



**ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL EM INFRAESTRUTURAS VIÁRIAS: APLICAÇÃO DA  
AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV) EM DIFERENTES TIPOS DE SUPERESTRUTURA DE PONTES**

**Me. Dayvson Carlos Batista de Almeida**



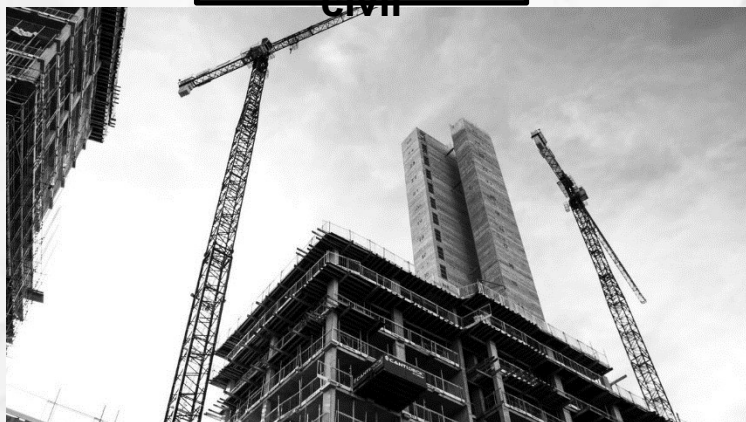
**TRIBUNAL DE CONTAS  
ESTADO DO AMAZONAS**

- Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFPE (Estruturas com ênfase em Construção Civil, 2020-atual).
- Mestre em Engenharia Civil (2019) - UPE
- Engenheiro Civil (2016) pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.
- Auditor Técnico de Controle Externo – Obras Públicas no Tribunal de Contas do Estado do Amazonas (TCE-AM).

## 1. INTRODUÇÃO

- Globalmente, estamos atravessando uma crise climática (MORRIS; ALLEN; HAWKINS, 2021; WANG et al., 2021).

### Construção civil



→ **1/3** da energia produzida e emite cerca de **39%** dos gases de efeito estufa produzidos globalmente pelas atividades humanas (GU et al., 2021).

→ A produção de cimento contribui com **5 a 8%** das emissões de CO<sub>2</sub> em todo o mundo (QUINTANA-GALLARDO et al., 2021).

- Surge a necessidade de identificar materiais alternativos que possam substituir os materiais virgens tradicionalmente usados (SANDANAYAKE; LAW; SARGENT, 2022).

## 1. INTRODUÇÃO

- No que se refere às condições das rodovias constatou-se que, em 2022 (CNT, 2022)

**66%** problema no estado

geral

**55,5%** problema relacionadas ao pavimento

**60,7%** revelaram deficiências na sinalização

**64,0%** evidenciaram falhas na geometria



- Segundo o DNIT, até maio de 2023 havia 736 pontes em grau crítico ou ruim no Brasil.

## 1. INTRODUÇÃO

- Lei 14.133 de 2021:

Art. 11. O processo licitatório tem por objetivos:

I - assegurar a seleção da proposta apta a gerar o resultado de contratação mais vantajoso para a Administração Pública, inclusive no que se refere ao ciclo de vida do objeto;

Art. 34. O julgamento por menor preço ou maior desconto e, quando couber, por técnica e preço considerará o menor dispêndio para a Administração, atendidos os parâmetros mínimos de qualidade definidos no edital de licitação.

§ 1º Os custos indiretos, relacionados com as despesas de manutenção, utilização, reposição, depreciação e impacto ambiental do objeto licitado, entre outros fatores vinculados ao seu ciclo de vida, poderão ser considerados para a definição do menor dispêndio, sempre que objetivamente mensuráveis, conforme disposto em regulamento.

## 1. INTRODUÇÃO

- Muitas dessas pontes estão chegando ao fim de sua vida útil e requerem decisões acertadas por parte dos projetistas (RAEISI et al., 2021).
- Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica reconhecida mundialmente ,porém são escassos os estudos sobre ACV em pontes (MA et al., 2021) .
- ACV é reconhecida como um dos métodos mais complexos de avaliação ambiental em construções (SOUST-VERDAGUER; LLATAS; GARCÍA-MARTÍNEZ, 2016).



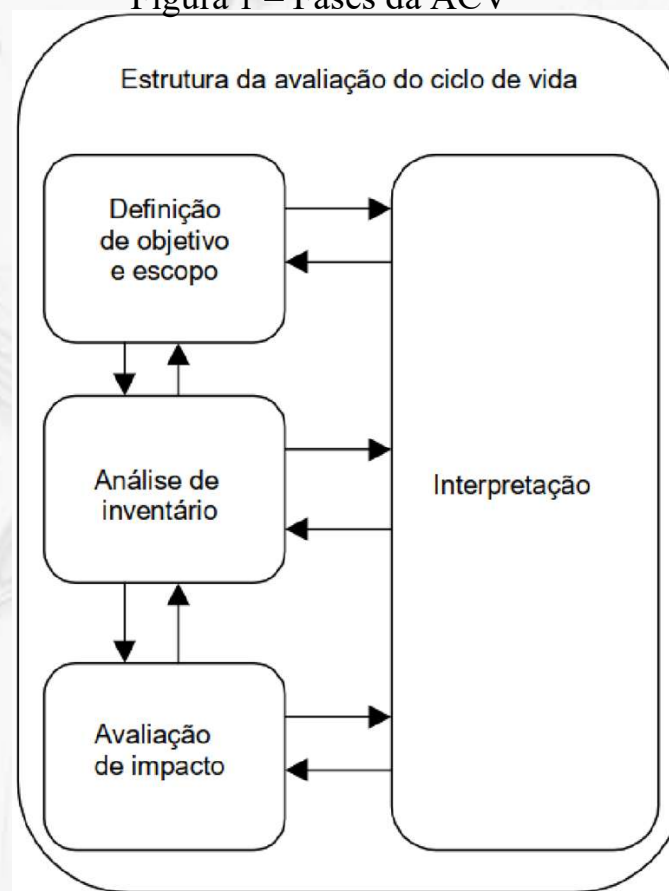
## 1.2 Objetivo Geral

- Identificar os potenciais impactos ambientais por meio da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida, considerando dois tipos de pontes, uma com superestrutura de concreto armado e outra com superestrutura mista de aço e concreto, avaliadas sob diferentes cenários de análise.
- Com isso, pretende-se apoiar a tomada de decisões sustentáveis na fase de projeto de infraestruturas viárias, promovendo o desenvolvimento de abordagens mais eficazes na avaliação dos impactos ambientais dessas estruturas.

## 2. Avaliação do Ciclo de Vida

- Para conduzir a Avaliação do Ciclo de Vida, a ISO 14040 (ISO 14040, 2009) ressalta quatro etapas necessárias (Figura 1):

Figura 1 – Fases da ACV

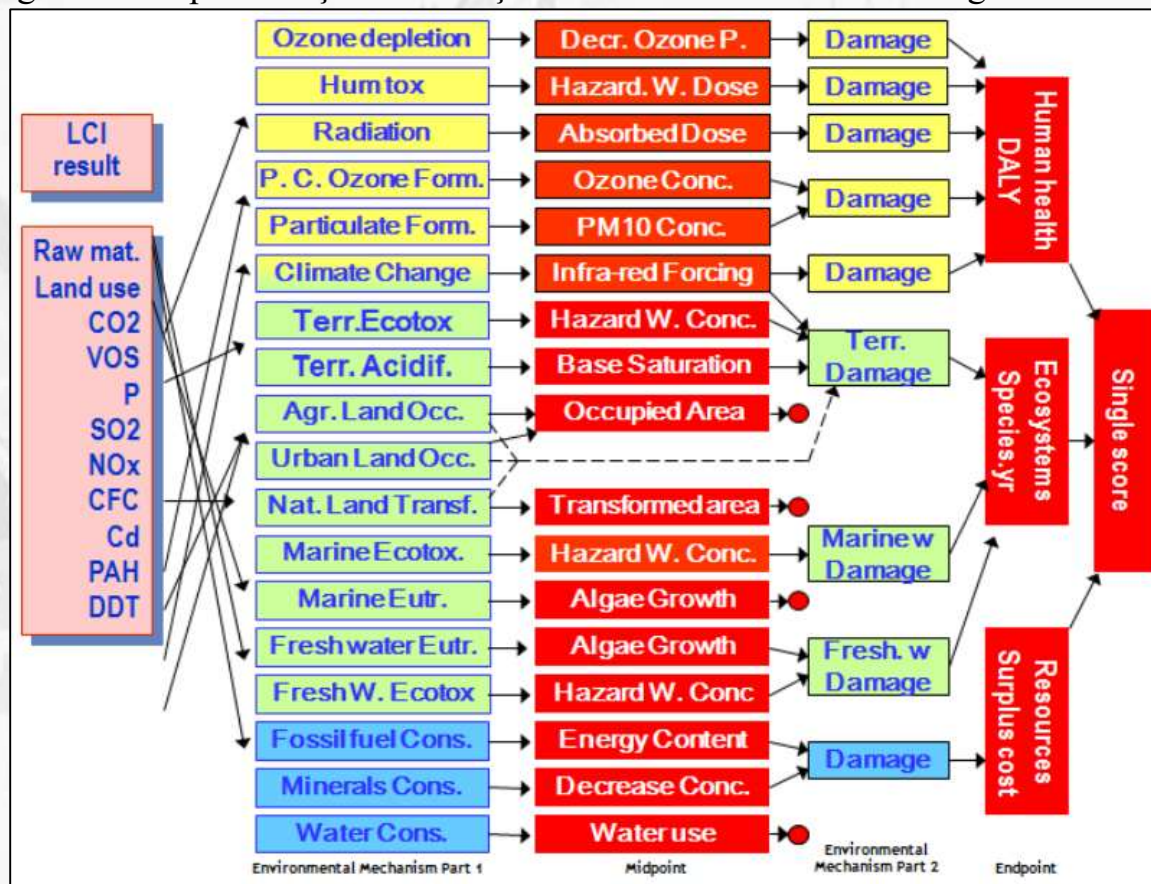




## 2. Avaliação do Ciclo de Vida

- Método de avaliação de impacto do ciclo de vida ReCiPe 2016 Midpoint (H):

Figura 2 – Representação das relações entre o inventário e as categorias de impactos

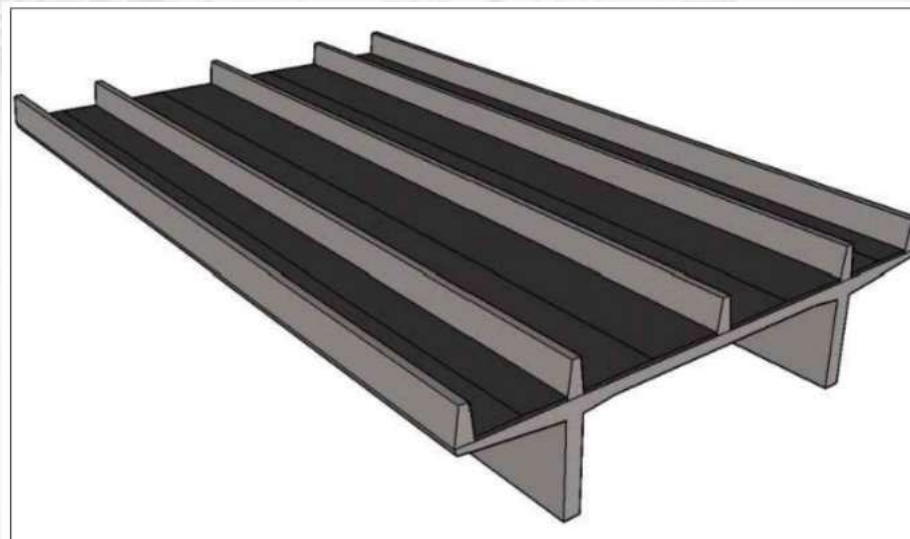
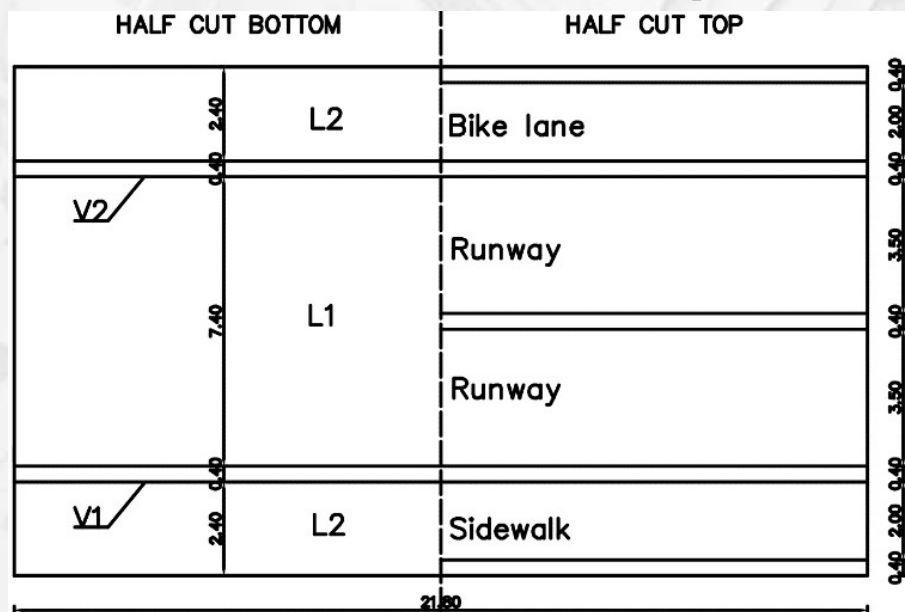


Fonte: Pré-Sustainability (2022)

### 3. Metodologia

- Objeto de estudo: superestrutura de uma ponte pré-moldada, com dimensões de 13 metros de largura e 21,8 metros de comprimento.
- Ponte de classe 45, de acordo com a norma brasileira NBR 7188 (ABNT, 2013), baseada em um veículo-tipo de 450 kN de peso total.
- Laje de concreto armado pré-moldado de 35 MPa.

Figura 3 – Vista superior da ponte: (a) Vista superior e de corte da ponte; (b) Vista 3D da superestrutura da ponte com as defensas



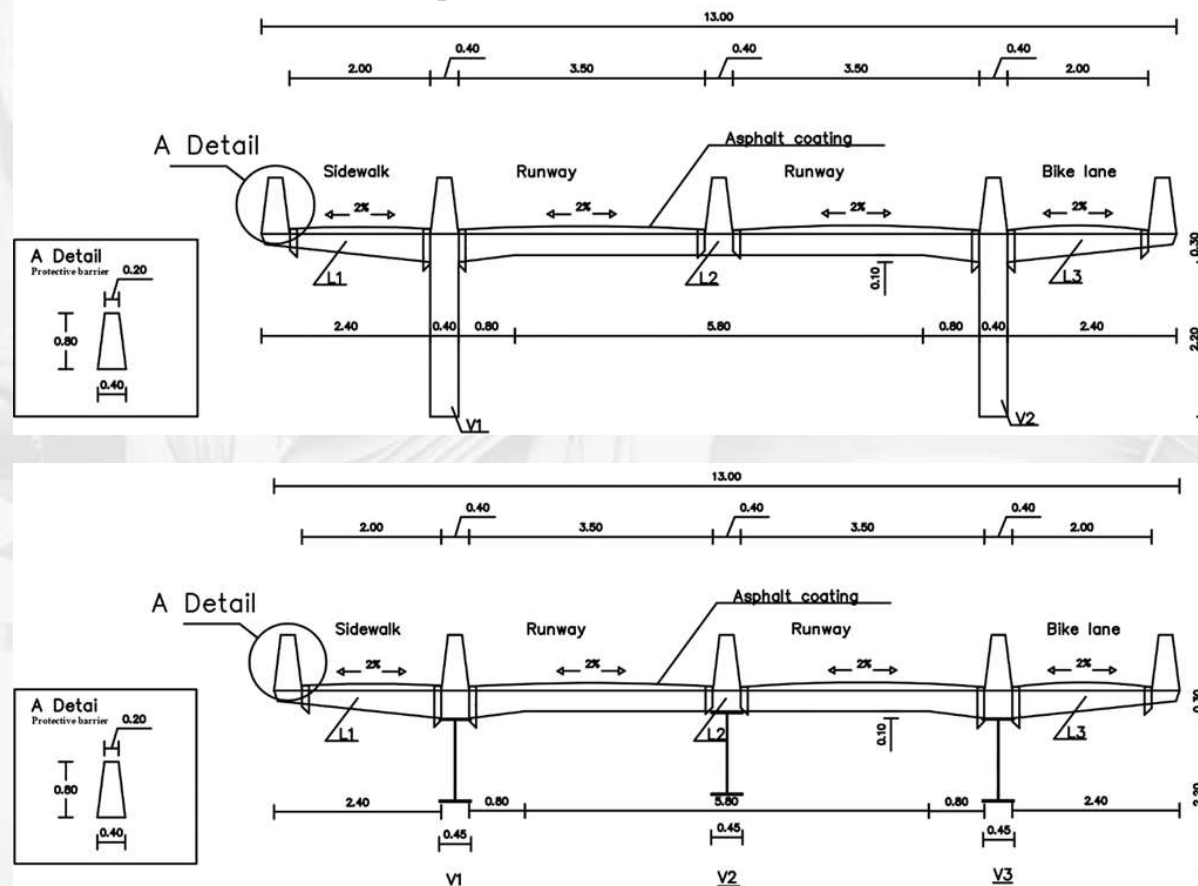
### 3. Metodologia

- Com o objetivo de avaliar os impactos ambientais em diferentes composições dos elementos estruturais da superestrutura, foram considerados seis modelos de pontes:
  1. Ponte de vigas e lajes de concreto armado (PCA).
  2. Ponte de vigas e lajes de concreto armado com substituição de 50% de agregado natural por agregado reciclado (PCA-50%).
  3. Ponte de vigas e lajes de concreto armado com substituição de 100% de agregado natural por agregado reciclado (PCA-100%).
  4. Ponte mista de vigas de aço e lajes de concreto armado (PMA).
  5. Ponte mista de vigas de aço e lajes de concreto armado com substituição de 50% de agregado natural por agregado reciclado (PMA-50%).
  6. Ponte mista de vigas de aço e lajes de concreto armado com substituição de 100% de agregado natural por agregado reciclado (PMA-100%).

### 3. Metodologia

- As Figuras 4a e 4b mostram as seções transversais das pontes de concreto armado e das pontes mistas, assim como as dimensões de seus componentes.

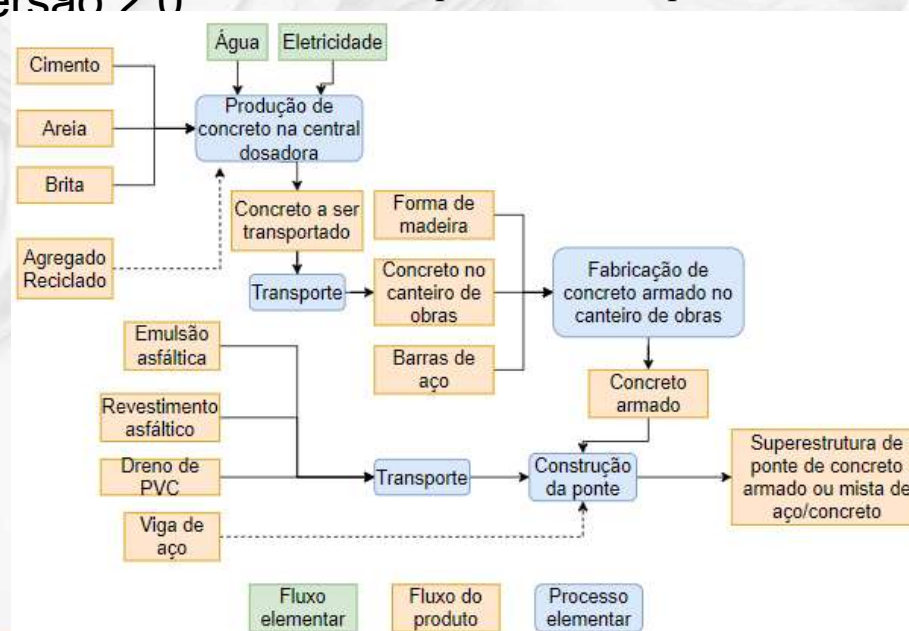
Figura 4 – Seção transversal da ponte: (a) de concreto armado; (b) e mista de aço/concreto



### 3. Metodologia

- **Escopo:** berço-à-porta
- **Unidade funcional:** m<sup>3</sup> de ponte construída.
- **Base de dados:** Evah OzLCI2019 (The Evah Institute, 2023) e Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção (SIDAC) (Oliveira; Lidiane Santana; John, 2023)
- **Método:** ReCiPe 2016 Midpoint (H) (Huijbregts et al., 2016)
- **Software:** OpenLCA versão 2.11

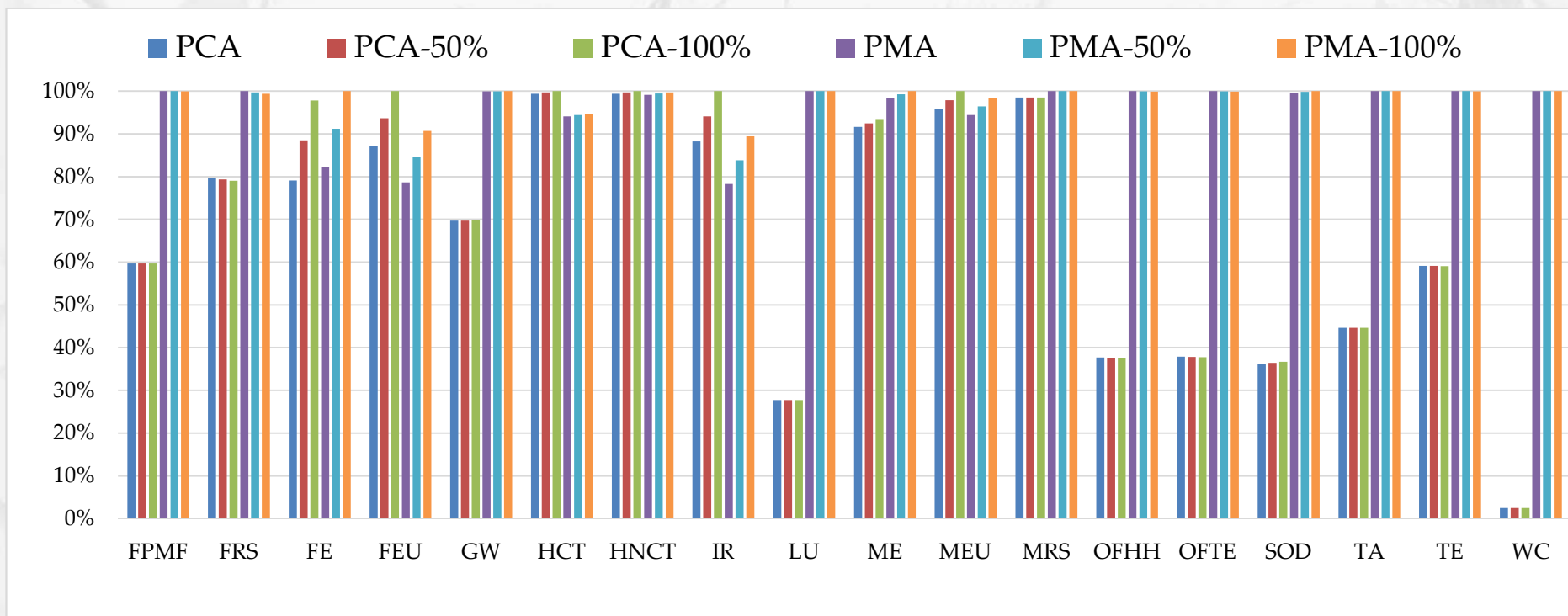
Figura 5 Inventário da superestrutura da ponte



## 4. Resultados

- A Figura 6 ilustra os resultados relativos dos indicadores para os diferentes modelos de pontes, utilizando o método de avaliação ReCiPe 2016 Midpoint (H) (Huijbregts et al. 2016):

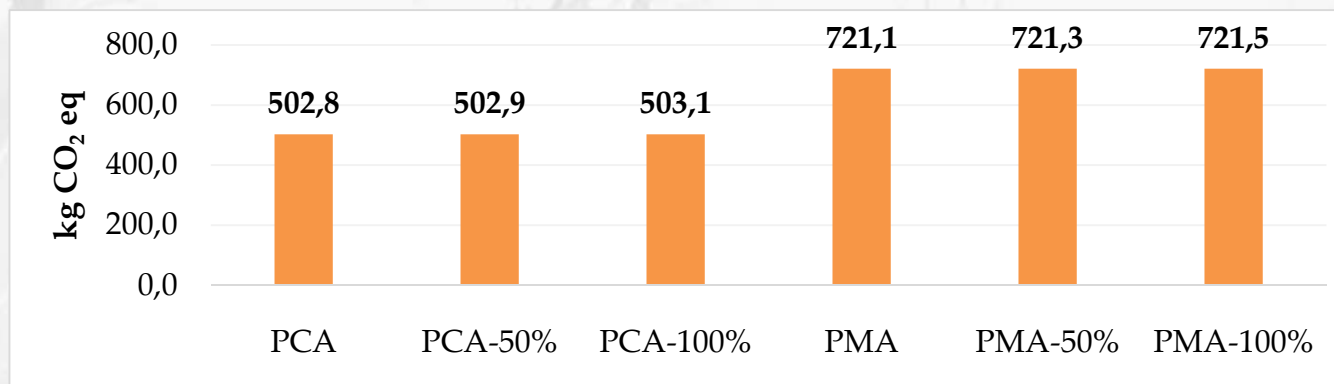
Figura 6 – Comparação do impacto ambiental por m<sup>3</sup> dos diferentes tipos de pontes em análise; método ReCiPe 2016 Midpoint



## 4.1 Aquecimento Global (GW)

- A Figura 7 apresenta os resultados relativos ao indicador de Aquecimento Global (GW), expressos em quilogramas de dióxido de carbono equivalente (kg CO<sub>2</sub> eq),

Figura 7 – Aquecimento Global (GW)



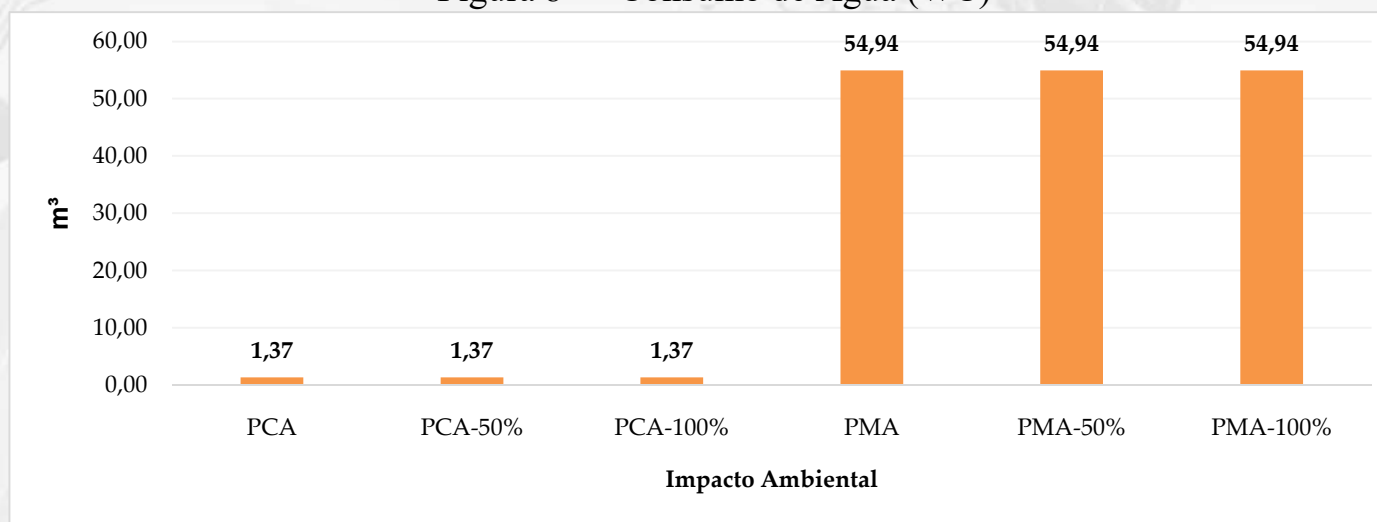
- A Tabela 1 apresenta os resultados relativos ao indicador de Aquecimento Global (GW), expressos em quilogramas de dióxido de carbono equivalente (kg CO<sub>2</sub> eq),

Tabela 1– Análise do impacto GW no comparativo entre 1 m<sup>3</sup> viga metálica e 1 m<sup>3</sup> de viga de concreto armado

Emissão	Viga metálica	Viga de concreto armado
CO <sub>2</sub>	14.871,40 kg	379,99 kg
CH <sub>4</sub>	27,45 kg	0,44 kg

## 4.2 Consumo de Água

Figura 8 – Consumo de Água (WC)

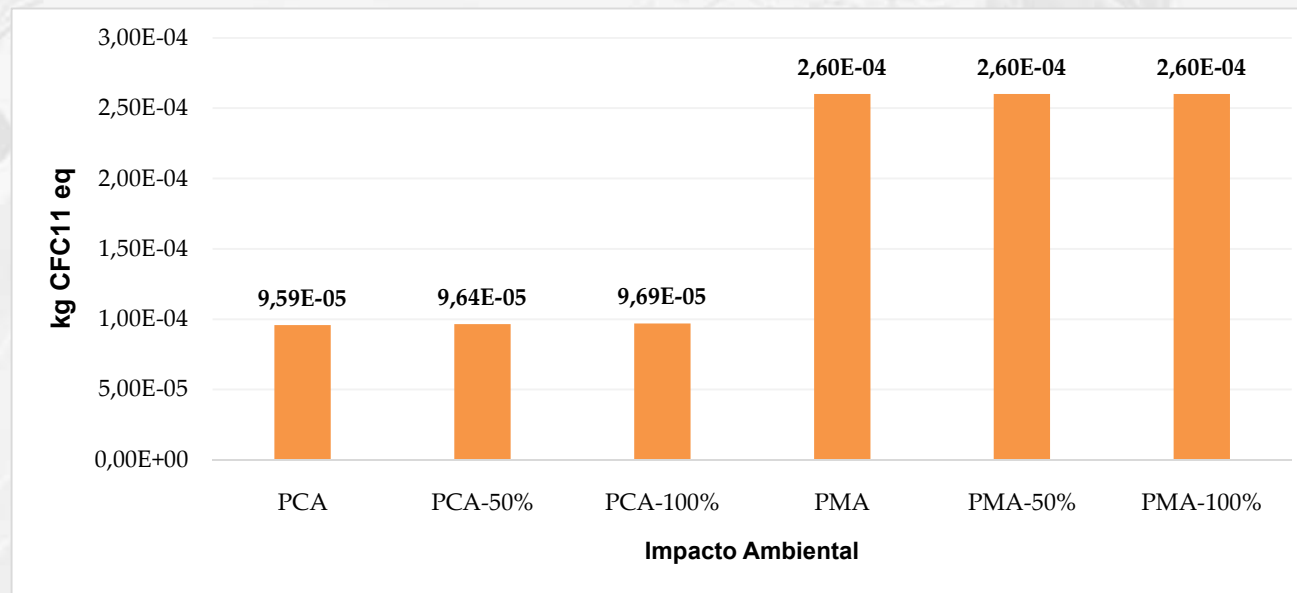


- Essa diferença pode ser explicada pela natureza dos processos envolvidos na produção dos materiais, uma vez que a fabricação do aço consome grandes quantidades de água, especialmente para resfriamento e outros procedimentos na siderurgia.



### 4.3 Destruição da Camada de Ozônio Estratosférico (SOD)

Figura 9 – Destruição da Camada de Ozônio Estratosférico (SOD)

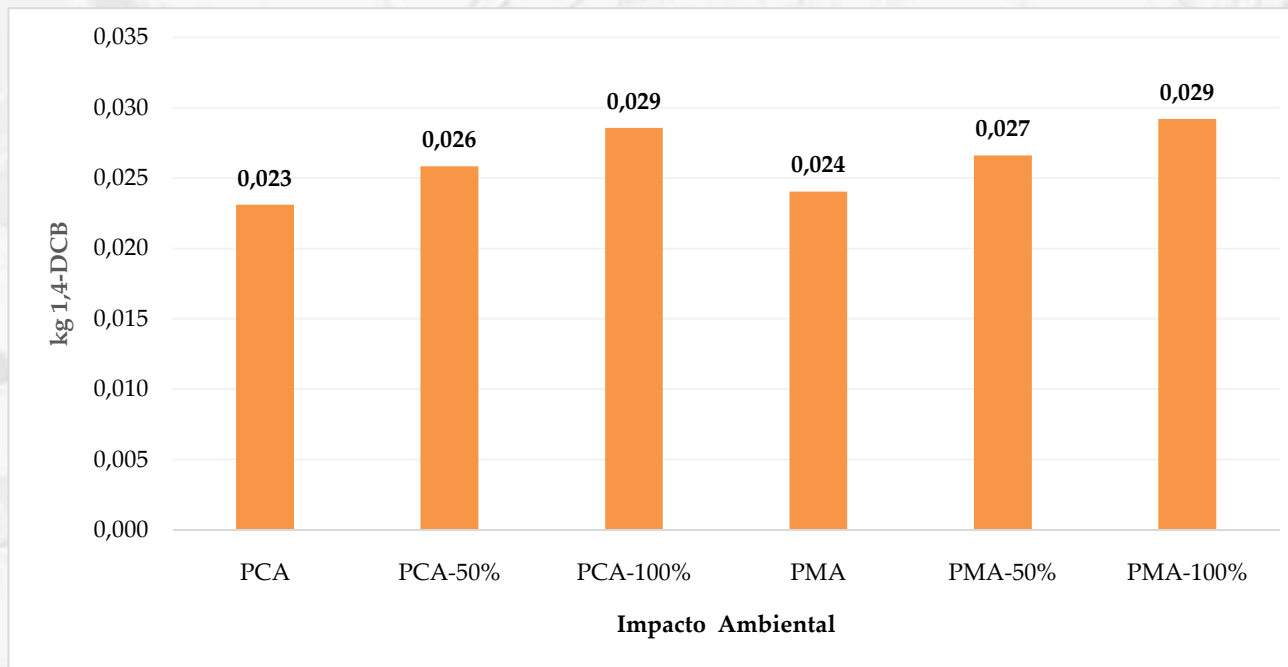


- A emissão elevada de óxidos nitrosos (0,01367 kg) e triclorofluorometano (0,00011 kg) nas pontes mistas de aço/concreto resulta em um impacto ambiental mais acentuado nesse indicador, quando comparado às pontes de concreto, cujas emissões são significativamente menores, com 0,00768 kg de óxidos nitrosos e 8,58E-6 kg de triclorofluorometano.

#### 4.4 Ecotoxicidade em Água Doce (FE)

- Observa-se que as pontes de concreto armado (PCA, PCA-50%, PCA-100%) e as pontes mistas de aço/concreto (PMA, PMA-50%, PMA-100%) apresentam valores próximos, variando entre 0,023 kg 1,4-DCB eq para o modelo PCA e 0,029 kg 1,4-DCB eq para os modelos PCA-100% e PMA-100%.

Figura 10 – Ecotoxicidade em Água Doce (FE)



#### 4.4 Ecotoxicidade em Água Doce (FE)

- A Tabela 2 apresenta um comparativo de emissões entre 1 kg de agregado reciclado e 1kg de areia natural quanto ao indicador FPMF.

Tabela 2– Análise comparativa da emissão de FPMF entre agregados reciclado e natural

<b>Emissão</b>	<b>Agregado reciclado</b>	<b>Areia natural</b>
Zinco	2,08E-08 kg	1,50E-10 kg
Cobre	8,61E-09 kg	6,85E-10 kg
Níquel	1,55E-08 kg	2,42E-10 kg
Vanádio	3,73E-09 kg	2,67E-09 kg
Antimônio	1,38E-09 kg	-
Decano	-	3,81E-09 kg
Crômio	-	1,15E-08 kg
Arsênio	-	2,96E-10 kg
Bário	-	3,65E-09 kg
Cádmio	-	2,02E-10 kg

- Embora a areia natural emita uma maior variedade de metais pesados, o agregado reciclado emite concentrações mais elevadas de metais com maior impacto na ecotoxicidade em água doce, como zinco, níquel, vanádio e cobre.

- Os resultados indicam que as pontes de concreto armado apresentaram menor impacto ambiental global, especialmente nos indicadores de Aquecimento Global (GW), Consumo de Água (WC) e Destruição da Camada de Ozônio (SOD), em comparação às pontes mistas de aço/concreto.
- A produção do aço, intensiva em energia e emissora de compostos prejudiciais ao meio ambiente, foi a principal responsável pelos impactos negativos mais elevados nos modelos mistos.
- Embora o uso de agregados reciclados represente uma estratégia promissora para a sustentabilidade, observou-se um leve aumento nos indicadores de ecotoxicidade em água doce (FE), especialmente nos cenários com 100% de substituição, possivelmente devido à presença de metais pesados nos materiais reciclados.

- Em resumo, as pontes de concreto armado de forma geral apresentaram um impacto ambiental menor em comparação com as pontes mistas, embora com algumas exceções em indicadores específicos.
- Esses resultados demonstram o potencial da ACV como ferramenta estratégica no planejamento sustentável de obras públicas, e reforçam a necessidade de políticas que incentivem o uso de materiais de menor impacto ambiental."

- ABNT. (2013). **NORMA BRASILEIRA ABNT NBR NBR 7188:2013** Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. Norma Brasileira, 64.
- ABNT, A. B. de N. T. (2009). **ABNT NBR ISO 14040**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípio e estrutura. 1–21.
- Almeida, D. C. B. de, & Carneiro, A. M. P. (2025). Environmental impact of steel/concrete composite bridges and reinforced concrete bridges: a comparative analysis through Life Cycle Assessment. **Ambiente Construído**, 25. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212025000100792>
- Brasil. (2021). **LEI Nº 14.133, DE 1º DE ABRIL DE 2021** - DOU - Imprensa Nacional.
- CNT. (2022). **Anuário CNT do Transporte 2022** - Princiáis Dados. 1–25.
- European Commission-Joint Research Centre-Institute for Environment and Sustainability. (2010). **International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook**: Review Schemes for Life Cycle Assessment, 1st ed. In International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook (1st ed.). <https://doi.org/10.2788/39791>
- Fernandes, J., Peixoto, M., Mateus, R., & Gervásio, H. (2019). Life cycle analysis of environmental impacts of earthen materials in the Portuguese context: Rammed earth and compressed earth blocks. **Journal of Cleaner Production**, 241. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118286>
- Huijbregts, M., Steinmann, Z. J. N., Elshout, P. M. F. M., Stam, G., Verones, F., Vieira, M. D. M., Zijp, M., & van Zelm, R. (2016). ReCiPe 2016. **National Institute for Public Health and the Environment**, 194. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2016-0104.pdf>

ISO 14040. (2009). **Environmental assessment - Life cycle assessment - Principles and framework**. International Standard Organisation, 1997, 1–20.

ISO (International Organization for Standardization). (2014). **ISO 14044:2006**; ISO, Environmental management—Life cycle assessment—Requirements and guidelines. International Organization for Standardization (ISO):

Llantoy, N., Chàfer, M., & Cabeza, L. F. (2020). A comparative life cycle assessment (LCA) of different insulation materials for buildings in the continental Mediterranean climate. **In Energy and Buildings** (Vol. 225). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110323>

Lvel, J., Watson, R., Abbassi, B., & Abu-Hamattah, Z. S. (2020). Life cycle analysis of concrete and asphalt used in road pavements. **Environmental Engineering Research**, 25(1), 52–61. <https://doi.org/10.4491/eer.2018.399>

Oliveira, Lidiane Santana; John, V. J. **Sidac - Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção**. Retrieved March 20, 2023, from [https://sidac.org.br/conteudo\\_tecnico](https://sidac.org.br/conteudo_tecnico)

Oliveira, Lidiane Santana; John, V. J. **Sidac - Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção**. Retrieved March 19, 2023, from [https://sidac.org.br/conteudo\\_tecnico](https://sidac.org.br/conteudo_tecnico). Acesso em: 20 mar. 2023.

The Evah Institute. (n.d.). **Evah OzLCI2019 Free Database**. Retrieved April 11, 2023, from <https://nexus.openlca.org/database/OzLCI2019>