SEL0363 - Geração de Energia Elétrica

Prof. Tit. Denis Vinicius Coury
Leonardo da Silva Lessa
Monitor: Luke Rasga Jardim Maia

Emails: coury@sc.usp.br;
leonardolessa@usp.br
lukejardim95@usp.br

Energia dos Oceanos e Células a Combustível

Aproveitamento Energético do Mar

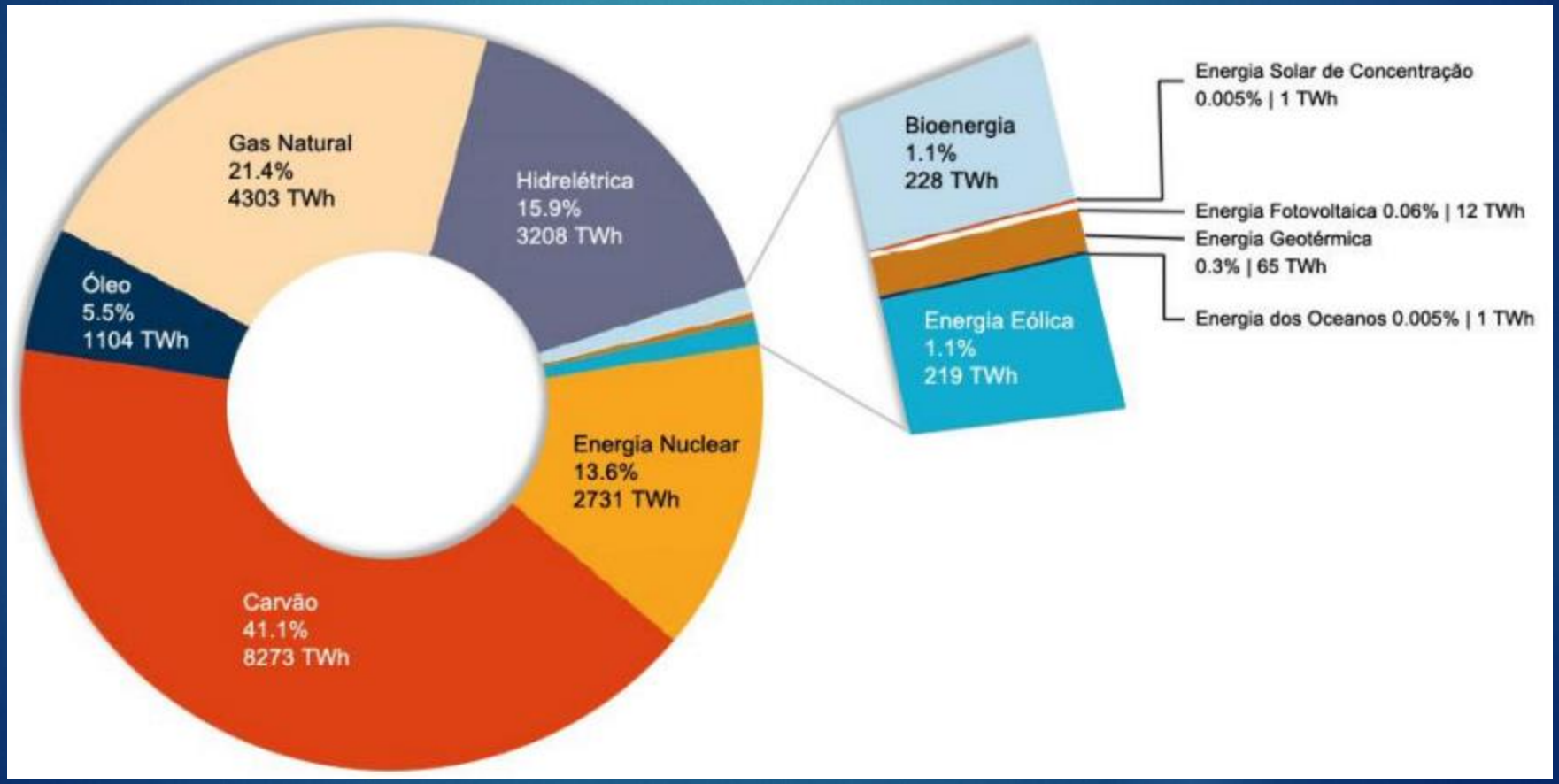
- Energia Térmica dos Mares
- Energia dos Gradientes de Salinidade (Osmótica)
- Energia Maremotriz
- Energia das Correntes
- Energia das Ondas

Potencial Energético

- Energia térmica dos mares: ~10.000 TWh/ano
- Energia dos gradientes de salinidade: ~2.000 TWh/ano
- Energia maremotriz: ~400 TWh/ano
- Energia das correntes: ~450-800 TWh/ano
- Energia eólica offshore: ~20.000 TWh/ano
- Energia das ondas: ~8.000 a 80.000 TWh/ano

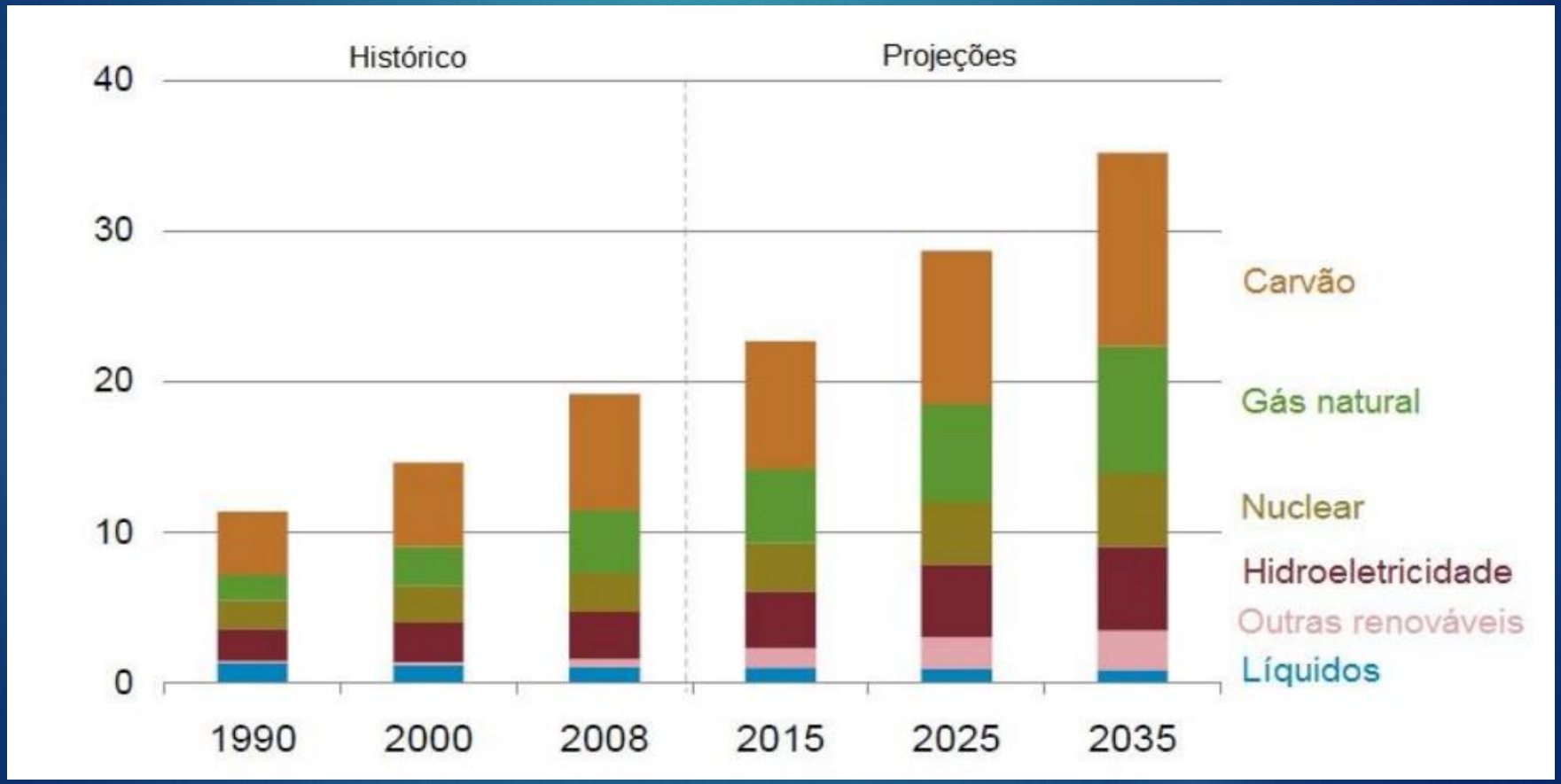
Potencial Energético

- Participação das fontes de energia primária na geração de eletricidade mundial



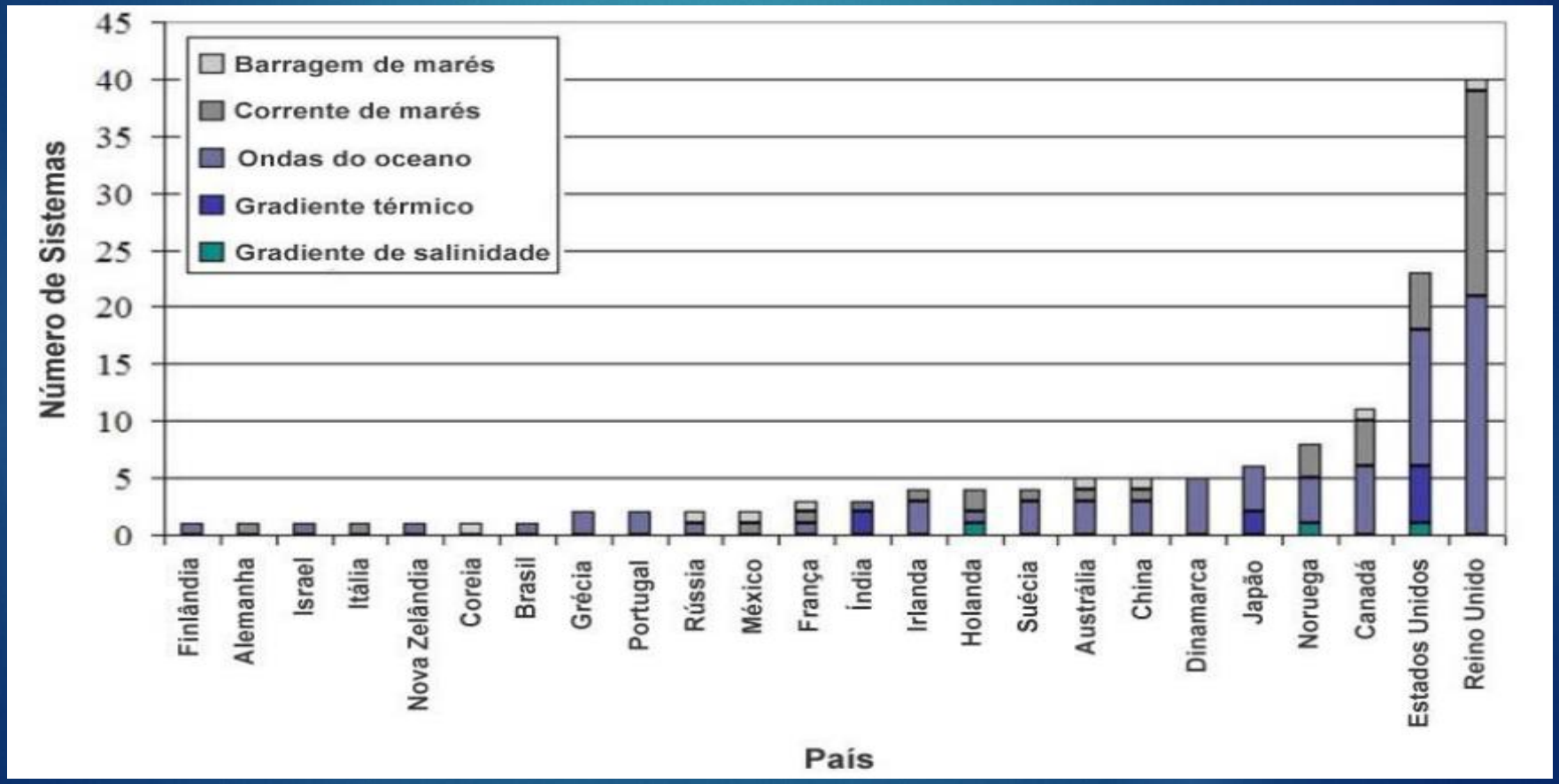
Potencial Energético

- Produção mundial de eletricidade por combustível em milhares de TWh



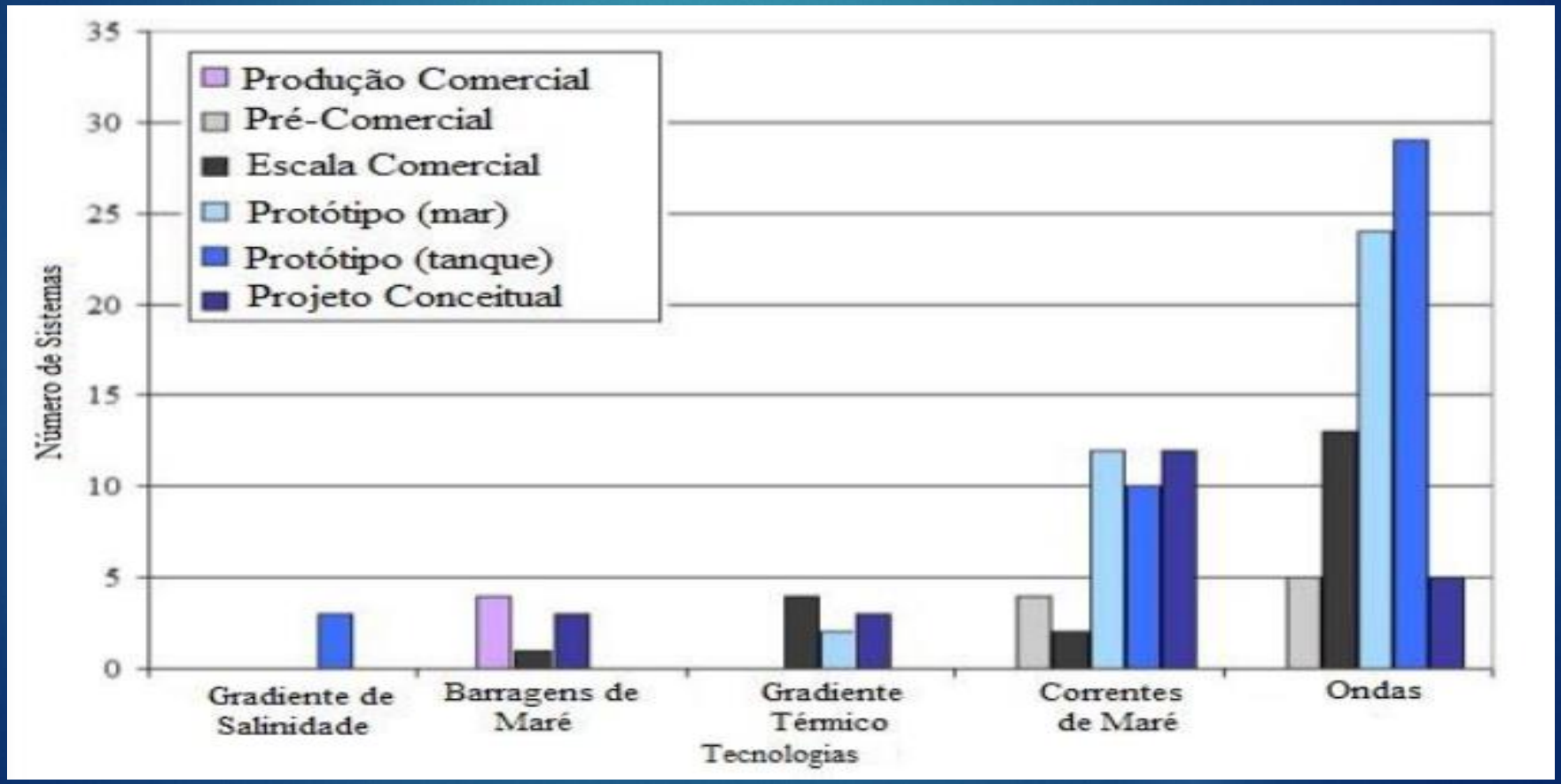
Potencial Energético

- Número de dispositivos em desenvolvimento por país e por tipo de energia



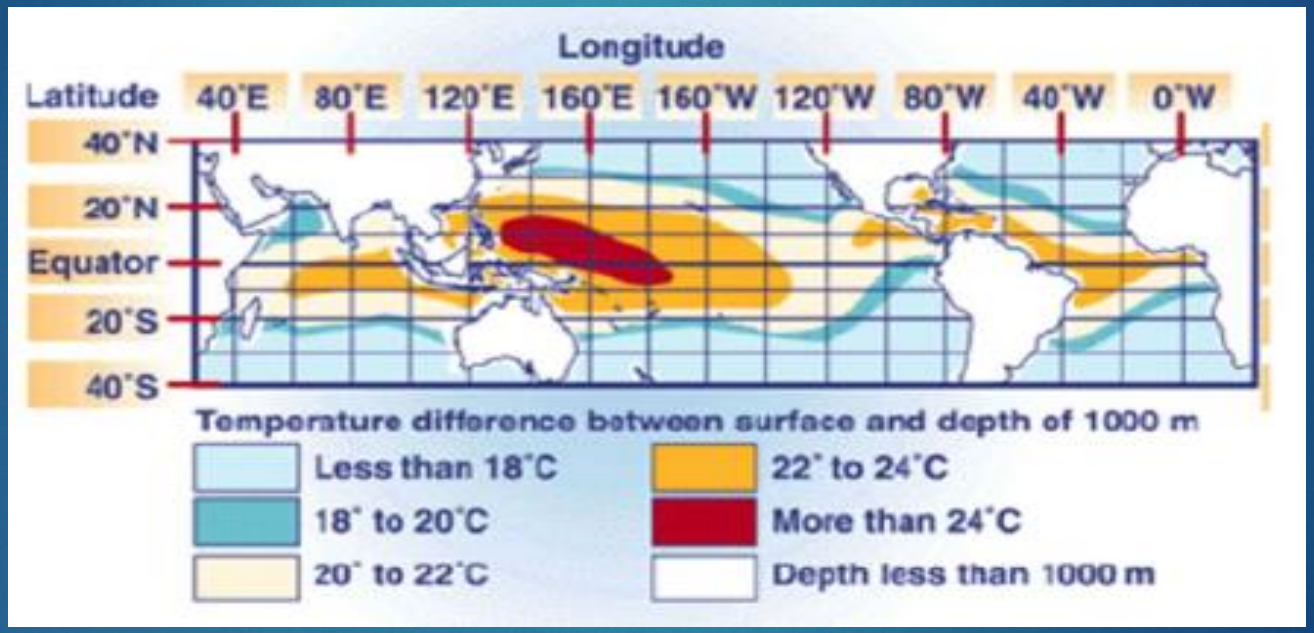
Potencial Energético

- Número de dispositivos em desenvolvimento por país e por tipo de energia

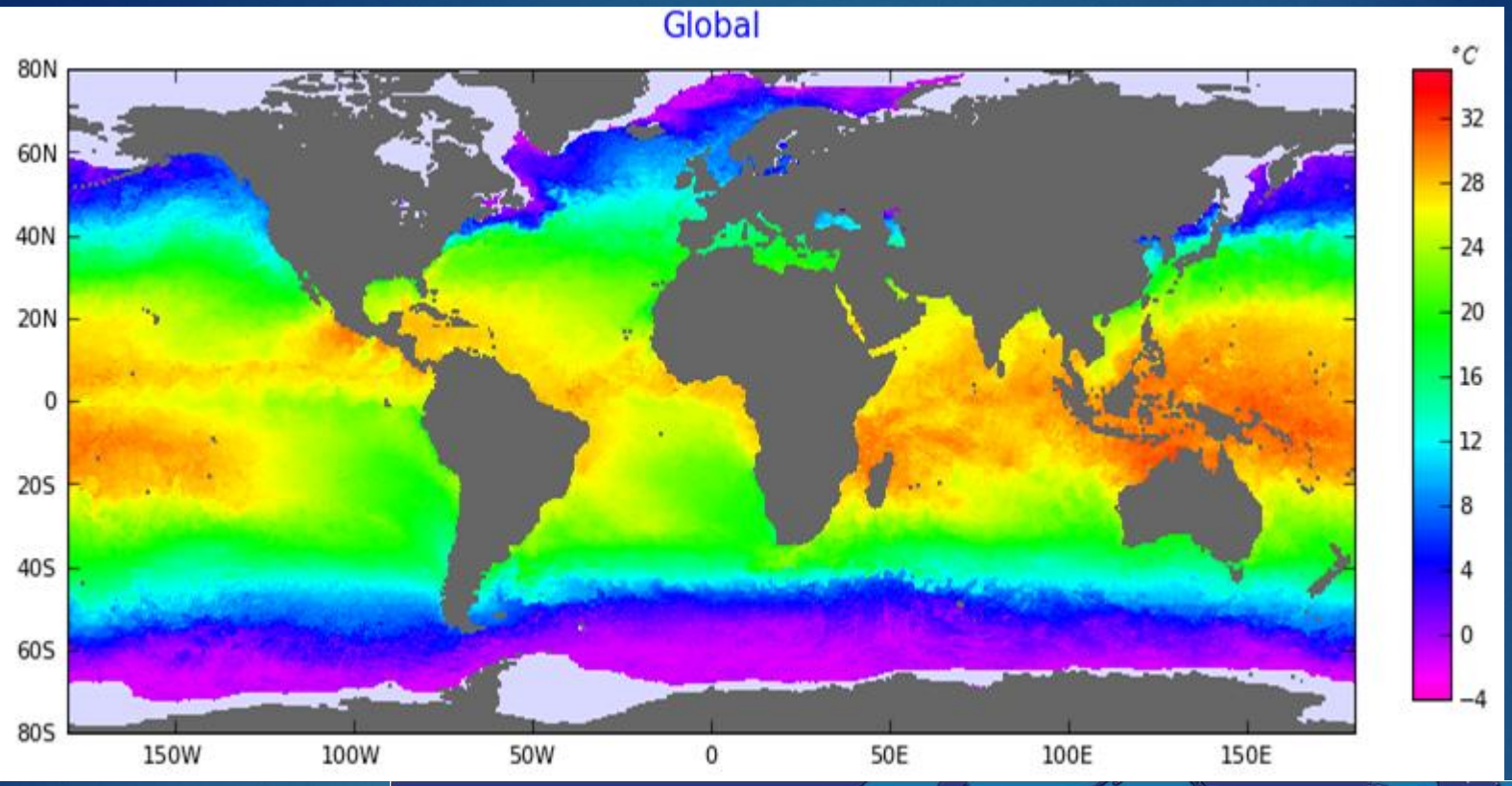


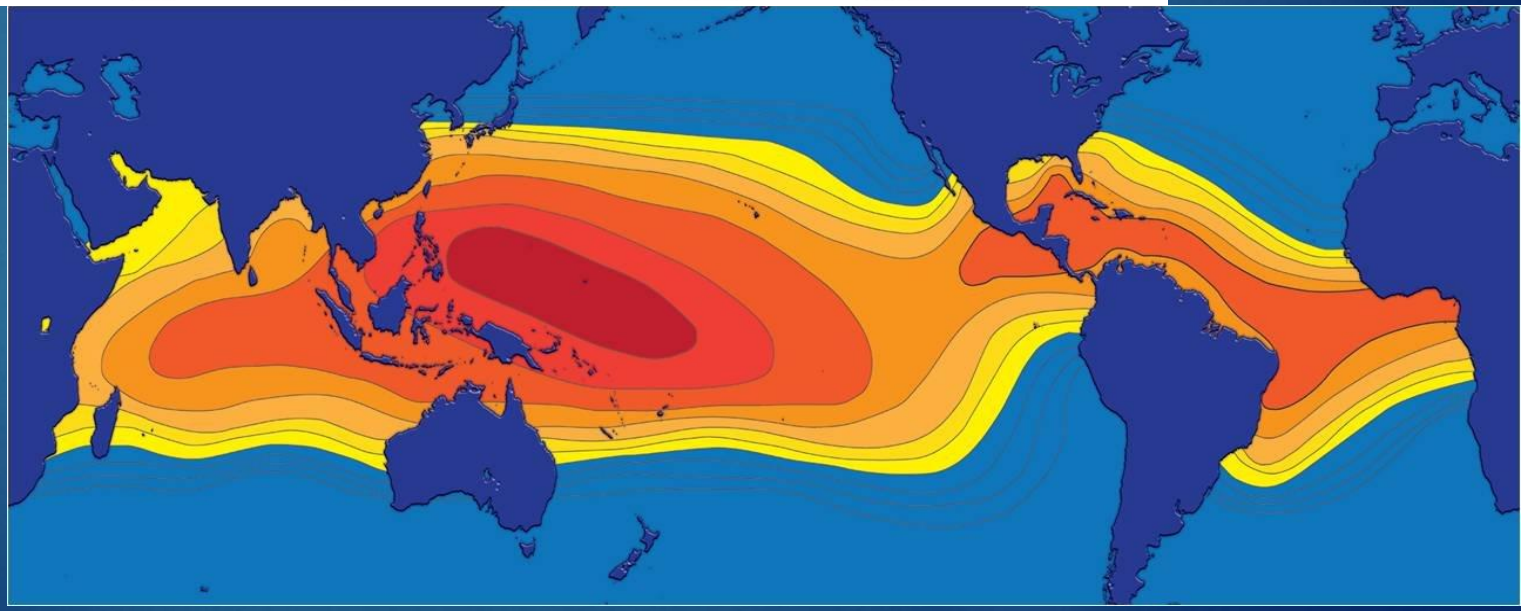
Energia Térmica dos Mares

- Se favorece da diferença de temperatura entre as águas da superfície e de grandes profundidades (~1000 metros)



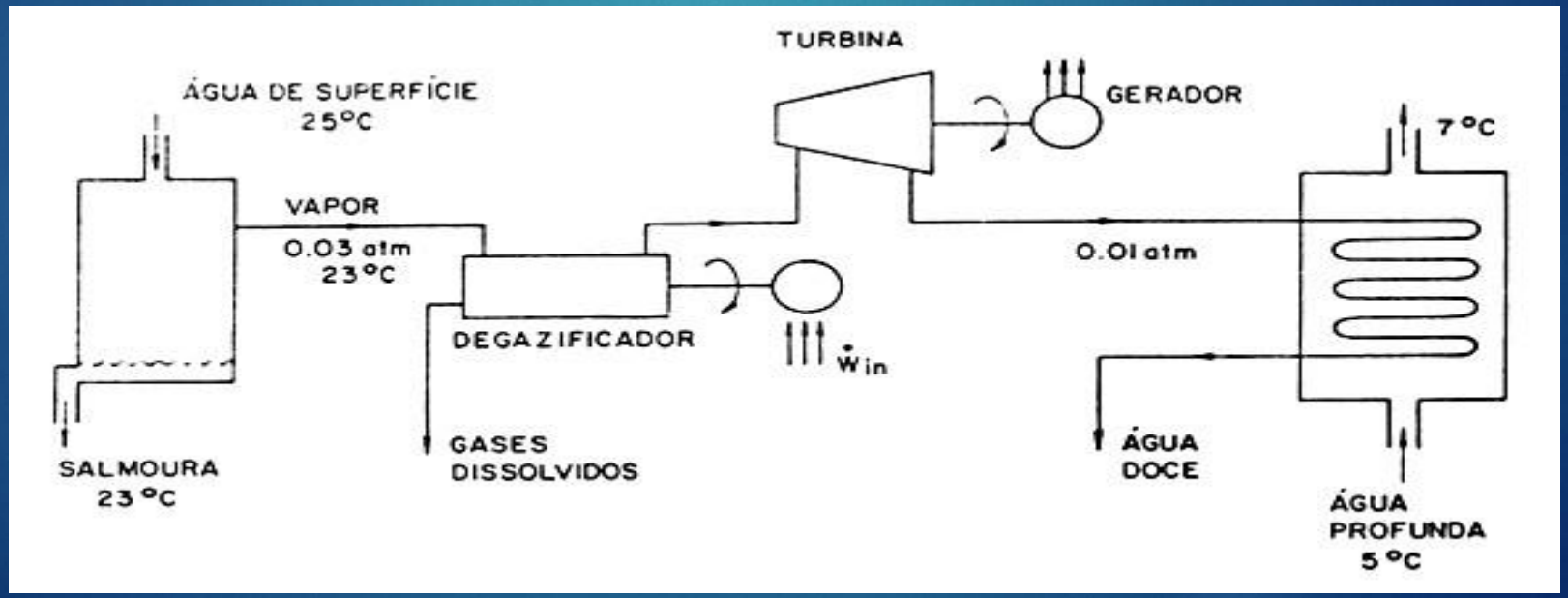
- **<u>Vantagens em relação às outras fontes:</u>**
  - Fonte contínua de energia
  - Associação a outros serviços (Ex: dessalinização e refrigeração)


Global
°C
32
28
24
20
16
12
8
4
0
−4
80N
60N
40N
20N
0
20S
40S
60S
80S
150W
100W
50W
0
50E
100E
150E



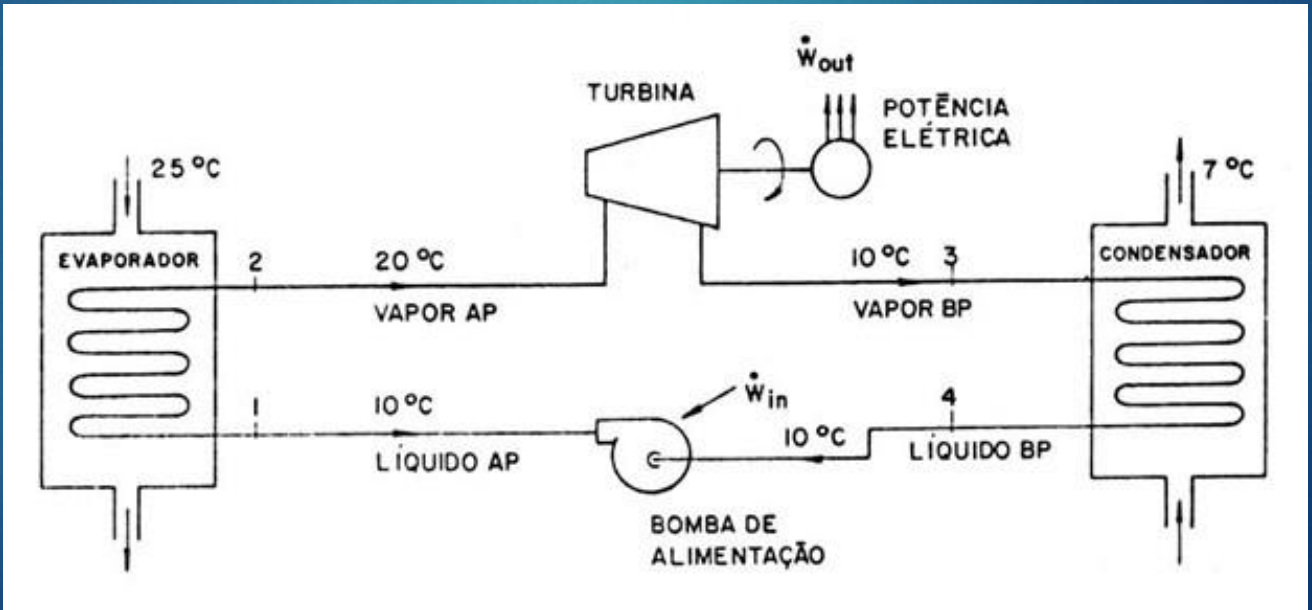
Energia Térmica dos Mares – Ciclo Aberto

- A água do mar quente na superfície ferve dentro de uma câmara de vácuo que é mantido a uma baixa pressão de cerca de 0,34 psi cerca de 1/40 da pressão atmosférica.
- A baixa temperatura, o vapor é então dirigido através de um gerador de turbina.
- Em seguida, o vapor é arrefecido e condensado de volta para o estado líquido por um fluxo de água do mar fria das profundidades.



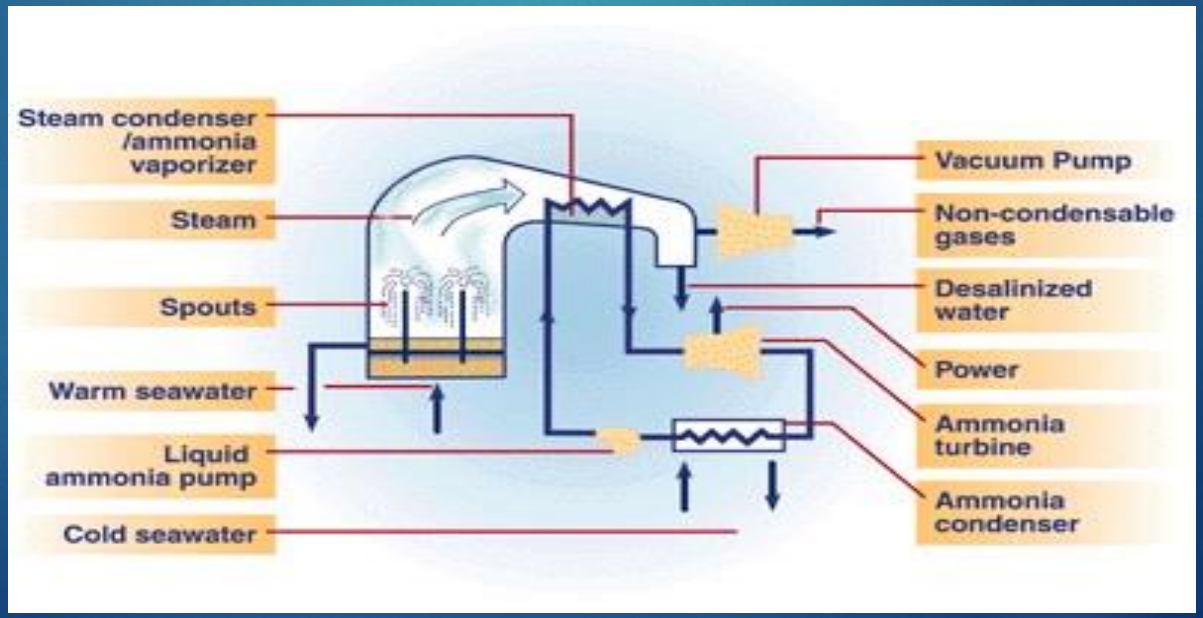
Energia Térmica dos Mares – Ciclo Fechado

- O Fluido de trabalho utilizado é a amônia (NH3).
- O fluido de trabalho permanece num sistema fechado e é continuamente circulado.
- A amônia é vaporizada em um trocador de calor pela águas quentes da superfície.
- O vapor de amônia é condensado na água fria através de outro permutador de calor e reciclado.

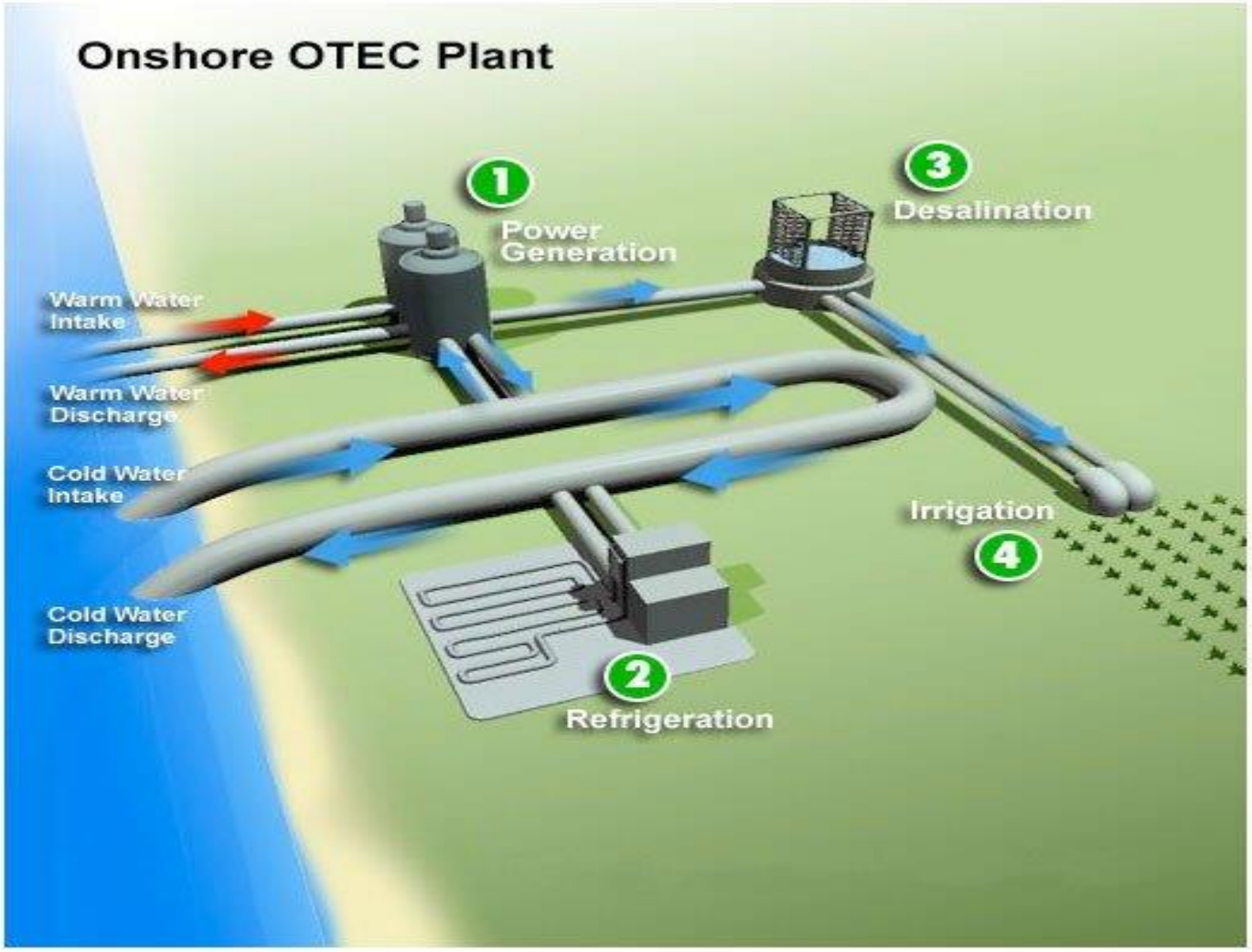


Energia Térmica dos Mares – Ciclo Híbrido

- O sistema híbrido combina as características dos dois sistemas para otimizar o processo.
- Água do mar quente entra numa câmara de vácuo, na qual sofre evaporação rápida.
- O vapor resultante é usado para vaporizar o fluido de trabalho (amônia).
- Depois disso, o fluido de trabalho vaporizado aciona uma turbina que produz eletricidade. No final, o vapor se condensa dentro do permutador de calor e fornece água dessalinizada.

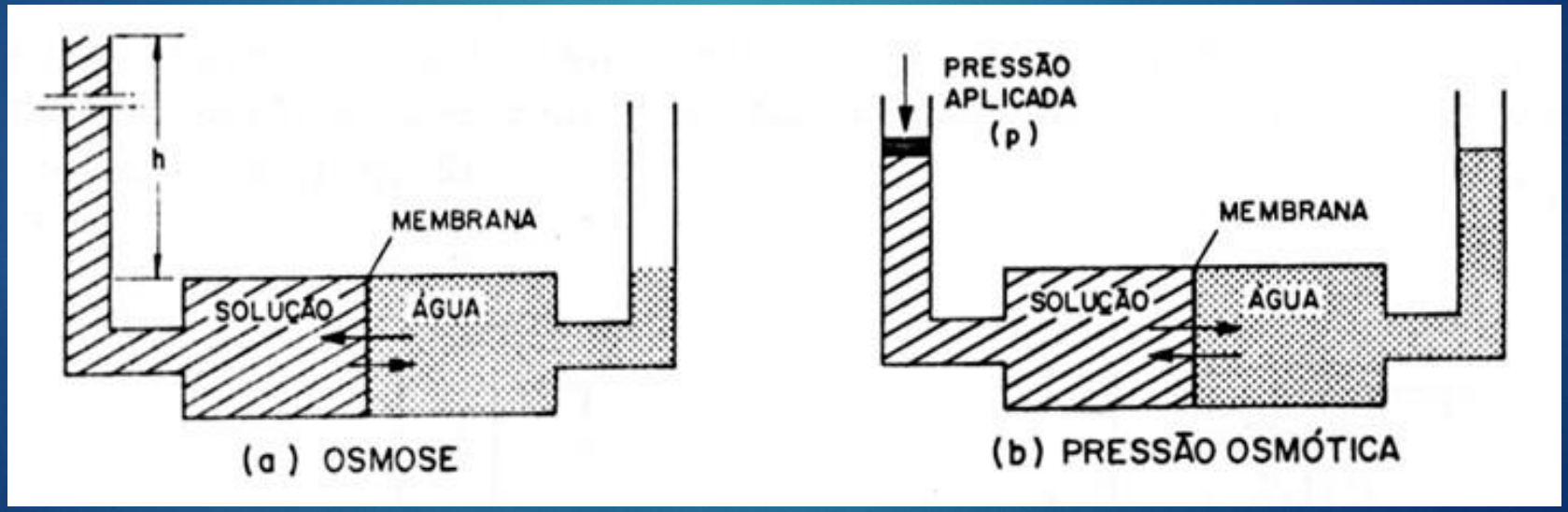


Energia Térmica dos Mares – Ciclo Híbrido



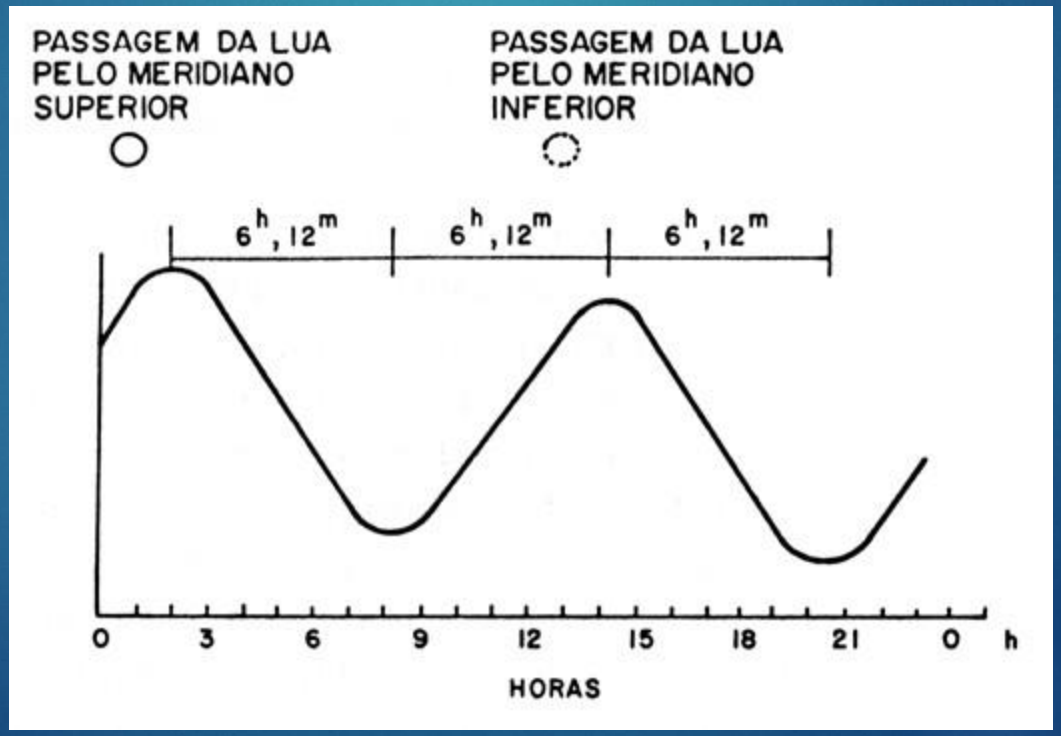
Energia dos Gradientes de Salinidade (Osmótica)

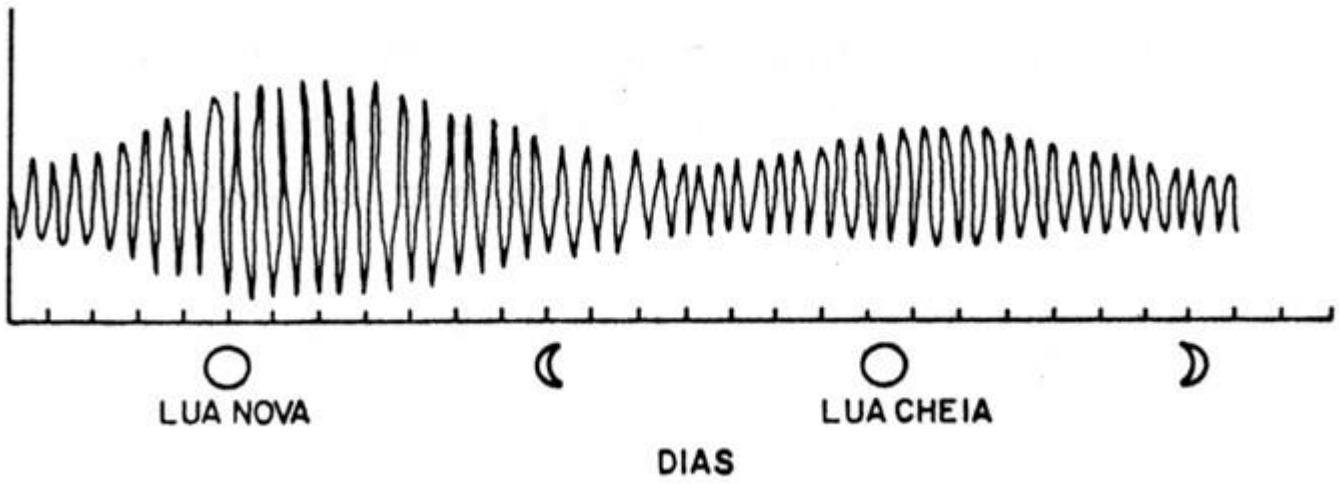
- Explora as diferenças de salinidade
- Os locais mais propícios são os encontros de rios com o mar
- Obstáculos do desenvolvimento se devem ao custo de produção e a baixa capacidade das membranas.



Energia Maremotriz

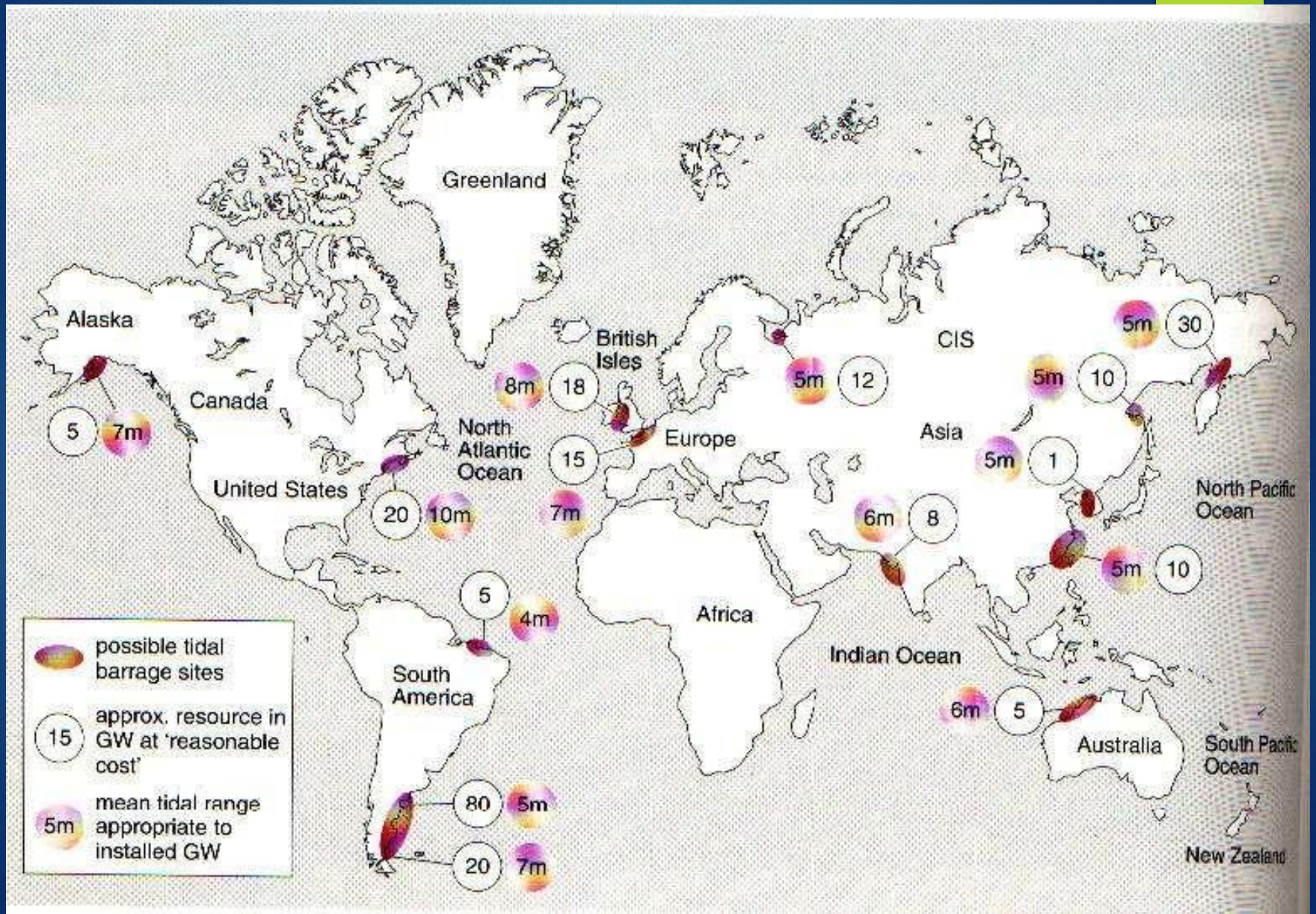
- Deriva do movimento da água criado pelas marés, causadas pelas forças combinadas gravitacionais da lua e do sol.
- Pode ser capturada de duas formas:
  - Energia potencial explorando as mudanças no nível do mar (Barragens de Maré)
  - Energia cinética explorando as correntes de maré (Geradores de Fluxo de Maré)





LOCAL	AMPLITUDE [1] (m)
Canal de Bristol (Inglaterra)	16,30
Estreito de Davis (Canad á)	15,25
Ilha Chausey (Fran ça)	14,10
Puerto Gallegos (Argentina)	12,70
Ilha Marac á (Brasil)	9,60
Igarap é do Inferno (Brasil)	9,60
Porto de Itaqui (Brasil)	6,80

Energia Maremotriz



Energia Maremotriz

• O aproveitamento é feito nos dois sentidos: na maré alta a água enche o reservatório, passando através da turbina, e produzindo energia elétrica, na maré baixa a água esvazia o reservatório, passando novamente através da turbina, agora em sentido contrário ao do enchimento, e produzindo energia elétrica.

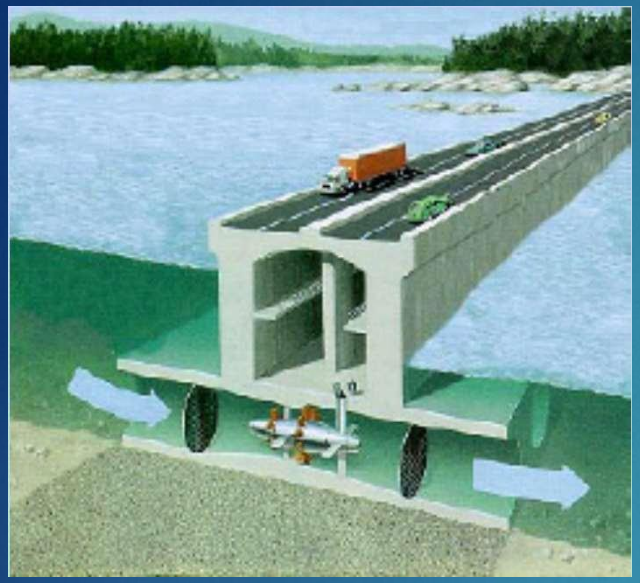
• **Vantagens:**

- Uso de turbinas do tipo bulbo (Kaplan)
- A turbina gira nos dois sentidos da maré
- Utilização das pás em posição variável para aumentar a produção

• **Desvantagens:**

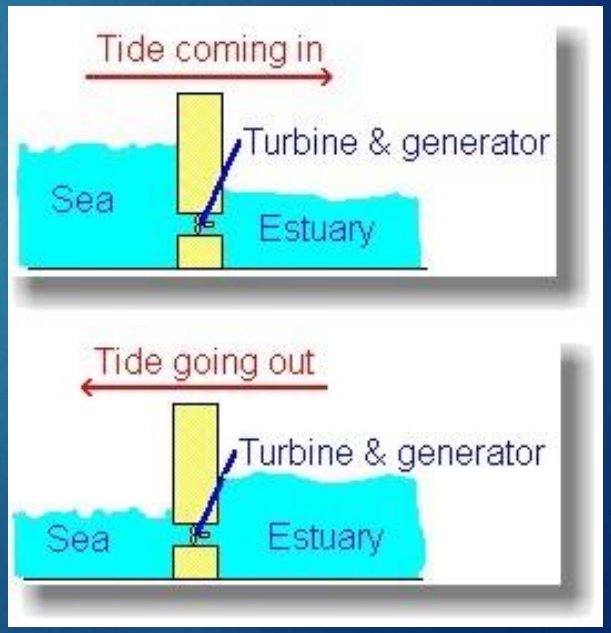
- O fornecimento não é contínuo e apresenta baixo rendimento
- Não pode interferir na navegação
- Necessidade de robustez para suportar variações climáticas (ondas de diferentes amplitudes)

Energia Maremotriz



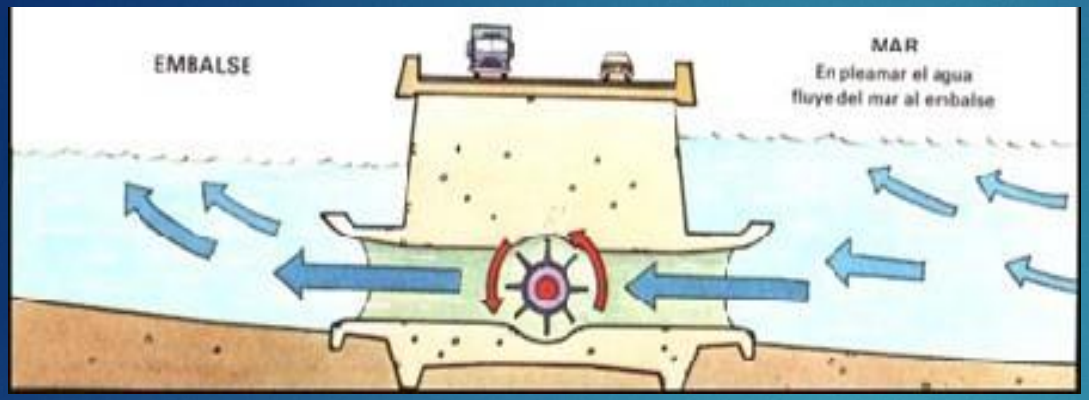
Aproveitamento energético:

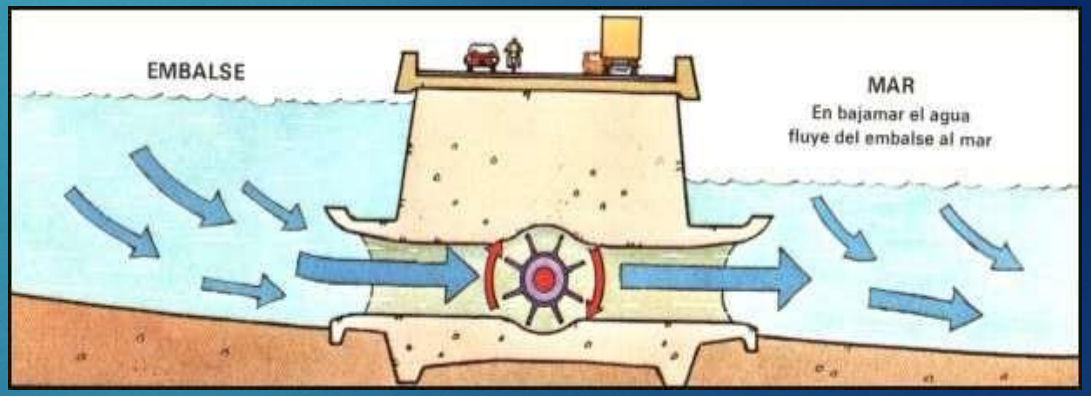
- Reservatório junto ao mar – barragem;
- Turbina imersa e gerador;
- Sentido único ou sentido duplo;



- Movimento de fluxo das marés
- Movimentação comporta ligada a um sistema de conversão
- Geração de eletricidade.

Energia Maremotriz com Reservatório





- *Os Impactos das barragens*
  - Bloqueio / Redução da navegação;
  - Reservatórios interferem em ciclos biológicos, impactos na biosfera;
  - Impede a migração de peixes;
  - Interferência na localização e tamanho das zonas intertidais;
  - Alterações na turbidez da água – afetando fauna e flora locais;

Energia Maremotriz com Reservatório

Usina Maremotriz La Rance – França: 240 MW

A Usina de La Rance começou a ser construída em 1960, na costa da Bretanha (França). O sistema consiste em uma barragem de 332,5 m de comprimento que se estende por 750 m no estuário, e 22 km^2 de área da bacia, com o aproveitamento de um desnível de 8 m. A construção foi completada em 1967 com 24 turbinas tipo bulbo, de 5,4 m de diâmetro e capacidade de 10 MW cada

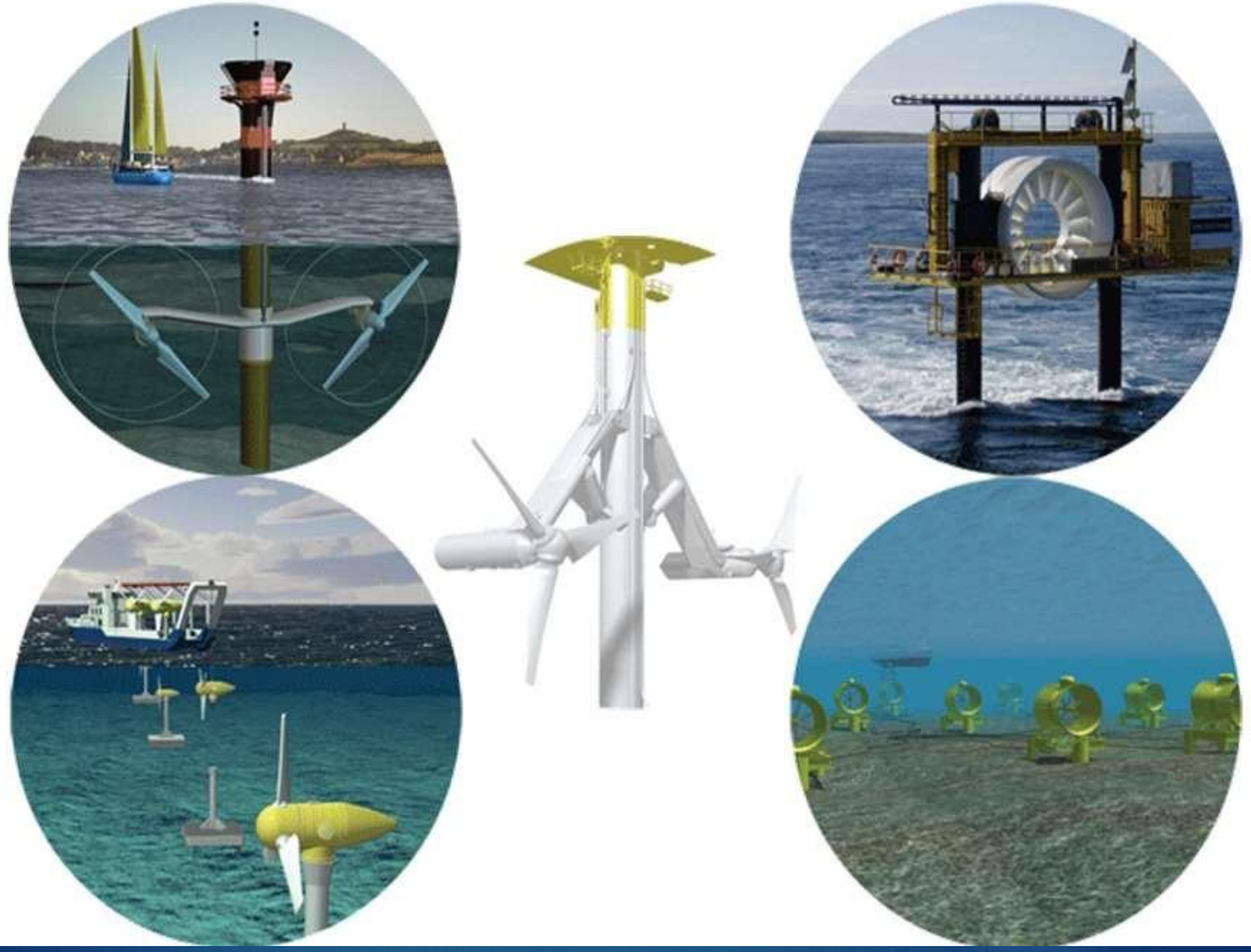
Energia das Correntes

- Semelhante a energia eólica, pois utiliza energia cinética do fluído:
  - Correntes de maré
  - Correntes oceânicas
  - Correntes fluviais

- É possível aproveitar a energia das correntes marítimas. As turbinas marítimas têm poucos componentes; engrenagens de posicionamento orientam as lâminas das turbinas na direção da corrente marítima e um gerador acoplado ao eixo da turbina fornece a energia elétrica.

Energia das Correntes

As tecnologias de correntes de marés estão concebidas para extrair a energia de fluxos rápidos nas correntes de marés.



Energia das Ondas

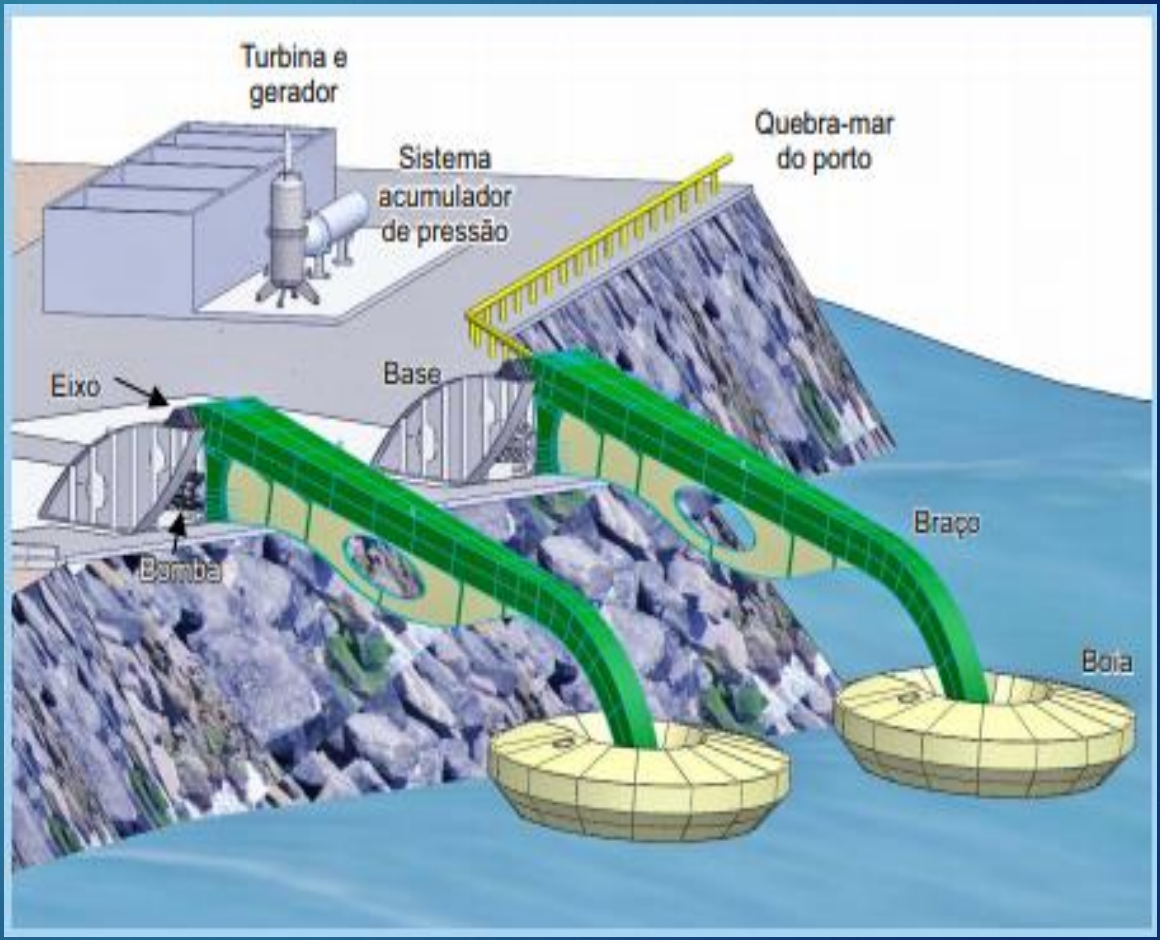
• Gerada por meio da movimentação das ondas, a energia ondomotriz ou energia das ondas é uma fonte de energia alternativa, limpa e renovável para a geração de energia elétrica, mas que ainda é pouco explorada no mundo.

•As pesquisas da geração ondomotriz são incipientes e conta somente com a instalação de projetos pilotos. No mundo, existem alguns protótipos de usinas para geração de energia elétrica, especialmente em países europeus como Dinamarca, Portugal e Reino Unido.

•Ao contrário do que acontece na energia solar e eólica, existe uma grande variedade de formas de captação da energia das ondas, que resultam das diferentes formas em que a energia pode ser capturada.

Energia das Ondas

• No Brasil, em 2012, foi instalado um projeto piloto de energia de ondas, a Usina do Porto do Pecém, localizada no Ceará. O projeto que nasceu com uma parceria dos pesquisadores da Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia (COPPE), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), e conta com o apoio do Governo do Estado do Ceará.



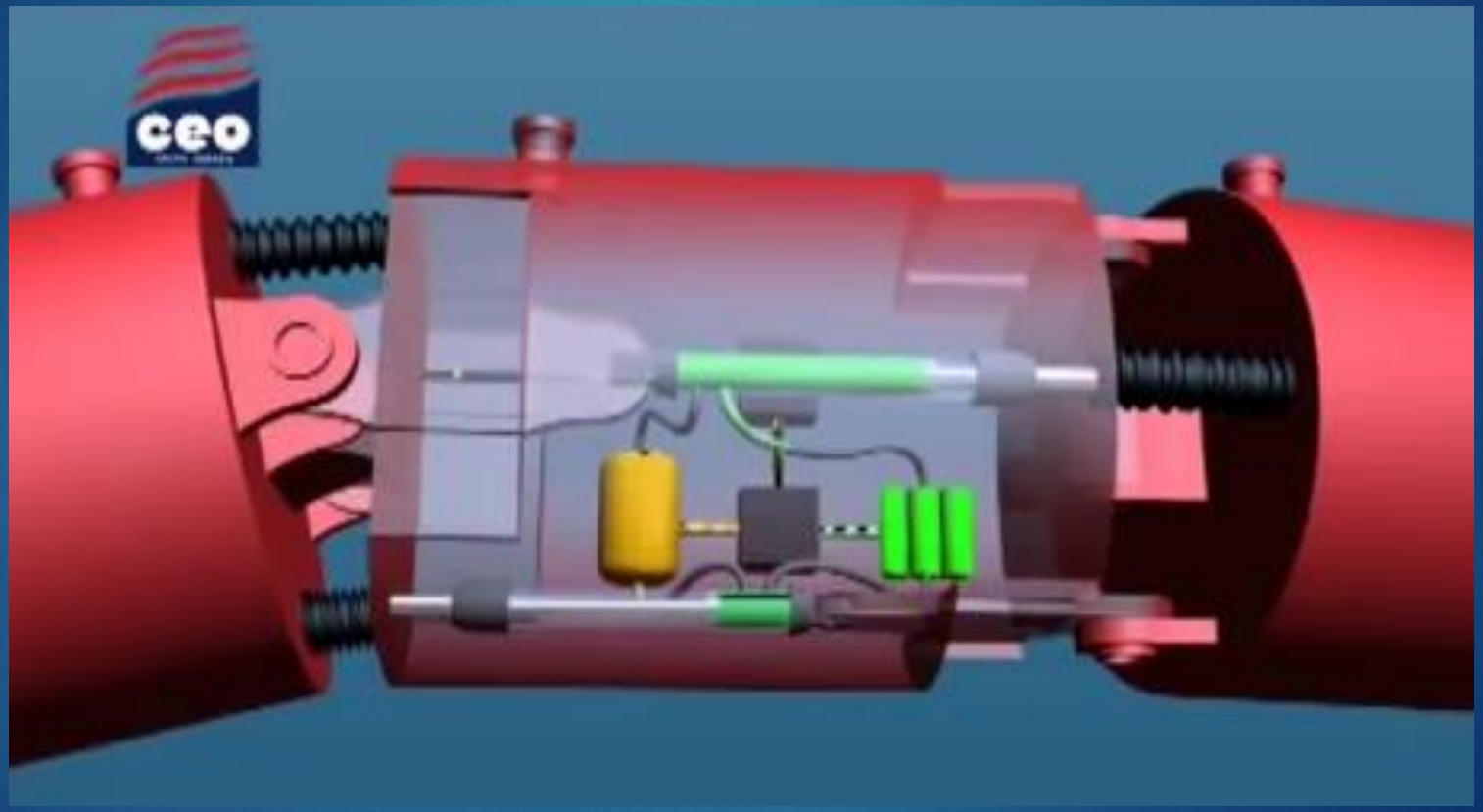
Energia das Ondas - Absorvedores flutuantes

- Os absorvedores flutuam na água do oceano. Tratam-se de enormes boias compostas por turbinas. Quando as ondas passam, um pistão dentro da boia é movimentado, o que ativa a turbina para geração de energia elétrica.

Energia das Ondas - Atenuadores (Pelamis)

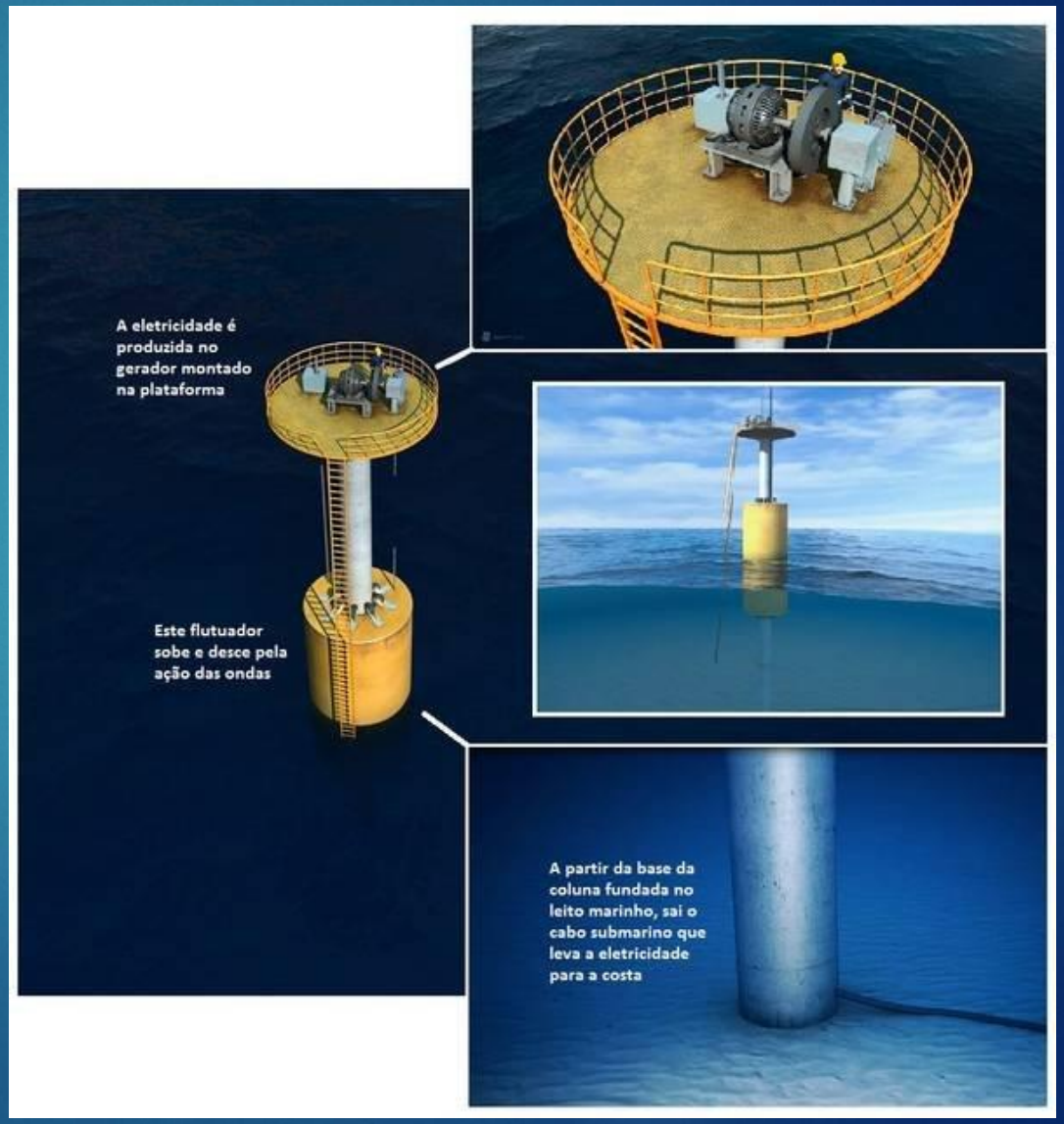
• Os atenuadores flutuam paralelamente à direção das ondas. Tratam-se de dispositivos longos e segmentados, conectados a bombas hidráulicas. Quando as ondas passam, estas são movimentadas, o que alimenta um transformador de energia elétrica.

Energia das Ondas - Atenuadores (Pelamis)



Energia das Ondas - Terminais

- Os terminais são torres instaladas na costa do mar. Em cada torre, há uma turbina. Quando as ondas passam, elas movimentam a coluna de água na base da turbina subindo e descendo. Isso faz com que a turbina seja acionada e transforme o movimento cinético em energia elétrica.



Energia das Ondas

- **Vantagens:**
  - Fonte de energia não poluente e renovável
  - Apresenta riscos mínimos ao meio ambiente
  - Não necessita de equipamentos muito sofisticados, com diversos processos envolvidos até a obtenção da energia elétrica

- **Desvantagens:**
  - Fornecimento instável, pois depende do vento e outros fatores
  - Altos custos de instalação e manutenção dos equipamentos
  - As instalações devem ser fortes e sólidas o suficiente para resistirem às tempestades, ao mesmo tempo em que devem ser sensíveis o bastante para captação da energia das ondas

Energia de Células a Combustível

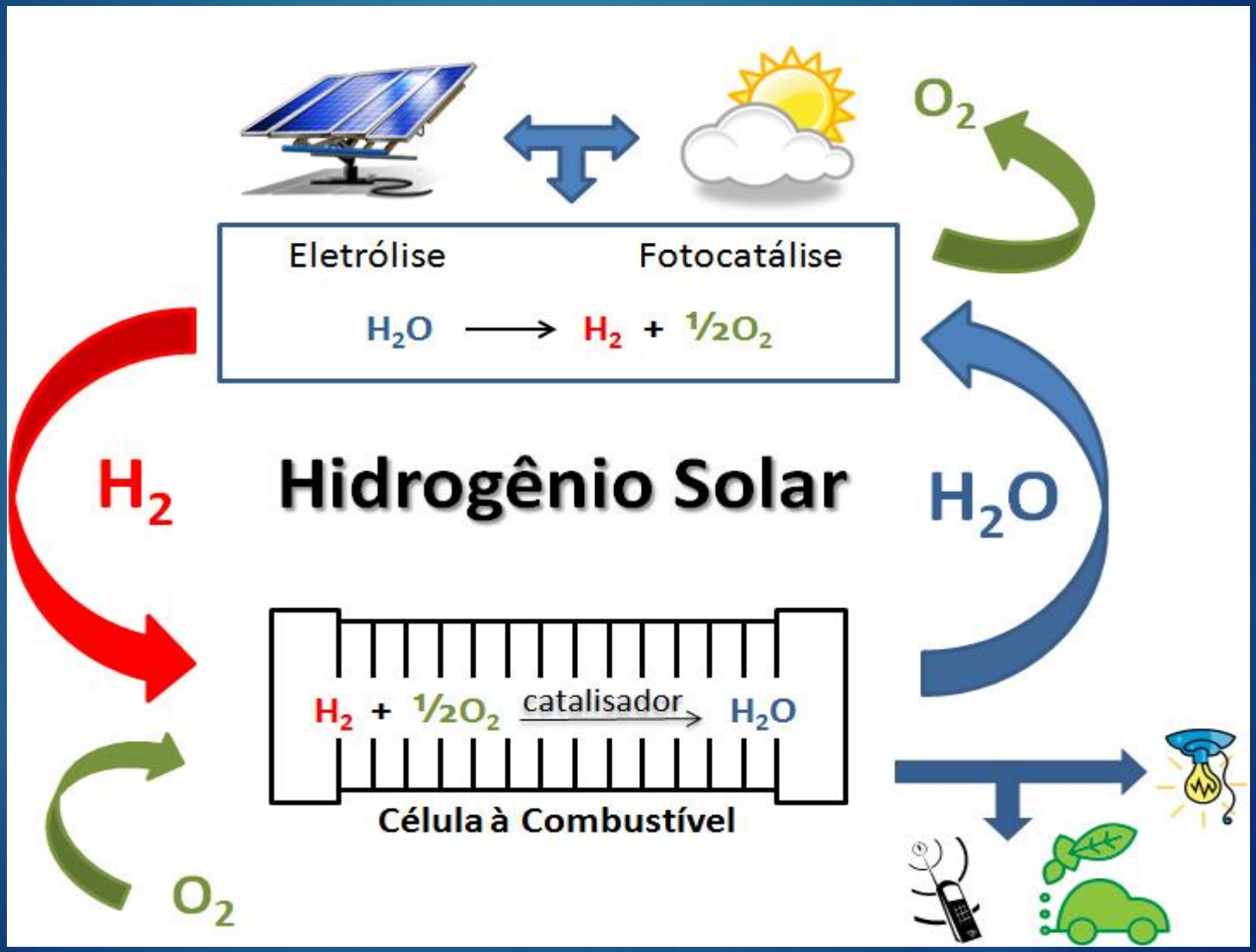
Energia de Células a Combustível

- Célula de combustível é uma célula eletroquímica que converte energia potencial de um combustível em eletricidade através de uma reação eletroquímica de eletrólise reversa.

- Como qualquer célula eletroquímica, uma célula de combustível consiste em dois elétrodos polarizados, o ânodo (-) e o cátodo (+), e um eletrólito. Dois componentes são essenciais: o hidrogénio, como combustível, e o oxigénio como oxidante.

- Em princípio, as células de combustível não são poluentes, visto que tem água com o produto da reação.

Energia de Células a Combustível



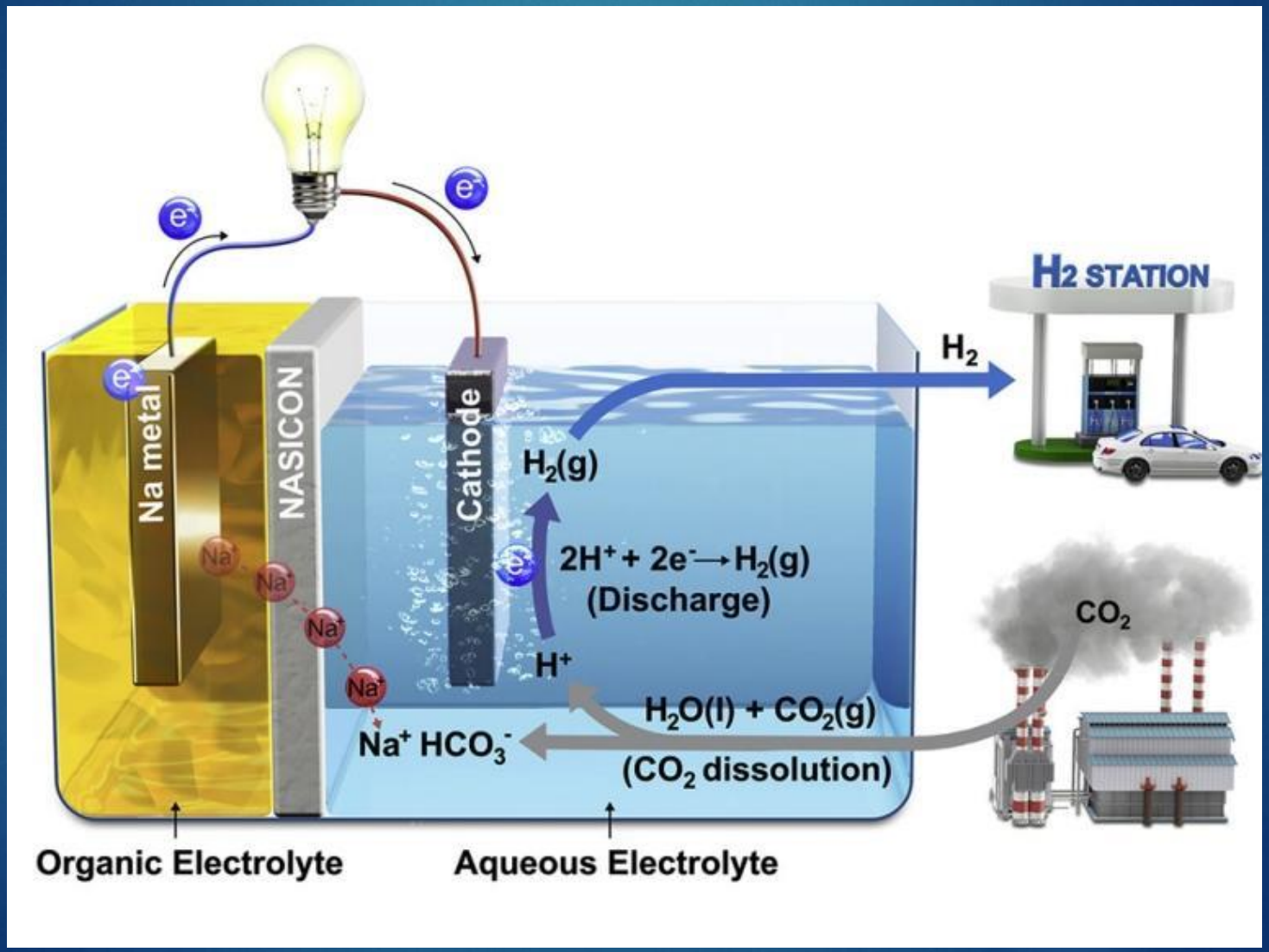
Energia de Células a Combustível

- A célula de combustível funciona como uma gerador de corrente elétrica.

- A corrente gerada faz funcionar os mais diversos dispositivos (lâmpadas, motores, eletrodomésticos, como exemplos).

- O seu princípio de funcionamento (eletrólise reversa) consiste em utilizar a energia gerada pela reação de hidrogénio com oxigénio, tendo água como produto. O hidrogénio é alimentado no ânodo onde é decomposto quimicamente por um catalisador de prótons, com carga positiva, e elétrons com carga negativa.

Energia de Células a Combustível



Tecnologia das Células a Combustível

Tecnologias

Se diferenciam de acordo com:

- Eletrólito
- Temperatura de Operação
- Reforma Interna ou Externa
- Sensibilidade ao CO, H_2S
- Tempo de partida
- Eficiência
- Dimensão
- Aplicação
- Catalisadores
- Potencial de Cogeração
- Maturidade Tecnológica

Tecnologia das Células a Combustível

Principais Tecnologias

- AFC – Alkaline Fuel Cell
- PEMFC – Proton Exchange Fuel Cell
- MCFC - Molten Carbonate Fuel Cell
- SOFC – Solide Oxide Fuel Cell
- PAFC – Phosphoric Acid Fuel Cell
- DMFC – Direct Methanol Fuel Cell

Tecnologia das Células a Combustível

PEMFC– Membrana Polimérica de Troca de Prótons, até 64% eficiência

Baixa Temperatura – 60˚C a 100˚C

Aplicações – Portátil, Mobilidade, Estacionária, VANTs Eletrólito – polímero

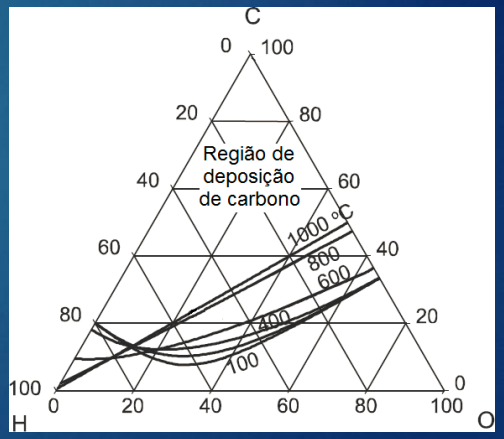
Potência – mW a 1MW Reforma externa do hidrogênio

Sensibilidade à contaminação por – CO, H_2S, Halogênios, Siloxanos, etc

Tecnologia das Células a Combustível

SOFC– CaC de Óxido Sólido, 55 a 65% eficiência

- Alta Temperatura – 600˚C a 1000˚C
- Aplicações – Estacionária
- Eletrólito – Cerâmico – CO_3^{2-}
- Potência – 10kW a 200kW
- Reforma interna para produção de H_2
- Sensibilidade à contaminação por – H_2S, Halogênios, Siloxanos



Tecnologia das Células a Combustível

Células a Combustível – MEA/PEM

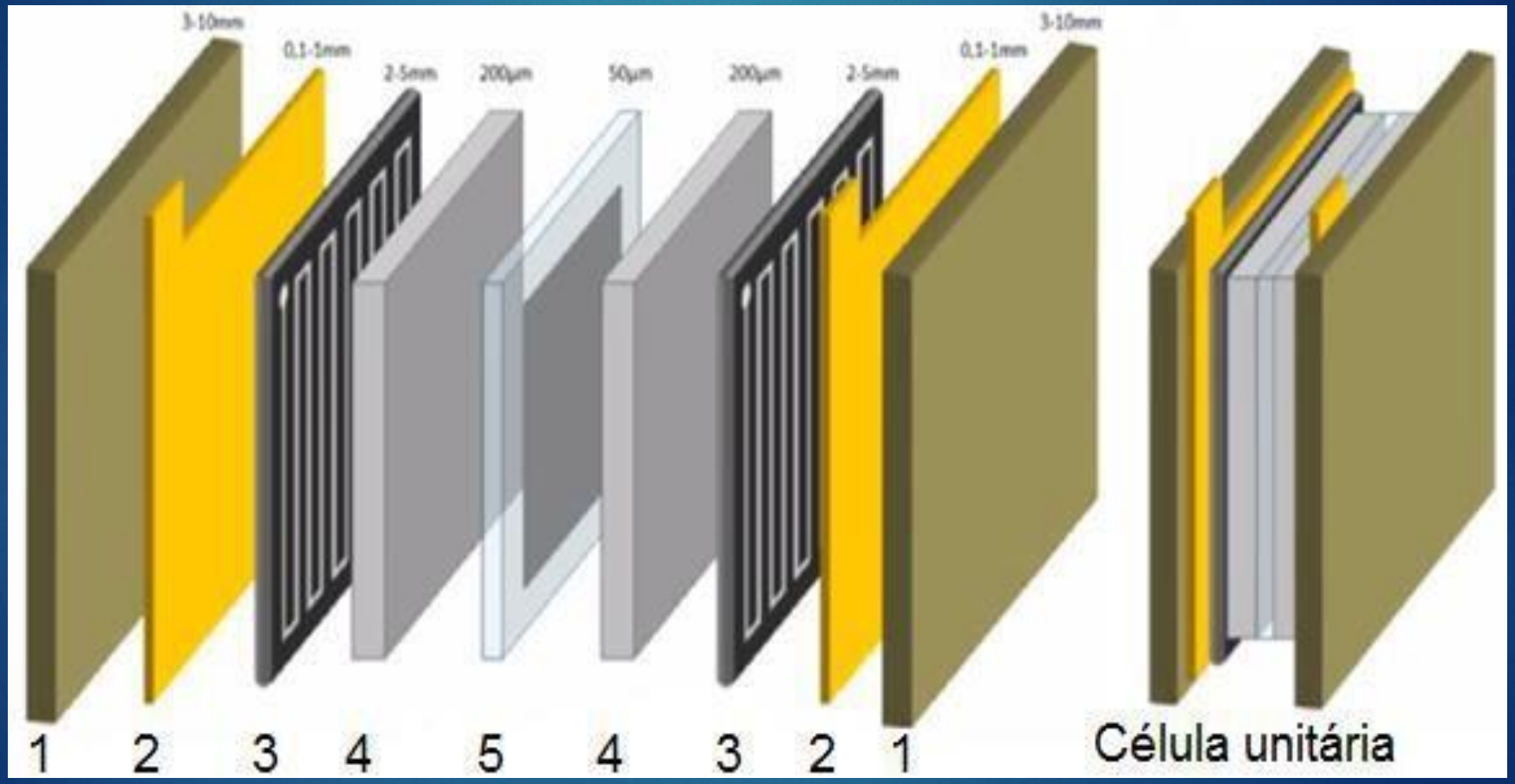
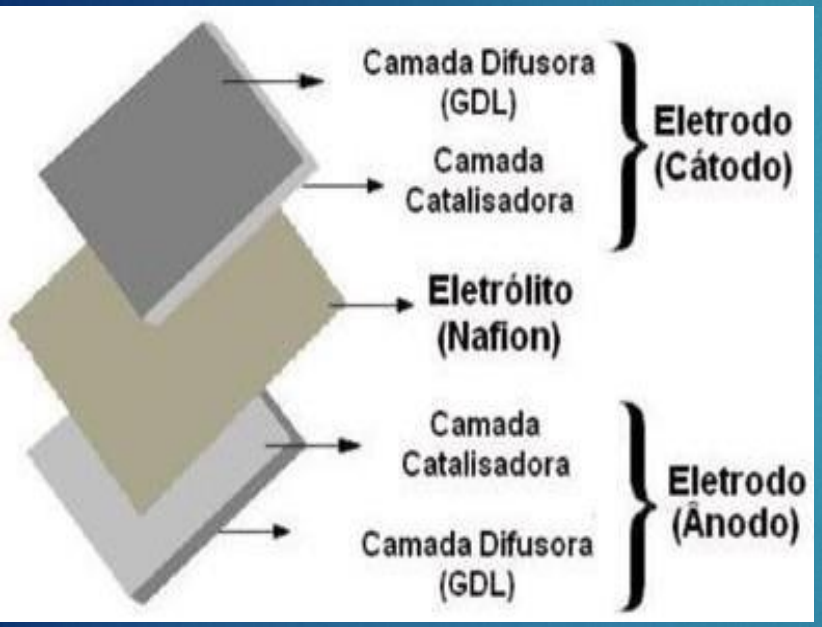


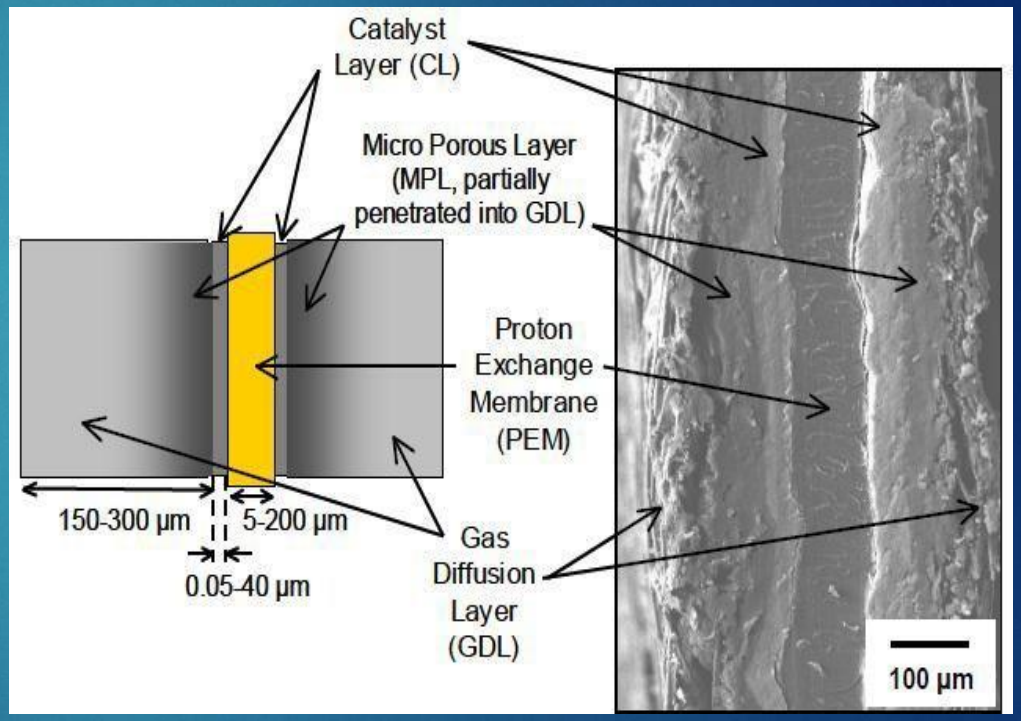
Figura esquemática de uma célula unitária. 1- placas compressoras; 2- coletores de corrente; 3- placas bipolares; 4- placas difusoras de gás e 5- MEA.

Tecnologia das Células a Combustível

MEA – Membrane Electrode Assembly

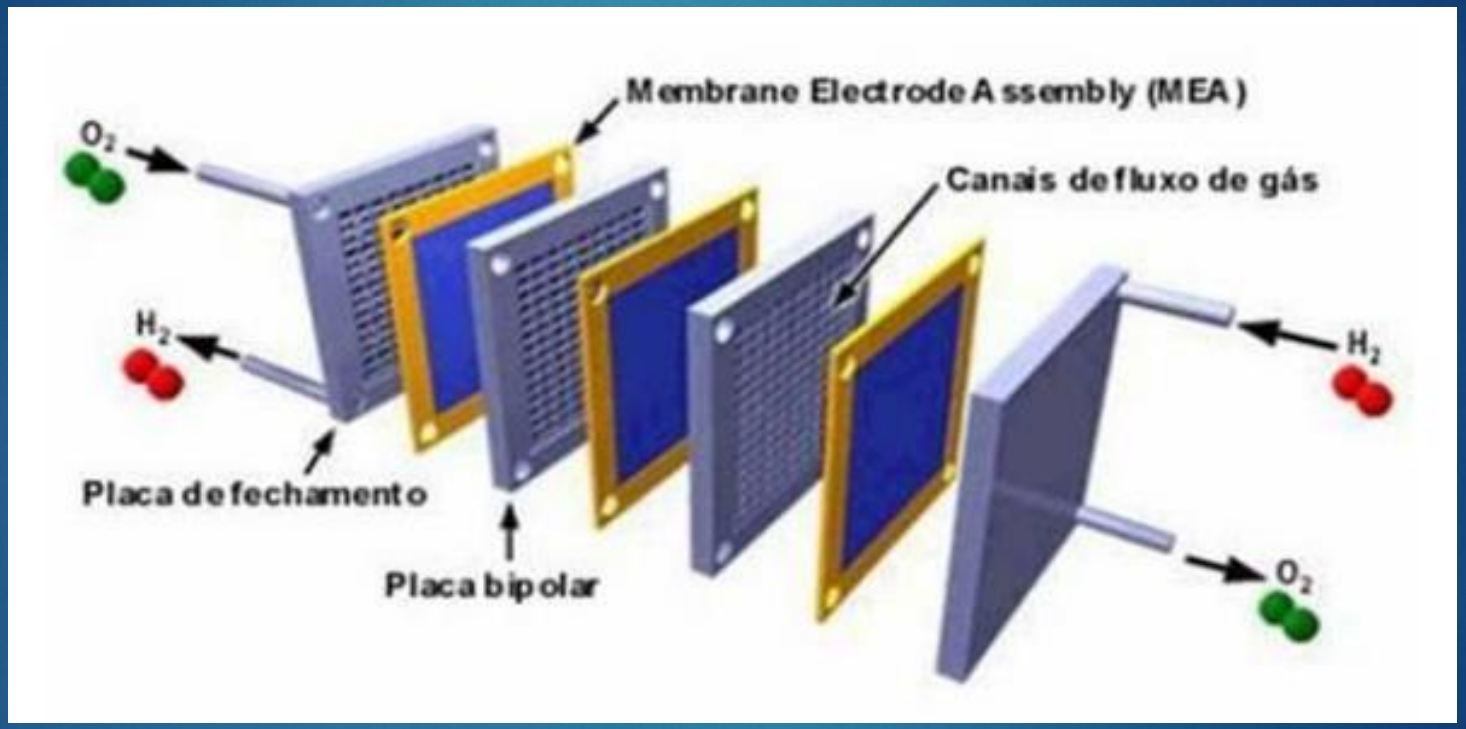


Componentes de um MEA.



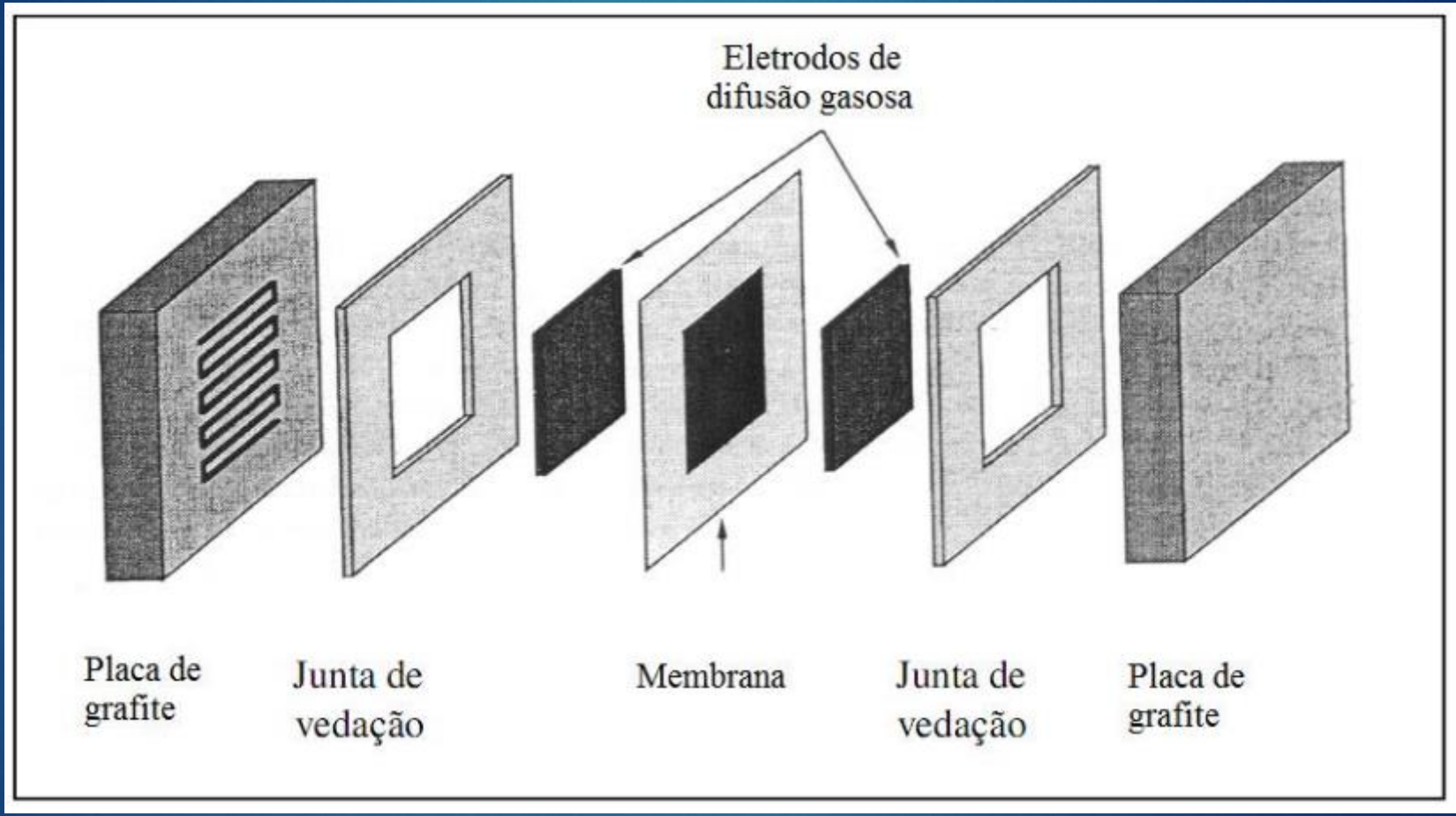
Fases do eletrodo de difusão gasosa.

Tecnologia das Células a Combustível



Esquema de uma célula unitária e um stack de PEMFC

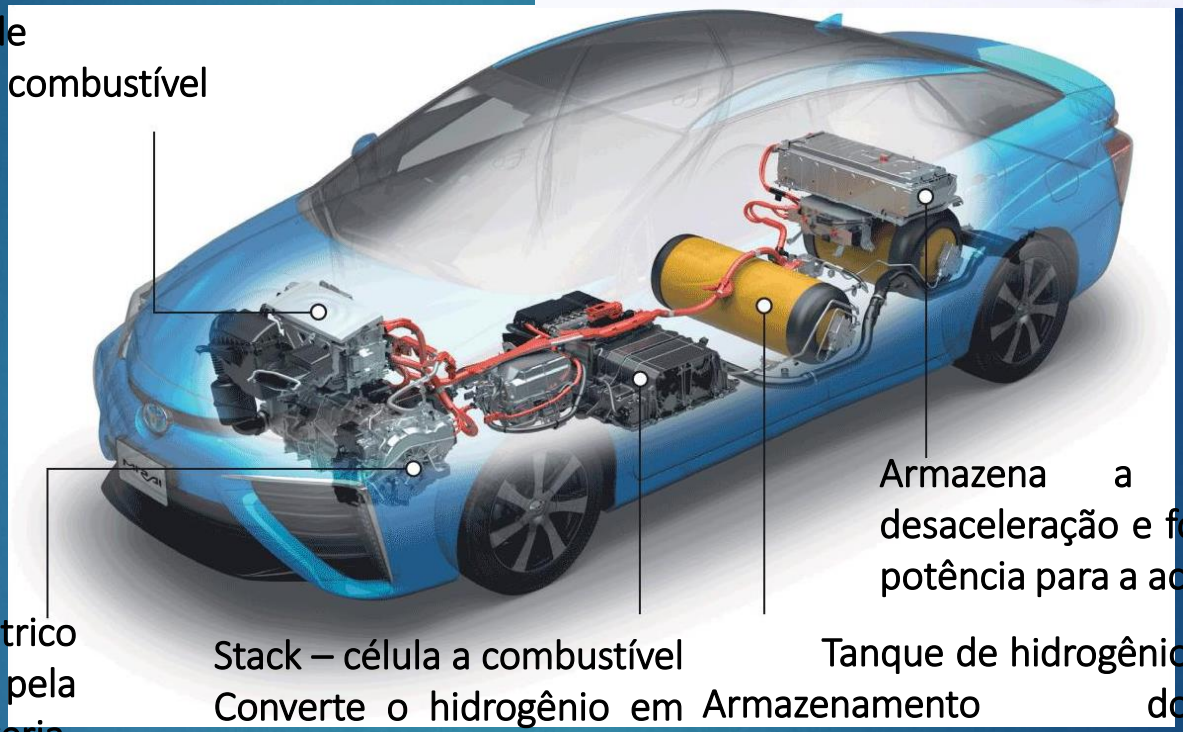
Tecnologia das Células a Combustível



Membrana polimérica numa PEMFC

Aplicações - Toyota Mirai Fuel Cell

Unidade de Controle
Gerencia a célula a combustível e a bateria



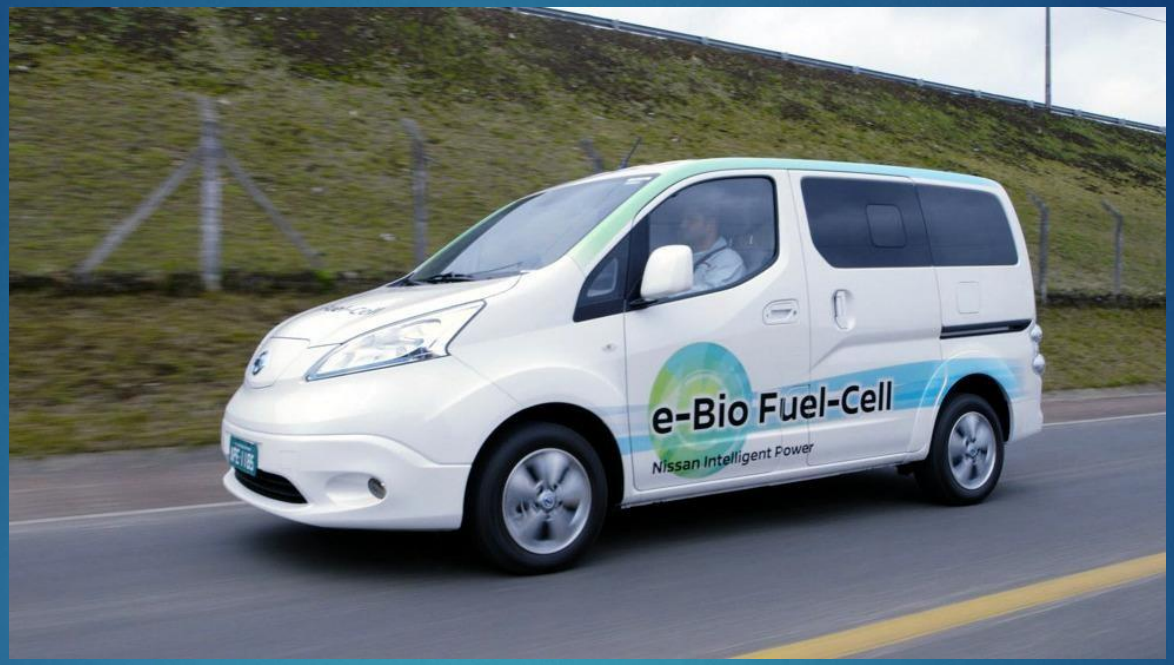
Bateria
Armazena a energia da desaceleração e fornece pico de potência para a aceleração

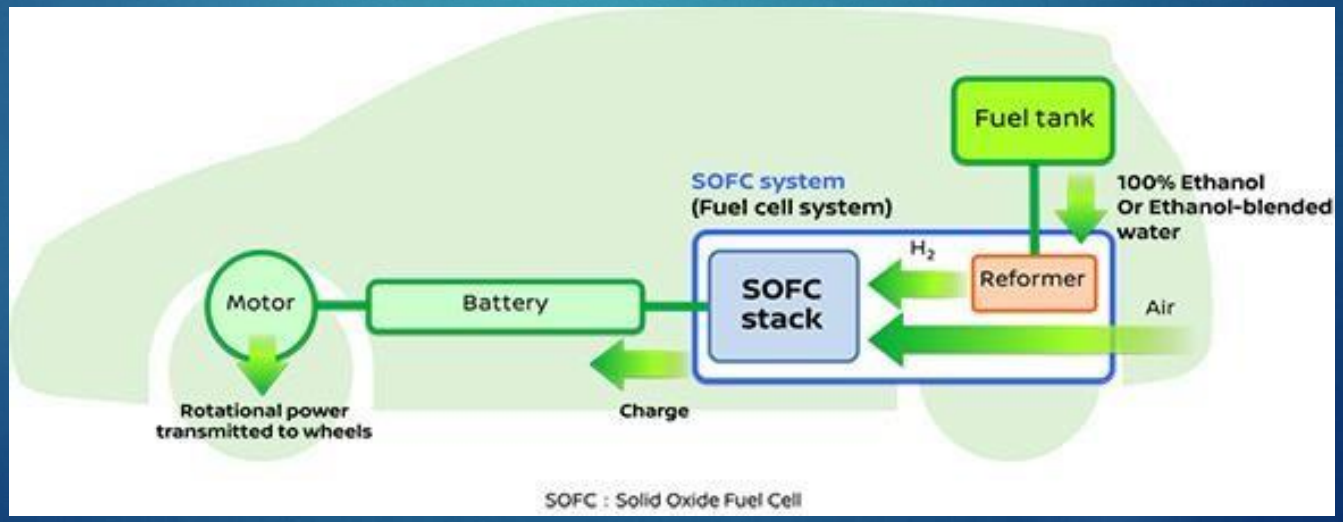
Motor elétrico
Eletricidade fornecida pela célula a combustível e bateria
113kW

Stack – célula a combustível
Converte o hidrogênio em eletricidade
Potência Máx: 114kW

Tanque de hidrogênio
Armazenamento do combustível em alta pressão
Autonomia de 700km

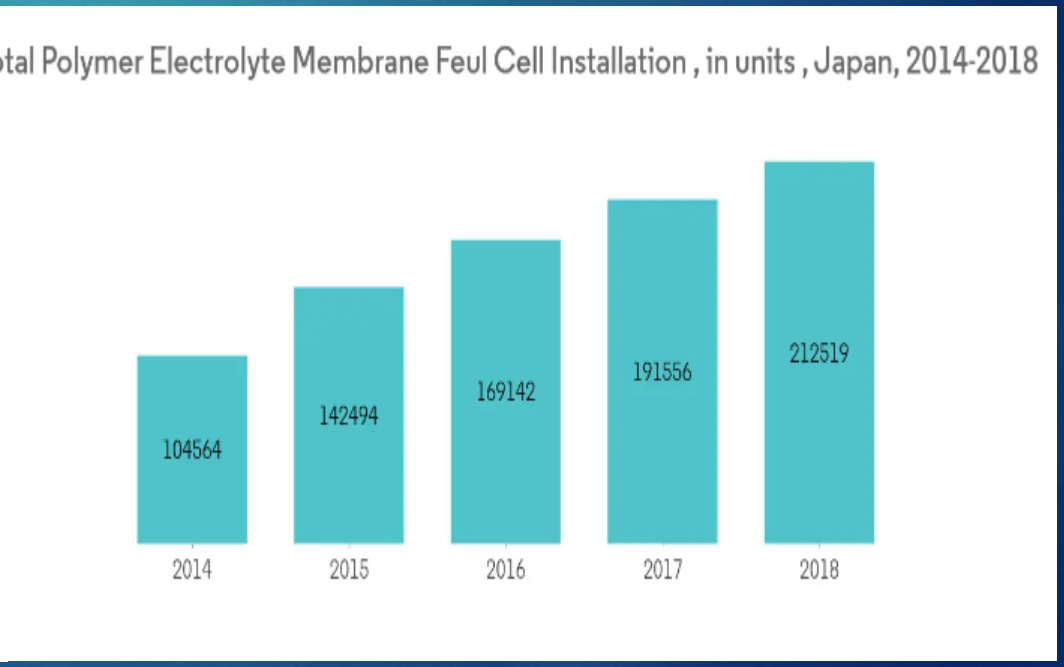
Aplicações – Nissan SOFC/Etanol





Aplicações Estacionárias no Japão

- Mais de 200 mil residências com células a combustível até 2020.
- Sucesso alcançado a partir de um programa do governo que subsidiou a aquisição das células pelos consumidores residenciais.
- Como consequência, possibilitou a produção em escala de componentes específicos para células a combustível e a redução dos custos desde 2009 bem como o avanço tecnológico.



Aplicações Estacionárias no Japão

- Os sistemas de células a combustível residenciais tem potência elétrica entre 250 watts e 750 watts.
- Células a combustível instaladas: PEMFC e SOFC

Principais Desafios da Célula a Combustível

Alto custo da tecnologia da célula a combustível

Stacks das células a combustível usam metais caros, e os baixos volumes de produção impedem os ganhos de economia de escala

Desenvolvimento de componentes da célula de custo mais baixo e comercialmente viáveis