

COLEÇÃO

# DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO 2



CARLOS EDUARDO SANCHES DE ANDRADE  
(ORGANIZADOR)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

COLEÇÃO  
**DESAFIOS**  
DAS  
**ENGENHARIAS:**

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO 2



CARLOS EDUARDO SANCHES DE ANDRADE  
(ORGANIZADOR)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

**Diagramação:** Maria Alice Pinheiro  
**Correção:** Maiara Ferreira  
**Indexação:** Gabriel Motomu Teshima  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Carlos Eduardo Sanches de Andrade

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia de produção 2 / Organizador Carlos Eduardo Sanches de Andrade. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-570-6

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.706211910>

1. Engenharia de produção. I. Andrade, Carlos Eduardo Sanches de (Organizador). II. Título.

CDD 670

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

## APRESENTAÇÃO

A obra “Desafios da Engenharia: Engenharia de Produção 2” publicada pela Atena Editora apresenta, em seus 18 capítulos, estudos sobre diversos aspectos que mostram como a Engenharia de Produção pode atender as novas demandas de um mundo globalizado e competitivo.

A evolução da sociedade e da tecnologia no mundo atual impõe novos desafios, tornando urgente a busca de soluções adequadas a esse novo ambiente. O desenvolvimento econômico das cidades e a qualidade de vida das pessoas dependem da eficiência e eficácia dos processos produtivos, objeto dos estudos realizados na Engenharia de Produção.

No contexto brasileiro, num período pós pandemia, a crise econômica se agrava e é necessário procurar novos caminhos para alavancar o crescimento econômico. Assim a Engenharia de Produção pode ser um elemento importante para enfrentar esses novos desafios.

Os trabalhos compilados nessa obra abrangem diferentes perspectivas da Engenharia de Produção.

A gestão de processos e a gestão financeira são abordadas. Diversos outros temas, em português, espanhol e inglês são também abordados, como os impactos ambientais e epidemiológicos do processo produtivo.

Agradecemos aos autores dos diversos capítulos apresentados e esperamos que essa compilação seja proveitosa para os leitores.

Carlos Eduardo Sanches de Andrade




## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **APLICAÇÃO DE UM MODELO DE GESTÃO FINANCEIRA EM UMA ORGANIZAÇÃO DO TERCEIRO SETOR**


Antonielli Silva Alencar  
Stella Jacyszyn Bachega  
Dalton Matsuo Tavares

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7062119101>

### **CAPÍTULO 2..... 13**

#### **GESTÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO: UM ESTUDO DE CASO PARA REDUÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NA AMBEV-CERVEJARIA ÁGUAS CLARAS**


Everton Oliveira Santos  
Antônio Vieira Matos Neto  
Laís Gomes Barbosa da Silva  
Marcos Antonio Passos Chagas  
Bento Francisco dos Santos Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7062119102>

### **CAPÍTULO 3..... 27**

#### **ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS E EPIDEMIOLÓGICOS A PARTIR DO DESCARTE INADEQUADO DE PNEUS EM ÁREAS NÃO CONTROLADAS**


Denise Dantas Muniz  
Renata Dantas Muniz de Queiroz  
Emerson Nóbrega de Medeiros  
Letícia Dantas Muniz Alves  
Paulo Roberto Ribeiro Marques  
Eduardo Braga Costa Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7062119103>

### **CAPÍTULO 4..... 39**

#### **ANÁLISE DAS ABORDAGENS DAS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> NO SERVIÇO DE TRANSPORTE URBANO DE PASSAGEIROS POR METRÔS**


Carlos Eduardo Sanches de Andrade







 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7062119104>




### **CAPÍTULO 5..... 53**

#### **ANÁLISIS DE LAS PÉRDIDAS TÉRMICAS TOTALES EN UN CONCENTRADOR SOLAR PTC USANDO ACEITE TÉRMICO SYL THERM 800 COMO FLUIDO DE TRABAJO**

Ernesto Enciso Contreras  
Jesús de la Cruz Alejo  
Juan Gabriel Barbosa Saldaña  
María Belem Arce Vázquez  
Irving Cardel Alcocer Guillermo  
Sergio Maldonado Mercado

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7062119105>

|   |            |
|---|------------|
| <b>CAPÍTULO 6</b> .....   | <b>63</b>  |
| ASSIGNMENT MODEL FOR THE PERUVIAN FILM INDUSTRY   |            |
| Mario Edison Ninaquispe Soto  |            |
| Gianni Michael Zelada García  |            |
|  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.7062119106">https://doi.org/10.22533/at.ed.7062119106</a>     |            |
| <b>CAPÍTULO 7</b> .....   | <b>71</b>  |
| DEVELOPMENT OF THE TOOL “APERMET” FOR COMPLEMENTING THE ANALYSIS OF STEEL STRUCTURES IN TEACHING  |            |
| Jesús Montero Martínez  |            |
| Santiago Laserna Arcas  |            |
| Jorge Cervera Gascó   |            |
|  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.7062119107">https://doi.org/10.22533/at.ed.7062119107</a>     |            |
| <b>CAPÍTULO 8</b> .....   | <b>86</b>  |
| DISPENSO DE RAÇÃO EM PÓ DE PEIXES POR PROTÓTIPO DE ALIMENTADOR AUTOMÁTICO   |            |
| Rafael Itamar da Silva  |            |
| Harthur Guzzi Madalosso   |            |
| Carlos Eduardo Zacarkim   |            |
| Luciano Caetano de Oliveira   |            |
|  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.7062119108">https://doi.org/10.22533/at.ed.7062119108</a>     |            |
| <b>CAPÍTULO 9</b> .....   | <b>96</b>  |
| ESCOAMENTO DE RAÇÃO POR UM DOSADOR AUTOMÁTICO UTILIZANDO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS (CEP)  |            |
| Rafael Itamar da Silva  |            |
| Dircelei Sponchiado   |            |
| Maurício Guy de Andrade   |            |
| Luciano Caetano de Oliveira   |            |
|  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.7062119109">https://doi.org/10.22533/at.ed.7062119109</a>   |            |
| <b>CAPÍTULO 10</b> .....  | <b>107</b> |
| MEJORAMIENTO DEL PROCESO PRODUCTIVO EN UNA PyME CON HERRAMIENTAS DE TEORÍA DE RESTRICCIONES   |            |
| Jorge Tomás Gutiérrez Villegas  |            |
| María Leticia Silva Ríos  |            |
|  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.70621191010">https://doi.org/10.22533/at.ed.70621191010</a> |            |
| <b>CAPÍTULO 11</b> .....  | <b>117</b> |
| METODOLOGÍA PARA LA ACTUALIZACIÓN DE LA MATRIZ DE INSUMO-PRODUCTO DE MÉXICO 2014. (MIPM_2014)   |            |
| Santiago Marquina Benítez   |            |
| Octaviano Juárez Romero   |            |
|  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.70621191011">https://doi.org/10.22533/at.ed.70621191011</a> |            |

|   |            |
|---|------------|
| <b>CAPÍTULO 12.....</b>   | <b>138</b> |
| OS IMPACTOS DA IMPRESSÃO 3D NA FABRICAÇÃO DE MOLDES PARA INJEÇÃO DE TERMOPLÁSTICOS  |            |
| Marco Aurélio Feriotti  |            |
| Davi de Medeiros Marcelino  |            |
| José Martino Neto   |            |
| Jorge Luiz Rosa   |            |
|  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.70621191012">https://doi.org/10.22533/at.ed.70621191012</a> |            |
| <b>CAPÍTULO 13.....</b>   | <b>152</b> |
| PROPOSAL FOR A REPLACEABLE HIGH PRECISION SERUM PERFUSION SYSTEM  |            |
| Eliel Eduardo Montijo-Valenzuela  |            |
| Elvis Osiel Covarrubias-Burgos  |            |
| Darío Soto-Patrón   |            |
| Esthela Fernanda Torres-Amavizca  |            |
|  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.70621191013">https://doi.org/10.22533/at.ed.70621191013</a> |            |
| <b>CAPÍTULO 14.....</b>   | <b>162</b> |
| UMA PROPOSTA DE MAPEAMENTO DE ESTOQUES: OS DESAFIOS DA GESTÃO DE ESTOQUES EM UMA LOJA DE MATERIAL DE CONSTRUÇÃO   |            |
| Tainnah Penha Lopes   |            |
| Luciano Saad Peixoto  |            |
|  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.70621191014">https://doi.org/10.22533/at.ed.70621191014</a> |            |
| <b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>   | <b>178</b> |
| <b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>  | <b>179</b> |

## ANÁLISE DAS ABORDAGENS DAS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> NO SERVIÇO DE TRANSPORTE URBANO DE PASSAGEIROS POR METRÔS

Data de aceite: 01/10/2021

**Carlos Eduardo Sanches de Andrade**

Universidade Federal de Goiás (UFG)  
Faculdade de Ciência e Tecnologia (FCT) –  
Engenharia de Transportes  
Aparecida de Goiânia – GO

**RESUMO:** O setor de transportes é responsável por uma parcela das emissões globais de dióxido de carbono - CO<sub>2</sub>. Os estudos científicos publicados sobre emissões de CO<sub>2</sub> pelos sistemas de transportes de passageiros tratam basicamente de resultados envolvendo apenas as emissões relacionadas ao consumo dos combustíveis dos automóveis e ônibus. Nos metrô, geralmente são consideradas as emissões relacionadas à geração da energia elétrica necessária para prover a força de tração dos trens. Com isso, esse estudo visa fornecer uma contribuição científica no estudo geral das emissões de CO<sub>2</sub> pelos metrô, definindo conceitualmente cinco abordagens de cálculos e realizando uma análise comparativa dos resultados das emissões de CO<sub>2</sub> por automóveis, ônibus e metrô. O resultado dessa pesquisa permitiu quantificar a real contribuição dos metrô quanto à redução das emissões totais do setor de transportes. Na abordagem da energia de tração dos trens, concluiu-se que os Metrô de São Paulo e Rio de Janeiro emitem 21,6 vezes menos que os automóveis e 16,6 vezes menos que os ônibus.

**PALAVRAS-CHAVE:** emissões; CO<sub>2</sub>; automóveis; ônibus; metrô.

### ANALYSIS OF APPROACHES TO CO<sub>2</sub> EMISSIONS IN PUBLIC RAIL PASSENGER TRANSPORT SERVICE

**ABSTRACT:** The transportation sector is responsible for a portion of global emissions of carbon dioxide - CO<sub>2</sub>. The published scientific studies on CO<sub>2</sub> emissions by passenger transport systems treat basically results involving only the emissions related to fuel consumption of cars and buses. In the subways, are generally considered the emissions related to the generation of electrical energy needed to provide the traction force trains. Thus, this study aims to provide a scientific contribution to the general study of CO<sub>2</sub> emissions by subways, conceptually defining five approaches of calculations and conducting a comparative analysis of CO<sub>2</sub> emissions by cars, buses and subways. The result of this research allowed to quantify the actual contribution of the subways on the reduction of total emissions from the transportation sector. In the traction power trains approach, it was concluded that the subways of São Paulo and Rio de Janeiro emit 21.6 times less than cars and 16.6 times less than buses.

**KEYWORDS:** emissions; CO<sub>2</sub>; automobiles; buses; subways.

## 1 | INTRODUÇÃO

As emissões de gases do efeito estufa - GEE pelos metrô, medidos em dióxido de carbono - CO<sub>2</sub>, podem ser calculadas e

analisadas sob diferentes abordagens, dependendo dos aspectos a serem considerados. Assim sendo, o objetivo deste trabalho é analisar a emissão de CO<sub>2</sub> pelos metrô, definindo conceitualmente cinco abordagens de emissões e apresentando resultados de aplicações de todas essas abordagens, comparando seus resultados com as emissões de CO<sub>2</sub> dos principais meios de transporte urbano de passageiros do mundo: os automóveis e os ônibus. Os GEE estão associados a alterações climáticas, incluindo o aumento médio na temperatura global e suas consequências prejudiciais para a humanidade. O principal gás do efeito estufa é o CO<sub>2</sub>. Gabrielle *et al.* (2013) relatam que, ao mesmo tempo em que gera inúmeros benefícios para a sociedade, o setor de transportes também é responsável por grandes impactos ambientais. A emissão de GEE no setor de transportes responde por cerca de 25% do total de emissões globais, sendo o transporte privado responsável pela maior parte dessas emissões, com a estimativa que, até 2050, a energia utilizada nos sistemas de transporte dobre, tendo como base o ano de 2008, o que aumentaria ainda mais a emissão desses gases, caso ações de mitigação dessas emissões não sejam implantadas (IEA, 2009). Governos vêm criando políticas de estímulo à redução da emissão de GEE. Algumas cidades definiram quantitativamente objetivos de redução, como, por exemplo, Londres, que estabeleceu programa de redução de emissões de carbono no setor de transportes, estabelecendo o corte de 60% das emissões até 2025, tendo como base o ano de 1999 (LU, 2009). O transporte público de Nova Iorque estabeleceu uma meta de redução global de 80% na emissão de GEE até 2050, tendo como base o ano de 2008 (MTA, 2009). No Estado do Rio de Janeiro foram estabelecidos, pelo decreto 43.216 de 30/09/2011, objetivos de redução, até 2030, de 30% nas emissões de GEE pelos transportes, em relação ao ano de 2010. Nesse contexto os metrô aparecem como parte da solução para um transporte sustentável. Para uma avaliação mais precisa da emissão de CO<sub>2</sub> pelos metrô é necessário considerar outros aspectos além das emissões durante a operação do sistema. A avaliação de outras abordagens de emissões de CO<sub>2</sub> pelos metrô irá mostrar uma visão mais precisa da real dimensão da emissão causada pelos metrô.

Este trabalho analisa a influência dos sistemas de transporte de passageiros por metrô na emissão de CO<sub>2</sub>, sob cinco diferentes abordagens: a) emissão total produzida, de acordo com o inventário de emissões; b) emissão operacional; devida à energia elétrica total consumida na operação do sistema; c) emissão da energia elétrica de tração; d) emissão evitada pela própria existência do metrô, que diminui o uso de outros meios de transporte mais poluentes; e) emissão durante o ciclo de vida do sistema, desde a construção até seu fim de vida.

Este artigo está assim subdividido: Na Seção 2 são descritas as emissões de CO<sub>2</sub> pelos metrô, apresentando os conceitos das cinco abordagens de emissões definidas; na Seção 3 são apresentadas e analisadas aplicações das cinco abordagens utilizadas na determinação das emissões por metrô do mundo, comparando esses resultados obtidos com a emissão dos automóveis e ônibus; Ao final, na Seção 4, são apresentadas

as conclusões.

## 2 | METODOLOGIA

Metrôs, assim como outras empresas, contabilizam suas emissões seguindo o GHG Protocol - *Greenhouse gas protocol*, que é uma ferramenta utilizada para entender, quantificar e gerenciar emissões de GEE. Esta ferramenta foi originalmente desenvolvida nos Estados Unidos, em 1998, pelo WRI - *World Resources Institute*, sendo hoje utilizada mundialmente pelas empresas e governos para a realização de inventários de GEE (WRI, 2013). Essa metodologia é compatível com as diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês) (IPCC, 2016) e com a Norma ISO 14.064 - gases de efeito estufa. De acordo com essa metodologia, o inventário de emissões de GEE da empresa será composto de três partes, denominadas “escopos”.

### 2.1 Emissões totais de CO<sub>2</sub> pelos metrôs - Inventários de emissões de GEE

No escopo 1 são calculadas as emissões diretas, ou seja, as emissões produzidas diretamente por fontes que pertencem ou são controladas pela empresa. No escopo 2 são relacionadas as emissões indiretas pelo consumo da eletricidade. O escopo 3, item opcional, cobre outras emissões indiretas, por fontes que não pertencem ou não são controladas pela empresa, podendo ser levantado em diferentes itens (ISO, 2007).

#### 2.1.1 Emissões diretas pelos metrôs - Escopo 1

Por não utilizar combustíveis fósseis em larga escala, já que o “combustível” dos trens dos metrôs é a energia elétrica, que não é gerada localmente e sim adquirida de terceiros, a emissão direta de CO<sub>2</sub> pelos metrôs é usualmente pequena.

#### 2.1.2 Emissões indiretas, pela eletricidade, pelos metrôs - Escopo 2

Os metrôs estão entre os maiores consumidores individuais de energia elétrica. O Metrô de Londres consome mais de 1 TWh por ano, valor responsável por 2,8% de todo o consumo da cidade, sendo o seu maior consumidor individual. Suas emissões de CO<sub>2</sub> por eletricidade representam cerca de 82% do total de emissões do metrô, sendo 2/3 provenientes dos serviços de trens (LU, 2009). De acordo com MTA (2008) o Metrô de Nova Iorque consome 3,4 TWh a cada ano. Em 2016, a operação do Metrô de São Paulo consumiu 568.000 MWh, sendo a tração elétrica dos trens responsável por aproximadamente 70% da energia consumida (Metrô de São Paulo, 2017). O valor das emissões depende das fontes energéticas utilizadas pelo sistema gerador dessa energia. Nesse aspecto, o Brasil é favorecido por utilizar predominantemente fontes hidroelétricas, de menor emissão que as térmicas. Em 2016, de acordo com dados do EPE (2017), as usinas hidrelétricas e outras fontes renováveis foram responsáveis por cerca de 82% da geração de energia elétrica no

Brasil.

### *2.1.3 Outras emissões indiretas pelos metrôs - Escopo 3*

Existem outros tipos de atividades necessárias ao funcionamento dos metrôs, porém não ligadas diretamente à operação do sistema, como o tratamento do lixo e efluentes e outras. Todas essas atividades produzem as outras emissões indiretas, que podem ou não ser contabilizadas.

## **2.2 As cinco abordagens das emissões de CO<sub>2</sub> pelos metrôs**

Existem diferentes abordagens para estimar a emissão de CO<sub>2</sub> pelos metrôs, dependendo dos aspectos a serem considerados. Na sequência, serão definidas cinco abordagens das emissões de CO<sub>2</sub> pelos metrôs.

### *2.2.1 Abordagem da emissão total produzida:*

É aquela descrita no inventário de emissões de GEE, de acordo com a soma dos resultados dos 3 escopos da Norma ISO 14.064.

### *2.2.2 Abordagem da emissão operacional*

É a emissão de CO<sub>2</sub> relacionada a toda operação do metrô, ou seja, a todo o consumo de eletricidade necessário à operação do sistema, seja a energia das estações, das instalações operacionais, de tração dos trens e outras, sendo amplamente utilizada para fins de comparação de resultados entre os metrôs (CoMet, 2016). A diferença da abordagem da emissão operacional para a abordagem da emissão produzida é que enquanto esta considera todos os três escopos a primeira considera somente as emissões do escopo 2, pelo uso da eletricidade, desconsiderando as emissões do escopo 1 e do escopo 3.

### *2.2.3 Abordagem da emissão da energia de tração dos trens do metrô*

É a emissão de CO<sub>2</sub> relacionada somente ao “combustível” dos trens do metrô, que é a eletricidade que realiza a movimentação dos trens. Ela está diretamente ligada ao consumo de energia de tração dos trens, desprezando outros tipos de consumo de energia elétrica do sistema, como em prédios administrativos, estações, etc. Se trata de um componente das emissões do escopo 2, sendo a mais apropriada para a comparação de resultados com outros meios de transportes, visto que ela analisa somente a emissão provocada pelo combustível.

### *2.2.4 Abordagem da emissão evitada pela existência do metrô*

As emissões evitadas pela existência do metrô em uma grande cidade devem ser

calculadas através do fator “*mode shift*”, que tem como conceito o fato de que, sem a existência de um metrô, a cidade teria uma circulação muito maior de outros meios de transportes mais poluentes. A diferença entre a emissão evitada e a produzida fornecerá a emissão evitada líquida. Esse fator “*mode shift*” foi sugerido inicialmente em estudo da *American Public Transportation Association - APTA* (2009), envolvendo todo o sistema de transporte público da cidade de Nova Iorque. É importante ressaltar a existência e importância do fator “*congestion relief*”, onde o trânsito, sem a existência ou implantação do metrô, traria às ruas mais veículos em circulação, aumentando as emissões de CO<sub>2</sub> do setor de transporte de uma grande cidade APTA (2009). É possível estabelecer diferentes metodologias para se chegar ao resultado das emissões líquidas evitadas. As emissões líquidas evitadas serão determinadas por meio da diferença entre a emissão produzida pelo sistema e a sua emissão evitada. Pode-se concluir, por meio do resultado dessa diferença, se o metrô possui emissão líquida positiva ou negativa. A emissão líquida positiva significa que o metrô produz mais do que evita. A emissão líquida negativa significa que a existência do metrô compensa as emissões produzidas e ainda evita certa quantidade de emissão de GEE.

### 2.2.5 Abordagem da emissão durante o ciclo de vida do metrô

É a estimativa da quantidade de CO<sub>2</sub> emitida durante o tempo de vida útil do metrô, em cada estágio do ciclo de vida, desde a construção do sistema até seu fim de vida, incluindo a operação e a manutenção. A emissão de CO<sub>2</sub> nos metrôs ocorre nas diversas fases do seu ciclo de vida, conforme a figura 1.

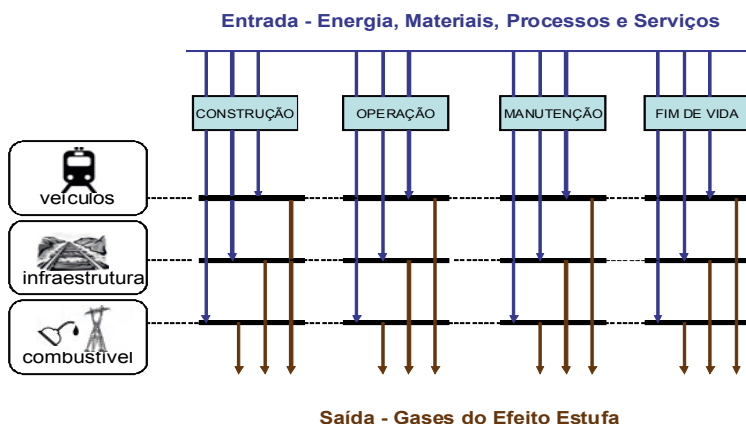


Figura 1 - Modelo conceitual dos componentes do ciclo de vida dos metrôs



A norma ISO 14.040 aborda a emissão de CO<sub>2</sub> sob a avaliação do ciclo de vida, definindo-a como “compilação e avaliação das entradas, das saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida” (ISO, 2009).

A infraestrutura e os veículos compreendem as etapas de construção, operação, manutenção e fim de vida. O combustível, que no metrô é usualmente a eletricidade, tem apenas a etapa de construção (ou seja: a geração da energia elétrica). Portanto a abordagem do ciclo de vida nos metrôs pode ser dividida em componentes operacionais (operação dos veículos e operação da infraestrutura) e não operacionais (construção da infraestrutura, construção dos veículos, manutenção da infraestrutura e manutenção dos veículos). A construção da infraestrutura do metrô inclui etapas como a construção de túneis, elevados e estações; a construção das estruturas que suportam os trilhos e a alimentação energética; e a manufatura dos insumos utilizados nessas construções e nos trilhos. A construção dos veículos inclui a fabricação dos trens e veículos de apoio. A manutenção da infraestrutura e dos veículos inclui a manufatura das peças de manutenção. As escassas pesquisas publicadas sobre avaliações no ciclo de vidas em metrôs têm diferentes abordagens de escopo, contribuindo para dificuldades de comparação entre os estudos realizados. Os processos de fabricação do cimento e do aço, muito utilizados nos metrôs, consomem grandes quantidades de energia. São liberadas na produção de uma tonelada de cimento, de 0,65 a 0,92 tCO<sub>2</sub>, com uma média mundial de 0,83 tCO<sub>2</sub> (IEA, 2007). A produção de uma tonelada de aço libera em média 1,9 tCO<sub>2</sub> (WA, 2018). As emissões de CO<sub>2</sub> pela indústria de cimento em todo o mundo são responsáveis por cerca de 5% das emissões globais (Worrel *et al.*, 2001). A construção da infraestrutura de um metrô é a mais representativa das fases não operacionais quanto à emissão de CO<sub>2</sub> (Morita *et al.* 2011).

### 3 | RESULTADOS

A medição que melhor permite fazer comparações e tirar conclusões é a emissão por pass-km.

#### 3.1 Aplicação da abordagem da emissão total produzida:

A figura 2 mostra um quadro comparativo entre as emissões por pass-km dos metrôs analisados e dos automóveis e ônibus.

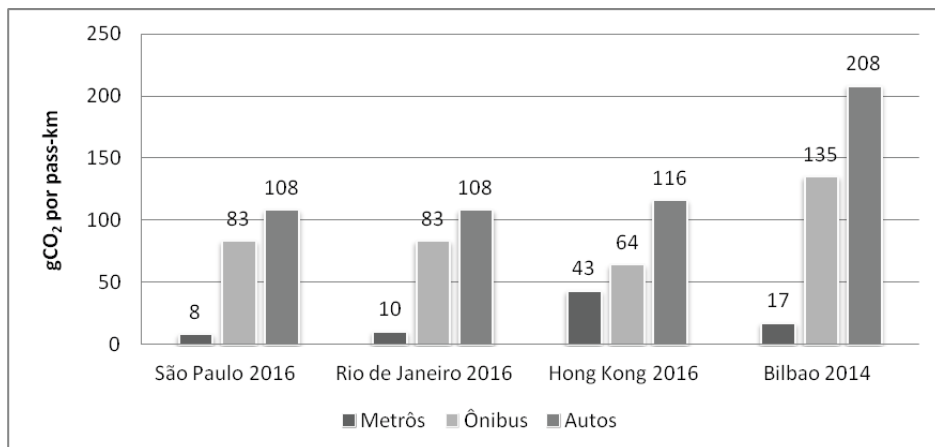


Figura 2 - Emissões totais produzidas, em gCO<sub>2</sub> por pass-km, dos metrô, ônibus e automóveis. (Fontes: Metrô de São Paulo, 2017; MetrôRio, 2018; MTR, 2017; Leung e Jewell, 2013; Metrô de Bilbao, 2015 e Metrô de Bilbao, 2018).

Mas ainda assim, apesar da forma desvantajosa de comparação, observa-se que os metrô têm emissão bem menor que os automóveis (de 2,7 a 13,5 vezes) e ônibus (de 1,5 a 10,4 vezes) nos sistemas analisados, com os melhores desempenhos dos Metrô de São Paulo e do Rio de Janeiro.

### 3.2 Aplicação da abordagem da emissão operacional:

Para aplicação dessa abordagem é necessário o levantamento de toda a eletricidade consumida pela empresa metroviária, ou seja, o resultado do escopo 2 do inventário de emissões de GEE. O CoMet/Nova é um grupo internacional composto de metrô. Em 2016, as emissões desse grupo, pela abordagem operacional, apresentaram resultados que variaram de 5 a 156 gCO<sub>2</sub> por pass-km, com valor médio de 48 (MetrôRio, 2018). No Metrô do Rio de Janeiro, em 2016, foi de 7 gCO<sub>2</sub> por pass-km (MetrôRio, 2018). No Metrô de São Paulo, em 2016, a emissão sob essa mesma abordagem foi também de 7 gCO<sub>2</sub> por pass-km (Metrô de São Paulo, 2017). Considerando a emissão média de ônibus e automóveis, respectivamente, de 83 e 108 gCO<sub>2</sub> por pass-km (Metrô de São Paulo, 2017), conclui-se que as emissões sob a abordagem operacional dos Metrô do Rio de Janeiro e de São Paulo são 15,4 vezes menores que as dos automóveis e 11,9 vezes menores que as dos ônibus. A figura 3 apresenta resultados das emissões, sob a abordagem operacional, em três metrô internacionais, comparando os seus resultados com as emissões dos automóveis e ônibus. Há uma vantagem dos metrô na emissão, que, nos três exemplos dos metrô varia de 1,1 a 9,0 vezes menores que a dos ônibus e de 1,7 a 13,9 vezes menores que a dos automóveis.

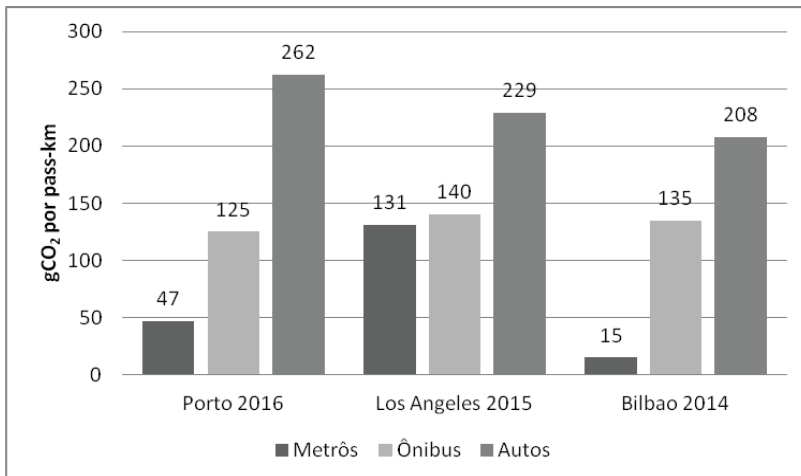


Figura 3 - Emissões operacionais, em gCO<sub>2</sub> por pass-km, dos metrô, ônibus e automóveis. (Fontes: Metrô do Porto, 2017; Metrô de Los Angeles, 2016; MJB & A (2014); Metrô de Bilbao, 2015 e 2018)

O bom desempenho quanto a menor emissão de CO<sub>2</sub> pelos metrô brasileiros ocorre em virtude das diferentes matrizes energéticas usadas na geração de energia, do consumo de eletricidade e da carga de pass-km. O Brasil utiliza predominantemente fontes hidrelétricas. Na maioria dos países existe a predominância de fontes com um *mix* de carvão, óleo e gás (CoMet, 2016).

### 3.3 Aplicação da abordagem da emissão da energia de tração dos trens dos metrô

A tabela 1 mostra os resultados das emissões dos automóveis, ônibus e trens dos metrô em 4 cidades. Os Metrô do Rio e São Paulo apresentaram os melhores resultados. Todos os metrô têm emissão menor que carros e ônibus.

| Países     | Cidades        | Autos | Ônibus | Metrô | Ano base | Fontes                            |
|------------|----------------|-------|--------|-------|----------|-----------------------------------|
| Brasil     | São Paulo      | 108   | 83     | 5     | 2016     | Metrô de São Paulo (2017)         |
| Brasil     | Rio de Janeiro | 108   | 83     | 5     | 2016     | MetrôRio (2018)                   |
| China      | Hong Kong      | 116   | 64     | 32    | 2016     | MTR (2017) e Leung e Jewel (2013) |
| Inglaterra | Londres        | 267   | 89     | 49    | 2015     | Carbon Independent (2015)         |

Tabela 1 – Emissões da energia de tração, em gCO<sub>2</sub>/pass-km, de autos, ônibus e metrô.

Conclui-se que as emissões pela energia de tração dos trens, por pass-km, nos Metrô do Rio de Janeiro e de São Paulo são menores, respectivamente: 21,6 vezes que a dos automóveis e 16,6 vezes que a dos ônibus. Apenas o Metrô de Baltimore apresentou

valor de emissão, por pass-km, superior a dos ônibus, em virtude da baixa taxa de ocupação, com apenas 17% na média (FTA, 2010).

### 3.4 Aplicação da abordagem da emissão evitada pela existência do metrô

Alguns metrô publicaram dados sobre a emissão evitada pela existência de seus sistemas, como os Metrô do Porto e de São Paulo. INVEPAR (2017) realizou esse estudo para o Metrô do Rio. A tabela 2 apresenta um resumo dos resultados encontrados.

|  | São Paulo                                 | Rio de Janeiro              | Porto                       |
|--|---|-----------------------------|-----------------------------|
| Ano base das emissões                        | 2016                                      | 2016                        | 2016                        |
| Emissões produzidas                          | Energia de operação do sistema            | Energia de tração dos trens | Energia de tração dos trens |
|  | 44.000 tCO <sub>2</sub>                   | 13.360 tCO <sub>2</sub>     | 10.903 tCO <sub>2</sub>     |
| Emissões evitadas                            | <i>“mode shift” + “congestion relief”</i> | <i>“mode shift”</i>         | <i>“mode shift”</i>         |
|  | 937.800 tCO <sub>2</sub>                  | 96.580 tCO <sub>2</sub>     | 62.172 tCO <sub>2</sub>     |
| Resultado = Emissões líquidas evitadas       | - 893.400 tCO <sub>2</sub>                | -83.820 tCO <sub>2</sub>    | - 51.269 tCO <sub>2</sub>   |
| Nº toneladas evitadas / tonelada produzida 1 | 21  | 7,2                         | 5,7                         |
| FONTES                                       | Metrô de São Paulo (2017)                 | INVEPAR (2017)              | Metrô do Porto (2017)       |

Tabela 2 - Emissões líquidas evitadas dos Metrô de São Paulo, Rio de Janeiro e Porto.

A cidade do Porto teve o resultado menos significativo em função da matriz energética local, já que Portugal importa 90% da energia primária que utiliza, onde grande parte dessa energia é de origem térmica (Lisboa e-Nova, 2010), que são as fontes de energia mais emissoras do mundo. No Brasil, existe a predominância da fonte hidroelétrica na geração da energia elétrica, que se trata da fonte energética com menor impacto na emissão de GEE. Há uma menor utilização de fontes térmicas na geração da energia elétrica do Brasil do que comparado a Portugal (IPEA, 2011).

### 3.5 Aplicação da abordagem durante o ciclo de vida do metrô

Chester (2008) e Chester e Hovarth (2009a) avaliaram alguns metrô dos Estados Unidos com o objetivo de construir um inventário de ciclo de vida. Determinaram o impacto das fases não operacionais quantificando o crescimento das emissões em relação às fases operacionais, considerando o ciclo de vida. Os resultados desses estudos, divulgados em percentuais de emissões superiores das fases não operacionais comparadas às emissões

das fases não operacionais, foram de: 75% no Metrô de Chicago; 94% no Metrô de Nova Iorque; 119% na Linha BART do Metrô de São Francisco; e de 146% na Linha MUNI do Metrô de São Francisco. Chester e Hovarth (2009b) afirmam que o consumo de energia e as emissões de CO<sub>2</sub> nos metrôs são mais fortemente influenciados pelos componentes não operacionais do que nos sistemas de transporte rodoviários ou aéreos. Chang e Kendall (2011) analisaram o projeto de construção da infraestrutura de uma ferrovia ligando São Francisco a Anaheim, sendo concluído que esse sistema evitaria, por ano, a emissão de 1,15 milhões de tCO<sub>2</sub>, resultando em cerca de 2 anos para a recuperação dos efeitos da emissão de CO<sub>2</sub>. Morita *et al.* (2011) realizaram abrangente estudo do ciclo de vida de ferrovias e o aplicaram em uma ferrovia na cidade de Tóquio, no Japão. Encontraram valores em que, a partir do 22º ano após a inauguração, a emissão operacional já seria maior que a da construção da infraestrutura.

Andrade e D'Agosto (2016) analisaram o ciclo de vida da Linha 4 do Metrô do Rio de Janeiro abrangendo as fases de construção da infraestrutura, fabricação dos trens, manutenção e operação dos trens e da infraestrutura encontrando, para um período de 60 anos de funcionamento, o valor médio de 13,90 gCO<sub>2</sub>/pass-km. Silva *et al.* (2017) avaliaram a construção da infraestrutura e fabricação de trens da Linha 5 do Metrô de São Paulo encontrando uma emissão de 31 mil tCO<sub>2</sub> por quilômetro construído.

## 4 | CONCLUSÕES

A emissão de CO<sub>2</sub> pelos metrôs pode ser analisada sob diferentes abordagens, sendo definidas 5 diferentes abordagens nesse trabalho.

Foi realizada uma análise comparativa dos resultados das emissões de CO<sub>2</sub> pelos metrôs, sob as cinco abordagens, com as emissões de outros meios de transporte de passageiros (automóveis e ônibus), sendo possível concluir que os metrôs levam vantagem em relação ao menor impacto na emissão de CO<sub>2</sub> do que os automóveis e ônibus. Somente nos metrôs com uso extensivo de fontes térmicas ou baixa carga de utilização é que eventualmente os ônibus poderiam ter uma emissão menor, dependendo de sua carga. Esse estudo permitiu quantificar que os metrôs brasileiros levam grande vantagem em relação à maioria dos metrôs do resto do mundo, em virtude de disporem de uma matriz energética baseada em hidrelétricas, com pouco uso de fontes térmicas. Em estimativas conservadoras, considerando os resultados da abordagem da emissão de tração, os Metrôs do Rio de Janeiro e de São Paulo apresentam emissões médias menores do que os outros meios de transportes de passageiros: até 21,6 vezes menor que os automóveis e até 16,6 vezes menor que os ônibus.

As abordagens da emissão operacional e da emissão produzida não alteram muito esses resultados porque, geralmente, a emissão da energia de tração dos trens é o maior componente da emissão total, tipicamente uma fração maior que 2/3 da emissão total. A

abordagem mais usual e adequada para fins de comparação de resultados de emissões com outros meios de transportes é a da emissão da energia de tração dos trens.

A abordagem da emissão evitada pela existência do sistema metroviário, por si só, já é uma evidência da superioridade do metrô em relação ao menor impacto na emissão. A existência da emissão evitada líquida revela que o metrô analisado possibilitou um menor uso de outros meios de transporte mais poluentes, contribuindo para a redução da emissão. Foram encontrados resultados de estudos indicando que, para cada tonelada de GEE emitida pelos metrôs cerca de 5,7 a 21 toneladas são evitadas. O melhor resultado encontrado para essa abordagem foi para o Metrô de São Paulo, que considerou na metodologia adotada, além do fator “*mode shift*”, também o fator “*congestion relief*”.

A proposta para trabalhos futuros consiste em realizar novos estudos que proporcionem o levantamento das emissões de CO<sub>2</sub> na fase de construção de metrôs brasileiros, a fim de realizar novas aplicações práticas da abordagem da emissão do ciclo de vida dos metrôs brasileiros.

## REFERÊNCIAS

Andrade, C. E. S. e D’Agosto, M. A. (2016) Energy use and carbon dioxide emissions assessment in the lifecycle of passenger rail systems: the case of the Rio de Janeiro Metro. *Journal of Cleaner Production* 126 pp. 526-536. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.03.094.

APTA (2009) Recommended practices for quantifying greenhouse gas emissions from transit. *American Public Transportation Association*. Disponível em <<http://www.apta.com/resources/hottopics/sustainability/Documents/Quantifying-Greenhouse-Gas-Emissions-APTA-Recommended-Practices.pdf>>. Acesso em 15/09/18.

Carbon Independent (2015) Carbon Footprint Calculator. Disponível em <<http://www.carbonindependent.org/>>. Acesso em 15/09/18.

Chang, B. e Kendal, A. (2011) Life cycle greenhouse gas assessment of infrastructure construction for California’s high-speed rail system. *Transportation Research Part D*, vol. 16, pp. 429-434. DOI: 10.1016/j.trd.2011.04.004.

Chester, M. (2008) Life-cycle environmental inventory of passenger transportation in the United States. *Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental)*, Universidade da Califórnia, Berkeley. Disponível em <<http://escholarship.org/uc/item/7n29n303>>. Acesso em 15/09/18.

Chester, M. e Horvath, A. (2009a) Life-cycle energy and emissions inventory for motorcycles, diesel, automobiles, school buses and metropolitan rails. *Universidade da Califórnia*, Berkeley. Disponível em <<http://escholarship.org/uc/item/6z37f2jr.pdf>>. Acesso em 15/09/18.

Chester, M. e Horvath, A. (2009b) Environmental assessment of passenger transportation should include infrastructure and supply chains. *Environmental Research Letters*, 2009, vol. 4, n. 2. DOI: 10.1088/1748-9326/4/2/024008.

CoMet (2016) Energy Costs, Renewables and CO<sub>2</sub> Emissions Nova Phase 18 Case Study. *Community of Metros*

CoMet (2012) Temperature and air quality – Final Report. Community of Metros.

EPE (2017) *Balanço energético nacional*. Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em <[https://ben.epe.gov.br/downloads/S%c3%adntese%20do%20Relat%c3%b3rio%20Final\\_2017\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%c3%adntese%20do%20Relat%c3%b3rio%20Final_2017_Web.pdf)>. Acesso em 15/09/18.

FTA (2010) Public Transportation's Role in Responding to Climate Change. *Federal Transit Administration*. Disponível em <<https://www.transit.dot.gov/sites/fta.dot.gov/files/docs/PublicTransportationsRoleInRespondingToClimateChange2010.pdf>>. Acesso em 15/09/18.

Gabrielle, P. D., Brandão, L. C., Treinta, F. T., Mello, J. C. C. B. S. e Carvalho, R. (2013) Comparação internacional da eficiência ambiental dos modos de transporte rodoviário e ferroviário. *Journal of Transport Literature*, vol. 7, n. 1, pp. 212-229.

IEA (2007) Tracking Industrial Energy Efficiency and CO<sub>2</sub> Emissions. *International Energy Agency*. Disponível em <[https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/tracking\\_emissions.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/tracking_emissions.pdf)>. Acesso em 15/09/18.

IEA (2009) Transport, energy and CO<sub>2</sub>. *International Energy Agency*. Disponível em <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/transport2009.pdf>>. Acesso em 15/09/18.

INVEPAR (2017) Relatório anual de 2016. Disponível em <<http://www.invepar.com.br/show.aspx?idMateria=SwFQFeY/omjoioYraKOQ4g==>>. Acesso em 15/09/18.

IPEA (2011) Emissões Relativas de Poluentes do Transporte Motorizado de Passageiros nos Grandes Centros Urbanos Brasileiros. *Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada*. Disponível em <[http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td\\_1606.pdf](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_1606.pdf)> Acesso em 15/09/18.

ISO (2007) ISO 14.064:2007 - Gases de efeito estufa. *International Organization for Standardization*.

ISO (2009) ISO 14.040:2009 - Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. *International Organization for Standardization*.

Leung, M. K. H. e Jewell, S. C. (2013) Carbon footprint management. Disponível em <<http://www6.cityu.edu.hk/aerc/cft/booklet/Guidelines%20E.pdf>>. Acesso em 15/09/18.

Lisboa e-Nova (2010) Uma estratégia energético ambiental para a cidade de Lisboa. *Agência Municipal de Energia-Ambiente de Lisboa*. Disponível em <[http://www.cfn.ist.utl.pt/conf\\_energia/files/21\\_11\\_Apresentacao.pdf](http://www.cfn.ist.utl.pt/conf_energia/files/21_11_Apresentacao.pdf)>. Acesso em 15/09/18.

LU (2009) London underground carbon footprint. *London Underground*. Disponível em <<http://content.tfl.gov.uk/london-underground-carbon-footprint-2008.pdf>> Acesso em 15/09/18.

Metrô de Bilbao (2015) Memoria de sostenibilidad. *Metrô Bilbao*. Disponível em <[https://www.metrobilbao.eus/assets/system/attachments/56cc111fbefd3a4513000b7a/original/MEMORIA\\_SOSTENIBILIDAD\\_2014.pdf?2016-02-23T07:58:23+00:00](https://www.metrobilbao.eus/assets/system/attachments/56cc111fbefd3a4513000b7a/original/MEMORIA_SOSTENIBILIDAD_2014.pdf?2016-02-23T07:58:23+00:00)>. Acesso em 15/09/18.

Metrô de Bilbao (2018) AENOR Verified CO2 environment carbon footprint certificate. Disponível em <<https://www.metrobilbao.eus/en/using-the-underground/map-and-frequencies/latest-news/nueva-pagina-en-15>>. Acesso em 15/09/18.

Metrô de Los Angeles (2016) Metro's 2016 Energy and Resource Report. *Metrô de Los Angeles*. Disponível em <[http://media.metro.net/projects\\_studies/sustainability/images/report\\_sustainability\\_energyandresource\\_2016.pdf](http://media.metro.net/projects_studies/sustainability/images/report_sustainability_energyandresource_2016.pdf)>. Acesso em 15/09/18.

Metrô de São Paulo (2017) Relatório de Sustentabilidade de 2016. *Metrô de São Paulo*. Disponível em <<https://transparencia.metrosp.com.br/sites/default/files/Relat%C3%B3rio%20de%20Sustentabilidade%20-%20202016.pdf>> Acesso em: 15/09/18.

Metrô do Porto (2017) Relatório de Sustentabilidade de 2016. Metrô Porto. Disponível em <[https://www.metroporto.pt/uploads/document/file/420/metro\\_rel\\_sustentabilidade\\_03MAI.pdf](https://www.metroporto.pt/uploads/document/file/420/metro_rel_sustentabilidade_03MAI.pdf)>. Acesso em 15/09/18.

MetrôRio (2018) – Inventário de emissões de gases do efeito estufa do metrô do Rio de Janeiro de 2015 e 2016 e outras informações. Disponibilizado pelo Diretor de Operações do MetrôRio Daniel Habib.

Morita, Y., Yamasaki, T., Shimizu, K., Kato, H. e Shibahara, N. (2011) A Study on Greenhouse Gas Emission of Urban Railway Projects in Tokyo Metropolitan Area. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, vol. 8.

MJB & A (2015) Updated Comparison of Energy Use & CO<sub>2</sub> Emissions From Different Transportation Modes. Disponível em <<https://www.buses.org/assets/images/uploads/general/Report%20-%20Energy%20Use%20and%20Emissions.pdf>>. Acesso em 15/09/18.

MTA (2008) Renewable energy task report. *Metropolitan Transport Authority*. Disponível em <<http://web.mta.info/sustainability/pdf/MTA%20Renewable%20Energy%20Report%2010%2029%2008.pdf>>. Acesso em 15/09/18.

MTA (2009) Greening mass transit. *Metropolitan Transport Authority*. Disponível em <<http://web.mta.info/sustainability/pdf/SustRptFinal.pdf>>. Acesso em 15/09/18.

MTR (2017) Sustainability Report. *Mass Transit Railway*. Disponível em <[http://www.mtr.com.hk/sustainability/2017rpt/en/corporate/sustainability/2017rpt/pdf/MTR\\_Full2017\\_Eng.pdf](http://www.mtr.com.hk/sustainability/2017rpt/en/corporate/sustainability/2017rpt/pdf/MTR_Full2017_Eng.pdf)>. Acesso em 15/09/18.

Silva, C. B. P., Neto, R. C. S. e Aragão, W. A. (2017) Emissões de gases de efeito estufa associadas ao ciclo de vida de uma linha de metrô: Estudo de caso da Linha 5 – LILÁS do metrô de São Paulo. Disponível em <[http://www.aeamesp.org.br/wp-content/uploads/2017/09/artigo\\_GEE\\_LINHA5.pdf](http://www.aeamesp.org.br/wp-content/uploads/2017/09/artigo_GEE_LINHA5.pdf)> e <[http://www.aeamesp.org.br/23semana/wp-content/uploads/2017/09/rcs Arabia@metrosp.com\\_.br\\_.pdf](http://www.aeamesp.org.br/23semana/wp-content/uploads/2017/09/rcs Arabia@metrosp.com_.br_.pdf)>. Acesso em 15/09/18.

WA (2018) Steel's contribution to a low carbon future. *Worldsteel Association*. Disponível em <<https://www.worldsteel.org/publications/position-papers/steel-s-contribution-to-a-low-carbon-future.h>>. Acesso em 15/09/18.



Worrel, E., Price, L. e Martin, N. (2001) Carbon dioxide emissions from the global cement industry. *Annual Review of Energy and the Environment*. vol. 26, pp. 303-329. DOI: 10.1146/annurev.energy.26.1.303.

WRI (2013) *GHG Protocol*. World Resources Institute. Disponível em <<http://www.ghgprotocol.org>>. Acesso em 15/09/18.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Atualização de matriz de insumo-producto 117

Aquicultura 86, 87, 88, 96, 97, 98, 105

Armazenagem de Materiais 162

Assignment 5, 63, 64, 65, 66, 68, 69, 70

Automação 86, 88, 96, 97, 98, 106, 150

Automóveis 39, 40, 44, 45, 46, 48

### C

Cartas de controle 96, 99, 101, 102, 103, 104, 106

CO<sub>2</sub> 4, 20, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 46, 48, 49, 50, 51

Concentrador de canal parabólico 53, 55

CTE 71, 72, 74, 80, 83, 84, 85

Cuello de botella 107, 109, 112

### D

Doenças epidemiológicas 27, 33, 36, 37

Dosador 5, 86, 96, 98, 99, 104, 105

### E

Emissões 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 178

Endereçamento Logístico 162, 166, 167, 172, 173, 175, 176

Energía Solar 53, 54, 55

### F

Ferramentas da Qualidade 13, 14, 15, 17, 25, 26

Flujo de calor perdido 53, 58, 59, 60

### G

Gestão de Estoques 6, 162, 165, 176

Gestão Financeira 3, 4, 1, 2, 3, 4, 10, 11

Grupo de Melhoria de Resultados 13, 20

### I

Impressão 3D 6, 138, 139, 140, 141, 142, 145

Innovation Cells 152

## **L**

Limitaciones 107, 108, 112, 116, 125, 126

Logística 31, 36, 162, 165, 176

## **M**

Manufatura aditiva 138, 139, 140, 141, 143, 144, 145, 147, 148, 150

Mapeamento de Estoques 6, 162, 163, 170, 175

Meio ambiente 2, 15, 27, 29, 30, 32, 34, 36

Método RAS básico 127

Metrôs 4, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49

Mezcla de productos 107, 110, 112, 113, 115

Modelo de insumo-producto 117

Movie 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69

## **O**

Ônibus 39, 40, 44, 45, 46, 47, 48, 178

Optimization 63, 64, 69, 72

Organizações Sem Fins Lucrativos 1, 2, 4, 11

## **P**

PDCA 13, 14, 17, 20, 24, 25, 26

Pneus 4, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38

Precision 6, 75, 97, 152, 153, 157, 158

Produção de molde para injeção de termoplásticos 138

## **R**

Reciclabilidade 27

Recursos con capacidad restringida 107, 112, 115

Replaceable System 152

## **S**

Saúde pública 27, 30

Self-Study 71, 72

Serum perfusion 6, 152

Software 71, 72, 73, 74, 75, 91, 96, 97, 99, 162, 163

Steal Structures 72

## T

Teaching 5, 71, 72, 73, 84, 85

Teoría de restricciones 5, 107, 108, 109, 112

Terceiro Setor 4, 1, 2, 3, 4, 10, 11, 12

# COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA DE PRODUÇÃO 2

- 
-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
  -  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
  -  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
  -  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA DE PRODUÇÃO 2

- 
-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
  -  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
  -  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
  -  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)