



Linha de Pesquisa: GESTÃO DA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E SUSTENTABILIDADE

Projeto de Pesquisa: Gestão Ambiental e Sustentabilidade

TÍTULO: UMA PROPOSTA DE CALCULADORA DE APOIO AO ECODESIGN BASEADA NA TERMODINÂMICA

Autor: **Ciro Seiji Yoshiyasse**

Orientador: **Francisco Del Moral Hernandez**

QUESTÃO DE PESQUISA: A partir de uma concepção termodinâmica da economia, o modelo vigente de cadeia produtiva de mercadorias se torna insustentável. **Como e onde** introduzir na cadeia de produção, uma ferramenta alinhada à redução da velocidade de crescimento da Entropia do sistema?

OBJETIVO GERAL: Produzir uma ferramenta de cálculo ágil, com interface visual com o usuário eficiente, para comparação de alternativas de materiais e processos, com o objetivo de buscar soluções ambientalmente amigáveis numa perspectiva termodinâmica.

OBJETIVOS ESPECÍFOS:

1. Realizar uma pesquisa exploratória sobre a relação de convergência entre Energia incorporada e Entropia. Mais especificamente a Exergia.
2. Validar a estratégia de foco no pré-projeto, como momento de tomada de decisões determinantes na cadeia produtiva, quanto à redução do impacto ambiental cumulativo.

Termodinâmica e esgotamento, a Inovação Tecnológica como Solução

A pesquisa exploratória parte de :

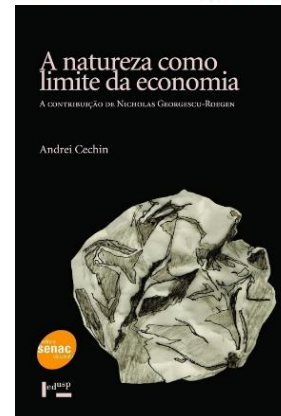
1 - A crítica ao modelo econômico baseado na **extração, industrialização, consumo e descarte**. Crítica à **Economia circular** e a viabilidade da **reciclagem** como solução central.

Uma visão baseada nas leis da termodinâmica.



1

Nicholas Georgescu-Roegen



Na equação IPAT de Ehrlich, a tecnologia (T) representa o componente tecnológico, enquanto a População (P) e a Afluência (A) - consumo per capita) crescem continuamente. Historicamente, o desenvolvimento tecnológico não foi capaz de compensar esse crescimento de consumo, resultando no esgotamento contínuo de recursos naturais.



ENERGIA INCORPORADA como indicador central e a EXERGIA

Convergência entre Exergia e Energia Incorporada

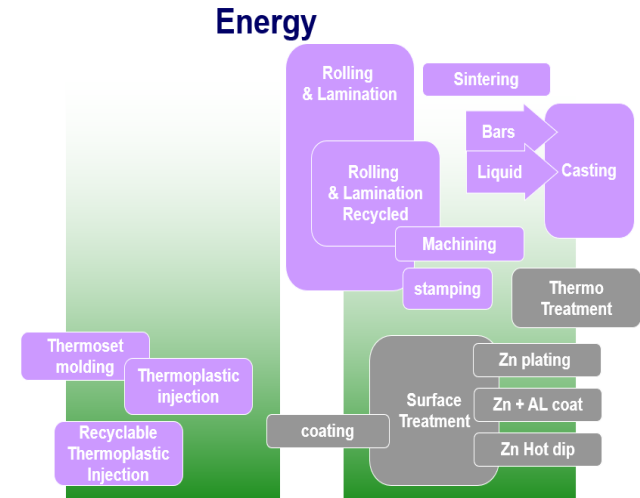


Tabela 1 – Operações: extração, processamento e fabricação – Energia incorporada e temperatura de trabalho

	PROCESSO PRIMÁRIO	Descrição	Temperatura de trabalho	EI (kWh/Kg)	EI utilizado na alça de apoio	PROCESSO DE FABRICAÇÃO	Descrição	Temperatura de trabalho (°C)	EI (kWh/Kg)	EI utilizado na alça de apoio
Alça em Alumínio	Processo de produção primária	Mineração da bauxita	temperatura ambiente	220	59,4	Fundição por pressão	Fusão dos lingotes de alumínio e injeção em coquilha	660	2,65	0,72
		Refino para obtenção da Alumina	900-1100							
		Conversão pelo processo Hall-Héroult em alumínio + adição de elementos de liga	940-980							
Alça em liga de zinco	Processo de produção primária	Mineração do zinco	temperatura ambiente	72,5	43,2	Fundição por pressão	Fusão dos lingotes de alumínio e injeção em coquilha	400-450	1,25	0,84
		Refino para obtenção do óxido de Zn	850-1000							
			temperatura ambiente							

Survey entre Stakeholders, o ambiente do pré-projeto

PROPOSIÇÕES da pesquisa

- 1) O uso de uma calculadora, de apoio ao Ecodesign com três indicadores ambientais: Pegada Hídrica, Emissões de CO2 e o indicador central de Entropia: Energia Incorporada.
- 2) Decisões localizadas neste ponto da cadeia produtiva, podem decidir por escolhas que se propagam na cadeia, em um sentido até o descarte de produtos, e em outro, influenciando também os grandes impactos decorrentes da demanda na produção primária de matérias primas. (MANZINI; VEZZOLI, 2016).

- a) Economia circular
- b) Reciclagem
- h) Durabilidade
- i) Materiais biodegradáveis
- d) Consumo de água

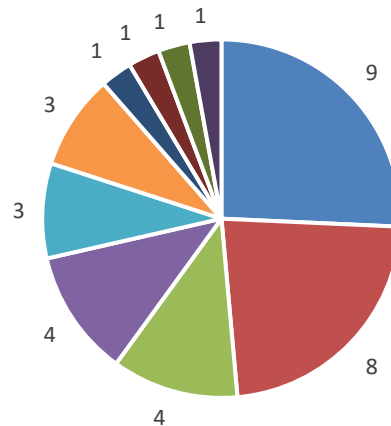
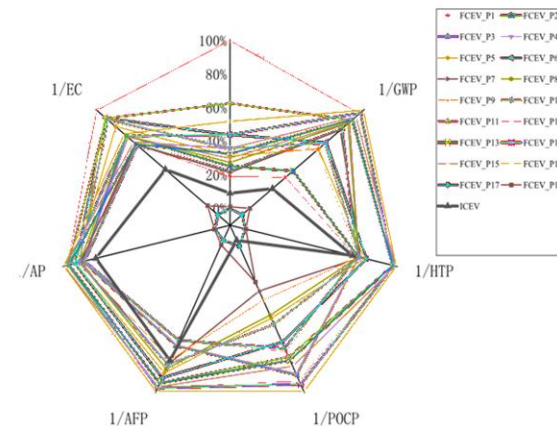


Figura 1 – Gráfico Radar de uma ACV completa para avaliação comparativa de 19 veículos em relação a 6 indicadores.



Fonte: Lyu, Wang, Zhang, (2025)

- A ACV como ferramenta para tomada de decisões no pré-projeto
- A percepção dos entrevistados da indústria metalmeccânica



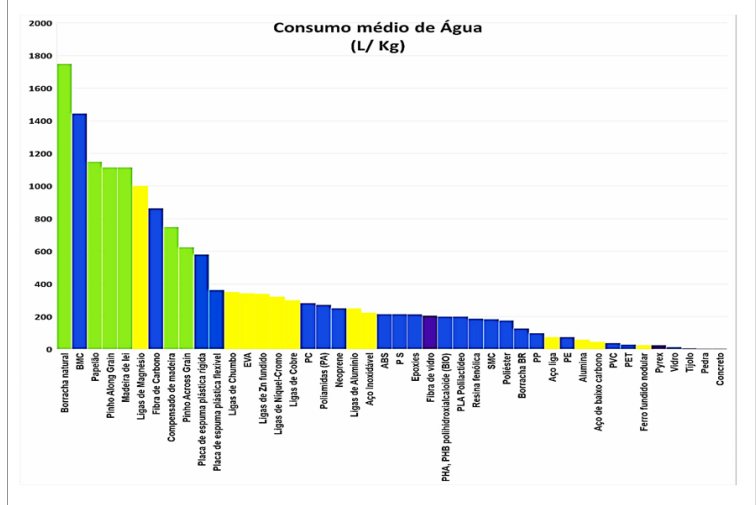
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E TECNOLOGIA EM SISTEMAS PRODUTIVOS

Survey entre Stakeholders, o ambiente do pré-projeto

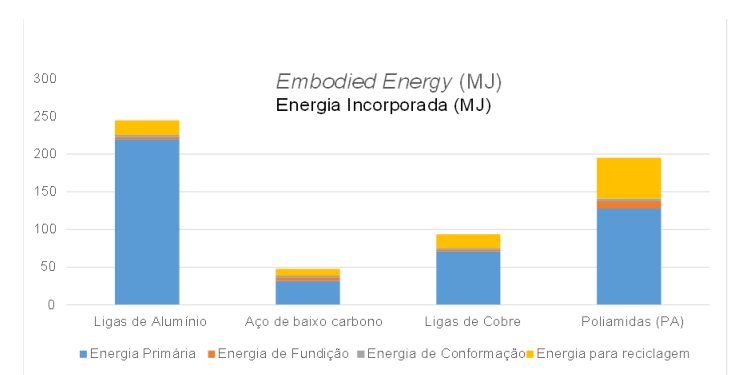
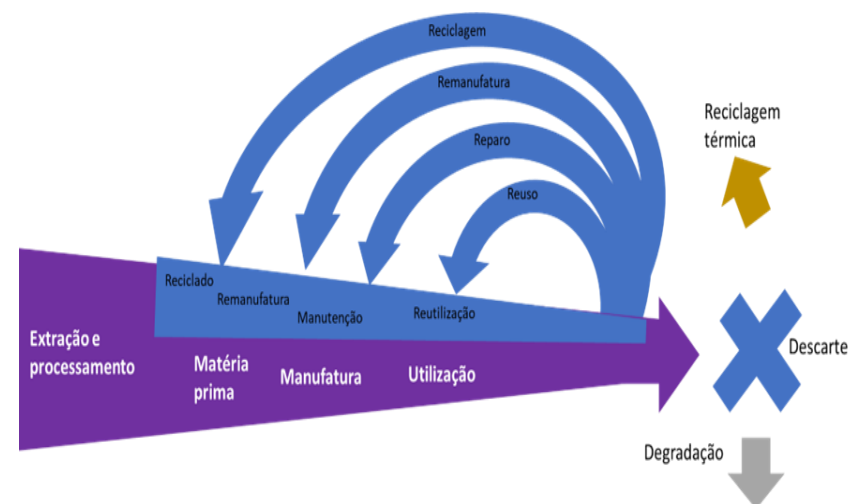
ECODESIGN:

- Pegada Hídrica e produtos renováveis
- Energia primária e Reciclagem
- Reciclabilidade
- Emissões de CO₂ e Matriz energética

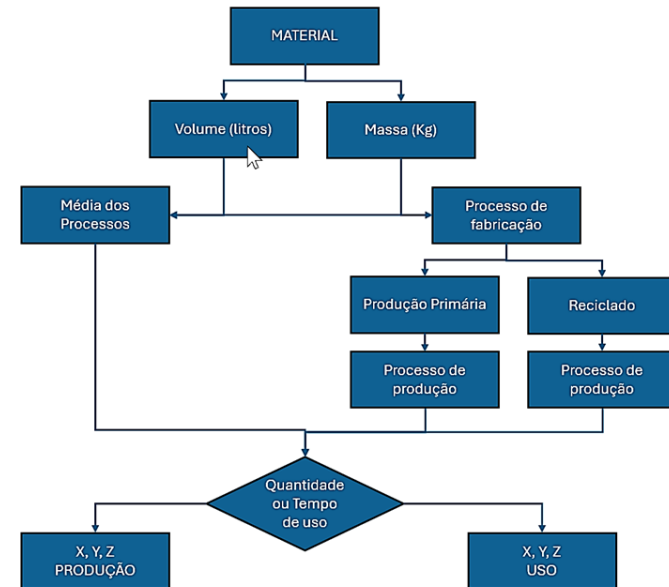
Figura 1- Consumo de água na produção de materiais. Verde: materiais renováveis, azul: compostos e poliméricos, amarelo: metais, Roxo: cerâmicos



Fonte: Adaptado de ASHBY (2009)

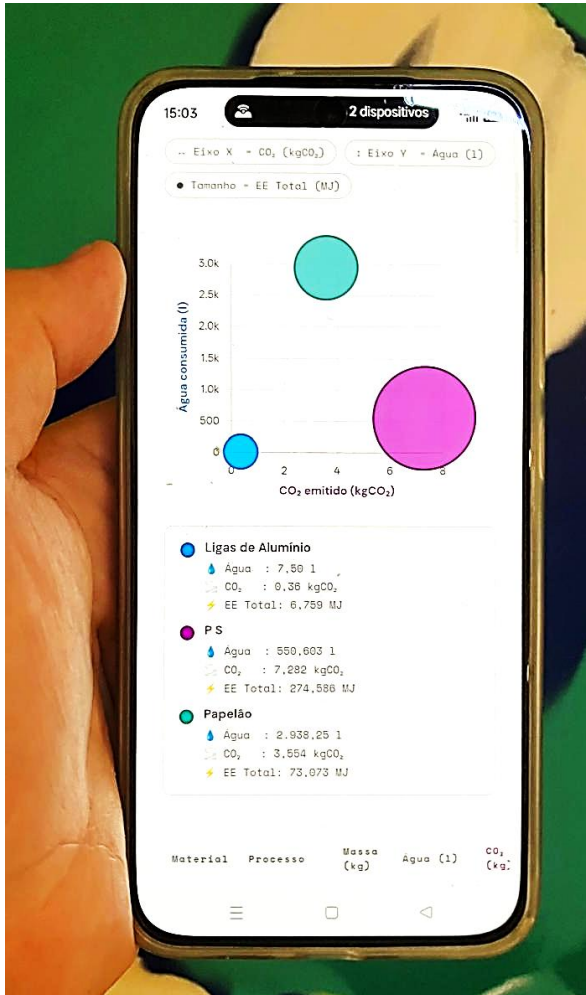


Calculadora de apoio ao Ecodesign



Desta forma procurou-se suprir a demanda por **(1) simplicidade**, a partir da utilização de poucos indicadores secundários para fácil comparação das opções de projeto, **(2) agilidade**, a partir de poucos dados de entrada com facilidade de uso quanto ao de ingresso de escolhas e opções através de menus (user friendly design), **(3) versatilidade** a partir da entrada de dados que consideram a durabilidade, a reciclagem e as estratégias de redução de massa como fatores incrementais na operação.

Calculadora de apoio ao Ecodesign



Embodied Energy - Calculator

Nome do Projeto: CAFÉ

Volume [m³]: 0,030, 0,007, 0,007

Massa [kg]:

Material 1: Ligas de Alumínio; Material 2: P S; Material 3: Papelão

Processos de Fabricação 1: Média, Definir Processos; Processos de Fabricação 2: Média, Definir Processos; Processos de Fabricação 3: Média, Definir Processos

Vida Útil do Produto [anos]: 1, 365, 365

Quantidade de produtos

[DEMO](#)

Exemplo 1: Alça de segurança do automóvel

Figura 1 – Alça de segurança utilizada na década de 1990.

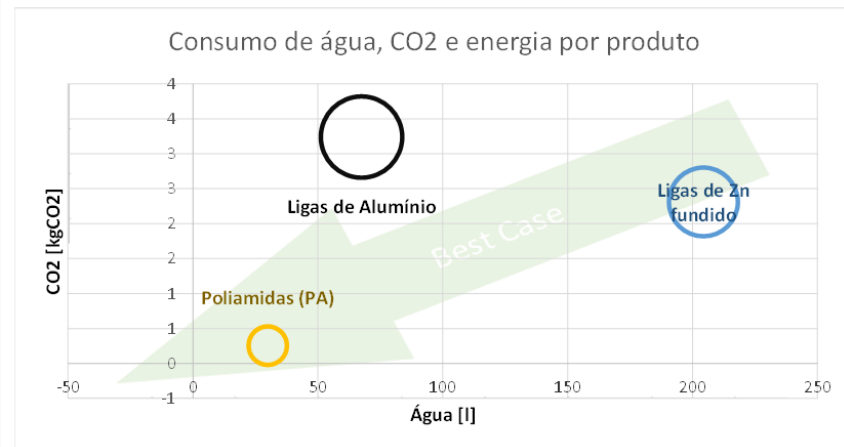


Fonte: google Images, adaptado pelo autor (2026)

Dados de entrada:

1. 0,27 g de alumínio
2. 0,60 Kg de Liga de zinco
3. 0,110 Kg de Poliamida

Figura 1 - Resultado do case Alça de segurança para os materiais: Poliamida, Alumínio e Liga de zinco.



Fonte: do autor (2026)

Figura 1 - Alça de segurança



Fonte: peca.renault.com.br/Produto.aspx?CP=1557&NOCACHE=03042026132255, acesso em 2/abril/2026


Exemplo 2: Função: Café

PS

🔹 Água : 550,603 l

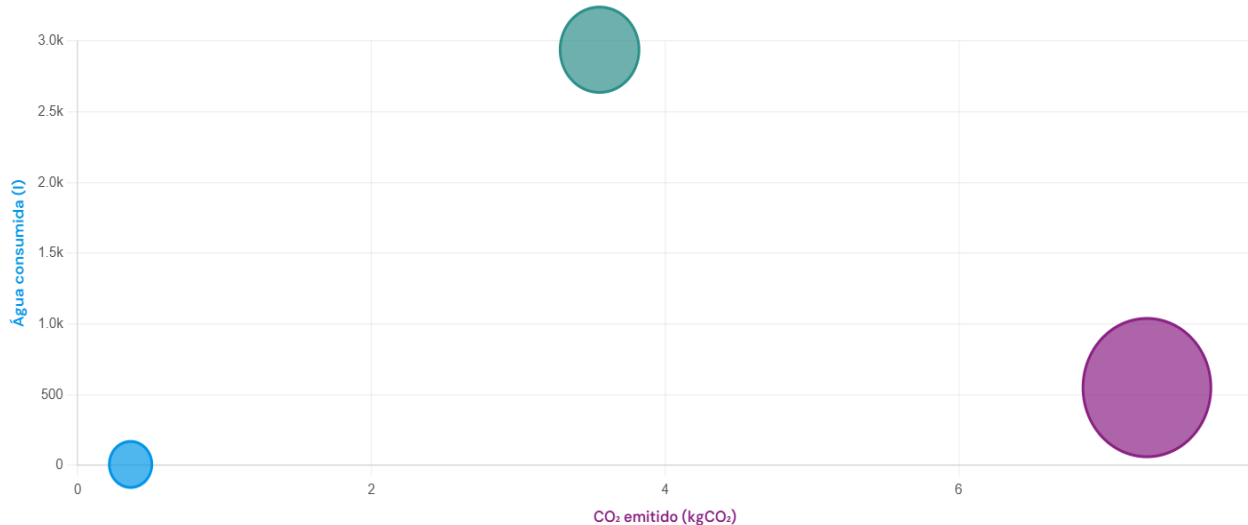
CO₂ : 7,282 kgCO₂

⚡ EE Total: 274,586 MJ



Dados de entrada:

1. 0,030 Kg de alumínio
2. 0,007 kg de Poliestireno
3. 0,007 Kg de Papel



Ligas de Alumínio

🔹 Água : 7,50 l

CO₂ : 0,36 kgCO₂

⚡ EE Total: 6,759 MJ




Papelão

🔹 Água : 2.938,25 l

CO₂ : 3,554 kgCO₂

⚡ EE Total: 73,073 MJ



Síntese e continuidade do trabalho

1. Exergia e Energia Incorporada
 2. Abrangência da Pesquisa
- Ampliação do conteúdo de Ecodesign: Produção Local
 - Debate sobre a termodinâmica
 - Versão da calculadora para produtos multicomponentes
 - Tecnologia e super materiais

Ordenação da Energia Incorporada na unidade de VOLUME				Ordenação da Energia Incorporada na unidade de MASSA			
Matéria-Prima		Energia incorporada por Mega Joule/ M3	US\$/ M3	Matéria-Prima		Energia incorporada por Mega Joule/ Kg	US\$/ Kg
1	Liga de zinco	2.590.163	19.386	1	Liga de zinco	434	3
2	Aço inóx	635.850	63.585	2	Liga de alumínio	220	3
3	Liga de alumínio	594.000	7.155	3	Poliamida	128	4
4	Aço de baixo carbono	251.200	6.280	4	Borracha sintética	108	4
5	Poliamida	144.640	4.215	5	Polímeros fenólicos	90	2
6	Polímeros fenólicos	115.776	2.253	6	PET	84	2
7	PET	112.711	2.300	7	Aço inóx	81	8
8	Borracha sintética	97.825	3.754	8	Borracha natural	66	3
9	Borracha natural	61.050	2.322	9	Aço de baixo carbono	32	1
10	Vidro	38.208	3.784	10	Vidro	16	2

ECODESIGN:
Calculadora Ecológica para decisões ambientalmente amigáveis

Ciro Yoshiyasse

Palestra e workshop:
ideias para definição de materiais e processos para o projeto de produtos

Materiais	Quantidade	Impacto Ambiental
Alumínio	100g	100
Plástico	100g	50
Vidro	100g	20
Metais	100g	150

Materiais	Impacto Ambiental
Alumínio	100
Plástico	50
Vidro	20
Metais	150

Obrigado!

MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E TECNOLOGIA EM SISTEMAS PRODUTIVOS