

SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA

OFERTA



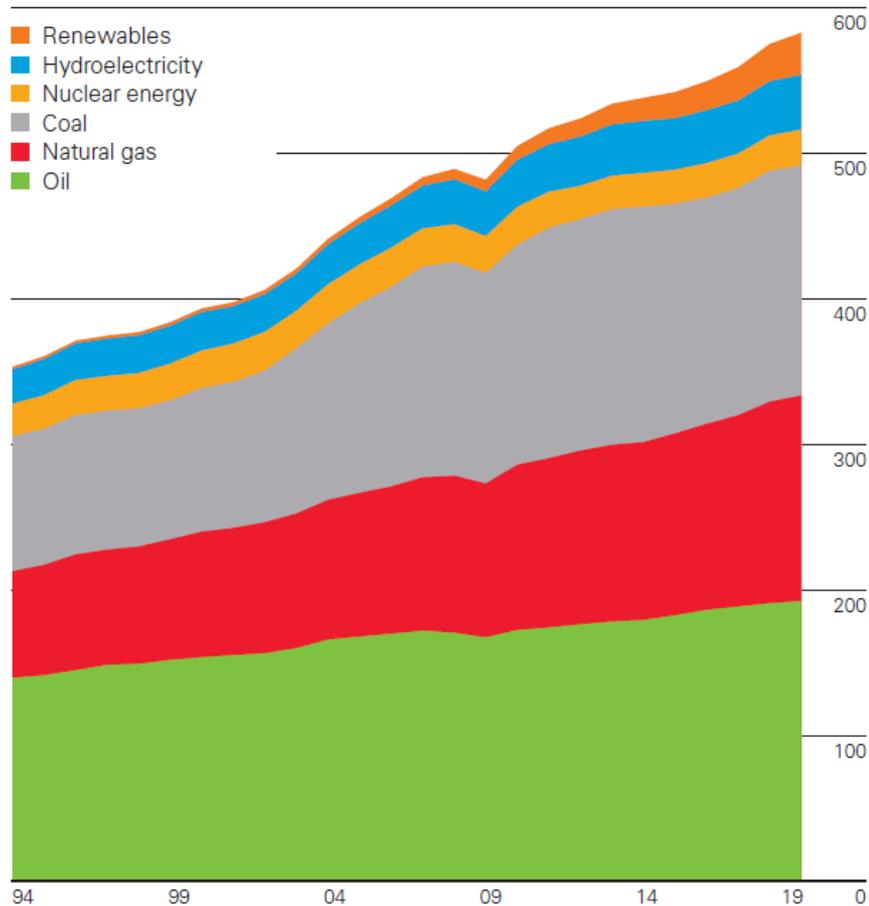
Miguel Centeno Brito



Fontes de energia hoje

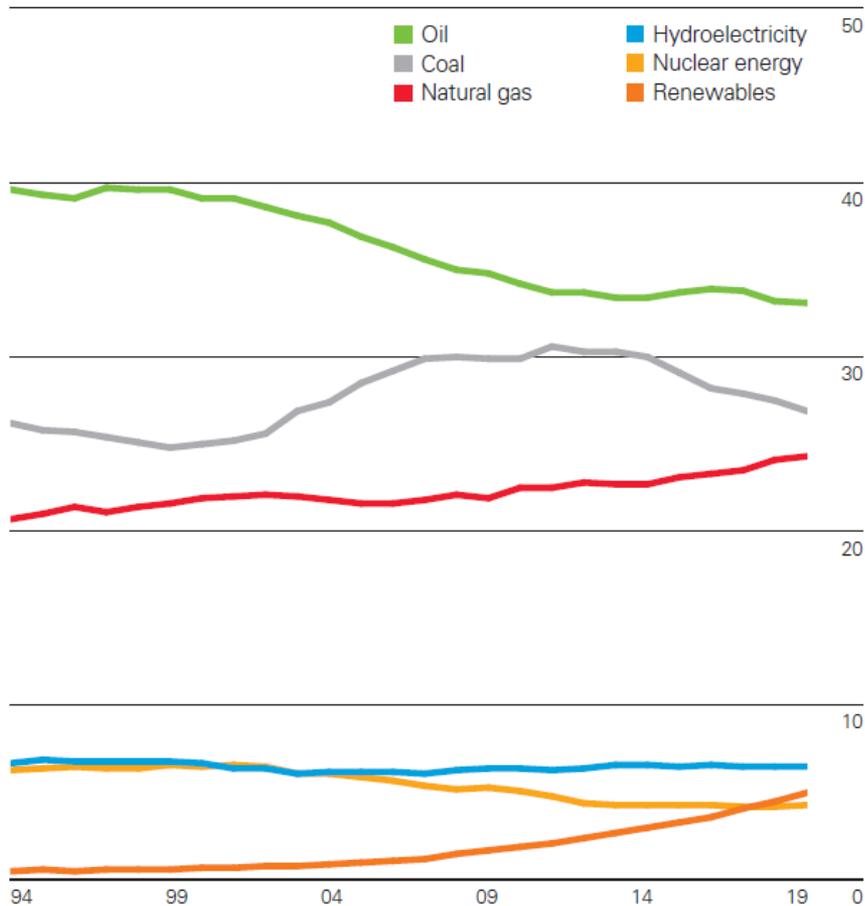
World consumption

Exajoules



Shares of global primary energy

Percentage



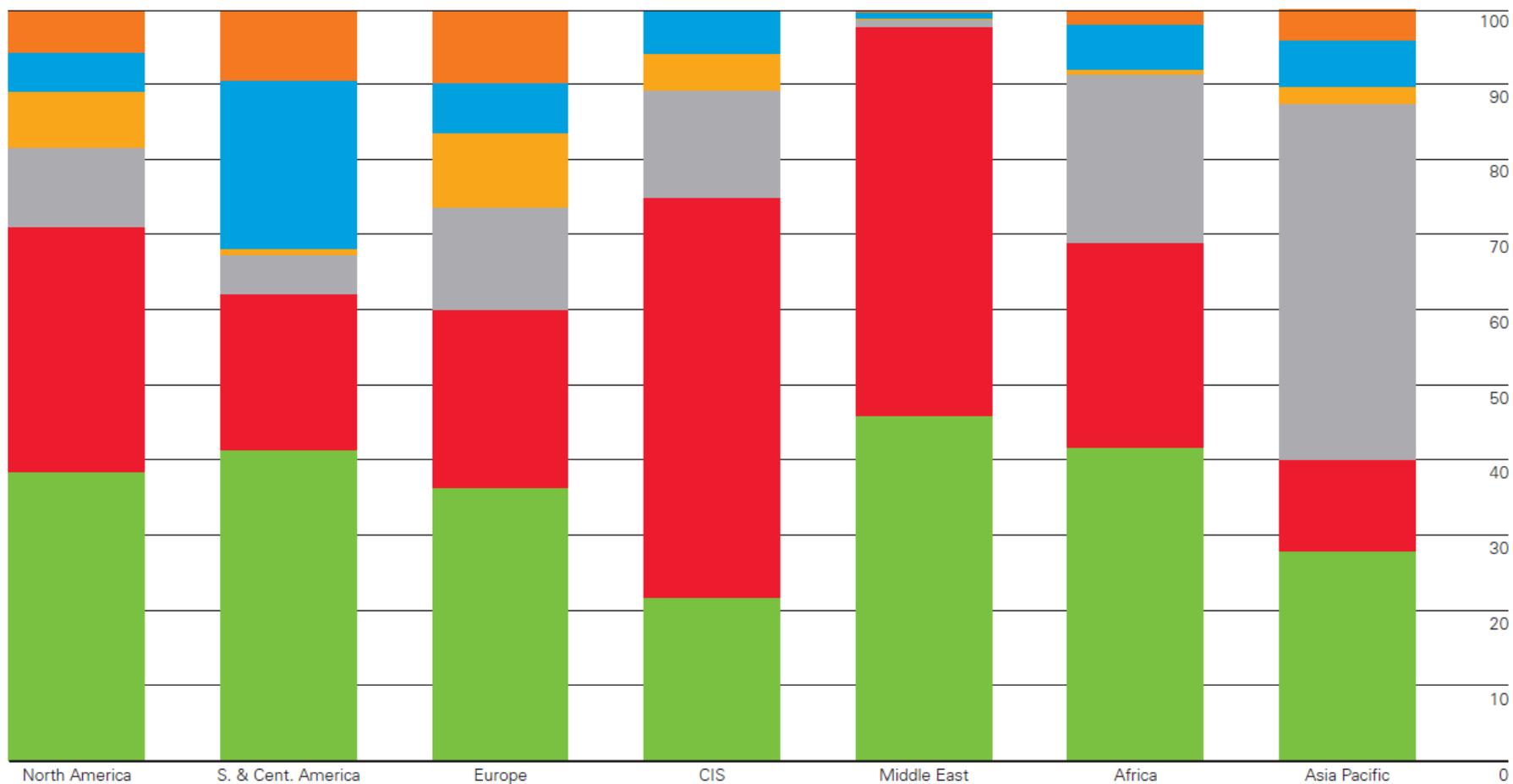
Fontes de energia hoje

- Coal
- Renewables
- Hydroelectricity
- Nuclear energy
- Natural gas
- Oil



Regional consumption pattern 2019

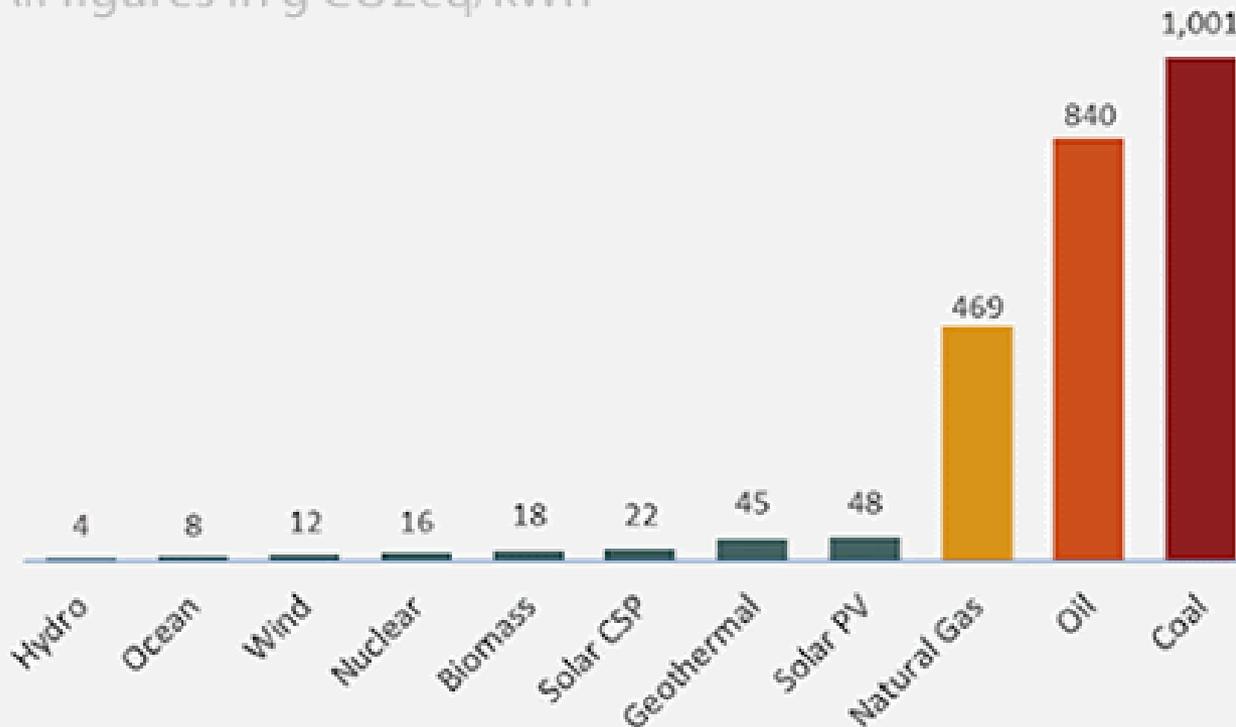
Percentage



Fontes de energia hoje

The Carbon Intensity of Electricity Generation

All figures in g CO₂eq/kWh



Note: Data is the 50th percentile for each technology from a meta study of more than 50 papers
Source: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation

Combustíveis fósseis

- Como se formam
- O que são
- Como se extraem e processam?
- Quais as reservas existentes?
- Quais os impactos?



Combustíveis fósseis

**O que são e
como se
formam?**



Carvão | como se forma?

- ❑ Resíduos orgânicos de origem **vegetal** (folhas, raízes, troncos ou florestas inteiras)
- ❑ Acumulados no **fundo de pântanos** - onde a água (ácida) **impede decomposição** sob acção do oxigénio
- ❑ Matéria transformada em **turfa** em 20 000 anos - carvão mineral inacabado (<35% de carbono)



Carvão | como se forma?

- ❑ Turfa sujeita a **temperatura e pressão crescentes** sob peso de camadas sedimentares
- ❑ Provoca transformação gradual da turfa em carvões com **teor crescente de carbono**
- ❑ Originando **jazidas carboníferas** distribuídas um pouco por todo o planeta, a **profundidades relativamente pequenas**.



Carvão | o que são?

	Turfa	Lenhite	Ulha	Antracite
				
Teor em carbono (%)	<35	35 - 45	45 - 86	86 – 98
GHV kWh/kg	< 3.9	4.1 – 5.7	6.7 – 7.8	Até 8.9

Quanto maior o teor em carbono, maior o poder energético dos diferentes estádios do carvão.

A composição química do carvão é bastante variável, e contém diversas impurezas não orgânicas, dependendo da sua origem.

Especialmente relevantes o enxofre e o azoto pelo efeito que têm sobre as emissões associadas à queima.

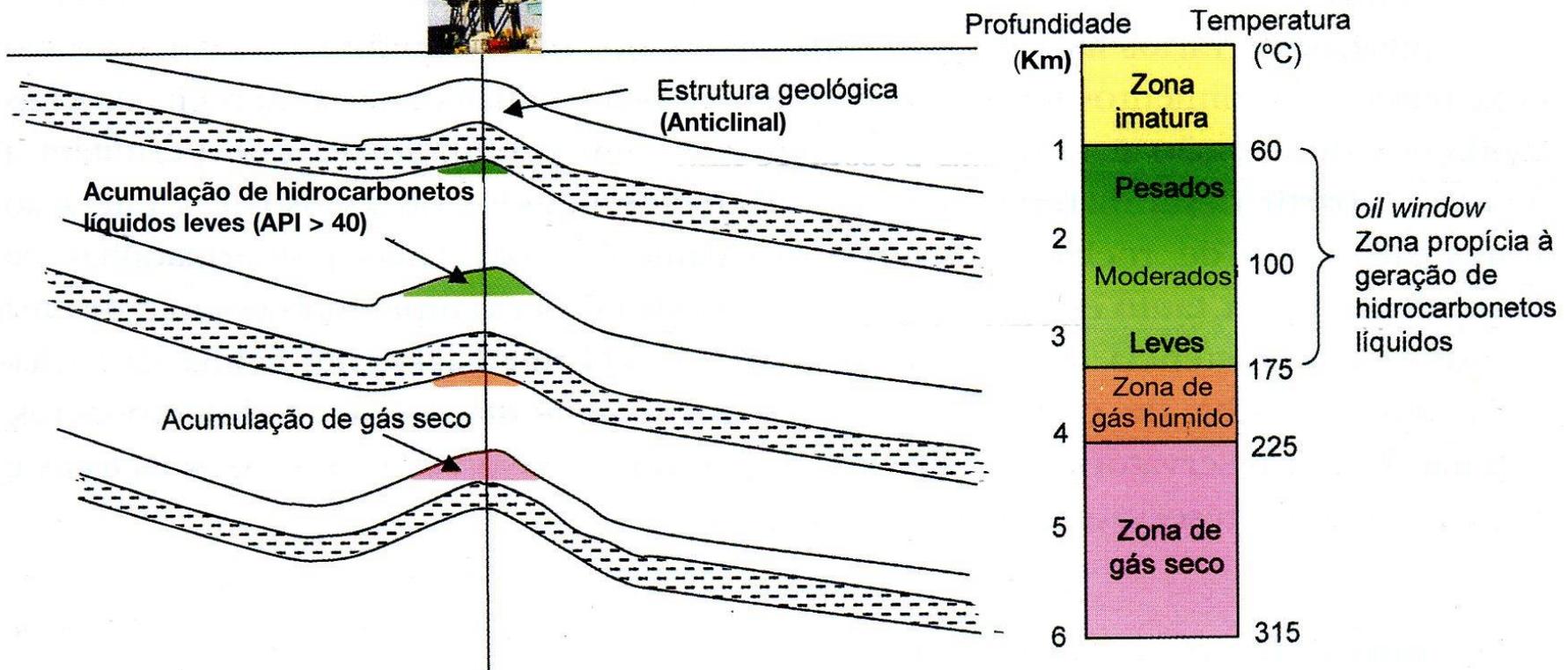
Hidrocarbonetos | como se forma?

- ❑ Resíduos orgânicos (pedaços de **plantas ou de animais** marinhos) são incorporados em **sedimentos** nas bacias sedimentares marinhas, formando assim a **rocha-mãe**
- ❑ **Temperatura e pressão crescentes** sob peso de novas camadas sedimentares

Hidrocarbonetos | como se forma?

Gradientes verticais de temperatura da ordem de 0.026°C/m :

“oil window” entre 1500 – 6000 m.



Hidrocarbonetos | como se forma?

- Rocha-mãe é porosa: hidrocarbonetos migram para a superfície sob acção da pressão

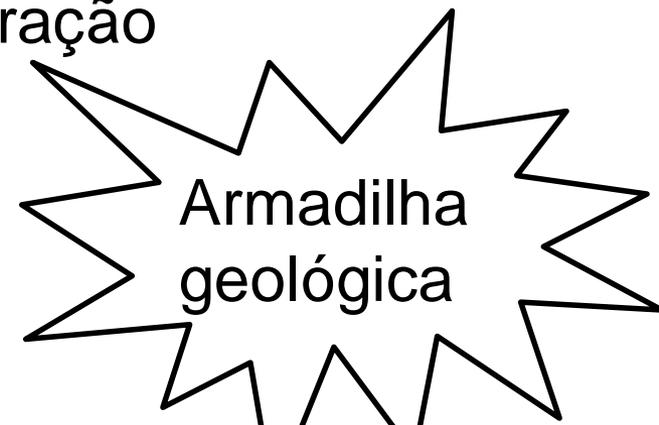
Podem chegar à superfície e entram em combustão por causa da presença de oxigénio: Kirkut (actual Iraque) na Antiguidade

Hidrocarbonetos | como se forma?

- ❑ Rocha-mãe é porosa: hidrocarbonetos migram para a superfície sob acção da pressão

Podem chegar à superfície e entram em combustão por causa da presença de oxigénio: Kirkut (actual Iraque) na Antiguidade

- ❑ Se houver uma camada impermeável acima pode surgir uma jazida estável, acessível por perfuração



Hidrocarbonetos | o que são?

- ❑ Moléculas formadas por átomos de **carbono** e **hidrogénio** com enxofre, azoto, oxigénio,...

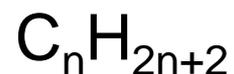
Elemento	% em peso no petróleo bruto	% em peso no gás
C	82 – 87	65 – 80
H	12 – 15	1 – 25
S	0.1 – 5.5	0.0 – 0.2
N	0.1 – 1.5	1 - 15
O	0.1 – 4.5	

- ❑ Átomos organizados em cadeias lineares ou cíclicas
- ❑ No estado gasoso, líquido ou sólido

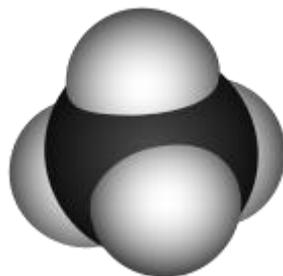
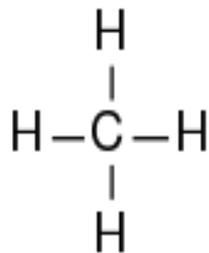
Hidrocarbonetos | o que são?

□ Hidrocarbonetos **parafínicos**

Têm uma estrutura linear cuja fórmula geral é:



Exemplos:

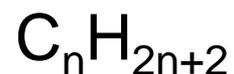


CH₄ - Metano

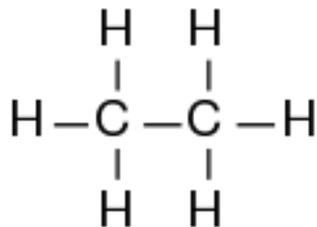
Hidrocarbonetos | o que são?

□ Hidrocarbonetos **parafínicos**

Têm uma estrutura linear cuja fórmula geral é:



Exemplos:



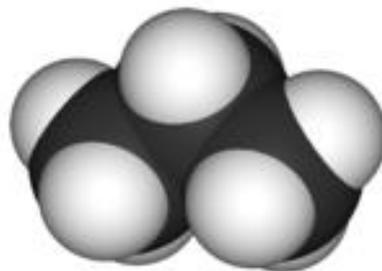
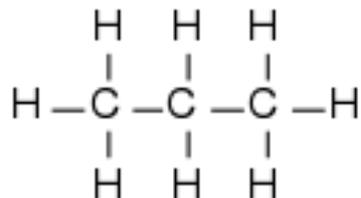
Hidrocarbonetos | o que são?

□ Hidrocarbonetos **parafínicos**

Têm uma estrutura linear cuja fórmula geral é:



Exemplos:

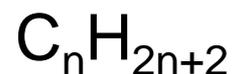


C_3H_8 - Propano

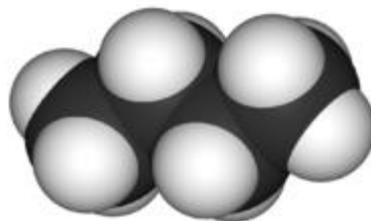
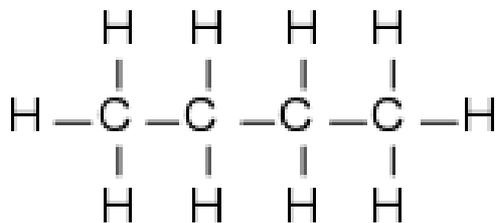
Hidrocarbonetos | o que são?

□ Hidrocarbonetos **parafínicos**

Têm uma estrutura linear cuja fórmula geral é:



Exemplos:



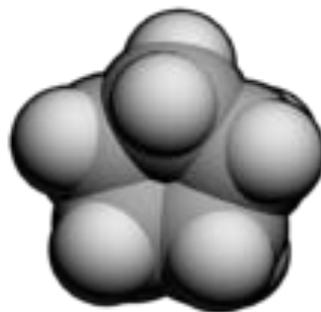
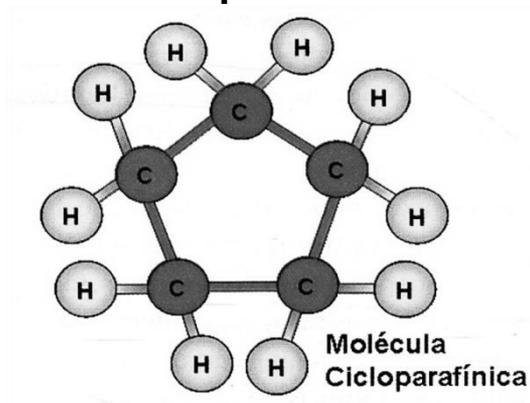
Hidrocarbonetos | o que são?

□ Hidrocarbonetos **nafténicos**

Têm uma estrutura em forma de anel cuja fórmula geral é:



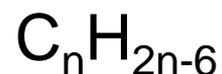
Exemplos:



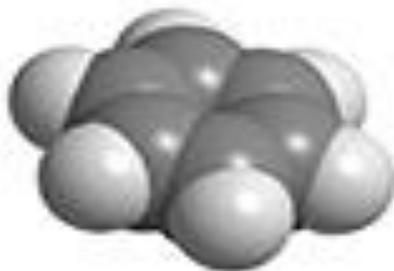
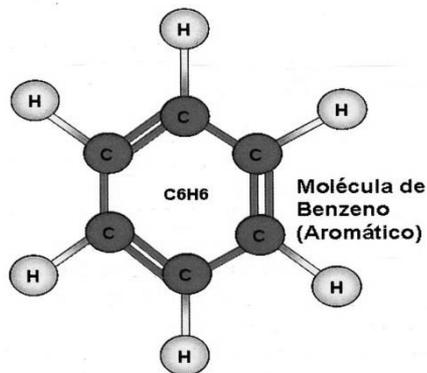
Hidrocarbonetos | o que são?

□ Hidrocarbonetos aromáticos

Têm uma estrutura em forma de anel cuja fórmula geral é:



Exemplos:



Hidrocarbonetos | o que são?

□ Hidrocarbonetos **asfálticos**

Sólidos à temperatura ambiente e elevada massa molecular (40 a 60 átomos de carbono)

Hidrocarbonetos | o que são?

Em condições normais de pressão e temperatura, tipicamente:

- ❑ <5 átomos de C por molécula no **estado gasoso**
(principais constituintes do gás natural)
- ❑ [5, 18] átomos de C por molécula no **estado líquido**
- ❑ >18 átomos de carbono por molécula no **estado sólido**

Hidrocarbonetos | o que são?

Composição típica de um crude

- ❑ Parafínico: 30% em peso
- ❑ Nafténico: 49% em peso
- ❑ Aromático: 15% em peso
- ❑ Asfáltico: 6% em peso

Hidrocarbonetos | o que são?

Classificação do crude quanto à composição relativa de hidrocarbonetos:

- ❑ **Crude asfáltico:** cor negra, contendo poucas parafinas. Depois de refinado produz gasolinas de alto valor e asfaltos
- ❑ **Crude parafínico:** cor esverdeada, contendo pouco ou nenhum asfalto. Depois de refinado produz parafinas, bons óleos lubrificantes e querosene

Hidrocarbonetos | o que são?

Classificação do crude quanto à densidade

Escala API (American Petroleum Institute):

$$API = \frac{141,5}{densidade \ a \ 60^\circ \ F} - 131,5$$

❑ **Crude muito leve** – API entre 42° e 55°

transparentes, ricos em gasolinas, maior valor comercial

❑ **Crude médio** – API entre 17° e 42°

❑ **Crude muito denso** – API entre 5° e 17°

cores muito escuras, grandes percentagens de asfaltos, menor valor comercial

Hidrocarbonetos | o que são?

Classificação do crude quanto às impurezas

Enxofre e metais pesados como vanádio, níquel, chumbo, mercúrio, arsénio

Classificação relativamente ao teor em enxofre:

❑ **Crudes doces** – <1% de enxofre

normalmente muito densos - baixo API

❑ **Crudes ácidos** – >1% de enxofre

normalmente pouco densos – alto API

Combustíveis fósseis

**Como
se extraem?**

Carvão | como se extrai?

- Minas de carvão a **céu aberto** ou em profundidade



Carvão | como se extrai?

- ❑ A extracção do carvão é feita em galerias horizontais, que também servem como vias de transporte.
- ❑ Tipicamente 200 – 300m embora possa ser necessário perfurar até 1000m

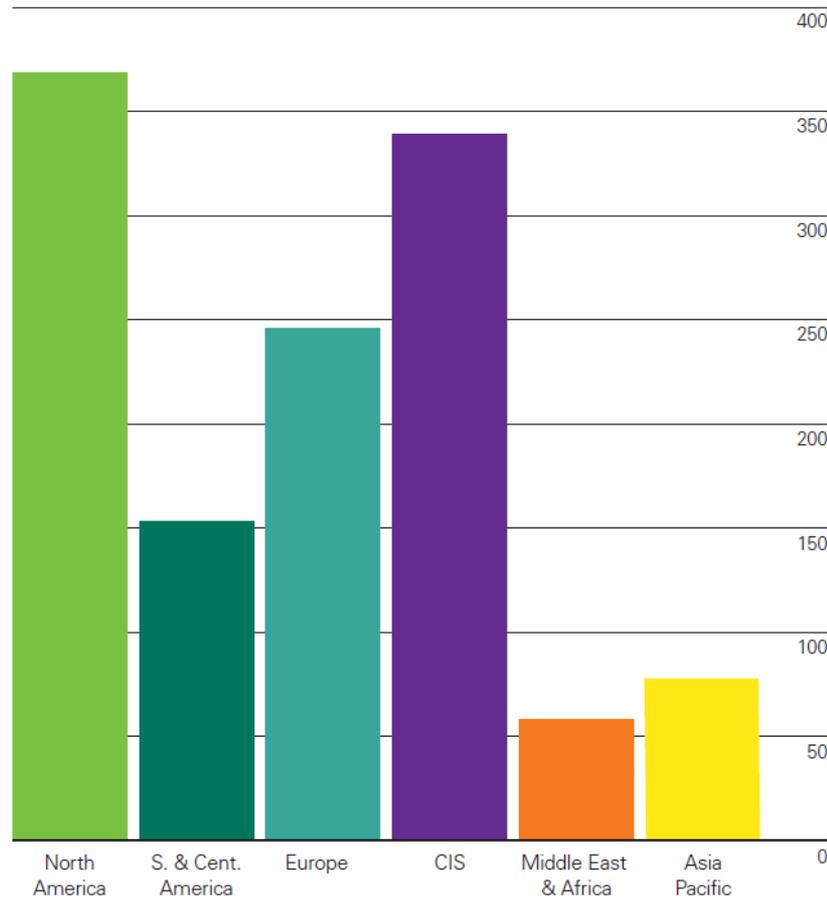


Carvão | reservas

Reserves-to-production (R/P) ratios

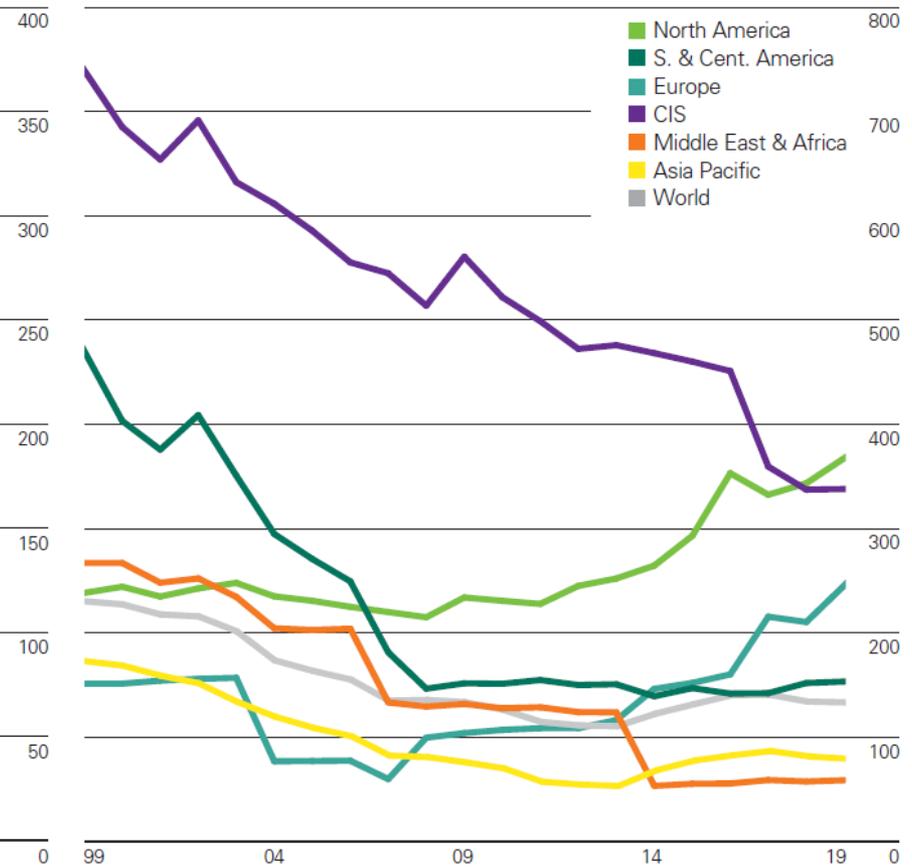
Years

2019 by region



Carvão

History

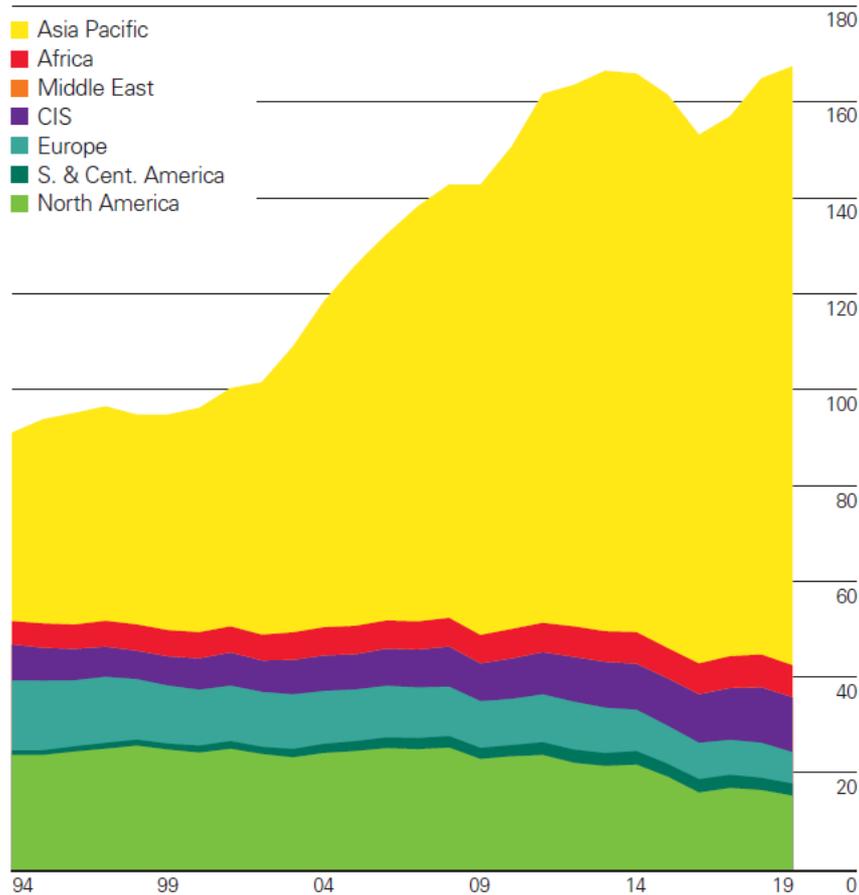


Carvão | consumo

Carvão

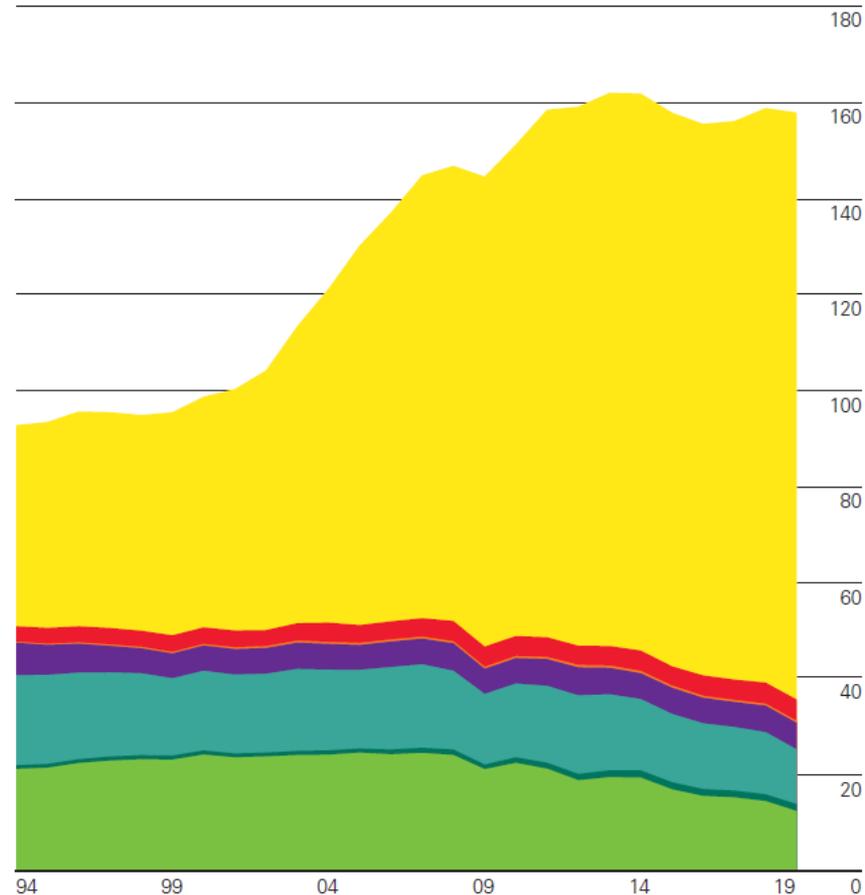
Coal: Production by region

Exajoules



Coal: Consumption by region

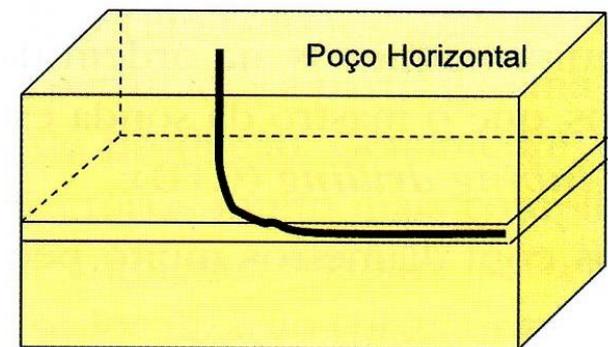
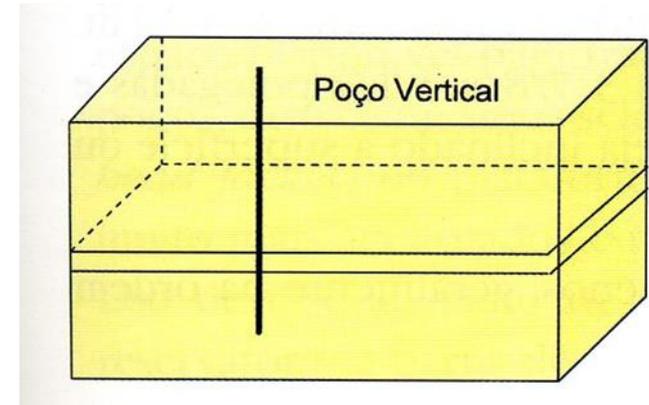
Exajoules



Hidrocarbonetos | como se extrai?

Hidrocarbonetos | como se extrai?

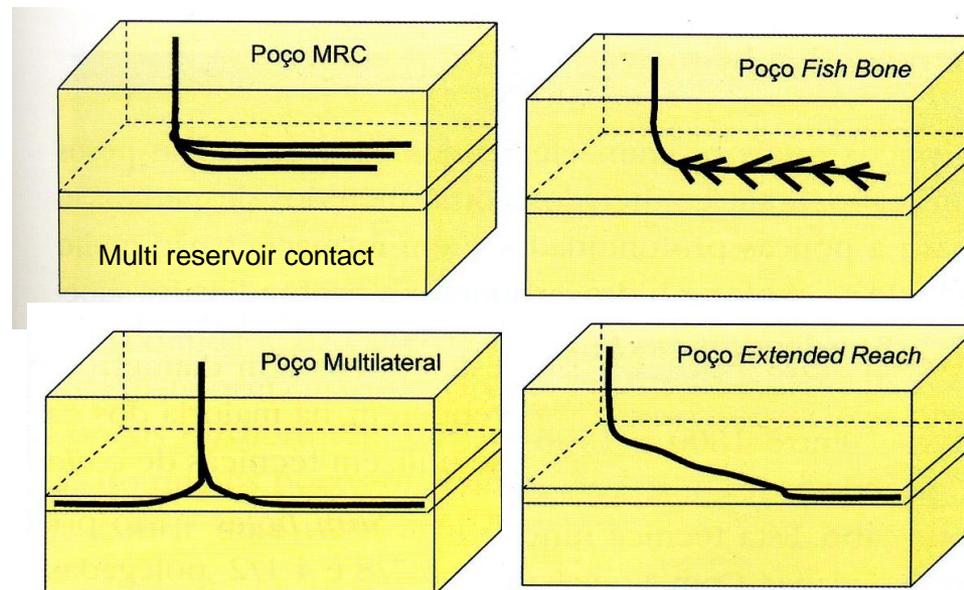
- ❑ Os poços **convencionais** são todos os poços verticais
- ❑ Os poços **horizontais** são poços com uma inclinação superior a 80° ; geralmente têm curvas internas que atingem ângulos próximos dos 90°



O "record" em **poços horizontais**: Maersk Oil no Qatar: poço offshore com 8200m, a uma profundidade de 950m.

Hidrocarbonetos | como se extrai?

- Os poços **multilaterais** são dois ou mais poços horizontais ramificados a partir de um único poço vertical.



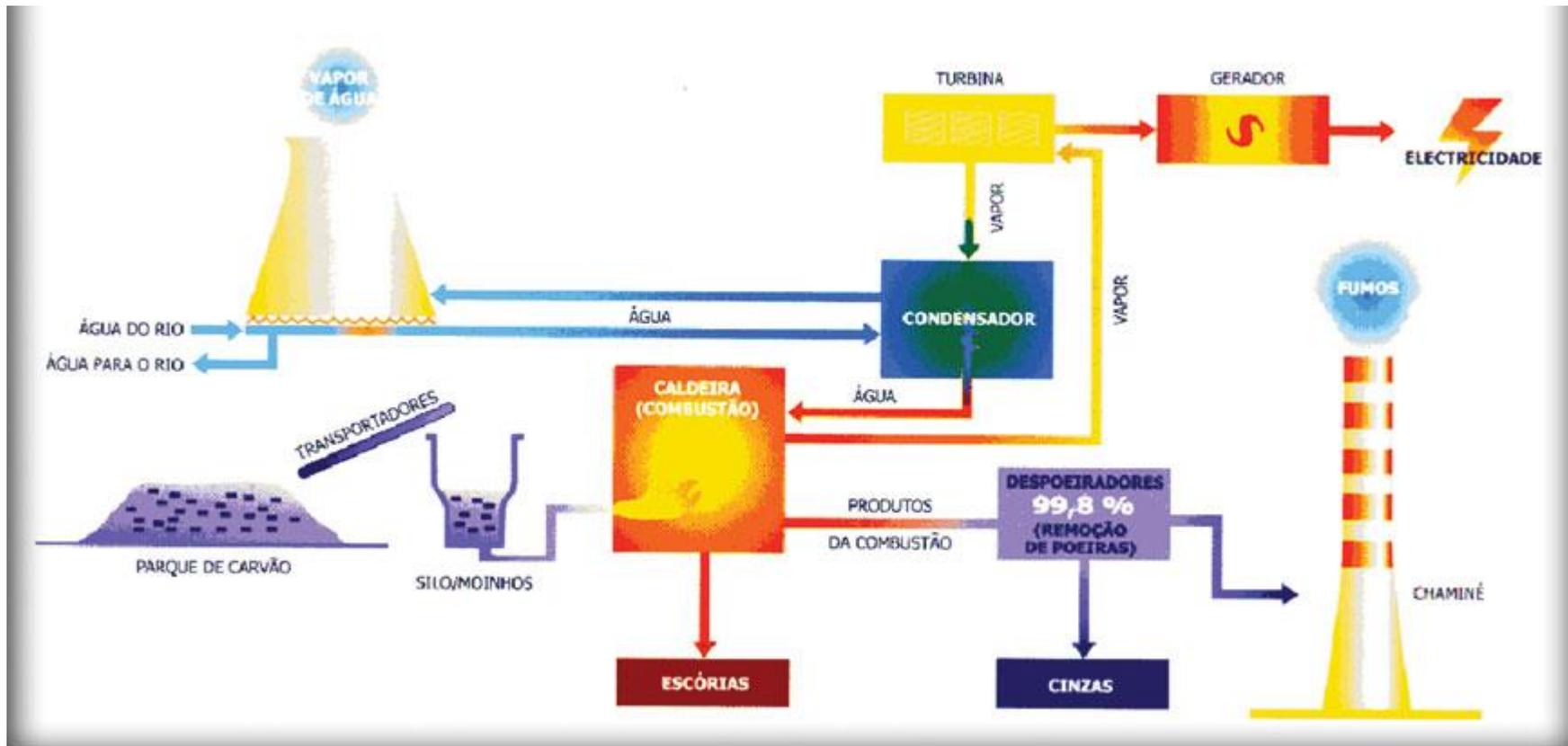
Combustíveis fósseis

**Como se
processam?**

Carvão | como se processa?

- ❑ **Separação** de mistura heterogénea de resíduos vegetais, rochas, etc, por métodos gravíticos
- ❑ **Trituração** para uma granulometria standard e **lavagem**
- ❑ Seguido de **separação gravimétrica**

Carvão | como se processa?



Esquema do princípio de funcionamento da Central Termoelétrica do Pego

Carvão | como se processa?

Sequestração de carbono (CCS)

Carbon capture and storage

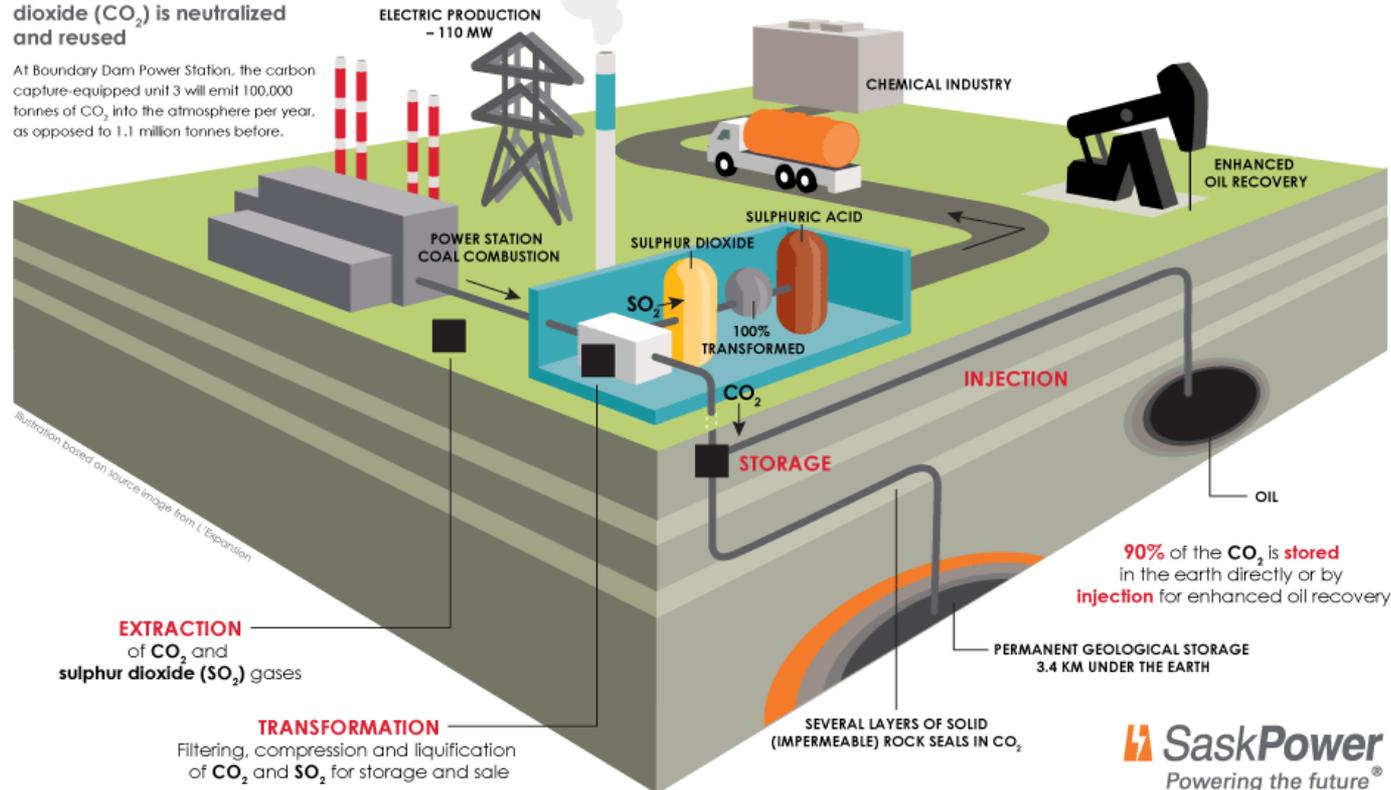
AT A GLANCE

How almost all the carbon dioxide (CO₂) is neutralized and reused

At Boundary Dam Power Station, the carbon capture-equipped unit 3 will emit 100,000 tonnes of CO₂ into the atmosphere per year, as opposed to 1.1 million tonnes before.

Only **10%** of the CO₂ makes it into the atmosphere

*This graphic representation is not to scale. To show how far underground the CO₂ is stored permanently and safely, this would have to be three metres tall.

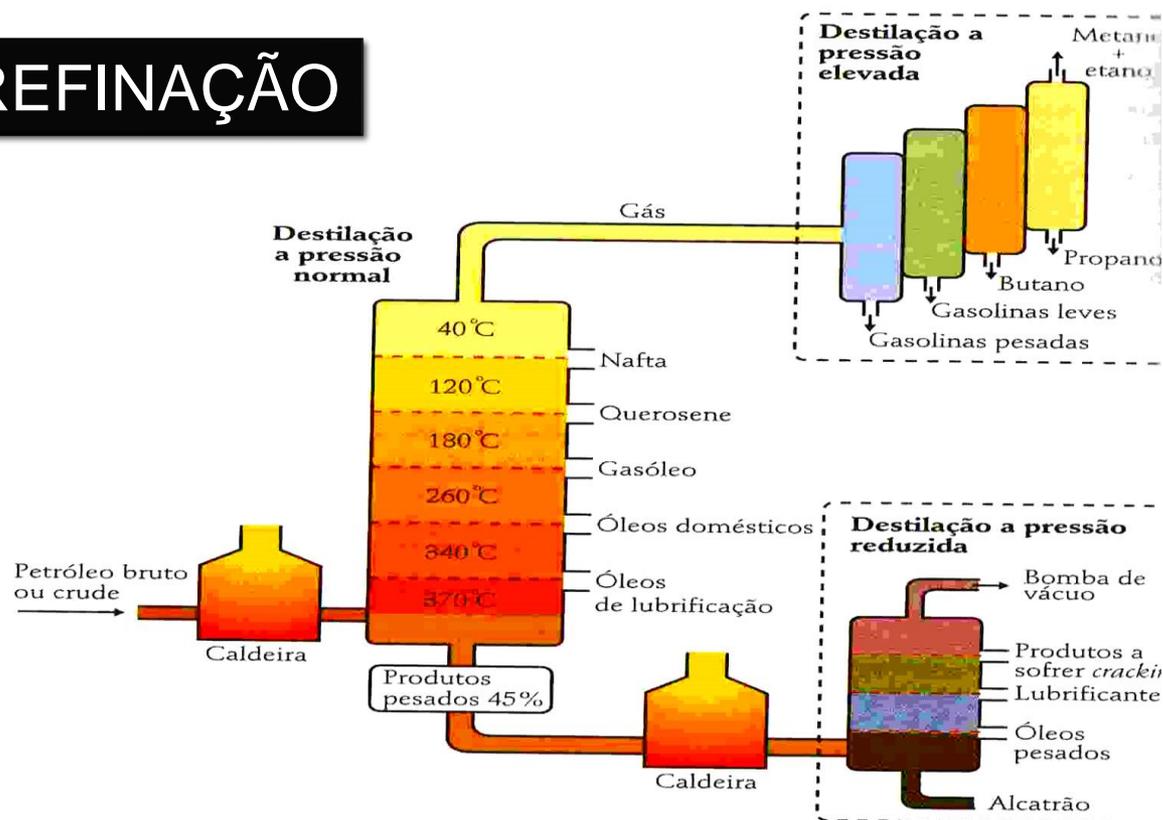


Hidrocarbonetos | como se processa?

Hidrocarbonetos | como se processa?

- ❑ Mistura de produtos gasosos (gás natural, gás sulfídrico) e líquidos (petróleo, água de formação)

REFINAÇÃO



Hidrocarbonetos | Conceito de reserva

- ❑ O volume de hidrocarbonetos presente numa rocha é denominado por STOIP *Stock Tank Oil Initially In Place*

Hidrocarbonetos | Conceito de reserva

- ❑ O volume do STOIP que pode ser recuperado com viabilidade económica constitui a reserva

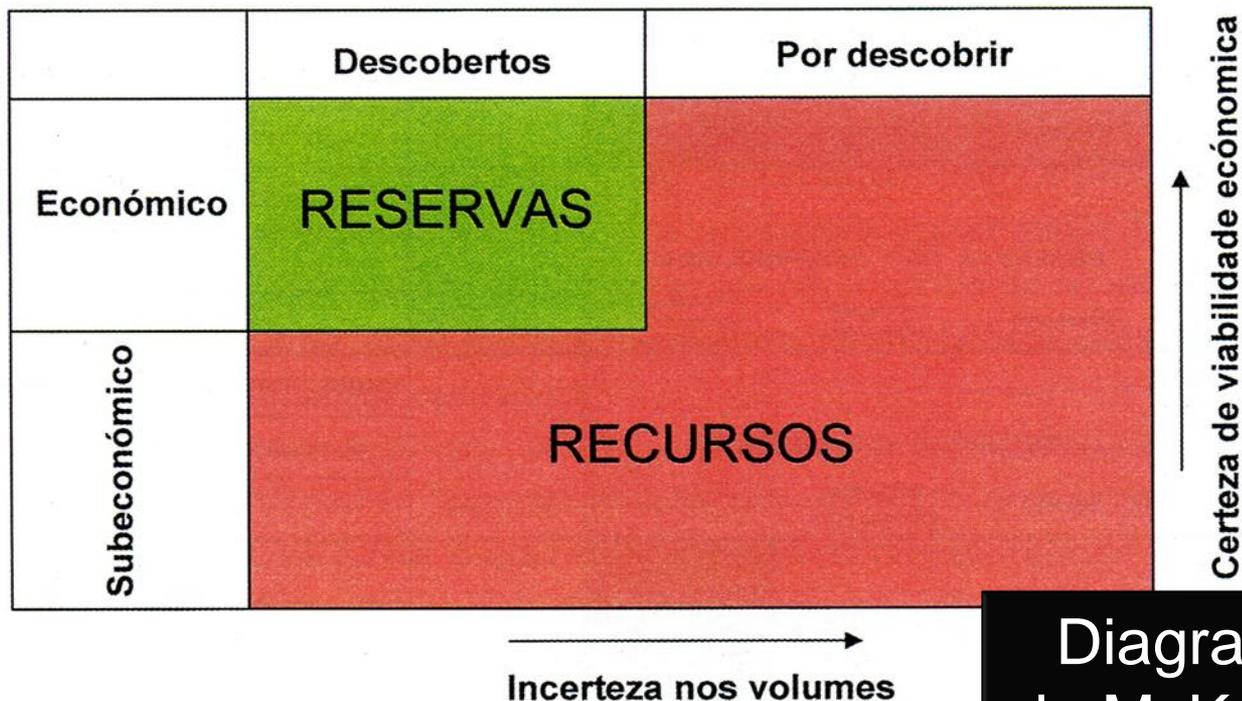


Diagrama
de McKelvey

Hidrocarbonetos | Conceito de reserva

- ❑ **Identificação** por métodos geológicos/geofísicos de zonas onde potencialmente poderão existir depósitos de hidrocarbonetos
 - ❑ *zonas com rocha-mãe de boa qualidade, e*
 - ❑ *existência de fluidos*

Hidrocarbonetos | Conceito de reserva

Engenharia de reservatórios

- ❑ Quantos poços serão necessários para o desenvolvimento do campo petrolífero?
- ❑ Quais os poços mais adequados (verticais, horizontais ou multilaterais)?
- ❑ Qual a sua localização ideal para maximizar a recuperação?
- ❑ Qual o tipo de suporte de pressão (injecção de água, gás ou CO₂) necessário?
- ❑ Quais os perfis de produção expectáveis?
- ❑...

Hidrocarbonetos | Conceito de reserva

Engenharia de reservatórios

- ❑ Quantos poços serão necessários para o desenvolvimento do campo petrolífero?
- ❑ Quais os poços mais adequados (verticais, horizontais ou multilaterais)?
- ❑ Qual a sua localização ideal para maximizar a recuperação?
- ❑ Qual o tipo de suporte de pressão (injecção de água, gás ou CO₂) necessário?
- ❑ Qual o plano de desenvolvimento que permite, para um determinado campo petrolífero, fazer a maximização das reservas?
- ❑...

Hidrocarbonetos | Conceito de reserva

Modelo de Hubbert (1956)

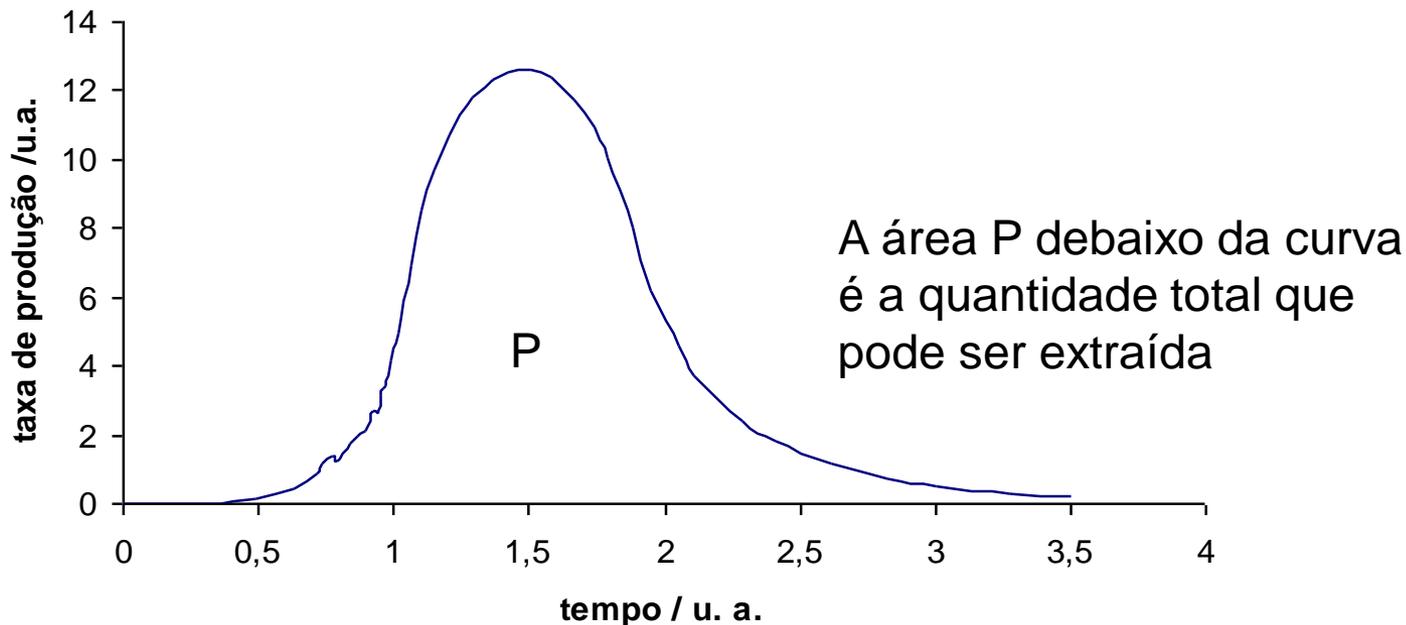
Evolução temporal da taxa de extracção de um recurso natural finito

- ❑ a quantidade total a recuperar é **finita** (P);
- ❑ a taxa de **produção inicial** p_i é suposta ser nula numa qualquer data de referência;
- ❑ a taxa de **produção final** p_f terá também que ser nula, uma vez que o recurso é finito.

Hidrocarbonetos | Conceito de reserva

Modelo de Hubbert (1956)

A função $p(t)$ vai ter que ter um valor máximo



Hidrocarbonetos | Conceito de reserva

Modelo de Hubbert (1956)

Evolução temporal da taxa de extracção de um recurso natural finito

- ❑ a taxa de **extracção começa por aumentar** no tempo;
- ❑ atinge-se um patamar (**máximo**) quando se tiver consumido aproximadamente **metade** do recurso;
- ❑ **decrece** até se anular (porque vai sendo cada vez mais difícil encontrar novas reservas).

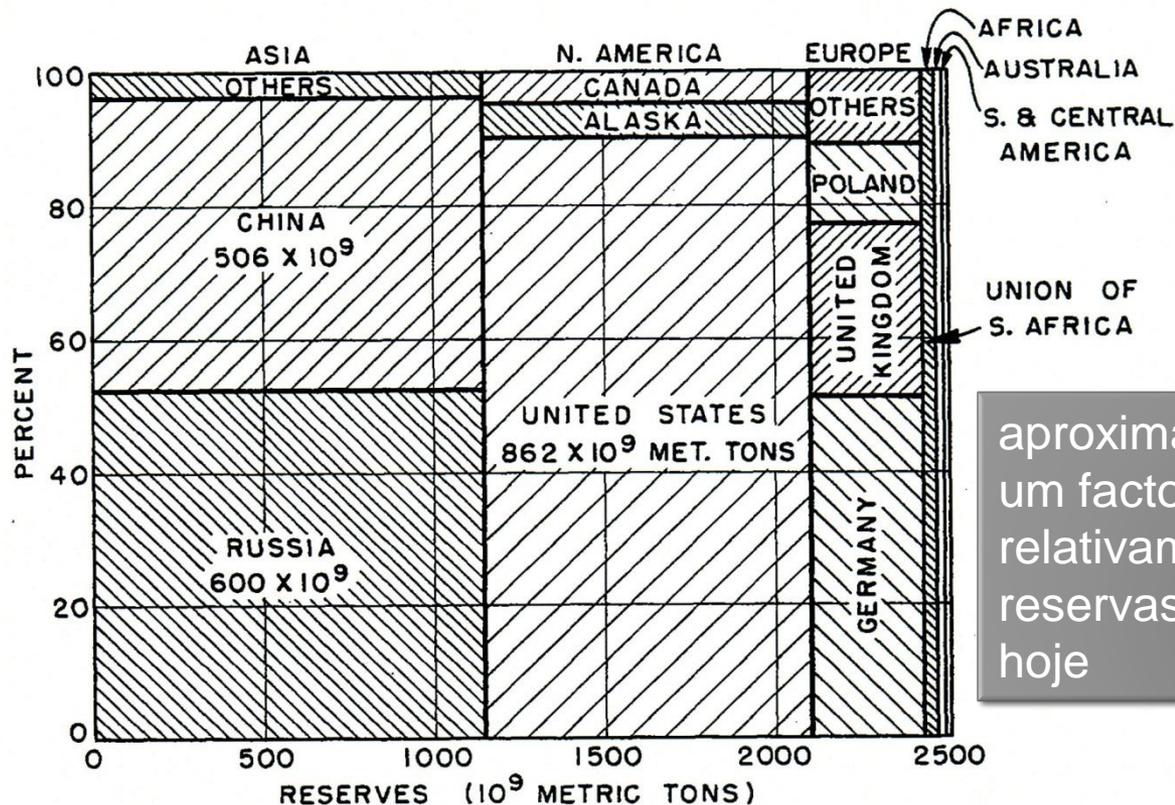
Hidrocarbonetos | Conceito de reserva

Modelo de Hubbert (1956)

Sabendo P e a produção acumulada até uma certa data, podemos prever o tempo para o esgotamento de recurso.

Hidrocarbonetos | Conceito de reserva

Modelo de Hubbert (1956)

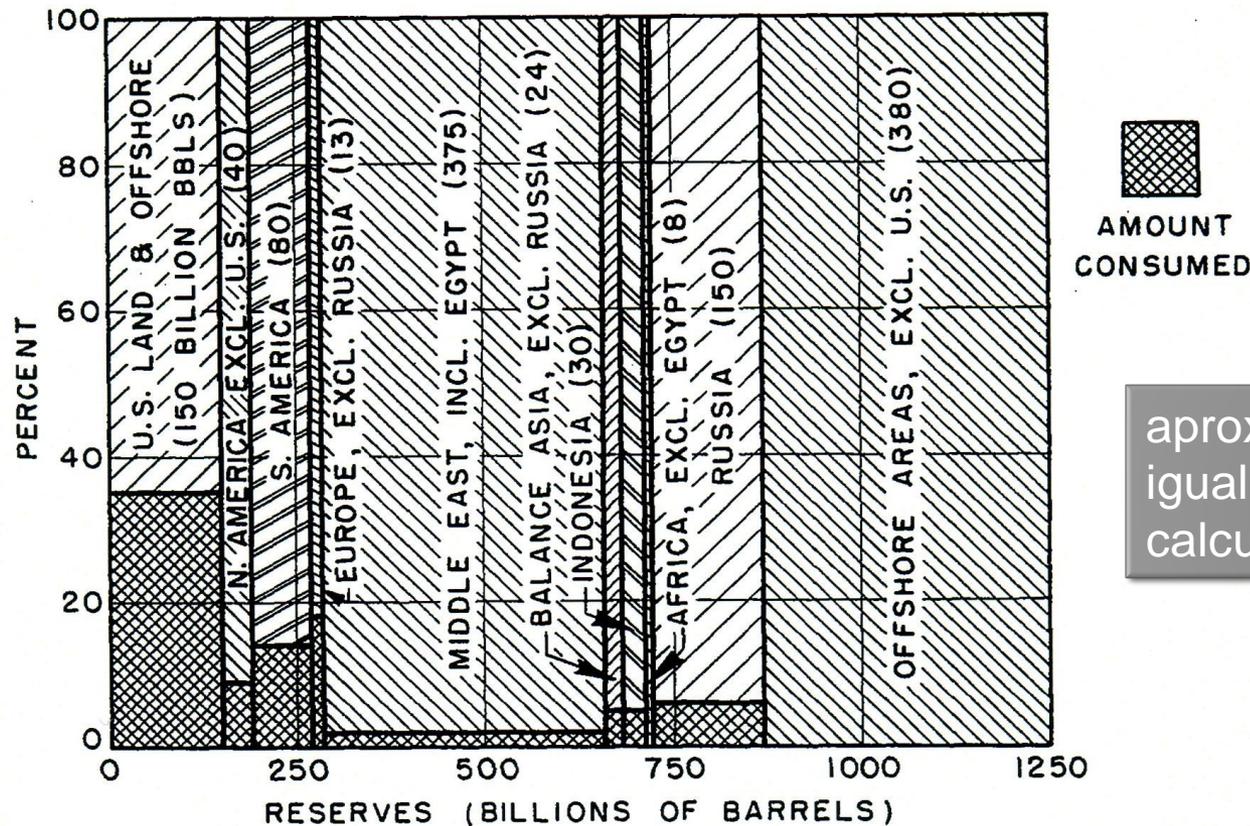


aproximadamente
um factor 3
relativamente às
reservas calculadas
hoje

Figure 14 - World recoverable coal reserves assuming 50-percent loss in mining (U.S. Geol. Surv.).

Hidrocarbonetos | Conceito de reserva

Modelo de Hubbert (1956)



aproximadamente
igual às reservas
calculadas hoje

Figure 15 - Estimated world crude-oil reserves initially present which are producible by present methods (modified after L. G. Weeks).

Hidrocarbonetos | Conceito de reserva

Modelo de Hubbert (1956)

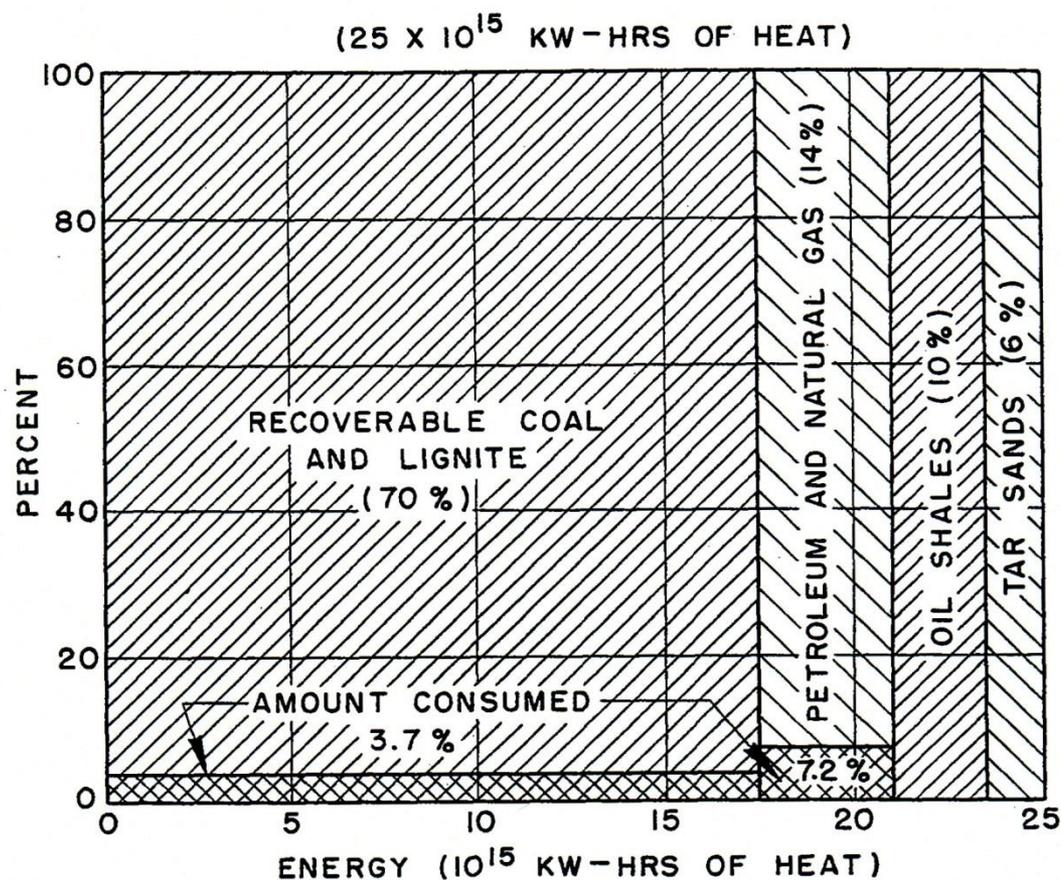


Figure 16 - Energy content of initial world reserves of fossil fuels, and amount consumed already.

Hidrocarbonetos | Conceito de reserva

Modelo de Hubbert (1956)

Assumindo que quando o pico for atingido a produção será aproximadamente tripla da de 1956

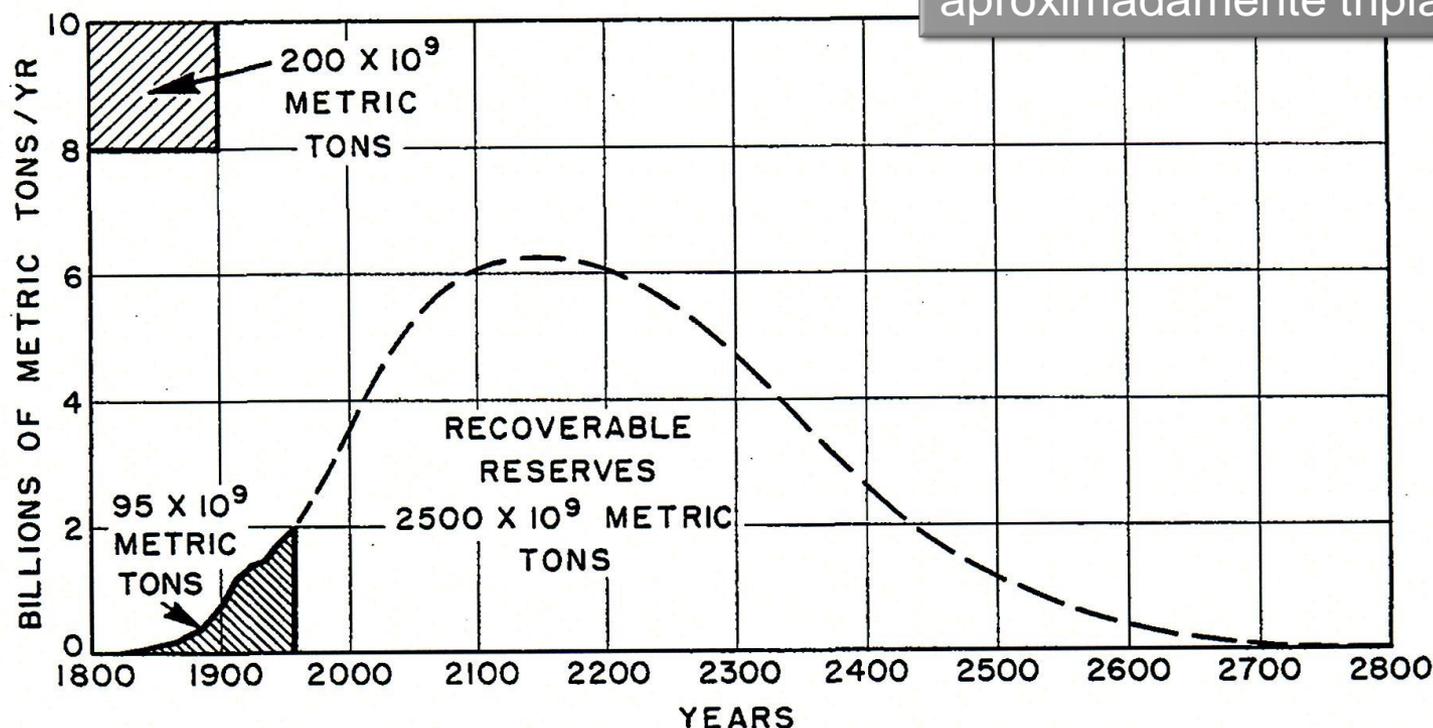


Figure 18 - Ultimate world coal production. The shape of the curve is variable but subject to the condition that the area under the curve cannot exceed thirteen squares.

Hidrocarbonetos | Conceito de reserva

Modelo de Hubbert (1956)

Assumindo que quando o pico for atingido a produção será multiplicada por um factor de cerca de 2.5

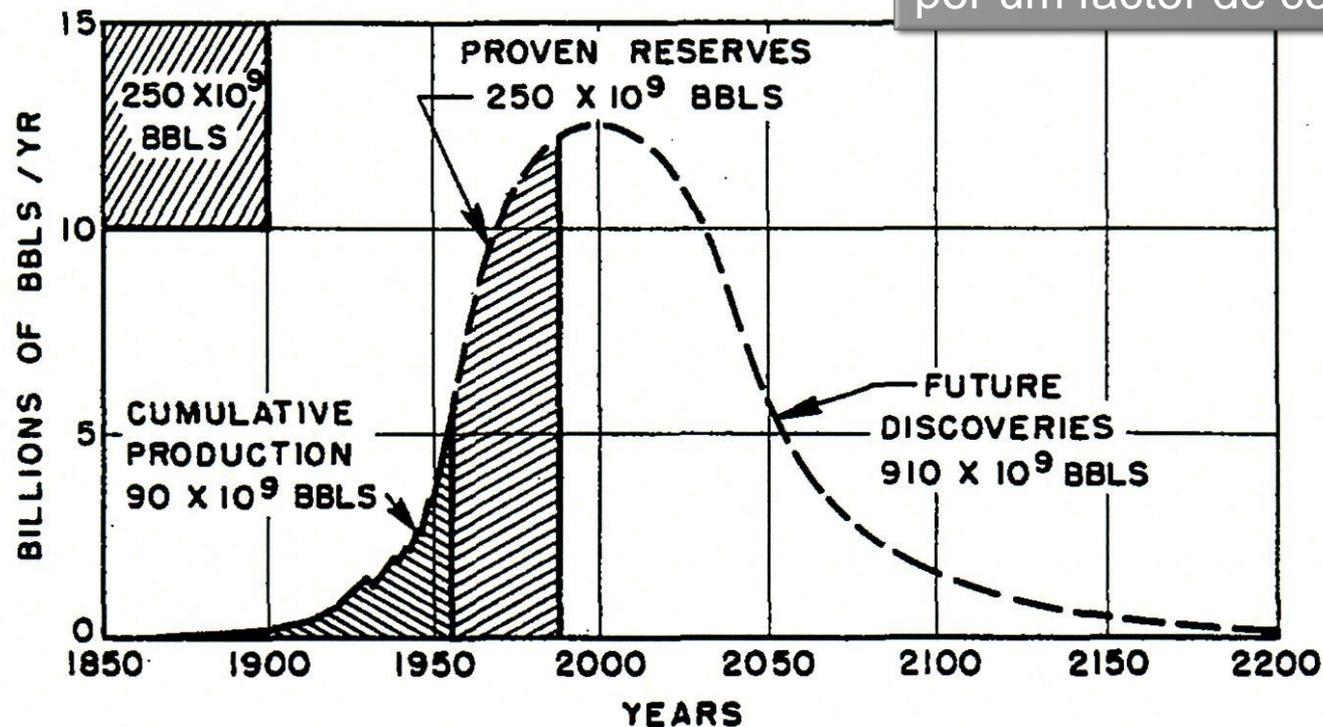
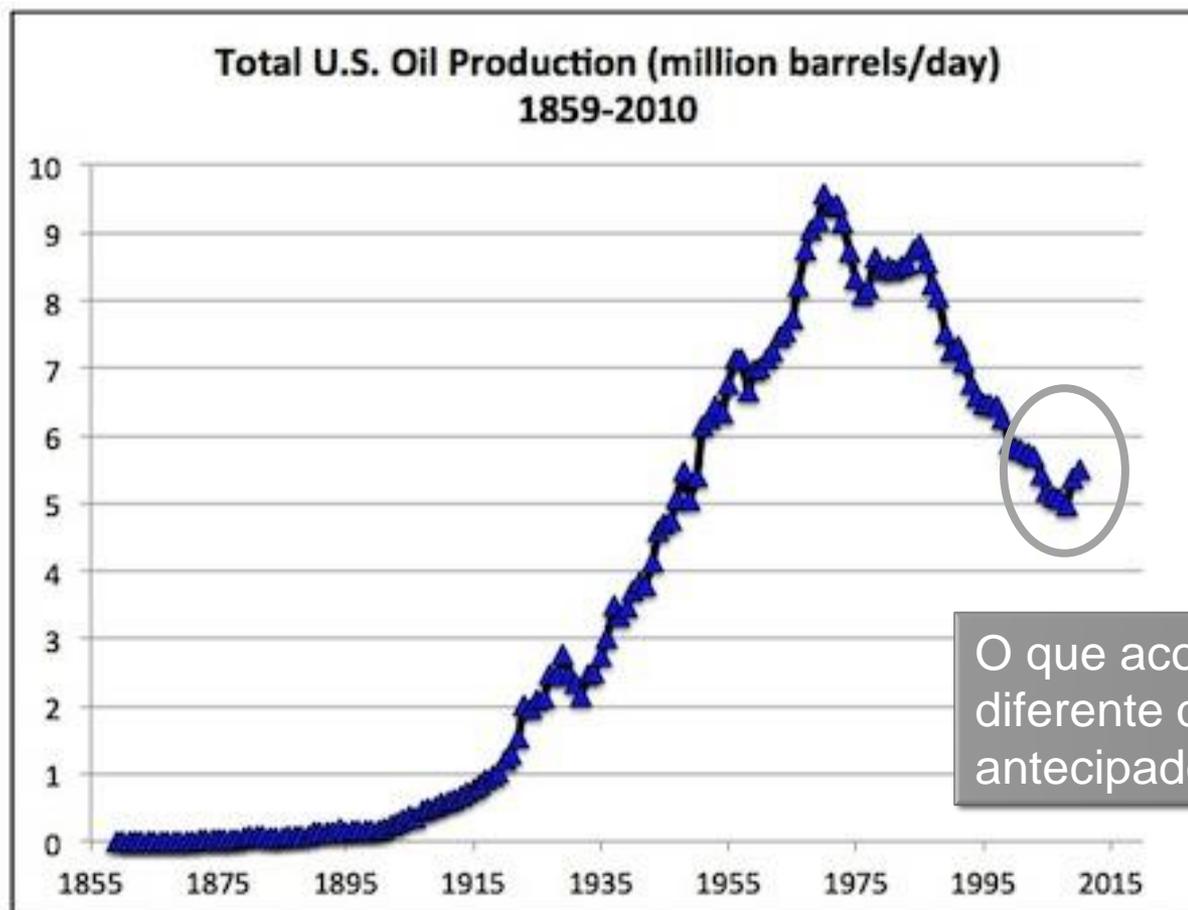


Figure 20 - Ultimate world crude-oil production based upon initial reserves of 1250 billion barrels.

Hidrocarbonetos | Conceito de reserva

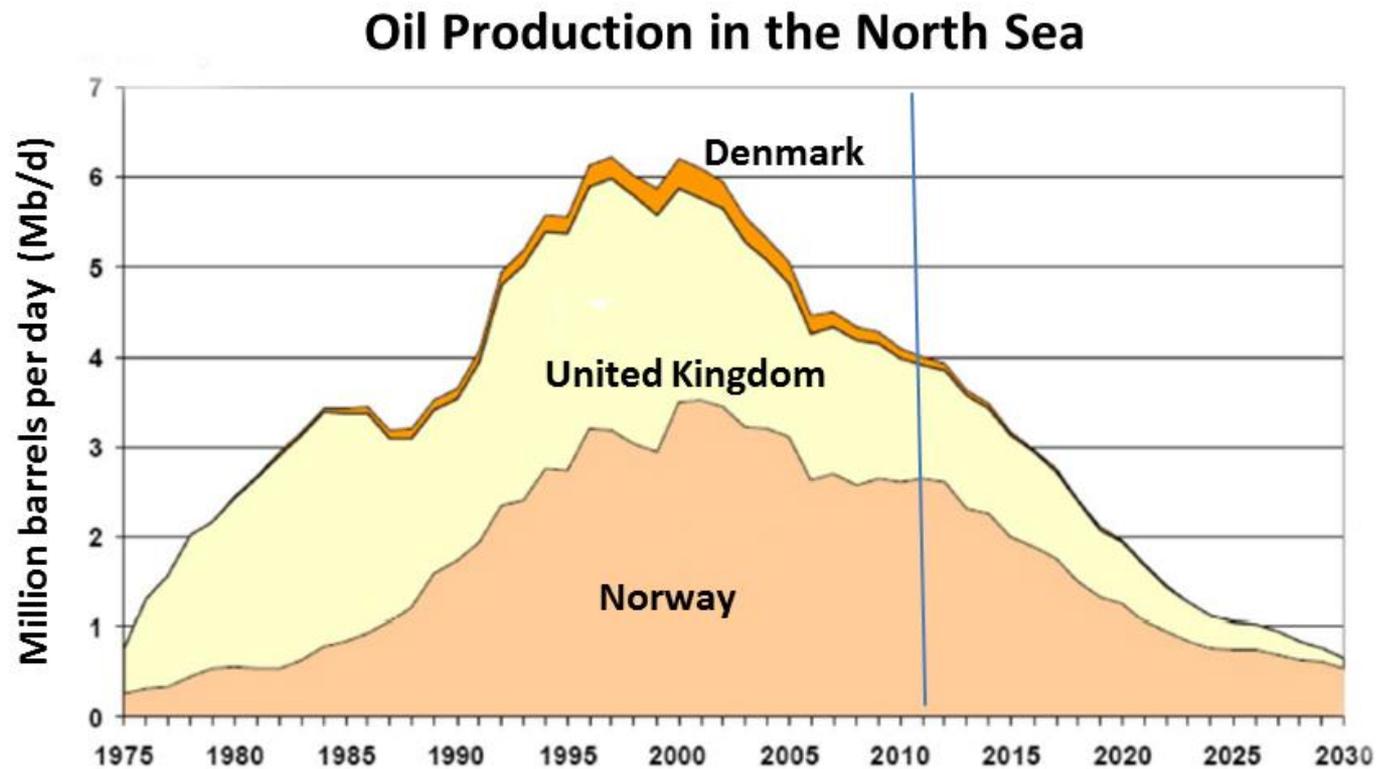
Modelo de Hubbert (1956)



O que aconteceu não parece muito diferente do que tinha sido antecipado por Hubbert há 50 anos

Hidrocarbonetos | Conceito de reserva

Modelo de Hubbert (1956)



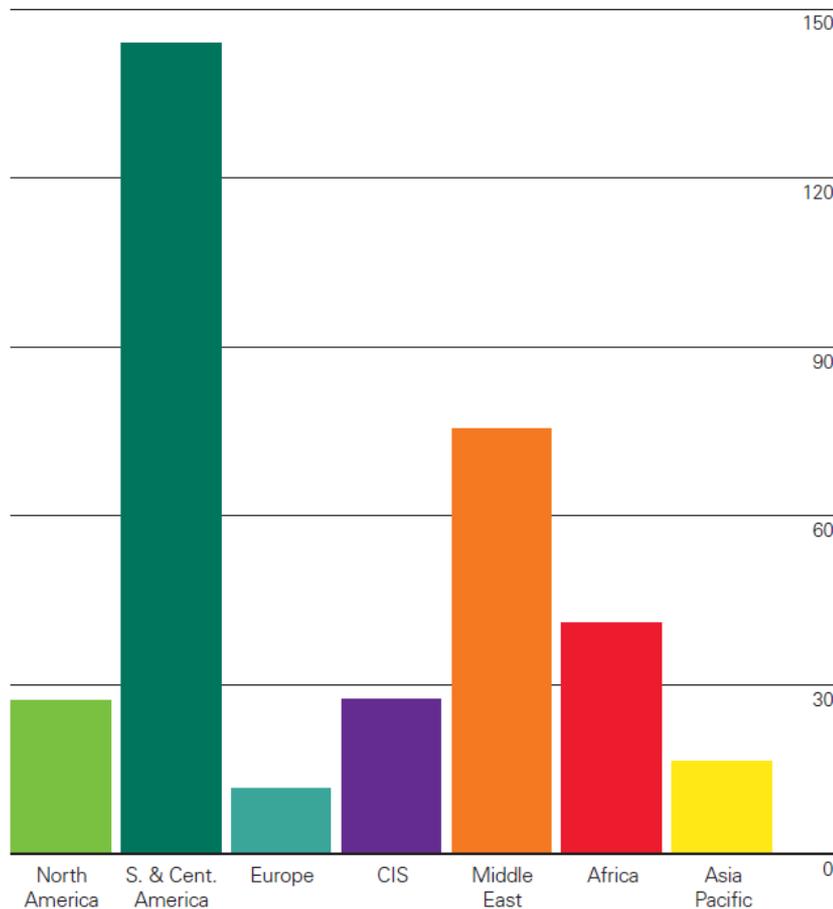
Data Preem 2012

Hidrocarbonetos | Conceito de reserva

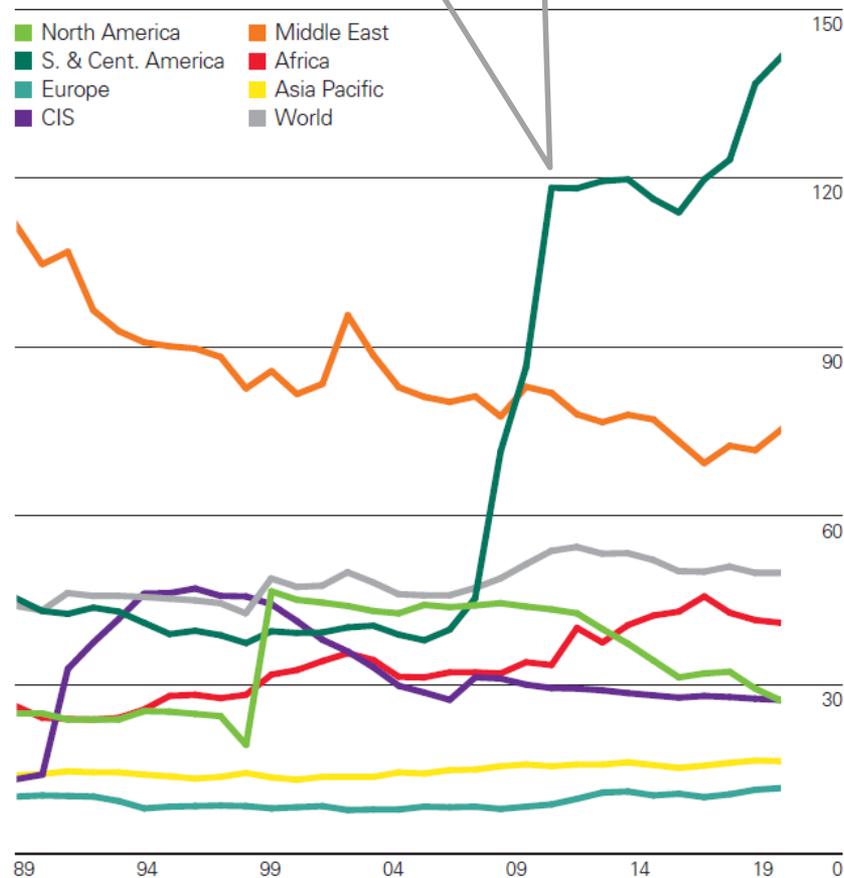
Reserves-to-production (R/P) ratios

Years

2019 by region



History



Hidrocarbonetos | Conceito de reserva

CLIMATE SCIENCE

Unburnable fossil-fuel reserves

How much more of Earth's fossil fuels can we extract and burn in the short- to medium-term future and still avoid severe global warming? A model provides the answer, and shows where these 'unburnable' reserves are. [SEE LETTER P.187](#)

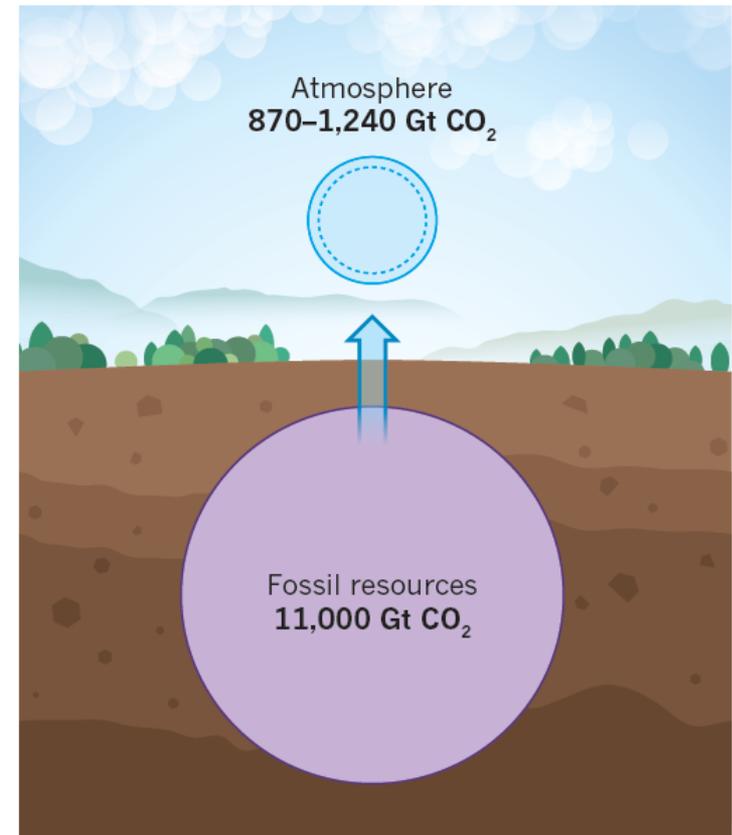


Figure 1 | Fossil-fuel resources exceed atmospheric disposal space for carbon emissions.

Hidrocarbonetos | Conceito de reserva



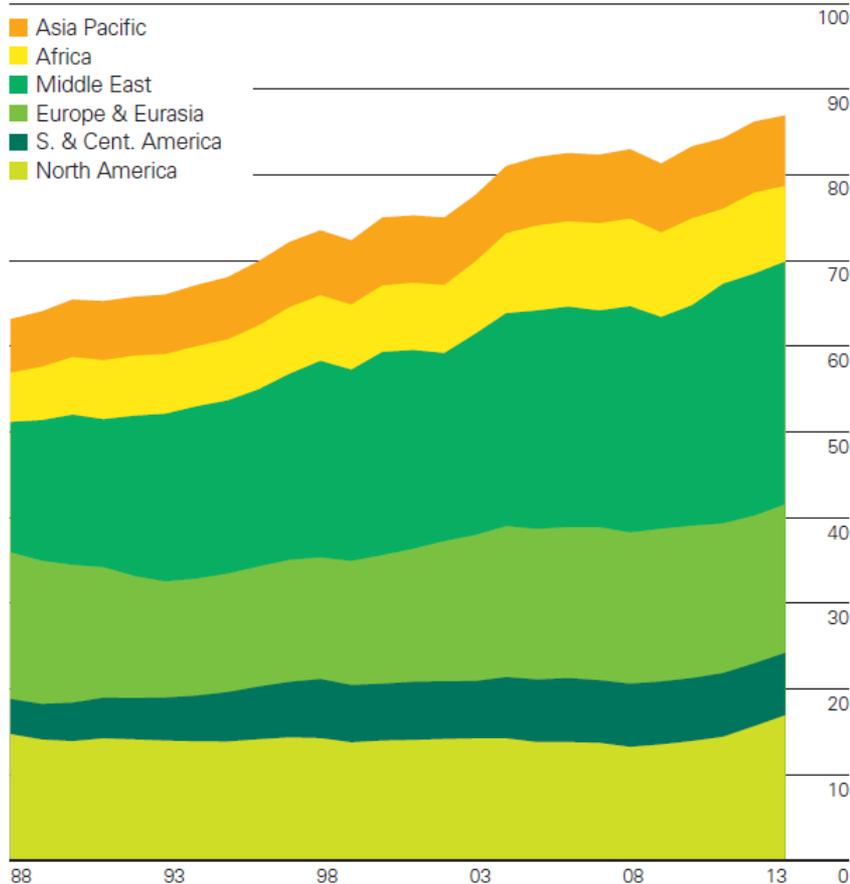
The Stone Age didn't end for lack of stone, and the oil age will end long before the world runs out of oil.

Sheik Ahmed Zaki Yamani, Ministro do Petróleo 1962-1986, Arábia Saudita
(ou talvez Don Huberts, da Shell Hydrogen...)

Hidrocarbonetos | Conceito de reserva

Production by region

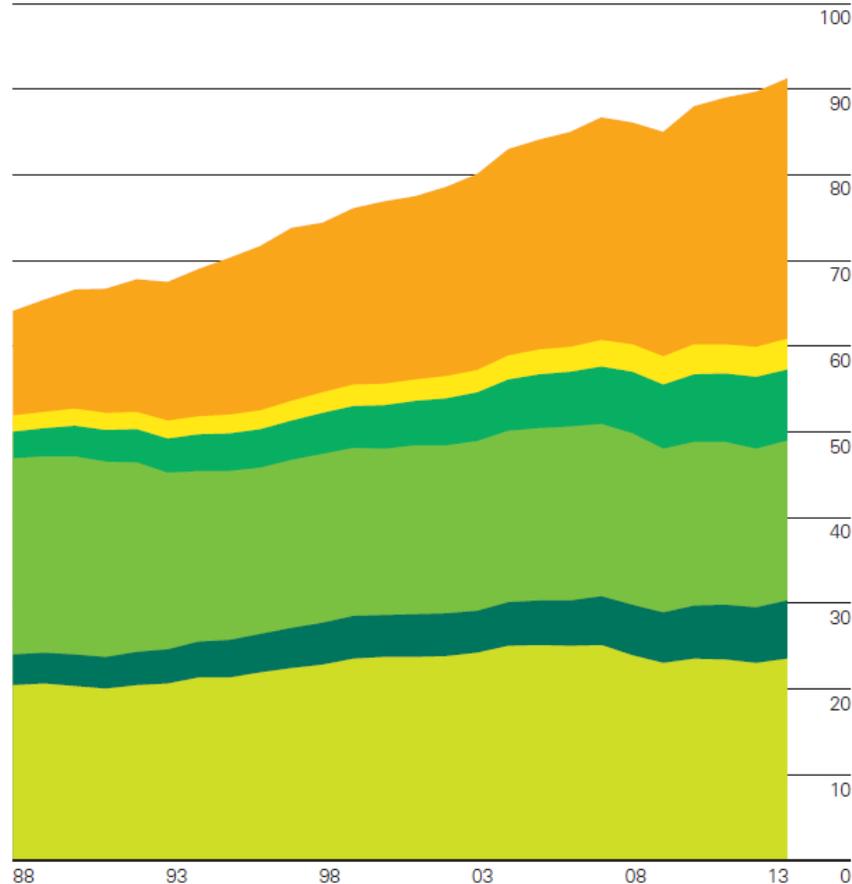
Million barrels daily



Consumption by region

Million barrels daily

Petróleo

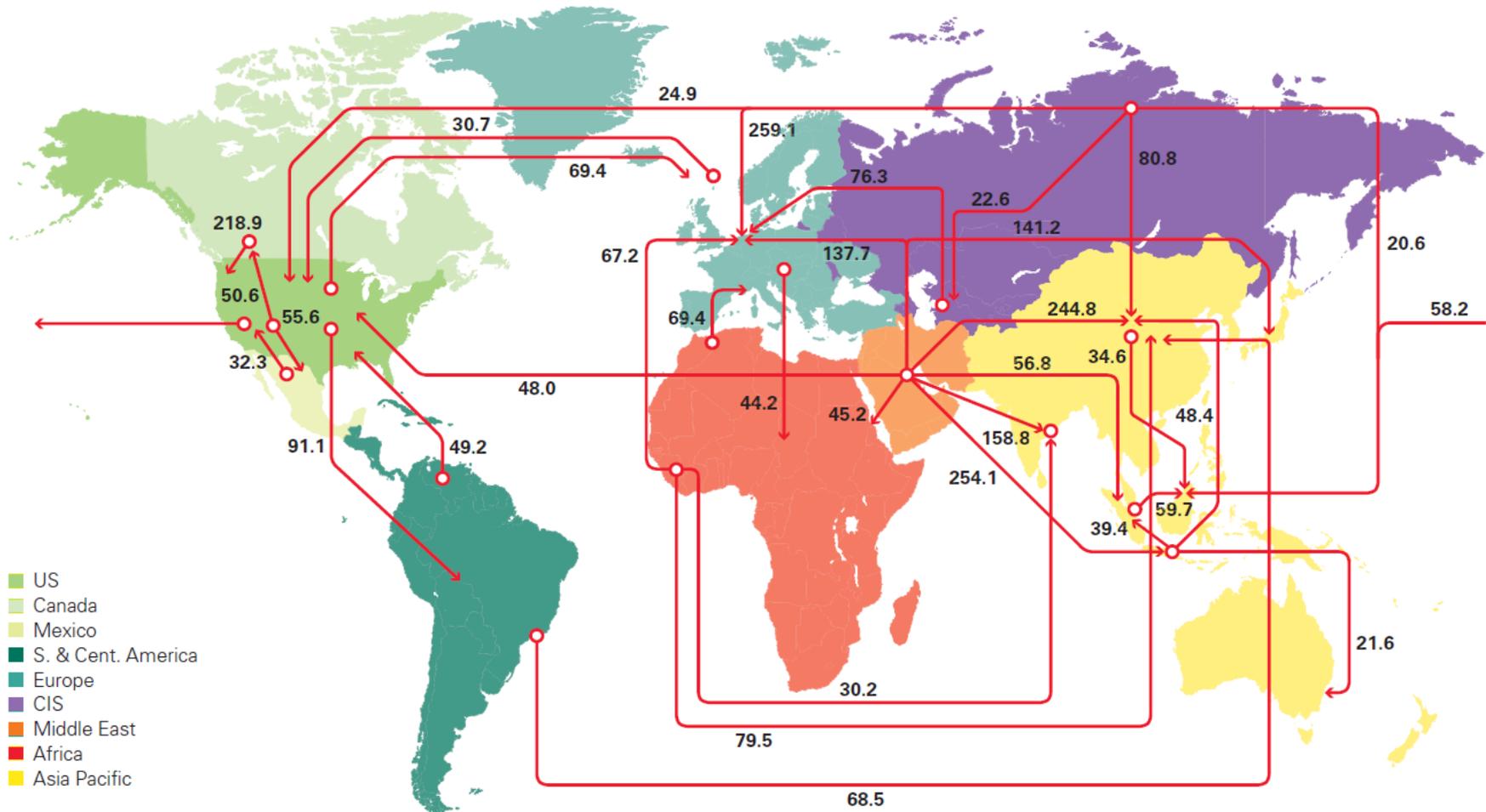


Hidrocarbonetos | Conceito de reserva

Major trade movements 2019

Trade flows worldwide (million tonnes)

Petróleo



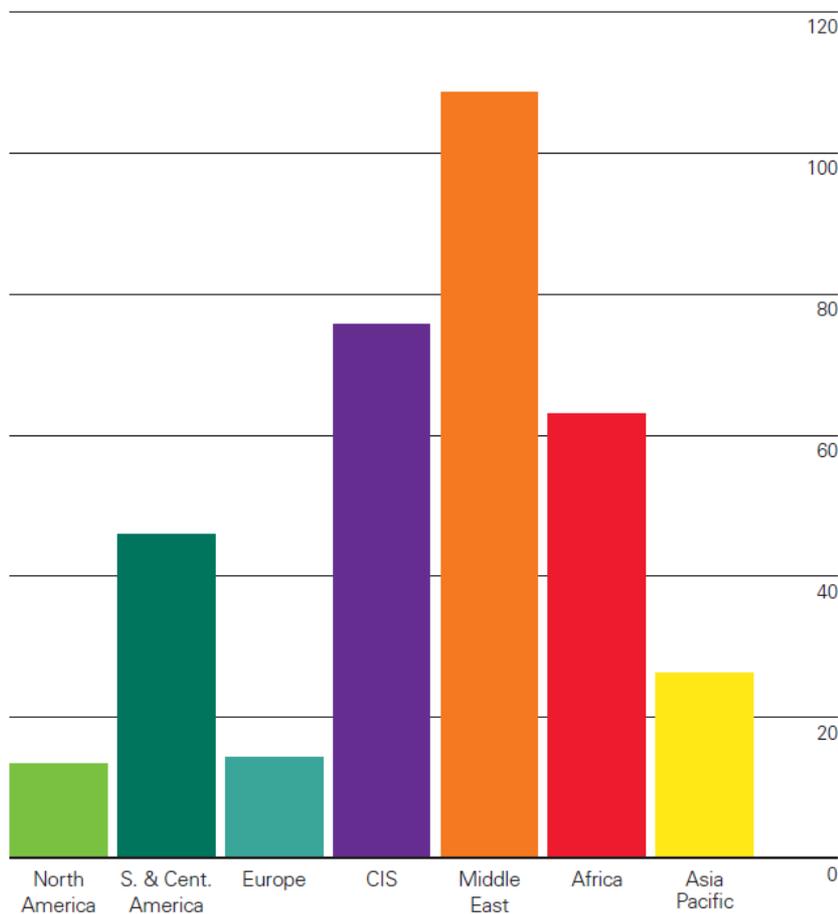
Hidrocarbonetos | Conceito de reserva

Gás

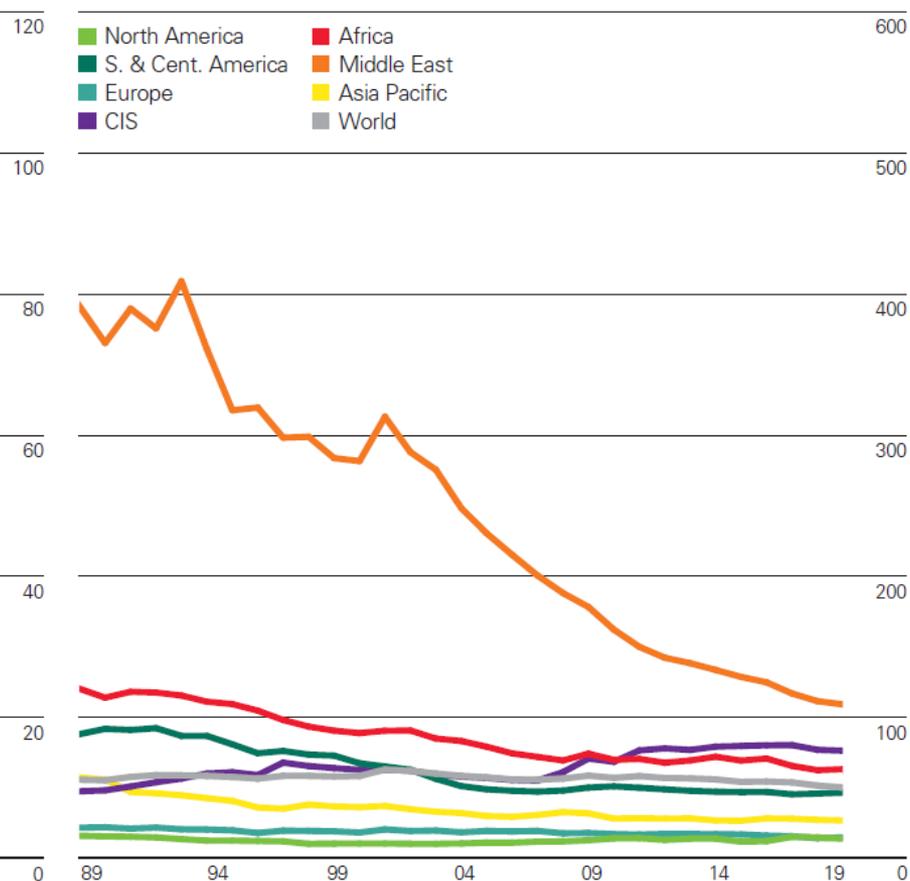
Reserves-to-production (R/P) ratios

Years

2019 by region



History

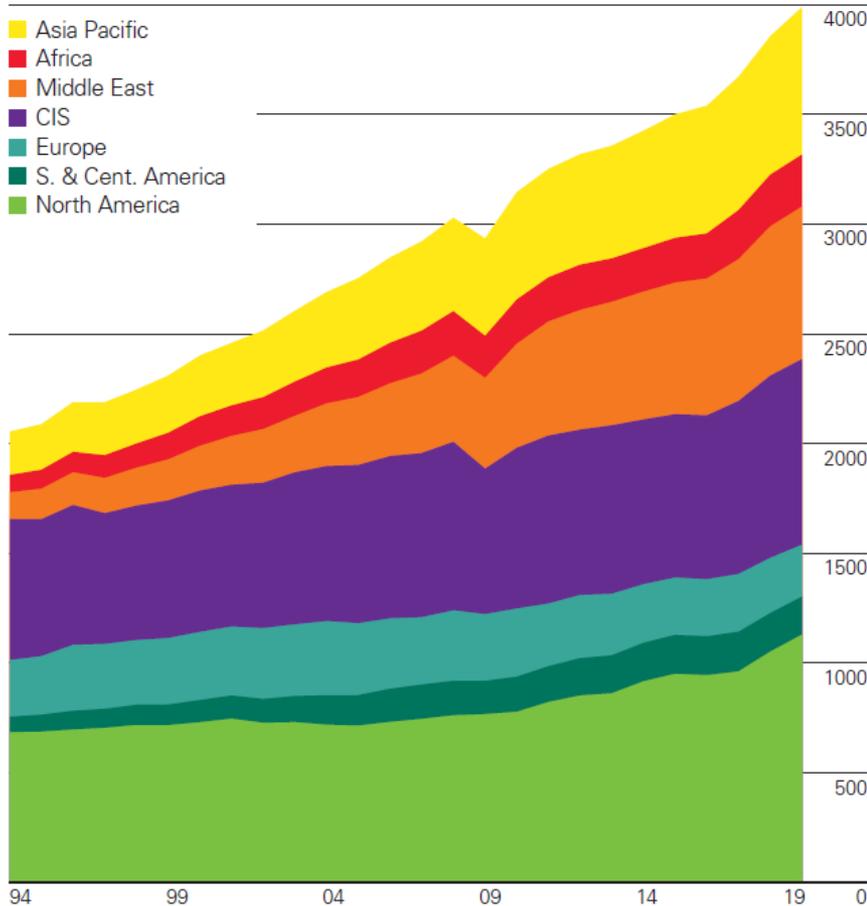


Hidrocarbonetos | Conceito de reserva

Gás

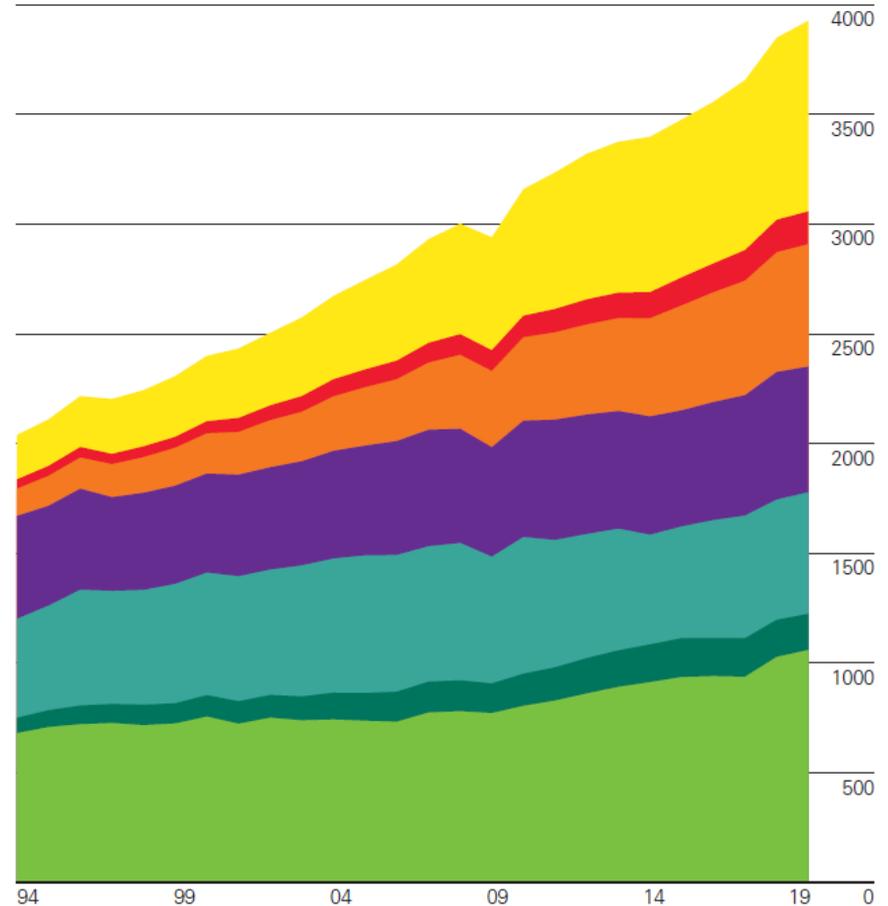
Natural gas: Production by region

Billion cubic metres



Natural gas: Consumption by region

Billion cubic metres

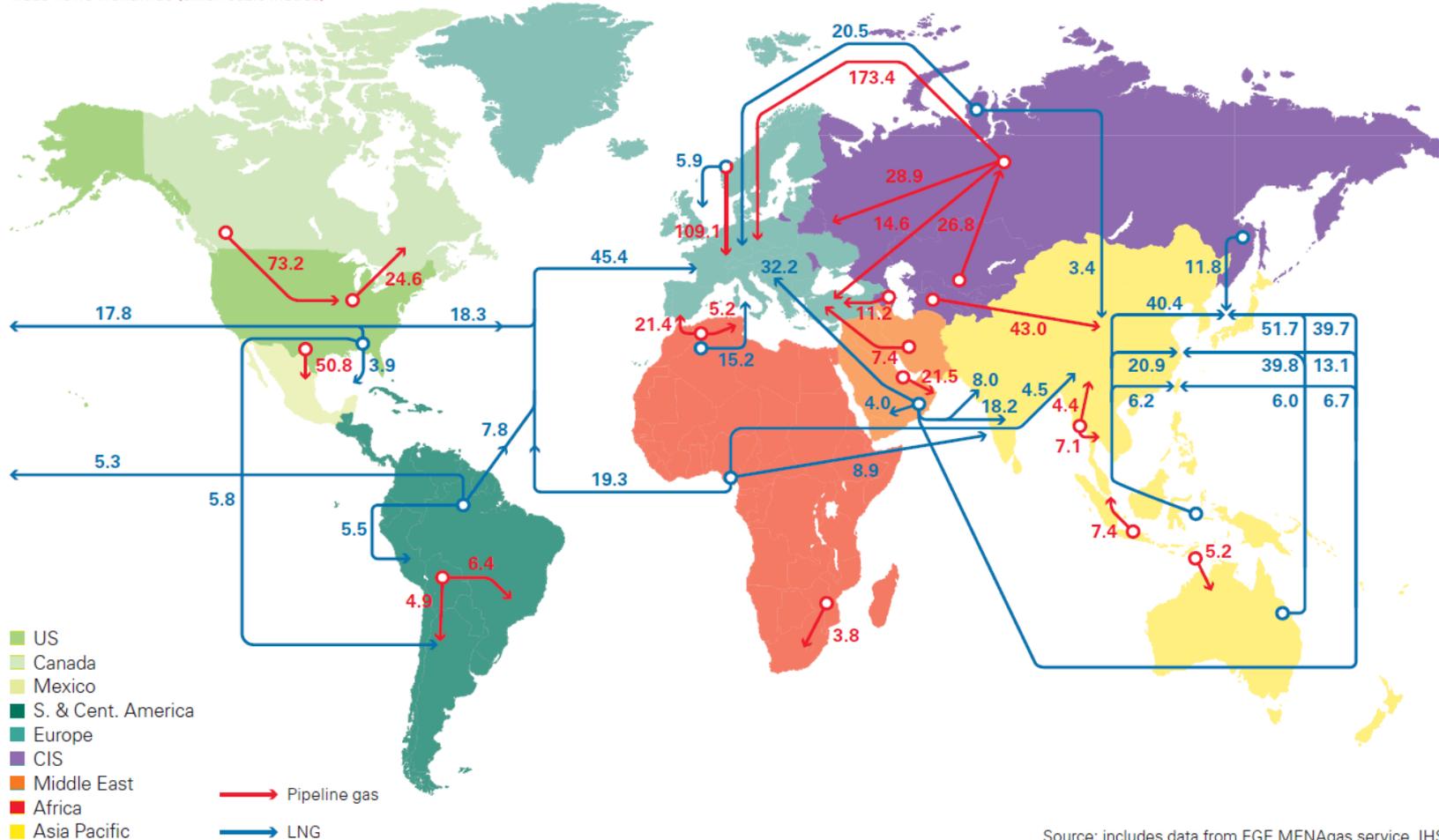


Hidrocarbonetos | Conceito de reserva

Gás

Major trade movements 2019

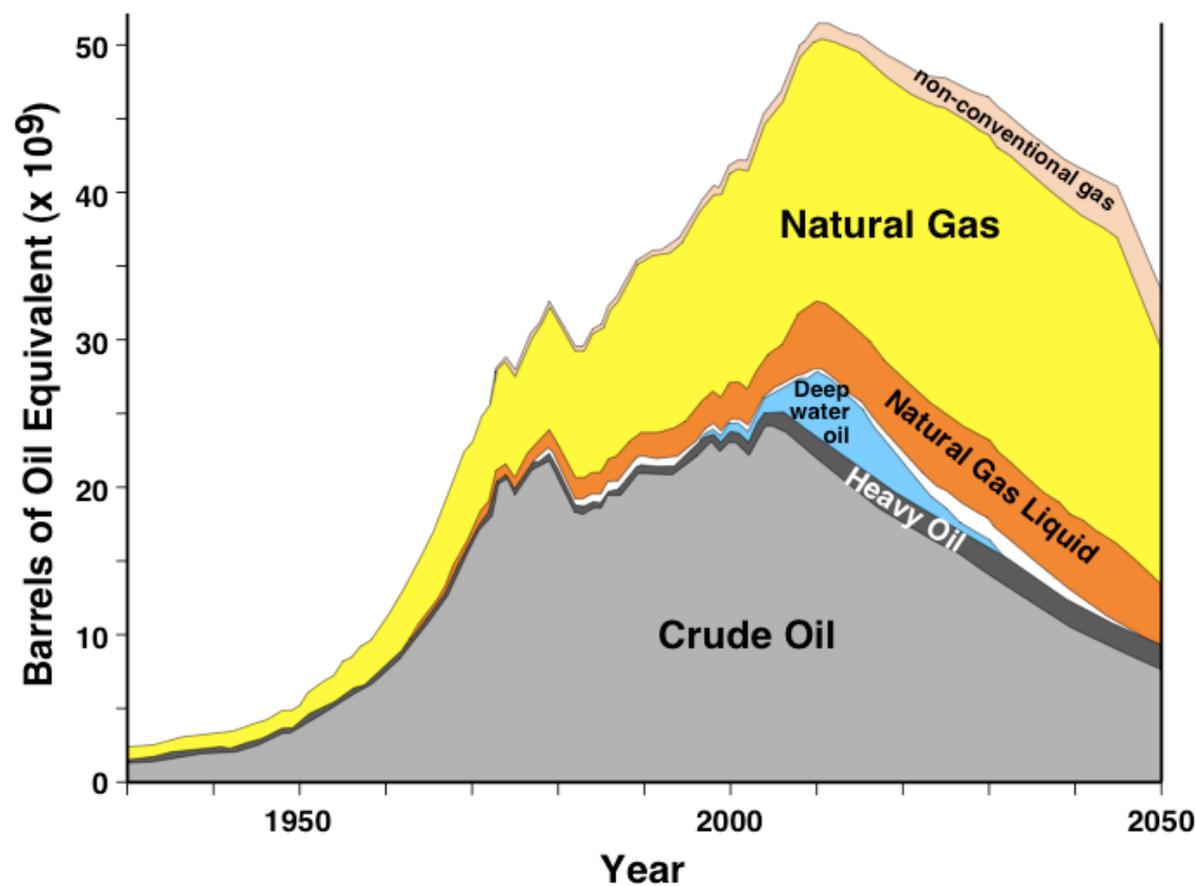
Trade flows worldwide (billion cubic metres)



Source: includes data from FGE MENAgas service, IHS.

Hidrocarbonetos | Conceito de reserva

Modelo de Hubbert (1956)



Hidrocarbonetos | Conceito de reserva

EROI – *energy return on investment*

Quanto **energia útil adquiero** a dividir pela **energia que gasto** no processo de extracção/produção do recurso.

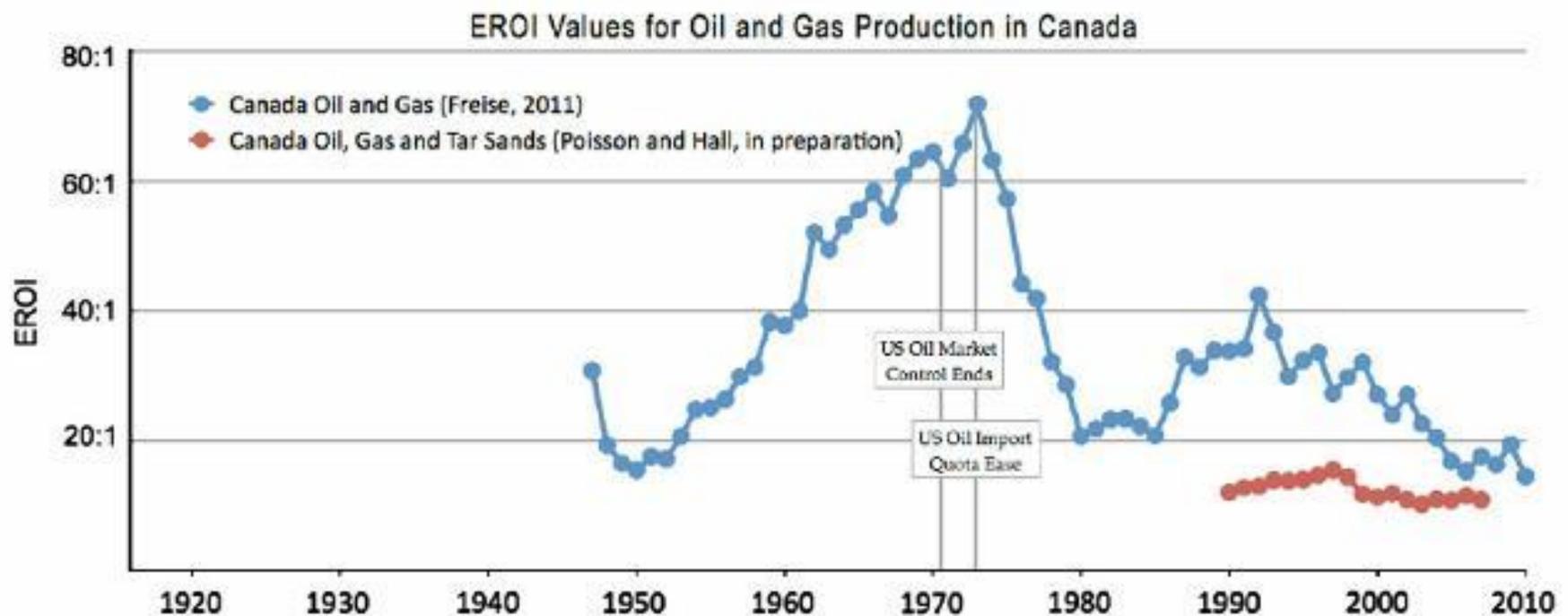
Quanto maior, melhor.

Se inferior a 1, era melhor ter estado quieto...



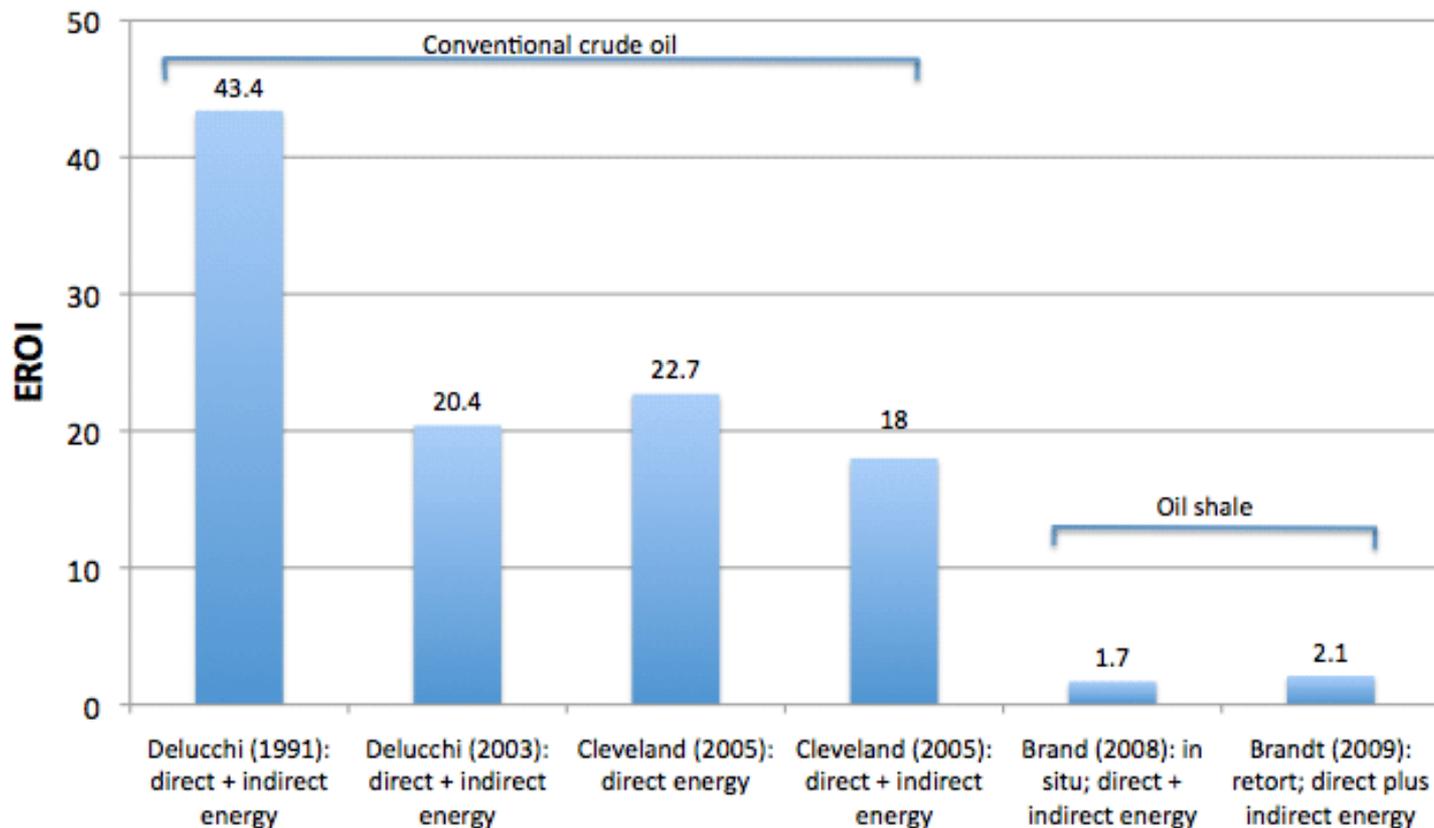
Hidrocarbonetos | Conceito de reserva

EROI – *energy return on investment*

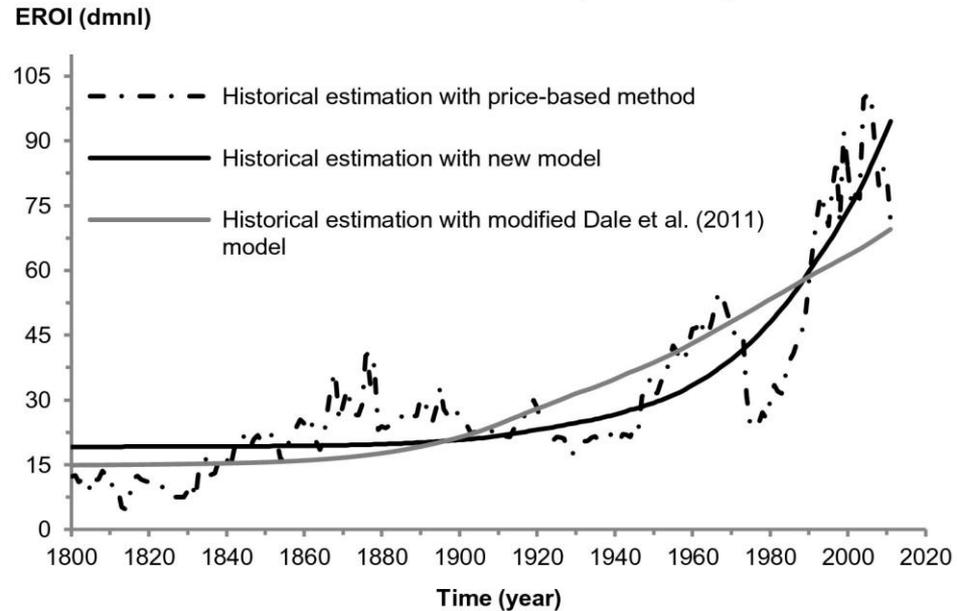


Hidrocarbonetos | Conceito de reserva

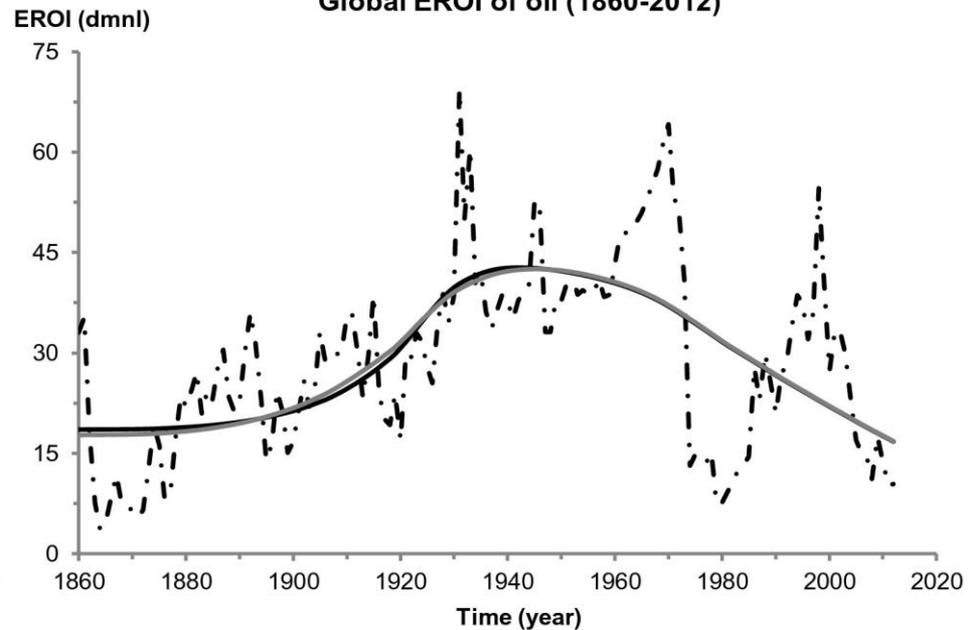
EROI – *energy return on investment*



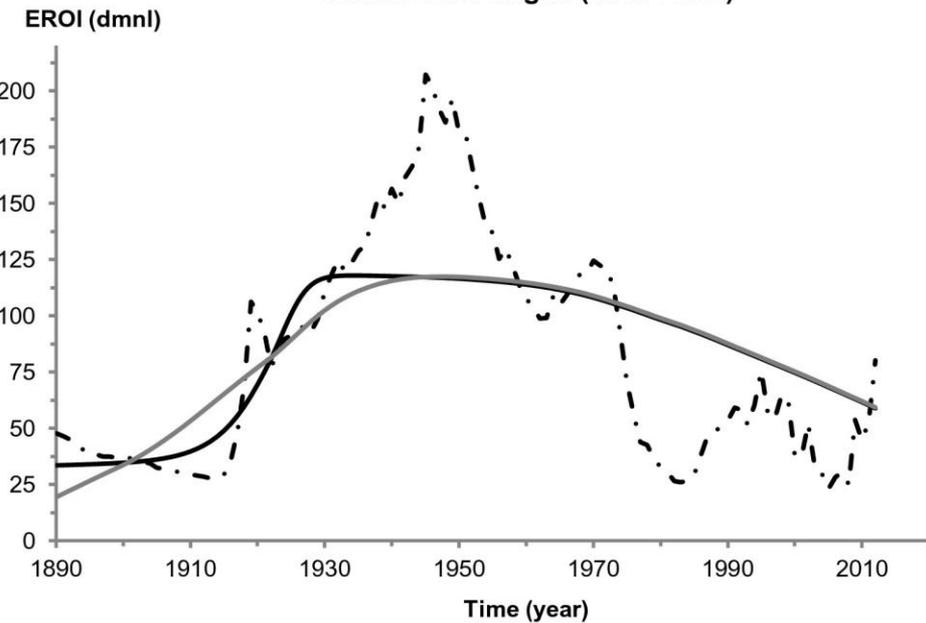
Global EROI of coal (1800-2012)



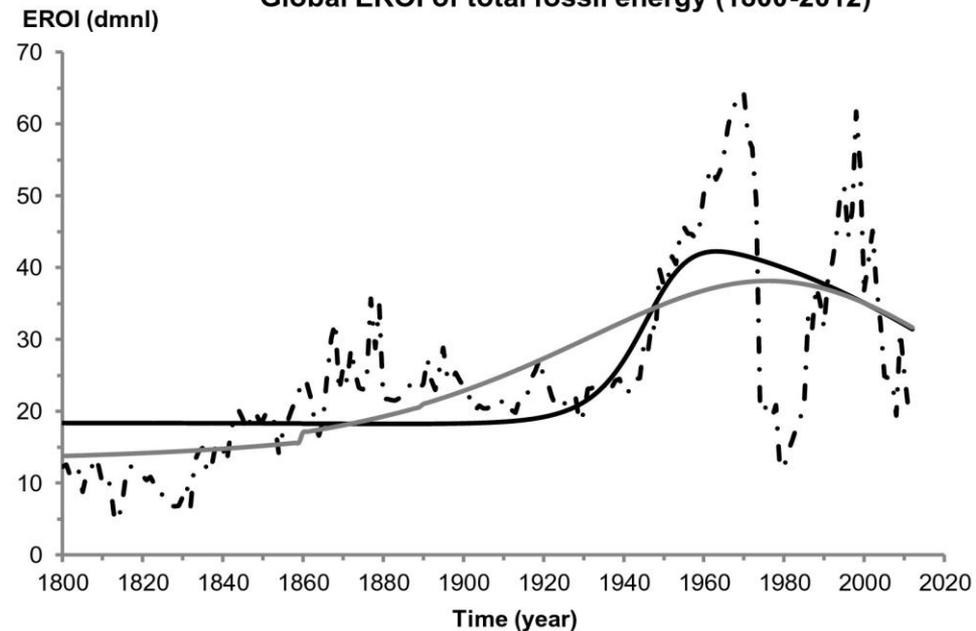
Global EROI of oil (1860-2012)



Global EROI of gas (1890-2012)

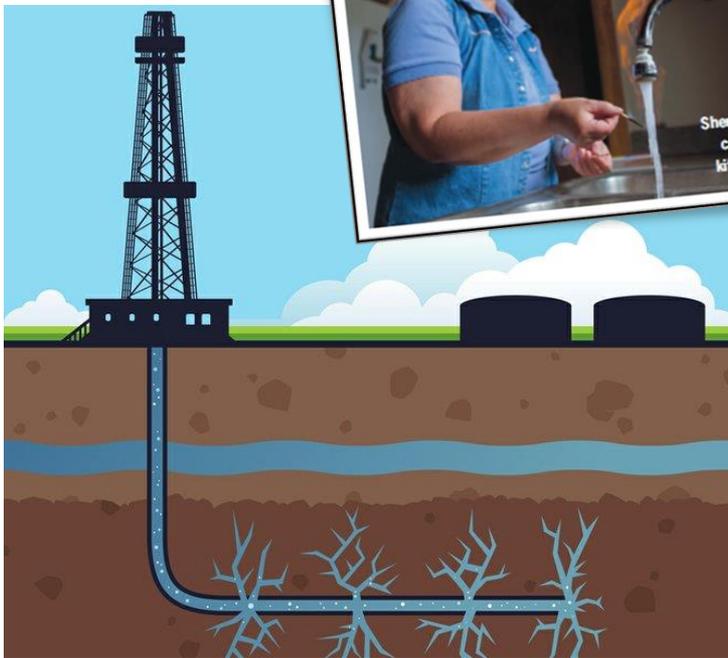


Global EROI of total fossil energy (1800-2012)



Hidrocarbonetos | novas reservas

Fracking

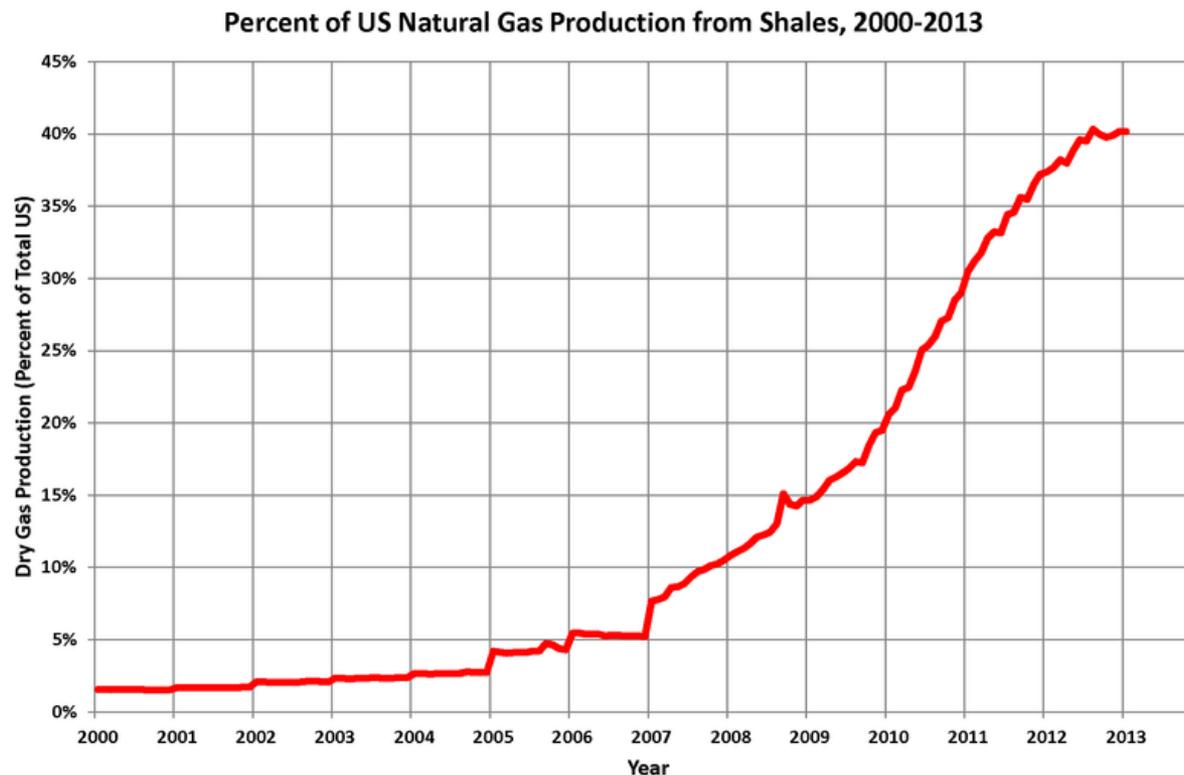


- ❑ Depósitos a cerca de 2.5 km de profundidade
- ❑ Furo vertical tipicamente atravessa lençóis freáticos (100m) – para evitar *gasificação do lençol* usam-se tubos especiais (3 tubos concêntricos, tipo cebola)
- ❑ Furo horizontal com cerca de 3km de extensão
- ❑ Explosão controlada em profundidade, para fractura da rocha
- ❑ Injecção de água pressão elevada (10MPa) para libertação do gás

Hidrocarbonetos | novas reservas

Fracking

- ❑ Reservas importantes – a nova corrida do ouro

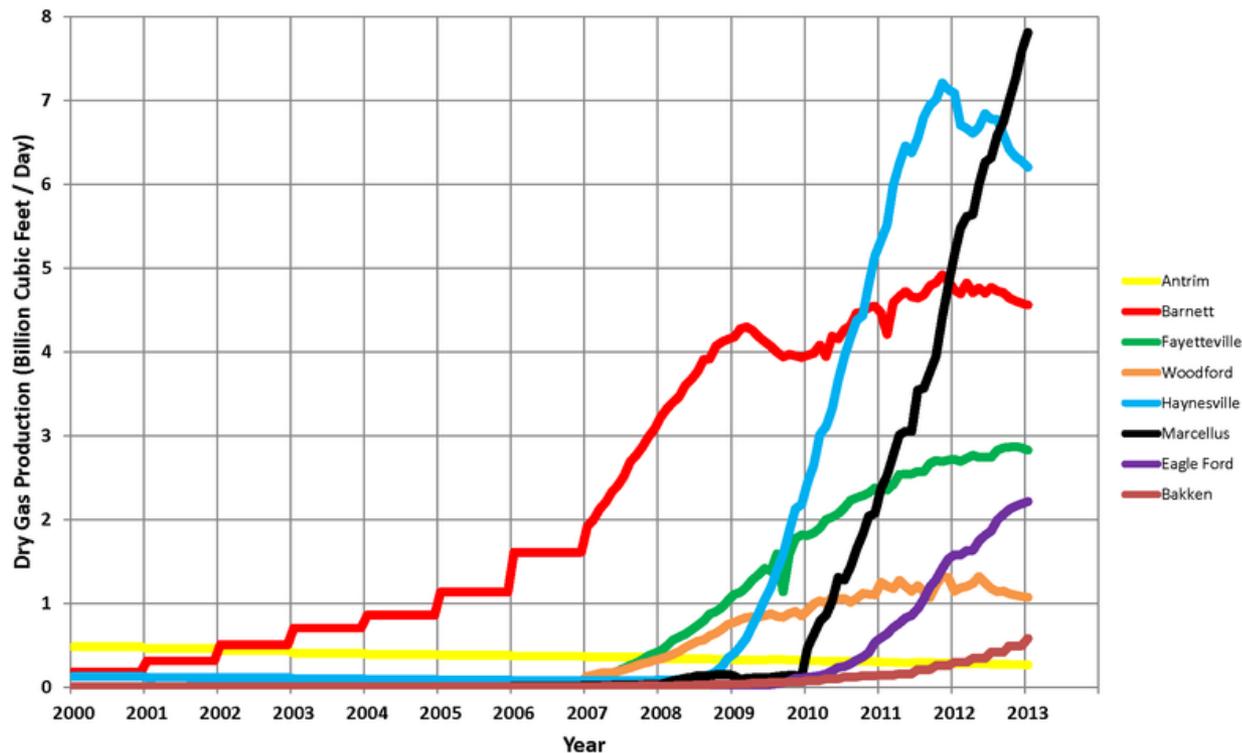


Hidrocarbonetos | novas reservas

Fracking

- ❑ Reservas importantes – a nova corrida do ouro

Natural Gas Production from US Shales, 2000-2013

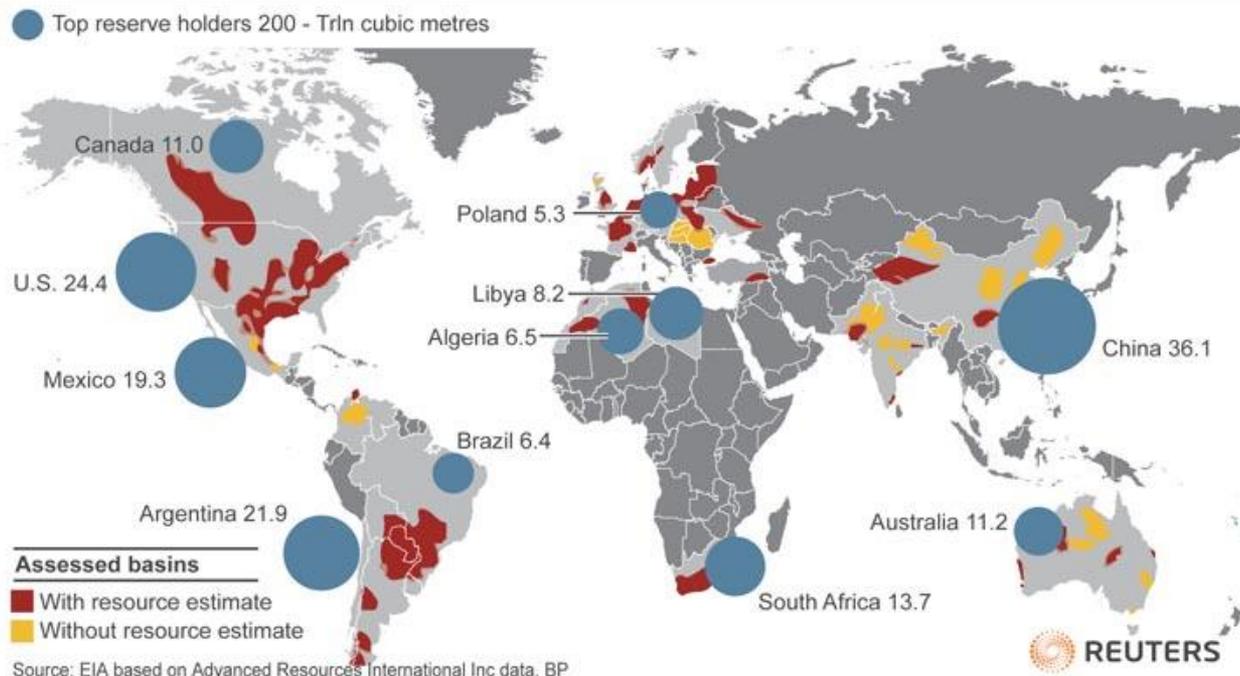


Hidrocarbonetos | novas reservas

Fracking

❑ Reservas importantes – a nova corrida do ouro

Global shale gas basins, top reserve holders



Hidrocarbonetos | novas reservas

Fracking

- ❑ Reservas importantes – a nova corrida do ouro



Com importantes implicações geoestratégicas (Ucrânia, xiitas vs. sunitas, etc.)

Hidrocarbonetos | novas reservas

Fracking

- ❑ Reservas importantes
- ❑ Mais emissões de CH_4 durante o processo de extracção (5%)



Infrared imaging of pipes and tanks can reveal methane leaks (dark clouds, lower image).

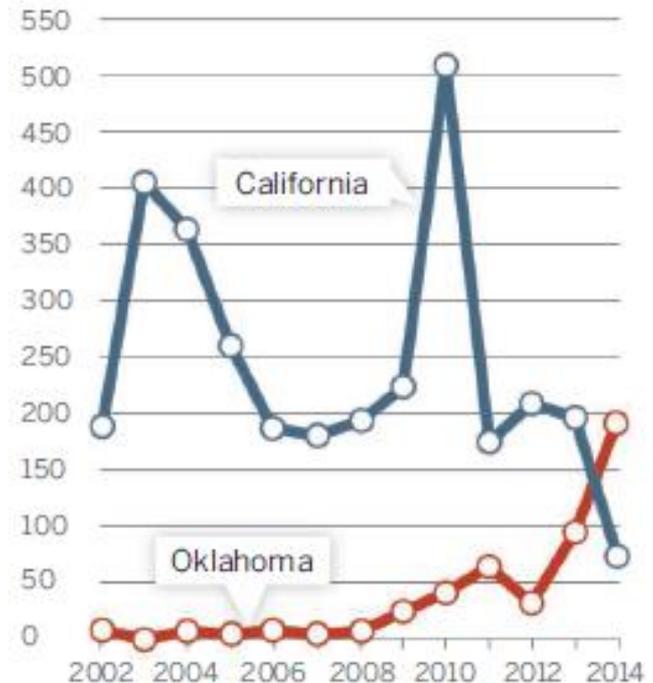
Hidrocarbonetos | novas reservas

Fracking

- ❑ Reservas importantes
- ❑ Mais emissões de CH₄ durante o processo de extracção (5%)
- ❑ Correlação *fracking* e microsismos

On shaky ground

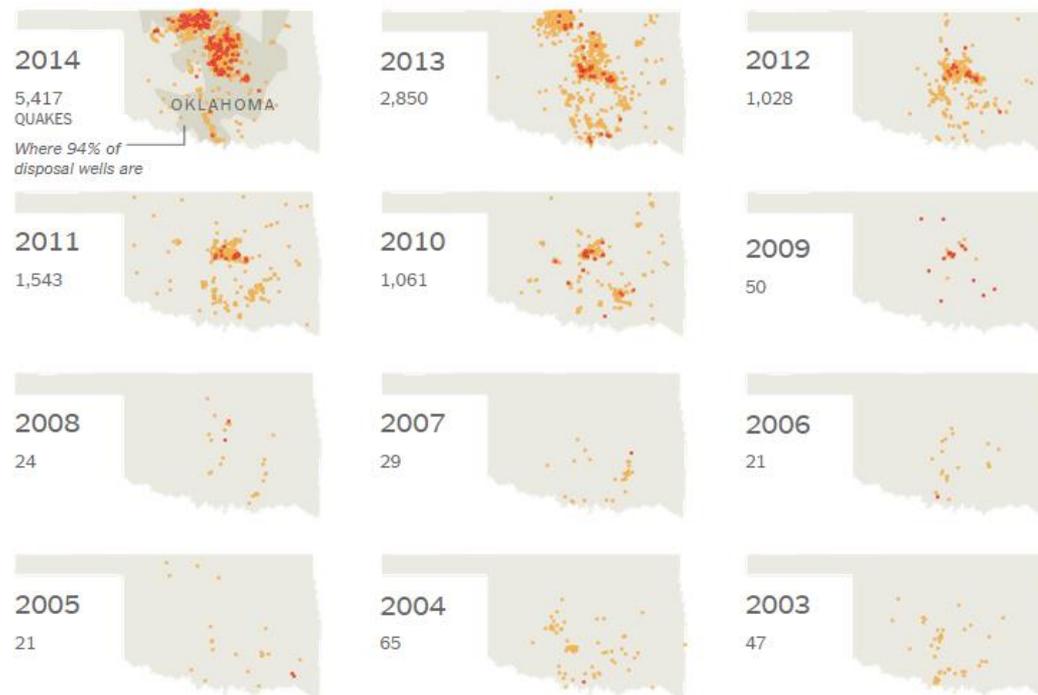
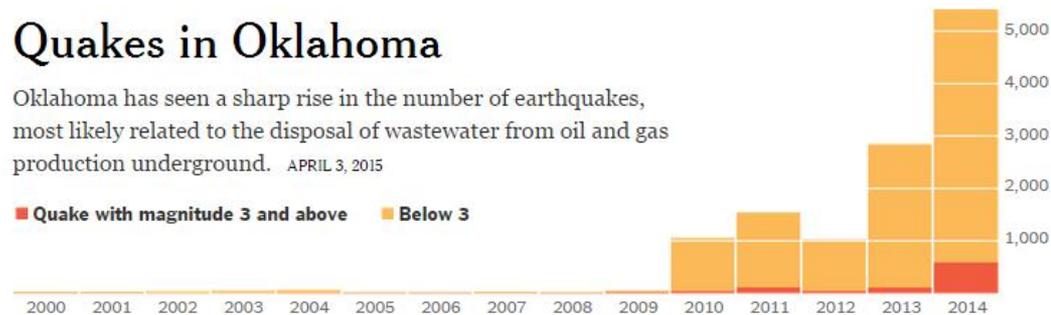
Number of earthquakes, magnitude 3 or greater



Hidrocarbonetos | novas reservas

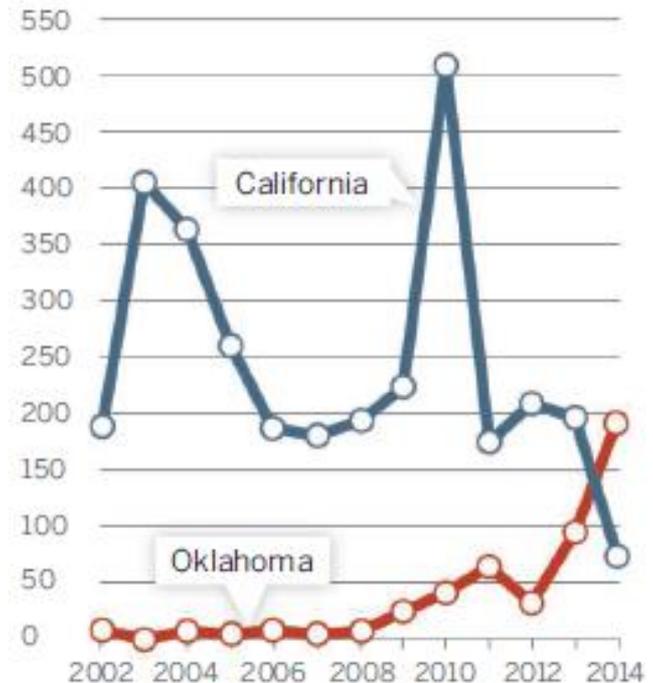
Quakes in Oklahoma

Oklahoma has seen a sharp rise in the number of earthquakes, most likely related to the disposal of wastewater from oil and gas production underground. APRIL 3, 2015



On shaky ground

Number of earthquakes, magnitude 3 or greater



Hidrocarbonetos | Conceito de reserva

Modelo de Hubbert (1956)

Identificou claramente a natureza efémera dos combustíveis fósseis. E qual era a sua visão para o futuro?

Porque não se desenvolveu muito a energia nuclear?

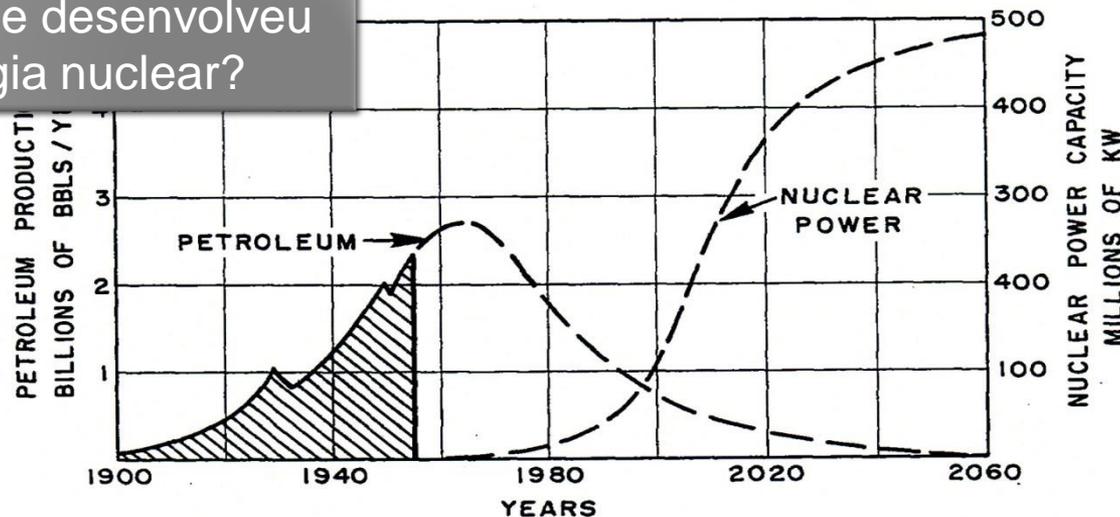
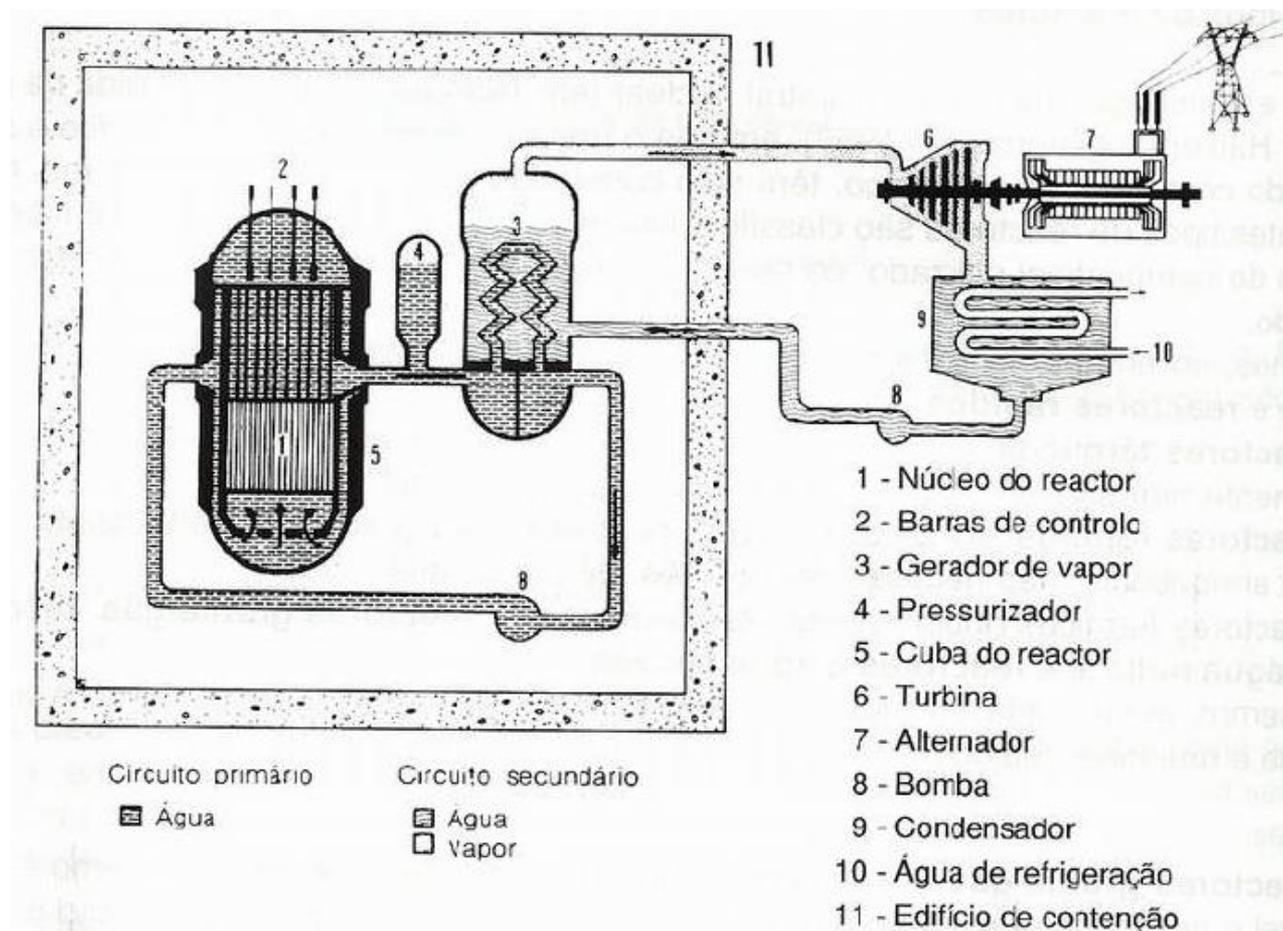


Figure 29 - Concurrent decline of petroleum production and rise of production of nuclear power in the United States. Growth rate of 10 percent per year for nuclear power is assumed; actual rate may be twice this amount.

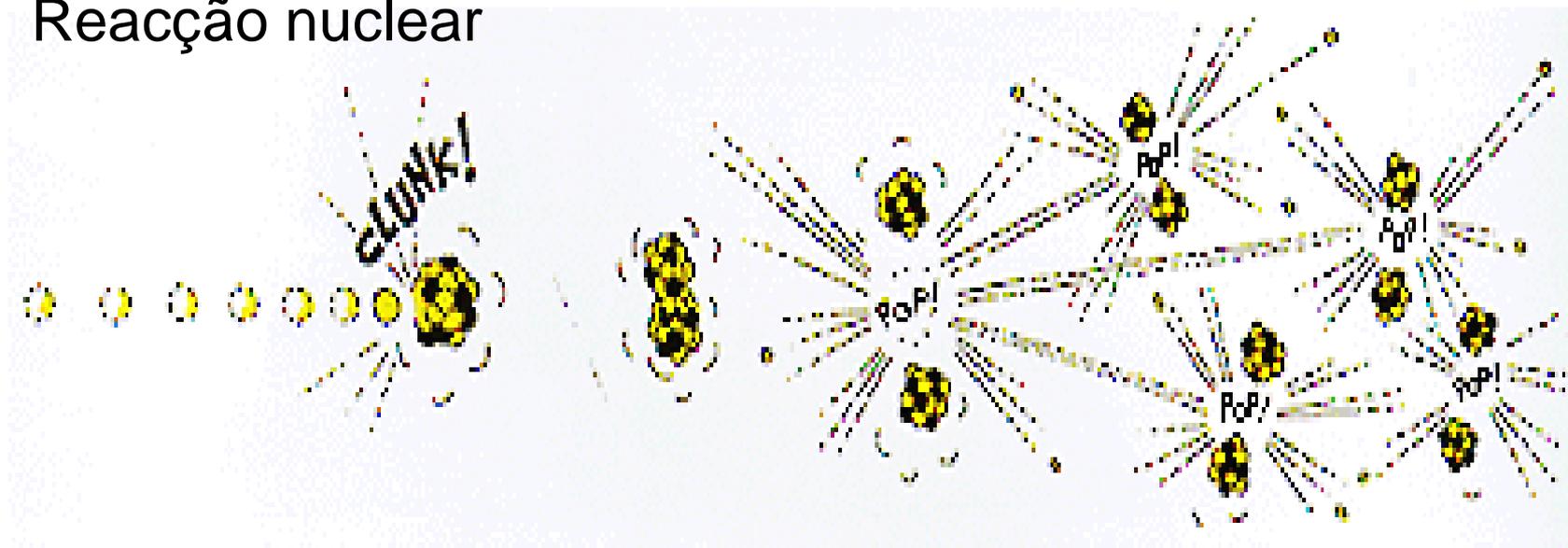
Energia nuclear

Um reactor nuclear: uma **máquina térmica** que aproveita o calor libertado numa **reacção nuclear**



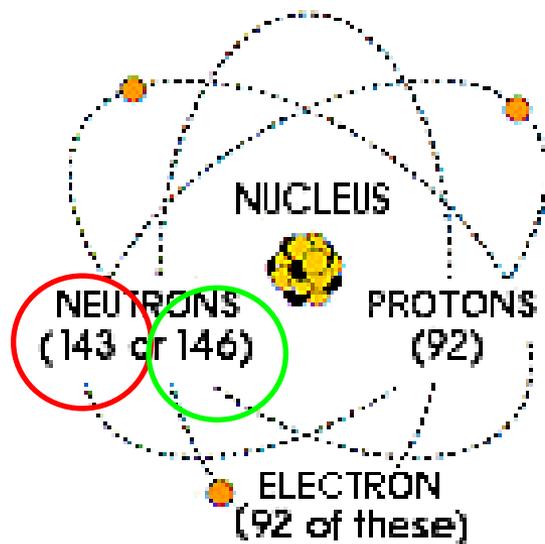
Energia nuclear

Reacção nuclear



Energia nuclear

Reacção nuclear



Dois isótopos:

^{238}U

e

^{235}U



(155.8 MeV/átomo = 2.5×10^{-11} J/átomo $\sim 1.3 \times 10^{13}$ J/mole $\sim 4,2 \times 10^6$ kWh/mole)

ou seja, 1g de ^{235}U fornece-nos tanta energia como 13 barris de petróleo!

Energia nuclear

Reacção nuclear

- ❑ Em cada cisão (que consome um único neutrão) são gerados dois neutrões
- ❑ E portanto basta juntar **massa crítica** do isótopo ^{235}U

Processo precisa de ser controlado se não temos uma bomba nuclear

$^{235}\text{U} + \text{n} \rightarrow ^{141}\text{Ba} + ^{92}\text{Kr} + 2\text{n} + \text{partículas (+ 155.8MeV/átomo)}$
 ($1.5 \times 10^{-11}\text{J/átomo} \sim 1.3 \times 10^{13}\text{J/mole} \sim 4,2 \times 10^6\text{kWh/mole}$)

ou seja, 1g de ^{235}U fornece-nos tanta energia como 13 barris de petróleo!

Energia nuclear

- ❑ ^{235}U é o único **isótopo cindível** natural
- ❑ Isótopos cindíveis não naturais (fabricados a partir de **isótopos férteis** por absorção de um neutrão):
 - ❑ ^{239}Pu a partir de ^{238}U
 - ❑ ^{233}U a partir de ^{232}Th

Os reactores nucleares de primeira geração funcionam exclusivamente

O isótopo ^{235}U representa apenas 0.7% da totalidade do urânio existente na Terra (o seu período de semi-vida é uma ordem de grandeza inferior ao do ^{238}U)

O processo de separação do ^{235}U consome muita energia

Energia nuclear

Lixo radioactivo



□ Produz ${}^{137}\text{C}$ cujo tempo de semi-vida é cerca de 2000 anos

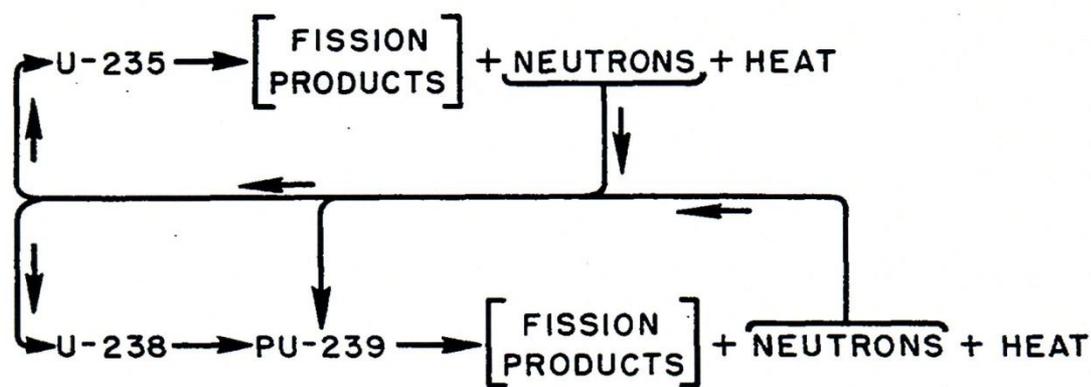


Figure 26 - Schematic representation of the breeder reaction for uranium-238. A similar reaction occurs for thorium-232.

Energia nuclear

Lixo radioactivo

Os produtos de cisão que se obtêm usando ^{233}U e ^{239}Pu , embora sejam radioactivos, têm períodos de semi-vida de dezenas de anos, ou seja, criam muito menos problemas que o ^{137}Cs .

Porém, é relativamente simples fazer armas nucleares a partir do plutónio

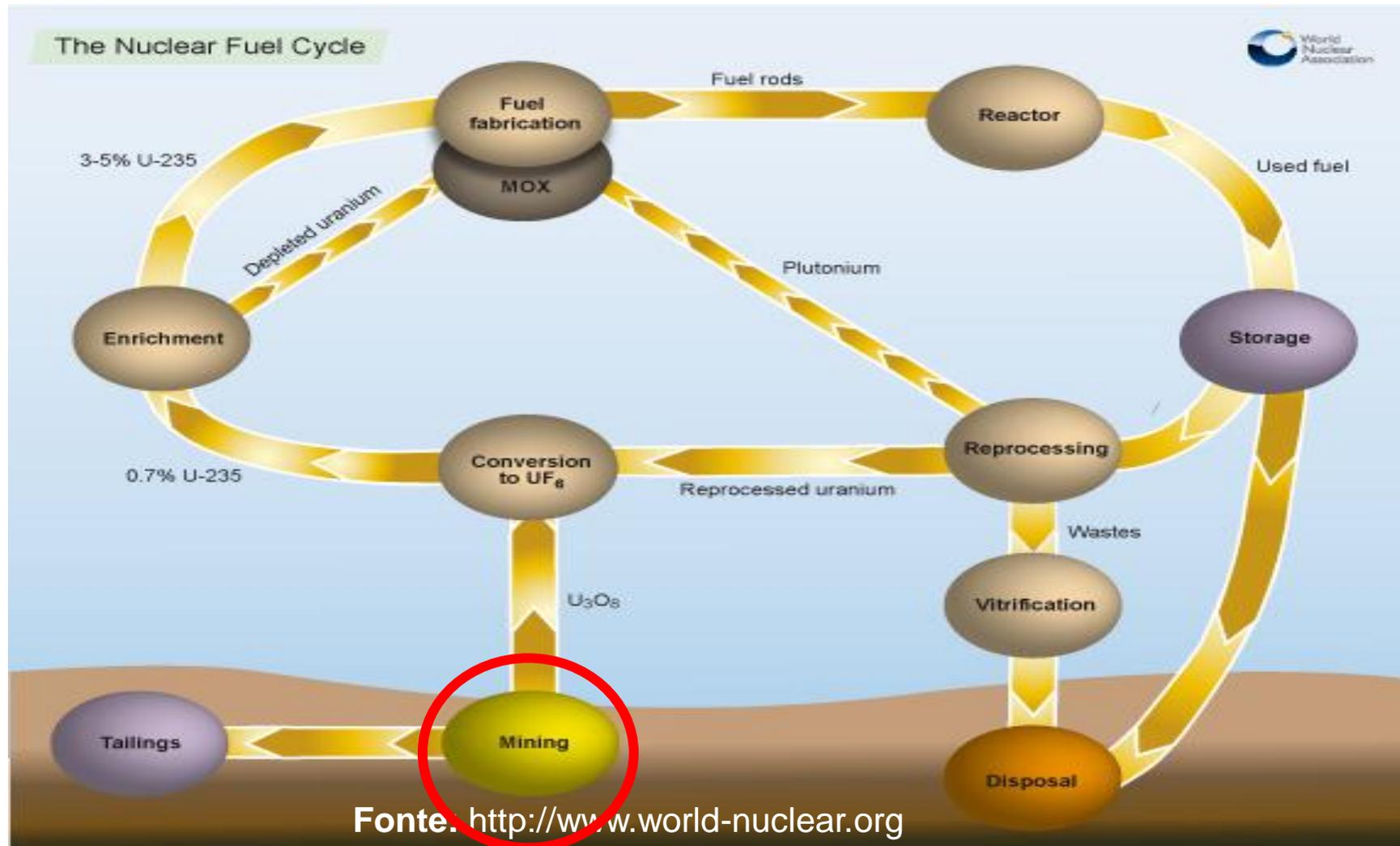
É tecnicamente difícil fazer reactores de regeneração

regeneração
breeding



Figure 26 - Schematic representation of the breeder reaction for uranium-238. A similar reaction occurs for thorium-232.

Energia nuclear | como se faz?



Energia nuclear | como se faz?

Mineração:

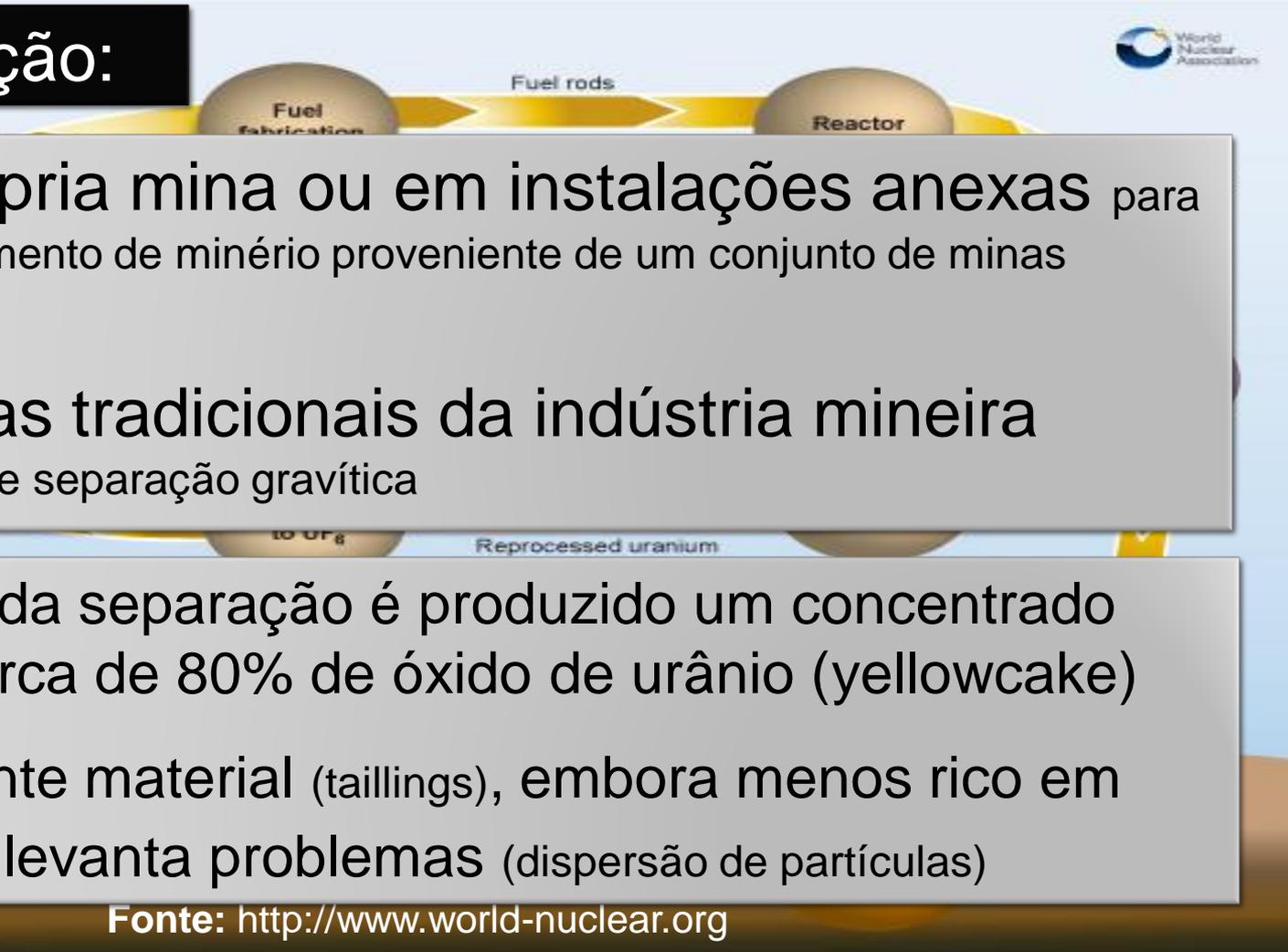
- minérios ricos em urânio natural (por exemplo no planalto do Colorado): $\sim 0.35\%$
- surge na maioria dos solos em concentrações muito baixas: $< 0.03\%$

- **mineração a céu aberto** problemas de dispersão de partículas contendo materiais radioactivos
- **mineração a profundidades moderadas**
necessidade de cuidados especiais de ventilação das galerias

Fonte: <http://www.world-nuclear.org>

Energia nuclear | como se faz?

Separação:

- 
- The diagram illustrates the nuclear fuel cycle. It shows a circular flow starting with 'Fuel fabrication', which leads to 'Fuel rods'. These rods are then used in a 'Reactor'. After the reactor, the cycle continues to 'Reprocessed uranium', which then feeds back into 'Fuel fabrication'. The 'World Nuclear Association' logo is visible in the top right corner of the diagram area.
- na própria mina ou em instalações anexas para processamento de minério proveniente de um conjunto de minas próximas
 - técnicas tradicionais da indústria mineira trituração e separação gravítica
 - depois da separação é produzido um concentrado com cerca de 80% de óxido de urânio (yellowcake)
 - o restante material (taillings), embora menos rico em urânio, levanta problemas (dispersão de partículas)

Fonte: <http://www.world-nuclear.org>

Energia nuclear | como se faz?

Enriquecimento do urânio:



Aumentar a concentração de ^{235}U de 0.7% para valores entre 3.5% e 5%.

Pode ser feito através de dois processos:

- difusão ou
- centrifugação

Usando o hexafluoreto de urânio - UF_6

(sólido à temperatura ambiente)

Energia nuclear | como se faz?

Produção do “combustível”:

- Óxido de urânio enriquecido é comprimido e sinterizado a alta temperatura ($\sim 1400^{\circ}\text{C}$);
- Encapsulado em tubos metálicos para fabricar as barras de combustível;
- Estas barras são depois montadas em grupos com a geometria apropriada para inserção nos núcleos dos reactores.

Energia nuclear | como se faz?

Operação do reactor:



- O tempo de vida do “combustível” nuclear depende do nível de enriquecimento: entre os 12 e os 24 meses.
- Na prática, as barras de combustível acabam por ter que ser substituídas por causa do enfraquecimento do encapsulamento, e pelo aumento gradual da concentração dos produtos de cisão no seu interior.

Energia nuclear | como se faz?

Para um gerador de 1GW



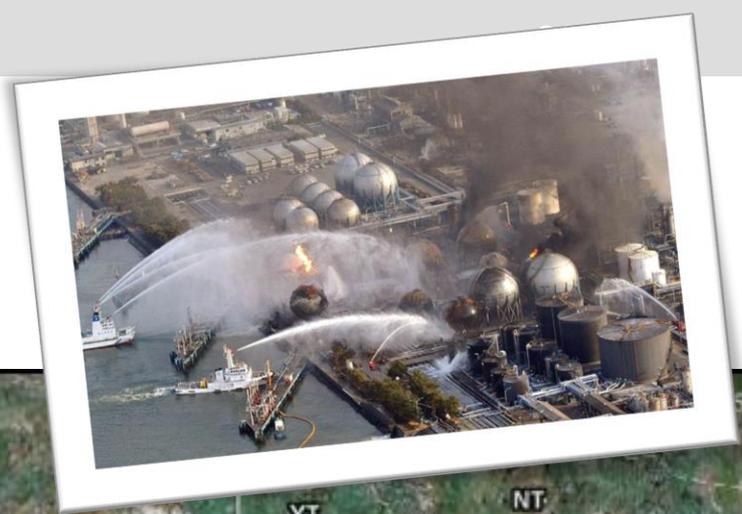
- 60 000 toneladas de mineral com 0.35% de Urânio
- 230 toneladas de concentrado de óxido de urânio (aproximadamente 195 toneladas de urânio)
- 288 toneladas de UF6 mineral com 0.35% de Urânio
- 35 toneladas de UF6 enriquecido
- 27 toneladas de óxido de urânio enriquecido
- 8.64 TWh (admitindo que o reactor é sempre operado na máxima potência) – valor típico deve ser ½ disso
- 27 toneladas de “lixo radioactivo” perigoso

Fonte: <http://www.world-nuclear.org>

Energia nuclear

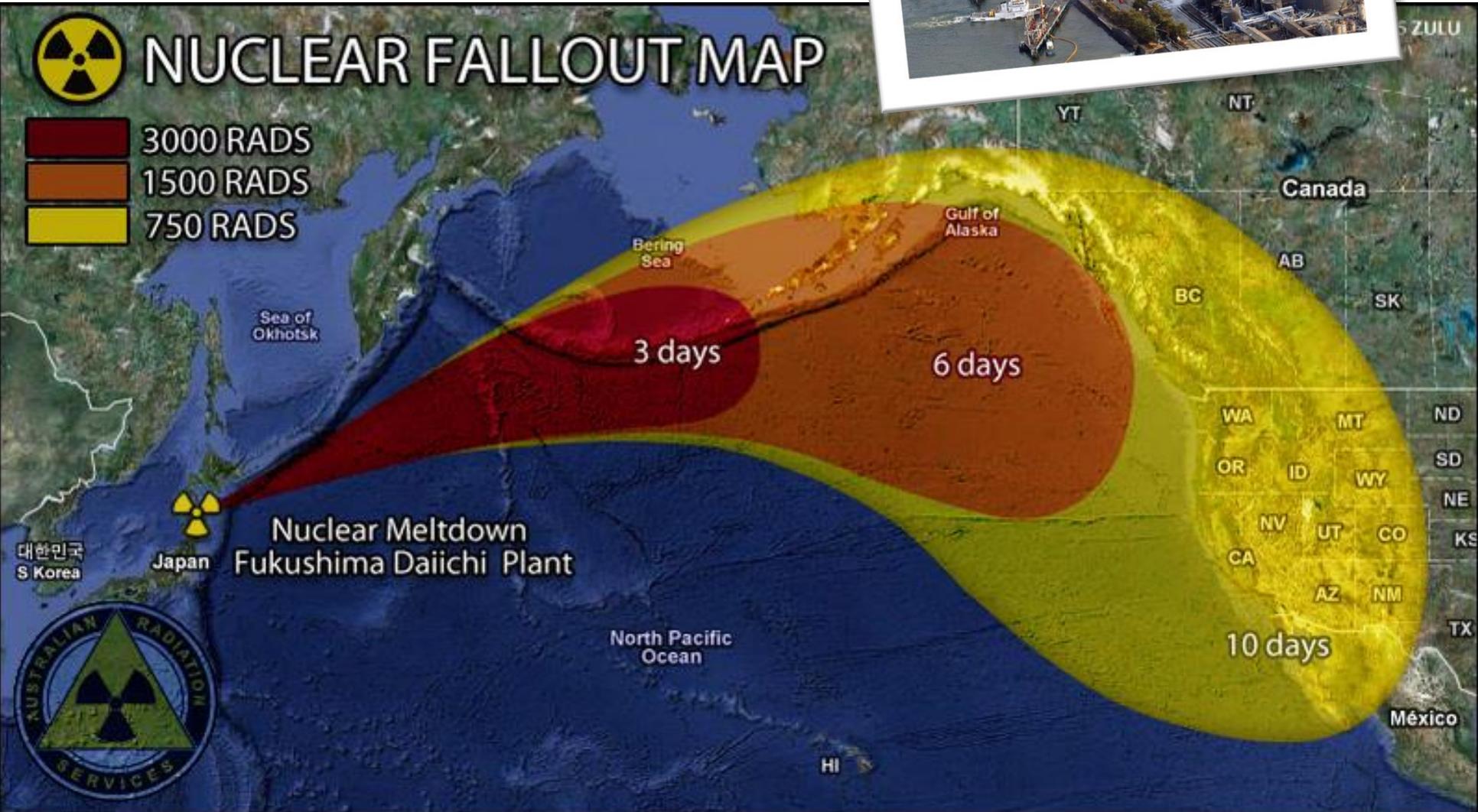
- ❑ Sem emissões de CO₂ mas produção de lixo radioactivo, potencialmente usado para fabrico armas nucleares.
- ❑ Risco de acidente baixo mas devastador – não há companhia de seguros que se atreva

Energia nuclear

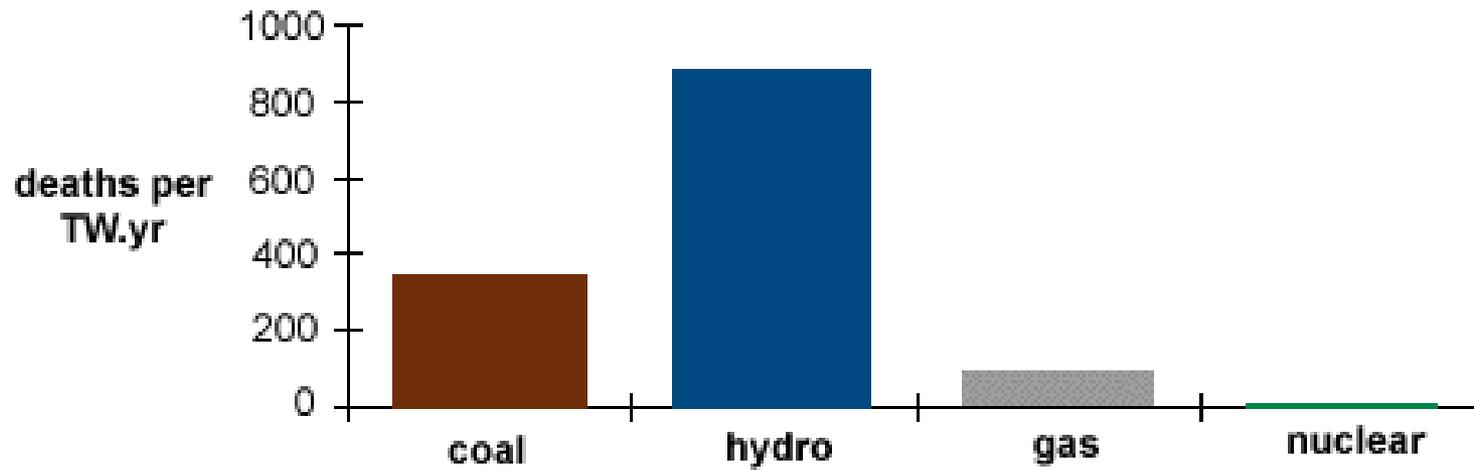


NUCLEAR FALLOUT MAP

- 3000 RADS
- 1500 RADS
- 750 RADS



Energia nuclear

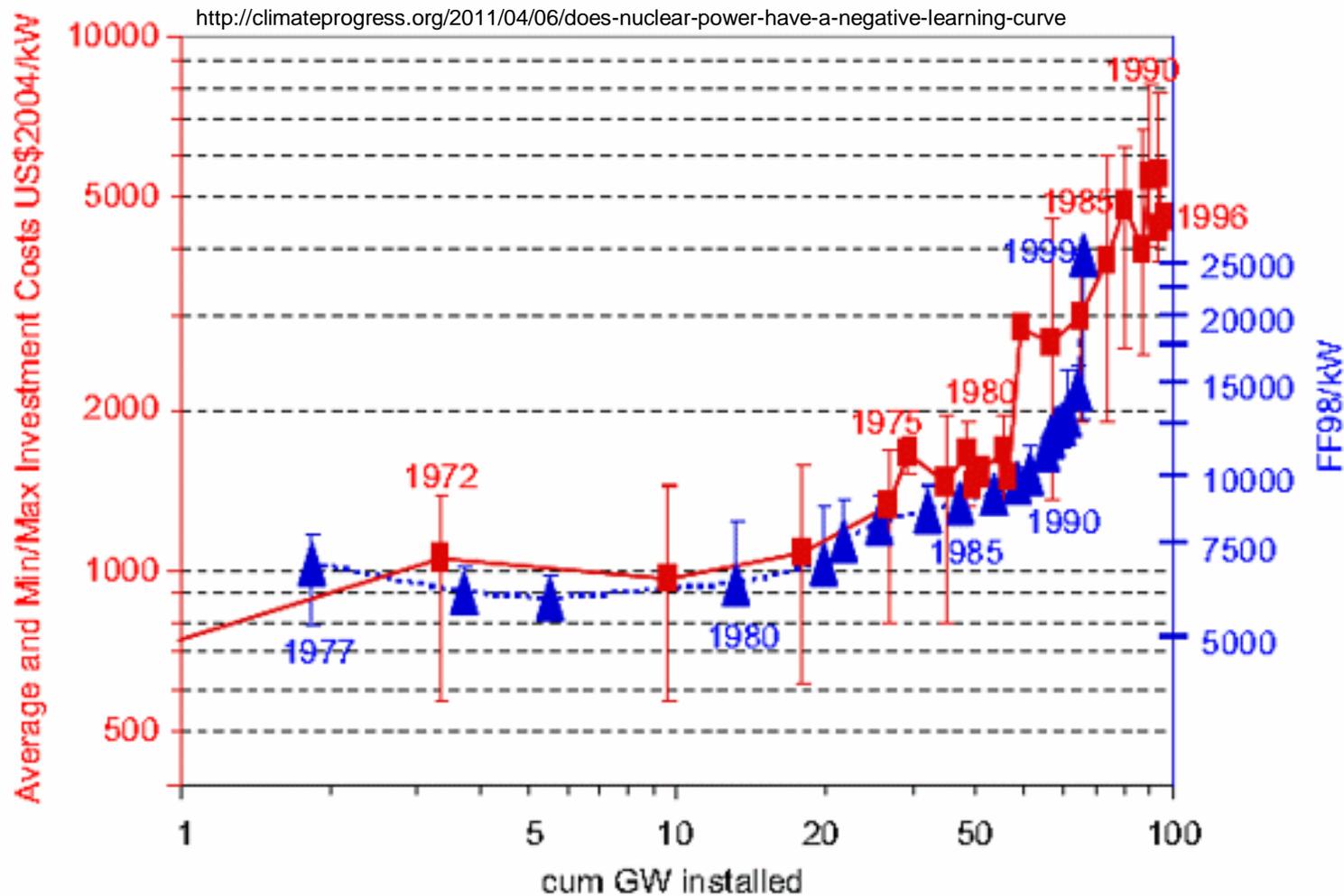


Apesar da má publicidade e dos riscos elevados, o nuclear é como viajar de avião: o risco percebido ou potencial é superior ao registo histórico.

Energia nuclear

- ❑ Sem emissões de CO₂ mas produção de lixo radioactivo, potencialmente usado para fabrico armas nucleares.
- ❑ Risco de acidente baixo mas devastador – não há companhia de seguros que se atreva
- ❑ Custo muito elevado, não competitivo (excepto por opção política)

Energia nuclear

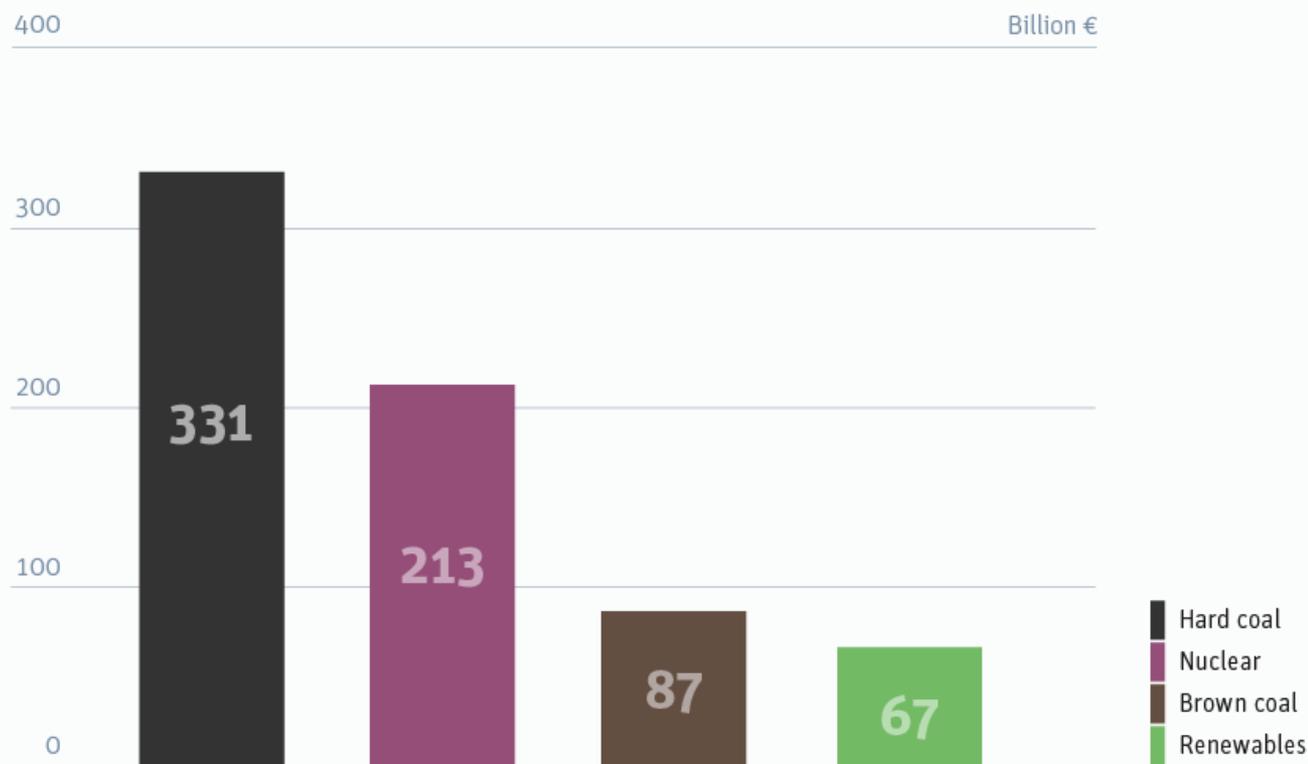


Energia nuclear

Fossil and nuclear have received by far more subsidies than renewables

Energy subsidies in Germany, 1972-2012

Source: Green Budget Germany



Energia nuclear

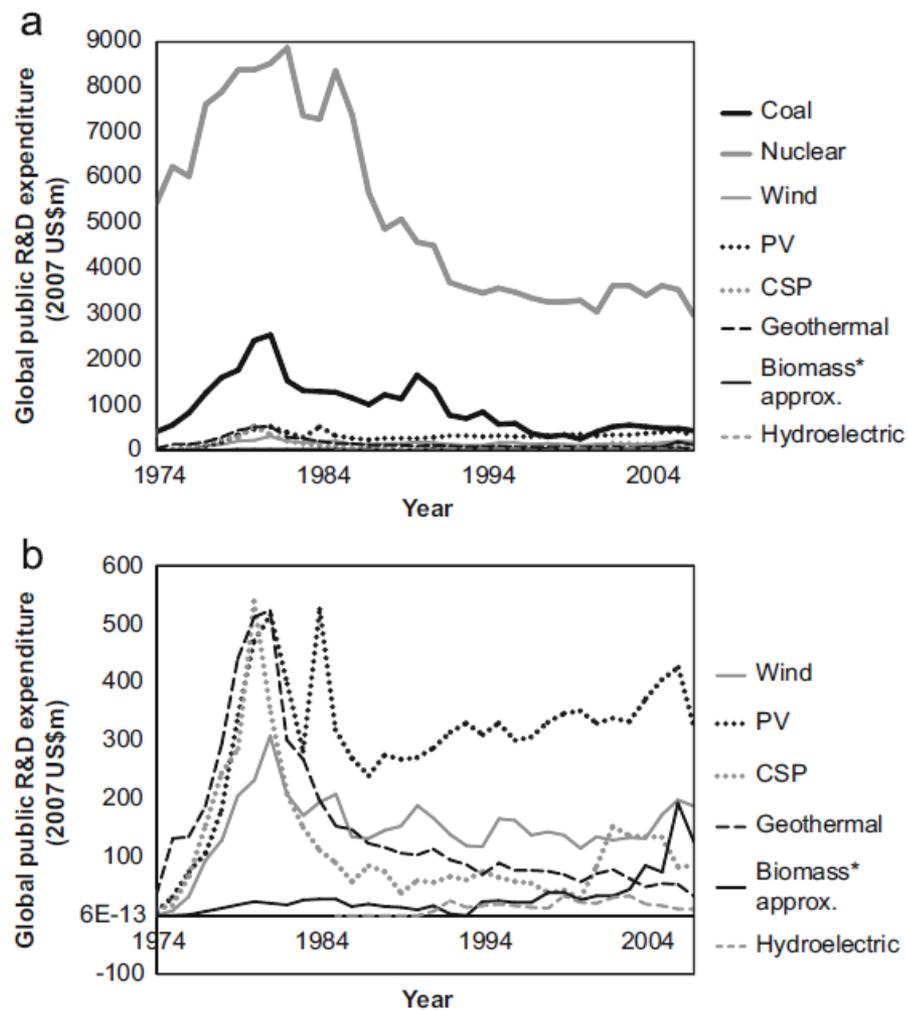
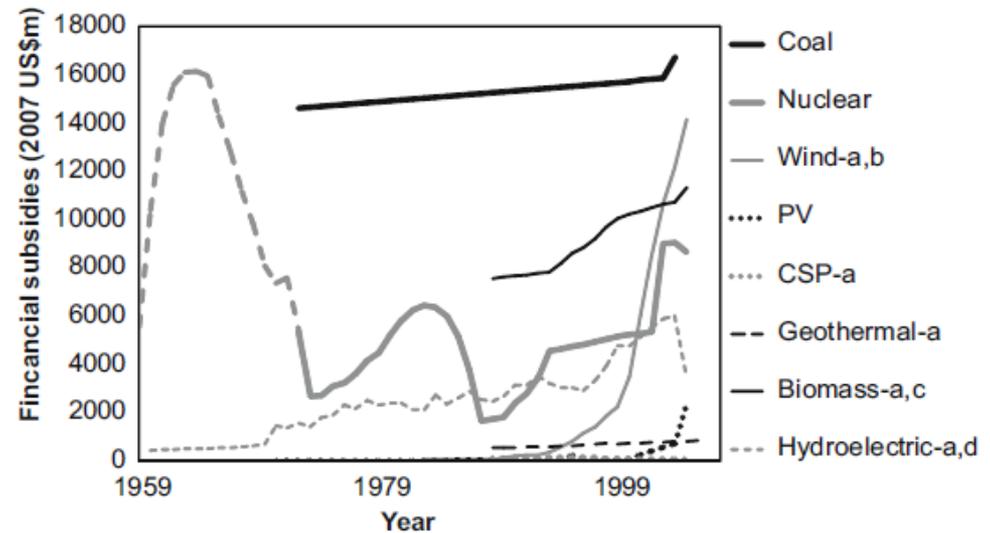
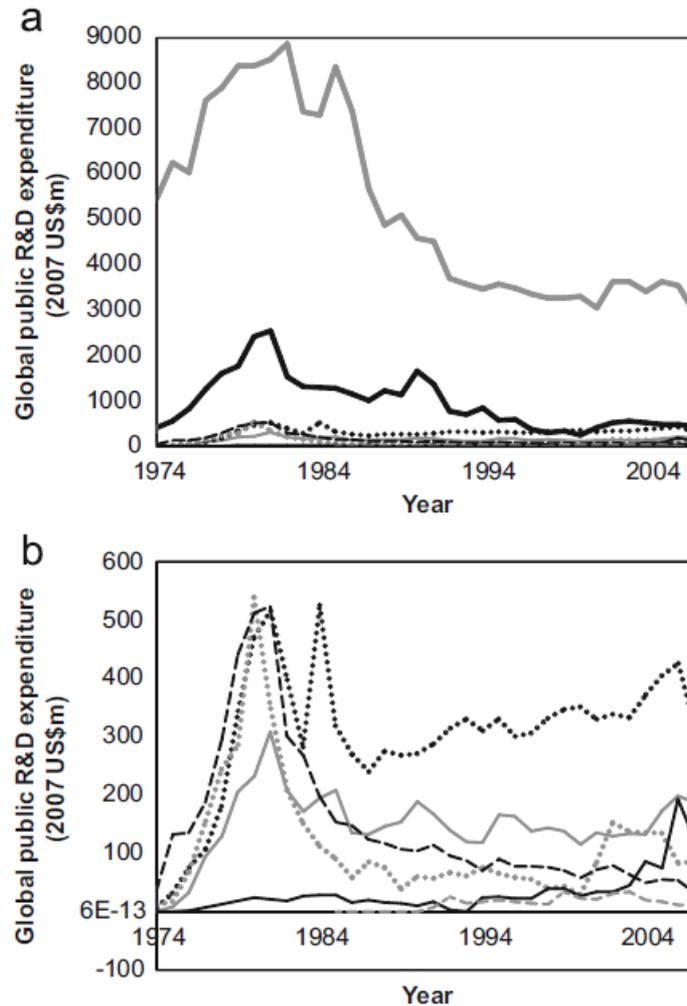


Fig. 2. Public R&D funding 1974–2008 (compiled from IEA, 2008a). Top: all technologies. Bottom: excluding coal and nuclear power.

Energia nuclear



^a Highly uncertain; ^b Based on FiTs of Denmark and PTC in the US;
^c Based on FiTs in Germany, Austria and Netherlands and PTC in the US;
^d Based on FiTs in Germany, Austria, Netherlands and France and PTC in the US.

Fig. 3. Financial subsidies 1959–2008 (compiled from de Moor, 2001; EIA, 2007; Eurelectric, 2004; Goldberg, 2000; IEA-PVPS, 2008; IEA, 2003a, b, c, 2006, 2008b; NEI, 2009; Nuclear Energy Institute, 2008b). Pre-1973 nuclear subsidies are shown dotted. These data were not included in a previous report by the authors (Lenzen and Badcock, 2009).

Fig. 2. Public R&D funding 1974–2008 (compiled from IEA, 2008a). Top: all technologies. Bottom: excluding coal and nuclear power.

Energia nuclear

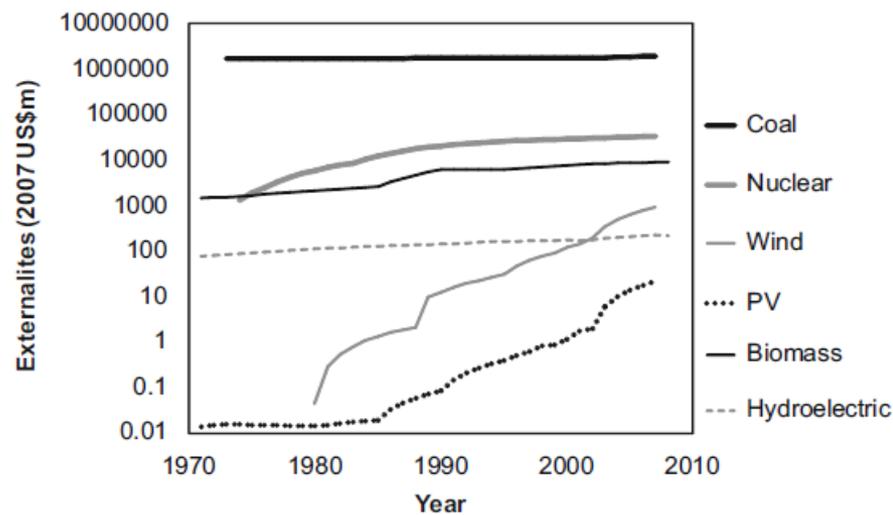
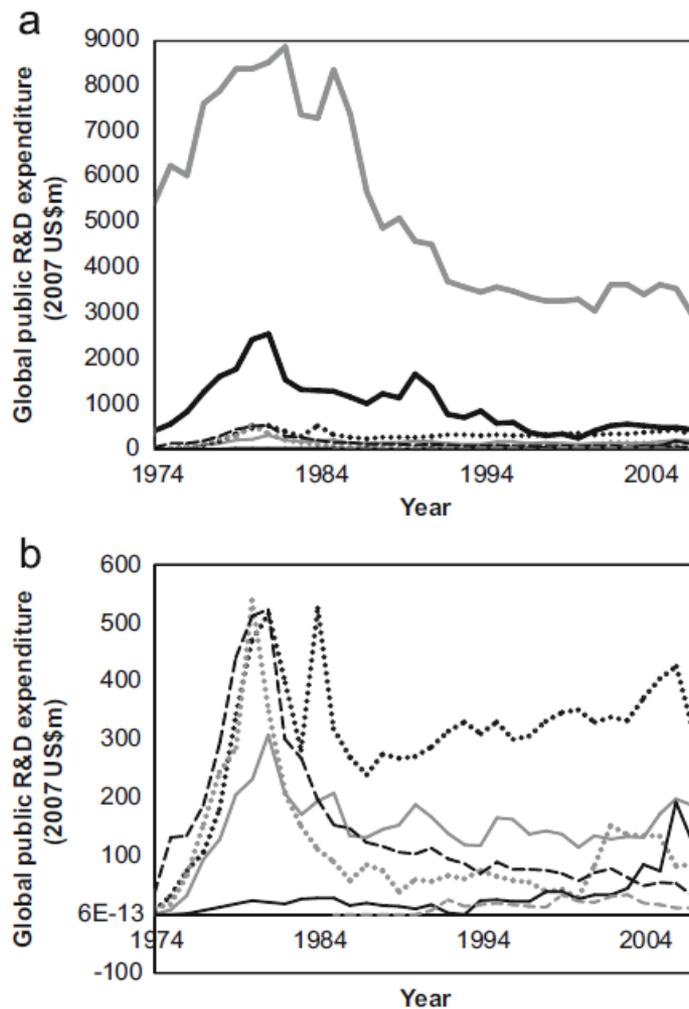


Fig. 4. Externalities 1971-2008 (compiled from EC, 1999b, 2003; IEA, 2003a, b, c). Note the vertical axis is logarithmic.

Fig. 2. Public R&D funding 1974-2008 (compiled from IEA, 2008a). Top: all technologies. Bottom: excluding coal and nuclear power.

Energia nuclear

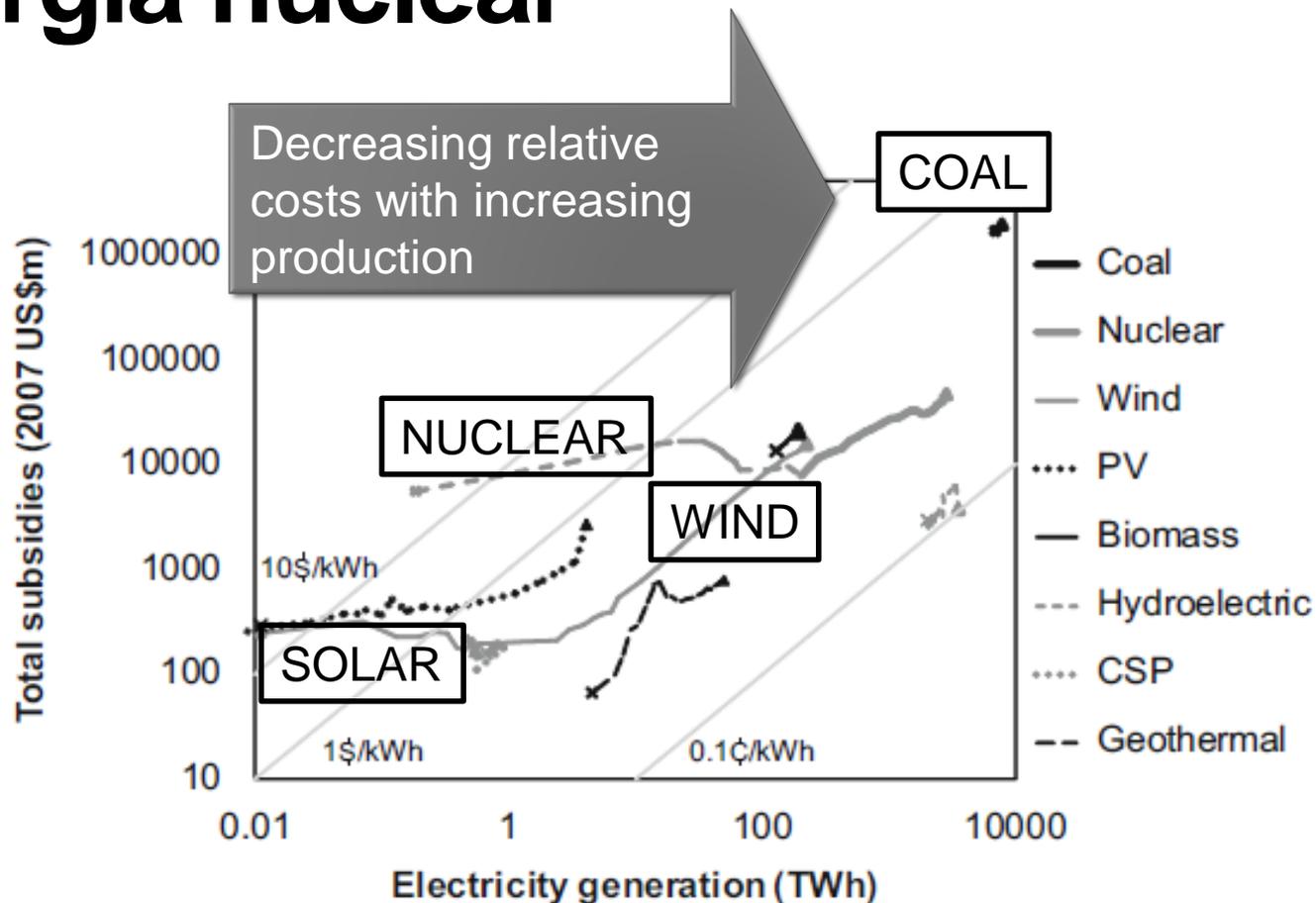
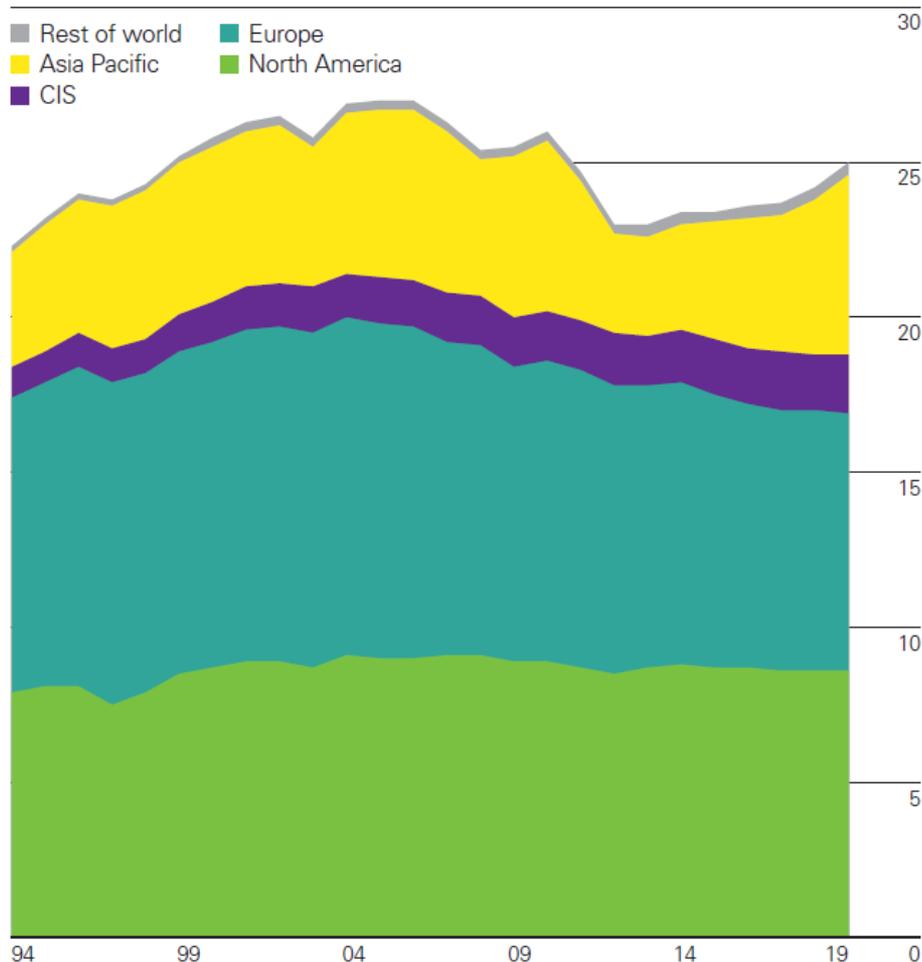


Fig. 8. Total subsidies from Figs. 5 to 7 versus electricity generation. Note that the curves only show those parts of the temporal/power trajectories for which data on all subsidy categories was available. Pre-1973 nuclear subsidies are shown dotted. These data were not included in a previous report by the authors (Lenzen and Badcock, 2009).

Energia nuclear

Nuclear energy consumption by region

Exajoules



Apesar dos riscos, e dos custos elevados, o nuclear tem recebido apoios dos estados.

- Soberanias** nacionais
(produzirmos a *nossa* energia, menos dependentes de outros países, e.g. Japão)
- Desenvolvimento **tecnológico** e comercial (há sempre quem queira comprar a tecnologia, e.g. França)
- Redução** das emissões de gases de efeito de estufa

Energia nuclear em Portugal

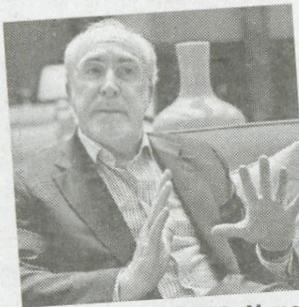
A favor Pedro Sampaio Nunes, EMPRESÁRIO

Solução para muitos males

Nuclear contribui para reduzir custos da electricidade

ANA TOMÁS RIBEIRO

A energia nuclear vem resolver vários problemas do país no sector energético. Quem o diz é Pedro Sampaio Nunes, o responsável da Energia Nuclear de Portugal, empresa criada pelo empresário Patrick Monteiro de Barros para desenvolver o projecto de uma central nuclear para Portugal. Para Sampaio Nunes, a energia nuclear é mais



Sampaio Nunes

barata do que a produzida a partir de outros combustíveis fósseis como o carvão e o gás natural e menos poluente, logo vem

reduzir os custos de produção da electricidade produzida. É que o carvão e o gás natural, cujo preço e petróleo têm também s

bra. Por o uma fonte de energia são à dependência dos transportes. Para o país tem um grande potencial de eficiência energética a explorar

ANA TOMÁS RIBEIRO

“Se não foi um lapso, é lamentável que o Governador do Banco de Portugal tenha feito as afirmações que fez”. É desta forma que Eduardo Oliveira Fernandes, ex-secretário de Estado e um dos responsáveis pelo programa do Governo para a área da energia, se refere às declarações de Vítor Constâncio defendendo o debate sobre a energia

Contra Oliveira Fernandes, PRESIDENTE DA AGÊNCIA DE ENERGIA DO PORTO

“Discussão não faz sentido”



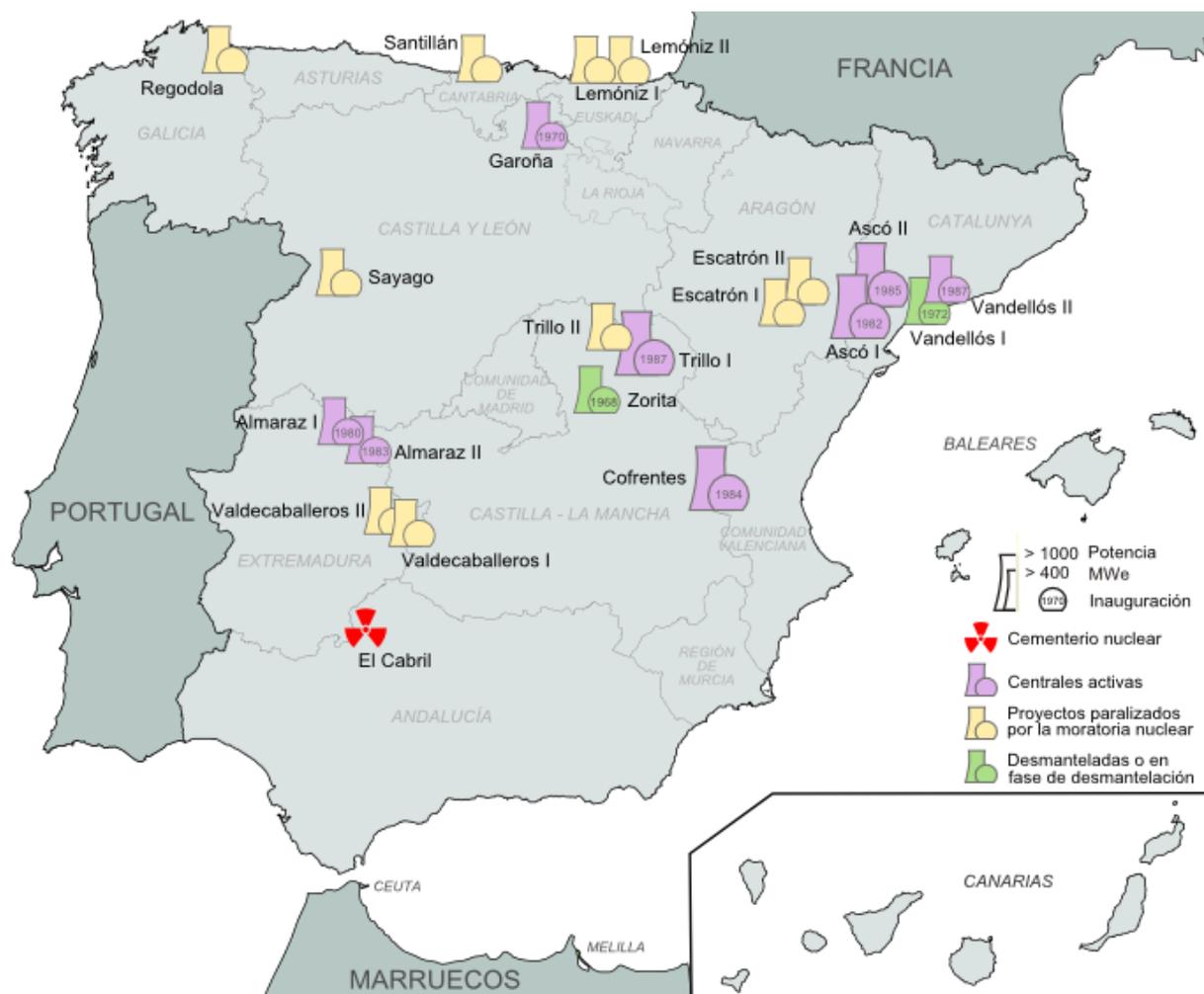
Oliveira Fernandes

nuclear. O que é necessário é fazer-se um estudo e não discutir mais este assunto, diz. Para este especialista, a energia nuclear



não resolve o problema da dependência petrolífera do país, que reside no sector dos transportes, e só servirá para satisfazer um quinto das nossas necessidades energéticas, com custos elevados. Incluindo os de desmantelamento das centrais, que anda perto do valor de um projecto novo. É nas renováveis que o país deve apostar, defende. Hoje, 40% da electricidade que consumimos já é produzida a partir destas fontes de energia. E temos um potencial enorme de eficiência energética ainda por explorar. ■

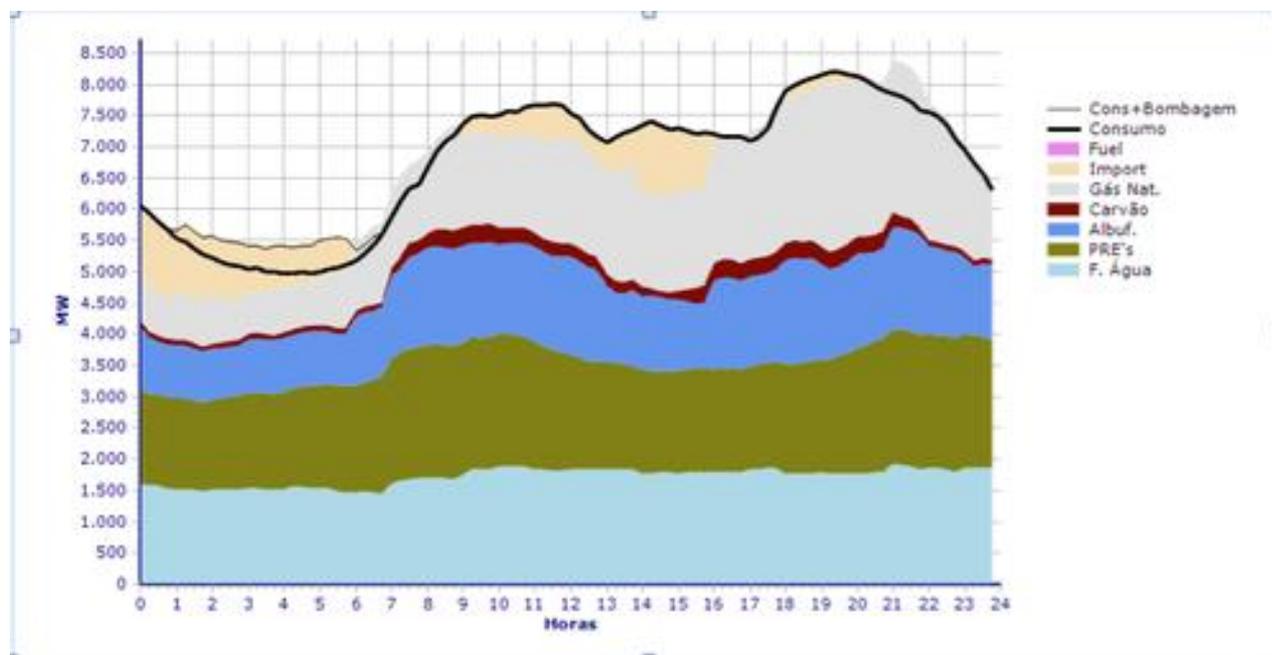
Energía nuclear em Portugal



O risco nuclear
já existe!

Energia nuclear em Portugal

- ❑ A energia nuclear não é uma alternativa às energias renováveis, nomeadamente o vento (ou o solar) – é uma fonte de baseload



Energia nuclear em Portugal



- ❑ A energia nuclear não é uma alternativa às energias renováveis, nomeadamente o vento (ou o solar) – é uma fonte de baseload
- ❑ Não existe *know-how* nacional de engenharia nuclear

Energia nuclear em Portugal



- ❑ A energia nuclear não é uma alternativa às energias renováveis, nomeadamente o vento (ou o solar) – é uma fonte de baseload
- ❑ Não existe *know-how* nacional de engenharia nuclear
- ❑ Comercialmente não seria uma boa opção: já há excesso europeu de nuclear nocturno (e.g. auto-estradas iluminadas na Bélgica, exportação 0.00 €/kWh em França)

BIBLIOGRAFIA ESSENCIAL

- ❑ BP Statistical review 2014
- ❑ *O universo da indústria petrolífera*, J. Gomes, F. Alves, Ed. Fundação Calouste Gulbenkian
- ❑ M.K. Hubbert (1956) *Nuclear Energy and the Fossil Fuels*, Spring Meeting of the Southern District, American Petroleum Institute, Texas
<http://www.hubbertpeak.com/hubbert/1956/1956.pdf>

