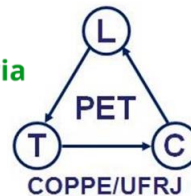


5º Workshop Cenários Prospectivos para Uso de Energia em Transportes

Mobilidade elétrica - Avaliação do Ciclo de Vida de caminhões com motores elétricos a bateria e Ciclo Diesel Euro VI produzidos pela indústria brasileira

Prof. Ana Carolina Maia Angelo, EEIMVR/UFF

16 de maio de 2024



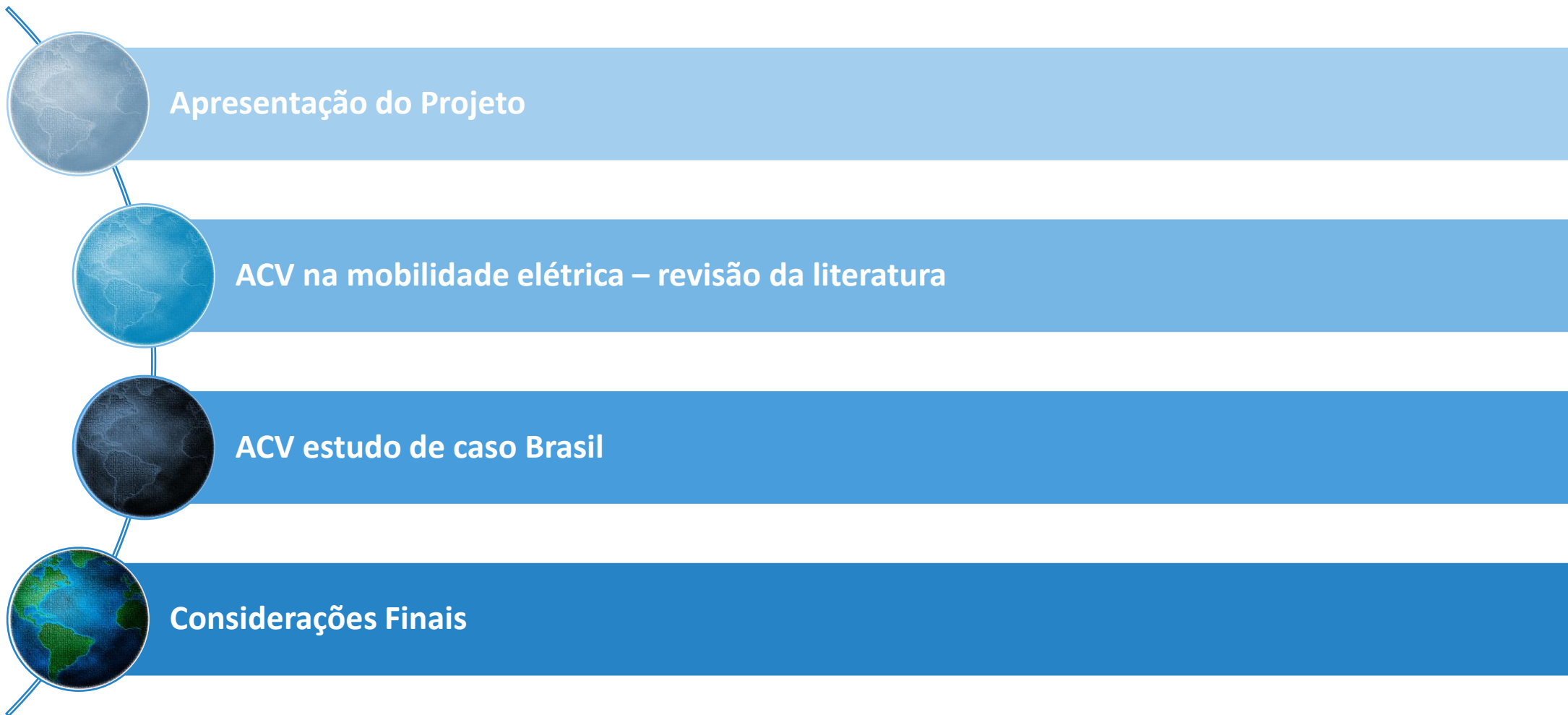
Laboratório de
Transporte de Carga



Universidade
Federal do
Rio de Janeiro



Agenda



Apresentação do Projeto

Avaliação do Ciclo de Vida de caminhões com motores elétricos a bateria e Ciclo Diesel Euro VI produzidos pela indústria brasileira (CNPq/FNDCT/MCTI 15/2022)

- Cerca de 57% da divisão modal brasileira é dependente do transporte por caminhões. Diferentemente de veículos de passageiros, não há iniciativas de aplicação de método de ACV para caminhões no Brasil, representando uma lacuna de dados e pesquisa no tema. Com base nas normas ISO 14040 e ISO 14044:2009, o método proposto permitirá a **avaliação do desempenho ambiental do 1º caminhão 100% elétrico desenvolvido e fabricado no Brasil** e um ciclo Diesel Euro VI.



Apresentação do Projeto

Objetivos do Projeto

Aplicar a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) completa - Escopo, ICV, AICV e Interpretação – por meio da abordagem do berço ao portão e do poço à roda, considerando a realidade brasileira para a produção e operação de caminhões elétricos à bateria plug-in e caminhão do ciclo Diesel Euro VI desenvolvidos e produzidos no Brasil.

- Comparar o desempenho ambiental dos dois veículos (caminhão elétrico à bateria plug-in e caminhão do ciclo Diesel Euro VI);
- Identificar e compreender os potenciais impactos ambientais do ciclo de vida (*hot spots*) do caminhão elétrico à bateria plug-in no contexto brasileiro;
- Identificar e compreender os potenciais impactos ambientais do ciclo de vida (*hot spots*) do caminhão do ciclo Diesel Euro VI no contexto brasileiro;
- Avaliar a influência da capacidade de carga no desempenho ambiental do veículo elétrico à bateria;
- Identificar as categorias de impacto ambiental mais relevantes para a indústria automobilística brasileira.



Apresentação do Projeto

Veículos analisados

e-Delivery 11



Fabricante / Modelo

VW 280

Potência Líq. Máx. - cv (kW) @ rpm (*)

300 @ 1.360 á 3.500

Torque Líq. Máx. - Nm @ rpm (*)

2.150 @ 0 á 1.360

Peso Bruto Total (PBT) - Homologado

11.400

X

Delivery 11.180



Fabricante / Modelo

Cummins / ISF 3.8l

Potência Líq. Máx. - cv (kW) @ rpm

175 (129) @ 2.500

Torque Líq. Máx. - Nm @ rpm

600 @ 1.100 - 1.800

Transmissão

Manual - Eaton / ESO 6106 Automatizada - Eaton /

EAO 6106

Peso Bruto Total (PBT) - Homologado (Brasil)

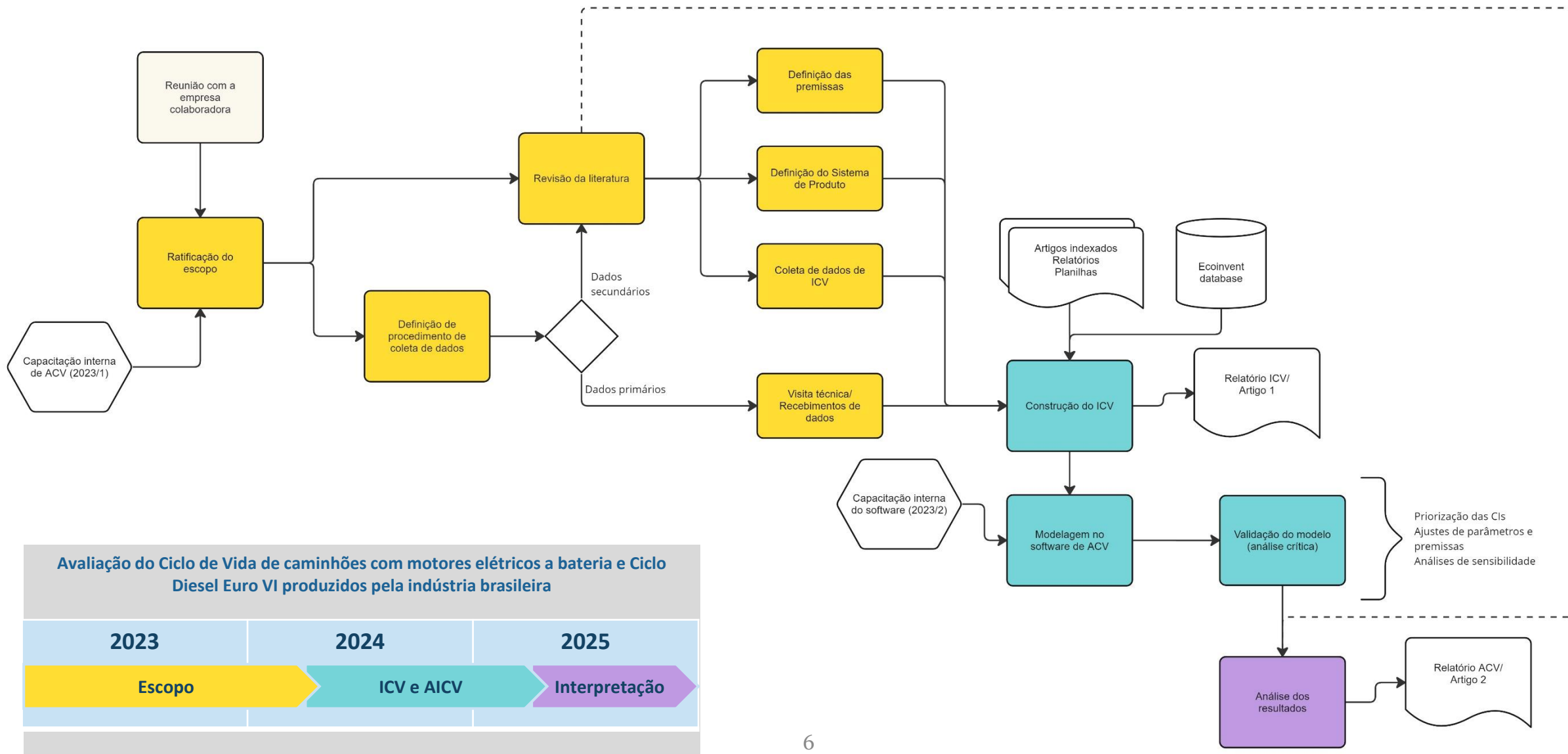
10.800

Fonte: Volkswagen Caminhões e Ônibus, 2023. Disponível em:
<https://www.vwco.com.br/caminhoes/e-Delivery?id=27>

Fonte: Volkswagen Caminhões e Ônibus, 2023. Disponível em:
<https://www.vwco.com.br/caminhoes/Delivery?id=1>

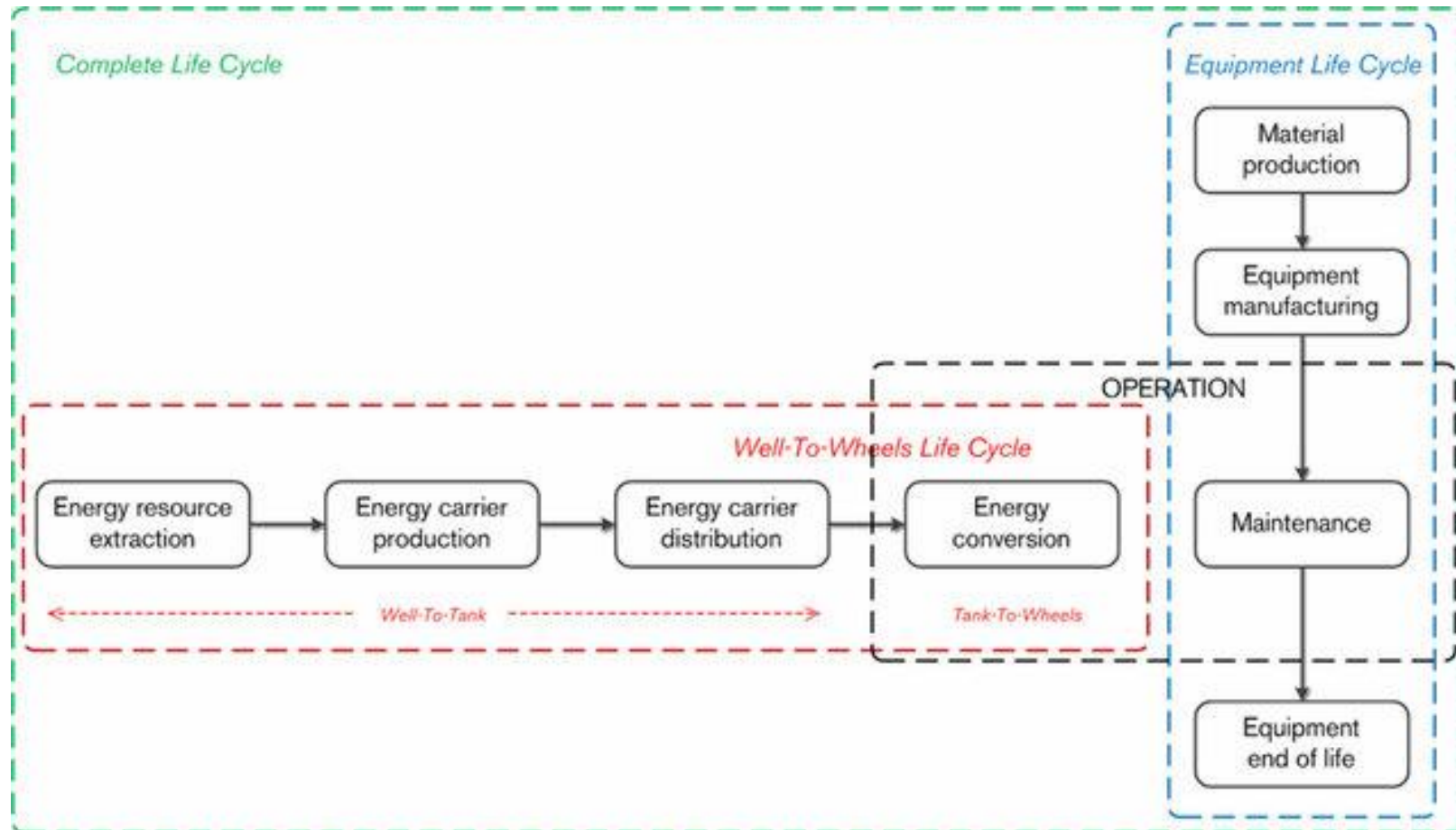


Apresentação do Projeto



ACV na mobilidade elétrica

Uma **ACV completa** de veículo considera tipicamente dois ciclos: o ciclo de vida do veículo, do berço ao túmulo, e o ciclo de vida do combustível do poço à roda (well to wheel, WtW)



Nordelöf, Anders & Messagie, Maarten & Tillman, Anne-Marie & Ljunggren, Maria & Van Mierlo, Joeri. (2014). Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles—what can we learn from life cycle assessment?. The International Journal of Life Cycle Assessment. 19. 10.1007/s11367-014-0788-0.



ACV na mobilidade elétrica

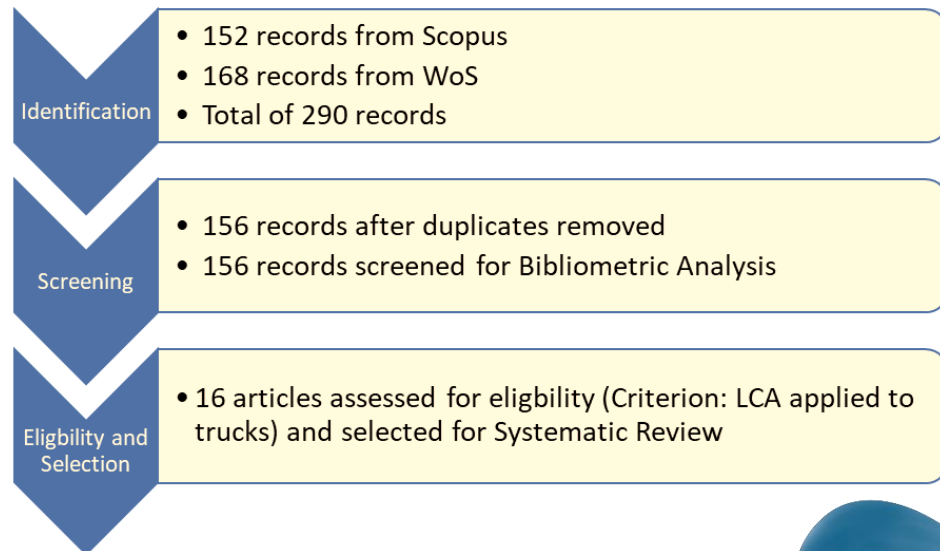
O que a literatura científica nos diz?

Search string ¹	Records ²		Total
	Scopus	WoS	
(LCA OR "life cycle analysis" OR "life cycle assessment") AND automotive AND battery	88	103	191
(LCA OR "life cycle analysis" OR "life cycle assessment") AND truck AND battery	47	47	64
(LCA OR "life cycle analysis" OR "life cycle assessment") AND freight AND battery	17	18	35
Total	152	168	290

¹ In title, abstract and keywords.

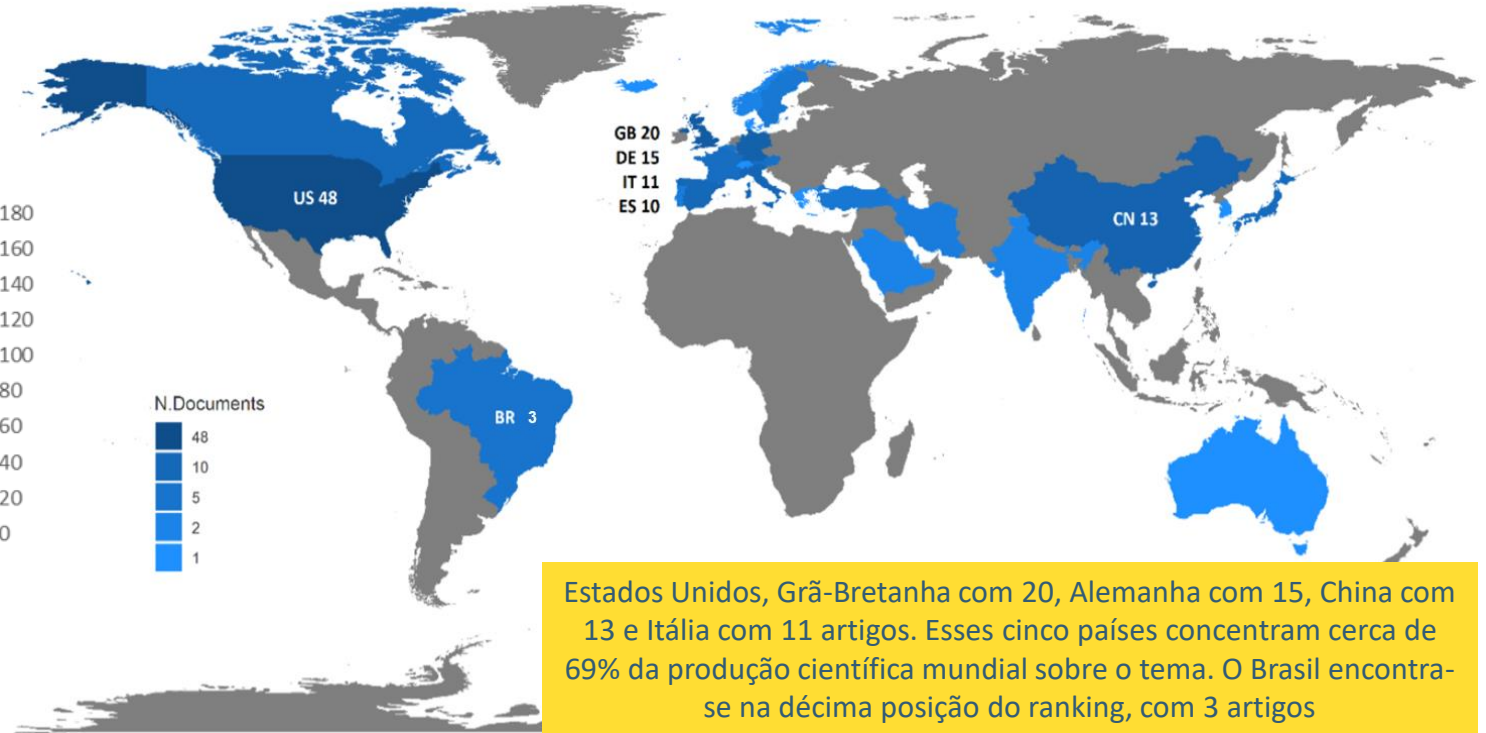
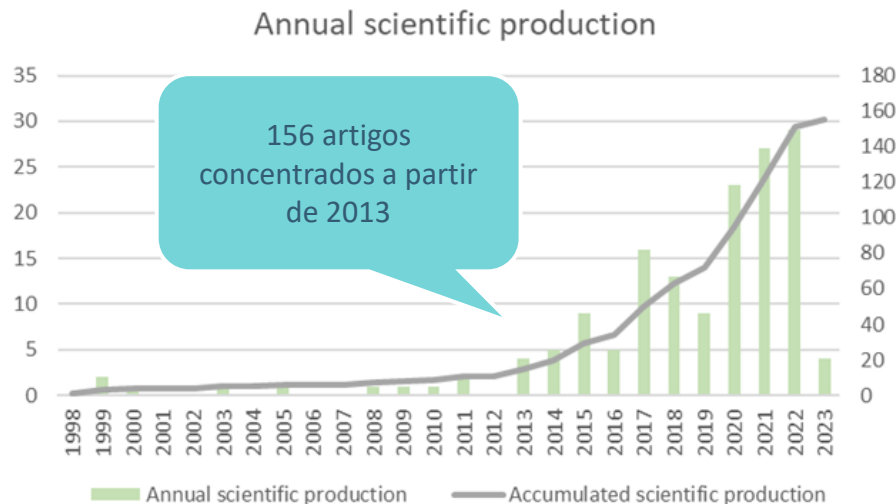
² Limited to article and review in English.

Excluídos artigos de revisão,
foco em veículos leves, baterias,
sistemas de energia



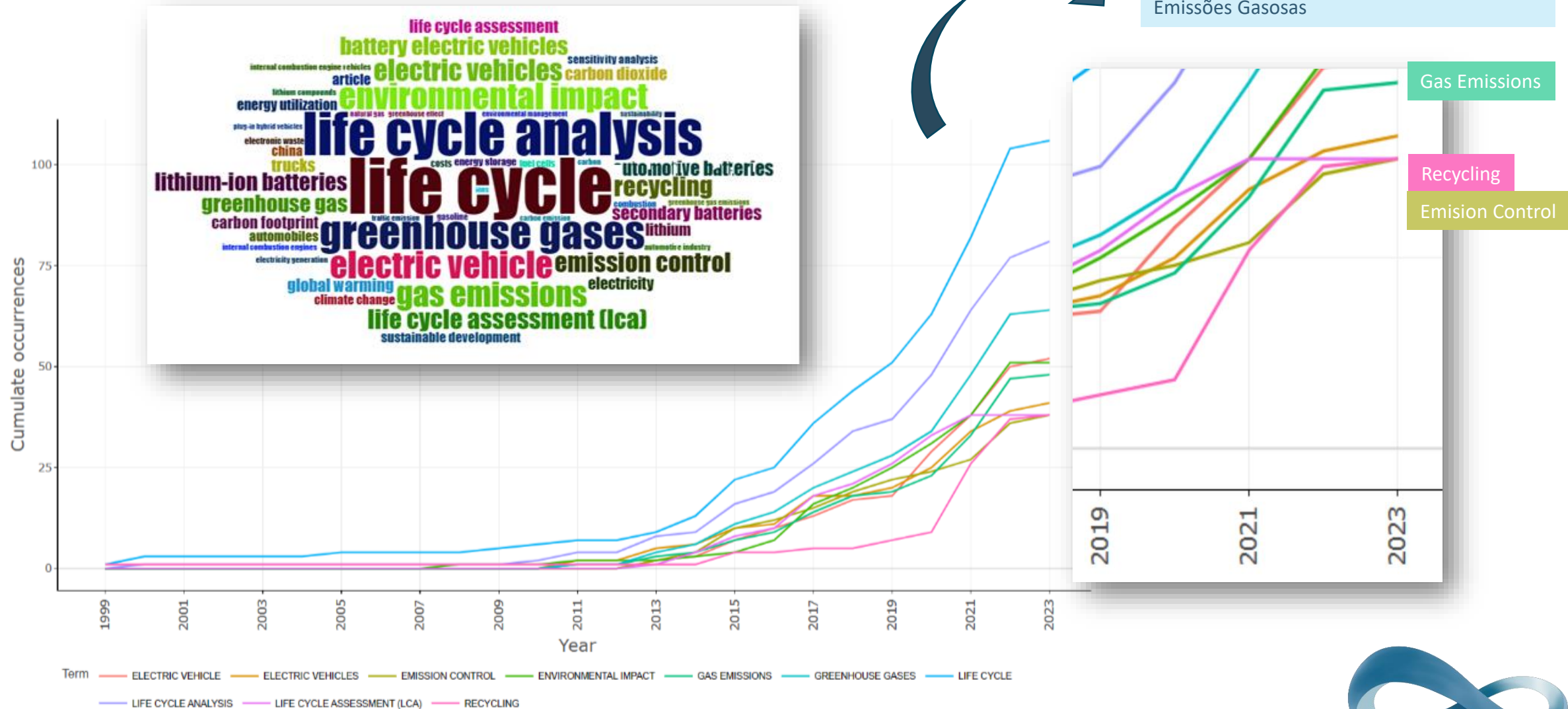
ACV na mobilidade elétrica

O que a literatura científica nos diz?



ACV na mobilidade elétrica

O que a literatura científica nos diz?



ACV na mobilidade elétrica

O que a literatura científica nos diz?

#	Referência	Mudanças Climáticas	Consumo de energia	Poluentes atmosféricos	Depleção de recursos	Custos	Infraestrutura	Extração	Manuf. Compon.	Manuf. veículo	Manutenção	EoL	WtT	TtW
1	XUE et al 2022	X	X										X	X
2	MIDDELA et al 2022	X						X	X	X	X	X	X	X
3	REN et al 2022	X	X										X	X
4	YEOW et al 2022	X						X	X	X		X	X	X
5	BOOTO et al 2021	X						X	X	X	X	X	X	X
6	SACCHI et al 2021	X						X	X	X	X	X	X	X
7	HE et al 2021	X						X	X	X		X	X	X
8	WOLFF et al 2021	X		X	X			X	X	X		X	X	X
9	SEN et al 2019	X		X		X	X	X	X	X	X			X
10	RUPP et al 2018	X			X			X	X	X	X		X	X
11	YANG et al 2018	X						X	X	X		X	X	X
12	ZHAO et al 2017	X					X	X	X	X	X		X	X
13	SEN et al 2017	X		X	X		X	X	X	X	X		X	X
14	LEE and Thomas 2017	X	X	X		X		X	X	X	X		X	X
15	ZHAO et al 2016	X							X	X	X		X	X
16	LEE et al 2013	X	X			X				X	X	X	X	X

Todos analisaram Mudanças Climáticas

ACV na mobilidade elétrica

O que a literatura científica nos diz?

#	Referência	Mudanças Climáticas	Consumo de energia	Poluentes atmosféricos	Depleção de recursos	Custos	Infraestrutura	Extração	Manuf. Compon.	Manuf. veículo	Manutenção	EoL	WtT	TtW
1	XUE et al 2022	X	X										X	X
2	MIDDELA et al 2022	X						X	X	X	X	X	X	X
3	REN et al 2022	X	X										X	X
4	YEOW et al 2022	X						X	X	X		X	X	X
5	BOOTO et al 2021	X			X			X	X	X	X	X	X	X
6	SACCHI et al 2021	X						X	X	X	X	X	X	X
7	HE et al 2021	X						X	X	X		X	X	X
8	WOLFF et al 2021	X		X	X			X	X	X		X	X	X
9	SEN et al 2019	X		X		X	X				X			X
10	RUPP et al 2018	X			X			X			X		X	X
11	YANG et al 2018	X						X				X	X	X
12	ZHAO et al 2017	X					X	X	X	X	X		X	X
13	SEN et al 2017	X		X	X		X	X	X	X	X		X	X
14	LEE and Thomas 2017	X	X	X		X		X	X	X	X		X	X
15	ZHAO et al 2016	X							X	X	X		X	X
16	LEE et al 2013	X	X			X				X	X	X	X	X

Apenas 3 analisaram a infraestrutura (recarga das baterias)

ACV na mobilidade elétrica

O que a literatura científica nos diz?

#	Referência	Mudanças Climáticas	Consumo de energia	Poluentes atmosféricos	Depleção de recursos	Custos	Infraestrutura	Extração	Manuf. Compon.	Manuf. veículo	Manutenção	EoL	WtT	TtW
1	XUE et al 2022	X	X										X	X
2	MIDDELA et al 2022	X						X	X	X	X	X	X	X
3	REN et al 2022	X	X										X	X
4	YEOW et al 2022	X						X	X	X		X	X	X
5	BOOTO et al 2021	X			X			X	X	X	X	X	X	X
6	SACCHI et al 2021	X						X	X	X	X	X	X	X
7	HE et al 2021	X						X	X	X		X	X	X
8	WOLFF et al 2021	X		X	X			X	X	X		X	X	X
9	SEN et al 2019	X		X		X	X	X	X	X	X			X
10	RUPP et al 2018	X			X			X	X	X	X		X	X
11	YANG et al 2018	X						X	X	X		X	X	X
12	ZHAO et al 2017	X					X	X	X	X	X		X	X
13	SEN et al 2017	X		X	X		X	X	X	X	X		X	X
14	LEE and Thomas 2017	X	X	X		X		X	X	X	X		X	X
15	ZHAO et al 2016	X							X	X	X		X	X
16	LEE et al 2013	X	X			X				X	X	X	X	X

Apenas 3 analisaram todo o CV do veículo e do combustível

ACV na mobilidade elétrica

O que a literatura científica nos diz?

- A maioria dos estudos de ACV que avaliaram o desempenho ambiental de CFVs (*conventional fuel vehicles*) e EVs (*electric vehicles*) concluiu que os CFVs emitem mais que Evs;
- Emissões produzidas durante a produção do veículo, produção da bateria e geração da eletricidade possuem contribuição significativa no total das emissões de Evs;
- O impacto ambiental da manufatura do VE é maior que o de motor à combustão interna, principalmente pela produção da bateria;
- VEs podem reduzir de maneira significativa as emissões de GEE quando recarregados com energia renovável, configurando uma das principais estratégias de descarbonização do setor de transportes;
- A extensão da vida útil das baterias íon-lítio de VEs para aplicação secundária (aplicação estacionária) é uma alternativa para reduzir o impacto ambiental do VE;
- Necessidade de avaliar o desempenho ambiental dos VEs considerando a capacidade e eficiência energética da bateria → capacidade e eficiência energética das baterias de tração degradam com o passar do tempo e ciclagem influenciando diretamente o consumo de energia durante a vida útil dos VEs;
- O impacto para Mudanças Climáticas na fase de uso dos VEs depende da Pegada de Carbono do mix de energia elétrica usada no carregamento da bateria.



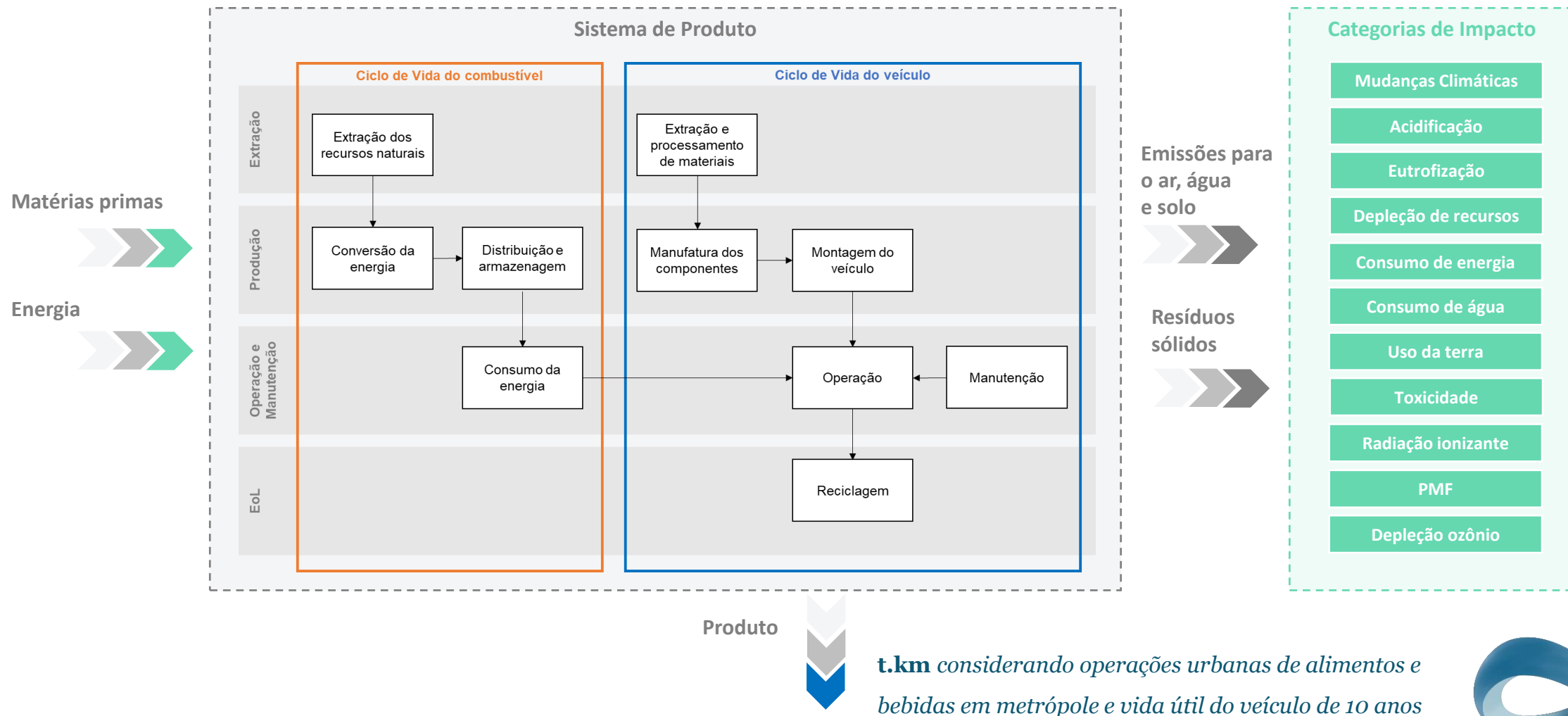
Estudo de Caso

Escopo do estudo



Modelo VW e-Delivery 11

Modelo VW Delivery 11.180



Estudo de Caso



Premissas, requisitos de dados para ICV

Etapas do CV				
Manufatura dos componentes	Manufatura do veículo	Operação	Manutenção	EoL
Logística da CS da VW CO	Inventário de materiais realizado a partir do inventário de componentes dos sistemas do veículo	- Vida útil de veículo de 10 anos - Bateria com vida útil de 10 anos e redução de 20% na capacidade de carga após esse período - Operação urbana (em metrópole) no segmento de alimentos e bebidas	Troca de pneus e fluidos de acordo com documento de Garantia e Manutenção VW CO	- Reciclagem do veículo em Shredder - Extensão da vida útil da bateria em aplicação secundária (AS) - Reciclagem da bateria - Disposição final dos rejeitos

Requisitos de dados para o ICV

- Dados primários para os processos relacionado à manufatura, operação, manutenção e reciclagem do veículo;
 - Dados operacionais serão extraídos da plataforma RIO da VW CO com dados reais dos veículos analisados e alinhados às premissas do SBTi da VW.
- Dados secundários para os demais processos seguindo a hierarquia:
 - Dados da literatura científica;
 - Dados de banco de dados Ecoinvent segundo priorização presente na Resolução ANP N.º 758/2018: BR → GLO → RoW



Estudo de Caso

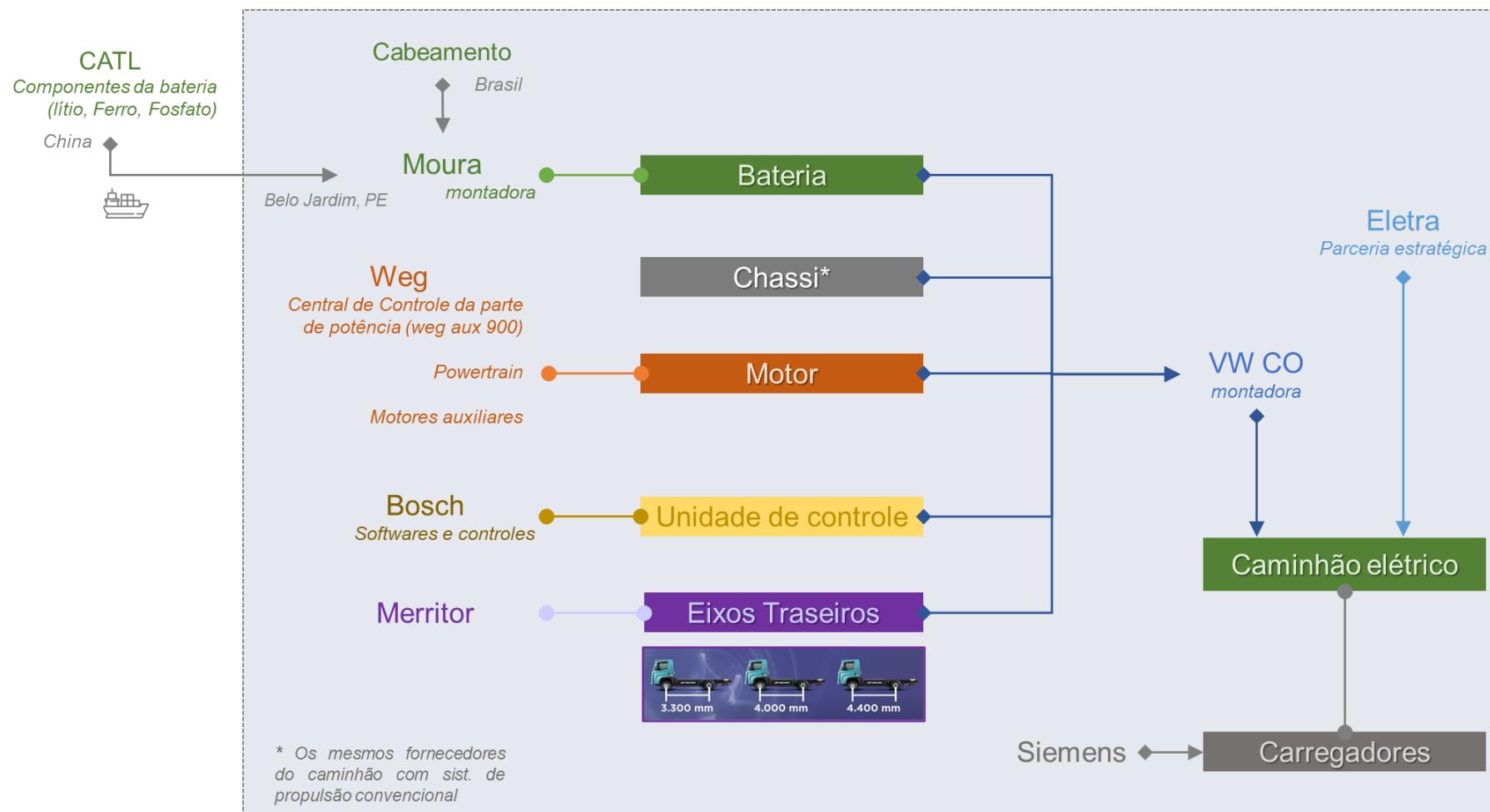
Cadeia de valor para o ICV do caminhão elétrico



Modelo VW e-Delivery 11



Modelo VW Delivery 11.180



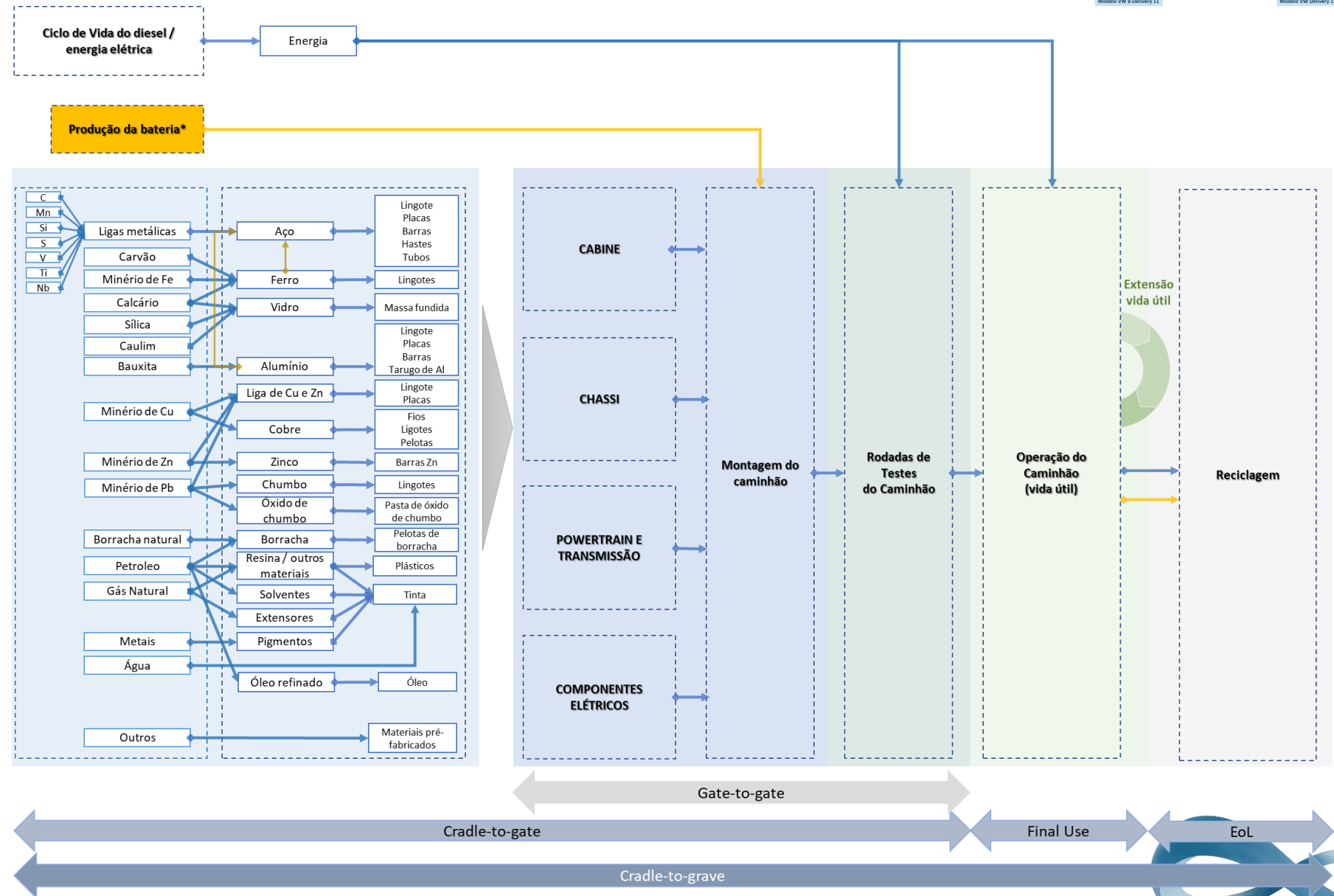
Estudo de Caso



MFA para o ICV



Veículo
Sistemas
Componentes
Materiais



* Processo exclusivo do caminhão elétrico

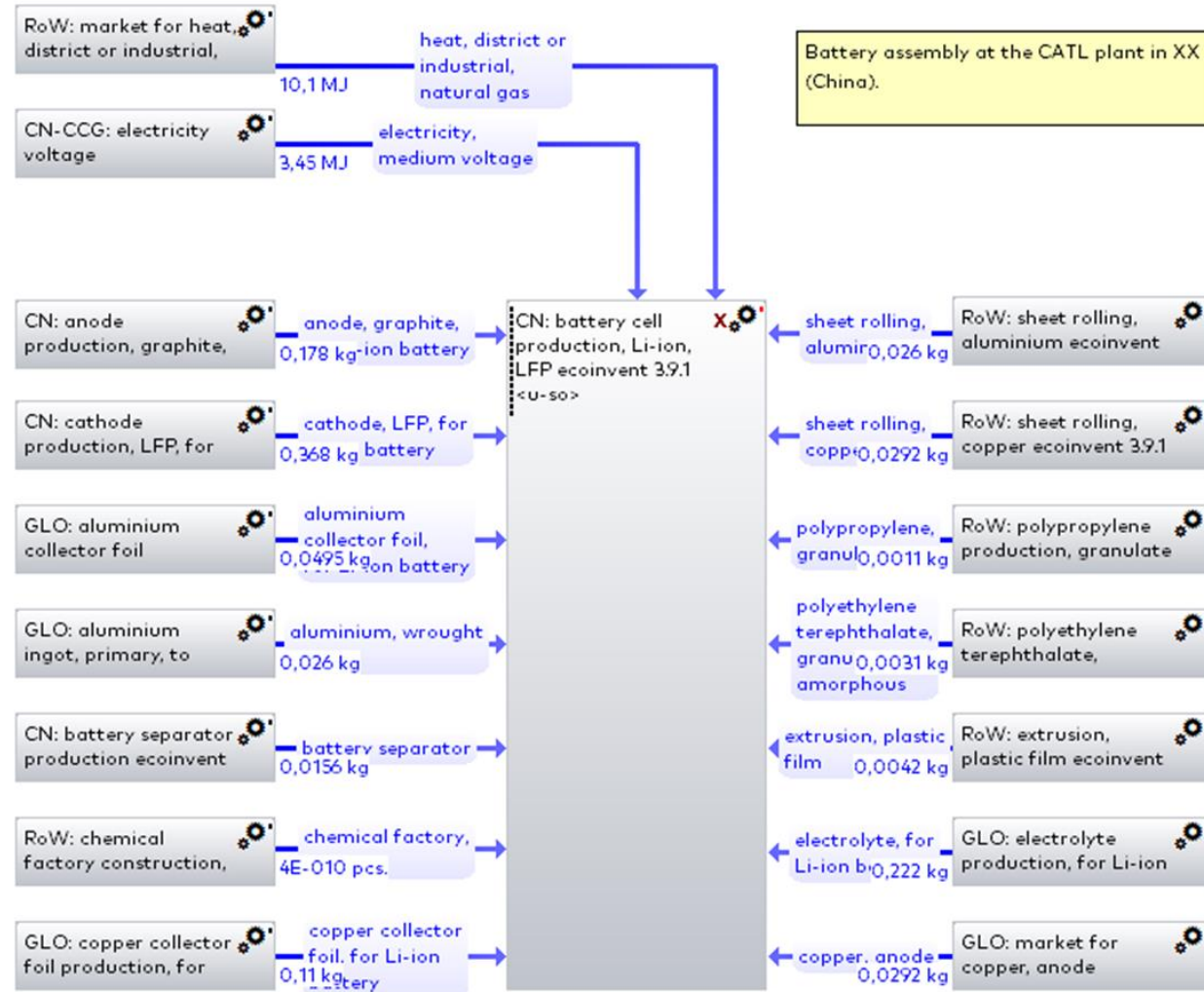
Estudo de Caso



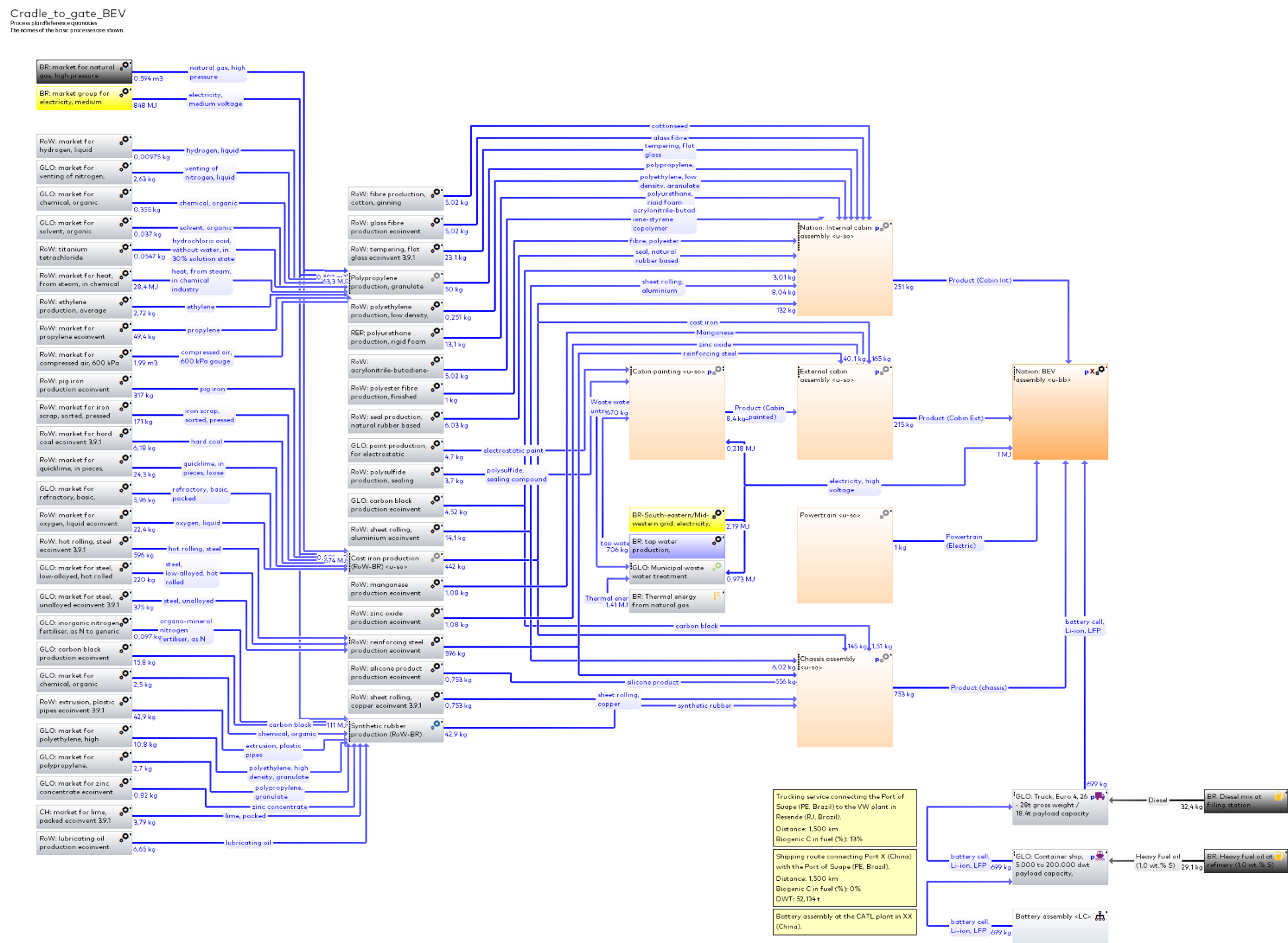
Modelagem no GaBi

Battery assembly

Process plan Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



Modelagem no GaBi

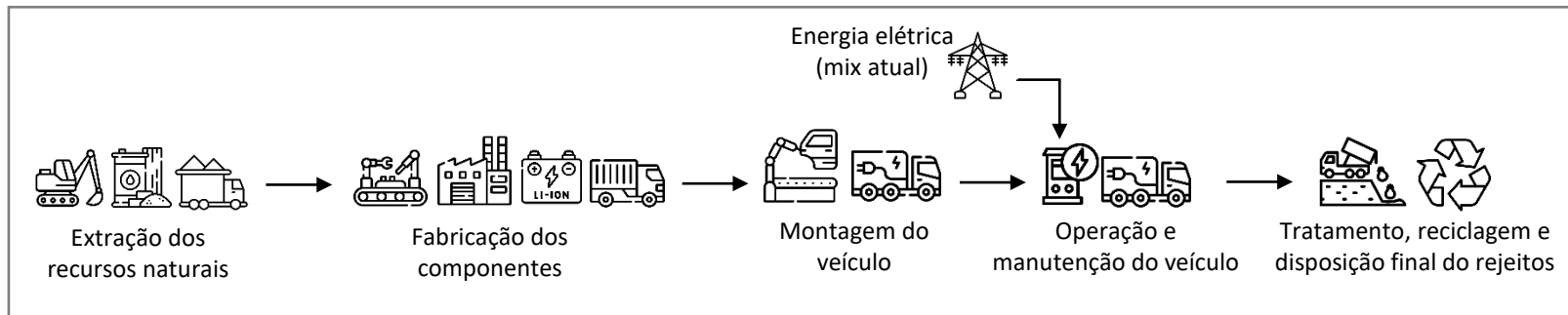


Estudo de Caso

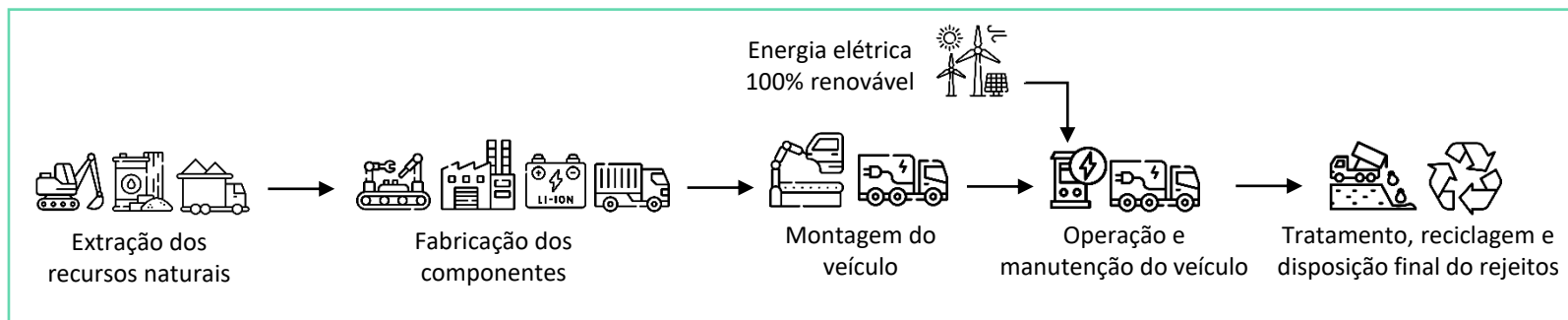
Análise de Sensibilidade para caminhão elétrico



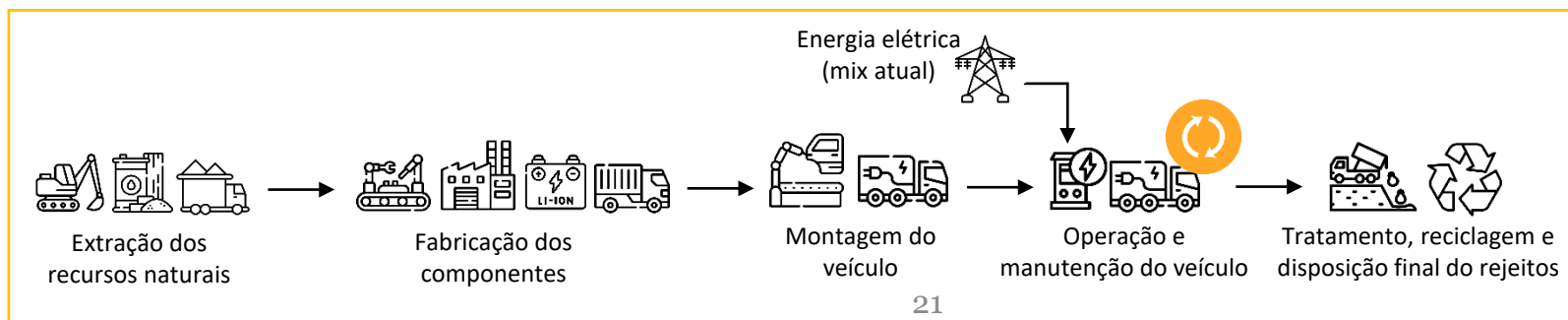
Caso Base



Cenário energias renováveis



Cenário extensão da vida útil do veículo

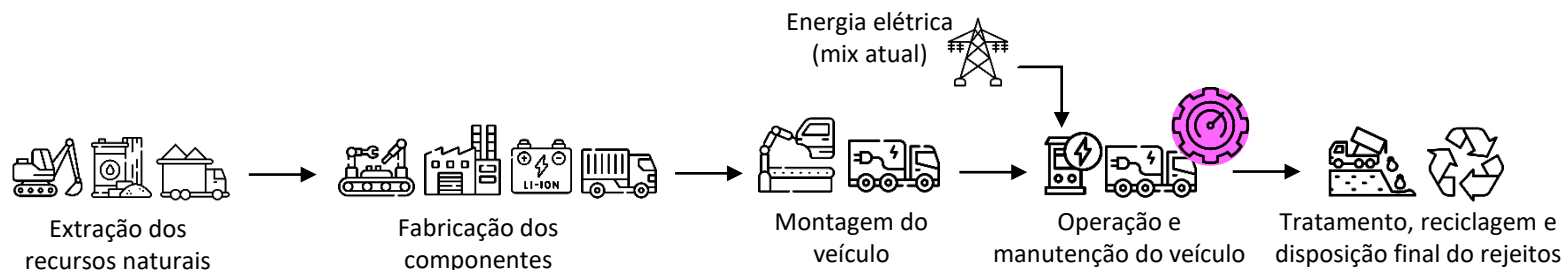


Estudo de Caso

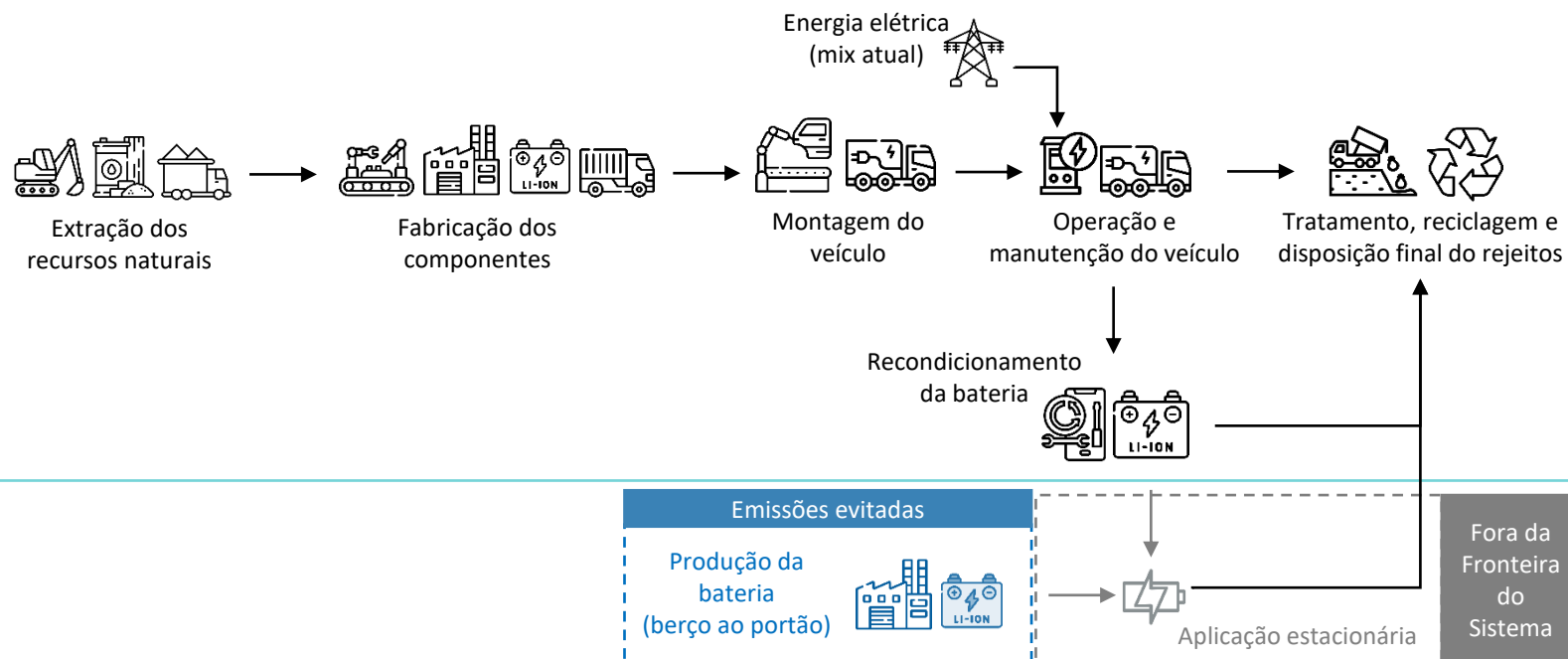


Análise de Sensibilidade para caminhão elétrico

Cenário
desempenho
operacional



Cenário
reuso da
bateria



Estudo de Caso

Priorização das CIs para o contexto brasileiro



Avaliação do desempenho ambiental além de Mudanças Climáticas → desafio para os tomadores de decisão



Article

Relevance of Impact Categories and Applicability of Life Cycle Impact Assessment Methods from an Automotive Industry Perspective

Natalia Mikosch ^{1,*}, Tina Dettmer ², Benjamin Plaga ², Marko Gernuks ³ and Matthias Finkbeiner ¹

¹ Department of Sustainable Engineering, Institute of Environmental Technology, Technische Universität Berlin, Straße des 17. Juni 135, 10623 Berlin, Germany; matthias.finkbeiner@tu-berlin.de

² Group Research & Development, Life Cycle Optimisation, Volkswagen AG, Berliner Ring 2, 38440 Wolfsburg, Germany; tina.dettmer@volkswagen.de (T.D.); benjamin.plaga@volkswagen.de (B.P.)

³ Group Components, Circular Economy, Volkswagen AG, Berliner Ring 2, 38440 Wolfsburg, Germany; marko.gernuks@volkswagen.de

* Correspondence: natalia.mikosch@greenzero.me



Desenvolvimento de uma abordagem para identificação das CIs relevantes para o setor automotivo, considerando dois grupos de critérios:

- (i) Relevância para o setor automotivo
- (ii) Relevância para stakeholders

Sustainability **2022**, *14*, 8837. <https://doi.org/10.3390/su14148837>



Estudo de Caso

Priorização das CIs para o contexto brasileiro

Os resultados são transformados em uma escala quantitativa, classificando a relevância das categorias de impacto em cada critério da seguinte forma:

- relevância muito alta = 3 pontos
- alta relevância = 2 pontos
- média relevância = 1 ponto
- baixa relevância = 0

Os resultados para cada grupo de critérios são agregados e apresentados numa escala de 0 a 1:

- >1 = muito alta relevância
- $1 \geq 0,75$ = alta relevância
- $0,75 \geq 0,5$ = média relevância
- $\leq 0,5$ = baixa relevância

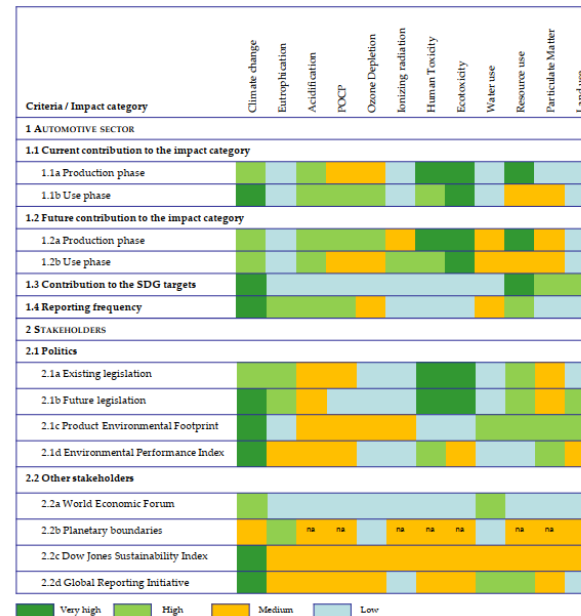


Figure 1. Evaluation of the relevant impact categories: results; "na" stands for "not applicable", i.e., the criterion could not be evaluated due to missing data, therefore the relevance was rated as medium.

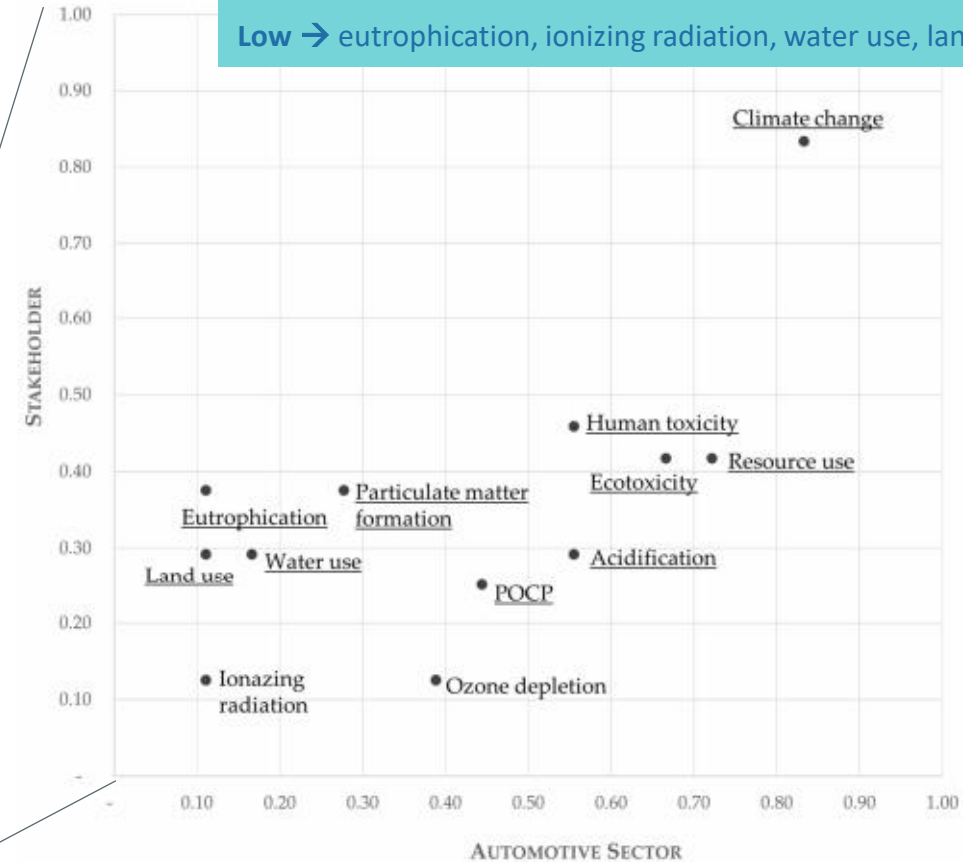


Figure 2. Evaluation of the relevant impact categories: plotted results for the criteria groups automotive sector and stakeholders. Impact categories that are considered for the evaluation of LCIA methods are underlined.

Very high → climate change, human toxicity, ecotoxicity and resource use;
High → acidification;
Medium → POCP, ozone depletion, particulate matter formation;
Low → eutrophication, ionizing radiation, water use, land use.

Sustainability
2022, 14, 8837.
<https://doi.org/10.3390/su14148837>



Estudo de Caso

Priorização das CIs para o contexto brasileiro, como vamos fazer?

- Nem todas as CIs são aplicáveis ao contexto brasileiro → modelos de AICV apropriados para regionalização dos fatores de caracterização de acordo com o contexto brasileiro;



<https://acv.ibict.br/documentos/publicacoes/5750-relatorio-de-recomendacoes-de-modelos-de-avaliacao-de-impacto-para-o-contexto-brasileiro-2/>

- Brasil é um país de dimensões continentais → CIs locais/regionais podem ter graus de importância distintos a depender de onde ocorre o impacto;



Life Cycle Assessment and Multi-criteria Decision Analysis: Selection of a strategy for domestic food waste management in Rio de Janeiro

Ana Carolina Maia Angelo ^{a,*}, Anna Bernstad Saraiva ^a, João Carlos Namorado Clímaco ^b, Carlos Eduardo Infante ^c, Rogerio Valle ^a

^a Production Engineering Program, Federal University of Rio de Janeiro, COPPE/UFRRJ, Rio de Janeiro, Brazil

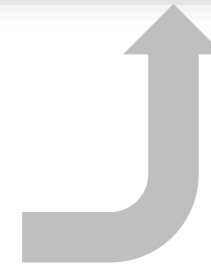
^b Universidade de Coimbra, INESC-C, Coimbra, Portugal

^c Federal University of São João del-Rei, UFSJ, Minas Gerais, Brazil

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.049> 0959-6526

In summary, the following procedure was applied to create an ordering of the scaling constants/weights:

1. Assessment of the current status in relation to each impact category through official documents on local (city of Rio de Janeiro), region (Rio de Janeiro state) or national level. Each impact category/criterion is classified as “low”, “medium” or “high” in relation to the current status. A value is attributed to each level being: 1 = low, 2 = medium and 3 = high.
2. Identification of official targets, strategies, policies, international declarations and laws on the national or regional/local level regarding the improvement of the current status. Each impact category is classified as “low”, “medium” or “high” in relation to international, national and regional/local efforts to improve the impacts. A value is attributed to each level being: 1 = low, 2 = medium and 3 = high.
3. A sum of the above obtained scores enables an ordinal ranking of the impact categories/criteria to be obtained with reasonable confidence, and so, an ordering of the corresponding weights/ scaling constants.



Estudo de Caso



Priorização das CIs para o contexto brasileiro, como vamos fazer?

<i>Matriz de Avaliação</i>	Relevância para o setor automotivo	Relevância para os stakeholders	Adequação ao contexto brasileiro?
CI de CV midpoint	4 critérios de Mikosch et al., 2022 (contribuição da CI para cada etapa de CV no contexto atual e futuro, contribuição para ODS, presença nos relatórios corporativos)	Adaptação de Mikosch et al., 2022 considerando procedimento de avaliação de Angelo et al., 2017	Avaliação se há método AICV recomendado para o Brasil pela RAICV
<i>Escala de avaliação</i>	relevância muito alta = 3 pontos alta relevância = 2 pontos média relevância = 1 ponto baixa relevância = 0		Escala binária 0 ou 1



Próximos passos

Avaliação do Ciclo de Vida de caminhões com motores elétricos a bateria e Ciclo Diesel Euro VI produzidos pela indústria brasileira



Validação da modelagem
cradle-to-gate



Coleta dados primários e
modelagem EoL



Priorização das CIs



Modelagem da operação



Realização de AS



Interpretação dos
resultados





Nos ajude a aprimorar o estudo, sua contribuição é muito importante!

<https://forms.gle/mXG93aDzvNCx3Jtn9>





5º WCPUET



Laboratório de
Transporte de Carga



Universidade
Federal do
Rio de Janeiro

Obrigada!

Ana Carolina Maia Angelo

21 9647-9534
angeloana@id.uff.br