

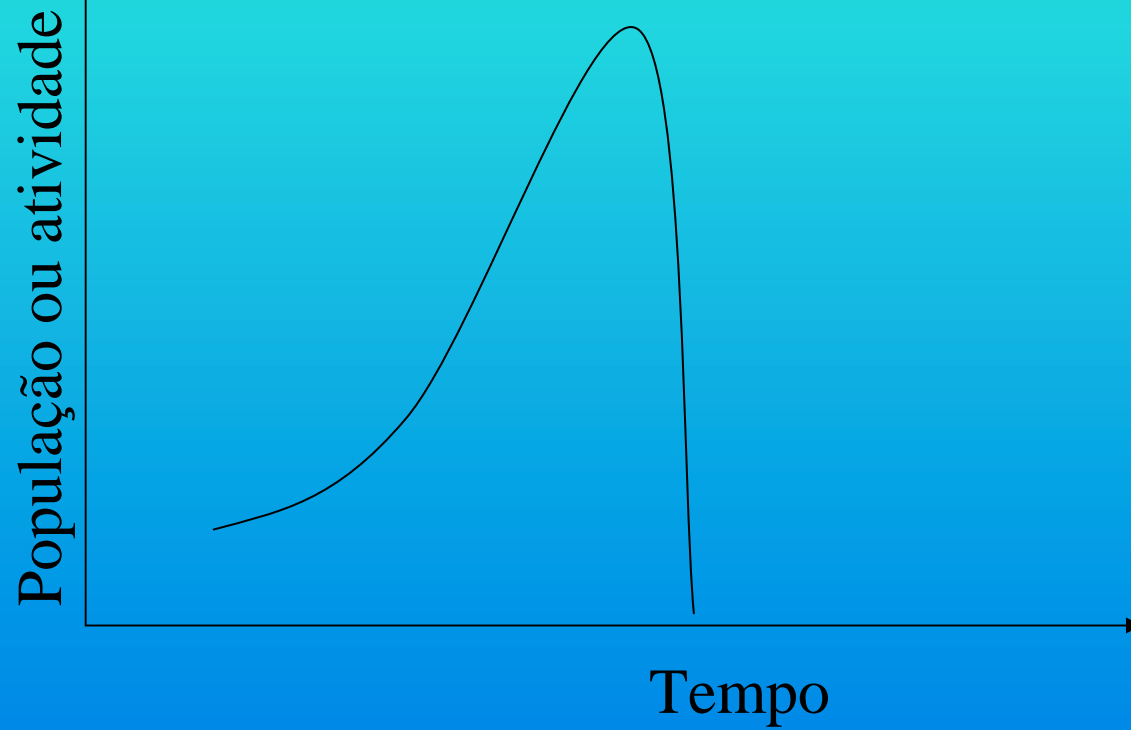
# Conservação de Energia e Noções de Engenharia Econômica

Apresentação para a disciplina EM-5486 - Energias Renováveis

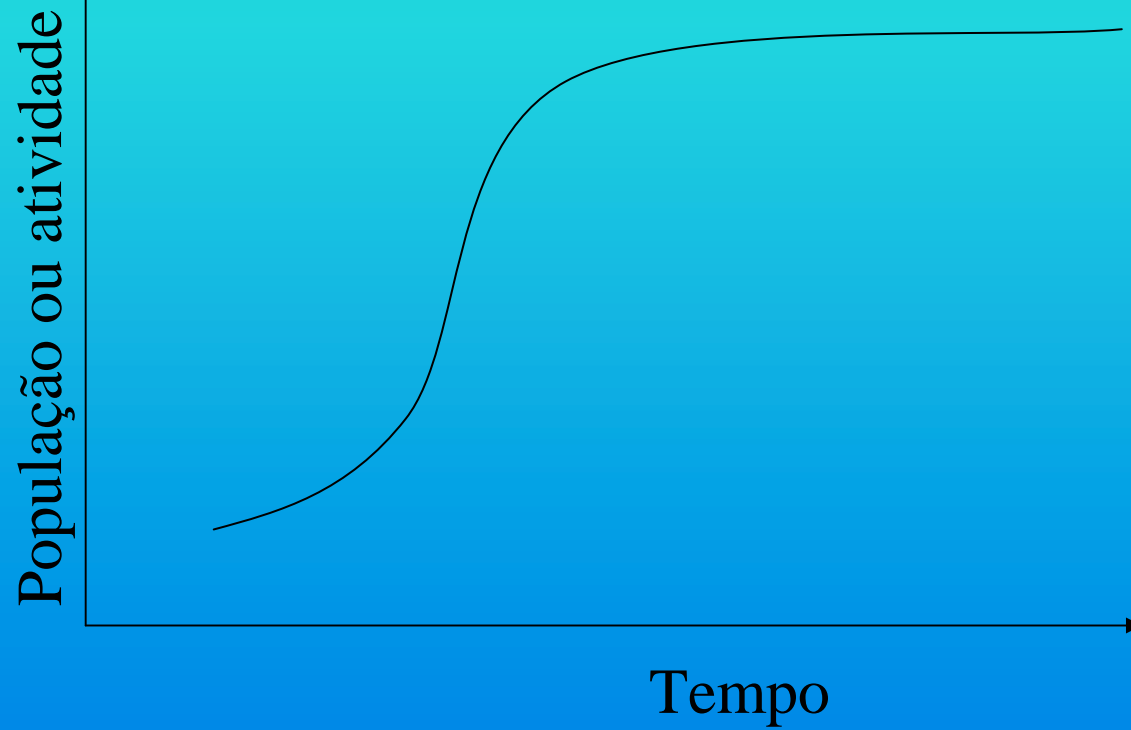
Eng. Thomaz Borges, Dr.

# PARTE I – CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

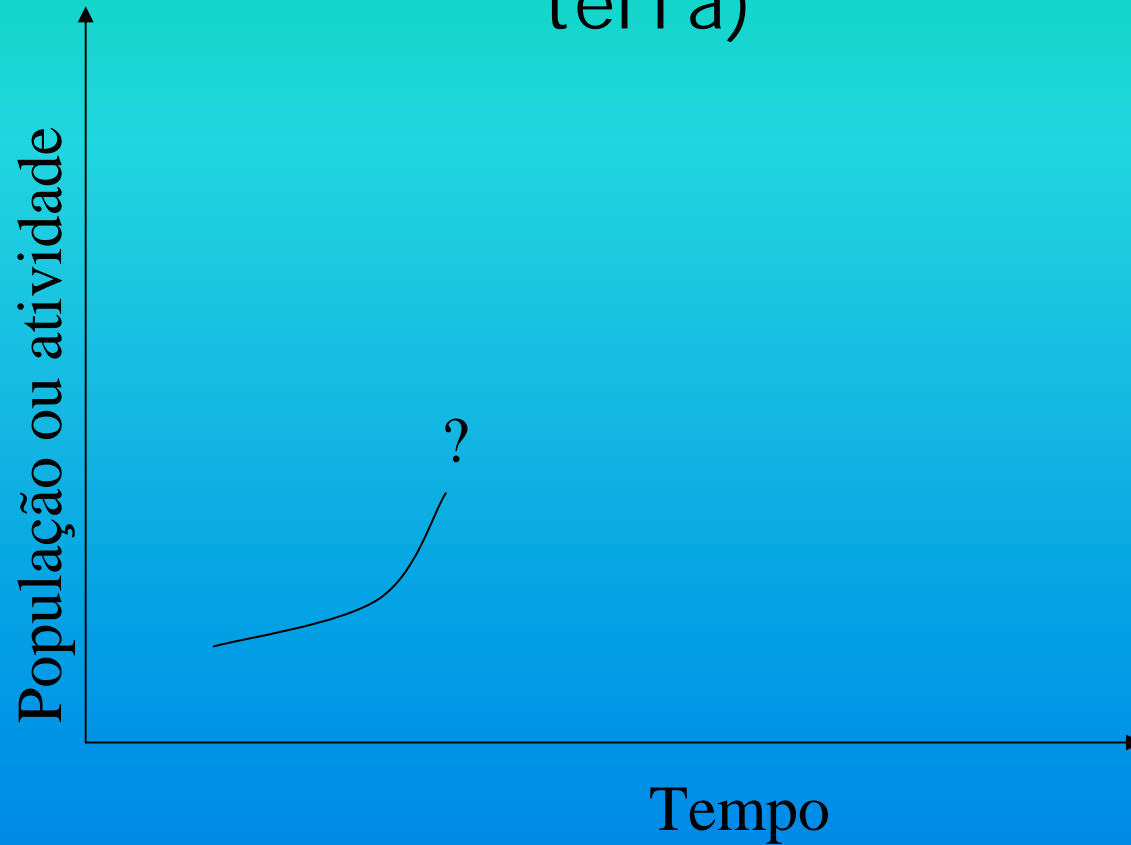
## Vida da bactéria antraz em um homem



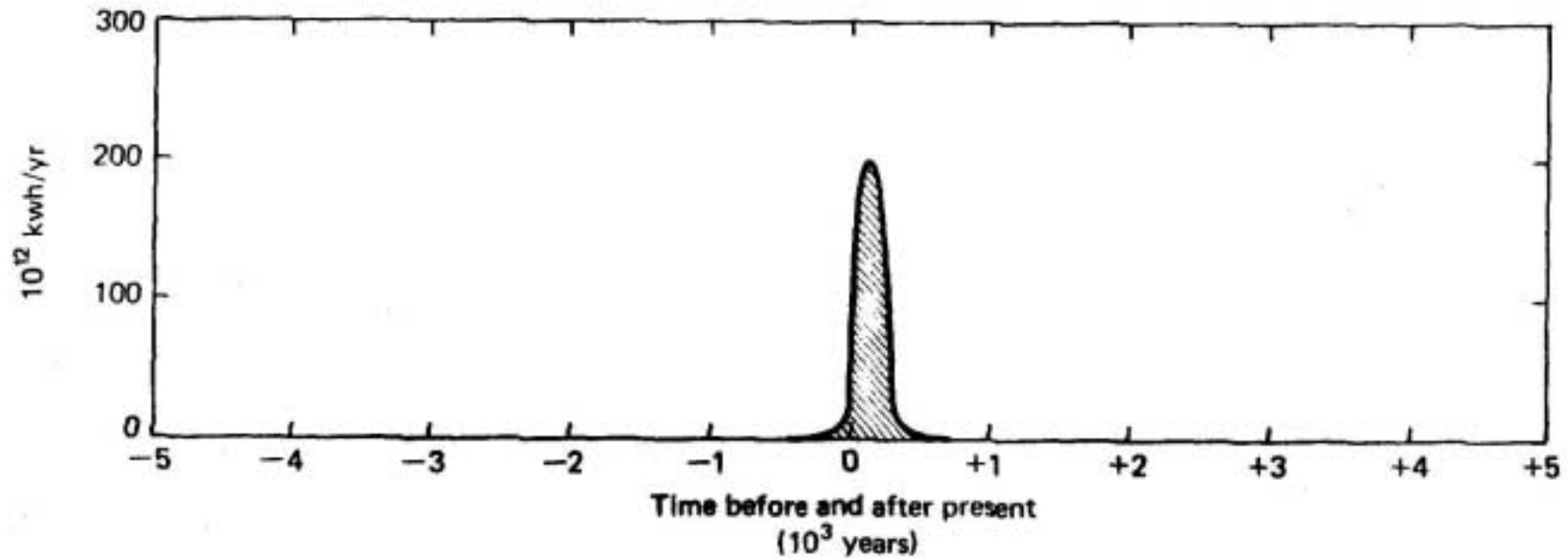
# Vida dos piolhos em um macaco



# Vida do homem em um planeta (chamado terra)



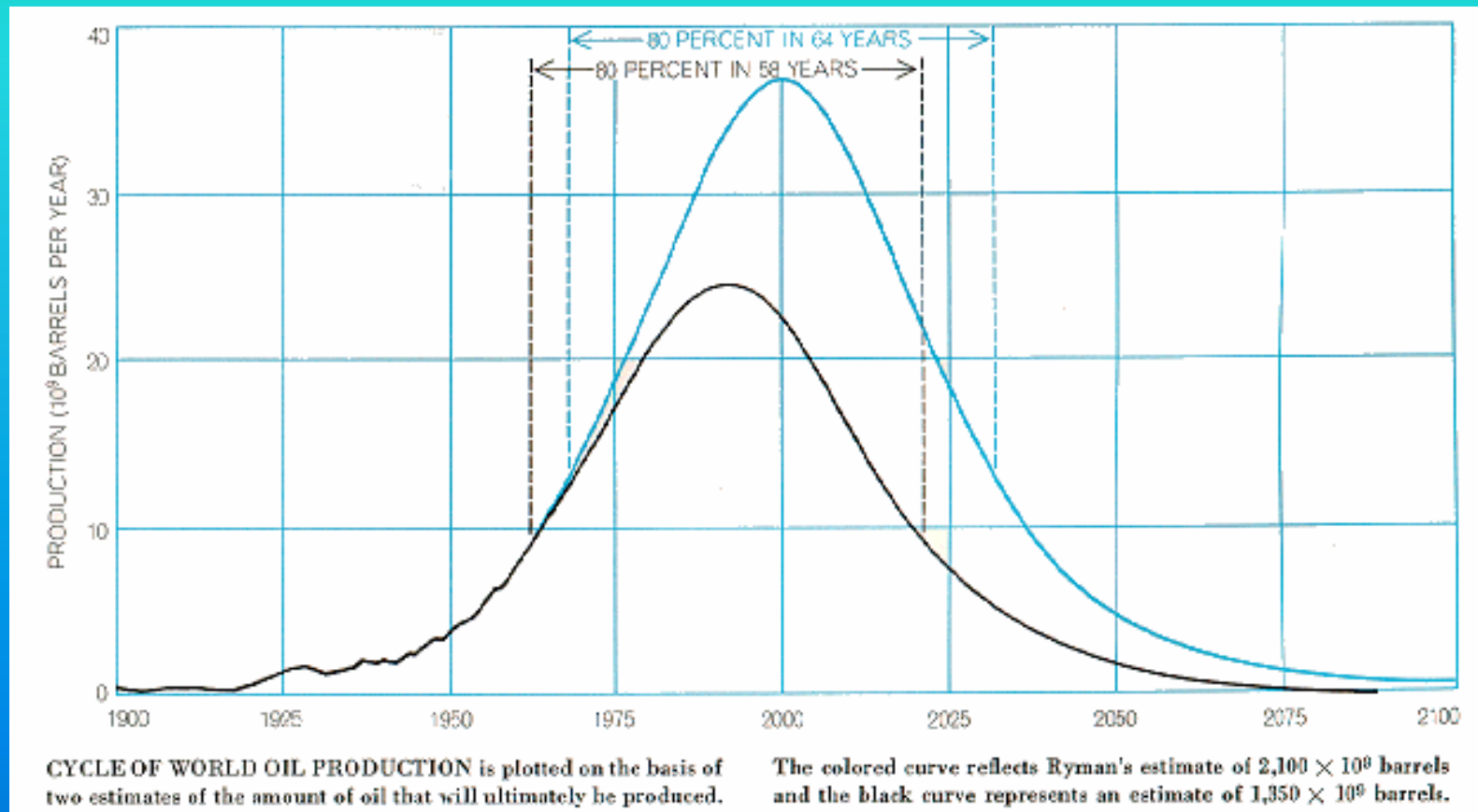
# A era dos combustíveis fósseis



Epoch of fossil fuel exploitation in the longer span of human history.

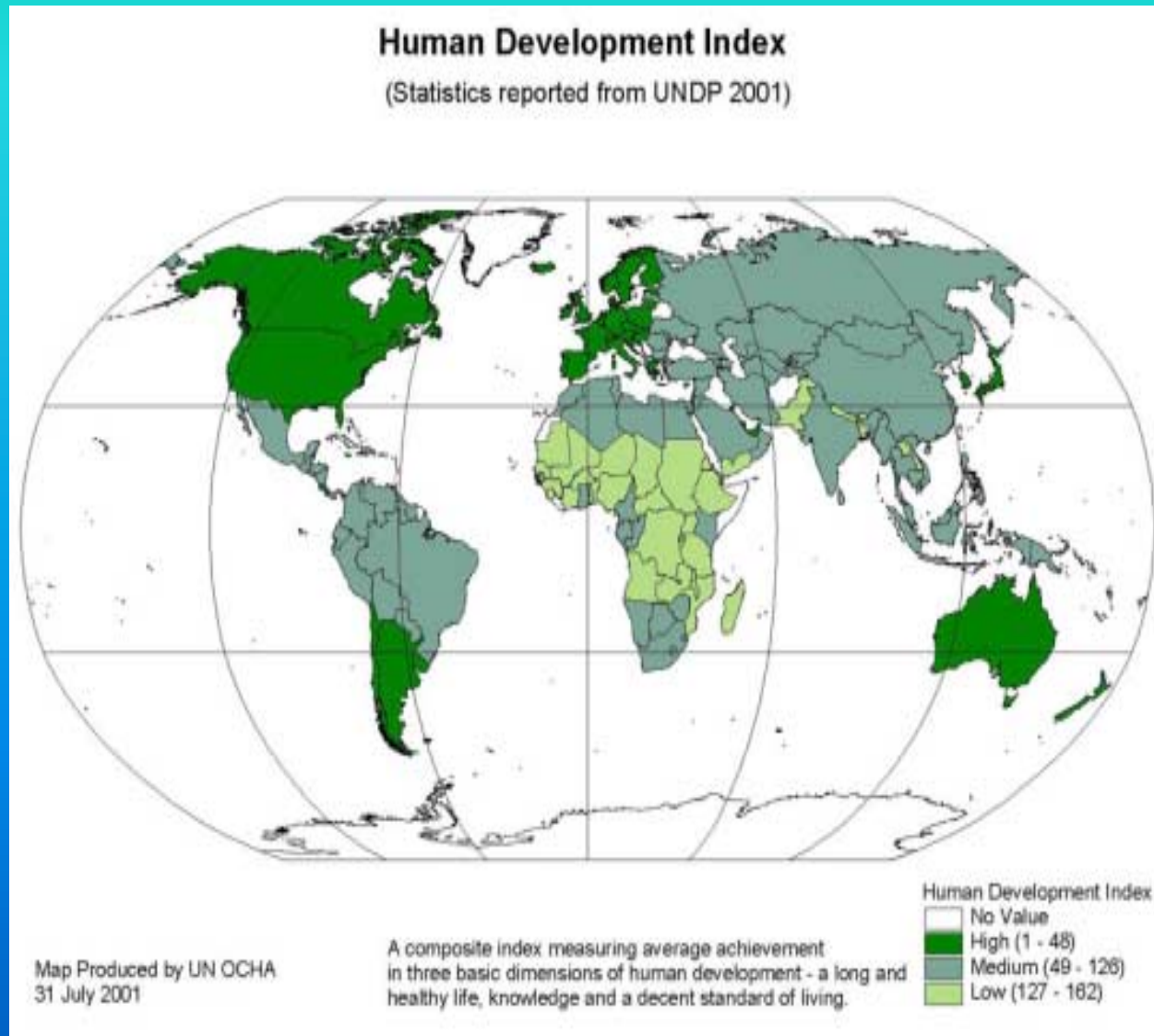
Source: Hubbert, M. King, 1972, *Man's conquest of energy: its ecological and human consequences*, on the environmental and ecological forum 1970-1971: U.S. Atomic Energy Commission; available as T 1D-25857 from Natl. Tech. Inf. Service, Springfield, Virginia 22151.

# Reservas de petróleo - mudanças para nossos filhos e netos



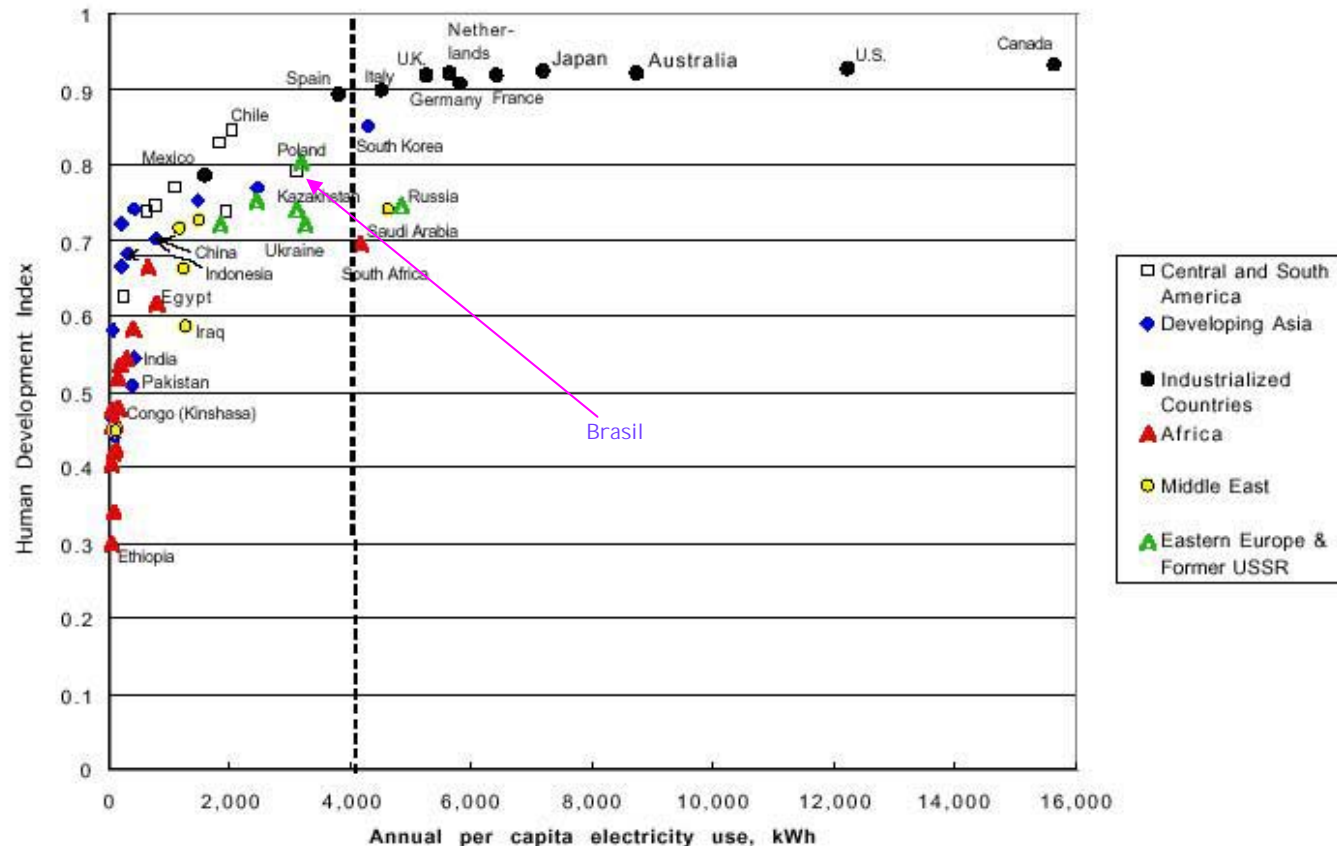
from *Energy and Power*, A Scientific American Book, 1971, pg 39

# Índice de desenvolvimento humano – saúde, educação e economia





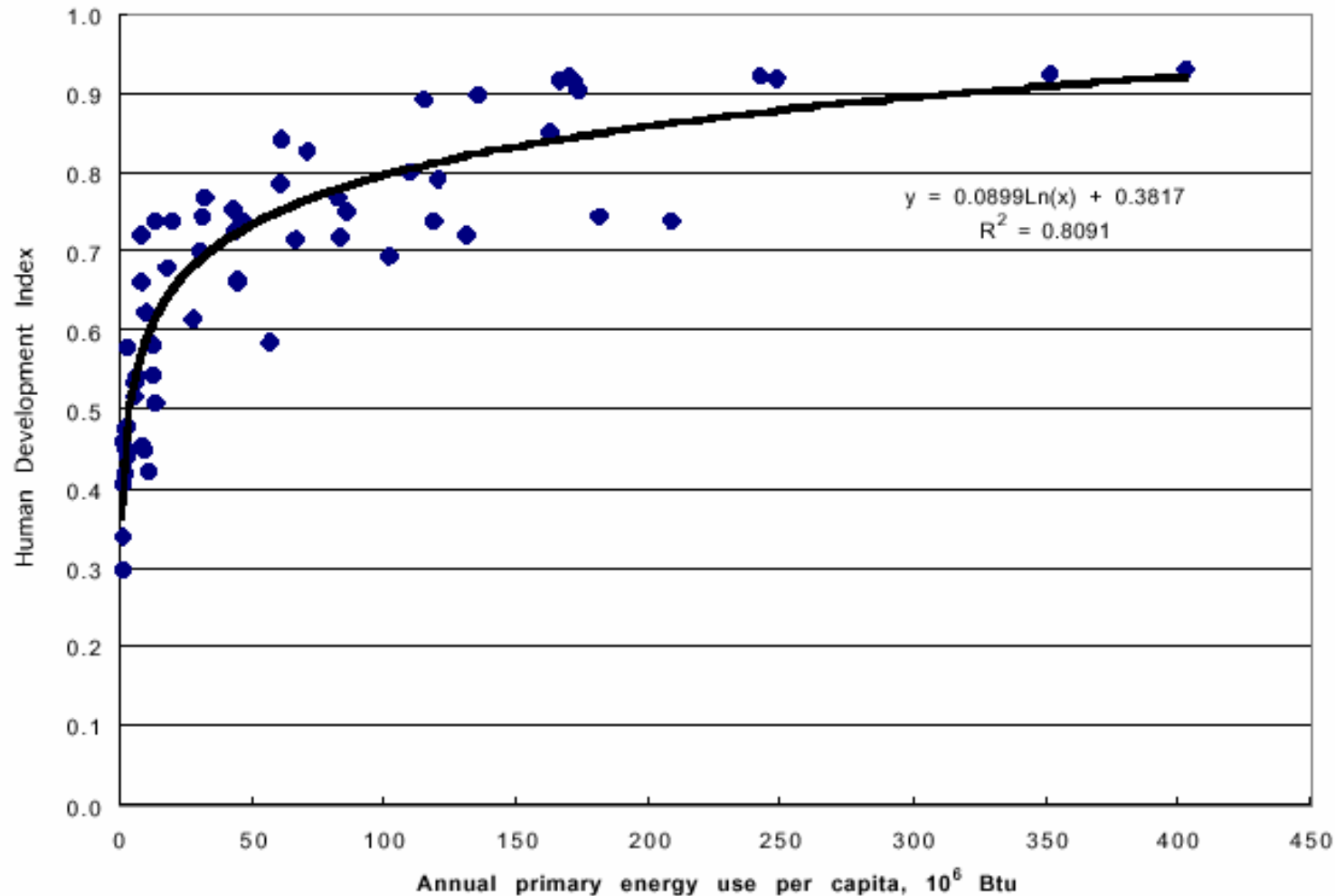
# IDH e consumo de eletricidade per capita – diferentes estilos de vida



**Figure 1. The United Nations' Human Development Index and electricity use. 60 Countries, 1997.**

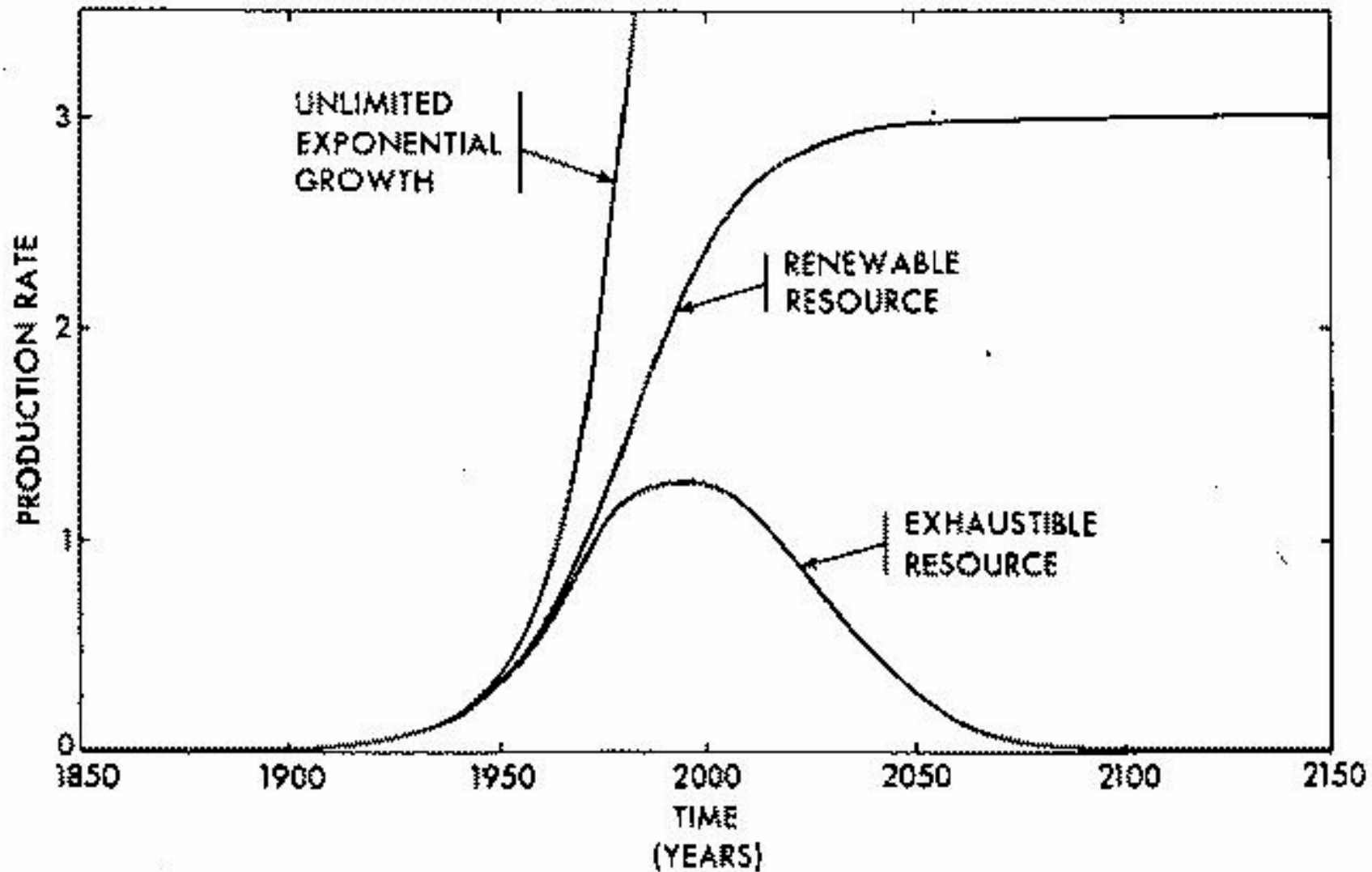
Sources: Human Development Report 1999, United Nations Development Programme, Table 1; International Net Electricity Consumption Information, Energy Information Administration, U.S. Department of Energy, <<http://www.eia.doe.gov/pub/international/iealf/table62.xls>>; International Data Base, U.S. Bureau of the Census, <<http://www.census.gov/ipc/www/idprint.html>>.

# IDH e consumo de energia per capita

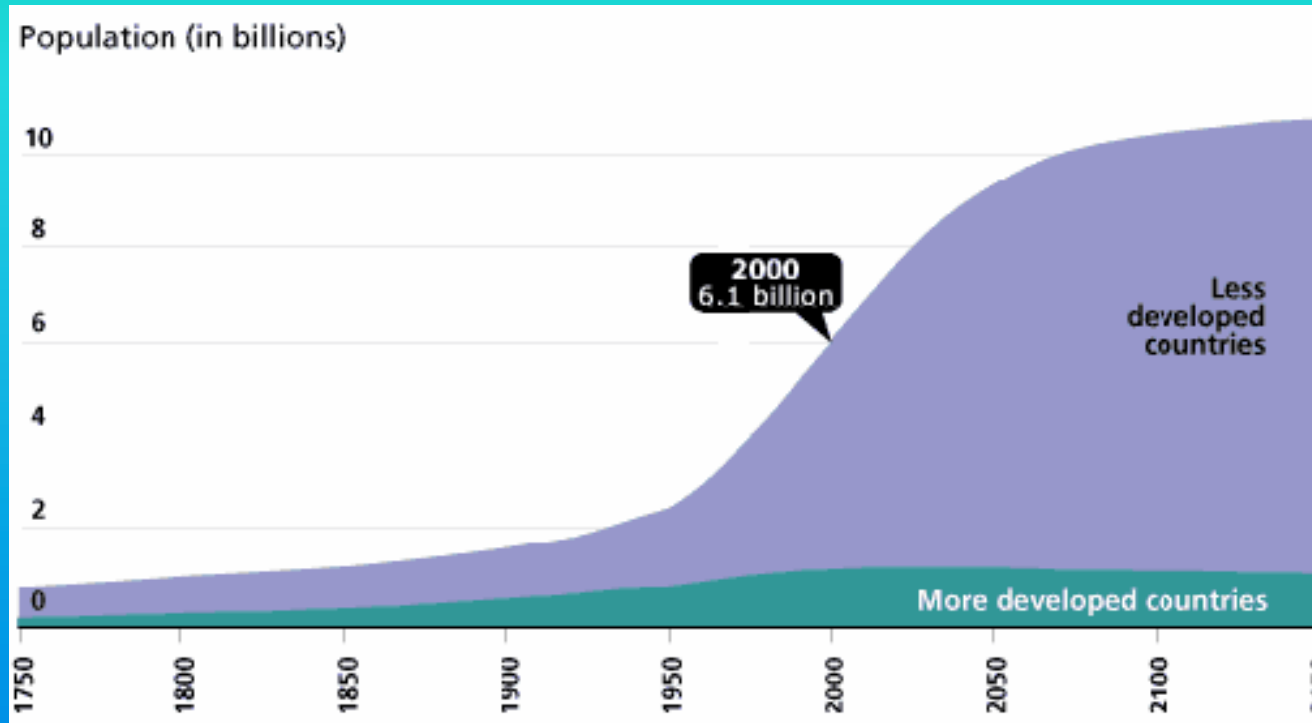


**Fonte:** Alan D. Pasternak, 2000. GLOBAL ENERGY FUTURES AND HUMAN DEVELOPMENT: A FRAMEWORK FOR ANALYSIS Lawrence Livermore National Laboratory

# Padrões de usos de recursos



## Fator crítico: Crescimento da população mundial

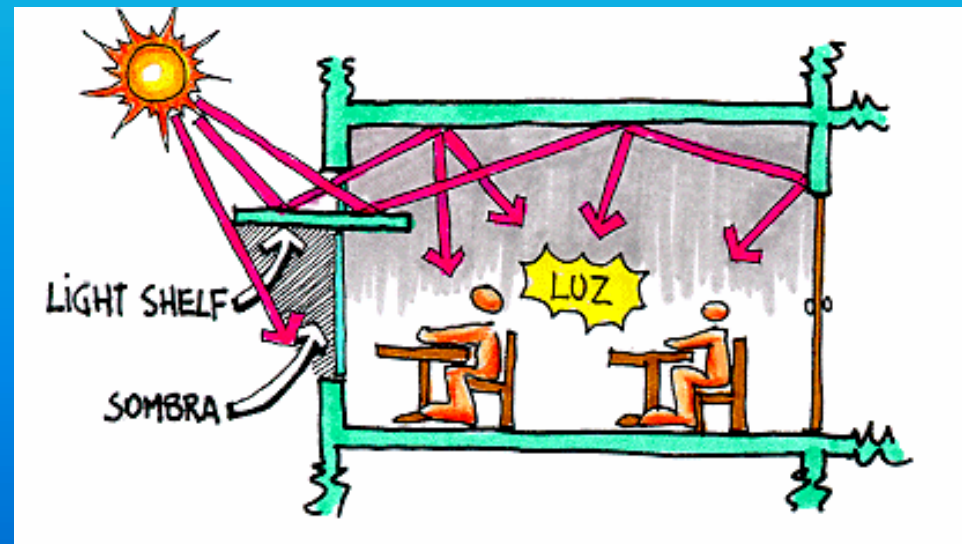


## Necessidade de planejamento familiar

United Nations, *World Population Prospects, The 1998 Revision*; e projeções pelo Population Reference Bureau.

## CONSERVAÇÃO DE ENERGIA: fonte mais barata e mais limpa

- Conservar energia não é estagnar a economia
- É uma forma de desenvolvimento
- Novas tecnologias
- Novos produtos



## Conservação de 1 kW substituindo lâmpadas incandescentes por PLs

- Lâmpada incandescente: 100 W
- Lâmpada PL de baixo consumo: 35W
- $16 \times (100 - 35) = 1040 \text{ W}$
- $16 \times \text{R\$}13,00 = \text{R\$}208,00$
- $\text{R\$}208,00 \sim \text{US\$}125,00$
- Custo:  $\text{US\$}120/\text{kW}$



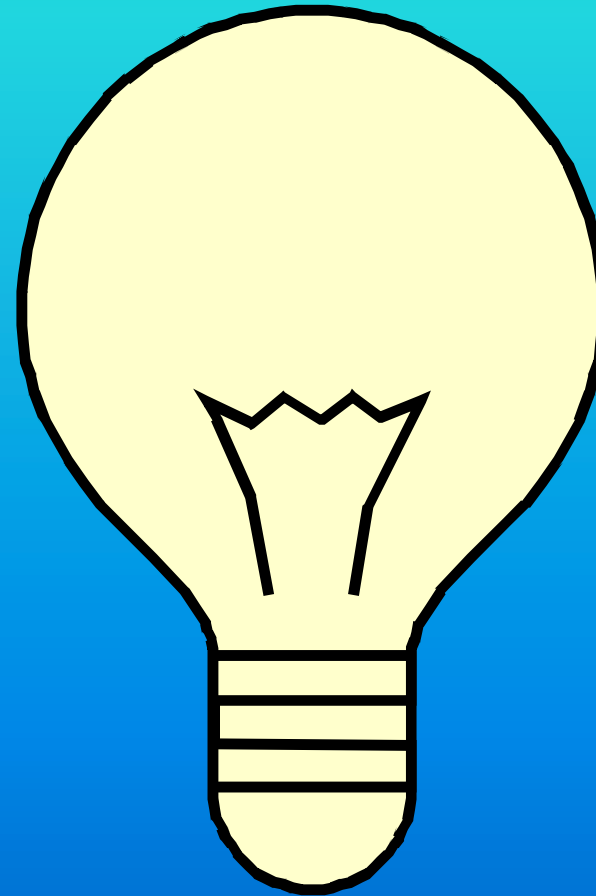
# Conservar energia é a "fonte" de energia mais barata e mais limpa.

	<u>Capacity (kW)</u>	<u>Capital Cost<sup>a</sup></u> <u>(\$/kW)</u>	<u>Fuel Cost</u> <u>(\$/kWh)</u>	<u>O&amp;M Cost</u> <u>(\$/kWh)</u>	<u>Service Life</u> <u>(Years)</u>	<u>Heat Rate<sup>b</sup></u> <u>(Btu/kWh)</u>
<u>Microturbine--Power Only</u>	100	1,485	0.075	0.015	12.5	13,127
<u>Microturbine--CHP</u>	100	1,765	0.035	0.015	12.5	6,166
<u>Gas ICE--Power Only</u>	100	1,030	0.067	0.018	12.5	11,780
<u>Gas ICE--CHP</u>	100	1,491	0.027	0.018	12.5	4,717
<u>Fuel Cell--CHP</u>	200	3,674	0.029	0.010	12.5	5,106
<u>Solar Photovoltaic</u>	100	6,675	0	0.005	20	n.a.
<u>Small Wind Turbine</u>	10	3,866	0	0.005	20	n.a.
<u>Large Wind Turbine</u>	1,000	1,500	0	0.005	20	n.a.
<u>Combustion Turb--Power Only</u>	10,000	715	0.067	0.006	20	11,765
<u>Combustion Turbine--CHP</u>	10,000	921	0.032	0.006	20	5,562
<u>Combined-Cycle System<sup>c</sup></u>	100,000	690	0.032	0.006	20	5,642
Conservar 1 kW substituindo lampadas		120	0	0	2	0

Fonte: Congressional Budget Office based on data from the Department of Energy's National Renewable Energy Laboratory and Energy Information Administration; Bergy Windpower Company; and the California Energy Commission.2003

Conservar é um pré-requisito indispensável para haver sustentabilidade dos recursos renováveis

Necessidade de haver mudanças no “estilo globalizado” de vida





# FERRAMENTAS PARA ANÁLISE DE INVESTIMENTOS EM GERAÇÃO ENERGÉTICA

- Análise de ciclo de vida
- Engenharia Econômica
- Pesquisa Operacional
- Análise exergética

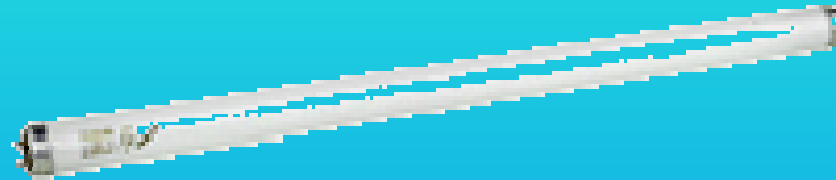
# Análise de Ciclo de Vida

- Ferramenta essencial para renováveis
- Quantifica impactos ambientais

# O que é o ciclo de vida do produto



## Qual a melhor opção em termos ambientais?



Menor consumo de energia no uso,  
Mas com mercúrio.



Retornável, porém mais  
pesado e, portanto, com  
maiores emissões no  
transporte.

## Como resolver? Uso da ACV

- Definição de ACV: avaliação dos impactos ambientais de produtos, processos e serviços desde a extração dos recursos naturais ao descarte final passando pelas etapas de fabricação de materiais, montagem, uso, reciclagem e considerando as etapas de transporte.

## Benefícios do uso da ACV para o setor privado

- **Setor privado:** análise dos impactos ambientais causados por seus produtos, processos ou atividades:
  - · influenciar na regulação relacionada com o meio ambiente,
  - · identificar e solucionar problemas para a melhoria do produto, processo ou atividade, bem como gerar informações ao consumidor,
  - · desenvolver o planejamento estratégico do projeto do produto e do processo
  - · identificar oportunidades de melhorias ambientais, visando a redução de impactos,
  - · dar suporte para a auditoria ambiental,
  - · promover a minimização de resíduos,
  - · desenvolver o marketing ecológico,
  - · viabilizar os chamados selos ecológicos e a certificação de produtos e
  - · auxiliar a definição de políticas e procedimentos relativos ao processo de especificação e compra do produto.

## Benefícios do uso da ACV para o setor público

- **Setor público:** auxílio no desenvolvimento de políticas, tais como:
  - a regulação mandatória,
  - a regulação econômica,
  - o estabelecimento de prioridades de pesquisa e desenvolvimento e,
  - a educação, o treinamento e a disseminação de informações para a população .

# Série ISO 14040

	Gestão ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida
ISO 14040: 1997	Princípios e estrutura
ISO 14041: 1998	Definição do objetivo e do escopo e Análise de inventário
ISO 14042: 2000	Avaliação do impacto do ciclo de vida
ISO 14043: 2000	Interpretação do ciclo de vida
ISO / TR 14047	Aplicações da ISO 14042
ISO / TS 14048: 2002	Formato da documentação dos dados
ISO / TS 14049: 2000	Exemplos de aplicação da ISO 14041



## Major Construction Inputs and GWE (after 20 years) for the Glen Canyon Hydroelectric Plant

**TABLE 1. Major Construction Inputs and GWE (after 20 yr) for Glen Canyon Hydroelectric Plant<sup>a</sup>**

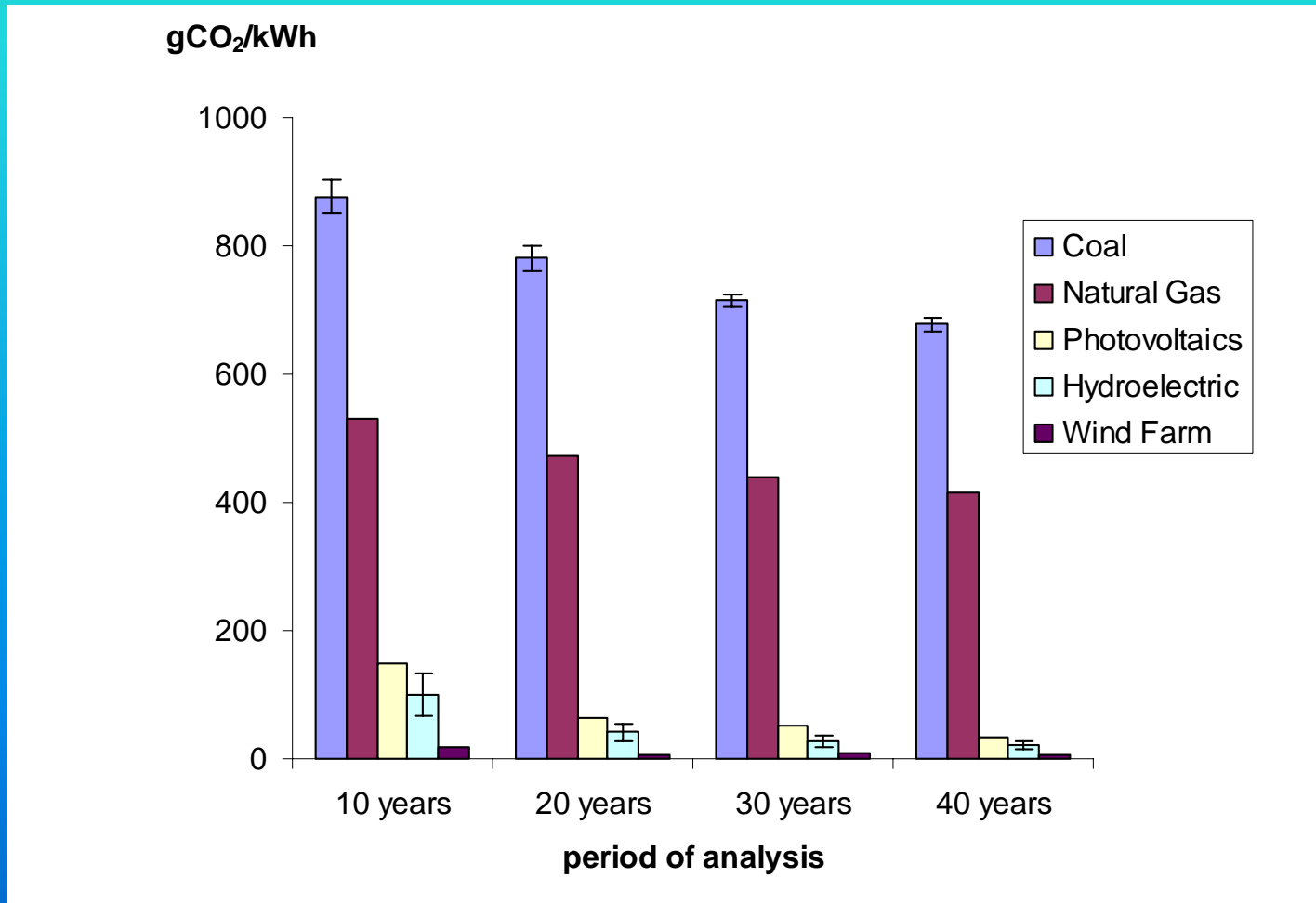
inputs	total MT	unit cost (1992 \$/MT)	total cost (1992 \$)	GHG emissions (MT of CO <sub>2</sub> equiv)			
				CO <sub>2</sub>	+ CH <sub>4</sub>	+ N <sub>2</sub> O	= GWE
concrete	9 906 809	30 <sup>b</sup>	297 652 257	400 792	751	7 898	409 441
excavation (m <sup>3</sup> )	4 711 405	na	114 839 000	3 812			3 812
turbines and turbine generator sets	na	na	65 193 084	41 725	45	249	42 019
power distribution and transformers	na	na	13 754 764	12 358	16	79	12 453
steel	32 183	385 <sup>c</sup>	12 402 138	43 710	29	244	47 583
copper	90	2 368 <sup>c</sup>	214 167	186	0	2	188
aluminum	67	1 268 <sup>c</sup>	84 804	157	0	2	159
<b>total</b>			<b>503 240 216</b>	<b>500 000</b>	<b>1 000</b>	<b>9 000</b>	<b>500 000</b>

<sup>a</sup> Total emissions are rounded to one significant digit. MT, metric ton; GWE, global warming effect; na, not available. <sup>b</sup> Ref 39. <sup>c</sup> Ref 40.

GWE from initial construction (1964): 800,000 MT of CO<sub>2</sub> equiv.

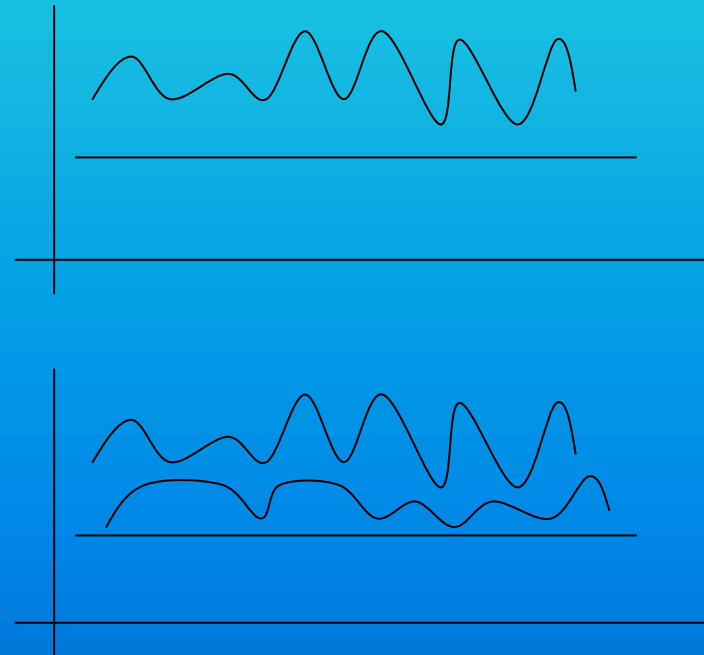
GWE from upgrade (1984): 10,000 MT of CO<sub>2</sub> equiv.

## GWE Normalized by Electricity Output for Various Alternatives and Four Time Periods after Construction



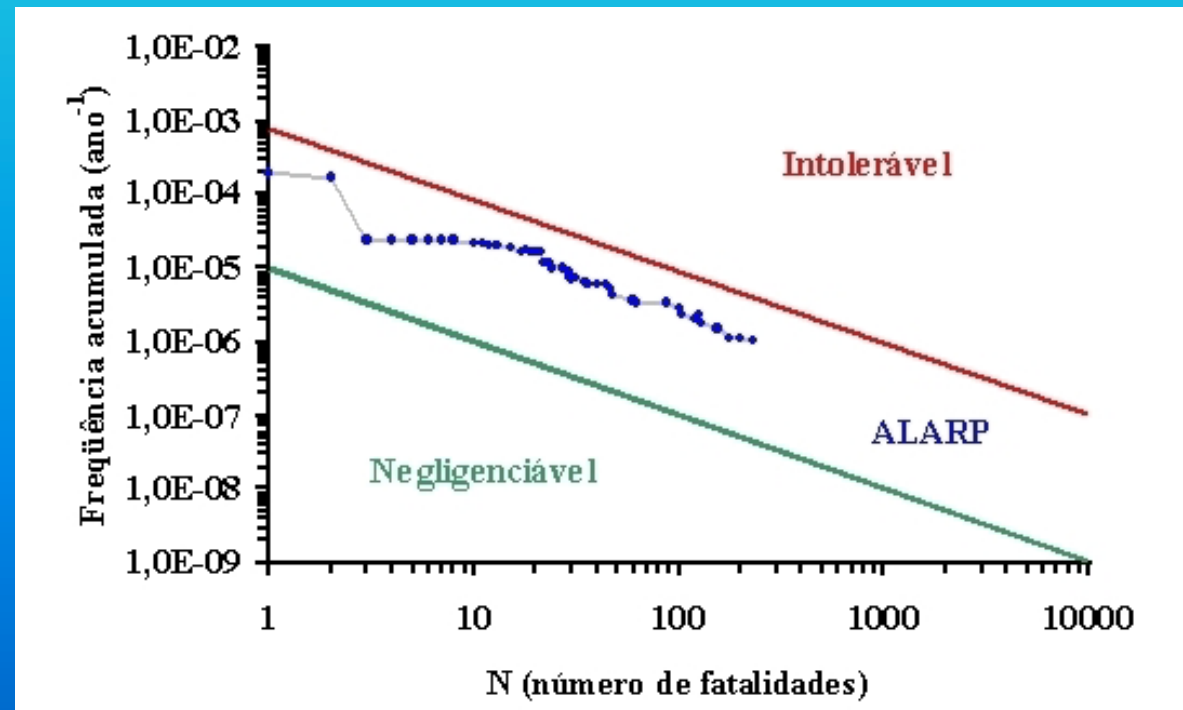
# Termoelétricas e renováveis

- Aumento do potencial termelétrico para o suprimento de flutuações de oferta das fontes renováveis
- Diminuição do consumo de carvão



# Energia Nuclear

- ALARP – As Low As Reasonable Possible





# PARTE II – Noções de Engenharia Econômica para tecnologias com fontes de Energia Renovável

# Custos envolvidos em processos com energia solar 1/2

## Aquisição:

- Coletores
- Armazenamento térmico
- Bombas / insufladores
- Controles
- Tubulações e dutos
- Trocadores de calor
- Estruturas

# Custos de Processos com energia solar 2/2

- Custo de aquisição do equipamento;
- Custo de instalação do equipamento;
- Gastos com insumos energéticos (combustível principal ou auxiliar);
- Manutenção periódica;
- Valor residual de revenda (geralmente uma receita).
- Outros lançamentos que ainda podem ser representativos são:
  - Gastos com seguro;
  - Depreciação (no caso de ser uma empresa);
  - Juros de financiamento

# Variáveis de Projeto

Diretamente ligadas ao custo :

- Área de coletores
- Volume de reservatório térmico
- Potência do sistema de aquecimento auxiliar
- Outros

Indiretamente ligadas ao custo (afetam desempenho)

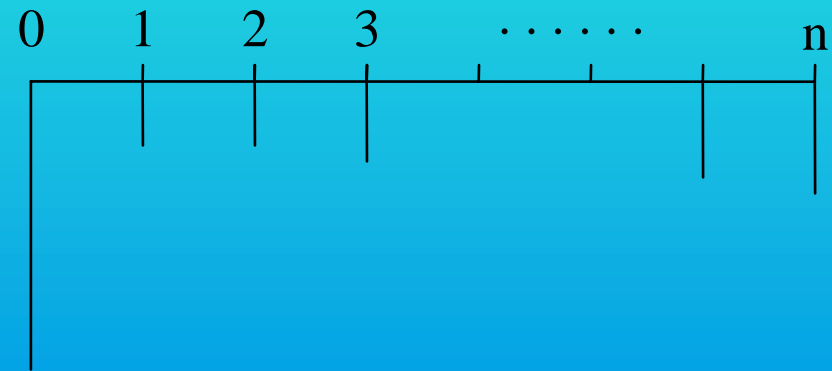
- Ajustes de termostato
- Orientação de coletores
- Fator de forma do tanque
- Outros

*Deve-se dimensioná-las simultaneamente*



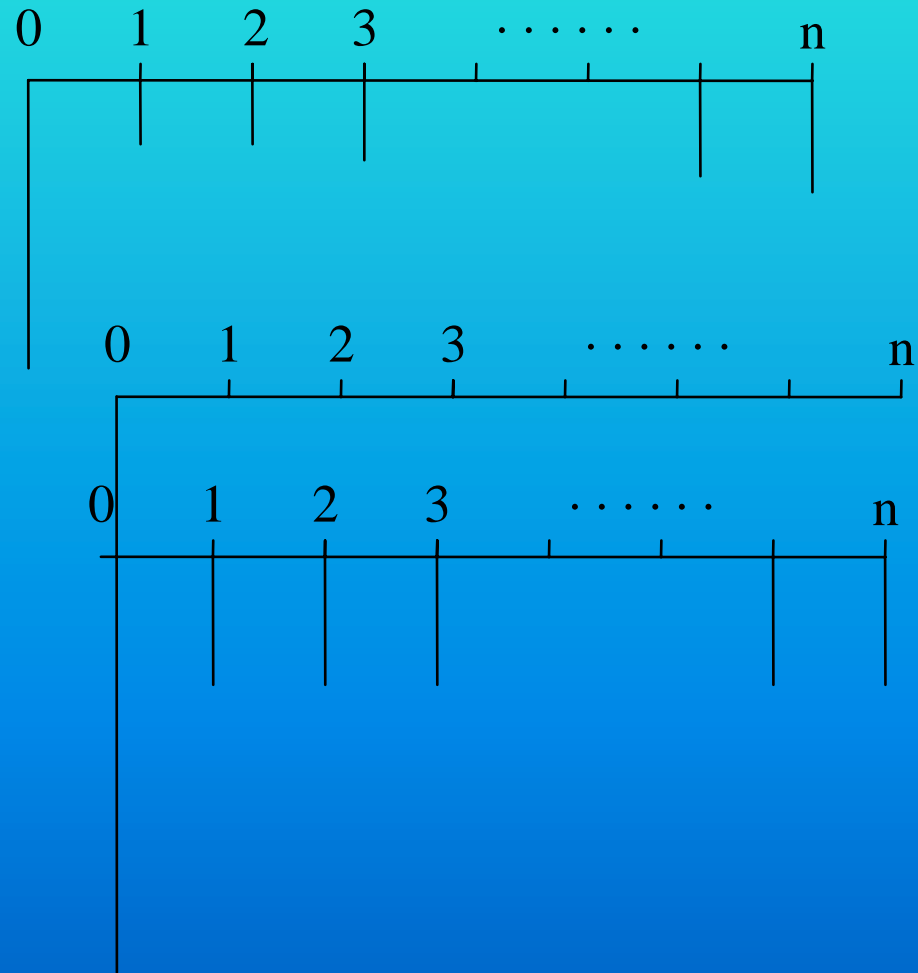
# Custo de Ciclo de Vida Econômico

- Aquisição
- Instalação
- Energia auxiliar
- Manutenção progressiva
- Valor residual revenda



# Valor do dinheiro no tempo

- Valor presente do custo de ciclo de vida
- Custo de ciclo de vida anualizado



# Notação utilizada

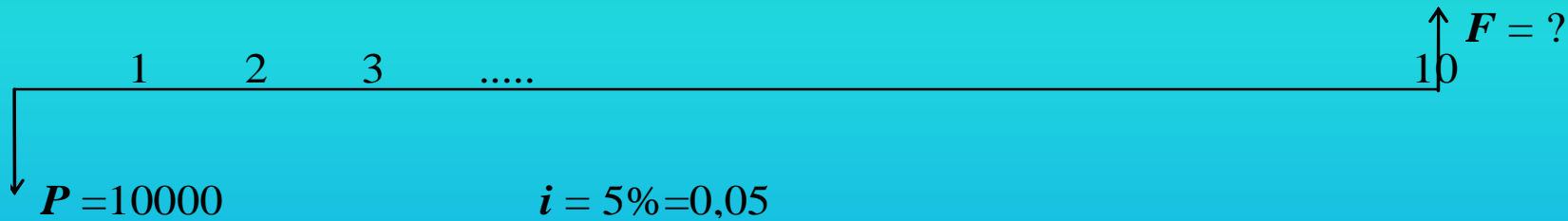
## 1.1 Notação utilizada

	Notação Duffie & Beckmann	Notação Hirschfeld / DeGarmo
Taxa de juros	$d$	$i$
Número de períodos de capitalização	$N$	$n$
Valor Presente	PW	P
Valor Futuro		F
Valor de parcela de série uniforme	M	U
taxa de aumento real/ inflação	$i$	

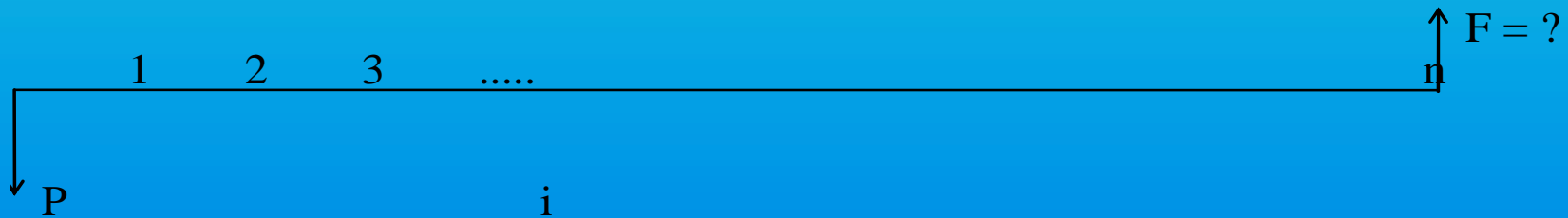
Convenção: fim de período

# Valor futuro de um valor presente

Se aplico \$10000 por 10 anos a juros de 5 % ao ano, quanto terei ao final da aplicação?



Expressão:



$$F = P(1+i)^n$$

A parcela pode ser tabelada e expressa simbolicamente por uma expressão chamada "Fator de Juros"

$$(1+i)^n = (F/P, i, n)$$

$$F = P \times F/P = P(F/P, i, n)$$

# Valor presente de uma série uniforme



$$P = \frac{U}{(1+i)^1} + \frac{U}{(1+i)^2} + \frac{U}{(1+i)^3} + \dots + \frac{U}{(1+i)^n} \quad (1)$$

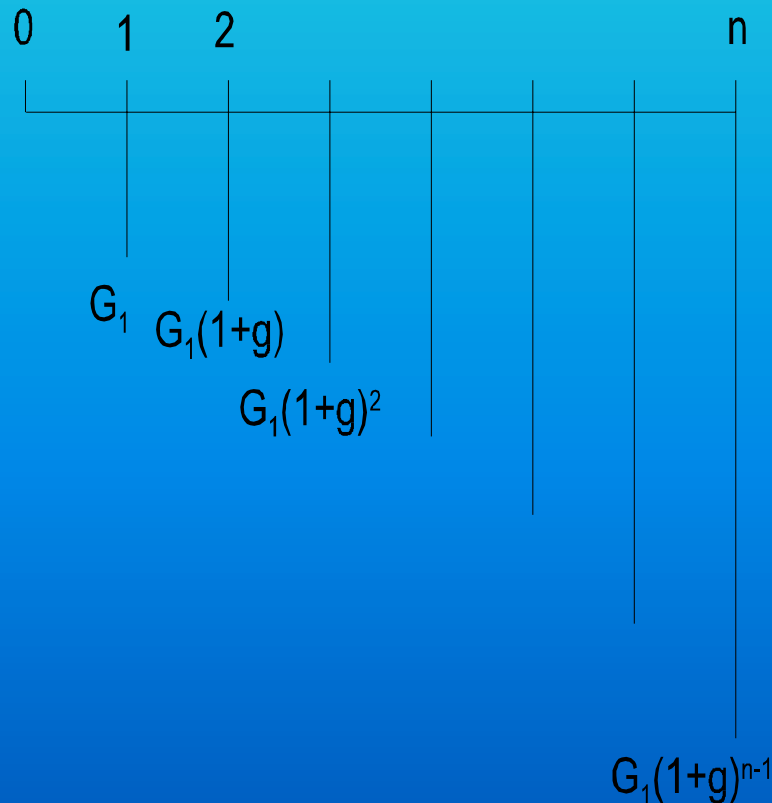
Multiplicando a equação anterior por  $(1+i)$ , temos:

$$P(1+i) = U + \frac{U}{(1+i)^1} + \frac{U}{(1+i)^2} + \dots + \frac{U}{(1+i)^{n-1}} \quad (2)$$

$$P = U \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$$

# Valor presente de uma série geométrica

- Pagamentos com aumento real:



$$P = G_1 (P / G_1, i, g, n);$$

$$(P / G_1, i, g, n) = \begin{cases} \frac{1}{(i - g)} \left[ 1 - \left( \frac{1+g}{1+i} \right)^n \right] & \text{se } i \neq g \\ \frac{n}{(1+g)} & \text{se } i = g \end{cases}$$

$G_1$  valor do primeiro termo [unidades monetárias];

$I$  taxa de interesse [decimal];

$G$  taxa de crescimento geométrico [decimal];

$N$  número de períodos [inteiro].

# Critérios de análise de investimento

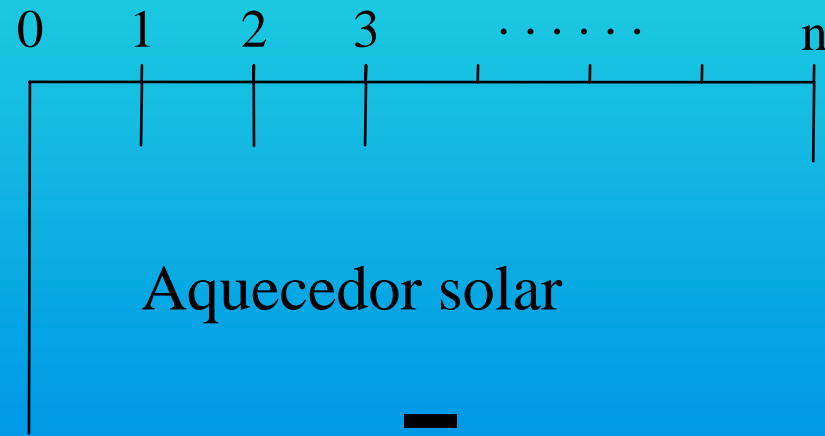
- Custo de Ciclo de Vida - *Life Cycle Cost*
  - *Valor Presente*
  - *Valor Uniforme (Anualized Life Cycle Cost)*
- Economias de ciclo de Vida - *Life Cycle Savings*
  - *Valor Presente Líquido (Net Present Value)*
  - *Valor Uniforme Líquido (Anualized Life Cycle Savings)*
- Prazo de Retorno do Investimento - *Pay Back*
- Método da Taxa de Retorno - *ROI*

Custo de Ciclo de Vida – *Life Cycle Cost*

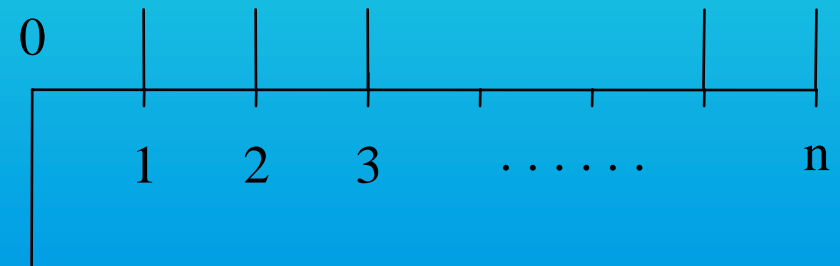
Custo de Ciclo de Vida Anualizado –  
*Anualized Life Cycle Cost*



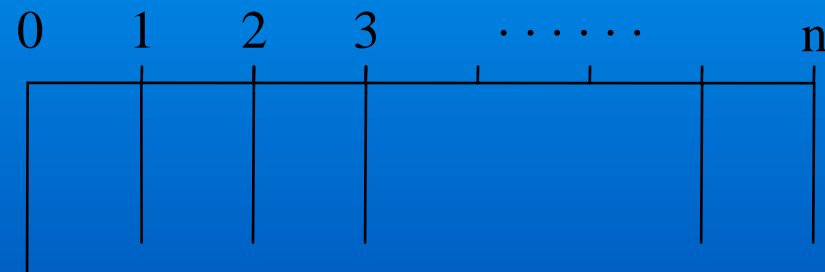
# Economias de Ciclo de Vida - Life Cycle Savings



=



Sistema Convencional



Utiliza-se critérios para análise de investimentos:

VPL, VUL, Pay-back, ROI

## Valor Presente Líquido – *Net Present Value*

$$VPL = \sum_0^n F_n (1+i)^{-n}$$

sendo:

$VPL$	valor presente líquido de um fluxo de caixa
$n$	número de períodos envolvidos
$F_n$	cada um dos diversos valores envolvidos no fluxo de caixa
$i$	taxa de juros comparativa

- Todos os benefícios são positivos
- Todos os custos são negativos

# Valor Uniforme Líquido - Annualized Life Cycle Savings

Calcula-se a série uniforme equivalente ao valor presente líquido

## Período de Retorno do Investimento (Pay-Back)

O prazo de retorno do investimento é o menor período  $n'$  em que, ao se delimitar um sub-fluxo de caixa de duração total  $n'$ , o Valor Presente Líquido deste sub-fluxo é igual a zero.

$$VPL = -P + \sum_1^{n'} F_j \left( \frac{P}{F}, i, j \right) = 0$$

onde:

- $F_j$  receita no período  $j$
- $j$  número do período
- $n'$  prazo de retorno
- $i$  taxa de juros
- $P$  investimento no instante inicial

## Taxa de Retorno (*Return Of Investment*)

A taxa de juros que torna nulo o valor presente líquido é a taxa de retorno. É nesta taxa que a somatória das receitas se torna exatamente igual à somatória dos dispêndios.

Desta forma:

$$VPL = 0$$

Já vimos que:

$$VPL = \sum_0^n F_n (1+i)^{-n}$$

# Exemplo de cálculo

---

Termo da análise econômica	20 anos
Taxa de atratividade para o investidor	12 % ao ano
Valor residual do equipamento após sua vida útil	zero
Perfil do investidor, para efeitos fiscais	Pessoa física
Custo da placa coletora	104,00 US\$ / m <sup>2</sup> útil
Custo do reservatório e sist. de aquecimento auxiliar.	291 US\$ + 496 US\$ / m <sup>3</sup>
Custo de acessórios e instalação	15 % do custo do equipto.
Custo da manutenção anual	1 % do custo inicial
Taxa de aumento do custo de manutenção	6 % ao ano
Custo da energia elétrica	$4,5818 \cdot 10^{-5}$ US\$ / kJ

---

## Exemplo

Sabendo que:

Consumo de energia auxiliar anual =  
 $1,26e+6$  kJ

Consumo de energia por um sistema  
convencional =  $1.20e+07$  kJ

Calcule

LCC, ALCC, LCS, Pay-Back

## Bibliografia Recomendada

- Duffie, J. A., Beckman, W. A. (1991); *Solar Engineering of Thermal Processes*. 2 ed. New York; John Wiley & Sons. 919 p.
- Kaplan, S. (1983); *Energy Economics - Quantitative Methods for Energy and Environmental Decisions*. . New York; McGraw Hill Book Company. 352 p.
- DeGarmo, E. P., Sullivan, W., Bontadelli, J. A. (1989); *Engineering Economy*. 8 ed. New York; MacMillan Publishing Company. 765 p.
- Hirschfeld, H. (1998); *Engenharia Econômica*. 6 ed. Sao Paulo; Atlas. 407 p.



Thomaz Borges

[tborges@emc.ufsc.br](mailto:tborges@emc.ufsc.br)

Tel 048-3234-2161, ram 232