



BOAS PRÁTICAS PARA TORNAR AMBIENTALMENTE SUSTENTÁVEL A
OPERAÇÃO DE ARMAZÉNS

Larissa Emerick Gois

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes.

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Rio de Janeiro

Abril de 2019

BOAS PRÁTICAS PARA TORNAR AMBIENTALMENTE SUSTENTÁVEL A
OPERAÇÃO DE ARMAZÉNS

Larissa Emerick Gois

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO
ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE
ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE
JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE
TRANSPORTES.

Examinada por:

Prof. Márcio de Almeida D'Agosto, D.Sc.

Prof^a. Suzana Kahn Ribeiro, D.Sc.

Prof. Aurélio Lamare Soares Murta, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

ABRIL DE 2019

Gois, Larissa Emerick

Boas Práticas Para Tornar Ambientalmente
Sustentável a Operação de Armazéns / Larissa Emerick

Gois. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2019.

XII, 70 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Márcio de Almeida D’Agosto

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de
Engenharia de Transportes, 2019.

Referências Bibliográficas: p. 61-70.

1. Operação de Armazéns. 2. Armazém Verde. 3.
Armazenagem Sustentável. I. D’Agosto, Márcio de
Almeida. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro,
COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III.
Título.

“Os jovens se cansarão e se fatigarão, e os moços certamente cairão; mas os que esperam no Senhor renovarão as forças, subirão com asas como águias; correrão, e não se cansarão; caminharão, e não se fatigarão”.

Isaías 40:30,31

AGRADECIMENTOS

“Tu, Senhor, guardarás em perfeita paz aquele cujo propósito está firme, porque em ti confia”. Isaías 26:3.

Sou grata a Deus pelos livramentos, cuidado, direção, sabedoria, consolo e paz. Ao findar esta jornada, fica ainda mais evidente que se o Senhor não tivesse me sustentado eu não conseguiria. Foi uma grande superação.

Agradeço aos meus pais por acreditarem e investirem em mim, sendo meu alicerce. À minha irmã Lívia por estar sempre presente, à minha sobrinha Laura por ser a alegria da família, ao meu primo Matheus pelo constante incentivo e a todos pelas palavras de ânimo e por compreenderem minha ausência. Sem vocês o caminho teria sido mais árduo.

Ao Professor Márcio D’Agosto por ter me aceitado como orientanda. A admiração pelo seu trabalho, existente mesmo antes de conhecê-lo pessoalmente, tornou-se ainda maior. Obrigada pela orientação, atenção, paciência, confiança, disponibilidade e por todos os ensinamentos transmitidos.

Aos amigos do Programa de Engenharia de Transportes da COPPE/UFRJ, em especial, dona Helena e Jane, por sempre estarem dispostas a ajudar, com simpatia e cordialidade. À Isabella da Hora, companheira de jornada, pelas palavras de encorajamento em meio às dificuldades.

Aos Professores membros da banca pela disposição em avaliarem e contribuírem com este trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo auxílio concedido.

Por fim, aos gestores entrevistados cuja disponibilidade, colaboração, presteza e agilidade foram imprescindíveis para a conclusão deste trabalho.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

BOAS PRÁTICAS PARA TORNAR AMBIENTALMENTE SUSTENTÁVEL A OPERAÇÃO DE ARMAZÉNS

Larissa Emerick Gois

Abril/2019

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Programa: Engenharia de Transportes

O objetivo desta dissertação é definir um conjunto de boas práticas para a operação de armazéns de modo a aprimorar a sua sustentabilidade ambiental. Espera-se também avaliar os impactos gerados a partir da adoção de tais boas práticas. Para isso será realizada uma revisão bibliográfica descritiva com estudo de caso. As limitações foram encontradas inicialmente na literatura no que tange ao armazém verde, assunto ainda pouco abordado em relação à sua gestão e operação. A originalidade do trabalho relaciona-se com a elaboração de boas práticas para operação e gestão de armazéns cujo foco seja aprimorar os resultados da sustentabilidade ambiental decorrente da movimentação de produtos em estoque, aprimorando o uso de energia e as decorrentes emissões de gases de efeito estufa (GEE) e poluentes atmosféricos.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

GOOD PRACTICES TO MAKE ENVIRONMENTALLY SUSTAINABLE THE
OPERATION OF STORAGE ROOMS

Larissa Emerick Gois

April/2019

Advisor: Márcio de Almeida D'Agosto

Department: Transportation Engineering

The objective of this dissertation is to define a set of good practices for the operation of warehouses in order to improve their environmental sustainability. It is also hoped to evaluate the impacts generated from the adoption of such good practices. For this, a normative bibliographic review will be carried out with a case study. The limitations were initially found in the literature regarding the green warehouse, a subject that has not yet been approached in relation to its management and operation. The originality of the work is related to the elaboration of good practices for operation and warehouse management whose focus is to improve the results of environmental sustainability resulting from the movement of products in stock, improving the use of energy and the resulting emissions of greenhouse gases (GHG) and air pollutants.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Descrição do problema de pesquisa e premissas.....	2
1.2. Objetivos	3
1.3. Justificativa.....	3
1.4. Delimitação da pesquisa.....	4
1.5. Metodologia	4
1.6. Organização do trabalho.....	5
2. REVISÃO DE LITERATURA	7
2.1. Armazém	7
2.1.1. Conceito.....	8
2.1.2. Tipos de Armazém.....	9
2.1.3. Atividades desenvolvidas no armazém.....	12
2.1.4. Equipamentos utilizados para a movimentação de cargas.....	15
2.2. Impactos gerados na movimentação de cargas em armazéns	18
2.2.1. Emissão de gases de efeito estufa.....	19
2.2.2. Emissão de poluentes atmosféricos	22
2.2.3. Uso de energia	26
2.2.4. Uso e ocupação do solo, poluição sonora, consumo de água e geração de resíduos.....	28
3. ESTABELECIMENTO DAS BOAS PRÁTICAS PARA APRIMORAR A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DA ARMAZENAGEM (ARMAZÉM VERDE).....	31
4. APLICAÇÃO DAS BOAS PRÁTICAS PARA APRIMORAR A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DA ARMEZENAGEM (ARMAZÉM VERDE).....	47
4.1. Elaboração das boas práticas na aplicação da logística verde na operação de armazéns.....	49
4.2. Cálculo do saving de emissões de CO ₂ a partir da aplicação das boas práticas.....	53
4.3. Análise dos resultados obtidos	55
5. CONCLUSÃO.....	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Origem de poluentes atmosféricos selecionados.....	24
Figura 2. Poluição do ar: de fontes para impactos.....	25
Figura 3. Os elementos que integram a Logística Verde.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação e tipos de armazém	12
Tabela 2. Atividades desenvolvidas no armazém.....	15
Tabela 3. Potencial de aquecimento global dos principais GEE.	20
Tabela 4. Poluentes atmosféricos e fontes de emissão.	23
Tabela 5. Fontes de Energia.	28
Tabela 6. Boas práticas para tornar-se um Armazém Verde.	36
Tabela 7. Atributos e definição dos indicadores de desempenho de sustentabilidade ambiental (SPIs)	45
Tabela 8. Indicadores de sustentabilidade ambiental usuais e suas métricas.	46
Tabela 9. Indicadores monitorados pelo WMS da empresa.	52
Tabela 10. Boas práticas para Armazém Verde adotadas pela empresa.	53
Tabela 11. Principais indicadores de sustentabilidade e métricas adotadas pela empresa.	53
Tabela 12. Boas práticas para Armazém Verde integralmente adotadas pela empresa.	55
Tabela 13. Boas práticas para armazém verde parcialmente adotadas pela empresa.	56
Tabela 14. Boas práticas para armazém verde não aplicáveis a empresa.....	57

LISTA DE SIGLAS

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CFC – Clorofluorcarbonetos

CH₄ – Metano

CO – Monóxido de Carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono

CO_{2e} – Dióxido de Carbono Equivalente

GEE – Gases de Efeito Estufa

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

GN – Gás Natural

GNC – Gás Natural Comprimido

GNL – Gás Natural Liquefeito

GQA – Gerência da Qualidade do Ar

GVRD – Distrito Regional da Grande Vancouver

H₂O₂ – Peróxido de Hidrogênio

HC – Hidrocarbonetos

HFC – Hidro-fluorcarbonetos

HNO₃ – Ácido Nítrico

KPI – Indicadores de Desempenho

MMA – Ministério do Meio Ambiente do Brasil

MTE – Ministério do Trabalho e Emprego do Brasil

MP – Material Particulado

N₂O – Óxido Nitroso

NF₃ – Tri-fluoreto de nitrogênio

NH₃ – Amônia

NO₂ – Dióxido de Nitrogênio

NO_x – Óxidos de Nitrogênio

O₃ – Ozônio

OMS – Organização Mundial da Saúde

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

PCVC – Poluentes Climáticos de Vida Curta

PFC – Perfluorcarbonetos

PIB – Produto Interno Bruto

SF₆ – Hexafluoreto de enxofre

SO₂ – Dióxido de Enxofre

SO₃ – Trióxido de Enxofre

SO_x – Óxidos de Enxofre

SPI's – Indicadores de Desempenho de Sustentabilidade Ambiental

WMS – Sistema de Gerenciamento de Armazéns

1. INTRODUÇÃO

As atividades logísticas são fundamentais para o funcionamento das empresas e por apresentarem alto custo para as organizações o assunto ganha destaque. Os custos logísticos representam uma importante fração dos custos das empresas (Engblom *et al.*, 2012; Souza e D'Agosto, 2013). No Brasil, tais custos são expressivos, alcançando 12,7% do PIB (ILOS, 2016). Dada a grande representatividade financeira ocorre a tendência das organizações buscarem o menor custo possível para essas atividades, relegando a um segundo plano o impacto ambiental gerado, muitas vezes decorrentes da energia empregada em sua operação, sendo ela usualmente não renovável e com alto poder poluente, uma vez que utiliza combustíveis fósseis.

Os antigos conceitos relacionados aos meios de produção e obtenção de lucro vêm sofrendo mudanças a partir do crescimento da preocupação com o meio ambiente e da compreensão do conceito de sustentabilidade. Essa percepção vem ao encontro das atividades logísticas, tanto pela sua expressão financeira quanto pela quebra de paradigma e necessidade de mudança de conceitos e práticas operacionais. Dessa forma, as reflexões a respeito das questões ambientais na cadeia de suprimentos têm-se tornado cada vez mais importante, fato que leva as organizações a buscar o equilíbrio entre a gestão do negócio para obtenção de lucro com as demandas ambientais (DONLOUP *et al.*, 2015).

Ballou (1992) entende o transporte, manutenção de estoque e processamento de pedidos como as principais funções da logística. A estrutura física do armazém, relacionado à função logística manutenção de estoque, é um personagem importante dentro da cadeia logística, pois promove a união entre fabricantes, fornecedores, distribuidores e clientes na cadeia de suprimentos (ONUT *et al.*, 2008). As operações realizadas no armazém exercem influência não só na produtividade e custos operacionais, mas em toda a cadeia de suprimentos, sendo este o motivo pelo qual se deve buscar a otimização da produtividade e redução dos custos operacionais (BALLESTIN *et al.*, 2013).

De Koster *et al.*(2007) e Amjed e Harrison (2013) entendem que na cadeia de suprimentos, a função armazenagem demanda atenção pois pode representar até 24%

dos custos logísticos. Em contrapartida, as operações do armazém afetam não só a empresa, mas abrange o ambiente local e a sociedade por meio das emissões atmosféricas, geração de resíduos, congestionamentos, poluição sonora, dentre outros, possuindo, portanto, grande potencial para o alcance de metas cujo objetivo seja o desenvolvimento sustentável da operação (Amjed e Harrison, 2013), fato que evidencia a relevância de estudo desse tema.

Tan *et al.*(2009) abordam que as empresas de armazenagem apresentam pouca preocupação com os impactos ambientais gerados por meio de suas operações, tendo em vista que fatores como eficiência e custos são tidos como os mais relevantes. Os autores salientam que é necessário que tais empresas alterem o atual modelo de negócio para um modelo ambientalmente sustentável, uma vez que a queima dos combustíveis utilizados nos equipamentos são uma das principais fontes de emissões atmosféricas.

A implantação de práticas de gestão e operação que aprimore a sustentabilidade ambiental de armazém ainda é um desafio para muitas empresas principalmente no tocante aos custos envolvidos. Embora as pesquisas a respeito da aplicação da sustentabilidade nas atividades logísticas tenham sofrido uma expansão nos últimos anos (Ries, 2016), o impacto ambiental ocasionado em decorrência das operações de armazenagem é pouco abordado em tais pesquisas (FACCHINI, 2016; RIES, 2016).

O armazém verde é muito discutido no que tange a sua estrutura física e técnicas de construção, sua gestão e operação são pouco abordadas pela literatura. Portanto, o objeto de estudo é a operação e gestão de armazéns cujo foco é aprimorar os resultados da sustentabilidade ambiental decorrente da movimentação de produtos em estoque, aprimorando o uso de energia e as decorrentes emissões de gases de efeito estufa (GEE) e poluentes atmosféricos.

1.1. Descrição do problema de pesquisa e premissas

Como apresentado, os custos de armazenagem representam 24% dos custos logísticos. A outra face da problemática está relacionada à sustentabilidade da atividade, uma vez que a maioria dos equipamentos utilizados é movida a combustíveis fósseis, energia não renovável e que, segundo UNEP (2017), consiste em uma das principais

fontes de emissão de poluição atmosférica. No que se refere aos gases de efeito estufa (GEE) o índice de emissão é crescente e, caso essa realidade não se altere, espera-se que em 2030 os níveis de CO₂ atinjam a marca de 80% acima da atual (Mckinnon *et al.*, 2010).

A partir da compreensão da necessidade de processos logísticos cada vez mais sustentáveis, a busca por práticas que proporcionem benefícios ambientais, como a redução do consumo de energia, da emissão de poluentes atmosféricos e de gases de efeito estufa, ganha destaque.

Para tanto, adota-se como premissa que as práticas usualmente utilizadas nos armazéns podem trazer prejuízo ao meio ambiente e que seja possível aplicar práticas que aprimorem sua sustentabilidade ambiental. Admite-se que pela ótica do ganho ambiental é viável a aplicação do conceito de logística verde na atividade de armazenagem, concretizando a prática da armazenagem verde.

1.2. Objetivos

O objetivo desta dissertação é sugerir um conjunto de boas práticas para a operação de armazéns de modo a aprimorar a sua sustentabilidade ambiental. Espera-se também avaliar os impactos gerados a partir da adoção de tais boas práticas na movimentação de cargas em armazéns, sem prejuízo do nível de serviço.

Os objetivos específicos são:

- Identificar um conjunto de boas práticas para a operação de armazéns;
- Verificar se as boas práticas identificadas são aplicáveis a operação de armazém;
- Verificar os principais indicadores de sustentabilidade e seus impactos na operação de armazém verde;
- Realizar um estudo de caso por meio de entrevista com especialistas.

1.3. Justificativa

A relevância do tema está relacionada à crescente ascensão da temática de sustentabilidade no que tange aos processos logísticos, em decorrência do surgimento

do conceito de logística verde, além da progressiva preocupação mundial com a emissão de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos.

A abordagem proposta proporciona o conhecimento de boas práticas no que concerne à operação de armazéns com o objetivo de aprimorar a sua sustentabilidade ambiental sem que ocorra prejuízo na viabilidade da operação, mantendo o nível de serviço, com o intuito de obter benefício ambiental.

1.4. Delimitação da pesquisa

A presente pesquisa é direcionada aos gestores organizacionais e tem como foco o setor industrial voltado para a função logística de armazenagem, destacando a operação de armazéns e movimentação de cargas (transporte interno), buscando apresentar boas práticas para que se tenham operações sustentáveis e também avaliar o impacto ambiental positivo de tais práticas.

1.5. Metodologia

O procedimento metodológico utilizado considera três etapas. A primeira consistiu-se na verificação conceitual sobre o tema. Para isso foi realizado uma revisão bibliográfica descritiva a partir de artigos e publicações internacionais, sem limitação geográfica entre os anos de 2008 e 2019. A delimitação temporal tem por objetivo obter informações que traduzam a atual tendência mundial a respeito do tema. Em paralelo também foram selecionados livros referência no assunto com o objetivo de evidenciar alguns conceitos já bem consolidados.

A partir dessa revisão foi possível extrair as boas práticas referentes às questões de armazenagem que originou uma lista daquelas que poderiam ser aplicadas com o objetivo de solucionar as questões relacionadas à sustentabilidade com viés ambiental. Também evidenciou os principais indicadores e medidas utilizados para acompanhar os resultados decorrentes da aplicação dessas boas práticas, sendo este o primeiro resultado obtido.

A segunda etapa teve por objetivo a verificação da aplicabilidade das boas práticas listadas. Para isso, foi selecionado o centro de distribuição de uma empresa de cosméticos localizada na baixada fluminense. A escolha do armazém justifica-se pelo fato de ser um armazém de uso geral, assim como muitos outros utilizados no Brasil e por ser em uma empresa fortemente comprometida com a sustentabilidade.

As informações foram obtidas por meio de entrevista com gestores visando estabelecer uma comparação entre o resultado encontrado na primeira etapa e as práticas adotadas pela empresa a fim de apurar se as ações efetuadas são aderentes àquelas listadas a partir da literatura.

Por fim, a terceira etapa estabeleceu uma avaliação do *saving* de emissões referentes a atividade de movimentação de materiais a partir da adoção das boas práticas encontradas.

1.6. Organização do trabalho

A dissertação está organizada em cinco Capítulos, sendo o primeiro a presente Introdução. O segundo Capítulo apresenta a revisão bibliográfica acerca do armazém: conceito, tipos de armazém, atividades desempenhadas e equipamentos utilizados. Ainda, trata os impactos gerados na movimentação de cargas em armazéns no que concerne ao uso de energia, do solo e da água, geração de resíduos, poluição sonora e emissão de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos.

O terceiro Capítulo trata do estabelecimento das boas práticas para aprimorar a sustentabilidade ambiental do armazém, fato que o torna em um armazém verde. Também são evidenciados os principais indicadores de sustentabilidade ambiental e suas métricas.

No quarto Capítulo é manifestada a aplicação das boas práticas para aprimorar a sustentabilidade ambiental da armazenagem, em que é analisado um centro de distribuição de uma empresa de cosméticos. As boas práticas adotadas pela empresa são identificadas e também os indicadores de sustentabilidade utilizados além de ser

calculado o *saving* de emissões. Por fim, no quinto e último Capítulo, a conclusão, são demonstrados os resultados obtidos por meio da pesquisa.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Este Capítulo busca apresentar conceitos referentes ao armazém, destacando os tipos de armazéns, as atividades desenvolvidas e os equipamentos utilizados na movimentação de cargas. Em seguida, serão discutidos os impactos decorrentes da movimentação de materiais, tais como uso de energia, emissão de gases de efeito estufa (GEE) e poluentes atmosféricos, uso e ocupação do solo, poluição sonora, consumo de água e geração de resíduos.

2.1. Armazém

Para que uma cadeia de suprimentos opere de maneira eficaz e eficiente é necessário que seus elementos funcionais, com destaque para as operações de armazenagem, apresentem um bom desempenho (ROUWENHORST *et al.*, 2000).

A relevância do armazém está relacionada às importantes conexões estabelecidas entre fornecedores e clientes, fato que auxilia na superação das distâncias físicas e garante a manutenção do cliente por meio do nível de serviço e consolidação de diversos pedidos em uma mesma entrega, favorecendo o modelo *just-in-time* acordado entre fornecedores e clientes (LIM *et al.*, 2013).

O armazém é considerado um importante integrante de uma cadeia de suprimentos, permitindo fortalecer a consolidação de produtos objetivando diminuir custos por meio de economias de escala (BARTHOLDI e HACKMAN, 2010).

Ballou (1993) entende que existem quatro razões fundamentais para uma organização utilizar um armazém, sendo elas (1) conter os custos de transporte e produção por meio da diminuição do custo de transporte pela correspondência nos custos de produção e armazenagem, (2) ordenar suprimento e demanda principalmente no que se refere a produtos que sofrem com sazonalidade e entressafra, nesse caso, sempre que há dificuldades na disponibilidade de produtos, coordenando suprimento e demanda a utilização de estoques e, por conseqüência armazenagem, são necessários, (3) amparar o processo de produção, não só durante o período da manufatura, mas também na guarda dos itens até a venda dos mesmos e (4) apoiar o desenvolvimento de

marketing agregando valor de disponibilidade do produto, que visa um melhor nível de serviço a partir de entregas mais rápidas.

Dada a grande importância exercida na cadeia de suprimentos, principalmente relacionado aos custos e serviços envolvidos, é possível compreender algumas razões pelas quais a manutenção dos armazéns é relevante e, dentre elas, pode-se destacar uma superior oferta de produtos aos clientes e redução no custo de transporte a partir da consolidação da carga e gerenciamento efetivo da distribuição de itens (BARTHOLDI e HACKMAN, 2010; FABER *et al.*, 2013, KEMBRO *et al.* 2017).

2.1.1. Conceito

O conceito de armazém não sofreu mudanças com o decorrer do tempo. Bowersox e Closs (2010) comentam que inicialmente, os armazéns foram classificados como depósitos fixos, utilizados para guarda de materiais, essenciais na execução das atividades básicas de comercialização, sendo situados ao longo da cadeia de suprimentos, com atuação vital na distribuição dos produtos, levando-os ao alcance dos consumidores.

Para Moura (1997) armazenagem corresponde as ações relacionadas a custódia temporária bem como a distribuição de cargas e materiais. A definição de armazém é generalista e caracterizada por Lambert *et al.* (1998) como um local capaz de oferecer guarda e proteção de matérias primas, produtos em processamento, produtos acabados e material de consumo.

Ballou (2006) considera armazém como um local para abrigo transitório de materiais. Para Ferreira (1995), armazéns são espaços apropriados para a estocagem correta de produtos de qualquer natureza, respeitando a particularidade de cada item.

Armazém também pode ser entendido como um local para o estoque que não exerce influência sobre a produção, tendo como objetivo a transferência de cargas e entrega de mercadorias durante a produção até a entrega para o cliente final, não exercendo impacto direto sobre a produção (MINALGA, 2001). Zidonis (2002) considera armazenagem como um elo existente entre o produtor e o consumidor,

podendo armazenar todo e qualquer tipo de produto, além de incluir operações de manutenção no produto. Faber *et al.* (2013) defende que os armazéns possuem um importante papel intermediário na cadeia logística, acometendo diretamente os custos e o nível de serviço.

Nos dias atuais, armazéns são locais pertencentes a uma cadeia de fornecimento em que o produto é depositado e manuseado por um período de tempo (BARTHOLDI e HACKMAN, 2010 e KEMBRO *et al.* 2017).

Rouwenhorst *et al.* (2000) colaboram acrescentando que um armazém pode ser discernido por meio de seus processos, recursos e organização. Os processos relacionam-se com a gestão, os recursos referem-se às pessoas, equipamentos e ferramentas necessárias a operação e a organização diz respeito à metodologia de disposição e fluxo de materiais no armazém.

2.1.2. Tipos de Armazém

Considerando a diversidade de itens existentes, bem como os diversos tipos de indústrias, existem também diferentes tipos de armazém que se adequa às características específicas de cada item a ser armazenado. Tal armazenamento contempla matérias-primas, produtos semi-acabados ou em processamento e produtos acabados e não há limite de quantidades ou tempo de armazenamento (ROUWENHORST *et al.*, 2000).

Ferreira (1998) classifica os armazéns de acordo com seu uso. O autor apresenta oito tipos. São eles: (i) armazéns de uso geral, (ii) armazéns frigorificados, (iii) armazéns desumidificados, (iv) armazéns para guarda de materiais inflamáveis, (v) galpões, (vi) abrigos transitórios, (vii) armazéns elevados, (viii) armazéns subterrâneos ou cobertos com terra.

Armazéns de uso geral, como o próprio nome sugere, não possui características específicas, podendo armazenar diferentes tipos de produtos. Não possuem dispositivos de refrigeração nem de aclimação; possuem estrutura padrão: são cobertos e fechados (FERREIRA, 1998). Não exigem equipamentos especializados e manejam grande variedade de materiais (JENKINS, 1968 *apud* BALLOU, 1993).

Armazéns frigorificados são aqueles cujas instalações possuem refrigeração e controle de temperatura, apropriados para produtos que carecem de baixas temperaturas para serem armazenados (Ferreira, 1998). São apropriados para armazenamento de produtos perecíveis, como vegetais, frutas, comida congelada e também alguns tipos de produtos químicos e farmacêuticos (JENKINS, 1968 *apud* BALLOU, 1993).

Armazéns desumidificados são dotados de mecanismos que atuam no controle da umidade do ambiente, evitando perda de material em decorrência de mofo (Ferreira, 1998).

Armazéns para guarda de materiais inflamáveis possuem características específicas no que tange ao risco de incêndio. O material utilizado em sua construção deve ser obrigatoriamente não inflamável, além de ser dotado de portas corta-fogo cuja capacidade de resistência seja de quatro horas de fogo. Além disso, outros dispositivos garantem a segurança, tais como sistema de alarme e rede de alagamento automático. Para que sejam efetivos, é importante que possua o suprimento correto de água de modo que venha sanar um possível incêndio, não proporcionar um aumento no comburente ou dispersão do líquido inflamável (FERREIRA, 1998).

Os galpões não possuem estrutura especial, são abertos, não possuem paredes nem janelas, havendo apenas uma cobertura, uma espécie de telhado. Geralmente são utilizados na guarda de materiais que apresentam grande necessidade de ventilação ou que não requerem proteção contra sol ou chuva (FERREIRA, 1998).

Abrigos transitórios apresentam suas estruturas (portas, paredes, teto e janelas) confeccionadas em estruturas metálicas, com grande facilidade na montagem, desmontagem e transporte (FERREIRA, 1998).

Armazéns elevados são utilizados na guarda de munições e materiais explosivos. Por essa característica, são construídos cerca de meio metro acima do solo, a fim de promover uma melhor ventilação de ar sob o piso. Além disso, possui mecanismos de ventilação forçada, com o intuito de expulsar o ar e garantir a segurança (FERREIRA, 1998).

Armazéns subterrâneos ou cobertos com terra, assim como os armazéns elevados, são utilizados na guarda de munições e materiais explosivos. Sua principal característica é o teto em arco e temperatura de armazenagem entre 15 e 20°C (FERREIRA, 1998).

Van den Berg e Zijm (1999) distinguem os armazéns em três tipos: armazéns de distribuição, de produção e de contrato. Um armazém de distribuição é aquele em que são depositados e coletados produtos de diversos fornecedores destinados a um determinado número de clientes. Já um armazém de produção está instalado em uma área de produção e é destinado à guarda de matérias primas, produtos em processamento ou semi acabados e produtos acabados. Por fim, um armazém de contrato é aquele que presta o serviço de armazenagem em nome de um ou mais clientes.

A classificação dos armazéns também pode ser feita de acordo com a propriedade do armazém. Ele pode ser próprio, de terceiros ou públicos. Os armazéns próprios são aqueles em que as empresas investiram em sua construção e manutenção, independente do tamanho ou finalidade de armazenagem e são específicos para atender a necessidade da empresa. Ele é operado pela empresa proprietária da mercadoria e sua principal vantagem é o controle dos itens armazenados. Armazéns de terceiros são aqueles que prestam serviços de armazenagem para diversas empresas, detendo toda a expertise necessária para a execução do serviço. Os armazéns públicos são semelhantes aos armazéns de terceiros, porém é propriedade do governo (BALLOU, 1993; BOWERSOX e CLOSS, 2010). A Tabela 1 demonstra os tipos de armazéns e suas classificações.

Tabela 1. Classificação e tipos de armazém
 Fonte: Elaborado pela autora

Classificação	Tipos de Armazém	Autor
De acordo com o uso	Armazéns de uso geral	Jenkins (1968) <i>apud</i> Ballou (1993)
	Armazéns frigorificados	Ferreira (1998)
	Armazéns desumidificados	Ferreira (1998)
	Armazéns para guarda de materiais inflamáveis	
	Galpões	
	Abrigos transitórios	
	Armazéns elevados	
Armazéns subterrâneos ou cobertos com terra		
De acordo com a atividade	Armazéns de distribuição	Van den Berg e Zijm (1999)
	Armazém de produção	
De acordo com a propriedade	Armazém próprio	Ballou (1993)
	Armazém público	Bowersox e Closs (2010)
	Armazém de terceiros	Ballou (1993) Bowersox e Closs (2010) Van den Berg e Zijm (1999)

2.1.3. Atividades desenvolvidas no armazém

Independente do tipo do armazém, as atividades desenvolvidas são semelhantes, sendo elas: recebimento, perícia, estocagem, guarda e conservação, podendo haver algumas semelhanças e/ou divergências entre autores.

Para Ferreira (1998), recebimento relaciona-se ao ato de receber os materiais, conferir e examinar se os itens e as quantidades estão corretos, nota fiscal, dentre outras informações pertinentes à remessa. Perícia refere-se a inspecionar se o material recebido está dentro dos padrões técnicos necessários. Estocagem é a organização dos itens em uma área determinada de modo que seja permitido uma rápida e segura movimentação de materiais. Guarda relaciona à aptidão de manter os itens armazenados seguro contra qualquer dano ou roubo. Por fim, conservação é a habilidade de manter as características dos materiais durante todo o período entre a fase de produção e consumo do item.

Ballou (1993) considera as atividades desenvolvidas no armazém como funções da armazenagem, sendo quatro: (1) abrigo, (2) consolidação, (3) transferência e transbordo, (4) agrupamento ou composição. Para o referido autor, o abrigo de produtos é a função mais evidente da armazenagem, proporcionando a guarda e proteção dos

materiais. A consolidação auxilia na redução de gastos com transporte, tendo em vista que as cargas são agrupadas e movimentadas uma única vez até seu destino. Transferência e transbordo estão relacionadas ao fracionamento dos materiais recebidos em grandes quantidades para atendimento daqueles clientes que solicitam lotes menores, é uma função oposta à consolidação. Agrupamento ou composição é a separação de itens, formando um *mix* de produtos conforme solicitado pelos clientes.

Para Ballestin *et al.* (2013) as operações básicas do armazém relacionam-se ao recebimento e armazenamento dos itens, recepção de pedidos de clientes para separação, montagem e despacho de materiais para os clientes.

Bowersox *et al.* (2006) argumentam que as principais operações do armazém são manuseio e estocagem. Para eles, o objetivo do manuseio de materiais é ordenar os materiais recebidos em variedades específicas para cada cliente e é composto por três atividades principais: recebimento, manuseio para estocagem e expedição. Como o próprio nome sugere, recebimento consiste na descarga de um determinado volume de materiais e/ou produtos semelhantes e na maioria dos armazéns é realizada de forma manual e/ou mecanizada, por meio de paleteiras e empilhadeiras. Manuseio para estocagem refere-se aos deslocamentos de materiais dentro do espaço físico do armazém. A expedição reside na apuração dos itens solicitados e no carregamento dos veículos que serão utilizados no transporte. Assim como no recebimento, é comum a utilização de equipamentos mecanizados como empilhadeiras e esteiras transportadoras. A segunda operação do armazém é a estocagem, que consiste na organização dos materiais e produtos classificando-os conforme suas características individuais.

O processo de armazenagem é composto pelas fases de recepção, armazenagem, separação de pedidos e envio (VAN DEN BERG e ZIJM, 1999; ROUWENHORST *et al.*, 2000). A recepção é o processo de entrada dos produtos onde são recebidos e direcionados para a área de armazenagem. A fase da armazenagem é designada para a guarda dos produtos em um local adequado dentro do armazém. A separação refere-se ao ordenamento e preparação dos itens conforme solicitado. Por fim, o envio corresponde ao despacho dos materiais preparados na fase anterior, conforme solicitação do cliente.

Van den Berg e Zijm (1999) e Gu *et al.* (2007) entendem que o cerne da operação de armazéns é o fluxo de materiais mantidos dentro do espaço físico. A primeira atividade de armazenagem está relacionada ao recebimento dos itens entregues pela transportadora. Neste momento, é realizada a inspeção e conferência dos materiais, podendo ser reembalados e destinados a outros estoques. Na sequência, é realizado o armazenamento dos itens, que se refere à alocação dos bens nas instalações físicas com o objetivo de guardá-los e protegê-los contra qualquer dano. A próxima atividade está relacionada com o recebimento do pedido do cliente e separação dos itens solicitados. Após a separação é verificado a possibilidade de consolidar os itens, ou seja, agrupá-los para que sejam enviados a um único destino. Por fim, ocorre o despacho, quando os itens são direcionados a um transportador que será o responsável pela entrega no cliente.

Além das atividades mais comuns já mencionadas, Maknoon e Baptiste (2009) e Lim *et al.* (2013) mencionam que alguns armazéns também podem oferecer a atividade de *cross-docking*, onde as cargas são recebidas, agrupadas com outros materiais e enviadas para o cliente sem passar pelo armazenamento. A Tabela 2 sintetiza as atividades desenvolvidas no armazém.

Tabela 2. Atividades desenvolvidas no armazém.
 Fonte: Elaborado pela autora.

Atividades desenvolvidas no armazém	Autor
Recebimento	Ferreira (1998) Van den Berg e Zijm (1999) Rouwenhorst <i>et al.</i> (2000) Bowersox <i>et al.</i> (2006) Gu <i>et al.</i> (2007) Ballestin <i>et al.</i> (2013)
Inspeção e conferência	Ferreira (1998) Van den Berg e Zijm (1999) Gu <i>et al.</i> (2007)
Manuseio para estocagem	Bowersox <i>et al.</i> (2006)
Armazenagem	Ballou (1993) Ferreira (1998) Van den Berg e Zijm (1999) Rouwenhorst <i>et al.</i> (2000) Bowersox <i>et al.</i> (2006) Gu <i>et al.</i> (2007) Ballestin <i>et al.</i> (2013)
Conservação	Ferreira (1998)
Recebimento de pedidos dos clientes	Van den Berg e Zijm (1999) Gu <i>et al.</i> (2007) Ballestin <i>et al.</i> (2013)
Separação de pedidos	Ballou (1993) Van den Berg e Zijm (1999) Rouwenhorst <i>et al.</i> (2000) Bowersox <i>et al.</i> (2006) Gu <i>et al.</i> (2007) Ballestin <i>et al.</i> (2013)
Consolidação	Ballou (1993) Van den Berg e Zijm (1999) Gu <i>et al.</i> (2007) Ballestin <i>et al.</i> (2013)
Despacho de materiais	Van den Berg e Zijm (1999) Rouwenhorst <i>et al.</i> (2000) Bowersox <i>et al.</i> (2006) Gu <i>et al.</i> (2007) Ballestin <i>et al.</i> (2013)
<i>Cross-docking</i>	Maknoon e Baptiste (2009) Lim <i>et al.</i> (2013)

2.1.4. Equipamentos utilizados para a movimentação de cargas

Para a movimentação interna de materiais, existe vasta diversidade de equipamentos. Sulirová *et al.* (2017) afirmam que os principais equipamentos utilizados pelas empresas na movimentação de cargas são os paletes manuais e empilhadeiras.

Ferreira (1998) considera os equipamentos utilizados na movimentação de materiais como equipamentos autopropelidos, de uso industrial (cuja origem está relacionada à necessidade de projetos de automação industrial, sendo normalmente dispostos sobre trilhos, vigas ou rodízios) ou manuais.

Empilhadeiras são equipamentos mecânicos utilizados na movimentação de materiais cuja operação manual torna-se inviável em decorrência do peso e volume dos itens. A operação se baseia na elevação, transporte e posicionamento dos itens. Possuem propulsão própria e atendem a diferentes necessidades e operações. Podem ser classificadas quanto à rodagem, apresentando três ou quatro rodas, cujas rodas podem ser de borracha maciça semi-rígida, adequados a pisos lisos ou com objetos perfurantes, ou rodas pneumáticas que são adequadas a pisos irregulares (BALLOU, 1993; FERREIRA, 1998). Apresenta variações de acordo com a capacidade de carga, altura da torre, capacidade de operar em corredores estreitos, velocidade, altura máxima de elevação e forma de operação, podendo ser manual ou motorizada (BALLOU, 1993).

Guindastes, pontes rolantes e pórticos formam outra classe importante de equipamentos de movimentação de materiais (BALLOU, 1993). Guindastes são equipamentos cuja finalidade é levantar, abaixar e movimentar materiais. São dotados de cabo de aço que são conectados por meio de um guincho. Os guindastes se dividem em duas classes, podendo ser de transporte, aqueles que além de movimentarem internamente a carga, são capazes de transportá-la desde que não exceda o limite de peso suportado pelo veículo e de transferência, são aqueles que trabalham estáveis por meio de patolas, por exemplo. Ainda, os guindastes podem possuir lança rígida ou giratória e telescópica e tem seu uso indicado para pátios ou áreas abertas cujo volume da movimentação a ser realizada seja grande, no total ou individualmente (FERREIRA, 1998).

As pontes rolantes são construídas por cima de vigas deslocando-se por meio de trilhos paralelos que são inseridos nas colunas do armazém ou em estruturas apropriadas. Em decorrência do tipo de material a ser movimentado, as pontes rolantes podem ser dotadas de garras, ganchos, pinças ou eletroímãs. Seu deslocamento ocorre por meio do controle de operador, que pode estar a bordo ou a distancia, por controle remoto. Esses equipamentos apresentam algumas vantagens, dentre elas, destacam-se a

grande capacidade de carga, baixo custo operacional e operação suspensa – não ocupa espaço no piso (FERREIRA, 1998).

Carros pórticos são capazes de suspender o material com as garras e se deslocar com a mesma. Apresentam algumas vantagens como flexibilidade, capacidade de carga e transporte de materiais longos e pesados com uma boa velocidade. Porém, seu uso deve ser realizado com cautela tendo em vista sua pequena manobrabilidade, alto custo e indispensabilidade de piso reforçado (FERREIRA, 1998). A principal peculiaridade desses equipamentos é que eles operam em área de armazenagem e não ficam presos à operações na superfície. Também são capazes de movimentar materiais de grandes dimensões e peso, com destreza e segurança (BALLOU, 1993).

Elevadores são máquinas que possuem plataforma e mecanismos que possibilitam a ascensão e descida de modo a possibilitar o movimento dos materiais situados em níveis diferentes. A vantagem deste equipamento se relaciona ao pouco espaço ocupado além da possibilidade de ser instalado na área externa do prédio. As desvantagens relacionam-se à manutenção do equipamento que deve ser constante, lentidão nos deslocamentos e à capacidade de peso da carga, que é limitado (FERREIRA, 1998).

Já os transportadores contínuos são equipamentos designados ao transporte incessante de materiais. Seu uso é indicado para trajetos com alicate, cujo fluxo de materiais seja intenso. Como vantagens, esse equipamento é simples de ser manuseado e não exige especialização do operador, além do baixo custo de transporte. As desvantagens estão relacionadas à capacidade de carga, que é fixa, itinerário que não permite flexibilidade e alto custo de instalação (FERREIRA, 1998).

Esteiras são utilizadas para itens de tamanho reduzido e pesado e podem ser movidas pela gravidade ou mecanizadas. A diversidade de tipos de transportadores está relacionada a necessidade específica dos itens a serem movimentados. Uma grande vantagem para esse equipamento é a possibilidade de selecionar e separar os itens durante a movimentação de materiais (BALLOU, 1993).

Carrinhos industriais (de alavanca, plataforma ou duas rodas) assim como as

paletes manuais são equipamentos livre de mecanização, simples e de baixo custo, sendo adequados para curtas distâncias com peso de carga restrito (FERREIRA, 1998; SULIROVÁ *et al.*, 2017).

Ballou (1993) identifica alguns equipamentos auxiliares utilizados com o objetivo de melhorar a utilização do espaço físico do armazém, bem como reduzir os prejuízos causados pelo manuseio de materiais (danos provocados pela utilização de empilhadeiras, por exemplo). São eles: estantes ou prateleiras e caixas reutilizáveis, que permitem a otimização da utilização do armazém no que tange a altura de armazenagem, além de proporcionar uma boa organização dos itens em estoque.

Moura (1989) argumenta que a seleção do equipamento deve ser realizada a partir da análise e definição do tipo de movimentação que será realizada bem como as condições da operação (interna, externa, tipo de piso, dentre outros). As condições de operação devem ser consideradas pela necessidade, ou não, de acessórios ou implementos de proteção e segurança. Os equipamentos mais utilizados são empilhadeiras, guindastes móveis, guindastes fixos como pórticos e transportadores *straddle*. O autor ainda complementa que tais equipamentos podem ser ligados a um sistema de comunicação.

2.2. Impactos gerados na movimentação de cargas em armazéns

Nas cadeias de suprimentos globais, o transporte e o armazenamento são considerados grandes colaboradores da poluição ambiental. Em 2009, o Fórum Econômico Mundial (WEF) estimou que as emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) referentes ao setor de logística e transportes correspondem a cerca de 2,8 bilhões de toneladas de CO₂ equivalente ao ano, o que representa 5,5% das emissões. Já os armazéns correspondem a 13% das emissões na cadeia de suprimentos (FICHTINGER *et al.*, 2015), o que equivale a 154 milhões de toneladas de CO₂ equivalente ao ano.

O Departamento de Energia e Alterações Climáticas do Reino Unido (DECC, 2013) estima que os armazéns utilizem 2,1 milhões de toneladas de energia equivalente a petróleo. Isto indica notadamente que as emissões de gases de efeito estufa decorrentes de armazéns mostram-se muito relevantes quando avaliada a cadeia de

suprimentos global (FICHTINGER *et al.*, 2015).

Como visto anteriormente, as operações logísticas são realizadas a partir da utilização de equipamentos manuais e mecânicos, muitas vezes movidos a combustíveis fósseis, energia poluente e não renovável.

2.2.1. Emissão de gases de efeito estufa

Os gases de efeito estufa (GEE) são característicos por prejudicar a devolução para o espaço, do calor emitido pela Terra. Tal fenômeno ocorre de modo natural e é imprescindível, pois essa particular camada de gases é responsável por impedir o resfriamento terrestre, tornando possível a existência de vida no planeta (RIBEIRO, 2003).

A partir da década de 1970 as emissões totais de gases de efeito estufa (GEE) expandiram-se progressivamente (Peters *et al.*, 2011) e essas grandes quantidades potencializaram a preocupação ambiental tendo em vista que ocasionam o aumento da temperatura global culminando em danos irreversíveis ao meio ambiente (RIBEIRO, 2003; PENG, 2016).

De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Ambiente (UNEP, 2017), a emissão mundial de GEE sofreu um retardo no crescimento entre os anos de 2014 e 2016, sendo que o crescimento das emissões nos anos de 2015 e 2016 foi o mais lento desde a década de 1990, desconsiderando apenas os anos de recessão econômica global.

Em 2016, as emissões globais de GEE chegaram a 51,9 bilhões de toneladas de CO₂ equivalente, sendo que 4,1 bilhões de toneladas referem-se às emissões decorrentes da utilização da terra (UNEP, 2017). A combustão de combustíveis fósseis, produção de cimento e outros processos são considerados as principais fontes das emissões globais de GEE, representando 70% delas, que corresponde cerca de 35,8 bilhões de toneladas de CO₂ equivalente (OLIVIER *et al.*, 2017; UNEP, 2017).

No ano de 2017, as emissões mundiais de GEE alcançaram a marca de 53,5 bilhões de toneladas de CO₂ equivalente, e as emissões decorrentes do uso da terra

foram cerca de 4,3 bilhões de toneladas (UNEP, 2018).

Os gases de efeito estufa (GEE) contemplados no Protocolo de Kyoto são: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidro-fluorcarbonetos (HFCs), perfluorcarbonetos (PFCs), hexafluoreto de enxofre (SF₆), e tri-fluoreto de nitrogênio (NF₃), (WRI e WBCSD, 2004; AMEKNASSI *et al.*, 2016).

D'Agosto (2015) salienta que os GEE mais comuns nas atividades de transporte e movimentação de cargas são o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e os clorofluorcarbonetos (CFC), sendo o CO₂ o principal deles, em função do uso predominante de combustíveis derivados de petróleo.

As emissões de GEE são convertidas em CO₂ equivalente (CO_{2e}) para que um único impacto seja calculado (Gestring, 2016) auxiliando a análise, tendo em vista que o CO₂ apresenta um impacto global.

O Potencial de Aquecimento Global permite comparar o potencial impacto na mudança climática que as emissões dos diferentes GEE proporcionam por um período de tempo determinado. (IPCC, 2007). A Tabela 3 mostra os diferentes potenciais de aquecimento global para os GEE mais comuns nas atividades de transporte e movimentação de cargas segundo D'Agosto (2015).

Tabela 3. Potencial de aquecimento global dos principais GEE.
Fonte: Adaptado de IPCC (2007).

Compostos	Fórmula Química	Potencial de Aquecimento Global Horizonte de tempo: 100 anos
Dióxido de carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	21
Óxido nitroso	N ₂ O	310
CFC-11	CCl ₃ F	3800
CFC-12	CCl ₂ F ₂	8100
CFC-113	CCl ₂ FCClF ₂	4800

O consumo de energia e conseqüente aumento de emissões de poluentes atmosféricos e GEE faz com que o armazenamento seja notado como um contribuinte não desprezível para a poluição nas cadeias de fornecimento globais. Armazéns e instalações logísticas representam 13% das emissões de GEE na cadeia de suprimentos

(FICHTINGER, 2015).

A mecanização dos armazéns é um fator impactante na emissão de poluentes atmosféricos e GEE. Os equipamentos utilizados na movimentação de materiais, necessários à operação do armazém são movidos a eletricidade ou combustíveis fósseis, sendo o consumo de energia condicionado às especificações técnicas de cada equipamento (FICHTINGER, 2015).

Amjed e Harrison (2013) consideram que o principal equipamento utilizado na operação de armazéns é a empilhadeira, que pode ser movida a eletricidade, diesel, gás liquefeito de petróleo (GLP) ou gás natural comprimido (GNC) e salienta que a escolha do equipamento é tradicionalmente pautada em sua utilização e não na fonte de energia, fato que deveria ser considerado a fim de atingir os objetivos de sustentabilidade, ao levar em consideração o impacto no meio ambiente. Já McKinnon *et al.* (2010), afirmam que a motivação para a escolha do equipamento não pode ser apenas pela fonte de energia utilizada, mas também devem ser consideradas suas características e condições de trabalho.

Embora a escolha da fonte de energia menos poluente pareça simples, Johnson (2008) defende que as emissões de GEE de empilhadeiras elétricas e de GLP, inicialmente, são muito semelhantes, porém, quando avaliado na prática as emissões do GLP são inferiores que as elétricas quando é comparado ao processo de produção, operação e descarte das baterias. Por não haver nenhum padrão na indústria de baterias, esse seria o motivo pelo qual o autor defende o uso do GLP como o menos poluente. Em contrapartida, Toyota (2002) afirma que a emissão gerada por uma empilhadeira movida a GLP é aproximadamente o dobro quando comparada a uma empilhadeira elétrica.

As emissões de GEE nas operações logísticas podem ser determinadas por meio da abordagem baseada na energia, que corresponde ao registro da energia utilizada nas atividades que, aplicados os fatores de emissão, traduz o consumo de energia em emissões de carbono equivalentes (MCKINNON e PIECYK, 2011; AMEKNASSI *et al.*, 2016).

2.2.2. Emissão de poluentes atmosféricos

Poluente atmosférico, de acordo com Freedman (1995), é qualquer substância que, quando incorporada à atmosfera ocasiona impactos nocivos aos seres vivos e materiais. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente do Brasil (MMA, 2019), a poluição atmosférica pode ser determinada como qualquer forma de matéria ou energia com intensidade, concentração, tempo ou características que sejam capazes de tornar o ar inadequado, prejudicial ou danoso a saúde, ao bem-estar público, aos materiais, à fauna e flora, à segurança, ao uso da propriedade e à qualidade de vida da comunidade.

Prüss-Ustün *et al.* (2016) destacam que em todo o mundo, cerca de 6,5 milhões de pessoas por ano perecem de maneira precoce em decorrência da poluição atmosférica. Dentre os poluentes atmosféricos, o que mais causa impacto negativo é o material particulado (MP_{2.5} e MP₁₀), (Sacks *et al.*, 2011; UNEP, 2016) que pode acarretar em distúrbios respiratórios, doenças cardiovasculares e câncer (UNEP, 2016). Outro importante impacto relacionado aos poluentes atmosféricos refere-se às alterações climáticas que prejudicam o ecossistema, como é o caso, por exemplo, poluentes climáticos de vida curta q incluem o carbono negro e ozônio troposférico (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2015).

D'Agosto (2015) versa que a poluição atmosférica procede da emissão de gases, sólidos e/ou aerossóis líquidos que, quando lançados na atmosfera em quantidades maiores que sua capacidade de dissipá-los, proporciona uma modificação da composição do ar atmosférico implicando em prejuízos dos bens materiais e da saúde dos seres vivos.

Os poluentes atmosféricos são originados, principalmente a partir da utilização de combustíveis fósseis, queima de carvão e lenha, estando relacionados ao transporte, fornos industriais e de tijolos, aquecimento doméstico. Também é possível incluir a incineração de plásticos e baterias, dentre outros materiais, em poços abertos que não possuem regulamentação (UNEP, 2017). Também contribuem para a emissão de poluentes atmosféricos os incêndios florestais e a queima de turfeiras, que possibilitam a formação de tempestades de areia, neblina e poeira; e a desertificação, sendo esta um resultado frequente em ocasionado pela degradação da terra, desmatamentos e

drenagem de áreas úmidas (YOUSSOUF *et al.* 2014, MORMAN e PLUMLEE 2013, UNEP, 2017). Os principais poluentes atmosféricos, bem como suas fontes de emissão, são apresentados na Tabela 4. Na Figura 1 é evidenciada a participação de cada setor na emissão de alguns poluentes atmosféricos.

Tabela 4. Poluentes atmosféricos e fontes de emissão.
Fonte: Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2019).

Poluente Atmosférico	Fontes de Emissão
Aldeídos (RCHO)	Queima de combustível em veículos automotores, principalmente aqueles movidos a etanol.
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	Fontes naturais, por exemplo, vulcão, queima de combustíveis fósseis que contenham enxofre em sua composição, atividades de geração de energia (uso veicular e aquecimento doméstico apresentam emissões mais significativas).
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	Fontes naturais (vulcanismos, ações bacterianas, descargas elétricas) e queima de combustíveis fósseis.
Monóxido de Carbono (CO)	Combustão incompleta de combustível, nas áreas urbanas, a maior parte é decorrente dos veículos automotores.
Ozônio (O ₃)	Reações químicas complexas que acontecem entre o dióxido de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis, na presença de radiação solar. Estes poluentes são emitidos principalmente na queima de combustíveis fósseis, volatilização de combustíveis, criação de animais e agricultura.
Material Particulado (MP _{2,5} e MP ₁₀)	queima de combustíveis fósseis e biomassa vegetal, emissões de amônia na agricultura e emissões decorrentes de obras e pavimentação de vias.
Poluentes Climáticos de Vida Curta - PCVC (carbono negro, metano, ozônio troposférico e hidrofluorcarbonetos, HFC).	Queima ao ar livre de biomassa, motores a diesel e queima residencial de combustíveis sólidos (carvão, madeira), sistemas de óleo e gás, agricultura, criação de animais, aterros sanitários, tratamentos de esgotos, sistemas de ar condicionado, refrigeração, supressores de queima, solventes e aerossóis.

A poluição atmosférica pode ser distinguida entre antropogênica, decorrente da ação humana, podendo ser fixa como é o caso de uma indústria ou móvel como o transporte; ou natural, sendo esta provocada de modo natural, como é o exemplo da erupção vulcânica e a poeira do solo (D'AGOSTO, 2015).

Quanto à origem, os poluentes atmosféricos podem ser denominados primários ou secundários. Os primários estão relacionados à liberação direta pela fonte de emissão, como é o caso, por exemplo, do monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos (HC), material particulado (MP), óxidos de enxofre (SO_x), amônia (NH₃). Os secundários são aqueles produzidos de modo natural, em razão das reações químicas entre os poluentes primários e os componentes naturais da atmosfera, como é o caso do ozônio (O₃), ácido nítrico (HNO₃), trióxido de enxofre (SO₃), peróxido de hidrogênio (H₂O₂) dentre outros (FREEDMAN, 1995; D'AGOSTO, 2015).

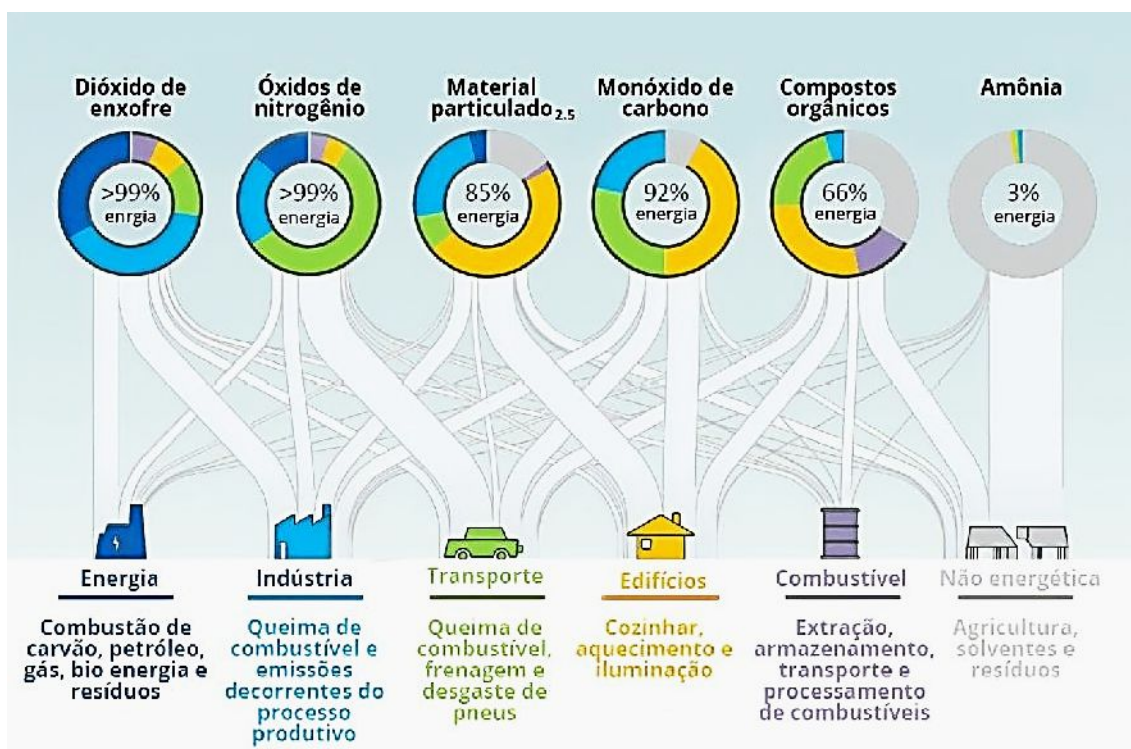


Figura 1. Origem de poluentes atmosféricos selecionados.
 Fonte: Adaptado de IEA (2016)

Ainda, os poluentes atmosféricos podem ser classificados quanto ao estado físico e quanto à composição química. Em relação ao estado físico, eles podem apresentar-se como gases, que não possuem forma nem volume definidos, como é o caso do CO, SO_x e O₃, por exemplo, ou como partículas, que correspondem a materiais sólidos ou líquidos que se manifestam em forma de poeira e fumaça fuligem, dentre outros, como, por exemplo, o material particulado. Já a composição química pode ser dividida em orgânicos, aqueles que possuem carbono e hidrogênio em sua estrutura, como, por exemplo, o CH₄ e CFC, ou inorgânicos, cuja composição não possui carbono ligado a hidrogênio, como o NO_x e O₃, por exemplo. (D'AGOSTO, 2015).

A poluição atmosférica manifesta impactos desfavoráveis à saúde humana, aos seres vivos (fauna e flora) bem como aos bens materiais (D'AGOSTO, 2015). O MMA (2019), assim como EEA (2014) e D'Agosto (2015) considera que, de modo geral, os impactos à saúde humana relacionam-se a doenças respiratórias e seu agravamento, doenças pulmonares e cardiovasculares, reações alérgicas, fadiga, irritação nos olhos, nariz, garganta e redução da expectativa de vida. Em relação aos impactos desfavoráveis à fauna e flora, o MMA (2019), EEA (2014) e (UNEP, 2014), citam, dentre outros, a

produção da chuva ácida a partir da reação do SO_2 e NO_2 com a água na atmosfera, a formação de *smog* fotoquímico, a transformação do CO em CO_2 na atmosfera contribuindo para o efeito estufa, a perda de rendimento agrícola a partir da redução da capacidade das plantas em realizar a fotossíntese e o risco dos animais contraírem doenças, semelhantes as dos seres humanos. No caso dos bens materiais, pode-se notar a corrosão de metais, deterioração acelerada das edificações, pinturas e revestimentos externos (EEA, 2014; D'Agosto, 2015) impulsionado pela chuva ácida (Freedman, 1995) e o ressecamento de borrachas, em decorrência da ação do ozônio atmosférico que as tornam quebradiças (D'AGOSTO, 2015). A Figura 2 evidencia os poluentes atmosféricos e seus principais impactos.

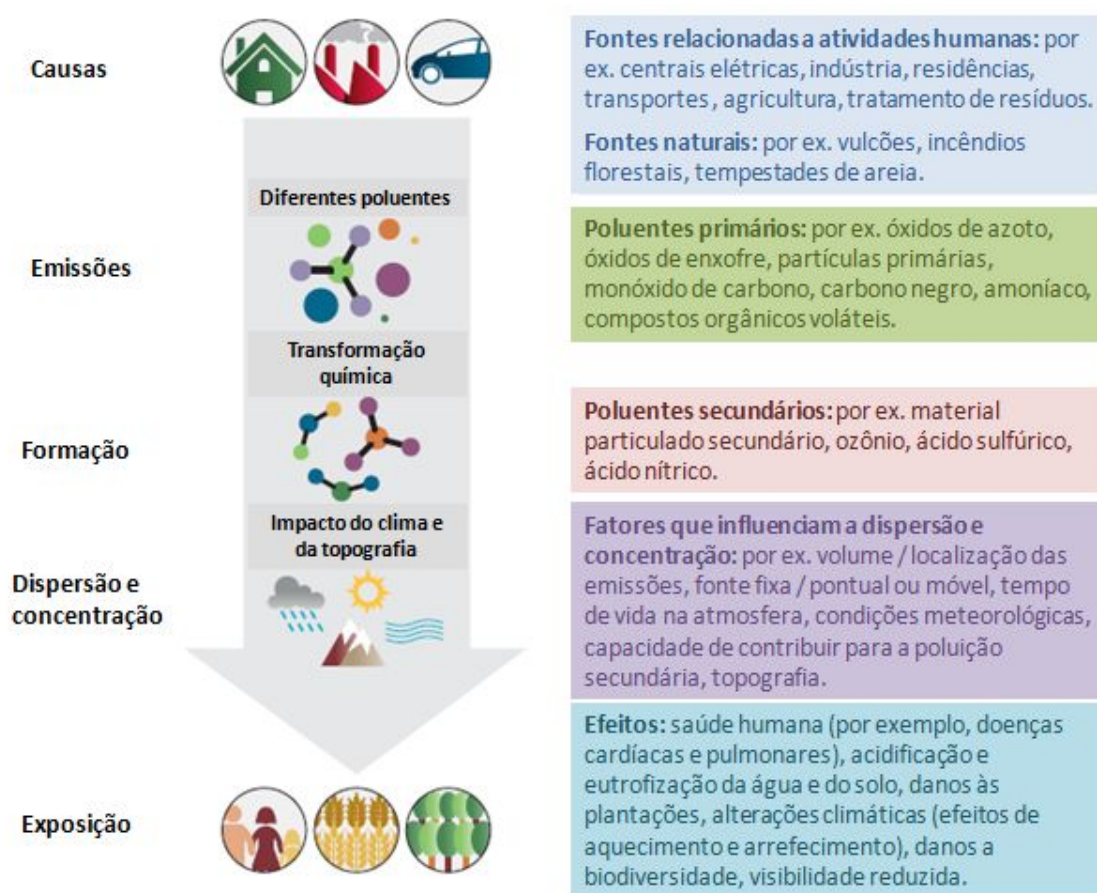


Figura 2. Poluição do ar: de fontes para impactos.
Fonte: Adaptado de IEA (2016).

No Brasil, de acordo com MMA (2019), a gestão da qualidade do ar e poluentes atmosféricos fica a cargo da Gerência da Qualidade do Ar (GQA), sendo esta vinculada ao Departamento de Qualidade Ambiental na Indústria, na esfera do Governo Federal,

criada com a finalidade de elaborar políticas e executar ações relevantes com o objetivo de proporcionar preservação e aperfeiçoamento da qualidade do ar. No Brasil, os parâmetros de qualidade do ar são determinados pela Resolução Conama nº 491/2018, cujos valores limites seguem os sugeridos pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

Em São Paulo, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) realiza o monitoramento do comportamento dos poluentes atmosféricos na região metropolitana bem como em algumas cidades no interior do estado.

2.2.3. Uso de energia

Em relação ao uso de energia predial, Fichtinger (2015) salienta que a utilização da mesma estará sujeita ao tamanho do edifício bem como suas características de construção, que determinarão a necessidade de iluminação, aquecimento, resfriamento e ventilação. Complementa que no processo de ventilação pode ocorrer desperdício de energia em virtude da perda de calor. Marchant (2010) e Amjed e Harrison (2013) ponderam que o consumo de energia poderá aumentar ou diminuir a partir da rotina operacional, ou seja, número de dias e horas trabalhadas.

Amjed e Harrison (2013) e D'Agosto e Oliveira (2018) destacam que as principais energias utilizadas para o aquecimento do armazém, quando necessário, são o óleo combustível, o GLP (gás liquefeito de petróleo e o gás natural (GN), sendo todos de origem fóssil, emitindo gases de efeito estufa (GEE) e poluentes atmosféricos a partir da queima desses combustíveis; e, em caso de refrigeração, a energia mais utilizada é a eletricidade. Marchant (2010), D'Agosto e Oliveira (2018) ressaltam que a temperatura do armazém será definida de acordo com sua dimensão, temperatura necessária à conservação do produto bem como o conforto térmico necessário para a realização das atividades pelos colaboradores, salientando que o ambiente externo exerce influência na conservação da temperatura alcançada. Por fim, os autores comentam a respeito da iluminação dos armazéns, evidenciando que a principal fonte utilizada é a eletricidade, que pode ser concebida por fontes renováveis ou por meio de combustão de carvão, óleo combustível ou gás natural, produzindo dióxido de carbono, acarretando em prejuízo para o meio ambiente.

Além da estrutura física, também ocorre o emprego da energia na utilização dos equipamentos aplicados a movimentação de materiais. De modo geral, podem ser classificados em relação ao seu acionamento. Os mais comuns são elétricos ou movidos por combustíveis fósseis tais como GLP (gás liquefeito de petróleo), gasolina ou diesel (FERREIRA, 1998; JOHNSON, 2008; Ene *et al.*, 2016; RIES 2016) e gás natural comprimido (GNC) (AMJED e HARRISON, 2013).

Equipamentos elétricos são utilizados em armazéns convencionais com operações tipicamente internas (JOHNSON, 2008; ENE *et al.*, 2016; RIES 2016). Os equipamentos movidos a GLP possuem um custo de manutenção e operação inferior quando comparado aqueles que utilizam outros combustíveis. Além disso, apresentam a possibilidade de serem utilizados em ambientes fechados cuja ventilação seja moderada. Também apresentam boa capacidade de carga e grande versatilidade em sua aplicação (FERREIRA, 1998).

Os equipamentos movidos a gasolina e diéséis apresentam boa capacidade de carga, autonomia energética e flexibilidade. São destinados a serviços mais pesados, com maior capacidade de carga, como por exemplo, aqueles que são realizados em portos e minas. Em contrapartida, seu uso é restrito a ambientes abertos em decorrência da grande quantidade de monóxido de carbono (CO) que é liberado (FERREIRA, 1998; JOHNSON, 2008; RIES, 2016).

Com a restrição de combustíveis apropriados para a operação interna de armazéns, a concorrência energética se dá entre equipamentos elétricos e movidos à GLP (JOHNSON, 2008; ENE *et al.*, 2016; RIES 2016). A Tabela 5 mostra as diferentes fontes de energia, o processo produtivo usual e a classificação do recurso entre renovável e não renovável.

Em 2009 a Toyota apresentou ao mercado empilhadeiras híbridas diesel-elétricas. Esses equipamentos atuam com a mesma capacidade das tradicionais movidas a diesel e prometem reduzir o consumo de combustível em 50% bem como as emissões em 45% (TOYOTA, 2009). MacLeod (2008) cita o surgimento de empilhadeiras movidas à biodiesel e pilhas a combustível como alternativas menos poluentes.

Tabela 5. Fontes de Energia.

Fonte: Adaptado de D'Agosto (2015).

Fonte de energia	Processos de produção usual	Tipo do recurso
Gasolina	Refino de petróleo	Não renovável
Óleo diesel		
Eletricidade	Geração hidrelétrica	Renovável
	Geração termelétrica	Não renovável
Gás liquefeito de petróleo (GLP)	Refino de petróleo, processo petroquímico, separação e/ou síntese a partir do gás natural.	Não renovável
Gás natural (GN)	Purificação, desumidificação e compressão (gás natural comprimido – GNC) ou resfriamento (gás natural liquefeito – GNL)	Não renovável

Dentre os equipamentos de manuseio de materiais, a empilhadeira elétrica é uma das mais populares e apresentam algumas vantagens ambientais uma vez que não emitem qualquer tipo de gás oriundo da queima de combustíveis em seu uso final, como por exemplo, o monóxido de carbono, proporcionando uma melhor qualidade do ar interno do armazém (Richards e Riding, 2015) e o dióxido de carbono, principal gás de efeito estufa.

No caso de atividades externas que necessitam de alto desempenho e nível de energia, as empilhadeiras a diesel ou a GLP são mais apropriadas quando comparadas às elétricas, porém, geram emissões de gases poluentes atmosféricos e gases de efeito estufa (BAKER e MARCHANT, 2015).

2.2.4. Uso e ocupação do solo, poluição sonora, consumo de água e geração de resíduos

Quando são abordados os impactos gerados a partir da operação de armazéns é dado destaque à utilização da energia em decorrência de sua ampla utilização, seja na necessidade predial de iluminação, aquecimento, resfriamento e ventilação, ou na utilização de equipamentos. Isso é explicado tendo em vista as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e poluentes atmosféricos, ocasionando um impacto ambiental negativo, quando da utilização de combustíveis fósseis.

No entanto, é importante considerar os demais impactos ambientais consequente da utilização de recursos que suportam a operação. D'Agosto e Oliveira (2018) evidenciam o uso e ocupação do solo, consumo de água, geração de resíduos e emissão de ruídos e vibrações.

O uso e a ocupação do solo referem-se à escolha do local no qual será instalado o armazém. D'Agosto e Oliveira (2018) destacam o impacto ao meio ambiente físico, biótico e antrópico. Amjed e Harrison (2013) salientam que muitos armazéns são instalados próximos aos centros urbanos, contribuindo para a potencialização do congestionamento, geração de resíduos, poluição sonora, acidentes e emissões de GEE e poluentes atmosféricos, fato que afeta não só a empresa, mas abrangendo a sociedade e o ambiente local. Em concordância, Marchant (2010) cita o aumento do tráfego de caminhões no entorno do armazém e congestionamentos e lembra que essa situação exerce uma pressão para que o espaço do armazém seja aumentado, dado a necessidade de infraestrutura rodoviária e estacionamentos. De modo geral a poluição sonora é associada ao transporte e gestão de frota, mas no tocante ao armazém, é referente ao tipo de operação e construção do prédio (AMJED e HARRISON, 2013).

McKinnon (1998) declara que a área ocupada pela armazenagem sofreu um significativo crescimento em sua capacidade cúbica como consequência da centralização de estoques e expansão geográfica das áreas de atendimento. Em busca da agilidade e facilidade na atividade de transbordo de pedidos, esses depósitos localizam-se na proximidade dos centros urbanos e, como resultado, ocorre o agrupamento de armazéns ao longo de suas principais vias, tornando o que anteriormente eram campos verdes em prédios cinzentos (HESSE, 2004; MARCHANT, 2010).

Em relação ao uso de água, Amjed e Harrison (2013), afirmam que não estão disponíveis os dados globais referentes ao consumo de água decorrentes da instalação de armazéns. Os autores apresentam um estudo realizado pelo Distrito Regional da Grande Vancouver (GVRD), datado de 2012, onde informam que o consumo de água de instalações de atacado e armazenamento naquela região foi de aproximadamente 10% da água comercial, sendo 26% empregado no lavabo, 38% no paisagismo, 3% na cozinha, 23% na refrigeração e 10% em outras atividades. D'Agosto e Oliveira (2018) informam que tal consumo de água pode ser reduzido a partir da aplicação de algumas medidas que serão discutidas na próxima seção.

Por fim, após o término da vida útil de um determinado produto, é gerado um resíduo que pode ser eliminado ou reciclado (TSOULFAS e PAPPIS, 2006). Em um

armazém, geração de resíduos provém das embalagens empregadas nos produtos, sendo os principais papelão e plástico, e da utilização dos equipamentos de movimentação empregados na operação, que fazem uso de pneus, peças de plástico aplicado ao equipamento, peças de metal, borrachas, óleos lubrificantes e graxas. Tais resíduos, que podem ser sólidos ou líquidos, são capazes de causar dano à saúde humana, animal e ao meio ambiente (D'AGOSTO e OLIVEIRA, 2018).

Por meio do levantamento realizado, é possível observar os diferentes tipos de armazém, assim como as atividades desenvolvidas e os equipamentos empregados na operação. Também são notórios os diferentes impactos ambientais ocasionados a partir das atividades de armazenagem. No Capítulo seguinte serão apresentadas boas práticas que, quando aplicadas, possibilitam a mitigação de tais impactos, aprimorando a sustentabilidade ambiental do armazém.

3. ESTABELECIMENTO DAS BOAS PRÁTICAS PARA APRIMORAR A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DA ARMAZENAGEM (ARMAZÉM VERDE)

De acordo com McKinnon *et al.* (2013), na década de 80 as empresas buscavam estabelecer iniciativas ambientais em decorrência da imposição do governo ou atos públicos. As estratégias ambientais tornaram-se mais comuns a posteriori, a partir da preocupação e consequente avaliação dos impactos ambientais gerados pela organização.

A gestão de atividades logísticas ambientalmente sustentáveis passou a ser vista como estratégica, proporcionando uma maior vantagem competitiva frente aos concorrentes (SARKIS, 2003). Associadas as pressões sociais e políticas, muitas empresas notaram que é possível obter economias financeiras consideráveis a partir da utilização sustentável de recursos (PLAMBECK, 2012).

Com isso, é visto o surgimento da Logística Verde como aquela que se preocupa não apenas com as atividades fim, mas também com os aspectos ambientais e consequentes impactos decorrentes da atividade logística (DONATO, 2008). Li, Zhou, Qin (2007) afirmam que a logística verde tem o propósito de preservar o ambiente reduzindo a utilização de recursos, promovendo uma economia sustentável e ecologicamente harmoniosa com as atividades produtivas. Ainda, os autores a definem como sendo um conceito recente (pós década de 1990) cujo entendimento da base conceitual não é unânime entre os estudiosos no mundo.

A logística verde relaciona-se com a programação, controle, administração e realização da logística por meio da utilização de tecnologias de ponta referentes à logística e gestão ambiental, objetivando diminuir a emissão de poluentes a partir de um melhor aproveitamento de recursos, reduzindo seu consumo bem como o seu desperdício (CHANG E QIN, 2009; ZHAO *et al.*, 2009; QAISER *et al.*, 2017).

Sendo assim esse trabalho compreende a logística verde como um meio que envolve atos da organização cujo objetivo consiste em exercer as atividades logísticas de modo ambientalmente amigável, que seja capaz de mitigar os impactos ecológicos acarretados por tais atividades, para que seja garantido o uso eficaz de energia,

associado à proteção e manutenção dos recursos naturais, destinação adequada dos resíduos bem como a redução na geração dos mesmos, aumento da produtividade e competitividade organizacional (KUTKAITIS e ZUPERKIENÉ, 2011). Para isso, entende-se a necessidade de toda a cadeia logística ser “verde”, como mostra a Figura 3.

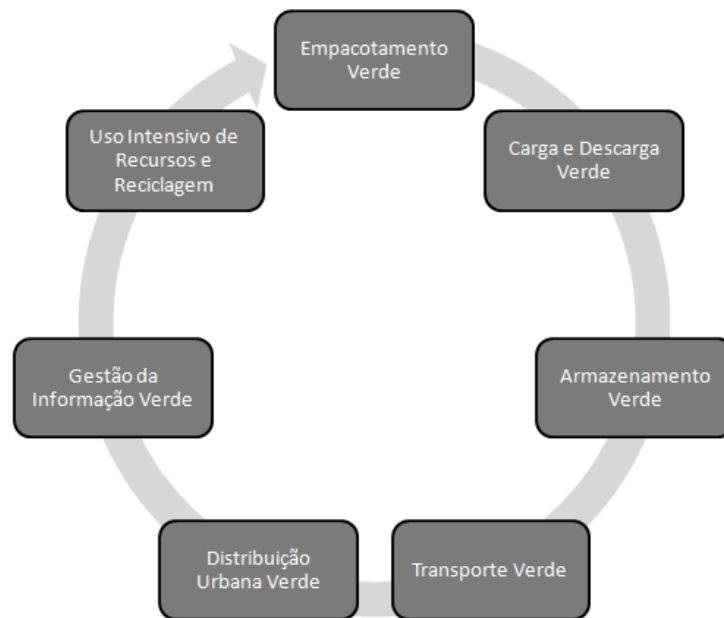


Figura 3. Os elementos que integram a Logística Verde.

Fonte: Citado por Santos *et al.* (2015), adaptado de Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente Gobierno de España, 2008, *apud* Mora; Campuzano, 2013.

Destacando o armazenamento, Zuchowski (2015) entende como armazém sustentável aquele que utiliza ferramentas e tecnologias com o intuito de realizar eficientemente os processos de armazenagem, atendendo aos elevados padrões sociais definidos, exercendo o menor impacto ambiental possível, produzindo um efeito positivo no aspecto financeiro, ou seja, o armazém sustentável é aquele que busca o equilíbrio entre as perspectivas econômicas, sociais e ambientais. Shrivastava (1995) argumenta que as tecnologias a serem empregadas estão relacionadas aos equipamentos, critérios e projetos para elaboração de procedimentos que promovam a conservação dos recursos ambientais e proporcione uma melhoria e/ou redução das atividades humanas.

Para que se desenvolva um armazém sustentável é importante alterar a fonte de energia, para que seja utilizada energia renovável. No entanto, a escolha e adequação dessas fontes em um armazém necessitam de uma ampla avaliação de fatores operacionais, custos e ambientais (MARCHANT, 2010).

Tan *et al.* (2009) defendem a aplicabilidade de fundamentos de sustentabilidade no âmbito da armazenagem e gerenciamento da distribuição, desenvolvendo um modelo de sustentabilidade a partir da transformação de um armazém real ou da criação de um armazém já adaptado. A argumentação é pautada no fato da sustentabilidade ser um valor primordial para diversas empresas, porém, difícil de efetivar nas organizações principalmente quando o gerenciamento da armazenagem e distribuição é de terceiros.

Zuchowski (2015) salienta que a implantação de soluções sustentáveis, pela perspectiva ambiental, para a gestão do armazém, tais como redução do consumo de energia, ou ainda, a utilização de fontes alternativas, diminui a emissão de gases de efeito estufa e o consumo de recursos não renováveis, fato que, em longo prazo, leva a um armazém verde.

A US Environmental Protection Agency, citada por Zuchowisk (2015), considera que para um armazém ser considerado verde é necessário cumprir algumas prerrogativas com o objetivo de impactar positivamente ambiente natural, a partir do emprego de tecnologias que proporcionem a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e poluentes atmosféricos, minimizando a utilização de recursos tais como energia e água e buscando fontes alternativas.

Logo, para este trabalho, será definido como armazém verde aquele cuja gestão e operação sejam ambientalmente sustentáveis, objetivando a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e de poluentes atmosféricos assim como a correta utilização dos recursos naturais e destinação de resíduos.

Quando é considerada a gestão de um armazém verde, muitas empresas focam no uso eficiente e econômico de energia empregada na movimentação de materiais, convencionalmente derivada de combustíveis fósseis, além da regulação de temperatura e luz e uso consciente da água (MCKINNON *et al.*, 2010).

Dhooma e Baker (2012) apresentam um estudo contemplando quatro centros de distribuição e concluem que os equipamentos de manuseio de materiais compreendem aproximadamente 30% do volume de energia empregada em um armazém

(FICHTINGER, 2015).

Johnson (2008) aborda as emissões de carbono no âmbito dos equipamentos de manuseio de materiais utilizados dentro do armazém, concluindo que as informações a respeito das emissões de carbono e consumo de energia nas operações de armazém são insuficientes. Complementa que na prática, as empresas avaliam as opções de equipamentos por meio das informações de custo do equipamento, combustível e manutenção, ao invés da avaliação da emissão de gases de efeito estufa.

Obter tecnologias mais ecológicas com o intuito de tornar os processos de armazenagem mais eficientes possibilitaria uma redução da emissão de carbono na cadeia de abastecimento. Tais investimentos tecnológicos são considerados estratégicos, sendo visto pela empresa como alternativas para estabelecer uma vantagem competitiva (SARKIS, 2003).

Ultimamente, a evolução da tecnologia verde e limpa tem impulsionado diversas empresas a adotarem rotinas verdes em suas atividades (WIESENTHAL *et al.*, 2012). Em contrapartida, o custo associado à tecnologia estabelece uma barreira para sua utilização, fazendo com que as empresas busquem alternativas que possibilitem o equilíbrio entre fatores econômicos e ambientais, além de proporcionar um rápido retorno do investimento, sendo esse o real interesse em tornar verde sua cadeia de suprimentos (WANG, 2015). Neste sentido, Chen *et al.*, (2016) defende que as organizações utilizariam as estratégias verdes caso os investimentos fossem mais acessíveis.

McKinnon *et al.*, (2010) comentam que os esforços para a diminuição da demanda de energia têm sido pautados na admissão de tecnologias que utilizem menos energia e insumos, otimizando o controle operacional nos equipamentos necessários a operação. Afirmam que este seja o primeiro passo. Entretanto, para alcançar um armazém verde é necessário ser mais ativo em relação à redução de emissões e utilização de fontes renováveis de energia.

Na Tabela 6 pode-se notar uma série de estratégias verdes, descritas em vinte e sete boas práticas a serem aplicadas na gestão e operação do armazém a fim de torná-lo

um armazém verde. Elas estão dispostas em doze grupos conforme a compatibilidade de suas aplicações.

Tabela 6. Boas práticas para tornar-se um Armazém Verde.
 Fonte: Elaborado pela autora

Grupo	Boas práticas identificadas	Autores						
		Marchant (2010)	McKinnon (2010)	Amjed e Harrison (2013)	Xia e Wang (2013)	Zachowisk (2015)	Oliveira e D'Agosto (2017)	D'Agosto e Oliveira (2018)
I	1. Situar o armazém em área industrial ou afastada do centro urbano.							X
	2. Minimizar a poluição sonora usando tecnologias de redução de ruído.			X				
II	3. Reduzir o consumo de energia.	X		X		X		X
	4. Maximizar o uso da luz solar.	X		X				X
	5. Gerenciar com eficiência a iluminação artificial no depósito.	X		X				
	6. Manter a temperatura do armazém em um nível que exija menor quantidade de energia.	X		X				X
	7. Usar fontes de energia renováveis, ou mais limpas, para executar operações de armazém.	X		X		X	X	
III	8. Utilizar sistemas de propulsão alternativos ou que façam uso de fonte de energia menos poluente.			X			X	
	9. Reduzir as emissões de GEE e poluentes atmosféricos decorrentes da movimentação de materiais.					X		
IV	10. Renovação e modernização da frota.						X	
V	11. Planejar manutenção preventiva, diária, semanal e mensal dos equipamentos.			X			X	
VI	12. Utilização de pneus de baixa resistência ao rolamento.						X	
VII	13. Reduzir o consumo de água			X		X		X
	14. Conservar a água por meio da aplicação de técnicas de gestão de água.			X				X
VIII	15. Reduzir a geração de resíduos sólidos e líquidos	X	X	X	X			X
	16. Estabelecer uma instalação de reciclagem no local para minimizar a produção de resíduos.		X	X	X			
IX	17. Otimizar as rotas.						X	
	18. Usar layout de armazém que minimize a distância de deslocamento para operações diárias.			X				
	19. Projetar corredores de forma que viagens desperdiçadas e congestionamentos sejam minimizados.			X				
X	20. Usar o <i>cross-docking</i> para melhorar a eficiência operacional e o tempo de resposta do cliente.			X	X			
XI	21. Utilizar sistemas de informação para rastreamento e acompanhamento da frota.						X	
	22. Implementar um WMS confiável para medição de desempenho.			X				
	23. Criar uma estratégia de armazenagem usando o WMS para melhorar o desempenho de sustentabilidade.			X				
	24. Usar sistema de armazenamento e estratégia que otimize as operações do armazém.			X				
XII	25. Treinar os motoristas.						X	
	26. Garantir treinamento técnico e de habilidades técnicas para todos os funcionários do armazém.			X				
	27. Treinar os operadores para uma condução segura e eficiente em termos de combustível.			X				

O primeiro grupo de boas práticas está relacionado ao uso do solo. Com o objetivo de mitigar os impactos socioambientais proporcionados pelo armazém, D'Agosto e Oliveira (2018) afirmam que os armazéns devem ser situados, preferivelmente, em áreas industriais da cidade ou ainda em lugares mais afastados, isolados do centro urbano, devendo-se evitar locais próximos a residências, escolas, hospitais, dentre outros. Amjed e Harrison (2013) destacam que a utilização de telhados que possuam a propriedade de mitigar a transmissão do ruído e painéis fotovoltaicos para a geração de energia, que são mais silenciosos, auxilia na redução de ruídos. A poluição sonora também ocorre por meio do tipo de equipamento utilizado. Essa visão será abordada na discussão do quarto grupo.

O segundo grupo concerne ao uso de energia. D'Agosto e Oliveira (2018) versam que a redução do consumo de energia pode ser alcançada por meio de algumas estratégias. A primeira delas está relacionada ao projeto de refrigeração, que deve ser adequado ao número de colaboradores, volume de carga, o tipo de construção e suas dimensões, ventilação natural recebida pelo armazém, posição em relação ao sol e o ganho de temperatura ocasionado pela operação de equipamentos e iluminação utilizada. Citando Carbon Trust (2002), os autores enumeram outros procedimentos, tais como manter as portas fechadas, abrindo apenas durante a atividade dos veículos para impedir que o ar refrigerado ou aquecido dissipe; dividir as áreas considerando as atividades desempenhadas, separando a área de entrada e de expedição dos demais; utilização de termostato com o intuito de manter a temperatura constante e incorporar barreiras físicas em áreas de operação de empilhadeiras.

Sobre a redução do consumo de energia destinada à iluminação, D'Agosto e Oliveira (2018) citam a limpeza das luminárias, uso de telhas translúcidas no telhado, utilização de luz natural e utilização de lâmpadas adequadas, considerando o tempo de uso, não sua falha. A esse respeito, Marchant (2010) reforça essa importância tendo em vista que o acúmulo de poeira, em dois anos, reduz em 50% o poder de luminescência fazendo com que os custos operacionais cresçam em aproximadamente 15% e, assim como D'Agosto e Oliveira (2018) salienta a necessidade de efetivar a troca das lâmpadas a partir do tempo médio de uso. A escolha do tipo de lâmpada e do mecanismo de ligar e desligar as luzes deve receber a mesma atenção, pois auxiliam na redução do consumo (MARCHANT, 2010).

Ainda referente à diminuição do consumo de energia, a estratégia sugerida por Amjed e Harrison (2013) diz respeito ao aproveitamento da iluminação natural por meio da instalação de janelas favoráveis a obtenção da luz do dia e espaços no telhado. Também observam que as cores utilizadas nas paredes e teto, quando claras, proporcionam o aumento da luminosidade. Quando combinada a luz natural e artificial, Amjed e Harrison (2013) salientam a importância do equilíbrio, com o objetivo de proporcionar um ambiente produtivo e confortável para os colaboradores, atendendo as diferentes necessidades de cada seção do armazém. A respeito da iluminação artificial, os autores sugerem a instalação de sensores de presença e luminárias com lâmpadas mais eficientes.

Sobre as fontes renováveis de energia, Marchant (2010), Amjed e Harrison (2013) e Oliveira e D'Agosto (2017) citam que os insumos energéticos básicos são petróleo, gás, carvão e eletricidade a partir de usinas hidrelétricas e termoeletricas, sendo que todos emitem gases de efeito estufa (GEE) e poluentes atmosféricos, com exceção da eletricidade gerada pelas usinas hidrelétricas. Salientam que algumas alternativas poderiam ser utilizadas, buscando fontes energéticas renováveis ou de baixo carbono como é o caso da energia solar fotovoltaica, energia solar térmica, recuperação da energia residual do processo como calor, energia cinética recuperada, energia eólica, biocombustíveis, biomassa e hidrogênio, além do biodiesel e gás natural que são fontes menos poluentes. Zuchowisk (2015) considera que a partir da atenuação do consumo de energia derivada de combustível fóssil, ou ainda, substituindo-a por uma energia renovável, adquire-se um benefício ambiental por meio da redução das emissões de GEE e poluentes atmosféricos.

A prática de adotar fontes de energias mais limpas em um armazém também passa pela substituição dos equipamentos convencionais por aqueles que utilizem fontes alternativas de energia, assunto que será discutido no terceiro grupo de boas práticas.

D'Agosto e Oliveira (2018) destacam que o incentivo para a aplicação de energia limpa nos armazéns poderia ser aumentado caso houvesse regulamentação no mercado e mencionam o caso europeu em que ocorre a premiação de prédios sustentáveis a partir dos recursos utilizados em relação à energia, água, uso do solo, reciclagem de materiais e os materiais empregados na construção.

Marchant (2010) adverte que a fonte de energia a ser utilizada deve ser definida com cautela, observando o custo operacional, fatores de mercado e regulamentações pertinentes.

Bifa (2015) afirma que apesar de ser possível minimizar as emissões de GEE e poluentes atmosféricos, não é possível extingui-las. Salienta que nessa situação deve ser considerada a compensação de carbono após a análise das demais alternativas para reduzir ou evitar tais emissões, tendo em vista ser o último nível de gerenciamento de energia. Nesse sentido, Tan *et al.* (2009) ponderam que a compensação de carbono pode ocorrer por meio do plantio de árvores ou da compra de créditos de carbono, além da utilização de uma energia menos poluente. No entanto, salientam que a compra de créditos de carbono é uma solução imediata enquanto o plantio de arvores, embora seja mais econômico, é de longo prazo em virtude do tempo necessário para que as árvores tornem-se capazes de absorver o carbono.

Os grupos três e quatro podem ser tratados em conjunto e dizem respeito ao emprego de energia alternativa nos equipamentos de movimentação de materiais. Essa boa prática constitui-se no uso de veículos com sistema de propulsão alternativo, ou seja, diferente do usual que utiliza combustíveis fósseis, sendo híbrida ou elétrica. O maior benefício dessa prática é a redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE) e poluentes atmosféricos (OLIVEIRA e D'AGOSTO, 2017). Amjed e Harrison (2013) comentam que a seleção de empilhadeiras no que tange a energia utilizada, é dentre aquelas cujo motor é de combustão interna ou as que utilizam baterias, que podem ser de chumbo ácido ou de hidreto metálico de níquel. Concluem que a redução do consumo de combustíveis fósseis é um aspecto importante a ser considerado dado seu impacto no meio ambiente a partir das emissões de GEE.

Já a renovação e modernização da frota estão associadas à mudança da frota de veículos, podendo ser realizado parcial ou integralmente. Esses veículos devem estar condizentes com sua vida útil para que a capacidade de operação seja garantida. A utilização dos equipamentos novos, a partir da inovação tecnológica, proporciona redução de custo operacional, consumo de energia, emissão de gases de efeito estufa (GEE), emissão de poluentes atmosféricos, além de mitigar a ocorrência de acidentes (OLIVEIRA e D'AGOSTO, 2017). Para o armazém, essas práticas consistem na

substituição dos equipamentos de movimentação de cargas utilizados. A tecnologia aplicada auxilia não só na redução de consumo de energia e emissão de GEE, mas também tornam o equipamento menos ruidoso, como é o caso das empilhadeiras elétricas.

Da mesma forma, os grupos cinco e seis estão interligados. Manutenção preventiva dos veículos representa a elaboração de um plano de manutenção com a finalidade de reduzir problemas mecânicos como quebras, avarias, excesso de consumo de energia e conseqüente maior emissão de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos (OLIVEIRA e D'AGOSTO, 2017). Os equipamentos de movimentação possuem em seus manuais a indicação do fabricante para tais intervenções. Amjed e Harrison (2013) afirmam que as vantagens adquiridas a partir de novos projetos e diferentes fontes de energia são perdidas em decorrência da ausência ou má manutenção dos equipamentos, que podem possuir pequenos problemas técnicos que não são notados, comprometendo seu desempenho e eficiência. Por esse motivo torna-se tão importante as averiguações diárias ou semanais bem como o estabelecimento e execução do cronograma de manutenção do equipamento de acordo com as instruções do fabricante, para que seja mitigando problemas como vazamento de combustível, desalinhamentos, fricções exacerbadas, má condição dos pneus, dentre outros.

Embora a utilização de pneus de baixa resistência ao rolamento não esteja diretamente relacionado à manutenção dos equipamentos, eles devem ser considerados uma vez que, de acordo com Oliveira e D'Agosto (2017) a alteração dos pneus usualmente utilizados por pneus especiais, dotados da capacidade de conter a resistência dos pneus, aumentando o rolamento dos mesmos, oportunizam um menor consumo de energia direcionada ao deslocamento do veículo. Tratando-se de veículos convencionais, que utilizam combustíveis fósseis, tal prática permite a redução de consumo de combustível e conseqüentemente a emissão de gases de efeito estufa (GEE) e poluentes atmosféricos. Em 2006, o governo britânico, por meio do Departamento de Transportes (DfT) relatou que a má condição em 20% dos pneus reduz em 2% a eficiência de combustível e aumenta em 10% a resistência ao rolamento. Além disso, Buckley (2006) apresenta uma estimativa de que o desalinhamento dos pneus aumenta o consumo de combustível em 8%.

O sétimo grupo trata da redução do consumo de água no armazém. Para isso, D'Agosto e Oliveira (2018) sugerem a realização de campanhas de conscientização, reutilização da água da chuva direcionada à utilização nos vasos sanitários, sistemas contra incêndio e lavagem de veículos. Afirmam ainda que, quando necessário e possível, devem-se instalar sistemas de tratamento de efluentes, além do tratamento diferenciado quando se for indispensável a separação de água e óleo decorrentes dos postos de lavagem dos equipamentos e veículos empregados na operação. Amjed e Harrison (2013) afirmam que uma das formas para reduzir o consumo de água seria o aproveitamento da água da chuva, que pode ser destinada ao resfriamento dos compressores e caldeiras a vapor.

O grupo oito aborda a geração de resíduos sólidos e líquidos. D'Agosto e Oliveira (2018) defendem a sua redução em virtude do prejuízo causado à saúde humana, fauna, flora e meio ambiente. Zuchowski (2015) complementa mencionando que a diminuição dos resíduos gerados auxilia na minimização da emissão de GEE e poluentes atmosféricos.

Amjed e Harrison (2013) evidenciam a importância da utilização da reciclagem como uma forma de reduzir o impacto dos resíduos gerados. McKinnon *et al.* (2010) e Xia e Wang (2013) defendem a instalação de postos de reciclagem de materiais, produtos e embalagens nos armazéns com o objetivo de reduzir a geração e destinação de resíduos.

Em relação aos materiais que não podem ser reciclados, Xia e Wang (2013) sugerem a contratação de empresas especializadas na gestão e tratamento dos resíduos a fim de promover a destinação correta desses materiais.

O nono grupo de boas práticas está relacionado à disposição física do armazém. A otimização de rotas reside na adesão de metodologias que auxiliem a elaboração das rotas, otimizando-as, de modo a reduzir o itinerário ou o número de viagens (OLIVEIRA e D'AGOSTO, 2017). No caso do armazém, para que essa prática fosse possível de ser aplicada seria necessário um planejamento de *layout* e localização de itens, bem como a localização dos equipamentos de movimentação, de modo que o deslocamento dos mesmos fosse o menor possível.

Compartilhando do mesmo entendimento, Amjed e Harrison (2013) complementam que o objetivo do layout é otimizar o deslocamento a partir da redução das distâncias e melhor aproveitamento do espaço, obtendo melhores resultados nas respostas aos pedidos dos clientes e segurança da operação. Habitualmente, os armazéns são retangulares com corredores retos e paralelos, ligando a área de armazenamento e separação de pedidos. Afirmam ainda que é importante compreender que a escolha do layout está relacionada a outras decisões, tais como estratégia operacional, largura de corredores e a seleção dos equipamentos empregados na operação. Já os corredores planejados proporcionam redução de viagens perdidas e congestionamentos, minimizando o risco de acidente. Eles devem ser seguros, produtivos, flexíveis e principalmente, adequados ao equipamento utilizado. Tal planejamento está relacionado à orientação do corredor, suas dimensões, localização e número de identificação (HASSAN, 2002; AMJED e HARRISON, 2013). Além disso, outras pesquisas apresentam layouts modernos capazes de reduzir cerca de 10 a 20% de deslocamento quando comparado aos modelos tradicionais (MELLER e GUE, 2009).

Sobre o décimo grupo, Amjed e Harrison (2013) e Xia e Wang (2013) afirmam que o *cross-docking* tem se tornado uma tendência no armazenamento em decorrência da redução de custos obtida bem como o alcance de eficiência na operação, uma vez que as mercadorias não são armazenadas, sendo recebidas, separadas e encaminhadas para o cliente. A sustentabilidade ambiental é alcançada a partir da redução dos movimentos dentro do armazém, uma vez que não há necessidade da movimentação dos materiais para guarda nas prateleiras e também pela redução do uso do solo, tendo em vista a otimização do espaço do armazém em virtude de não realizar o armazenamento dos materiais.

Os sistemas de gerenciamento estão contemplados no décimo primeiro grupo. Oliveira e D'Agosto (2017) citam, dentre outros sistemas, Sistema de Posicionamento Global e Sistema de Telemetria, com o intuito de proporcionar o monitoramento da frota em tempo real, além da segurança patrimonial e tráfego. Também proporciona um suporte operacional, obtendo dados da operação como horas trabalhadas e paradas, troca de pneus, manutenção, dentre outros itens que promovem segurança, economia de energia e produtividade. Tais sistemas auxiliam a otimização operacional e

monitoramento dos equipamentos proporcionando a melhor da utilização dos mesmos e principalmente redução da ociosidade.

Amjed e Harrison (2013) complementam citando o sistema de gerenciamento de armazém (WMS). Eles acreditam que tal sistema é indispensável quando se trata de um armazém sustentável, pois a partir dele é possível estabelecer estratégias de modo a atingir a melhoria contínua por meio da redução de gargalos, acompanhamento do desempenho, estabelecimento de metas, dentre outros. Em relação ao acompanhamento do desempenho, alguns exemplos de indicadores (KPI's) são: atendimento de pedidos, gerenciamento de estoque, produtividade, consumo de combustível, emissões e treinamentos. Essas funcionalidades são alcançadas porque todas as movimentações do armazém como movimentação e recebimento de mercadorias, estocagem, *picking* e expedição são controladas pelo WMS. Palevich (2011) salienta que o sistema suporta toda a gestão do armazém, não apenas os processos internos, afirmando que todas as transações são realizadas simultaneamente e em tempo real.

Por fim, o décimo segundo e último grupo diz respeito à qualificação dos profissionais envolvidos. O treinamento dos colaboradores é relevante, pois promove a conscientização dos objetivos da e expectativas da organização. Existem diferentes treinamentos, alguns deles são: manuseio de materiais, manipulação de substâncias perigosas, operações de armazém, auditoria de equipamentos, operação de armazéns e utilização de equipamentos contra incêndio. Normalmente são realizados na fase inicial, na formação da equipe. Entretanto a instrução periódica desses profissionais assegura uma operação mais segura e eficiente, além de estimulá-los a realizar as verificações diárias dos equipamentos (Amjed e Harrison, 2013). Para que esse objetivo seja alcançado, é possível utilizar de simulações computacionais (WARD *et al.*, 2004). Oliveira e D'Agosto (2017) sugerem o treinamento de Eco-driving, que constitui na elaboração de um roteiro de capacitação a ser seguido, direcionado a toda equipe (motoristas, encarregados de operação, equipe de manutenção e gestão) com uma periodicidade média de três meses, objetivando mantê-los atualizados quanto às técnicas de segurança, direção econômica e ambientalmente sustentável. A expectativa é de que ocorra uma redução do custo da operação, do consumo de energia, da emissão de GEE e de poluentes atmosféricos. Em contrapartida, é esperado o aumento da segurança e confiabilidade operacional (OLIVEIRA e D'AGOSTO, 2017).

As boas práticas aqui listadas, quando aplicadas, promovem a sustentabilidade ambiental do armazém, fato que o torna em um armazém verde. Entretanto, Amjed e Harrison (2013) observam que a aplicação das mesmas deve-se dar por meio de um planejamento, com metas claras e objetivos bem definidos, sendo implementadas gradualmente, uma a uma, até que o processo seja concluído.

O acompanhamento da implantação das boas práticas, bem como o resultado obtido pela empresa pode ser observado e monitorado por meio da utilização de indicadores de desempenho.

Saeed e Kersten (2017), citando Neely *et al.* (1995), definem indicadores de desempenho como uma medida aplicada com o objetivo de quantificar a evolução de uma determinada ação, ou seja, apurar sua eficiência e/ou eficácia.

Um bom indicador é aquele cuja compreensão seja simples e lógica, capaz de comunicar de modo eficiente (Mueller *et al.*, 1997), com métricas que reflitam os aspectos a serem acompanhados e controlados pela organização no intuito de obter sucesso no evento em análise (NAGYOVA e PACAIOVA, 2009).

As métricas utilizadas devem ser incorporadas, ou ainda, geradas pela empresa, de modo aderente ao processo e a necessidade na qual se refere, sendo comum a personalização e especificidade das mesmas a partir do contexto funcional, de responsabilidades e objetivos da empresa em questão (CHAN, 2003; CAI *et al.*, 2009).

Dessa forma, os indicadores de sustentabilidade (SPIs) visam expressar os esforços de uma organização nesse sentido e auxiliar na tomada de decisões, considerando ao menos uma das três dimensões da sustentabilidade, a saber, social, ambiental e econômica (SAEED e KERSTEN, 2017). Bai e Sarkis (2014) consideram crítico a identificação dos indicadores tendo em vista as diferentes métricas existentes.

Os principais objetivos que se espera alcançar a partir da utilização dos indicadores de desempenho estão relacionados ao monitoramento e identificação do êxito, melhor compreensão dos processos internos da organização, reconhecimento de

gargalos, desperdícios, problemas e oportunidades de crescimento e auxílio na tomada de decisão (AKYUZ e ERKAN, 2010; PARKER, 2000).

Considerando que o foco deste trabalho é a sustentabilidade ambiental do armazém, os principais aspectos a serem analisados, bem como suas definições, estão relacionados na Tabela 7. Na sequência, a Tabela 8 estabelece os principais indicadores de sustentabilidade ambiental e suas métricas correspondentes.

Tabela 7. Atributos e definição dos indicadores de desempenho de sustentabilidade ambiental (SPIs) .
Fonte: Adaptado de Saeed e Kersten (2017).

Categoria de atributo	Definição
Eficiência energética	Classifica as informações relacionadas ao consumo total de energia, de fontes renováveis e não renováveis e o consumo específico de energia dentro de uma organização.
Gerência de água	Ele descreve todas as formas de consumo de água e classifica os SPIs relacionados ao consumo total de água, bem como a descarga de água e a qualidade da troca de água.
Gestão de resíduos	Classifica informações relacionadas a todas as formas de resíduos produzidos e reciclados por uma organização e o total de resíduos produzidos, o total de resíduos perigosos produzidos e a quantidade total de resíduos reciclados.
Emissões	Ele coleta informações relacionadas a todas as formas de emissões de uma organização e classifica os SPIs relacionados à emissão total de GEEs (GEEs diretos e indiretos), substâncias que esgotam a camada de ozônio, NOx, SOx e material particulado.
Uso da terra	Ele lida com as informações relacionadas à área de terra usada para conduzir as operações da organização e classifica os SPIs relacionados à área total de terra usada por uma organização.

Tabela 8. Indicadores de sustentabilidade ambiental usuais e suas métricas.
 Fonte: Elaborado pela autora.

Atributo	Indicador	Métrica	Autor
Eficiência energética	Uso de energia	kJ / t	Bouchery <i>et al.</i> (2010)
		kWh	Marchant (2010)
	Uso de energia por área	kWh / m^2	Bernecker <i>et al.</i> (2015)
	Energia predial	$\text{kWh} / \text{mês}$	
	Uso de combustível	kWh	
Gerência de água	Consumo de água	km / l	Fichinger (2015)
		$\text{l} / \text{mês}$	
Gestão de resíduos	Resíduos gerados	t	Bernecker <i>et al.</i> (2015)
		% de resíduos gerados	
Emissões / qualidade do ar	Emissões de GEE	$\text{kg}(\text{CO}_{2\text{eq}}) / \text{t}$	Bouchery <i>et al.</i> (2010)
		$\text{kgCO}_{2\text{e}} / \text{dia}$	Fichinger (2015)
		$\text{t}(\text{CO}_{2\text{e}}) / \text{per capita}$	U4SSC (2017)
	Emissões de GEE (por gás)	kg	Oliveira e D'Agosto (2017)
	Emissões por área predial	CO_2 / m^2	Marchant (2010)
	Poluição do ar / poluentes atmosféricos	$\mu\text{g} / \text{m}^3$	U4SSC (2017)
	Poluentes atmosféricos	g	Oliveira e D'Agosto (2017)
Uso da terra	Uso do espaço	m^2 / t	Bouchery <i>et al.</i> (2010)

A partir das boas práticas listadas, assim como os indicadores de sustentabilidade ambiental usuais, o próximo Capítulo visa, por meio de um estudo de caso, analisar a aplicabilidade de tais práticas e quantificar o benefício ambiental adquirido por meio de sua adoção no que tange a atividade de movimentação de materiais. Também será observada a finalidade dos indicadores de sustentabilidade bem como suas métricas.

4. APLICAÇÃO DAS BOAS PRÁTICAS PARA APRIMORAR A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DA ARMEZENAGEM (ARMAZÉM VERDE)

Com o objetivo de avaliar a aplicabilidade das boas práticas sugeridas anteriormente, foi realizado uma entrevista com os gestores de uma empresa de cosméticos situada no estado do Rio de Janeiro

A referida empresa apresenta grande preocupação com a sustentabilidade e mudanças climáticas e para tanto, adota diferentes iniciativas com o intuito de reduzir a pegada de carbono em toda a cadeia de valor.

O edifício sede da Companhia, assim como de outras empresas, pertence a um grupo de escritórios tidos como os mais sustentáveis do Brasil. O título obtido é decorrente da classificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), um dos principais selos internacionais no que tange a prédios sustentáveis, tendo como critério de análise a gestão eficiente de água e energia, localização, condutas efetivadas durante a construção bem como os materiais utilizados. A certificação LEED GOLD representa um avançado nível de sustentabilidade ambiental, fato que reitera a ambição da companhia de ser reconhecida como referência em sustentabilidade no Brasil. O referido prédio é equipado com sensores de presença além de utilizar 100% de iluminação LED, estação de tratamento de água das pias para reutilização nas descargas, fachada de vidro e persianas automáticas, luz interna adaptável à iluminação natural, reaproveitamento da energia da frenagem dos elevadores para seu próprio funcionamento, acessibilidade para pessoas com mobilidade reduzida e localização que valoriza a mobilidade urbana e bicicletários.

A Companhia anseia tornar-se um modelo de sustentabilidade para as demais indústrias a partir da redução do consumo de energia e água, emissão de CO₂ e geração de resíduos, sendo este compromisso parte de sua estratégia de negócio.

Um destaque relacionado ao compromisso da organização em reduzir as emissões de poluentes atmosféricos e gases de efeito estufa é a substituição das caldeiras das fábricas que utilizavam combustível fóssil (diesel ou gás) por caldeiras a base de etanol. Embora a tecnologia empregada seja mais cara, a empresa reforça o

compromisso com a sustentabilidade ambiental.

Para este trabalho destaca-se a operação do armazém dessa empresa que está localizado na baixada fluminense. Quanto à sua classificação, é um armazém de distribuição, e por este motivo será referido como centro de distribuição; é de uso geral, acondicionando apenas produtos acabados provenientes da fábrica, e que não necessitem de estrutura especial e é próprio, contando com um total de cento e sessenta e dois colaboradores, sendo apenas vinte terceirizados. Dispõe de uma área de 18.000 m², sendo 900 m² destinados ao escritório.

A operação acontece 24 horas por dia, sendo dividida em três turnos, de segunda a sexta-feira. Aos sábados ocorre um plantão de recebimento de mercadorias que se encerra às 11 horas. No domingo não há expediente.

O centro de distribuição realiza as seguintes atividades:

- 1) Recebimento: receber os produtos acabados procedentes de importação ou da fábrica de São Paulo;
- 2) Verificação da qualidade: apura a integridade e quantidade dos produtos recebidos procedentes da fábrica e importação assim como os recebimentos de devoluções dos clientes;
- 3) Armazenamentos: alocação e guarda dos produtos recebidos;
- 4) Preparação: recebimento das solicitações dos clientes, separação dos itens e embalagem;
- 5) Faturamento: emissão da nota fiscal dos produtos que serão enviados para os clientes;
- 6) Expedição: envio dos materiais aos clientes conforme solicitado;
- 7) Devolução: recebimento das mercadorias devolvidas pelo cliente ocasionada por erros de envio, avarias, trocas ou pedidos incompletos, dentre outros e
- 8) Verificação da produtividade: atividade de controle, responsável por medir a separação de itens por meio da métrica 'quantidade de volumes homem/hora'.

A empresa possui vinte e seis equipamentos de movimentação de cargas, sendo doze empilhadeiras e quatorze transpaleteiras. Destes, estão ativos dez transpaleteiras: uma com capacidade de carga de 1,2 tonelada, nove com capacidade de carga de 2

toneladas e doze empilhadeiras, sendo cinco equipamentos reserva. Dentre elas: quatro possuem capacidade de carga de 1,4 tonelada, três de 1,5 tonelada e cinco de 1,7 tonelada. A média mensal de produtos movimentados alcança a marca 2,5 milhões de toneladas.

4.1. Elaboração das boas práticas na aplicação da logística verde na operação de armazéns

A partir das boas práticas relacionadas no Capítulo 3, serão discutidas as ações aplicadas pela empresa de cosméticos no que se refere à sustentabilidade ambiental das operações realizadas pelo centro de distribuição destacado a de redução do consumo de água, energia, geração de resíduos e emissão de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos.

O centro de distribuição possui uma localização estratégica sendo estabelecido em uma área industrial, próximo a vias importantes, tais como a Rodovia Presidente Dutra e Washington Luiz, fator importante no escoamento de mercadorias, tendo em vista que os produtos ali armazenados são distribuídos para todo Brasil.

A respeito do uso de energia, a Companhia busca por fontes alternativas. Nesse sentido, utilizou alguns modelos como a geração de energia a partir do bagaço de cana, que posteriormente foi substituído pela energia eólica. Atualmente a empresa adquire energia a zero carbono, por meio do modelo PCH (pequena central hidrelétrica).

Além da utilização de energia limpa, a iluminação é realizada por meio de luminárias de *led*, com o intuito de reduzir o consumo. Também, a cobertura do centro de distribuição é dotada de telha sanduíche que permite a passagem de luz natural em toda sua extensão e por ser térmica mantém a climatização do ambiente sem haver necessidade de equipamentos de ventilação.

Como estratégia para redução do consumo de água, a empresa adota campanhas que abordem o uso consciente e reaproveita a água da chuva, sendo esta direcionada para as descargas nos banheiros, lavagem e limpeza do chão e serviços similares.

Os equipamentos empregados na movimentação de materiais são elétricos por determinação da Companhia, em decorrência de seu grande empenho na redução de emissão de CO₂. A respeito dos equipamentos elétricos, Johnson (2008) aborda a problemática relacionada ao descarte de baterias. Com o objetivo de solucionar esse problema, a empresa possui um contrato com um fornecedor de baterias que as recolhe e recondiciona, tornando-as apropriadas para o reuso. A manutenção dos equipamentos é planejada e executada regularmente, além da realização de verificações diárias por meio de um *checklist*, que também verifica a emissão de ruído. Em caso de não conformidade o equipamento é direcionado para manutenção.

Sobre a poluição sonora, a tecnologia empregada é relacionada ao uso de equipamentos elétricos que são menos ruidosos, não havendo necessidade de outra intervenção dada à climatização existente, que, como citado anteriormente, dispensa equipamentos de ventilação. A dispensa da intervenção é baseada na legislação brasileira, que considera aceitável ruídos até a marca de 85 decibéis, estando o centro de distribuição dentro do limite permitido.

Os resíduos gerados não são destinados aos aterros sanitários, embora seja permitido por lei. A Companhia opta pela solução mais sustentável, por meio da contratação de empresa certificada, especializada no tratamento e destinação de resíduos. A partir disso, a contratada mantém um colaborador no centro de distribuição que é responsável por auxiliar na coleta seletiva, separando os produtos passíveis de reciclagem, como é o caso de plásticos, papelão, metais e *pallets* de madeira. Os demais resíduos recebem o tratamento adequado pela empresa contratada. Os processos de tratamento de resíduos são periodicamente auditados pela Companhia a nível internacional, e, com o cumprimento das boas práticas corporativas, os colaboradores recebem premiações.

Em relação ao arranjo físico do armazém, o *layout* implementado promove a otimização das rotas, minimizando os deslocamentos e tornando-os mais eficientes. Os corredores foram planejados simulando o sistema de trânsito, com mão e contramão, adequados aos equipamentos de movimentação de materiais utilizados, fato que reduz congestionamentos e risco de acidente, proporcionando um impacto positivo na produtividade e sustentabilidade da operação.

O WMS utilizado pela organização é um módulo do SAP e é de grande valia para a otimização das operações do armazém. Tal sistema auxilia na determinação de um lugar ótimo para a armazenagem do produto, sendo parametrizado previamente realizando a alocação automática dos itens por meio de relatórios de giro do produto. Nisso, cria-se uma base fixa, onde são alocados sempre os mesmos produtos relacionados. Essa base será utilizada para a atividade de *picking*¹ durante a separação dos itens. O auxílio também abrange as atividades de preparação e expedição. Os pedidos dos clientes chegam ao centro de distribuição fracionado em remessas. A partir de então é gerada uma rotina de trabalho que compara o estoque com a demanda das remessas gerando reabastecimento para as bases onde ocorrerá o *picking*. Após o reabastecimento é criado o *PickngList*, sendo este o documento que guiará a separação das mercadorias solicitadas a ser realizada pelo Operador de Distribuição. O *PickngList* contém a descrição do produto, a quantidade solicitada e sua localização (rua, prédio, andar) onde ocorrerá a separação dos itens. Após a preparação, os produtos são direcionados para a expedição. No caso de separação de *pallet full*, o sistema um comando direto para o Operador de Empilhadeiras que retira o *pallet* e envia direto para a expedição.

Ainda, o WMS auxilia a gestão do centro de distribuição no que tange ao acompanhamento do desempenho das atividades, cuja medição ocorre a partir da utilização de indicadores de desempenho, em que as informações são obtidas por meio dos dados extraídos do sistema através do recurso de importação de dados. Alguns desses indicadores são apresentados na Tabela 9.

A Companhia oferece para os seus colaboradores diversos treinamentos obrigatórios, tais como integração e acompanhamento dos novos colaboradores; Integração de Segurança, Saúde e Meio Ambiente; NR05²: CIPA; NR11³: Transporte, Movimentação, Armazenagem e Manuseio de Materiais, NR35⁴: Trabalho em Altura e

¹*Picking* consiste na separação dos itens armazenados.

² NR 05 é uma normatização do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) que aborda sobre a CIPA (Comissão Interna de Prevenção de Acidentes).

³ A NR 11 contempla normas de segurança para transporte, movimentação, armazenagem e manuseio de materiais, estabelecidas pelo MTE.

⁴ A NR 35 regulamenta a respeito dos requisitos mínimos necessários de proteção para a realização de trabalho em altura, regida pelo MTE.

Treinamento de Brigada de Incêndio. O centro de distribuição dispõe de uma sala equipada e dedicada a formação e desenvolvimento dos colaboradores, e, além disso, a Companhia disponibiliza aos funcionários uma plataforma *e'learning* que possui mais de cinco mil cursos de aperfeiçoamento. A Tabela 10 lista as boas práticas adotadas pela empresa.

Tabela 9. Indicadores monitorados pelo WMS da empresa.
Fonte: Elaborado pela autora.

Atividade	Indicadores
Recebimento	<ul style="list-style-type: none"> • Palletes recebidos • Carros recebidos
Estoque	<ul style="list-style-type: none"> • Taxa de ocupação (%) • Diferenças de inventários
Preparação	<ul style="list-style-type: none"> • Volume Standard • Volume full • Produtividade • Linhas • Horas trabalhadas
Expedição	<ul style="list-style-type: none"> • Carros expedidos • Volumes expedidos em carga direta • Volumes expedidos em carga fracionada
Faturamento	<ul style="list-style-type: none"> • Planejado x realizado (vendas) • Unidades faturadas (vendas)
Qualidade	<ul style="list-style-type: none"> • Performance inbound • Análise de novos retornos
Produtividade	<ul style="list-style-type: none"> • Ranking DGO ytd standard picking • Volume/visita • Movimentação de palletes
Devolução	<ul style="list-style-type: none"> • Notas fiscais de devolução faturadas • Valor faturado • Unidades movimentadas

A instituição possui metas de sustentabilidade e, para o biênio 2019/2020, a Companhia espera nacionalmente reduzir: 45% do consumo de água, 40% da geração de resíduos, 85% de emissão de CO₂, e recuperar 75% da energia. As metas estabelecidas para a operação de centros de distribuição nesse mesmo período compreendem a redução de: 30% o consumo de água, 50% da geração de resíduos e 75% de emissão de CO₂ de modo que configure um centro de distribuição “carbono neutro”.

O acompanhamento da evolução das metas é feito por meio de indicadores de sustentabilidade e, a partir dos dados obtidos é gerado uma tendência com o objetivo de estimar o comportamento daquele indicador para que seja possível identificar se o que

está sendo realizado está discrepante ou dentro do esperado. No caso de estar discrepante, é elaborado um plano de ação com o intuito de mitigar e/ou reverter os impactos.

Tabela 10. Boas práticas para Armazém Verde adotadas pela empresa.

Fonte: Elaborado pela autora

Boas práticas para Armazém Verde adotadas pela Empresa
Situar o armazém em área industrial ou afastada do centro urbano.
Minimize a poluição sonora usando tecnologias de redução de ruído.
Reduzir o consumo de energia.
Maximize o uso da luz solar.
Gerencie com eficiência a iluminação artificial no depósito.
Mantenha a temperatura do armazém em um nível que exija menor quantidade de energia.
Use fontes de energia renováveis, ou mais limpas, para executar operações de armazém.
Utilize de sistemas de propulsão alternativos ou que faça uso de fonte de energia menos poluente.
Reduzir as emissões de GEE e poluentes atmosféricos decorrentes da movimentação de materiais.
Planejar manutenção preventiva, diária, semanal e mensal dos equipamentos.
Reduzir o consumo de água.
Conserve a água por meio da aplicação de técnicas de gestão de água.
Reduzir a geração de resíduos sólidos e líquidos.
Estabeleça uma instalação de reciclagem no local para minimizar a produção de resíduos.
Otimize as rotas.
Use layout de armazém que minimize a distância de deslocamento para operações diárias.
Projete corredores de forma que viagens desperdiçadas e congestionamentos sejam minimizados.
Implemente um WMS confiável para medição de desempenho.
Use sistema de armazenamento e estratégia que otimize as operações do armazém.
Treinamento dos motoristas.
Garantir treinamento técnico e de habilidades técnicas para todos os funcionários do armazém.

A Tabela 11 identifica os indicadores de sustentabilidade utilizados pela empresa e suas métricas. Dentre os indicadores destacados pela literatura, a Companhia emprega quatro: emissão de CO₂, consumo de água, consumo de energia e geração de resíduos, que remetem a quatro dos cinco atributos listados.

Tabela 11. Principais indicadores de sustentabilidade e métricas adotadas pela empresa.

Fonte: Elaborado pela autora.

Indicador	Métrica
Emissão de CO ₂	kgCO ₂ /ano
Consumo de água	m ³ /ano
Consumo de energia	kWh/ano
Geração de resíduos	t/ano

4.2. Cálculo do *saving* de emissões de CO₂ a partir da aplicação das boas práticas

O *saving* de CO₂ será calculado referente à atividade de movimentação de

materiais tendo por base a aplicação de duas boas práticas, sendo elas:

- Utilizar sistemas de propulsão alternativos ou que faça uso de fonte de energia menos poluente;
- Reduzir as emissões de GEE e poluentes atmosféricos decorrentes da movimentação de materiais;

Em virtude da realidade operacional da organização e a utilização de equipamentos elétricos, o cálculo refletirá as emissões poupadas. Para isso, serão calculadas as emissões decorrentes do uso de equipamentos movidos a GLP que, além de ser usual, poderiam ser empregados na operação como discutido no item 2.2.1.

No centro de distribuição dessa empresa a movimentação de materiais é realizada a partir do emprego de quatro equipamentos de uso contínuo. De segunda a sexta-feira, dias em que a operação é realizada por 24h, os equipamentos são utilizados 22h por dia, pois é descontando 2h referentes à pausa para refeições e troca de operador. No sábado os equipamentos trabalham 11h por sábado, tendo em vista que as atividades do centro de distribuição nesses dias encerram às 11h. Sendo assim, cada equipamento de movimentação de materiais trabalha 121 horas por semana, totalizando em 484 horas para os quatro equipamentos.

Para estimar o total mensal de horas de operação dos equipamentos será considerado que um mês possui em média 4,5 semanas. Dessa forma, é alcançada a marca de 2.178 horas de operação por mês.

Dado que o consumo médio de uma empilhadeira movida a GLP é de um cilindro p20 (capacidade: 20kg) para 8 horas de operação (Gurgel, 2019), admite-se que a autonomia energética do equipamento é de 2,5kg/h. Considerando a rotina operacional deste centro de distribuição, os equipamentos movidos à GLP apresentariam um consumo médio de 5.445kg/mês.

Para o cálculo das emissões será utilizado o fator de emissão de CO₂ tendo em vista ser o principal GEE em decorrência da presença do carbono nos combustíveis fósseis (D'AGOSTO, 2015). Oliveira Junior *et al.* (2015) citando o GHG Protocol

(2012), consideram o fator de emissão do GLP em 2,932 kgCO₂/kg.

Sendo assim, nesta operação, a partir da utilização de empilhadeiras a GLP seria emitido, em média, 15.964,74 kg/CO₂ ao mês, perfazendo um total anual de 191.576,88 kgCO₂.

4.3. Análise dos resultados obtidos

Dentre as vinte e sete boas práticas apresentadas pela literatura, foi observado que vinte e uma, discutidas no item 4.2, são integralmente praticadas pela empresa, conforme evidenciado na Tabela 12. Das seis boas práticas que restaram, três são aplicadas parcialmente e três não são aplicadas.

Tabela 12. Boas práticas para Armazém Verde integralmente adotadas pela empresa.

Fonte: Elaborado pela autora.

Boas práticas para Armazém Verde integralmente adotadas pela Empresa
Situar o armazém em área industrial ou afastada do centro urbano.
Minimize a poluição sonora usando tecnologias de redução de ruído.
Reduzir o consumo de energia.
Maximize o uso da luz solar.
Gerencie com eficiência a iluminação artificial no depósito.
Mantenha a temperatura do armazém em um nível que exija menor quantidade de energia.
Use fontes de energia renováveis, ou mais limpas, para executar operações de armazém.
Utilize de sistemas de propulsão alternativos ou que faça uso de fonte de energia menos poluente.
Reduzir as emissões de GEE e poluentes atmosféricos decorrentes da movimentação de materiais.
Planejar manutenção preventiva, diária, semanal e mensal dos equipamentos.
Reduzir o consumo de água.
Conserve a água por meio da aplicação de técnicas de gestão de água.
Reduzir a geração de resíduos sólidos e líquidos.
Estabeleça uma instalação de reciclagem no local para minimizar a produção de resíduos.
Otimize as rotas.
Use layout de armazém que minimize a distância de deslocamento para operações diárias.
Projete corredores de forma que viagens desperdiçadas e congestionamentos sejam minimizados.
Implemente um WMS confiável para medição de desempenho.
Use sistema de armazenamento e estratégia que otimize as operações do armazém.
Treinamento dos motoristas.
Garantir treinamento técnico e de habilidades técnicas para todos os funcionários do armazém.

A renovação e modernização da frota foram consideradas como uma prática parcialmente adotada em razão do critério considerado pela empresa na tomada de decisão relacionada à substituição do equipamento. A companhia analisa essa necessidade por meio de uma avaliação técnica (performance) e financeira (depreciação, custos de manutenção, dentre outros). Embora a motivação não seja a sustentabilidade,

ela é favorecida com a substituição do equipamento tendo em vista a atualização da tecnologia, que tende a ser mais eficiente energeticamente.

Da mesma forma, as estratégias de armazenagem criadas por meio do WMS objetivam maximizar a produtividade. Entretanto, concomitantemente, favorece a sustentabilidade tendo em vista que, quando reduzido o número de deslocamentos desnecessários, por exemplo, além de diminuir o tempo perdido que pode ser aplicado em outra atividade, tornando-se mais produtivo, também ocorre uma economia de energia, fato que favorece a sustentabilidade ambiental.

O treinamento dos operadores para uma condução segura e eficiente é realizado, mas não aborda a eficiência de energética dos equipamentos, sendo este o motivo de ser considerada uma prática parcialmente atendida. A Tabela 13 sintetiza as boas práticas para armazém verde parcialmente adotadas pela organização.

Tabela 13. Boas práticas para armazém verde parcialmente adotadas pela empresa.
Fonte: Elaborado pela autora

Boas práticas para Armazém Verde	Praticado pela Empresa
Renovação e modernização da frota.	Parcial
Crie uma estratégia de armazenagem usando o WMS para melhorar o desempenho de sustentabilidade.	Parcial
Treinar os operadores para uma condução segura e eficiente em termos de combustível.	Parcial

É importante enfatizar que, embora as ações referentes às estratégias de armazenamento geradas pelo WMS sejam motivadas pela produtividade, e a substituição dos equipamentos ocorrer não só pela produtividade, mas também por critérios financeiros, elas contribuem para a sustentabilidade ambiental por serem concomitantes. Se assim não o fosse, a Companhia privilegiaria as decisões focadas ao benefício ambiental tendo em vista os valores e o posicionamento estratégico da organização mencionado anteriormente, assim com seu profundo engajamento na busca pela sustentabilidade ambiental.

Entre as três boas práticas não adotadas pela Companhia está o uso de pneus de baixa resistência ao rolamento, utilização de sistema para rastreamento dos equipamentos, e *cross-docking*.

Vale ressaltar que a utilização de pneus de baixa resistência ao rolamento não se aplica a empresa em decorrência da característica da sua operação, em que os deslocamentos das empilhadeiras ocorrem internamente, respeitando os limites do centro de distribuição. Dessa forma, o pneu adequado é o maciço, já em uso nos equipamentos.

O uso de sistema para rastreamento dos equipamentos não é necessário tendo em vista o número enxuto de equipamentos de movimentação de materiais, fato que reduz a ociosidade e impede a ocorrência de equipamentos “perdidos”.

Por fim, o *cross-docking* não é realizado dada a atividade do armazém: distribuição. Por definição (ver item 2.1.2), armazéns de distribuição são aqueles recebem e armazenam produtos de diferentes fornecedores, para posteriormente organizá-los conforme a solicitação dos clientes e realizar a distribuição física. Essa característica inviabiliza a prática de *cross-docking*, que consiste no ágil recebimento e organização dos materiais para, na sequência, ser enviado para o cliente, sem que os produtos passem pelo armazenamento. A Tabela 14 sintetiza as boas práticas para armazém verde não são aplicáveis a organização.

Tabela 14. Boas práticas para armazém verde não aplicáveis a empresa.
Fonte: Elaborado pela autora

Boas práticas para Armazém Verde	Praticado pela Empresa
Utilização de pneus de baixa resistência ao rolamento.	Não
Use o <i>cross-docking</i> para melhorar a eficiência operacional e o tempo de resposta do cliente.	Não
Utilize de sistemas de informação para rastreamento e acompanhamento da frota.	Não

Por fim, o objetivo da aplicação das boas práticas é promover benefício ambiental por meio, principalmente, da redução das emissões de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos.

A partir do cálculo do *saving* de CO₂ referente à movimentação de materiais descrito no item 4.2, conclui-se que as boas práticas aplicadas são responsáveis por poupar a emissão de 191.576,88 kgCO₂.

Vale ressaltar que a energia utilizada para recarga das baterias dos equipamentos elétricos é adquirida de fonte zero carbono, obtendo, portanto, o benefício ambiental, relativo à operação destacada, em sua totalidade.

A aderência das boas práticas por parte da Companhia evidencia seu engajamento no que tange à sustentabilidade ambiental, que também pode ser notado por meio das metas estabelecidas, tendo por objetivo alcançar um centro de distribuição 'carbono neutro'. Os indicadores utilizados estão em linha com os apresentados pela literatura com pequenas alterações na métrica que não desqualificam o resultado obtido. Outro fator relevante é a projeção das tendências para acompanhamento dos indicadores, fato que auxilia o monitoramento e permite a elaboração de planos de ação quando necessário.

5. CONCLUSÃO

Um armazém é considerado verde quando emprega ações de sustentabilidade ambiental. Sendo assim, este trabalho buscou apresentar um conjunto de boas práticas para a operação de armazéns de modo que sua sustentabilidade ambiental fosse aprimorada.

Pôde ser observada por meio da literatura que a operação de movimentações de materiais, de modo geral, contribui para a emissão de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos como consequência da utilização de combustíveis fósseis.

Os resultados obtidos atendem aos objetivos propostos tendo em vista que foi identificado o conjunto das boas práticas e indicadores, e também foi verificada a aplicabilidade das mesmas na operação de armazéns por meio de um estudo de caso. Esse estudo limitou-se em analisar o benefício ambiental decorrente da movimentação de materiais a partir da adoção de tais práticas.

O centro de distribuição destacado demonstrou cerca de 80% de aderência as boas práticas sugeridas, fato que confirma a hipótese de que é possível adotar um comportamento sustentável ambientalmente e ainda assim manter a produtividade. Por meio do cálculo do *saving* de CO₂ torna-se possível quantificar o benefício ambiental, sendo uma forma de demonstrar a contribuição da empresa no que tange a redução das emissões.

Dessa forma, as contribuições deste trabalho constituem-se da sumarização de boas práticas que possibilitam o aprimoramento da sustentabilidade ambiental na operação de armazéns assim como os indicadores de desempenho aplicados no monitoramento das ações, que buscam expressar os esforços da organização no alcance de tais objetivos; a verificação da aplicabilidade das boas práticas, evidenciada por meio de um estudo de caso que comprova que é factível manter uma operação sustentável ambientalmente sem que ocorra prejuízo do nível de serviço e produtividade e também a análise do benefício ambiental promovido por meio da adoção das boas práticas.

Como oportunidade de estudos futuros sugere-se a ampliação da análise do

saving de CO₂ considerando a energia predial e a ampliação do escopo, incorporando à pesquisa os aspectos financeiros e sociais da sustentabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKYUZ, G.A.; ERKAN, T. E. “Supply chain performance measurement: a literature review”, *International Journal of Production Research* 48(17): 5137–5155, 2010.
- AMJED, T. W., HARRISON, N. J. “A model for sustainable warehousing: from theory to best practices”. *International DSI and Asia Pacific DSI Conference proceedings*, 2013
- AMEKNASSI, L., AÏT-KADI, D., REZG, N. “Integration of Logistics Outsourcing Decisions in a Green Supply Chain Design: A Stochastic Multi-Objective Multi-Period Multi-Product Programming Model”. *Intern. Journal of Production Economics*, 2016.
- BAI, C., SARKIS, J, "Determining and applying sustainable supplier key performance indicators", *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 19, 3 pp. 275 – 291, 2014.
- BAKER, P., MARCHANT, C. “Reducing the environmental impact of warehousing”. In *Green Logistics: Improving the environmental sustainability of logistics*. McKinnon, A., Browne, M., Piecyk, M. e Whiteing, A, pp 194-226. 3rd ed. Kogan Page Limited. London, 2015.
- BALLESTIN, F., PÉREZ, A., LINO, P., QUINTANILLA, S., VALLS, V. “Static and dynamic policies with RFID for the scheduling of retrieval and storage warehouse operations”. *Computers & Industrial Engineering* 66 696–709, 2013.
- BALLOU, R. H. *Business Logistics Management* 3 ed. Prentice-Hall, Inc., 1992.
- BALLOU, R. H. *Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física*. 1ª edição. São Paulo: Editora Atlas. 1993.
- BALLOU, R. H. *Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial*. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BARTHOLDI, J. J., III, HACKMAN, S. T. “Warehouse & distribution science: Release 0.92”. *The Supply Chain and Logistics Institute (p. 30332)*. Atlanta, GA: School of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology. 2010.
- BERNECKER, T., LOHRE, D., POERSCHKE, V., ROTH, J.J., GRANDJOT, H. H. “Sustainable Logistics: An Introduction to the Concept and Case Studies from Germany”. *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH*. 2015.

- BIFA: BRITISH INTERNATIONAL FREIGHT ASSOCIATION: “*Good Practice Guide for Sustainable Logistics*”, 2015. Disponível em: <https://www.bifa.org/information/sustainable-logistics/good-practice-guide-for-sustainable-logistics>. Acesso em 27 mar 2019.
- BOUCHERY, Y., GHAFFARI, A., JEMAI, Z. “Key performance indicators for sustainable distribution supply chains: set building methodology and application”. *Cahier d’études et de recherché / research report. CER* 2010.
- BOWERSOX, D. J., CLOSS, D. J. E COOPER, M. *Gestão Logística de Cadeias de Suprimentos*. Porto Alegre: Editora Bookman, 2006.
- BOWERSOX, D. J., CLOSS, D. J. *Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento*. 1ª edição. São Paulo: Editora Atlas, 2010.
- BUCKLEY, H. “Stop thirsty tyres”. *Presentation to RHA Scotland and Northern Ireland Annual Conference, Limavady*. October 2006.
- CAI, J., LIU, X., XIAO, Z., LIU, J. “Improving supply chain performance management: a systematic approach to analyzing iterative KPI accomplishment”. *Decision Support Systems*, 46(2), 512-521, 2009.
- CETESB: COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Disponível em <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>. Acesso em 18 mar 2019.
- CHAN, F. T. “Performance measurement in a supply chain”. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 21(7), 534-548, 2003.
- CHANG, Q., QIN, R.,. “Analysis on development path of Tianjin green logistics”. *International Journal of Business and Management*, vol. 3, no. 9, p.96. 2009
- CHEN, X., WANG, X., KUMAR, V., KUMAR, N. “Low carbon warehouse management under cap-and-trade policy”. *Journal of Cleaner Production* 139, pp.894e904, 2016.
- D’AGOSTO, M. A. *Transporte, uso de energia e impactos ambientais: uma abordagem introdutória*. 1ª edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.
- D’AGOSTO, M. A., OLIVEIRA, C. *Logística sustentável: vencendo o desafio contemporâneo da cadeia de suprimentos*. 1. ed. - Rio de Janeiro : Elsevier, 2018.
- DANLOUP, N., MIRZABEIKI, V., ALLAOUI, H., GONCALVES, G., JULIEN, D., MENA, C. “Reducing transportation greenhouse gas emissions with collaborative distribution”. *Management Research Review*, Vol. 38 Iss 10 pp. 1049 – 1067, 2015.

- DE KOSTER, R., LE-DUC, T., ROODBERGEN, K. J. “Design and control of warehouse order picking: a literature review”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 182 No. 2, pp. 481- 501, 2007.
- DFT: DEPARTMENT FOR TRANSPORT. *Road Freight Statistics 2005*, UK Department for Transport, 2006.
- DECC: DEPARTMENT OF ENERGY AND CLIMATE CHANGE. *Energy Consumption in the UK*. UK Government, London. 2013.
- DEY, A., LAGUARDIA, P. SRINIVASAN, M. “Building sustainability in logistics operations: a research agenda”, *Management Research Review*, Vol. 34 Iss 11 pp. 1237 – 1259, 2011.
- DHOOMA, J., BAKER,P. “An exploratory framework for energy conservation in existing warehouses”. *Int.J.Logist.Res.Appl.*15(1),37–51, 2012.
- DONATO, V. *Logística Verde*. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2008.
- EEA (2014). *Progress Towards 2008-2012 Kyoto Targets in Europe*, European Environmental Agency, Copenhagen.
- ENE, S.; KUÇUKOĞLU, I., AKSOY, A., OZTURK, N. “A genetic algorithm for minimizing energy consumption in Warehouses”. *Energy* 114, pp 973e980, 2016.
- ENGBLOM, J.; T. SOLAKIVI; J. TOYLI E L. OJALA. “Multiple method analysis of logistics costs”. *International Journal of Production Economics*, v. 137, n. 1, p. 29-35, 2012.
- FABER, N., DE KOSTER, M.B.M., SMIDTS, A. “Organizing warehouse management”, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 33 No. 9, pp. 1230-1256, 2013.
- FACCHINI, F., MUMMOLO, G., MOSSA, G., DIGIESI, S., BOENZI, F., VERRIELLO, R. “Minimizing the Carbon Footprint of Material Handling Equipment: Comparison of Electric and LPG Forklifts”. *JIEM*, 2016 – 9(5): 1035-1046, 2016.
- FERREIRA, P. C. P. *Técnicas de Armazenagem*. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 1998.
- FICHTINGER, J., RIES, J.M., GROSSE, E.H., BAKER, P. “Assessing the environmental impact of integrated inventory and warehouse management”. *Int. J. Prod. Econ.* 170, 717e729, 2015.
- FREEDMAN, B. *Environmental ecology. The ecological effects of pollution*,

- disturbance and other stresses*. 2nd. Academic Press Inc. San Diego, 1995.
- GESTRING, I. “Green Supply Chain Design Considering Warehousing and Transportation”. *Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering* 2016 A. Leon-Garcia et al. (Eds.): Smart City 2015, LNICST 166, pp. 648–658, 2016.
- GU, J., GOETSCHALCKX, M., MCGINNIS, L. F. “Research on warehouse operation: A comprehensive review”. *European Journal of Operational Research*, 177, 1–27, 2007.
- GURGEL, 2019. Informações técnicas: Empilhadeira, modelo FGL - 30CTJ. Disponível em: <http://www.gurgel.com.br/index.php?pagina=fg25>. Acesso em 20 mar 2019.
- HASSAN, M. M. “A framework for the design of warehouse layout”. *Facilities*, 20 (13/14), 432-440, 2002
- HESSE, M. “Land for logistics: locational dynamics real estate markets and political regulation of regional distribution complexes”, *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 95 (2), pp 162–73, 2004.
- IEA (2016). WEO-2016. Special Report: Energy and Air Pollution. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WorldEnergyOutlookSpecialReport2016EnergyandAirPollution.pdf> .Acesso em: 27 mar 2019
- ILOS Panorama instituto Ilos – *Custos logísticos no Brasil*. Instituto de logística e supplychain, 2016.
- IPCC: Climate Change 2007: “The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change “[Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. *Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA*, 996 pp
- JOHNSON E. “Disagreement over carbon footprints: a comparison of electric and LPG forklifts”. *Energy Policy*; 36:1569e73, 2008.
- KEMBRO, J. H; DANIELSSON, V., SMAJLI, G. "Network video technology: exploring an innovative approach to improving warehouse operations", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2017.
- KUTKAITIS, A.; UPERKIEN, E. 2011. Darnausvystyimosikonceptijosraiškauostologistin seorganizacijose [Expression of the Sustainable Development Concept in Seaport Logistics Organizations], *Management Theory*

- and Studies for Rural Business and Infrastructure Development 2(26): 130–136.
- LAMBERT, D.M., STOCK, J. R., VANTINE, J. G. *Administração estratégica da logística*. São Paulo: Vantine Consultoria, 1998.
- LI, A., ZHOU, M., QIN, F. “Study on Green logistics of coal enterprises based on circular economy”. *International Conference “Waste Management, Environmental Geotechnology and Global Sustainable Development (ICWMEGGSD’07 – GzO’07)” Ljubljana, Slovenia, August, 2007.*
- LIM, M. K., BAHR, W., LEUNG, S. C.H. “RFID in the warehouse: A literature analysis (1995–2010) of its applications, benefits, challenges and future trends”. *Int. J. Production Economics* 145 409–430, 2013.
- MACLEOD, P. *House of Hanover*. ShD, July, pp. 38–46, 2008.
- MAKNOON, M. Y., BAPTISTE, P., “Cross-docking: increasing platform efficiency by sequencing in coming and out going semi-trailers”. *International Journal of Logistics Research and Applications: A Leading Journal of Supply Chain Management* 12,249–261, 2009.
- MARCHANT, C., 2010. “Reducing the environmental impact of warehousing”. In: *Green Logistics: Improving the Environmental Sustainability of Logistics*. Kogan Page Limited, London, pp. 167e192.
- MCKINNON, A., BROWNE, M., WHITEING, A. *Green Logistics; Improving The Environmental Sustainability Of Logistics*, 2013
- MCKINNON, A., CULLINANE, S., BROWNE, M., WHITEING, A. *Green logistics: improving the environmental sustainability of logistics*. Kogan Page Limited, 2010.
- MCKINNON, A., PIECYK, M. “Measuring and Managing CO₂ Emissions of European Chemical Transport”. *Cefic - The European Chemical Industry Council*, 2011.
- MCKINNON, A.C. *Logistical restructuring, freight traffic growth and the environment, in Transport Policy and the Environment*, ed D Banister, pp 97–109, Spon, London, 1998.
- MELLER, R. D., GUE, K. R. “The application of new aisle designs for unit-load warehouses”. In *Proceedings of the 2009 NSF Engineering Research and Innovation Conference, page to appear, Honolulu, HI, 2009.*
- MINALGA, R. *Logistika Vilnius*: Petroofsetas, 2001.
- MMA: Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos.html>. Acesso dia

18 mar 2019.

- MORA, C. A. A.; CAMPUZANO, J. Z. A. “Implementacion Efectiva De Una Operadora Especializada Em Logistica Inversa Para La Industria De Bebidas Em La Ciudad De Guayaquil” (Tese). *Universidad Católica Santiago De Guayaquil*. 2013.
- MORMAN, S.A., PLUMLEE, G.S. ‘The role of airborne mineral dusts in human disease". *Aeolian Research* 9, 203-212, 2013.
- MOURA, R. A. *Logística: suprimentos, armazenagem, distribuição física*. São Paulo: Instituto de Movimentação e Armazenagem de Materiais, 1989.
- MOURA, R. A. *Sistemas e técnicas de movimentação e armazenagem de materiais*. 6. ed. rev. São Paulo: IMAM, 1997.
- MUELLER, C.; TORRES, M.; MORAIS, M. *Referencial básico para a construção de um sistema de indicadores urbanos*. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 1997.
- NAGYOVA, A., E PACAIOVA, H. “How to build manual for key performance indicators – KPI”. In B. Katalinic (Ed.), *DAAAM International Scientific Book* (pp. 135-143). Vienna: DAAAM International, 2009.
- OLIVEIRA JÚNIOR, G. G., SILVA, A. B., MANTOVANI, J. R., MIRANDA, J. M., FLORENTINO, L. A. “Levantamento de emissão de gases de efeito estufa pela metodologia do carbono equivalente na cultura do cafeeiro”. *Coffee Science*, v. 10, n. 4, p. 412 - 419, Dez. 2015.
- OLIVEIRA, C., D’AGOSTO, M. A. *Guia de Referências em Sustentabilidade*. 1ª edição. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Transporte Sustentável (IBTS), 2017.
- OLIVIER, J. G. J., PETERS, J. A. H. W., SCHURE, K. M. *Trends in global emissions of CO₂ and other greenhouse gases: 2017 Report*. Environmental Assessment Agency, Bilthoven, the Netherlands, 2017. Disponível em: <http://www.pbl.nl/en/news/newsitems/2017/greenhouse-gas-emission-levels-continued-to-rise-in-2016>. Acesso em 30 mar 2019
- ONUT, S., TUZKAVA, U., DOGAC, B. “A particle swarm optimization algorithm for the multiple-level warehouse layout design problem”. *Computers & Industrial Engineering* 54, 783–799, 2008.
- PALEVICH, R. *Lean Sustainable Supply Chain The: How to Create a Green Infrastructure with Lean Technologies*. Ft Press, 2011.

- PARKER, C. “Performance measurement”, *Work Study* 49(2): pp 63–66, 2000.
- PENG, Y., ABLANEDO-ROSAS, J. H., FU, P. “A Multiperiod Supply Chain Network Design Considering Carbon Emissions”. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016.
- PETERS, G. P., MARLAND, G., LE QUÉRÉ, C. “Rapid growth in CO2 emissions after the 2008–2009 global financial crisis”. *Nature Climate Change*, 2:2, 2011.
- PLAMBECK, E. L. “Reducing greenhouse gas emissions through operations and supply chain management”. *Energy Econ.* 34(1),64–74, 2012.
- PRÜSS-USTÜN, A., WOLF, J., CORVALÁN, C., BOS, R. AND NEIRA, M. *Preventing Disease through Healthy Environments: A Global Assessment of the Burden of Disease from Environmental Risks*. World Health Organization., 2016. Disponível em: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/204585/1/9789241565196_eng.pdf?ua=1 Acesso em 30 mar 2019.
- QAISER, F. H., AHMED, K., SYKORA, M., CHOUDHARY, A., SIMPSON, M. “Decision support systems for sustainable logistics: a review and bibliometric analysis”. *Industrial Management & Data Systems*, 2017.
- RIBEIRO, S., K. “Consumo de energia e meio ambiente: futuros possíveis”. *Revista dos Transportes Públicos - ANTP - Ano 25 - 2003 - 3º trimestre*
- RICHARDS, G., RIDING, C. *The warehouse and the environment*. In *Warehouse Management: A complete guide to improving efficiency and minimizing costs in the modern warehouse*. Richards, G., pp 359-374. 2nd ed. Kogan Page Limited. London, 2015.
- RIES, J. M., GROSSE, E. H., FICHTINGER, J. “Environmental impact of warehousing: a scenario analysis for the United States”, *International Journal of Production Research*, 2016.
- ROUWENHORST, B., REUTER, B., STOCKRAHM, V., VAN HOUTUM, G. J., MANTEL, R. J., ZIJM, W. H. M. “Warehouse design and control: Framework and literature review”. *European Journal of Operational Research* 122, 515-533, 2000.
- SACKS, J.D., STANEK, L.W., LUBEN, T.J., JOHNS, D.O., BUCKLEY, B.J., BROWN, J.S. “Particulate matter–induced health effects: Who is susceptible?”, *Environmental health perspectives* 119(4), 446., 2011.
- SAEED, M., A., KERSTEN, W. “Supply chain sustainability performance indicators - a

- content analysis based on published standards and guidelines”. *Logistics Research*, 2017.
- SARKIS, J. “A strategic decision framework for green supply chain management”. *Journal of Cleaner Production* 11, 397-409, 2003.
- SHRIVASTAVA P. “Environmental technologies and competitive advantage”, *Strategic Management Journal*, Vol. 16, 183-200, 1995
- SOUZA, C. D. R; D’AGOSTO, M. A. “Análise dos custos logísticos aplicada à cadeia logística reversa do pneu inservível”. *Transportes*, v.21, n. 2, 2013.
- SULÍROVÁ, I., ZÁVODSKÁ, ., RAKYTA, M., PELANTOVÁ, V. “State-of-the-art approaches to material transportation, handling and warehousing”. *Procedia Engineering* 192, 857 – 862, 2017.
- TAN, K.S., AHMED, M.D., SUNDARAM, D. “Sustainable Warehouse Management”. *Proceedings of the International Workshop on Enterprises & Organizational Modeling and Simulation*, pp. 1 e 15. Amsterdam, The Netherlands, 2009.
- TOYOTA.*Environmental Report*. Toyota Industries Corporation, 2002.
- TOYOTA.*Hybrid Forklift*, Toyota Industries Corporation, 2009.
- TSOULFAS, G.T., PAPPIS, C. P. “Environmental principles applicable to supply chains design and operation”, *Journal of Cleaner Production* 14, 1593e1602, 2006.
- UNEP. *Climate and Clean Air Coalition to Reduce Short-Lived Climate Pollutants*, United Nations Environment Programme, “Time to Act”, 2014, Second edition, 1 – 48, 2014. Disponível em: http://www.unep.org/ccac/Portals/50162/docs/publications/Time_To_Act/SLCP_TimeToAct_lores.pdf Acesso em 30 mar 2019.
- UNEP. *GEO-6: Global Environment Outlook: Regional Assessment for Asia and the Pacific*, 2016. Disponível em: http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7548/GEO_Asia_Pacific_201611.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em 30 mar 2019.
- UNEP. *The Emissions Gap Report 2017*. United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi, 2017.
- UNEP. *The Emissions Gap Report 2018*. United Nations Environment Programme, Nairobi, 2018
- UNITED FOR SMART SUSTAINABLE CITIES (U4SSC).*Collection Methodology for Key Performance Indicators for Smart Sustainable Cities*. (2017). Disponível

- em: https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/tut/T-TUT-SMARTCITY-2017-9-PDF-E.pdf Acesso em 29 mar 2019.
- VAN DEN BERG, J. P., ZIJM, W. H. M. “Models for warehouse management: Classification and examples”. *International Journal of Production Economics*, 59 (1–3), 519–528, 1999.
- WANG, X. “A comprehensive decision making model for the evaluation of green operation initiatives”. *Technol. Forecast. Soc. Change* 95, 191e207, 2015.
- WARD, D., TYLER, P., WILSON, P. AND EICHINGER, M. “Developments in Rail Simulators and Computer Based Training to Increase Training Efficiency and Effectiveness”. *Simulation Industry Association of Australia, Lindfield*, 2004.
- WEF: WORLD ECONOMIC FORUM. *Supply Chain Decarbonization*. World Economic Forum, Geneva, 2009.
- WHO: WORLD HEALTH ORGANIZATION (2015). *Reducing Global Health Risks through Mitigation of Short-lived Climate Pollutants*. Scoping Report for Policymakers. Geneva. Disponível em: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/189524/1/9789241565080_eng.pdf. Acesso em 28 mar 2019.
- WIESENTHAL, T., LEDUC, G., HAEGEMAN, K., SCHWARZ, H.G. “Bottom-up estimation of industrial and public R&D investment by technology in support of policymaking: the case of selected low-carbon energy technologies”. *Res. Policy*41 (1), 116e131., 2012.
- WRI & WBCSD. *A Corporate Accounting and Reporting Standard. Revised Edition*; p: 1–116, 2004. Disponível em: <http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/public/ghg-protocolrevised.pdf> Acesso em 29 mar 2019.
- XIA, Y., WANG, B. “Green logistics in logistics industry in Finland. Case: Inex Partners Oy and Suomen Kaukokiito Oy”. Lahti University of Applied Sciences, Faculty of Business Studies, Degree programme in International Business, 2013.
- YOUSSEF, H., LIOUSSE, C., ROBLOU, L., ASSAMOI, E., SALONEN, R., MAESANO, C. “Quantifying wildfires exposure for investigating health-related effects”. *Atmospheric Environment* 97, 239-251, 2014.
- ZHAO, P., LIU, J., HE, L. “Study on the Development of Modern Green Logistics in China”, *International Conference on Innovation management*, 8-9 December 2009 Wuhan China, IEEE, Los Alamitos CA, pp. 43-46, 2009.
- ZIDONIS, Z. *Verslologistika*. Vilnius: Vilniausvadyboskolegija, 2002, 146.

ZUCHOWSKI, W. "Division of environmentally sustainable solutions in warehouse management and example methods of their evaluation". *Logforum - Scientific Journal of Logistics* 11 (2), 171e182, 2015.