

LEB 244

Introdução à emergia

Prof. Thiago L. Romanelli

romanelli@usp.br

Depto de Engenharia de Biossistemas

29/04/2019

Howard T. Odum



1924-2002

- Ecological modeling
- Ecological engineering
- Ecological economics
- General systems theory

David Scienceman



Criador do termos energia
David Slade até 1972

Troca de nome foi experimento para
criar um movimento de políticos
cientificamente conscientes

Título a quem pertencente ao
Scientific party seria Sciencemate

Conceitos e Princípios de Energia

Há muitas “formas” de energia....

Solar...

Eólica...

Geopotencial...

Combustíveis...

Eletricidade...

Informação...

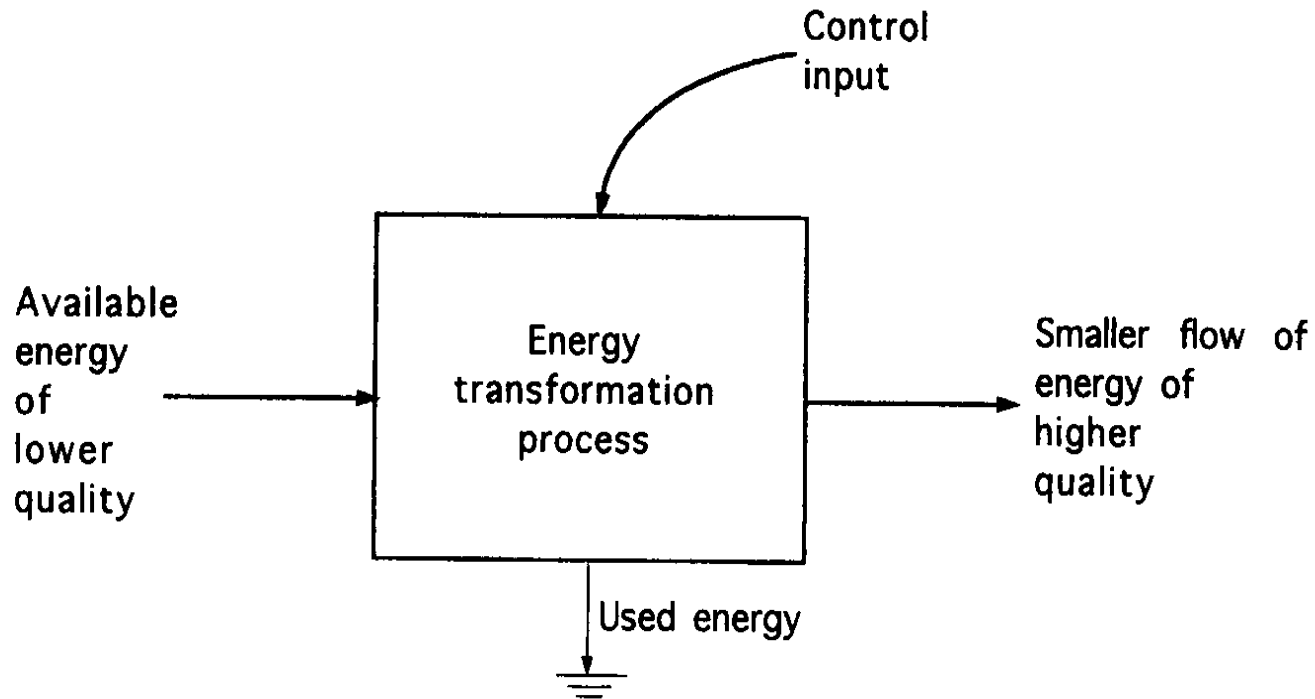
Conceitos e Princípios de Energia

Formas de energia não são equivalentes...

solar ~~≡~~ eólica ~~≡~~ combustíveis ~~≡~~ eletricidade

Embora elas possam ser convertidas em calor...
não se pode dizer que as calorias de uma forma
de energia são iguais às calorias de outra forma
na sua habilidade em realizar trabalho...

Trabalho pode ser pensado com a energia de um processo de transformação... duas ou mais formas/fontes de energia são “processadas” para disponibilizar um outro tipo de energia

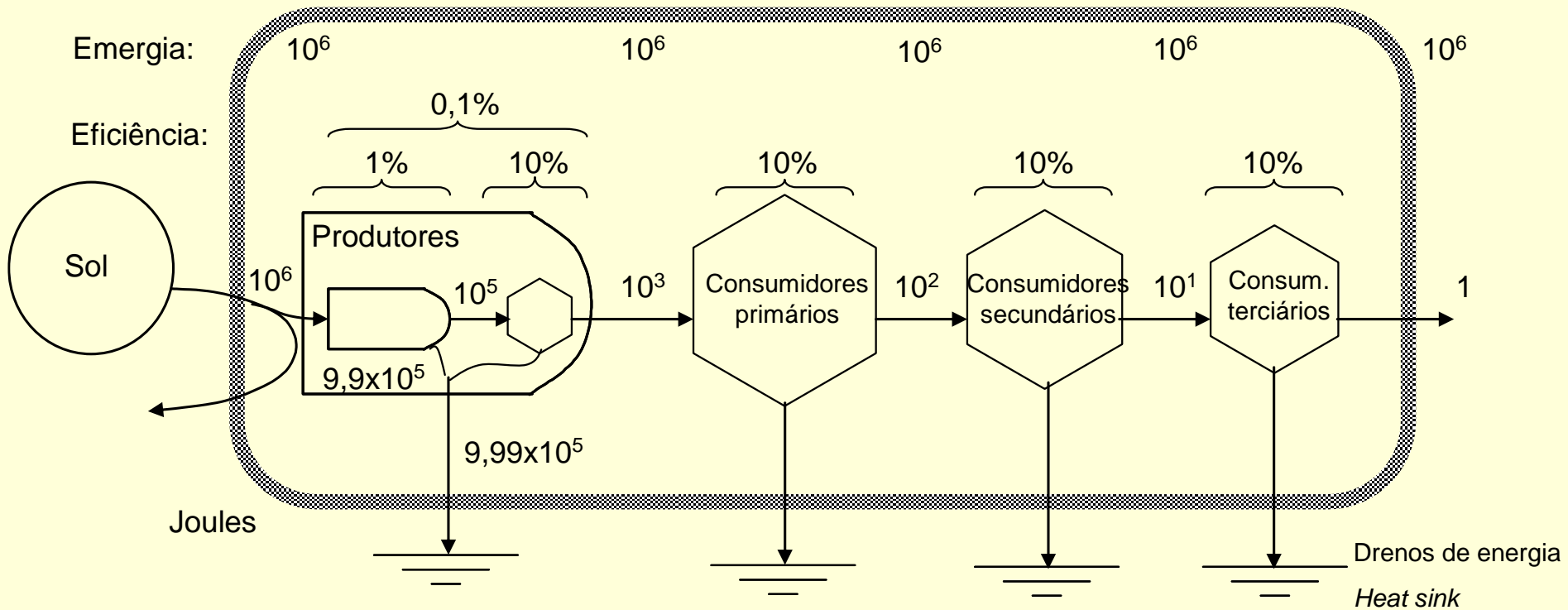


Conceitos e Princípios de Energia

Qualidade de Energia ...

- relacionada à concentração
- flexibilidade
- facilidade de transporte
- conversão

Processos



Metodologia

Emergia, escrita com “m”, é definida como a energia disponível (exergia), de um mesmo tipo, necessária para a elaboração de um produto ou serviço.

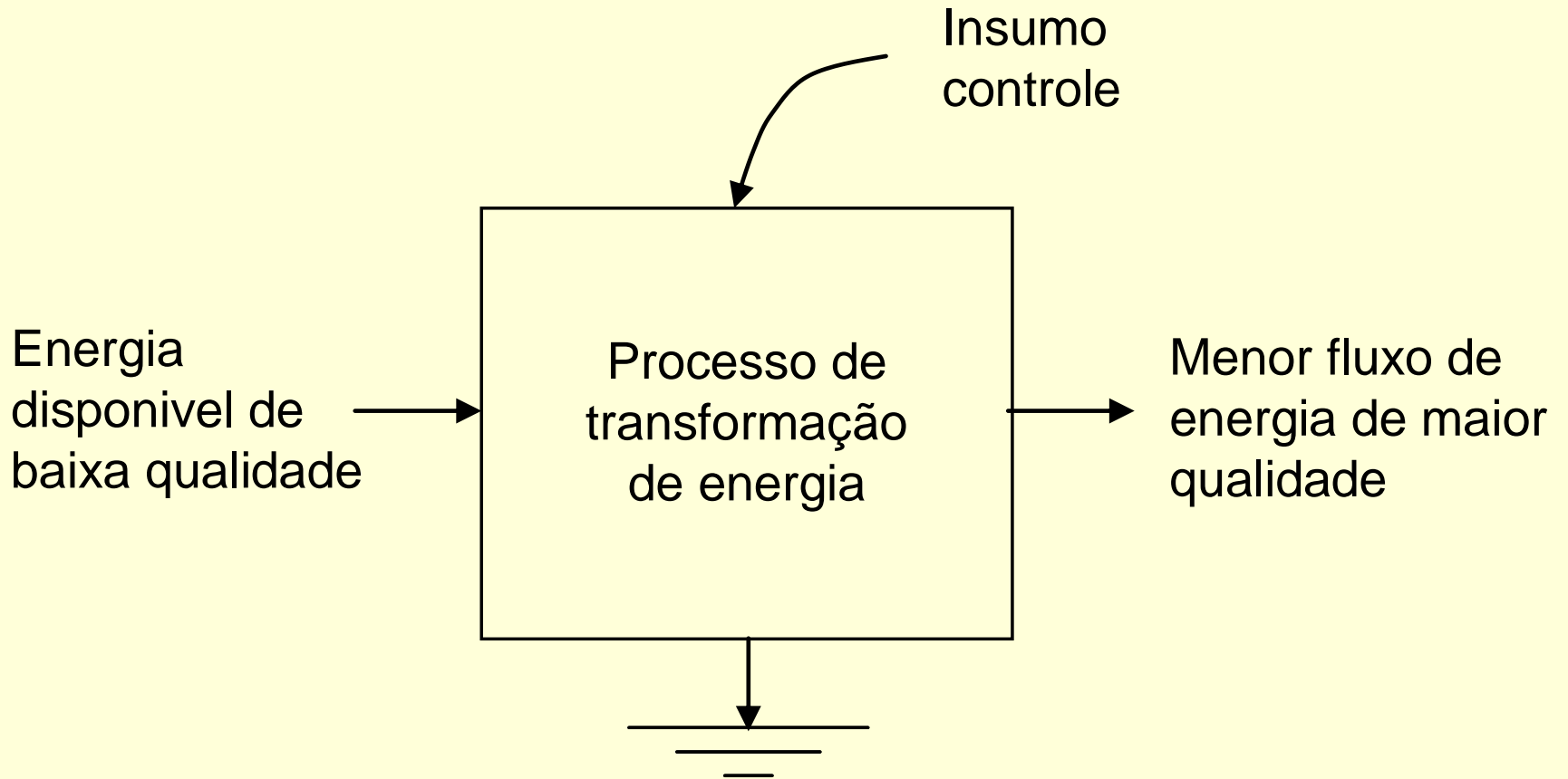
Algumas vezes refere-se a emergia como “memória energética”.

A unidade de emergia é expressa em joules de emergia solar, sej (ODUM, 1996)

Quais as fontes de energia que regem o planeta?

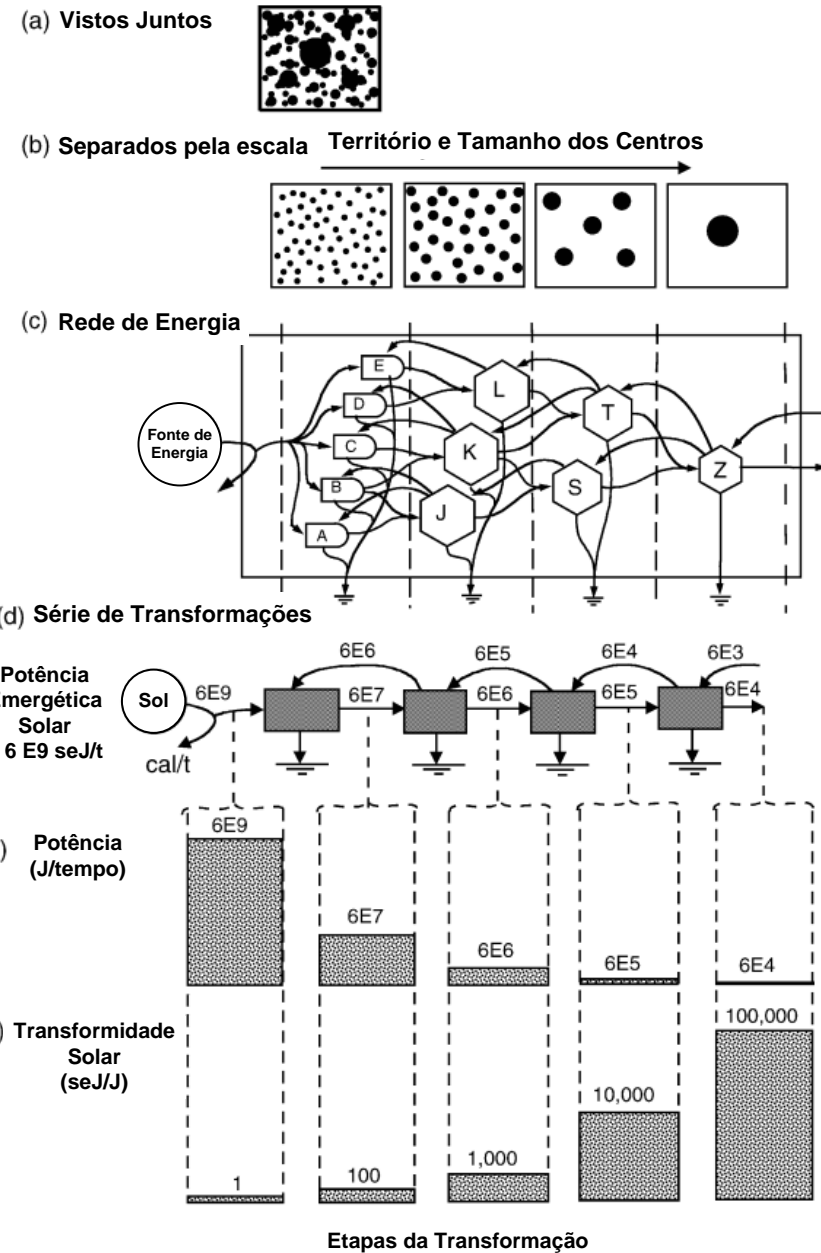
- Sol
- Geotérmica
- Marés

Processos



Metodologia

- O trabalho da natureza e da sociedade são transformações de energia
- A energia da geobiosfera pode ser organizada (hierarquia de energia)
- Muitos joules de raios solar são necessários para produzir um joule de matéria orgânica, muitos joules de matéria orgânica são necessários para produzir um joule de combustível, e assim por diante.



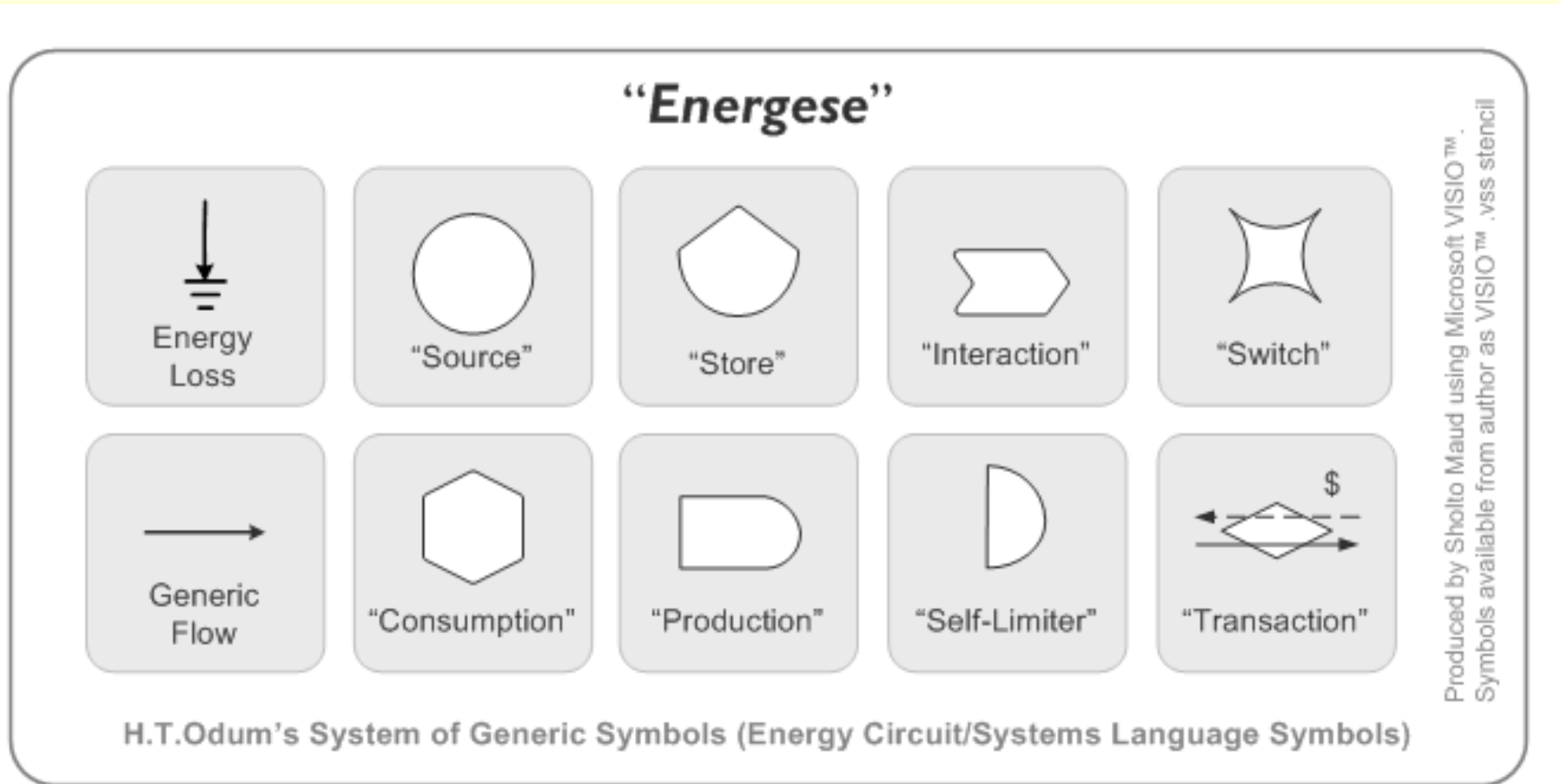
- A energia vai passando de uma forma dispersa e de menor “qualidade” para uma forma concentrada e de maior “qualidade”

Metodologia

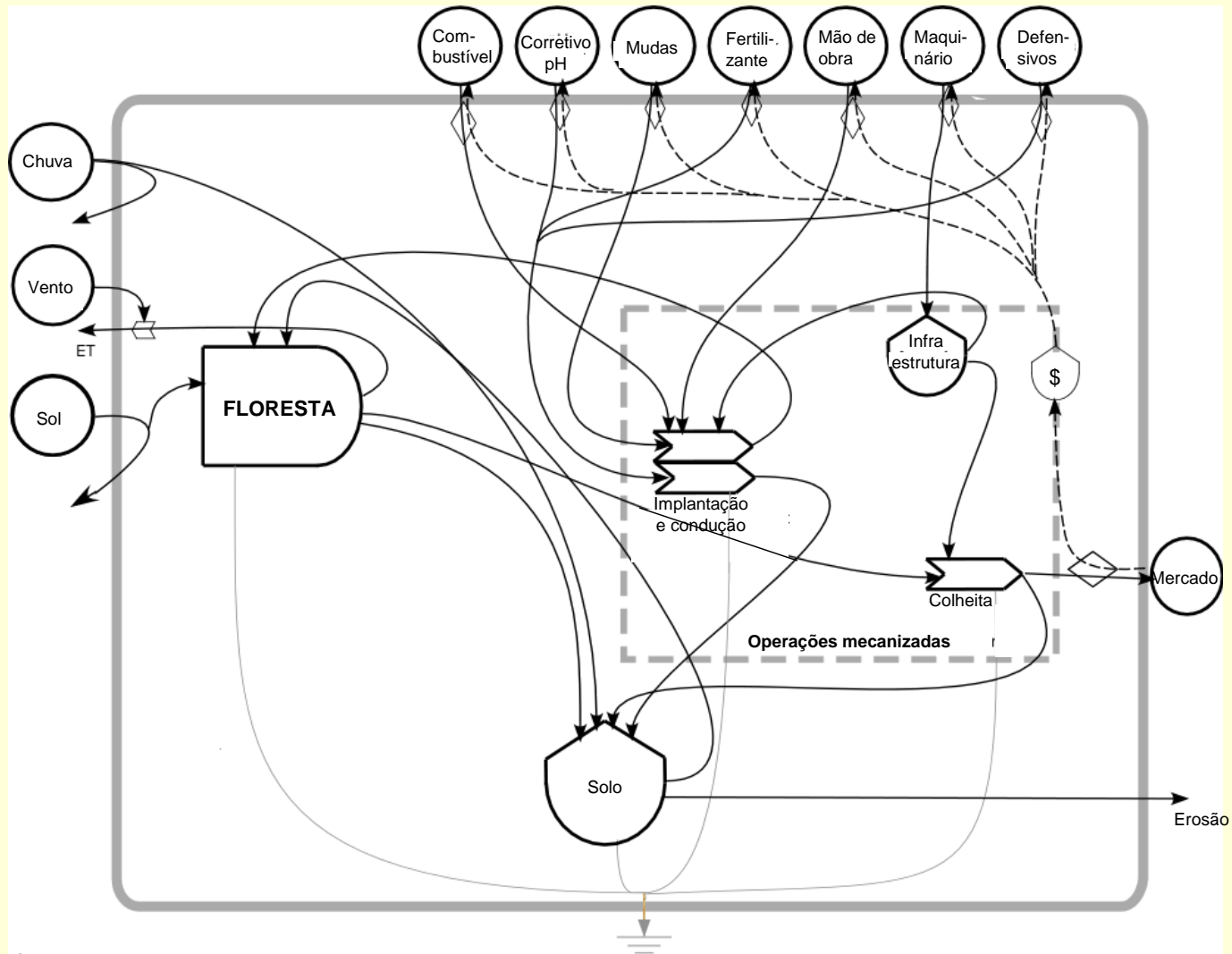
Etapas

- a) Elaboração do Diagrama Sistêmico;
- b) Montagem da Tabela de Avaliação Emergética;
- c) Uso dos indicadores Emergéticos;
- d) Interpretação dos resultados.

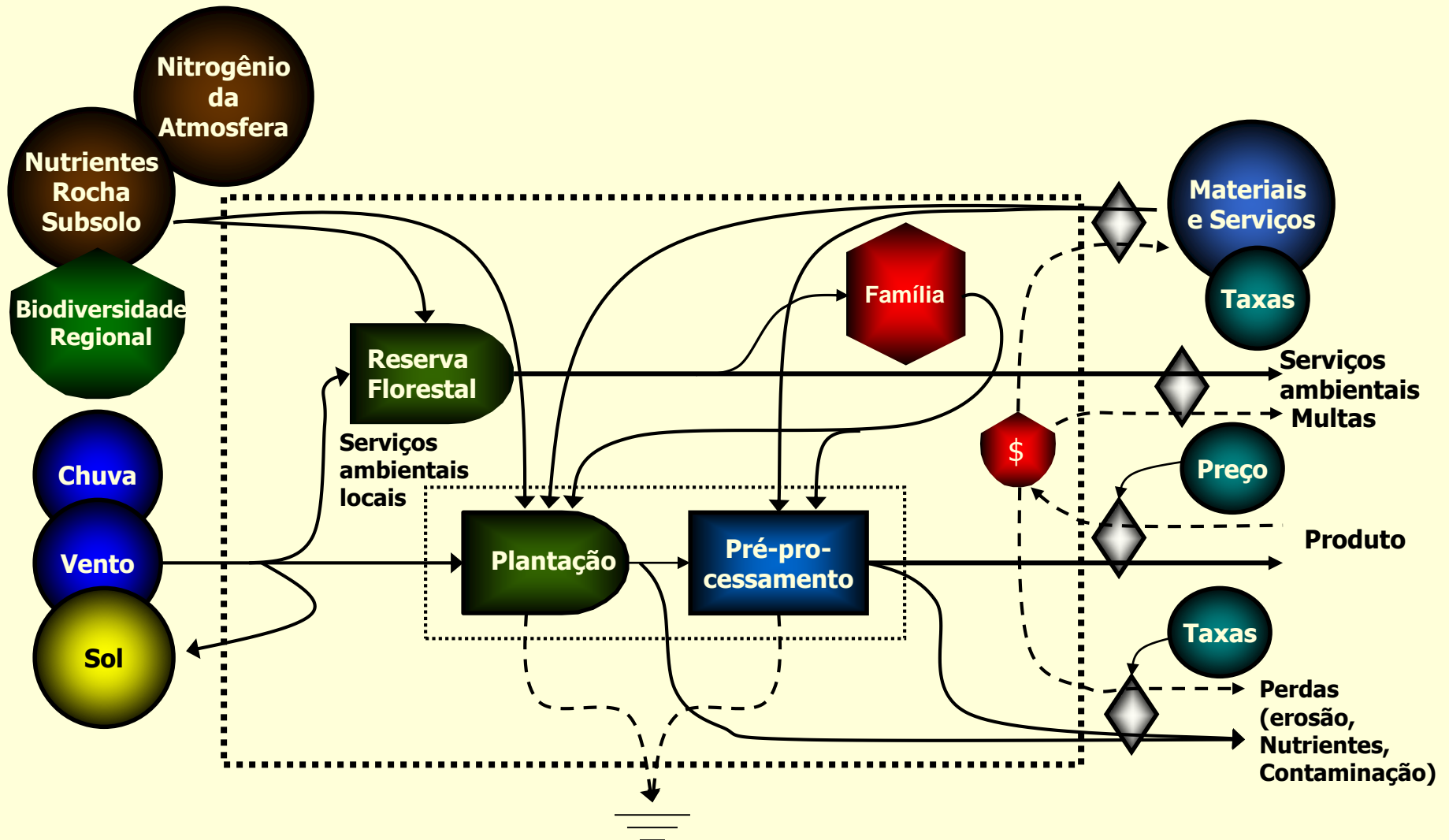
Linguagem energética



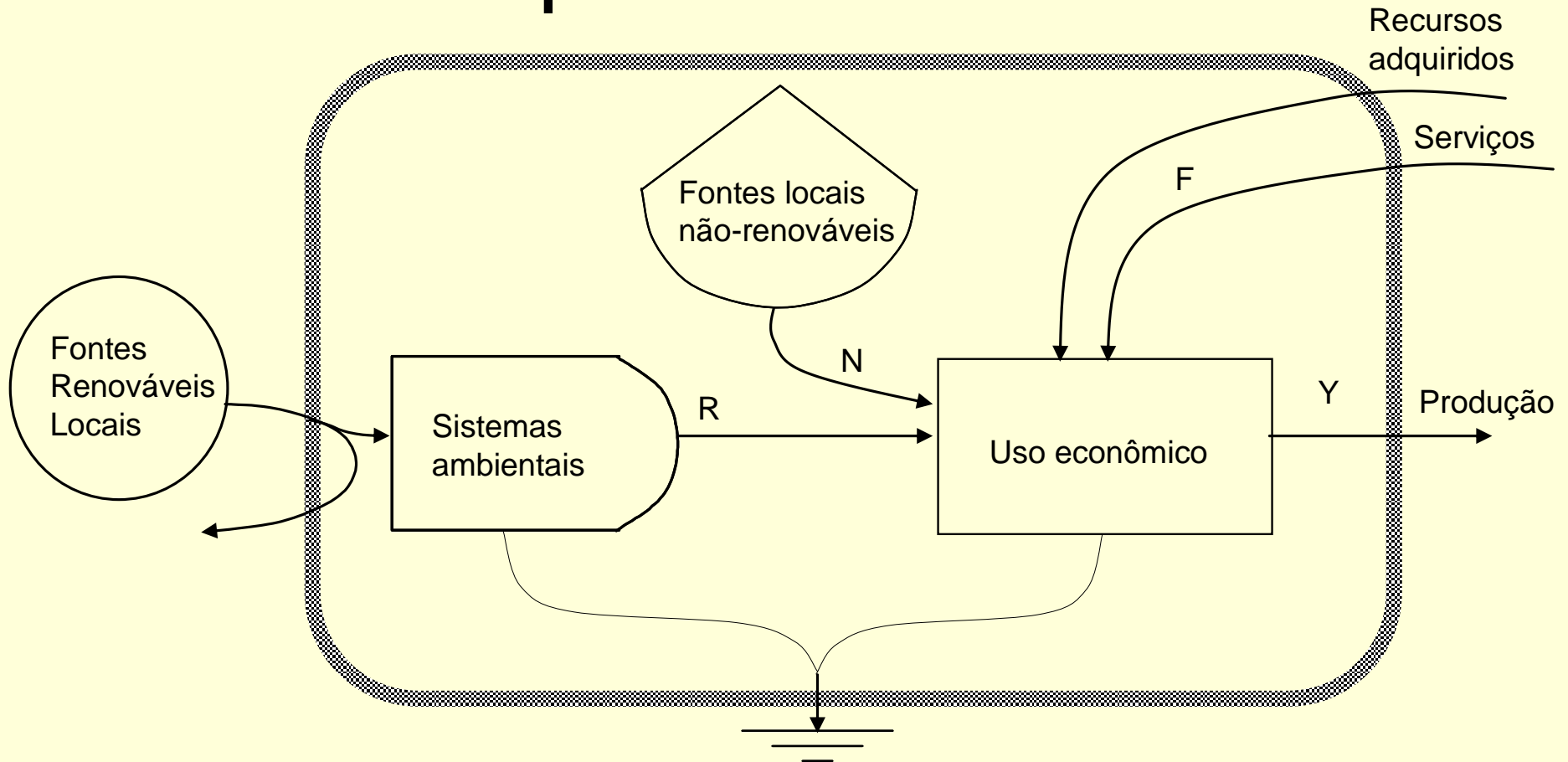
Diagrama



Metodologia



Tipos de fluxos



Indicadores:

$$\text{Energia total (Y)} = R+N+F$$

$$\text{Razão de Rendimento Energético (EYR)} = Y/F$$

$$\text{Razão de Energia Investida (EIR)} = F/(R+N)$$

$$\text{Razão de Carga Ambiental (ELR)} = (F+N)/R$$

Tabela

1	2	3	4	5	6
Nota	Item	Dados	Unidades	Transformidade sej/unidade	Energia solar E15 sej/ano
1.	Item 1	xxx,x		xxx,x	xxx,x
2.	Item 2	xxx,x		xxx,x	xxx,x
...					
n.	Item n	xxx,x		xxx,x	xxx,x
O.	Output	xxx,x		xxx,x	$\sum_n^1 Em$

Tabelas

Tabela 3.1 – Síntese de emergia para plantações de eucalipto (rotação de 7 anos)

Nota	Insumo	Quantidade unidade ha ⁻¹	Unidade	UEV sej unidade ⁻¹	Fluxo de emergia	
					Por rotação E12 sej ha ⁻¹	Por Ano E12 sej ha ⁻¹ ano ⁻¹
Fontes ambientais						
1	Evapotranspiração	3,85E11	J	30576	11775,50	1682,21
2	Erosão	70000	g	7,18E08	25,22	3,60
Entrada						
3	Combustível	529,2	l	3,85E12	2038,18	291,17
4	Maquinário	14,8	kg	6,70E12	99,35	14,19
4	Mão de obra	231,4	h	5,89E12	1362,26	194,61
6	Fertilizante 1	260,0	kg	4,63E12	1202,95	171,85

1. UEV para evapotranspiração = 2,91E4 sej J⁻¹ Brown e Bardi (2001) citando Doherty (1995), Evapotranspiração = (7796 mm ha⁻¹) * (1E4 L mm⁻¹ ha) * (1 kg L⁻¹) * (4,94E3 J kg⁻¹).

3. UEV para combustível (ODUM, 1996) = (1,32E8 J galão⁻¹) * (1 galão 3,8 L⁻¹) * (1,1E5 sej J⁻¹) = 3,85E7 sej L⁻¹.

4. UEV para depreciação emergética de maquinário = (6,7E9 sej g⁻¹), Brown e Bardi (2001) citando Doherty (1995), Por kg = (6,7E9 sej g⁻¹) * (1000 g kg⁻¹) = 6,70E12 sej kg⁻¹.

6. UEVs: K₂O = 2,92E9 sej g⁻¹ K (ODUM, 1996) * 83%K K₂O⁻¹, P₂O₅ = 2,99E10 sej g⁻¹ P (ODUM, 1996) * 43,7% P P₂O₅⁻¹, N = 7,7E9 sej g⁻¹ N (ODUM, 1996), 06-30-10 tem 6% N, 30% P₂O₅ e 10% K₂O; e 14-00-15 tem 14% N e 15% K₂O.

Metodologia

Nota	Nome das contribuições	Valor numérico	Unidades	Intensidade Energética	Fluxo de energia
	R: Recursos da natureza renováveis				
	N: Recursos da natureza não-renováveis				
	M: Materiais da economia				
	S: Serviços da economia				



F

Indicadores

$$\text{EYR} = \frac{Y}{F} = \frac{F + N + R}{F}$$

$$\text{ELR} = \frac{(F + N)}{R}$$

$$\text{EIR} = \frac{F}{(N + R)}$$

Razão de rendimento energético (EYR)

energy yield ratio

$$\text{EYR} = \frac{Y}{F} \quad \frac{(R + N + F)}{F}$$

Expressa a energia total contida no produto (Y) em relação aos recursos adquiridos no mercado (F), externos aos limites do sistema.

Mede a agregação de recursos em um produto face à contribuição da economia, através dos recursos obtidos no mercado.

É um indicador de retorno de energia sobre investimento (EROI).

Quanto maior o valor do índice, melhor é o sistema de produção.

Razão de carga ambiental (ELR)

environmental loading ratio

$$\text{ELR} = \frac{(F+N)}{R}$$

- A indica o uso de recursos locais não-renováveis (N) somados aos recursos adquiridos (F) em relação ao uso de recursos renováveis (R).
- É um indicador do impacto esperado no ecossistema devido à atividade produtiva analisada quantificando a renovabilidade do processo, presente nos fluxos envolvidos.
- Quanto menor o valor desse índice mais ambientalmente sustentável será o sistema de produção.

Razão de energia investida (EIR)

energy investment ratio

$$\text{EIR} = \frac{F}{(N + R)}$$

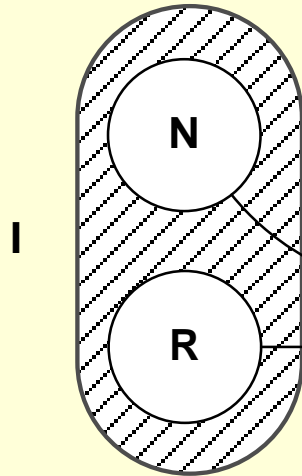
- Expressa a razão entre os insumos externos adquiridos (F) e os insumos endógenos ao sistema, ambos renováveis e não-renováveis (R+N).
- Estabelece o grau em que o processo está ajustado à economia regional ou a viabilidade de ser uma opção adequada dentre as alternativas.
- Indica também a eficiência com que os recursos exógenos investidos são utilizados.
- Quanto menor o valor desse índice mais ambientalmente sustentável será o sistema de produção.

Metodologia

I - Recursos da Natureza

R – Renováveis
N – Não Renováveis

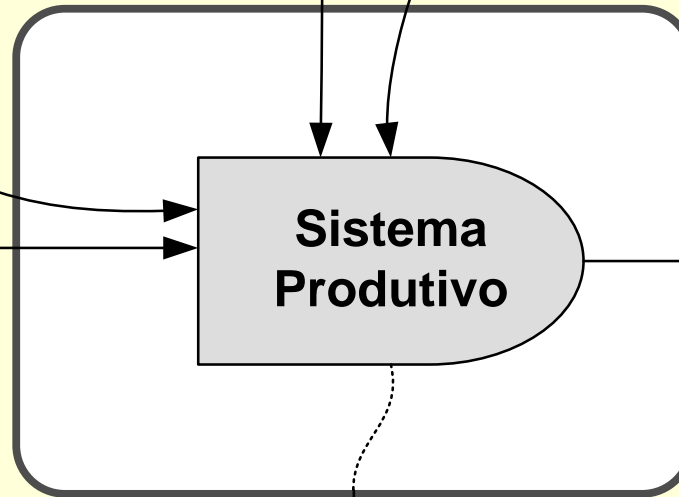
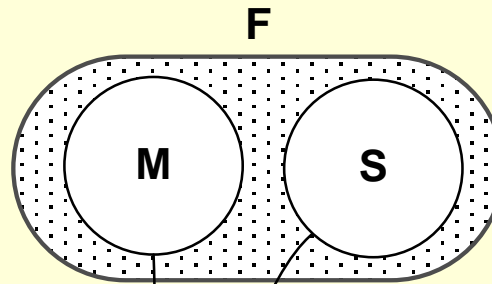
$$I = R + N$$



F – Recursos da Economia

M – Materiais
S – Serviços

$$F = M + S$$



Y
Energia

Produto

E_p
Energia
Produzida

Energia
Degradada

Metodologia

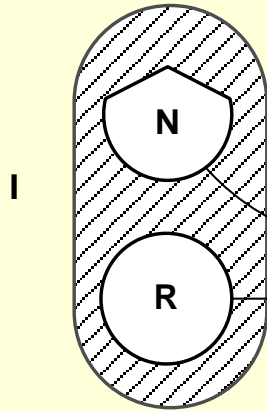
Índices Energéticos	Fórmula	Conceito
Transformidade Solar	$Tr = Y/E_p$	Energia/Energia do recurso
Renovabilidade	$\%R = (R/Y) \times 100$	Renováveis / Total
Razão de Investimento Energético	$EIR = F/I$	Recursos da economia/Recursos da natureza
Razão de Rendimento Energético	$EYR = Y/F$	Energia dos produtos/ Recursos da economia
Razão de Carga Ambiental	$ELR = (F+N)/R$	Recursos da economia + Não-renováveis / Renováveis
Razão de Intercâmbio de Energia	$EER = Y/[(\$) \times (sej/\$)]$	Energia recebida / Energia entregue

Metodologia

I – Recursos da Natureza

R – Renováveis
N – Não Renováveis

$$I = R + N$$

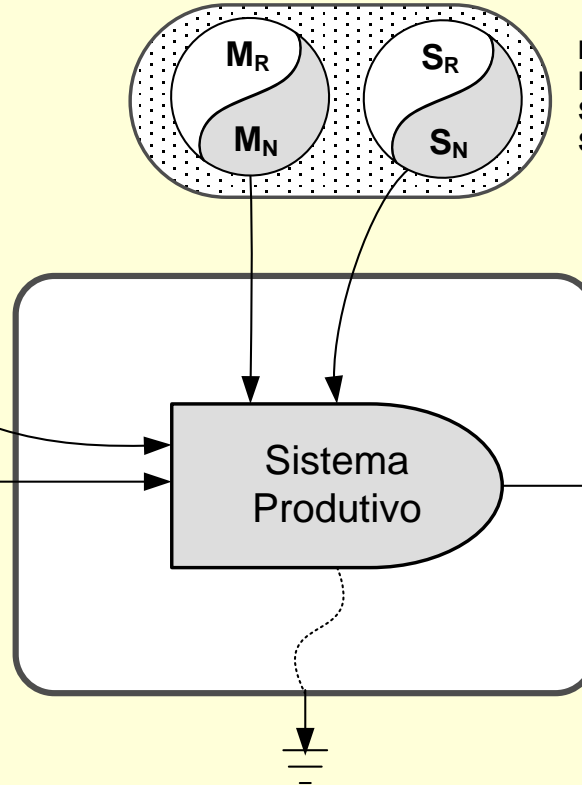


F

F – Recursos da Economia

M_R – Porção Renovável dos Materiais
 M_N – Porção Não-renovável dos Materiais
 S_R – Porção Renovável dos Serviços
 S_N – Porção Não-renovável dos Serviços

$$F = M_R + M_N + S_R + S_N$$

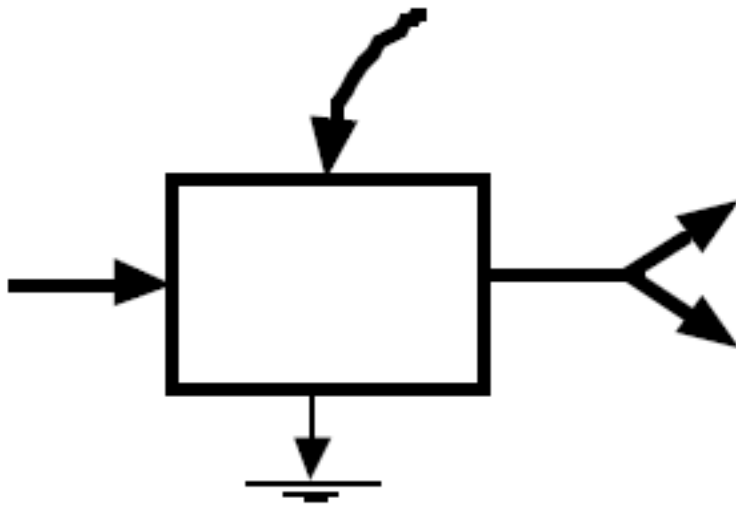


Considerando as renovabilidades parciais dos fluxos da economia, alterações propostas e aplicadas por Ortega et al (2002).

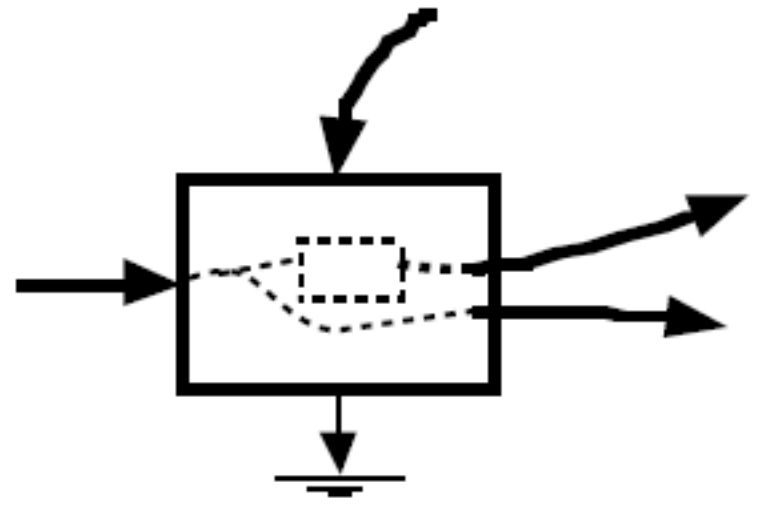
Índices Emergéticos	Fórmula
Renovabilidade*	$R^* = 100 \times (R + M_R + S_R) / Y$
Razão de Carga Ambiental*	$ELR^* = (N + M_N + S_N) / (R + M_R + S_R)$

Àlgebra emergètica

(a) Split



(b) Co-Products



Exemplo – Floresta Natural

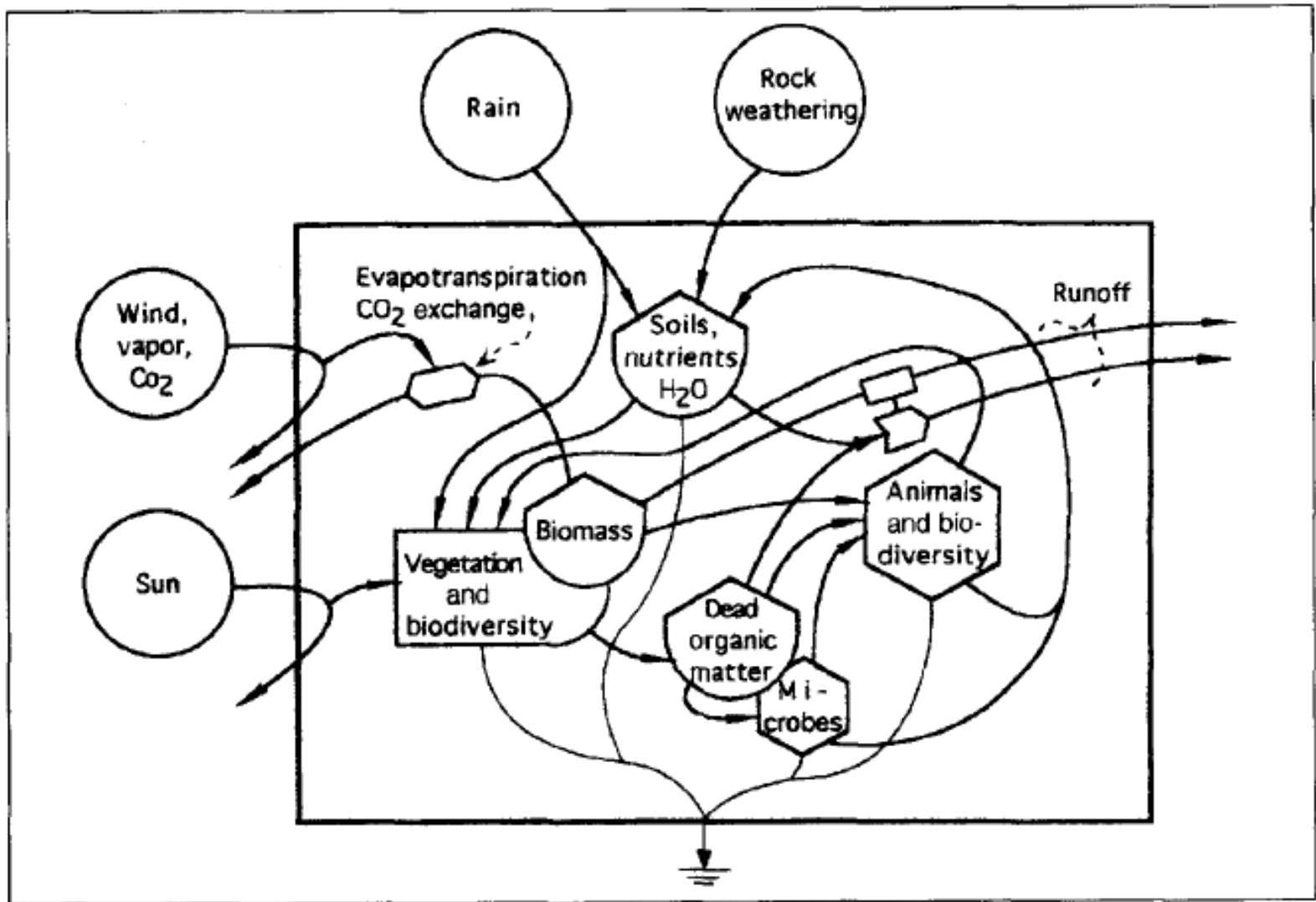


Figure 6—The aggregation of environmental source inputs.

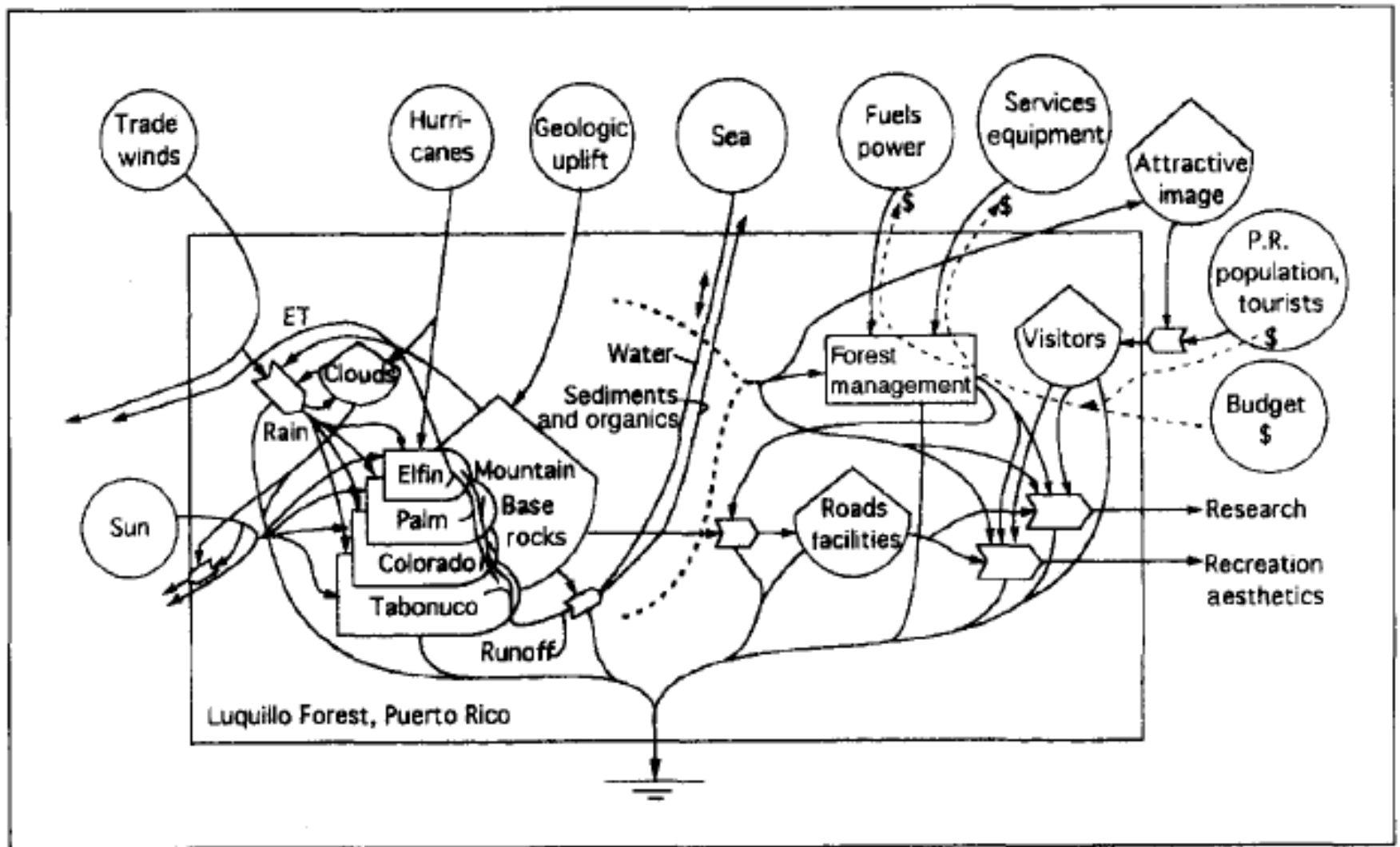


Figure 13—Systems diagram of the solar EMERGY basis of aboveground net primary production and biomass storage for the forest ecosystems in the Luquillo Experimental Forest (from Doherty et al. 1994).

Table 2—Solar transformities, EMERGY per unit mass, and EMERGY per money measures used in this study to convert resources into common units of solar EMERGY (adapted from Odum 1996)

Solar EMERGY per unit of available energy:

Insolation	1	sej/J ^b
Wind energy	1,500	sej/J ^b
Temperate forest NPP	4,530	sej/J ^c
Subtropical forest NPP	7,910	sej/J ^d
Rain, gravitational potential	10,500	sej/J ^b
Tidal energy	16,850	sej/J ^b
Rain, chemical potential	18,200	sej/J ^b
Stream, physical potential	27,800	sej/J ^b
Wave energy	29,000	sej/J ^b
Coal	30,550	sej/J ^{b,e(1)}
Wood products	32,400	sej/J ^c
Natural gas	34,800	sej/J ^{e(2)}
Crude petroleum	40,200	sej/J ^{e(3)}
Refined fuels	66,000	sej/J ^{e(4)}

Exemplo - Avaliação de captação de água

Map of the study area showing the water supply alternatives



Alternative 1

Table 9. Energy evaluation of water supplied from the Tsumeb aquifer and pipeline
(flow = 20.0 E6 m³/year)

Note	Item	Data (unit/y r)	Units	Energy/ unit (sej/ unit)	Solar Energy (E18 sej/y r)	EmDollars* (E3 \$ Em/y r)
RENEWABLE (FREE) RESOURCES						
	1 Groundwater	9.40 E+13	J	1.70 E+05	16.4	962.1
PURCHASED AND OPERATIONAL INPUTS						
	2 Collector pipes (steel)	7.30 E+05	kg	1.80 E+12	1.3	76.4
	3 Delivery pipeline (GRP)	1.10 E+13	J	6.60 E+04	0.7	42.7
	4 Concrete	1.10 E+06	kg	1.00 E+12	1.1	62.4
	5 Electricity	2.10 E+14	J	1.60 E+05	33.6	1976.5
	6 Pumps and machinery	6.10 E+04	kg	6.70 E+12	0.4	24
	7 Labor, services & capital	4.30 E+06	\$	1.70 E+13	73.1	4300
	8 Operating costs	7.90 E+05	\$	1.70 E+13	13.4	790
	9 Maintenance costs	3.00 E+05	\$	1.70 E+13	5.1	300
Purchased subtotal					126.7	7452.9
ENVIRONMENTAL AND SOCIO-ECONOMIC IMPACTS						
	Loss of regional wildlife	6.00 E+12	J	4.00 E+06	24	1411.8
	Loss of tourism	3.90 E+05	\$	1.20 E+12	0.47	27.5
Impacts subtotal					24.47	1439.3
Total inputs and impacts					152.5	8968.6

* Solar energy divided by 1.7 E13 sej/19 96 US\$ (energy per dollar ratio for Namibia in 1996).

Alternative 2

Table 8. Emergy evaluation of desalinating coastal water and pipeline (flow = 17.3 E6 m³/year)

Note	Item	Data (unit/y r)	Units	Emergy/ unit (sej/ unit)	Solar Emergy (E18 sej/y r)	EmDollars* (E3 \$ Em/y r)
RENEWABLE (FREE) RESOURCES						
	1 Sea or brackish water	2.51 E+14	J	7.40 E+03	1.9	109.4
PURCHASED AND OPERATIONAL INPUTS						
	2 GRP Pipeline	4.25 E+13	J	6.60 E+04	2.8	164.9
	3 Concrete	1.71 E+06	kg	1.00 E+12	1.7	100.8
	4 Electricity	1.02 E+15	J	1.60 E+05	163.7	9629.2
	5 Labor, services & capital	1.26 E+07	\$	1.70 E+13	214.1	12591.4
	6 Operating costs	4.31 E+06	\$	1.70 E+13	73.3	4311.9
	7 Maintenance costs	8.81 E+05	\$	1.70 E+13	15	881.4
	Purchased subtotal				470.6	27679.6
ENVIRONMENTAL AND SOCIO-ECONOMIC IMPACTS						
	Rain required to dilute the brine	2.40 E+14	J	7435	1.78	105
	Loss of net primary prod.	2.40 E+14	J	9.00 E+03	2.16	127.1
	Impacts subtotal				3.94	232.1
	Total inputs and impacts				476.4	28021.1

* Solar emergy divided by 1.7 E13 sej/19 96 US\$ (emergy per dollar ratio for Namibia in 1996).

Alternative 3

Table 7: Energy evaluation of water from the Kavango and pipeline (flow = 17.3 E6 m³/year)

Note	Item	Data (unit/y r)	Units	Energy/ unit (sej/ unit)	Solar Energy (E18 sej/y r)	EmDollars* (E3 \$ Em/y r)
RENEWABLE RESOURCE INPUTS						
	1 Kavango River water	8.19 E+13	J	4.80 E+04	4	233.6
PURCHASED AND OPERATIONAL INPUTS						
	2 GRP pipe	3.16 E+13	J	6.60 E+04	2.1	122.5
	3 Concrete	1.40 E+06	kg	1.00 E+12	1.4	82.4
	4 Fuels	7.49 E+12	J	6.60 E+04	0.5	29.1
	5 Electricity	2.29 E+14	J	1.60 E+05	36.6	2151.9
	6 Machinery & equipment	7.32 E+04	kg	6.70 E+12	0.5	28.9
	7 Labor, services & capital	3.97 E+06	\$	1.70 E+13	67.4	3966.2
	8 Operating costs	9.81 E+05	\$	1.70 E+13	16.7	981.4
	9 Maintenance costs	9.63 E+05	\$	1.70 E+13	16.4	962.8
	Input subtotal				145.6	8558.8
ENVIRONMENTAL AND SOCIO-ECONOMIC IMPACTS						
	10 Net primary production	2.1 - 21.0 E14	J	9.00 E+03	1.9 - 18.8	1106 - 11064
	11 Regional wildlife	2.3 - 23.0 E12	J	4.00 E+06	9.2 - 92	5412 - 54118
	12 Ecotourism	1.7 - 17 E5	\$	1.20 E+12	0.2 - 2.0	117 - 1165
	Impacts subtotal				11.3 - 113	6635 - 66347
Total inputs and impacts					161 - 263	15427 - 75139

* Solar energy divided by 1.7 E13 sej/19 96 US\$ (energy per dollar ratio for Namibia in 1996).

Emergy indices help in decision making by providing information "outside of traditional economic analysis"

Table 10. Comparison of emergy indices among the 3 water supply systems

Emergy index ^(a)	Best when index:	Kavango	Desalination	Tsumeb aquifer
Transformity of water (sej/J)	↓	1.78 E6	5.76 E6	1.53 E6
% Renewable	↑	2.81	0.4	12.71
Emergy Investment Ratio (EIR)	↓	26.09	131.15	7.81
Emergy Yield Ratio (EYR)	↑	1.04	1.01	1.14
Environmental Loading Ratio (ELR)	↓	35.64	252.92	7.87
Emergy Sustainability Index (ESI)	↑	0.03	0.004	0.14
Emergy Benefit to Purchaser (EBP)	↑	1.45	1.56	1.58
EmDollar per m ³	↓	0.49	1.61	0.43

(a) Indices are defined in Appendix A.

**Exemplo - inclusão da relação
\$/sej na análise**

Avaliação de turismo

Using data from tourism development in Mexico and Papua New Guinea...

the concept of carrying capacity is related to intensity of development, environmental support area, and the "fit" of economic development in local environments and economies.

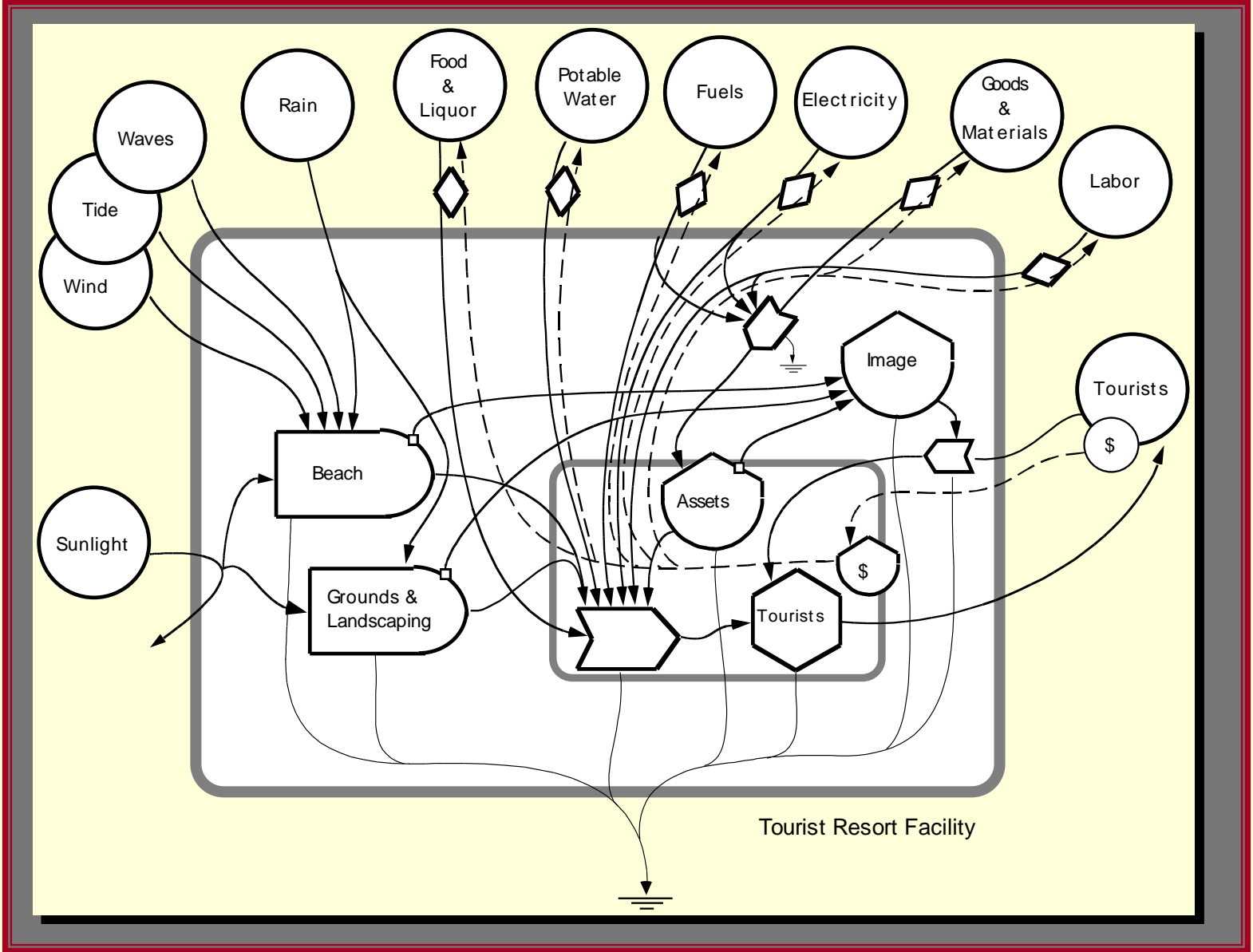


Table 2. Energy evaluation of tourist resort on New Britain Island,
Papua New Guinea

Note	Item	Units	Units/Yr.	Transformity (sej/unit)	Solar Energy (E15 sej/yr)
RENEWABLE RESOURCES					
	1 Sunlight	J	1.74E+14	1.00E+00	0.2
	2 Wind	J	1.18E+11	1.50E+03	0.2
	3 Wave Energy	J	1.53E+11	3.06E+04	4.7
	4 Tidal Energy	J	2.21E+11	1.68E+04	3.7
	5 Rain	J	2.41E+11	1.82E+04	4.4
NONRENEWABLE STORAGES					
	6 Potable water	J	2.93E+09	6.66E+05	2.0
	Sum of free inputs (sun,wind, and rain omitted)				10.3
PURCHASED INPUTS					
Construction inputs					
	7 Wood	J	1.64E+09	3.49E+04	0.1
	8 Concrete	g	1.70E+06	9.26E+07	0.2
	9 Steel	g	5.10E+04	1.80E+09	0.1
	10 Furnishings	J	3.16E+09	4.00E+06	12.7
	11 Non-renewable services (PNG)	\$	2.40E+04	6.50E+12	156.0
Operational inputs					
	12 Fuel	J	2.28E+12	6.60E+04	150.5
	13 Electricity	J	0.00E+00	2.00E+05	0.0
	14 Food	J	8.76E+10	2.50E+05	21.9
	15 Liquor	J	1.10E+10	7.00E+05	7.7
	16 Non-renewable services (PNG)	\$	1.40E+05	6.50E+12	910.0
	Sum of purchased inputs				1,259.0
	18 Tourists (number)		6.20E+02	3.74E+16	23,188.0

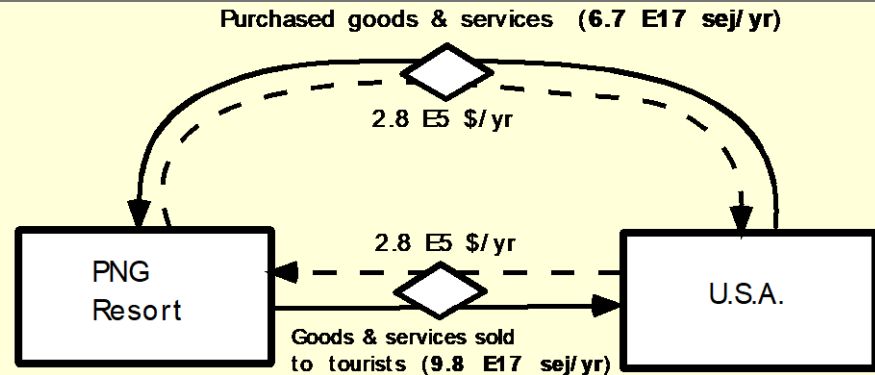
Table 3. Emergy evaluation of four star tourist hotel in Puerto Vallarta,
Mexico

Note	Item	Units	Units/Yr.	Transformity (sej/unit)	Solar Emergy (E15 sej/yr)
RENEWABLE RESOURCES					
	1 Sunlight	J	9.14E+13	1.00E+00	0.1
	2 Wind	J	1.10E+11	1.50E+03	0.2
	3 Wave Energy	J	1.60E+10	3.06E+04	0.5
	4 Tidal Energy	J	4.18E+09	1.68E+04	0.1
	5 Rain	J	9.31E+10	1.82E+04	1.7
NONRENEWABLE STORAGES					
	6 Potable water	J	2.44E+11	6.66E+05	162.4
	Sum of free inputs (sun,wind,waves omitted)				164.2
PURCHASED INPUTS					
Construction inputs					
	7 Concrete	g	1.15E+08	9.26E+07	10.6
	8 Steel	g	2.70E+07	1.80E+09	48.6
	9 Furnishings	J	5.72E+10	4.00E+06	228.8
	10 Non-renewable services	\$	1.41E+06	2.60E+12	3666.0
Operational inputs					
	11 Fuel	J	3.90E+12	6.60E+04	257.4
	12 Electricity	J	6.20E+13	2.00E+05	12400.0
	13 Food	J	6.29E+11	2.00E+06	1258.0
	14 Liquor	J	7.93E+10	7.00E+05	55.5
	15 Non-renewable services	\$	1.74E+06	2.60E+12	4511.0
	Sum of purchased inputs				22436.0
	16 Tourists (number)		5.37E+03	8.50E+15	45636.5

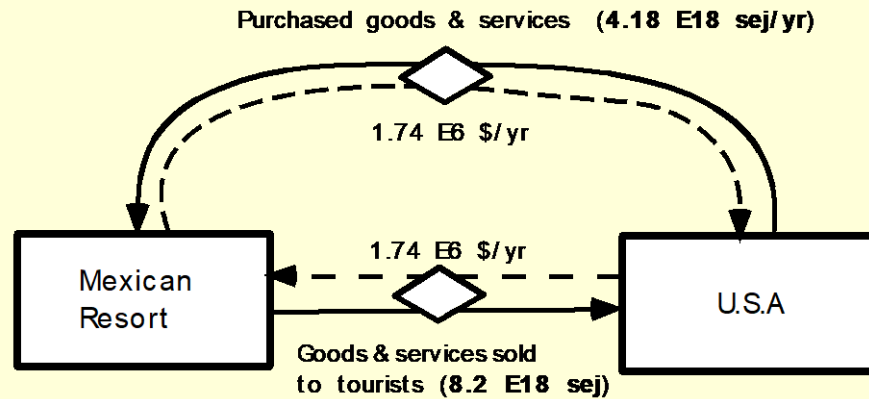
Table 4. Comparative energy indices for tourist resorts in Papua New Guinea and Mexico

Notes	Index	PNG		Mexico	
		Country	Resort	Country	Resort
1	Total Energy Use (E18 sej/yr)	1.22E+23	1.31E+18	6.96E+23	2.26E+19
	Locally Renewable (E20 sej/yr)	1.05E+23	8.40E+15	1.39E+23	1.80E+15
	Locally Nonrenewable (E20 sej/yr)	1.09E+22	2.00E+15	3.66E+23	1.62E+17
	Imported (E20 sej/yr)	5.40E+21	1.30E+18	1.08E+23	2.24E+19
2	Percent Renewable	86.6%	0.6%	20.0%	0.01%
3	Empower density (E11 sej/m ² *yr ⁻¹)	2.6	322.0	3.1	11857.0
4	Energy per capita (E15 sej/person*yr ⁻¹)	37.7	91.4	8.5	219.1
5	Environmental loading ratio	0.16	155.0	3.4	12534.4
6	Renewable energy/area (E11 sej/m ² *yr)	2.3		0.7	
7	Support Area required (m ²)	–	3.57E+07	--	9.36E+07

Energy valuation of international trade resulting from money income from tourism...



PNG energy trade dis-advantage in tourism = $-\frac{9.8}{6.7} = -1.5 \text{ to } 1$



Mexico energy trade dis-advantage in tourism = $-\frac{8.2}{4.2} = -2 \text{ to } 1$