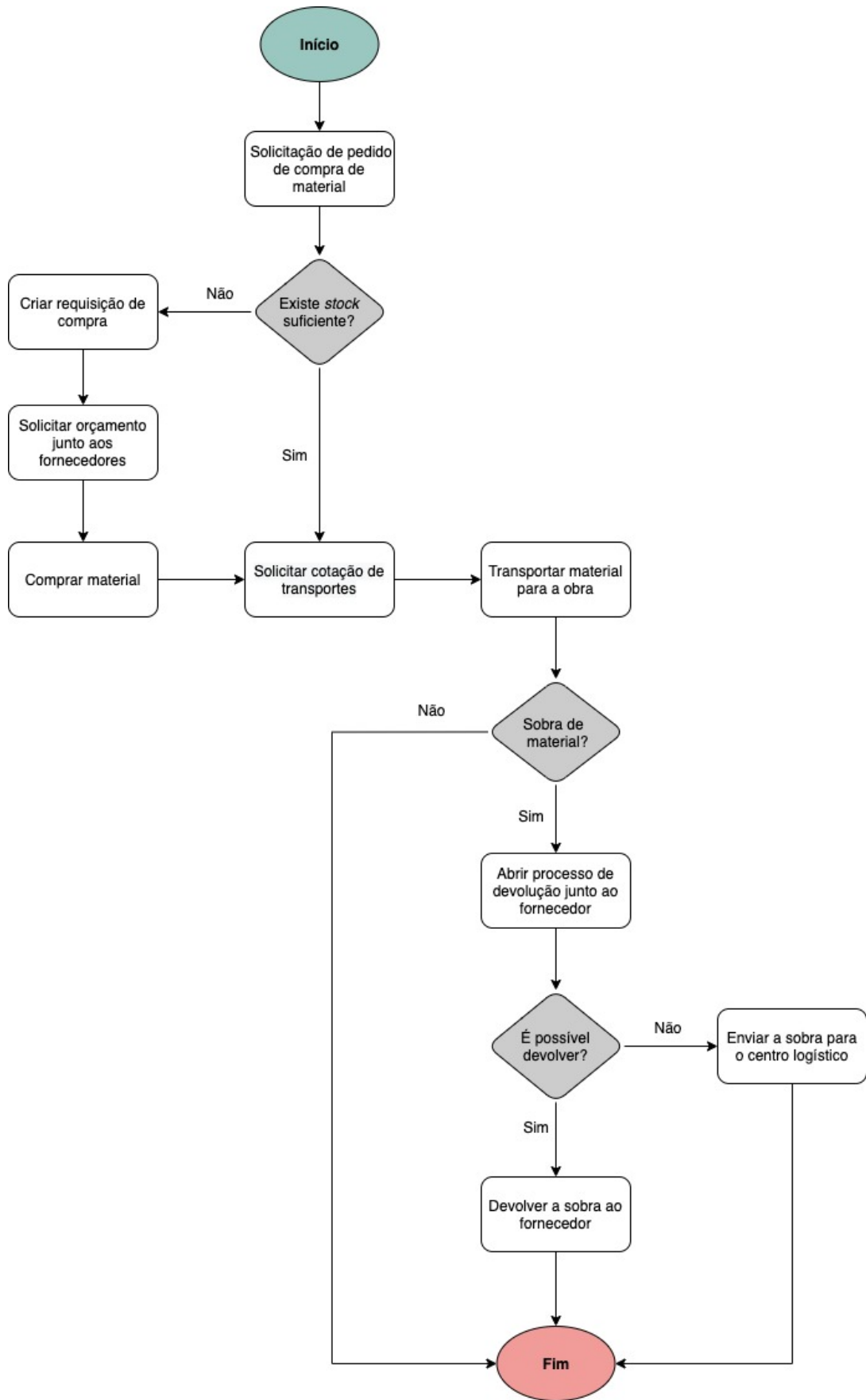


Figura 23 - Fluxograma do processo de compra
(Fonte: Grupo DST).

Durante o processo de compra, é consultada uma lista de fornecedores qualificados com determinado *ranking*, onde são referidos também os custos, qualidade, entre outras variáveis. Além disso, a escolha dos fornecedores é influenciada por uma série de fatores, como prazos, disponibilidade imediata, descontos oferecidos, entre outros. A aquisição é feita conforme o espaço de armazenamento disponível em obra, a fim de se evitar custos adicionais de manutenção. No entanto, em alguns casos onde não se pode adiar a compra do material, o mesmo é adquirido e enviado diretamente para o centro logístico. Após a escolha dos fornecedores, é realizada a compra do material que, geralmente, é feita com no mínimo um mês de antecedência para subempreitadas e 15 dias para outros casos.

Uma vez concluída a requisição do material, o setor de compra envia um pedido de cotação de transporte para o departamento logístico, que também é responsável por verificar a viabilidade de realizar o transporte com caminhões DST. Em seguida, é enviado um mapa comparativos com todas as propostas de transporte, para então ser avaliado pelo departamento de compras. É importante ressaltar que, em alguns casos, também se avalia o custo de transporte realizado pelo próprio fornecedor do material.

Após a definição do transporte, realiza-se a entrega do material de acordo com as condições referidas anteriormente. Havendo sobra de material, o setor logístico é comunicado para tratar do mesmo. Primeiramente, negocia-se com o fornecedor para fazer a devolução. Caso não seja possível fazer o retorno, o material é destinado ao centro logístico para armazenamento.

Atualmente, o Grupo DST possui dois centros logísticos, o principal deles localiza-se na Região Norte do país (Braga) e o segundo na Região Sul (Lisboa). A distribuição dos insumos é feita de acordo com os critérios logísticos determinados pela própria empresa. O material que chega ao centro logístico é levado diretamente para o cais de descarga. Em seguida, verifica-se o material que depois é direcionado para o seu respectivo local de armazenamento. Por último, é dado entrada do inventário no sistema.

3.5 Apresentação do problema

Diante da complexidade da cadeia de suprimentos e da crescente competitividade instalada no setor da construção, novas estratégias que viabilizam a redução de custos, diminuição de desperdícios e otimização de processos vêm sendo cada vez mais almejadas. Além disso, com os avanços tecnológicos e políticas ambientais cada vez mais restritivas, as empresas têm buscado tornar seus processos cada vez mais eficientes e integrados, além de focarem na redução de riscos no abastecimento.

Como referido anteriormente, a aquisição de material na empresa é realizada por projeto, de forma que o processo de compra ocorre de modo ineficiente e não integrado. Os problemas associados a este processo estão ligados, principalmente, à falta de otimização, o que gera um grande desperdício de

materiais, capital e tempo. Adicionalmente, outras atividades da cadeia de suprimentos, que estão diretamente ligadas à aquisição, acabam por não ser exploradas adequadamente como ferramenta estratégica para a obtenção de vantagens competitivas.

Por fim, a crise econômica instalada mundialmente afeta diversos setores da indústria devido às interrupções no fornecimento de matéria-prima. A falta de insumos e o aumento dos preços atingem de forma direta o setor da construção civil, principalmente no que diz respeito à importação de materiais provenientes de fornecedores de grande porte que, atualmente, encontram-se com o abastecimento limitado e priorizam exportar para países grandes como Estados Unidos e China. Portanto, torna-se fundamental que as instituições busquem alternativas e estratégias para enfrentarem tais desafios.

Dada a importância da gestão das atividades que compõem a cadeia de suprimentos, frente ao cenário atual da indústria e ao esforço do Grupo DST de impulsionar o desenvolvimento do setor através do progresso econômico, social e ambiental, o presente trabalho constituiu uma oportunidade para otimizar o processo de tomada de decisão de compra de materiais, nomeadamente através da realização de um estudo que visa reduzir o custo de aquisição, o desperdício de material e os riscos ligados ao fornecimento. Complementarmente, pretende-se ainda apresentar os benefícios que atividades complementares que compõem a cadeia de suprimentos podem proporcionar quando utilizadas estrategicamente. Assim, o desenvolvimento de uma ferramenta que auxilie o processo de tomada de decisão, ao mesmo tempo que traga uma alternativa inteligente para redução dos riscos associados ao abastecimento, pode trazer importantes vantagens econômicas para a empresa, o que poderá vir a afigurar-se um contributo para competitividade.

4. DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE TOMADA DE DECISÃO DE COMPRA

Neste capítulo serão descritos os objetos de estudo tidos como referência para a realização do estudo de caso. Adicionalmente, será abordado a modelagem do problema do corte, para melhor compreensão do funcionamento do modelo de otimização de corte unidimensional que será apresentado em seguida. Por fim, será apresentado um modelo de decisão de compra de materiais que analisa os diversos cenários ligados às atividades de aquisição, transporte e armazenamento de materiais.

4.1.1 Objetos de estudo

Nos últimos anos, com os avanços tecnológicos e a oscilação da economia, as empresas têm buscado tornar seus processos produtivos cada vez mais eficientes. Tal tendência tem estimulado diversos estudos relacionados ao aprimoramento do planejamento e controle produtivo de forma integrada. Desse modo, considerando os problemas que envolvem o processo de aquisição, torna-se relevante o estudo das alternativas e critérios por meio do desenvolvimento de uma ferramenta que auxilie a tomada de decisão.

Para a realização do presente estudo, foram escolhidas duas obras semelhantes executadas pela DST, s.a. Com a finalidade de simplificar a compreensão e proteger as informações dos projetos, as mesmas serão identificadas como Obra I e Obra II. Posteriormente, com a finalidade de otimizar o aproveitamento e a compra de material, realizou-se uma análise dos tipos de materiais que representam o maior consumo em ambas. Nesse sentido, optou-se pelo material varão A500 NR com 12mm de diâmetro que, em ambas as obras, encontra-se entre os materiais com o maior consumo. A Figura 24 e Figura 25 trazem o *ranking* de alguns dos materiais mais utilizados em ambas as obras.

Obra I				
Texto breve de material	Unid.medida	Contagem de Valor/MR2	Ranking	
⊖ FASSA MH19	KG		15	1
⊖ MP VARAO A 500 NR 16	KG		9	2
⊖ MP VARAO A 500 NR 12	KG		9	3
⊖ ADESILEX P4	KG		13	4
⊖ MP VARAO A 500 NR 20	KG		9	5
⊖ BLOCOS BETAO FACE A VISTA 50X20X20	UN		11	6
⊖ MP VARAO A 500 NR 10	KG		8	7
⊖ GASOLEO NORMAL	L		189	8
⊖ MP VARAO A 500 NR 25	KG		8	9
⊖ MP VARAO A 500 NR 8	KG		8	10
⊖ SEPARADOR PLASTICO TIPO CRUZETA 2MM	UN		2	11
⊖ GEOTEXTIL NORMAL G150	M2		6	12
⊖ BLOCO BETAO VISTA 50X20X25	UN		15	13
⊖ MALHA SOL AQ50 (M2)	M2		5	14
⊖ **ELIMINADO**FITA SINALIZ VERME/BRAN	M		14	15
⊖ CHAPA PERFILADA_M2	M2		6	16
⊖ LA DE ROCHA 80 MM	M2		11	17
⊖ MAPESET	KG		11	18
⊖ CERAMICO	M2		39	19
⊖ BLOCO BETAO VISTA 50X20X10	UN		8	20

Figura 24 - Materiais da Obra I

(Fonte: Autoria própria).

Obra II				
Texto breve de material	Unid.medida	Contagem de Valor/MR2	Ranking	
⊖ MP VARAO A 500 NR 12	KG		18	1
⊖ MP VARAO A 500 NR 16	KG		16	2
⊖ FASSA MH19	KG		9	3
⊖ MP VARAO A 500 NR 20	KG		10	4
⊖ SEPARADOR PLASTICO TIPO CRUZETA 2MM	UN		5	5
⊖ GASOLEO NORMAL	L		208	6
⊖ KERAFLEX	KG		11	7
⊖ BLOCO BETAO NORMAL 50X20X20	UN		12	8
⊖ GEOTEXTIL POLIESTER G200	M2		13	9
⊖ MP VARAO A 500 NR 25	KG		5	10
⊖ MP VARAO A 500 NR 10	KG		6	11
⊖ MP VARAO A 500 NR 8	KG		7	12
⊖ SEPARADOR BETAO TRAPEZOIDAL 30MM	UN		6	13
⊖ TOUT VENNANT 2ª_TON	TON		12	14
⊖ BRITA 40/60_TON	TON		23	15
⊖ BLOCO BETAO NORMAL 50X20X15	UN		7	16
⊖ TUOLO NORMAL 30X20X11	UN		5	17
⊖ GEOTEXTIL POLIPROPILENO G200	M2		4	18
⊖ ADESILEX P9 BRANCO	KG		4	19
⊖ CERAMICO	M2		26	20

Figura 25 - Materiais da Obra II

(Fonte: Autoria própria).

Muito utilizado para a execução de armaduras para peças estruturais de betão armado, o varão é um material de extrema importância no que diz respeito à qualidade final de uma edificação. Normalmente, os varões de aço são comprados em grandes quantidades e representam uma parcela significativa do custo total de uma obra, portanto é de fundamental importância que se tenha conhecimento do quantitativo necessário estabelecido em projeto.

Assim, considerando as dificuldades de otimização que envolvem o corte de matérias-primas e tendo em vista o desenvolvimento de novas estratégias competitivas que permitam a redução do desperdício de

materiais, propõe-se um estudo para a resolução do problema de corte unidimensional que tem como objetivo auxiliar no processo de tomada de decisão de compra de materiais.

4.1.2 O problema do corte

Para uma melhor compreensão do funcionamento do modelo de otimização de corte unidimensional, esta seção tem como finalidade descrever a modelagem do problema do corte. O objetivo é minimizar o número de varões necessários para suprir a demanda, a fim de reduzir a quantidade de aquisição e o desperdício de matéria-prima.

O problema do corte, mais conhecido como *cutting stock problem* (CSP), viabiliza a otimização de cortes de matérias-primas em tamanhos menores, de modo que o número de barras usadas seja o menor possível. De acordo com Arenales et al. (2007) o problema do corte pode ser classificado como unidimensional, quando o corte é feito apenas em uma direção, bidimensional, quando uma área retangular é subdividida em larguras e alturas diferentes, ou ainda tridimensional, que leva em consideração todas as dimensões. No presente estudo de caso o problema do corte será restringido ao CSP unidimensional, como ilustra a Figura 26.

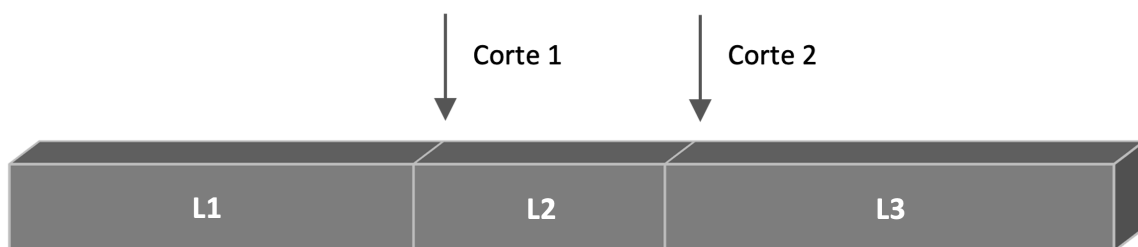


Figura 26 – Exemplo de CSP unidimensional
(Fonte: Autoria própria).

A abordagem do CSP unidimensional foi proposta inicialmente por Kantorovich em 1939 para resolver problema de programação linear. No entanto, posteriormente, outros estudiosos formularam modelos matemáticos alternativos compatíveis com os diferentes problemas oriundos de diversos temas, como teoria de *stocks*, substituição de equipamentos, programação de máquinas, otimização linear, entre outros (Arenales et al., 2007).

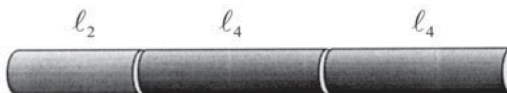
Segundo Arenales et al. (2007), em um problema de corte unidimensional, pretende-se cortar a matéria-prima disponível de tamanho padrão L para a fabricação m tipos de barras menores, com tamanhos l_1, l_2, \dots, l_m em diversas quantidades b_1, b_2, \dots, b_m que variam conforme a demanda. Dependendo do tamanho das barras e suas respectivas quantidades solicitadas existem diferentes padrões de cortes j . Assim, a

cada padrão de corte j é associado um vetor m -dimensional $a_j = (a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{mj})$, em que a_{ij} indica a quantidade de barras do tipo i no padrão de corte j . Com o intuito de ilustrar os conceitos apresentados, a Figura 27 mostra alguns exemplos de padrões de cortes e vetores associados tendo em conta os seguintes dados: $L = 11$, $l_1 = 2$, $l_2 = 3$, $l_3 = 3,5$, $l_4 = 4$ ($m = 4$).

Padrão 1: $\mathbf{a}_1 = (5, 0, 0, 0)^T$



Padrão 2: $\mathbf{a}_2 = (0, 1, 0, 2)^T$



Padrão 3: $\mathbf{a}_3 = (1, 3, 0, 0)^T$

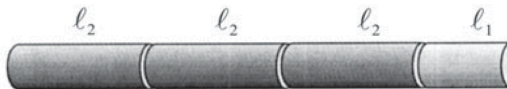


Figura 27 – Padrões de cortes unidimensionais e vetores associados
(Arenales et al., 2007).

Diante das diferentes alternativas de modelagem de otimização existentes, propõe-se a aplicação do modelo matemático de Gilmore e Gomory para a resolução do problema de corte apresentado nesta dissertação. De acordo com Gilmore e Gomory (1961), alguns problemas de otimização tornam-se inviáveis devido ao grande número de variáveis envolvidas. No entanto, apesar de haver a possibilidade de existirem n padrões de corte, apenas um pequeno número de padrões de corte é suficiente para solucionar o problema (Arenales et al., 2007).

Para contornar tais dificuldades, Gilmore e Gomory (1961) propuseram resolver o problema pelo método simplex, que fornece uma solução ótima contínua para o problema do corte. A partir da solução ótima obtida, que normalmente não é um valor inteiro, define-se uma solução inteira para o problema original através de um arredondamento (Arenales et al., 2007).

O método simplex é um dos recursos mais utilizados para solucionar problemas práticos que envolvem dezenas, centenas ou milhares de restrições. Silva et al. (1998) explicam que, para a aplicação deste modelo, o problema deve apresentar uma solução básica inicial que servirá como base para o cálculo de outras soluções. Esse método possibilita solucionar problemas de maximização, quando o objetivo é aumentar os valores encontrados, ou de minimização, no qual é adotado a função equivalente para

maximização multiplicada por -1 (Silva et al., 1998). Dessa forma, para a resolução de problemas utilizando o método simplex, é necessário a definição de três elementos chaves: a função objetivo, as variáveis de decisão e as restrições do problema.

A formulação proposta por Gilmore e Gomory para a minimização de perdas é descrita a seguir:

- Função objetivo:

$$\min \sum_{j=1}^m x_j \quad (5)$$

- Restrição:

$$\sum_{j=1}^m a_{ij}x_j \geq b_i \quad \forall i \quad (6)$$

- Domínio das variáveis:

$$x_j \in \mathbb{Z} \quad \forall j \quad (7)$$

$$x_j \geq 0 \quad \forall j \quad (8)$$

Onde:

i = comprimento do padrão de corte;

j = padrão de corte (solução inteira que satisfaz o tamanho máximo da barra);

a_{ij} = número de barras do comprimento i no padrão j ;

b = vetor de demanda;

m = número de todos os possíveis padrões de corte;

x_j = número de vezes que o padrão j é utilizado para fazer um corte.

O modelo matemático apresentado por Gilmore e Gomory tem como finalidade minimizar o número de barras cortadas de acordo com os n padrões de corte, enquanto as restrições do modelo possibilitam garantir que a demanda seja atendida. No entanto, para a resolução de problemas de corte através desse método, é fundamental que se encontre todos os possíveis padrões de corte necessários para o cálculo. Deste modo, com base na formulação proposta anteriormente, é sugerido um modelo de otimização de corte unidimensional que permita a obtenção dos resultados de forma simples e automática.

4.1.3 Modelo de otimização de corte unidimensional

Primeiramente, para o desenvolvimento do modelo de otimização de corte unidimensional optou-se pela utilização da função Solver do Excel, na qual permite a resolução de cálculos complexos através da utilização de algoritmos de otimização linear e não linear. Além disso, é uma ferramenta de fácil acesso e utilização, muito conhecida na indústria para a resolução de problemas de otimização.

Em seguida, para a elaboração da planilha em Excel, foi definido um limite máximo de quatro tipos de corte por varão, sendo as barras *A*, *B*, *C* e *D* de tamanhos distintos. Assim, para exemplificar, foram escolhidos quatro tipos de barras de comprimentos e demandas distintas estabelecidos nos projetos das Obras I e II. A demanda de barras para cada uma das obras pode ser consultada na Tabela 4.

Tabela 4 – Demanda de barras para as Obras I e II

(Fonte: Autoria própria).

Obra	Comprimento da barra			
	2,61m	2,84m	3,22m	3,38m
I	901	1194	678	1672
II	508	672	381	941
TOTAL	1409	1866	1059	2613

Ao que diz respeito a matéria-prima, foram considerados os comprimentos disponíveis no mercado, sendo os mesmos comercializados em varões de 6 ou 12 metros. Assim, para atender a demanda de barras de cada uma das obras, são necessários quantidades específicas de matéria-prima que variam de acordo com o comprimento do varão escolhido (Tabela 5).

Tabela 5 – Quantidade de matéria-prima

(Fonte: Autoria própria).

Obra	Quantidade de matéria-prima (unid.)	
	Varão de 6m	Varão de 12m
I	3059	1309
II	1722	736
TOTAL	4781	2045

Com a finalidade de otimizar a quantidade de barras necessárias para ambas as obras, foram introduzidos os valores totais que resultam do somatório da demanda de cada uma delas. A Figura 28 ilustra de forma simplificada os dados considerados para a resolução do problema.

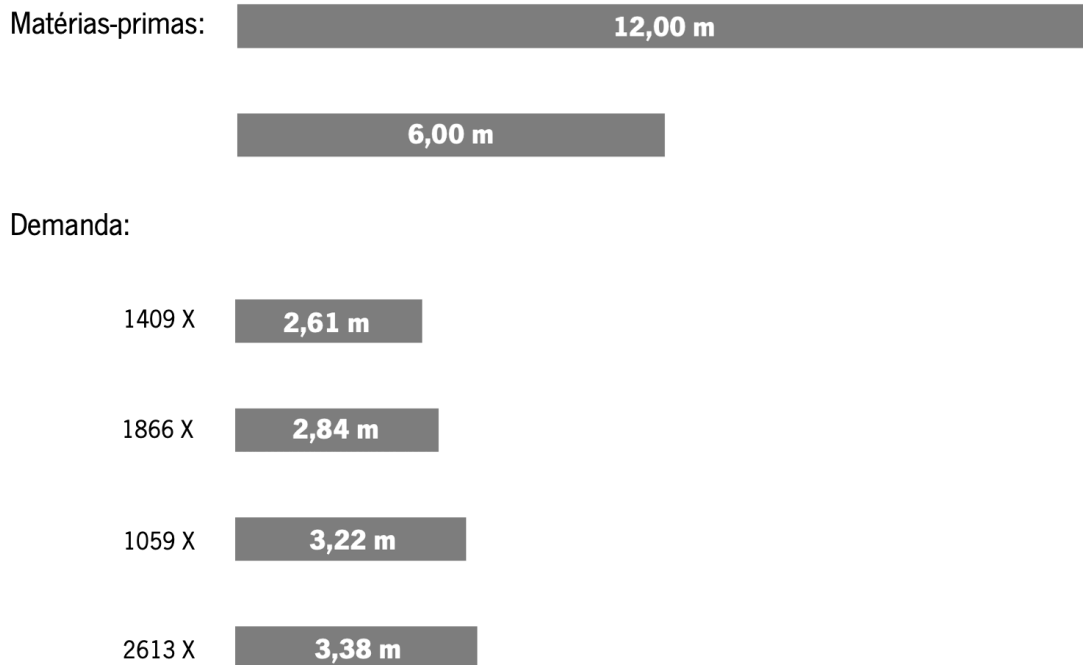


Figura 28 – Comprimentos da matéria-prima e demandas
(Fonte: Autoria própria).

Após a definição dos dados, foram inseridas as informações no modelo proposto (Figura 29). Para exemplificar o procedimento realizado, será apresentado a seguir a simulação utilizando a matéria-prima de 12 metros. O Anexo 2 contém os resultados obtidos para o varão de 6 metros.

MATÉRIA PRIMA (m):	12,00			
BARRA:	A	B	C	D
COMPRIMENTOS (m):	2,61	2,84	3,22	3,38
DEMANDA (unid.):	1409	1866	1059	2613

Figura 29 - Dados gerais do problema
(Fonte: Autoria própria).

Como referido anteriormente, para viabilizar a resolução do problema pelo método simplex, é imprescindível que o modelo contenha todos os possíveis padrões de corte. De forma a otimizar e automatizar esse processo, criou-se uma tabela na qual é calculada de forma automática todos os padrões de cortes possíveis de acordo com os comprimentos da matéria-prima e das barras inseridas.

Logo, para determinar a quantidade de padrões de corte, foram estipuladas as quantidades máximas de opções de corte existentes para cada comprimento de barra. Os valores obtidos vêm da divisão do comprimento da matéria-prima pelos comprimentos das barras desejadas. Em seguida, a fim de garantir a eficácia do modelo para qualquer dimensão de matéria-prima e tendo em conta que ainda existe a possibilidade da mesma não ser cortada, somou-se o valor um às quantidades máximas obtidas (Figura 30). Após o cálculo, é considerado apenas os valores os inteiros obtidos. A fórmula utilizada para calcular as opções de corte para cada tipo de barra é apresentada a seguir:

$$\text{Opções de corte} = \frac{\text{Comprimento da matéria-prima}}{\text{Comprimento da barra}} + 1 \quad (9)$$

MATÉRIA PRIMA (m):	12,00			
BARRA:	A	B	C	D
COMPRIMENTOS (m):	2,61	2,84	3,22	3,38
DEMANDA (unid.):	1409	1866	1059	2613
QUANTIDADE MÁX.:	4	4	3	3
OPÇÕES DE CORTE:	5	5	4	4
PRODUÇÃO:	1409	1866	1059	2613
PADRÕES DE CORTE:	400			
PADRÕES VIÁVEIS:	51			

Figura 30 - Cálculo dos padrões de corte

(Fonte: Autoria própria).

Deste modo, a partir das opções de cortes obtidas para cada uma das barras, é calculado o valor total de padrões de corte possíveis através do produto dos mesmos, totalizando 400 padrões de corte. A fórmula abaixo indica o cálculo realizado para determinar a quantidade total de padrões de corte:

$$\text{Padrões de corte total} = 5 \times 5 \times 4 \times 4 = 400 \quad (10)$$

Na sequência, para determinar todos os padrões de corte, considerou-se como base o algoritmo indicado na Figura 31. Verificou-se então que, das 400 opções de corte ideais para a barra A, os primeiros 80 resultados são números entre zero e um, os próximos 80 resultados, que estão entre as linhas 81 e 160 conterão valores entre um e dois, os outros 80 seguintes conterão valores entre dois a três, e assim por

diante até que se atinga as 400 opções de corte. Todos os padrões de corte encontrados para este exemplo de aplicação encontram-se no Anexo 1.

D28 $=IF(\$B28>\$D\$20;"";MOD(INT((\$B28-1)/(\$D\$20/PRODUCT(\$D\$16:D\$16)));D\$16))$

MATÉRIA PRIMA (m):	12,00							
BARRA:	A	B	C	D				
COMPRIMENTOS (m):	2,61	2,84	3,22	3,38				
DEMANDA (unid.):	1409	1866	1059	2613				
QUANTIDADE MÁX.:	4	4	3	3				
OPÇÕES DE CORTE:	5	5	4	4				
PRODUÇÃO:	1409	1866	1059	2613				
PADRÕES DE CORTE:	400							
PADRÕES VIÁVEIS:	51							
					SOLVE		CLEAR	
					AQUISIÇÃO: 1845		APROVEITAMENTO: 95,84%	
					TAXA DE DESPERDÍCIO: 4,16%		DESPERDÍCIO (m): 921,15	
PADRÃO DE CORTE	A	B	C	D	QUANTIDADE	UTILIZADO (m)	VIABILIDADE	
	2,61	2,84	3,22	3,38				
1	0	0	0	0	-	-	NÃO VIÁVEL	
2	0	0	0	1	1	3	VIÁVEL	
3	0	0	0	2		7	VIÁVEL	
4	0	0	0	3	429	10	VIÁVEL	
5	0	0	1	0		3	VIÁVEL	
6	0	0	1	1		7	VIÁVEL	
7	0	0	1	2		10	VIÁVEL	
8	0	0	1	3		13	NÃO VIÁVEL	
9	0	0	2	0		6	VIÁVEL	
10	0	0	2	1		10	VIÁVEL	
11	0	0	2	2		13	NÃO VIÁVEL	
12	0	0	2	3		17	NÃO VIÁVEL	
13	0	0	3	0		10	VIÁVEL	
14	0	0	3	1		13	NÃO VIÁVEL	
15	0	0	3	2		16	NÃO VIÁVEL	
16	0	0	3	3		20	NÃO VIÁVEL	
17	0	1	0	0		3	VIÁVEL	
18	0	1	0	1		6	VIÁVEL	
19	0	1	0	2		10	VIÁVEL	
20	0	1	0	3		13	NÃO VIÁVEL	

Figura 31 - Padrões de corte
(Fonte: Autoria própria).

Por ser um modelo desenvolvido para o cálculo automático de padrões de corte, torna-se fundamental estabelecer quais dos padrões de corte são realmente viáveis. Em outras palavras, para os casos onde a porção utilizada de matéria-prima for maior do que o seu próprio comprimento total, o padrão de corte é considerado inviável. Assim, dos 400 padrões de corte possíveis para este exemplo, apenas 51 são

viáveis, como é possível observar na Figura 30. As condições apresentadas a seguir foram utilizadas como referência para a determinação da viabilidade do padrão de corte:

- Quantidade utilizada (m) \leq Comprimento da matéria-prima = **VIÁVEL**
- Quantidade utilizada (m) $>$ Comprimento da matéria-prima = **NÃO VIÁVEL**

Uma vez definido o conjunto de padrões de corte viáveis, foi dada continuidade a resolução do problema, que consiste em determinar a quantidade mínima total de varões que devem ser adquiridos para suprir a demanda. Deste modo, para o desenvolvimento do problema de otimização, as variáveis de decisão, a função objetivo e as restrições devem ser definidas. A notação matemática é caracterizada a seguir:

- Índices:

i = comprimento do padrão de corte $\{0, n\}$

j = padrão de corte $\{1, n\}$

- Variáveis de decisão:

x_j = número de vezes que o padrão j foi utilizado para fazer um corte

$x_j = \mathbb{Z}_+$

- Função objetivo:

$$\min \sum_{j=1}^m x_j \quad (11)$$

- Restrições:

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} x_j \geq b_i \quad \forall i \quad (12)$$

m = número de todos os possíveis padrões de corte

a_{ij} = número de barras do comprimento i no padrão j

b_i = demanda de barras do comprimento i

De forma simplificada, os dados do modelo são apresentados na Figura 32:

Tamanho	2,61	2,84	3,22	3,38		
Demanda	1409	1866	1059	2613		
Padrão	Aij				Desperdício	Xj
2	0	0	0	1	8,62	1
4	0	0	0	3	1,86	429
37	0	2	1	0	3,1	1
50	0	3	0	1	0,1	445
105	1	1	2	0	0,11	529
163	2	0	0	2	0,02	440
R	1409	1866	1059	2613	FO	1845

Figura 32 – Dados do modelo
(Fonte: Autoria própria).

Assim, através da introdução de todas as informações necessárias para a resolução do problema, juntamente com utilização da ferramenta Solver como instrumento de otimização, foi possível chegar na seguinte solução (Figura 33):

The screenshot displays the Solver interface with the following data and results:

MATÉRIA PRIMA (m):	12,00					
BARRA:	A	B	C	D		
COMPRIMENTOS (m):	2,61	2,84	3,22	3,38		
DEMANDA (unid.):	1409	1866	1059	2613		

QUANTIDADE MÁX.:	4	4	3	3		
OPÇÕES DE CORTE:	5	5	4	4		
PRODUÇÃO:	1409	1866	1059	2613		
PADRÕES DE CORTE:	400					
PADRÕES VIÁVEIS:	51					

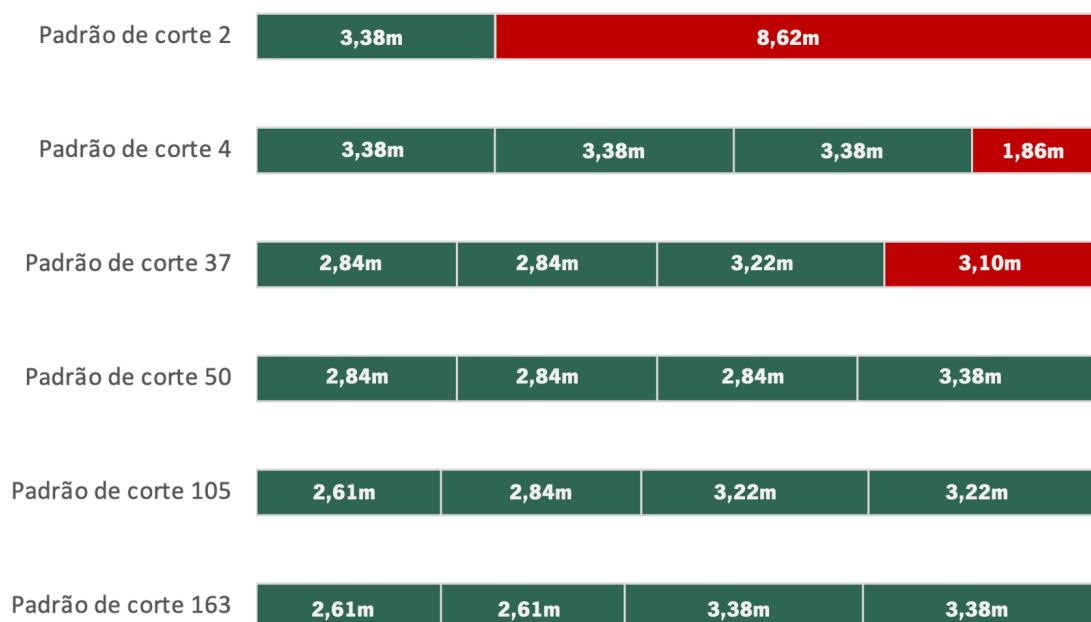
AQUISIÇÃO:	1845
APROVEITAMENTO:	95,84%
TAXA DE DESPERDÍCIO:	4,16%
DESPERDÍCIO (m):	921,15

PADRÃO DE CORTE	A	B	C	D	QUANTIDADE	UTILIZADO (m)	VIABILIDADE
	2,61	2,84	3,22	3,38			
2	0	0	0	1	1	3	VIÁVEL
4	0	0	0	3	429	10	VIÁVEL
37	0	2	1	0	1	9	VIÁVEL
50	0	3	0	1	445	12	VIÁVEL
105	1	1	2	0	529	12	VIÁVEL
163	2	0	0	2	440	12	VIÁVEL

Figura 33 – Resultados
(Fonte: Autoria própria).

Como pode-se observar, o modelo indica uma aquisição de 1845 varões de 12 metros para atender a demanda, o que representa 95,84% de aproveitamento da matéria-prima. Junto a isso, é indicado a quantidade de varões que devem ser cortados de acordo com cada padrão de corte. Em outras palavras, um varão deve ser cortado conforme o padrão de corte 2, tendo um aproveitamento de três metros, 429 varões devem ser cortados segundo o padrão 4, sendo inutilizado apenas dois metros de cada varão, e assim por diante. Também pode-se verificar que a taxa de desperdício é a menor possível, representando

apenas 4,16% da quantidade total de varões a serem comprados. A Figura 34 ilustra o aproveitamento dos padrões de corte indicados pelo modelo.



*Figura 34 – Padrões de corte para o varão de 12m
(Fonte: Autoria própria).*

Após uma análise comparativa entre os resultados obtidos para os varões de 6 e 12 metros de comprimento, conclui-se que o segundo apresenta resultados mais satisfatórios com um aproveitamento de 95,84%. Portanto, para assegurar a produção de barras exigidas, é necessário adquirir a quantidade mínima indicada pelo modelo, representando o cenário mais favorável que se pode atingir. Vale ressaltar que o modelo de otimização desenvolvido também é compatível para outros tamanhos de matéria-prima, comprimentos de barras e demandas diferentes.

4.1.4 Modelo de tomada de decisão de compra

O passo seguinte, após a otimização da quantidade de aquisição, foi a elaboração de uma planilha em Excel na qual o objetivo consiste em simplificar o processo de tomada de decisão de compra através de uma análise dos cenários propostos. Ademais, propõe-se avaliar a viabilidade de aquisição em grandes quantidades, a fim de se obter vantagens através de descontos oferecidos pelo fornecedor.

Para isso, criou-se inicialmente uma planilha onde foram inseridos os dados das Obras I e II tidas como referência neste estudo, incluindo o tipo de material, a quantidade necessária para cada uma das obras, o valor do material, custos de transportes, custos de armazenamento, entre outros. A fim de exemplificar o funcionamento do modelo e prezar pela proteção dos dados fornecidos pela empresa, as informações

consideradas no presente estudo de caso são de caráter fictício. A Figura 35 ilustra o modelo desenvolvido para introdução dos dados de entrada e os valores considerados.

dstgroup building culture		Dados de entrada	
Material			
Material: VARAO A 500 NR 12 (12m)	Massa Volúmica (kg/m³): 7858,4	Código: 12345	Sessão (m2): 0,000113
Fornecedor: SILVA&SILVA	Peso unitário (kg): 10,66		Peso (kg/m): 0,888
Obra I			
Obra I:	Valor do material c/ porte (€/ton.): €820,000	Endereço:	Valor do material s/ porte (€/ton.): €770,000
Quantidade total (unid.): 1309	Porte terceirizado Fábrica/Obra(€): €729,82	Peso total (kg): 13949	
Distância Fábrica/Obra (km): 92			
Obra II			
Obra II:	Valor do material c/ porte (€/ton.): €920,000	Endereço:	Valor do material s/ porte (€/ton.): €770,000
Quantidade total (unid.): 736	Porte terceirizado Fábrica/Obra(€): €1 393,43	Peso total (kg): 7843	
Distância Fábrica/Obra (km): 331			
Obras I e II			
Obra I:	Quantidade total aquisição (unid.): 1845	Obra II:	Quantidade total aquisição (kg): 19660
Endereço Obra I:	Quantidade necessária Obra I (kg): 12057	Endereço Obra II:	Quantidade necessária Obra II (kg): 6786
Distância Fábrica/Stock (km): 286	Porte terceirizado Fábrica/Stock (€): €2 528,59	Valor do material c/ porte (€/ton.): €895,000	
Valor do material s/ porte (€/ton.): €770,00			
Transporte			
Caminhão tipo: PESADO 2 EIXOS Nº 1	Capacidade (m³): 237,2	Carga Útil (ton): 8,6	Capacidade Europaletes: 10
	Custo/km (€): 1,5		
Estoque			
Local: DST Braga	Porte terceirizado Stock/Obra I (€): €2 002,34	Capacidade (m³): Infinita	Porte terceirizado Stock/Obra II (€): €287,61
Custo (€/m²/mês): 6,00		Distância Stock/Obra I (km): 377	
Distância Stock/Obra II (km): 65			

Figura 35 - Dados de entrada

(Fonte: Autoria própria).

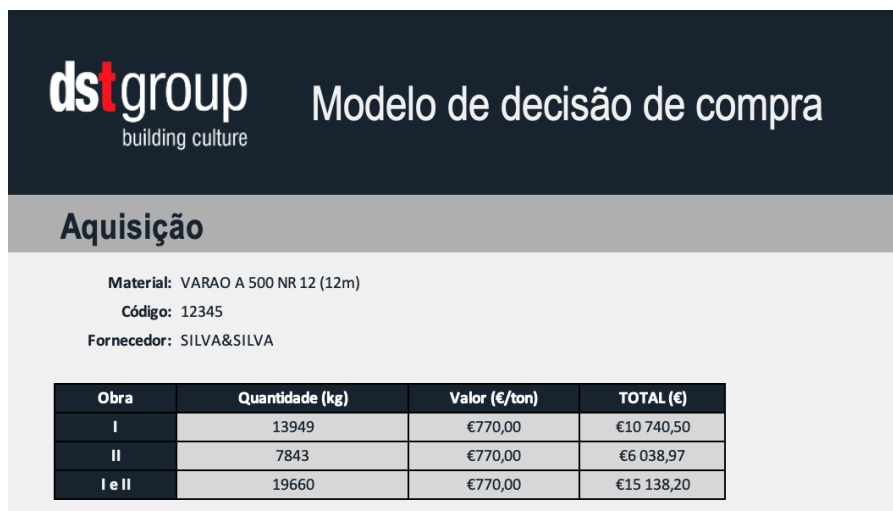
Para fiabilizar a análise dos custos de transportes, levou-se em consideração as distâncias entre os locais de saída e os pontos de entrega do material, bem como os valores dos serviços de transporte realizados pelo próprio fornecedor e de uma empresa de transportes. Para tal, recorreu-se ao serviço de pesquisa e visualização de mapas *Google Maps*, a fim de obter as distâncias entre o local de saída e entrega do material.

Já para o cálculo do custo de armazenamento, foi introduzido o local onde o material possivelmente será armazenado, bem como o custo por metro quadrado por mês de ocupação desse insumo no centro logístico obtido através de consulta ao departamento logístico da empresa. Tendo em vista a complexidade que envolve controlar a entrada e saída de materiais do centro logístico e a variabilidade da disponibilidade de espaço de armazenamento, considerou-se uma capacidade de *stock* infinita na presente análise.

Na sequência, prosseguiu-se aos cálculos dos custos de aquisição, transporte e *stock* com base nas informações inseridas na planilha anterior. Por tratar-se de uma análise de cenários, inicialmente, foram considerados duas possibilidades. A primeira delas refere-se ao método tradicional praticado pela empresa, que consiste em comprar o material de cada obra separadamente, desconsiderando os custos de armazenamento do material. A segunda possibilidade sugerida nesse estudo é a aquisição conjunta, ou seja, comprar em grandes quantidades para suprir a demanda de ambas as obras.

Nesse sentido, para a obtenção do custo de aquisição, levou-se em consideração a quantidade do material necessário, em quilos, e o valor por tonelada, sem descontos (Figura 36). A expressão utilizada e os valores encontrados são apresentados logo abaixo:

$$\text{Custo de aquisição} = \frac{\text{Quantidade [kg]}}{1000} \times \text{Valor [€/ton]} \quad (13)$$



dstgroup
building culture

Modelo de decisão de compra

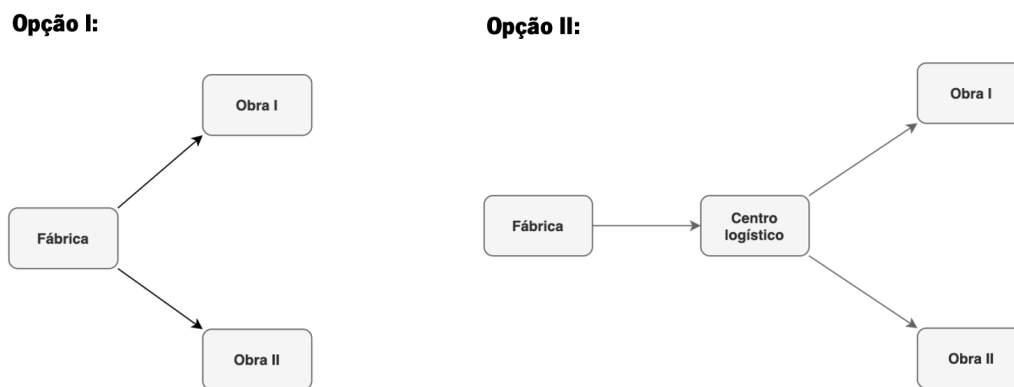
Aquisição

Material: VARAO A 500 NR 12 (12m)
Código: 12345
Fornecedor: SILVA&SILVA

Obra	Quantidade (kg)	Valor (€/ton)	TOTAL (€)
I	13949	€770,00	€10 740,50
II	7843	€770,00	€6 038,97
I e II	19660	€770,00	€15 138,20

Figura 36 - Aquisição
(Fonte: Autoria própria).

Com base nas duas possibilidades mencionadas anteriormente, foi feita uma análise das opções de transporte. A opção I sugere que a aquisição seja realizada separadamente, indicando que o material será enviado diretamente para cada obra, sem passar pelo centro logístico. Quando a aquisição é feita em grandes quantidades, normalmente, a fração total é enviada para um único destino para depois ser distribuída entre diferentes localidades. Assim, a segunda opção é composta por duas etapas, sendo a primeira o deslocamento do material da fábrica até o centro logístico e a segunda do centro logístico para as obras I e II. A Figura 37 esquematiza as opções I e II.



*Figura 37 - Opções de transportes
(Fonte: Autoria própria).*

Ainda no que diz respeito ao transporte, apresentam-se três categorias para o serviço de porte, como é possível verificar na Figura 38. A fim de simplificar o estudo, consideraram-se valores fictícios para os portes realizados pelo fornecedor e pela transportadora. No entanto, os custos devem ser obtidos através de uma cotação junto às empresas. Para a obtenção do custo do porte realizado pela DST, levaram-se em conta a distância percorrida, a quantidade de material a ser transportado e o número de viagens necessárias. A expressão utilizada é a seguinte:

$$\text{Porte DST} = 2 \times \text{Número de viagens} \times \text{Distância percorrida} \times \text{Custo/km} \quad (14)$$

Transporte

Caminhão tipo: PESADO 2 EIXOS Nº 1

Capacidade (ton): 8,6

Custo/km: €1,50

Saída	Entrada	Distância (km)	Quantidade (kg)	Viagens (ida)	Porte fornecedor (€)	Porte terceirizado (€)	Porte DST (€)
Fábrica	Obra I	92	13949	2	€697,44	€729,82	€449,88
Fábrica	Obra II	331	7843	1	€1 176,42	€1 393,43	€913,56
Fábrica	DST Braga	286	19660	2	€2 457,50	€2 528,59	€1 964,82
DST Braga	Obra I	377	12057	1	-	€2 002,34	€1 594,71
DST Braga	Obra II	65	6786	1	-	€287,61	€154,05

Figura 38 - Transporte

(Fonte: Autoria própria).

Para estimar o custo de *stock*, é essencial ter uma previsão do tempo de armazenamento do material. Em outras palavras, o período no qual o material ficará armazenado interfere no custo de manutenção do centro logístico, que inclui gastos com equipamentos, funcionários, impostos, depreciação, entre outros. Adicionalmente, o valor investido na compra antecipada do inventário gera uma despesa, considerando os benefícios que poderiam ser obtidos a partir da rentabilidade em uma aplicação, por exemplo. Portanto, no presente estudo, foi estimado um rendimento de 0,75% ao ano para o cálculo do custo de *stock*, mais conhecido como custo de oportunidade. A fórmula matemática que resulta no custo total de *stock* é a apresentada a seguir:

$$\text{Custo de stock} = \frac{(\text{Ocupação [m}^2\text{]} \times \text{Custo[€/m}^2\text{/mês]}) + \text{Custo de oportunidade [€/mês]}}{30} \times \text{Tempo[dias]} \quad (15)$$

Stock

Local: DST Braga

Capacidade (m²): Infinita

Material: VARAO A 500 NR 12 (12m)

Código: 12345

Quantidade de material (kg): 19660

Valor (€): €15 138,20

Sessão (m²): 0,000113

Custo (€/m²/mês): €6,00

ENTRADA		SAÍDA		Quantidade em estoque (kg)	Quantidade em estoque (unidades)	Valor (€)	Custo de oportunidade (€/mês)**	Ocupação (m ²)*	Custo geral (€/mês)	Tempo (dias)	TOTAL (€)
Data	Quantidade (kg)	Data	Quantidade (kg)								
10/06/2020	19660			19660	1845	€15 138,20	€9,46	1,00	€15,46	5	€2,58
	0	15/06/2020	6028	13632	1280	€10 496,64	€6,56	1,00	€12,56	3	€1,26
	0	18/06/2020	6029	7603	714	€5 854,31	€3,66	1,00	€9,66	32	€10,30
	0	20/07/2020	3786	3817	359	€2 939,09	€1,84	1,00	€7,84	37	€9,67
	0	26/08/2020	3000	817	77	€629,09	€3,93	1,00	€9,93	-	-

* Considerando empilhamento máximo de 0,5m

** Considerando rendimento de 0,75%.a

Figura 39 - Stock

(Fonte: Autoria própria).

Após a obtenção dos custos de aquisição, transporte e armazenamento do material, foi elaborada uma planilha com todos os possíveis cenários e seus respectivos custos totais (Figura 40). Para a análise dos cenários, teve-se em conta as diferentes opções de aquisição, transporte e armazenamento. A Tabela 6 apresenta a descrição de todos os cenários analisados.

Tabela 6 – Cenários estudados

(Fonte: Autoria própria).

Cenário	Descrição
1	<ul style="list-style-type: none"> • Aquisição: Comprar para as Obras I e II separadamente. • Transporte: Realizado pelo fornecedor. • Stock: Sem armazenamento.
2	<ul style="list-style-type: none"> • Aquisição: Comprar para as Obras I e II separadamente. • Transporte: Realizado pela DST. • Stock: Sem armazenamento.
3	<ul style="list-style-type: none"> • Aquisição: Comprar para as Obras I e II separadamente. • Transporte: Realizado por uma empresa terceirizada. • Stock: Sem armazenamento.
4	<ul style="list-style-type: none"> • Aquisição: Compra conjunta para as Obras I e II. • Transporte (Etapa 1): Realizado pelo fornecedor. • Transporte (Etapa 2): Realizado pela DST. • Stock: Armazenamento necessário.
5	<ul style="list-style-type: none"> • Aquisição: Compra conjunta para as Obras I e II. • Transporte (Etapa 1): Realizado pelo fornecedor. • Transporte (Etapa 2): Realizado por uma empresa terceirizada. • Stock: Armazenamento necessário.
6	<ul style="list-style-type: none"> • Aquisição: Compra conjunta para as Obras I e II. • Transporte (Etapa 1): Realizado por uma empresa terceirizada. • Transporte (Etapa 2): Realizado por uma empresa terceirizada. • Stock: Armazenamento necessário.
7	<ul style="list-style-type: none"> • Aquisição: Compra conjunta para as Obras I e II. • Transporte (Etapa 1): Realizado pela DST.

	<ul style="list-style-type: none"> • Transporte (Etapa 2): Realizado pela DST. • Stock: Armazenamento necessário.
8	<ul style="list-style-type: none"> • Aquisição: Compra conjunta para as Obras I e II. • Transporte (Etapa 1): Realizado por uma empresa terceirizada. • Transporte (Etapa 2): Realizado pela DST. • Stock: Armazenamento necessário.
9	<ul style="list-style-type: none"> • Aquisição: Compra conjunta para as Obras I e II. • Transporte (Etapa 1): Realizado pela DST. • Transporte (Etapa 2): Realizado por uma empresa terceirizada. • Stock: Armazenamento necessário.

Como é possível observar na Figura 40, os cenários dois e três, nos quais a aquisição de materiais para as Obras I e II é feita separadamente, apresentam um menor custo total. A principal razão para tal é o fato de não existirem despesas extras com transporte e armazenamento, pois o material é destinado diretamente às obras, sem passar pelo centro logístico. No entanto, como referido anteriormente, optar pela compra em grandes quantidades com o objetivo de armazenar pode ser considerado uma estratégia que promove o ganho de vantagens competitivas, além de reduzir os riscos associados ao fornecimento de materiais.

Análise de resultados										
CENÁRIOS	AQUISIÇÃO (Obra I)	AQUISIÇÃO (Obra II)	TRANSPORTE FORNECEDOR (stock)	TRANSPORTE TERCEIRIZADO (stock)	TRANSPORTE DST (stock)	ARMAZENAMENTO	TRANSPORTE FORNECEDOR (Obras)	TRANSPORTE TERCEIRIZADO (Obras)	TRANSPORTE DST (Obras)	CUSTO TOTAL (€)
1	€10 740,50	€6 038,97	-	-	-	-	-	€2 123,25	-	€18 902,72
2	€10 740,50	€6 038,97	-	-	-	-	-	-	€1 363,44	€18 142,91
3	€10 740,50	€6 038,97	-	-	-	-	€1 873,86	-	-	€18 653,33
4	€15 138,20	-	€2 457,50	-	-	€23,80	-	-	€1 748,76	€19 368,26
5	€15 138,20	-	€2 457,50	-	-	€23,80	-	€2 289,95	-	€19 909,45
6	€15 138,20	-	-	€2 528,59	-	€23,80	-	€2 289,95	-	€19 980,54
7	€15 138,20	-	-	-	€1 964,82	€23,80	-	-	€1 748,76	€18 875,58
8	€15 138,20	-	-	€2 528,59	-	€23,80	-	-	€1 748,76	€19 439,35
9	€15 138,20	-	-	-	€1 964,82	€23,80	-	€2 289,95	-	€19 416,77

Figura 40 - Análise se resultados

(Fonte: Autoria própria).

Nesse sentido, com a finalidade de comprar em grande quantidade e armazenar, foi calculado um valor ideal de compra que amortiza os gastos de manutenção do inventário (Figura 41). Tendo como referência os menores valores possíveis de aquisição, transporte e armazenamento, foi determinado um percentual

mínimo de desconto desejável que anula os gastos com manutenção do inventário. O valor ideal do material com desconto é calculado a partir da divisão entre o menor custo de aquisição dentre os diferentes cenários pela quantidade total de material em toneladas, como é indicado na seguinte expressão:

$$\text{Valor do material} \left[\frac{\text{€}}{\text{ton}} \right] = \frac{\text{Custo mínimo total desejável} - (\text{Custo total de stock} + \text{Custo mínimo total de transporte})}{\frac{\text{Quantidade total [kg]}}{1000}} \quad (16)$$

Finalmente, após a definição do valor ideal do material com desconto, é possível obter o percentual de desconto mínimo desejável de 4,84%, que viabiliza a aquisição em grandes quantidades (Figura 41). Em outras palavras, para compensar os gastos extras com transporte e armazenamento do material, o desconto a ser obtido junto ao fornecedor deve ser igual ou superior ao valor indicado, pois, caso contrário, se torna inviável a compra conjunta para ambas as obras. No entanto, cabe ao responsável pela compra tomar a melhor decisão de compra com base na avaliação dos resultados obtidos através do modelo desenvolvido, considerando fatores como a oscilação de preços, oferta de matéria-prima, descontos, entre outros.

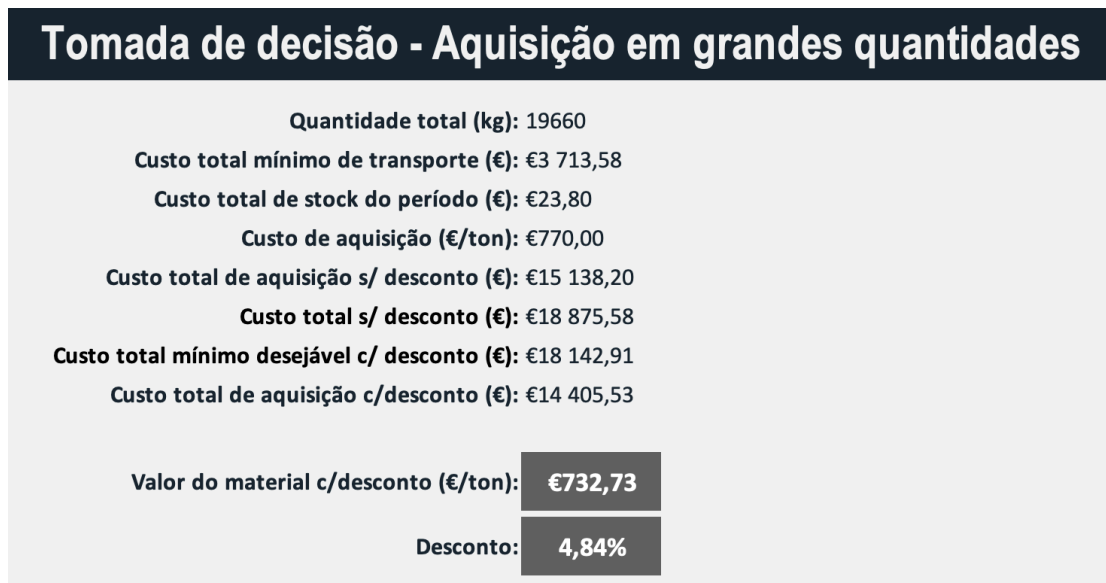


Figura 41 - Tomada de decisão
(Fonte: Autoria própria).

5. CONCLUSÃO

A complexidade e a competitividade do mercado exigem que as empresas busquem, cada vez mais, alternativas inovadoras que contribuam para o processo de crescimento e desenvolvimento das mesmas frente a concorrência. Junto a isso, o ambiente no qual as organizações do setor AECO estão inseridas impõe novas medidas para superar os desafios políticos, econômicos e ambientais dos últimos tempos.

Nesse sentido, torna-se imprescindível a implementação de novas ferramentas que proporcionem uma melhor gestão da cadeia de suprimentos capazes de suprir as necessidades das empresas, ao mesmo tempo que garantem a obtenção de vantagens competitivas.

Assim, tendo em consideração o atual cenário da indústria da construção e as necessidades apresentadas pela empresa, a presente dissertação teve como principal objetivo analisar a gestão das atividades de aquisição, transporte e armazenamento que compõem a cadeia de suprimentos. Buscou-se desenvolver um modelo de otimização de corte unidimensional que visa minimizar o consumo de matéria-prima, de forma a reduzir o desperdício de material. Por fim, este estudo sugeriu ainda uma ferramenta capaz de contribuir para o melhoramento do processo de tomada de decisão de compra de materiais de construção, de modo a reduzir os custos de aquisição e promover o ganho de vantagens competitivas através da análise da viabilidade de compra em grandes quantidades.

Numa primeira fase, foi realizada uma consulta às literaturas relacionadas às estratégias existentes que contribuem no aprimoramento da gestão da cadeia de suprimentos da construção. Apesar de ter havido dificuldades em encontrar estudos recentes na área, a revisão de literatura permitiu dar uma noção da importância da gestão das atividades de aquisição, transporte e armazenamento de materiais e suas contribuições no processo de tomada de decisão.

De acordo com a situação atual e as dificuldades que empresa enfrenta no processo de compra de materiais, foi desenvolvido um modelo de tomada de decisão de compra. Devido à extensa lista de materiais utilizados na construção civil, foi escolhido o material varão, considerado um dos materiais mais consumidos nas obras da empresa. Logo após, considerando as dificuldades de otimização que envolvem o corte de matérias-primas e tendo em vista o desenvolvimento de novas estratégias competitivas que permitam a redução do desperdício de materiais, foi proposto um estudo para a resolução do problema do corte unidimensional.

Os resultados apresentados no capítulo anterior indicam que, dentre os varões disponibilizados pelo mercado, o varão de 12 metros oferece resultados mais satisfatórios. Assim, através do modelo de otimização desenvolvido, foi possível chegar numa quantidade de aquisição de 1845 barras para atender as demandas solicitadas, o que representa uma redução de cerca de 9,78% da quantidade inicial de 2045 barras para as duas obras. Além disso, a taxa de desperdício indicada pelo modelo chegou no seu patamar mínimo para a quantidade de barras necessárias, resultando em 4,16% de desperdício.

Após a otimização da quantidade de aquisição, foi dada continuidade ao desenvolvimento do modelo de tomada de decisão de compra, que trazem os custos de aquisição, transporte e armazenamento do

material dos cenários propostos. A magnitude das vantagens da aquisição conjunta depende dos custos adicionais de manutenção da matéria-prima. Isso é observado nas análises dos cenários no capítulo anterior com as alterações nos serviços de transportes, necessidade de armazenamento e aquisição em grandes quantidades.

Dentre os nove cenários apresentados, o cenário dois, que sugere a compra do material para cada obra separadamente e o transporte realizado pela própria empresa, surge como o mais vantajoso em termos de custo total. No entanto, os resultados obtidos até então desconsideram a possibilidade da obtenção de descontos na compra de grandes quantidades de materiais e as vantagens competitivas por trás dos diferentes resultados. Nesse sentido, foi apresentado posteriormente um modelo de tomada de decisão, no qual é indicado o valor ideal de compra do material que viabiliza a aquisição estratégica em grandes quantidades. O resultado obtido indica um desconto mínimo a ser adquirido de 4,84% para compensar os custos extras de transporte e armazenamento do material que são consequências da aquisição conjunta para ambas as obras. Em outras palavras, o custo ideal de compra oferecido pelo fornecedor deve ser de €732,73 por tonelada.

A obtenção de um desconto superior ao valor indicado pelo modelo leva a lucratividades maiores e melhores níveis de serviços. Junto a isso, as vantagens competitivas implícitas ligadas à redução do desperdício, fornecimento contínuo, mitigação de riscos, oscilação de preços, entre outros, alavancam a tomada de decisão por aquisição em grandes quantidades.

O modelo de tomada de decisão desenvolvido nesta dissertação mostrou-se promissor para o avanço das pesquisas relacionadas à cadeia de suprimento da construção. O trabalho desenvolvido é uma iniciativa para o aprimoramento do modelo através da inclusão de complexidade e variáveis adicionais ligadas às diferentes atividades que compõem a cadeia de suprimentos.

Para além da implementação e uso do modelo num conjunto mais alargado de situações que permita uma testagem mais abrangente e robusta, sugere-se para estudos futuros a aplicação empírica do modelo adaptado para a otimização de outros tipos de materiais de construção. Adicionalmente, propõe-se a integração do modelo desenvolvido com metodologias de trabalho e de apoio à decisão na escolha de materiais de construção, como por exemplo, o BIM que possibilitará a realização de análise de cenários de uma forma ainda mais rigorosa e expedita.

Dentre as principais adversidades encontradas ao decorrer do desenvolvimento da presente dissertação, destaca-se a escassez de estudos recentes relacionados à gestão da cadeia de suprimentos da construção. Com relação ao modelo de otimização de corte desenvolvido, o mesmo é limitado apenas a

materiais que permitam o seu corte em uma direção, como é o caso dos varões, dos canos ou materiais similares. Já o modelo de tomada de decisão, a ferramenta considera apenas os custos das principais atividades da cadeia de suprimentos da construção, mais precisamente a aquisição, o transporte e o armazenamento, desconsiderando outras despesas que possam ser relevantes na cadeia.

De modo geral, os objetivos inicialmente propostos para o presente estudo de caso foram cumpridos, apesar das limitações de tempo e impossibilidade de realizar a coleta de dados presencialmente devido à pandemia da Covid-19. Enfim, as ferramentas propostas nesta dissertação deverão otimizar os processos de aquisição, transporte e armazenamento no dia a dia da empresa, de forma a agilizar e facilitar a tomada de decisão de compra, bem como contribuir na obtenção de vantagens competitivas frente à concorrência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmadian, A., Akbarnezhad, A., Rashidi, T. H., & Waller, S. T. (2014). Importance of planning for the transport stage in procurement of construction materials. *31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining (ISARC 2014)*, 466–473. <https://doi.org/10.22260/isarc2014/0062>
- Arenales, M., Armentano, V., Morabito, R., & Yanasse, H. (2007). *Pesquisa Operacional*. Elsevier.
- Ballou, R. H. (2006). *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial* (Quinta Edição). Bookman.
- Benton, W. C., & McHenry, L. F. (2010). *Construction Purchasing & Supply Chain Management*. Mc Graw Hill.
- Bowersox, D. J., Closs, D. J., & Cooper, M. B. (2006). *Supply Chain and Logistics Management* (First Edition). Mc Graw Hill.
- Burt, D. N., & Pinkerton, R. L. (1996). A Purchasing Manager's Guide to Strategic Proactive Procurement. In *Journal of Supply Chain Management* (Vol. 3, Issue Summer).
- Cengiz, A. E., Cabuk, A., Aytakin, O., & Ozdemir, I. (2016, September). Towards To Gis-Bim Integration on Construction. *41st IAHS WORLD CONGRESS*.
- Chen, P. H., & Nguyen, T. C. (2019). A BIM-WMS integrated decision support tool for supply chain management in construction. *Automation in Construction*, November 2018, 289–301. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.019>
- Christopher, M. (2011). *Logistics & Supply Chain Management* (4th Edition). Pearson Education Limited.
- Cooper, M. C., Lambert, D. M., & Pagh, J. D. (1997). Supply Chain Management: More Than a New Name for Logistics. *The International Journal of Logistics Management*, 8(1), 1–14. <https://doi.org/10.1108/09574099710805556>
- Coyle, J. J., Novack, R. A., Gibson, B. J., & Bardi, E. J. (2011). Transportation: A Supply Chain Perspective. In *Rural Society in the U.S.: Issues for the 1980s*. <https://doi.org/10.4324/9780429305153-18>
- CSCMP. (2013). *CSCMP Supply Chain Management Definitions and Glossary*. Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP). https://doi.org/https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx
- Dave, B., Kubler, S., Främling, K., & Koskela, L. (2016). Opportunities for enhanced lean construction management using Internet of Things standards. *Automation in Construction*, 61(November), 86–97. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.10.009>
- Deng, Y., Gan, V. J. L., Das, M., Cheng, J. C. P., & Anumba, C. (2019). Integrating 4D BIM and GIS for Construction Supply Chain Management. *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(4), 1–14. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001633](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001633)
- Dobroszek, J. (2020). Supply chain and logistics controller – two promising professions for supporting transparency in supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*, January. <https://doi.org/10.1108/SCM-04-2019-0169>
- European Commission. (2019). *Construction and demolition waste - Environment - European Commission*. European Commission. https://ec.europa.eu/environment/waste/construction_demolition.htm
- European Commission. (2020). *Views on Construction 2020 and Beyond*.
- Gilmore, P. C., & Gomory, R. E. (1961). A Linear Programming Approach to the Cutting-Stock Problem. *Operations Research*, 9(6), 849–859. <https://doi.org/10.1287/opre.9.6.849>

- Goetschalckx, M. (2011). *Supply Chain Engineering*. Springer Science+Business Media.
- Harrison, A. (2008). Logistics Management and Strategy: Competing through the supply chain. In *Strategic Direction* (Vol. 23, Issue 3).
- Hsu, P. Y., Aurisicchio, M., & Angeloudis, P. (2020). Optimal logistics planning for modular construction using multi-stage stochastic programming. *Transportation Research Procedia*, 46, 245–252. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.187>
- Irizarry, J., Karan, E. P., & Jalaei, F. (2013). Integrating BIM and GIS to improve the visual monitoring of construction supply chain management. *Automation in Construction*, 31, 241–254. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.12.005>
- Ivanov, D., & Sokolov, B. (2010). Adaptive Supply Chain Management. In *Adaptive Supply Chain Management*. <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-952-7>
- Kransdorff, A. (1982). *Interview with Keith Oliver*.
- Kulkarni, A., & Halder, S. (2019). A simulation-based decision-making framework for construction supply chain management (SCM). *Asian Journal of Civil Engineering*, 21(2), 229–241.
- Le, P. L., Chaabane, A., & Dao, T. M. (2019). BIM contributions to construction supply chain management trends: an exploratory study in Canada. *International Journal of Construction Management*, 0(0), 1–19. <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1639124>
- Le, P. L., Elmughrabi, W., Dao, T. M., & Chaabane, A. (2018). Present focuses and future directions of decision-making in construction supply chain management: a systematic review. *International Journal of Construction Management*, 0(0), 20. <https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1488089>
- Le, P. L., Elmughrabi, W., Dao, T. M., & Chabaane, A. (2018). Decision-making in construction logistics and supply chain management: Evolution and future directions. *ILS 2018 - Information Systems, Logistics and Supply Chain, Proceedings, July*, 646–655.
- Lin, P. H., Tserng, H. P., Lin, W. Y., & Hsu, H. S. (2017). Supply Chain Management System for Construction Material Planning. *Proceedings of the 21st International Symposium on Automation and Robotics in Construction*. <https://doi.org/10.22260/isarc2004/0040>
- Papadonikolaki, E., Vrijhoef, R., & Wamelink, H. (2015). Supply chain integration with BIM: a graph-based model. *Structural Survey*, 33(3), 257–277. <https://doi.org/10.1108/SS-01-2015-0001>
- PMBOK®. (2017). *Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK)/Project Management Institute*. (6ª Edição). Project Management Institute, Inc.
- Pounder, P. (2014). *A Review of Supply Chain Management and Its Main External Influential Factors*. July. <https://doi.org/10.13140/2.1.3787.3289>
- Rathnasinghe, A. P., Wijewickrama, M. K. C. S., Kulatunga, U., & Jayasena, H. S. (2020). Integration of BIM and Construction Supply Chain Through Supply Chain Management; An Information Flow Model. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 44, 604–614. https://doi.org/10.1007/978-981-13-9749-3_53
- Ravindran, A. R., & Warsing Jr., D. P. (2013). Supply Chain Engineering Models and Applications. In *Supply Chain Engineering*. <https://doi.org/10.1007/978-1-84996-017-5>
- Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. A., & Owen, R. (2010). Sacks2010.Pdf. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(9), 968–980.
- Said, H., & El-Rayes, K. (2014). Automated multi-objective construction logistics optimization system. *Automation in Construction*, 43(July), 110–122. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.03.017>
- Santos, A. de P. L., & Jungles, A. E. (2008). *Como Gerenciar as Compras de Materiais na Construção Civil*.
- Shin, H., & Benton, W. C. (2007). *A quantity discount approach to supply chain coordination*. 180, 601–616. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.04.033>
- Sholeh, M. N., Nurdiana, A., Setiabudi, B., & Suharjono. (2020). Identification of Potential Uses of Building

- Information Modeling (BIM) for Construction Supply Chain Management: Preliminary Studies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 448. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/448/1/012064>
- Silva, E. M., Silva, E. M., Gonçalves, V., & Murolo, A. C. (1998). *Pesquisa Operacional* (Atlas (ed.); 3ª Edição).
- Tahir Muhammad, M., Azam Haron, N., Hizami, A., Alias, A., Taha Al-Jumaa, A., & Bala Muhammad, I. (2019). The impact of BIM application on construction delays and cost overrun in developing countries. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 357(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/357/1/012027>
- Tanubrata, M., & Gunawan, I. (2018). *Procurement management / material supply on construction projects*. 01031, 1–4.
- Thomas, F., Richard, A., & John, W. (1990). Mixed motive marriages: what's next for buyer-supplier relations. *Sloan Management Review*, 31(3).
- Vidalakis, C., Tookey, J. E., & Sommerville, J. (2011). The logistics of construction supply chains: the builders' merchant perspective. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 18(1), 66–81. <https://doi.org/10.1108/09699981111098694>
- Waters, D. (2003). *Logistics An Introduction to Supply Chain Management*. PALGRAVE MACMILLAN.
- Wisner, J. D., Tan, K.-C., & Leong, G. K. (2012). Principles of Supply Chain Management: A Balanced Approach. In *Transportation Journal* (Vol. 43). <http://www.amazon.de/dp/0324659911>
- Ying, F., Tookey, J., & Roberti, J. (2014). Addressing effective construction logistics through the lens of vehicle movements. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 21(3), 261–275. <https://doi.org/10.1108/ECAM-06-2013-0058>

ANEXO 1 – RESULTADOS PARA O VARÃO DE 12 METROS

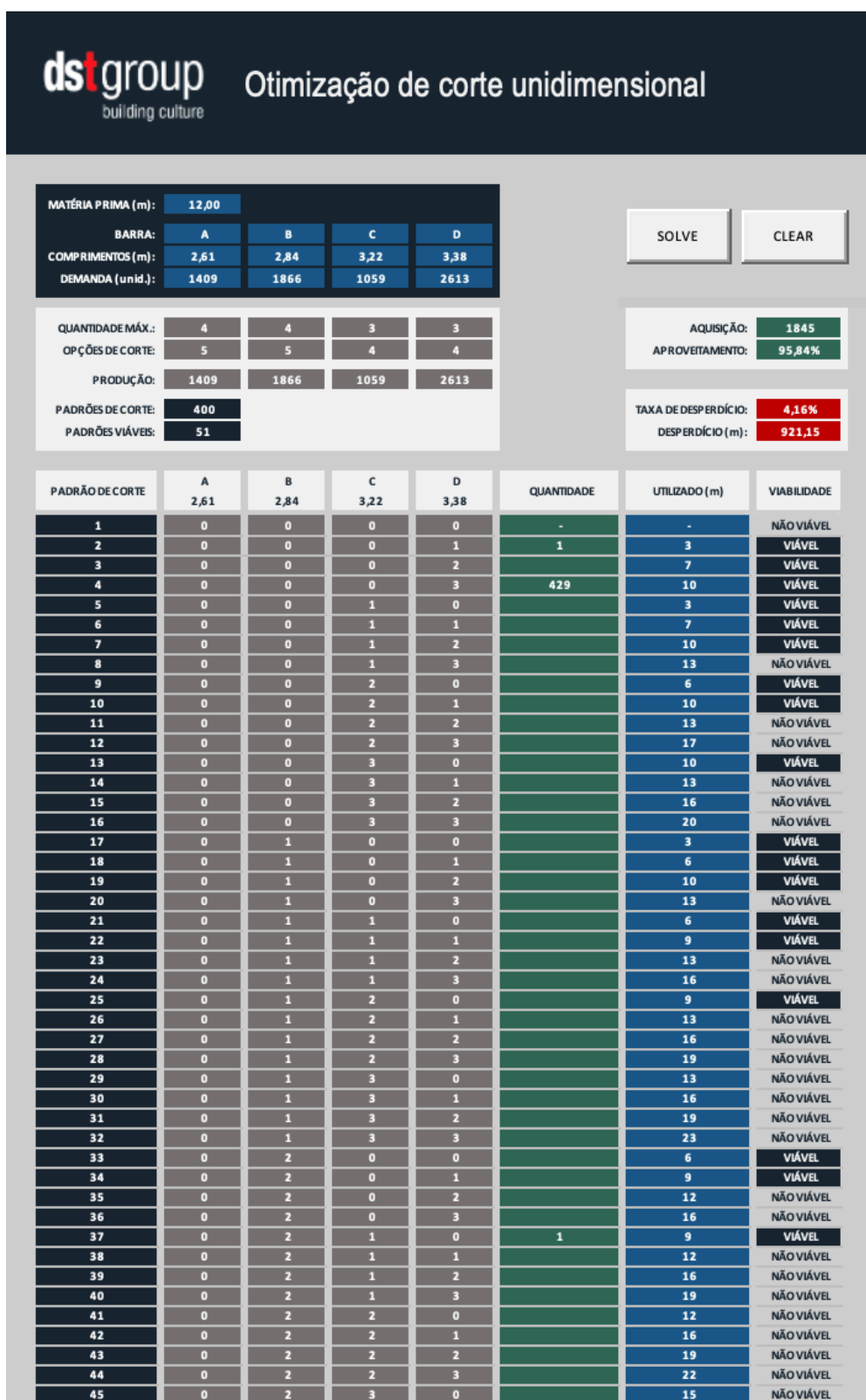


Figura 42 - Resultados obtidos para o varão de 12 metros

(Fonte: Autoria própria).

46	0	2	3	1		19	NÃO VIÁVEL
47	0	2	3	2		22	NÃO VIÁVEL
48	0	2	3	3		25	NÃO VIÁVEL
49	0	3	0	0		9	VIÁVEL
50	0	3	0	1	445	12	VIÁVEL
51	0	3	0	2		15	NÃO VIÁVEL
52	0	3	0	3		19	NÃO VIÁVEL
53	0	3	1	0		12	VIÁVEL
54	0	3	1	1		15	NÃO VIÁVEL
55	0	3	1	2		19	NÃO VIÁVEL
56	0	3	1	3		22	NÃO VIÁVEL
57	0	3	2	0		15	NÃO VIÁVEL
58	0	3	2	1		18	NÃO VIÁVEL
59	0	3	2	2		22	NÃO VIÁVEL
60	0	3	2	3		25	NÃO VIÁVEL
61	0	3	3	0		18	NÃO VIÁVEL
62	0	3	3	1		22	NÃO VIÁVEL
63	0	3	3	2		25	NÃO VIÁVEL
64	0	3	3	3		28	NÃO VIÁVEL
65	0	4	0	0		11	VIÁVEL
66	0	4	0	1		15	NÃO VIÁVEL
67	0	4	0	2		18	NÃO VIÁVEL
68	0	4	0	3		22	NÃO VIÁVEL
69	0	4	1	0		15	NÃO VIÁVEL
70	0	4	1	1		18	NÃO VIÁVEL
71	0	4	1	2		21	NÃO VIÁVEL
72	0	4	1	3		25	NÃO VIÁVEL
73	0	4	2	0		18	NÃO VIÁVEL
74	0	4	2	1		21	NÃO VIÁVEL
75	0	4	2	2		25	NÃO VIÁVEL
76	0	4	2	3		28	NÃO VIÁVEL
77	0	4	3	0		21	NÃO VIÁVEL
78	0	4	3	1		24	NÃO VIÁVEL
79	0	4	3	2		28	NÃO VIÁVEL
80	0	4	3	3		31	NÃO VIÁVEL
81	1	0	0	0		3	VIÁVEL
82	1	0	0	1		6	VIÁVEL
83	1	0	0	2		9	VIÁVEL
84	1	0	0	3		13	NÃO VIÁVEL
85	1	0	1	0		6	VIÁVEL
86	1	0	1	1		9	VIÁVEL
87	1	0	1	2		13	NÃO VIÁVEL
88	1	0	1	3		16	NÃO VIÁVEL
89	1	0	2	0		9	VIÁVEL
90	1	0	2	1		12	NÃO VIÁVEL
91	1	0	2	2		16	NÃO VIÁVEL
92	1	0	2	3		19	NÃO VIÁVEL
93	1	0	3	0		12	NÃO VIÁVEL
94	1	0	3	1		16	NÃO VIÁVEL
95	1	0	3	2		19	NÃO VIÁVEL
96	1	0	3	3		22	NÃO VIÁVEL
97	1	1	0	0		5	VIÁVEL
98	1	1	0	1		9	VIÁVEL
99	1	1	0	2		12	NÃO VIÁVEL
100	1	1	0	3		16	NÃO VIÁVEL
101	1	1	1	0		9	VIÁVEL
102	1	1	1	1		12	NÃO VIÁVEL
103	1	1	1	2		15	NÃO VIÁVEL
104	1	1	1	3		19	NÃO VIÁVEL
105	1	1	2	0	529	12	VIÁVEL
106	1	1	2	1		15	NÃO VIÁVEL
107	1	1	2	2		19	NÃO VIÁVEL
108	1	1	2	3		22	NÃO VIÁVEL
109	1	1	3	0		15	NÃO VIÁVEL
110	1	1	3	1		18	NÃO VIÁVEL
111	1	1	3	2		22	NÃO VIÁVEL
112	1	1	3	3		25	NÃO VIÁVEL
113	1	2	0	0		8	VIÁVEL
114	1	2	0	1		12	VIÁVEL
115	1	2	0	2		15	NÃO VIÁVEL

Figura 43 - Resultados obtidos para o varão de 12 metros

(Fonte: Autoria própria).

116	1	2	0	3		18	NÃO VIÁVEL
117	1	2	1	0		12	VIÁVEL
118	1	2	1	1		15	NÃO VIÁVEL
119	1	2	1	2		18	NÃO VIÁVEL
120	1	2	1	3		22	NÃO VIÁVEL
121	1	2	2	0		15	NÃO VIÁVEL
122	1	2	2	1		18	NÃO VIÁVEL
123	1	2	2	2		21	NÃO VIÁVEL
124	1	2	2	3		25	NÃO VIÁVEL
125	1	2	3	0		18	NÃO VIÁVEL
126	1	2	3	1		21	NÃO VIÁVEL
127	1	2	3	2		25	NÃO VIÁVEL
128	1	2	3	3		28	NÃO VIÁVEL
129	1	3	0	0		11	VIÁVEL
130	1	3	0	1		15	NÃO VIÁVEL
131	1	3	0	2		18	NÃO VIÁVEL
132	1	3	0	3		21	NÃO VIÁVEL
133	1	3	1	0		14	NÃO VIÁVEL
134	1	3	1	1		18	NÃO VIÁVEL
135	1	3	1	2		21	NÃO VIÁVEL
136	1	3	1	3		24	NÃO VIÁVEL
137	1	3	2	0		18	NÃO VIÁVEL
138	1	3	2	1		21	NÃO VIÁVEL
139	1	3	2	2		24	NÃO VIÁVEL
140	1	3	2	3		28	NÃO VIÁVEL
141	1	3	3	0		21	NÃO VIÁVEL
142	1	3	3	1		24	NÃO VIÁVEL
143	1	3	3	2		28	NÃO VIÁVEL
144	1	3	3	3		31	NÃO VIÁVEL
145	1	4	0	0		14	NÃO VIÁVEL
146	1	4	0	1		17	NÃO VIÁVEL
147	1	4	0	2		21	NÃO VIÁVEL
148	1	4	0	3		24	NÃO VIÁVEL
149	1	4	1	0		17	NÃO VIÁVEL
150	1	4	1	1		21	NÃO VIÁVEL
151	1	4	1	2		24	NÃO VIÁVEL
152	1	4	1	3		27	NÃO VIÁVEL
153	1	4	2	0		20	NÃO VIÁVEL
154	1	4	2	1		24	NÃO VIÁVEL
155	1	4	2	2		27	NÃO VIÁVEL
156	1	4	2	3		31	NÃO VIÁVEL
157	1	4	3	0		24	NÃO VIÁVEL
158	1	4	3	1		27	NÃO VIÁVEL
159	1	4	3	2		30	NÃO VIÁVEL
160	1	4	3	3		34	NÃO VIÁVEL
161	2	0	0	0		5	VIÁVEL
162	2	0	0	1		9	VIÁVEL
163	2	0	0	2	440	12	VIÁVEL
164	2	0	0	3		15	NÃO VIÁVEL
165	2	0	1	0		8	VIÁVEL
166	2	0	1	1		12	VIÁVEL
167	2	0	1	2		15	NÃO VIÁVEL
168	2	0	1	3		19	NÃO VIÁVEL
169	2	0	2	0		12	VIÁVEL
170	2	0	2	1		15	NÃO VIÁVEL
171	2	0	2	2		18	NÃO VIÁVEL
172	2	0	2	3		22	NÃO VIÁVEL
173	2	0	3	0		15	NÃO VIÁVEL
174	2	0	3	1		18	NÃO VIÁVEL
175	2	0	3	2		22	NÃO VIÁVEL
176	2	0	3	3		25	NÃO VIÁVEL
177	2	1	0	0		8	VIÁVEL
178	2	1	0	1		11	VIÁVEL
179	2	1	0	2		15	NÃO VIÁVEL
180	2	1	0	3		18	NÃO VIÁVEL
181	2	1	1	0		11	VIÁVEL
182	2	1	1	1		15	NÃO VIÁVEL
183	2	1	1	2		18	NÃO VIÁVEL
184	2	1	1	3		21	NÃO VIÁVEL
185	2	1	2	0		15	NÃO VIÁVEL

Figura 44 - Resultados obtidos para o varão de 12 metros

(Fonte: Autoria própria).

186	2	1	2	1		18	NÃO VIÁVEL
187	2	1	2	2		21	NÃO VIÁVEL
188	2	1	2	3		25	NÃO VIÁVEL
189	2	1	3	0		18	NÃO VIÁVEL
190	2	1	3	1		21	NÃO VIÁVEL
191	2	1	3	2		24	NÃO VIÁVEL
192	2	1	3	3		28	NÃO VIÁVEL
193	2	2	0	0		11	VIÁVEL
194	2	2	0	1		14	NÃO VIÁVEL
195	2	2	0	2		18	NÃO VIÁVEL
196	2	2	0	3		21	NÃO VIÁVEL
197	2	2	1	0		14	NÃO VIÁVEL
198	2	2	1	1		18	NÃO VIÁVEL
199	2	2	1	2		21	NÃO VIÁVEL
200	2	2	1	3		24	NÃO VIÁVEL
201	2	2	2	0		17	NÃO VIÁVEL
202	2	2	2	1		21	NÃO VIÁVEL
203	2	2	2	2		24	NÃO VIÁVEL
204	2	2	2	3		27	NÃO VIÁVEL
205	2	2	3	0		21	NÃO VIÁVEL
206	2	2	3	1		24	NÃO VIÁVEL
207	2	2	3	2		27	NÃO VIÁVEL
208	2	2	3	3		31	NÃO VIÁVEL
209	2	3	0	0		14	NÃO VIÁVEL
210	2	3	0	1		17	NÃO VIÁVEL
211	2	3	0	2		21	NÃO VIÁVEL
212	2	3	0	3		24	NÃO VIÁVEL
213	2	3	1	0		17	NÃO VIÁVEL
214	2	3	1	1		20	NÃO VIÁVEL
215	2	3	1	2		24	NÃO VIÁVEL
216	2	3	1	3		27	NÃO VIÁVEL
217	2	3	2	0		20	NÃO VIÁVEL
218	2	3	2	1		24	NÃO VIÁVEL
219	2	3	2	2		27	NÃO VIÁVEL
220	2	3	2	3		30	NÃO VIÁVEL
221	2	3	3	0		23	NÃO VIÁVEL
222	2	3	3	1		27	NÃO VIÁVEL
223	2	3	3	2		30	NÃO VIÁVEL
224	2	3	3	3		34	NÃO VIÁVEL
225	2	4	0	0		17	NÃO VIÁVEL
226	2	4	0	1		20	NÃO VIÁVEL
227	2	4	0	2		23	NÃO VIÁVEL
228	2	4	0	3		27	NÃO VIÁVEL
229	2	4	1	0		20	NÃO VIÁVEL
230	2	4	1	1		23	NÃO VIÁVEL
231	2	4	1	2		27	NÃO VIÁVEL
232	2	4	1	3		30	NÃO VIÁVEL
233	2	4	2	0		23	NÃO VIÁVEL
234	2	4	2	1		26	NÃO VIÁVEL
235	2	4	2	2		30	NÃO VIÁVEL
236	2	4	2	3		33	NÃO VIÁVEL
237	2	4	3	0		26	NÃO VIÁVEL
238	2	4	3	1		30	NÃO VIÁVEL
239	2	4	3	2		33	NÃO VIÁVEL
240	2	4	3	3		36	NÃO VIÁVEL
241	3	0	0	0		8	VIÁVEL
242	3	0	0	1		11	VIÁVEL
243	3	0	0	2		15	NÃO VIÁVEL
244	3	0	0	3		18	NÃO VIÁVEL
245	3	0	1	0		11	VIÁVEL
246	3	0	1	1		14	NÃO VIÁVEL
247	3	0	1	2		18	NÃO VIÁVEL
248	3	0	1	3		21	NÃO VIÁVEL
249	3	0	2	0		14	NÃO VIÁVEL
250	3	0	2	1		18	NÃO VIÁVEL
251	3	0	2	2		21	NÃO VIÁVEL
252	3	0	2	3		24	NÃO VIÁVEL
253	3	0	3	0		17	NÃO VIÁVEL
254	3	0	3	1		21	NÃO VIÁVEL
255	3	0	3	2		24	NÃO VIÁVEL

Figura 45 - Resultados obtidos para o varão de 12 metros

(Fonte: Autoria própria).

256	3	0	3	3		28	NÃO VIÁVEL
257	3	1	0	0		11	VIÁVEL
258	3	1	0	1		14	NÃO VIÁVEL
259	3	1	0	2		17	NÃO VIÁVEL
260	3	1	0	3		21	NÃO VIÁVEL
261	3	1	1	0		14	NÃO VIÁVEL
262	3	1	1	1		17	NÃO VIÁVEL
263	3	1	1	2		21	NÃO VIÁVEL
264	3	1	1	3		24	NÃO VIÁVEL
265	3	1	2	0		17	NÃO VIÁVEL
266	3	1	2	1		20	NÃO VIÁVEL
267	3	1	2	2		24	NÃO VIÁVEL
268	3	1	2	3		27	NÃO VIÁVEL
269	3	1	3	0		20	NÃO VIÁVEL
270	3	1	3	1		24	NÃO VIÁVEL
271	3	1	3	2		27	NÃO VIÁVEL
272	3	1	3	3		30	NÃO VIÁVEL
273	3	2	0	0		14	NÃO VIÁVEL
274	3	2	0	1		17	NÃO VIÁVEL
275	3	2	0	2		20	NÃO VIÁVEL
276	3	2	0	3		24	NÃO VIÁVEL
277	3	2	1	0		17	NÃO VIÁVEL
278	3	2	1	1		20	NÃO VIÁVEL
279	3	2	1	2		23	NÃO VIÁVEL
280	3	2	1	3		27	NÃO VIÁVEL
281	3	2	2	0		20	NÃO VIÁVEL
282	3	2	2	1		23	NÃO VIÁVEL
283	3	2	2	2		27	NÃO VIÁVEL
284	3	2	2	3		30	NÃO VIÁVEL
285	3	2	3	0		23	NÃO VIÁVEL
286	3	2	3	1		27	NÃO VIÁVEL
287	3	2	3	2		30	NÃO VIÁVEL
288	3	2	3	3		33	NÃO VIÁVEL
289	3	3	0	0		16	NÃO VIÁVEL
290	3	3	0	1		20	NÃO VIÁVEL
291	3	3	0	2		23	NÃO VIÁVEL
292	3	3	0	3		26	NÃO VIÁVEL
293	3	3	1	0		20	NÃO VIÁVEL
294	3	3	1	1		23	NÃO VIÁVEL
295	3	3	1	2		26	NÃO VIÁVEL
296	3	3	1	3		30	NÃO VIÁVEL
297	3	3	2	0		23	NÃO VIÁVEL
298	3	3	2	1		26	NÃO VIÁVEL
299	3	3	2	2		30	NÃO VIÁVEL
300	3	3	2	3		33	NÃO VIÁVEL
301	3	3	3	0		26	NÃO VIÁVEL
302	3	3	3	1		29	NÃO VIÁVEL
303	3	3	3	2		33	NÃO VIÁVEL
304	3	3	3	3		36	NÃO VIÁVEL
305	3	4	0	0		19	NÃO VIÁVEL
306	3	4	0	1		23	NÃO VIÁVEL
307	3	4	0	2		26	NÃO VIÁVEL
308	3	4	0	3		29	NÃO VIÁVEL
309	3	4	1	0		22	NÃO VIÁVEL
310	3	4	1	1		26	NÃO VIÁVEL
311	3	4	1	2		29	NÃO VIÁVEL
312	3	4	1	3		33	NÃO VIÁVEL
313	3	4	2	0		26	NÃO VIÁVEL
314	3	4	2	1		29	NÃO VIÁVEL
315	3	4	2	2		32	NÃO VIÁVEL
316	3	4	2	3		36	NÃO VIÁVEL
317	3	4	3	0		29	NÃO VIÁVEL
318	3	4	3	1		32	NÃO VIÁVEL
319	3	4	3	2		36	NÃO VIÁVEL
320	3	4	3	3		39	NÃO VIÁVEL
321	4	0	0	0		10	VIÁVEL
322	4	0	0	1		14	NÃO VIÁVEL
323	4	0	0	2		17	NÃO VIÁVEL
324	4	0	0	3		21	NÃO VIÁVEL
325	4	0	1	0		14	NÃO VIÁVEL

Figura 46 - Resultados obtidos para o varão de 12 metros

(Fonte: Autoria própria).

325	4	0	1	0		14	NÃO VIÁVEL
326	4	0	1	1		17	NÃO VIÁVEL
327	4	0	1	2		20	NÃO VIÁVEL
328	4	0	1	3		24	NÃO VIÁVEL
329	4	0	2	0		17	NÃO VIÁVEL
330	4	0	2	1		20	NÃO VIÁVEL
331	4	0	2	2		24	NÃO VIÁVEL
332	4	0	2	3		27	NÃO VIÁVEL
333	4	0	3	0		20	NÃO VIÁVEL
334	4	0	3	1		23	NÃO VIÁVEL
335	4	0	3	2		27	NÃO VIÁVEL
336	4	0	3	3		30	NÃO VIÁVEL
337	4	1	0	0		13	NÃO VIÁVEL
338	4	1	0	1		17	NÃO VIÁVEL
339	4	1	0	2		20	NÃO VIÁVEL
340	4	1	0	3		23	NÃO VIÁVEL
341	4	1	1	0		17	NÃO VIÁVEL
342	4	1	1	1		20	NÃO VIÁVEL
343	4	1	1	2		23	NÃO VIÁVEL
344	4	1	1	3		27	NÃO VIÁVEL
345	4	1	2	0		20	NÃO VIÁVEL
346	4	1	2	1		23	NÃO VIÁVEL
347	4	1	2	2		26	NÃO VIÁVEL
348	4	1	2	3		30	NÃO VIÁVEL
349	4	1	3	0		23	NÃO VIÁVEL
350	4	1	3	1		26	NÃO VIÁVEL
351	4	1	3	2		30	NÃO VIÁVEL
352	4	1	3	3		33	NÃO VIÁVEL
353	4	2	0	0		16	NÃO VIÁVEL
354	4	2	0	1		20	NÃO VIÁVEL
355	4	2	0	2		23	NÃO VIÁVEL
356	4	2	0	3		26	NÃO VIÁVEL
357	4	2	1	0		19	NÃO VIÁVEL
358	4	2	1	1		23	NÃO VIÁVEL
359	4	2	1	2		26	NÃO VIÁVEL
360	4	2	1	3		29	NÃO VIÁVEL
361	4	2	2	0		23	NÃO VIÁVEL
362	4	2	2	1		26	NÃO VIÁVEL
363	4	2	2	2		29	NÃO VIÁVEL
364	4	2	2	3		33	NÃO VIÁVEL
365	4	2	3	0		26	NÃO VIÁVEL
366	4	2	3	1		29	NÃO VIÁVEL
367	4	2	3	2		33	NÃO VIÁVEL
368	4	2	3	3		36	NÃO VIÁVEL
369	4	3	0	0		19	NÃO VIÁVEL
370	4	3	0	1		22	NÃO VIÁVEL
371	4	3	0	2		26	NÃO VIÁVEL
372	4	3	0	3		29	NÃO VIÁVEL
373	4	3	1	0		22	NÃO VIÁVEL
374	4	3	1	1		26	NÃO VIÁVEL
375	4	3	1	2		29	NÃO VIÁVEL
376	4	3	1	3		32	NÃO VIÁVEL
377	4	3	2	0		25	NÃO VIÁVEL
378	4	3	2	1		29	NÃO VIÁVEL
379	4	3	2	2		32	NÃO VIÁVEL
380	4	3	2	3		36	NÃO VIÁVEL
381	4	3	3	0		29	NÃO VIÁVEL
382	4	3	3	1		32	NÃO VIÁVEL
383	4	3	3	2		35	NÃO VIÁVEL
384	4	3	3	3		39	NÃO VIÁVEL
385	4	4	0	0		22	NÃO VIÁVEL
386	4	4	0	1		25	NÃO VIÁVEL
387	4	4	0	2		29	NÃO VIÁVEL
388	4	4	0	3		32	NÃO VIÁVEL
389	4	4	1	0		25	NÃO VIÁVEL
390	4	4	1	1		28	NÃO VIÁVEL
391	4	4	1	2		32	NÃO VIÁVEL
392	4	4	1	3		35	NÃO VIÁVEL
393	4	4	2	0		28	NÃO VIÁVEL
394	4	4	2	1		32	NÃO VIÁVEL
395	4	4	2	2		35	NÃO VIÁVEL
396	4	4	2	3		38	NÃO VIÁVEL
397	4	4	3	0		31	NÃO VIÁVEL
398	4	4	3	1		35	NÃO VIÁVEL
399	4	4	3	2		38	NÃO VIÁVEL
400	4	4	3	3		42	NÃO VIÁVEL

Figura 47 - Resultados obtidos para o varão de 12 metros

(Fonte: Autoria própria).

ANEXO 2 – RESULTADOS PARA O VARÃO DE 6 METROS



Figura 48 - Resultados obtidos para o varão de 6 metros

(Fonte: Autoria própria).