



# SMRs a surpresinha nuclear

Prof Lamartine Nogueira Frutuoso Guimarães\*

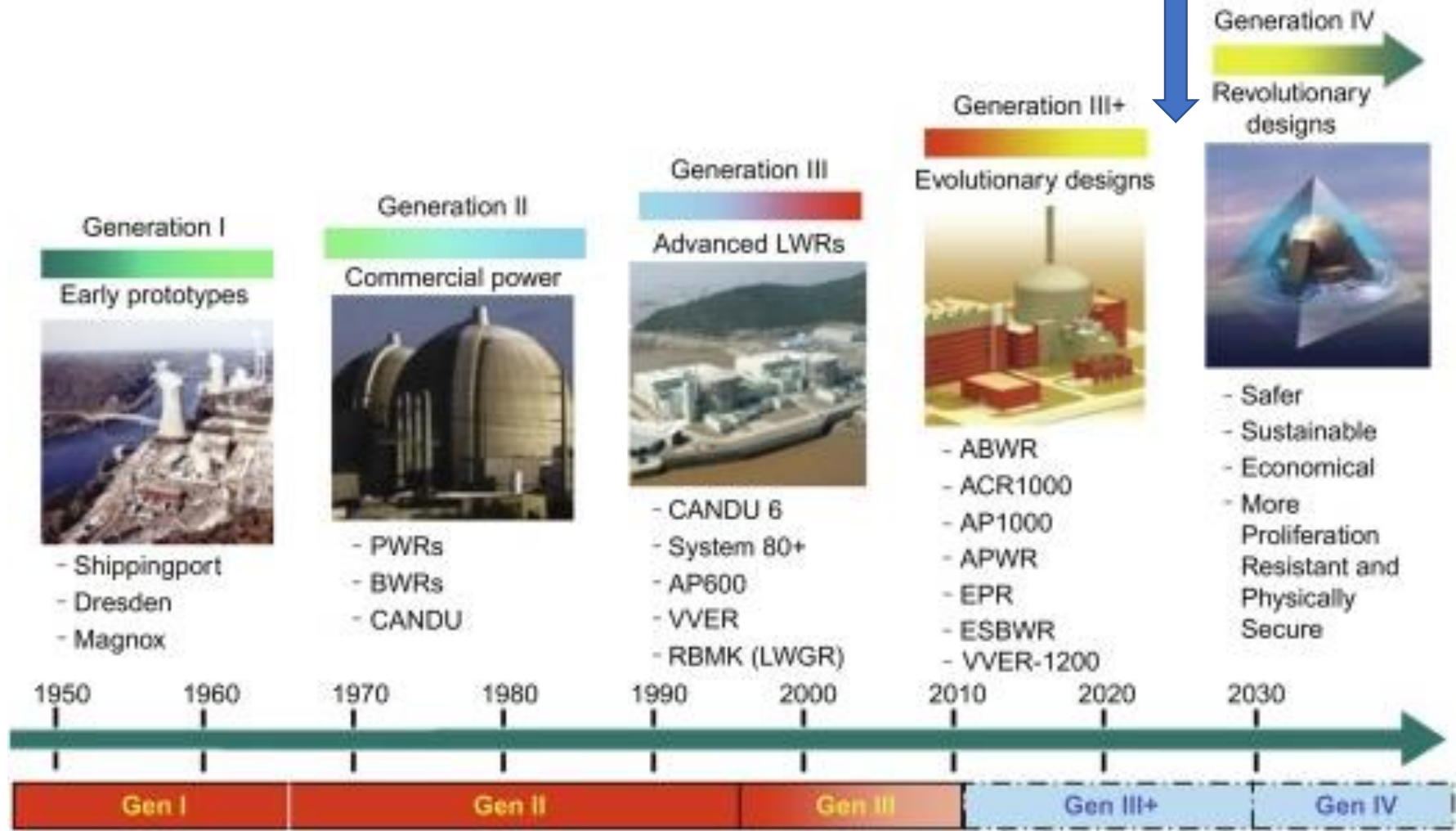
PG-CTE/ITA, CAP/INPE, UNIP/SJC

VI SENCIR – UFMG

10 de novembro de 2022

# No Mundo

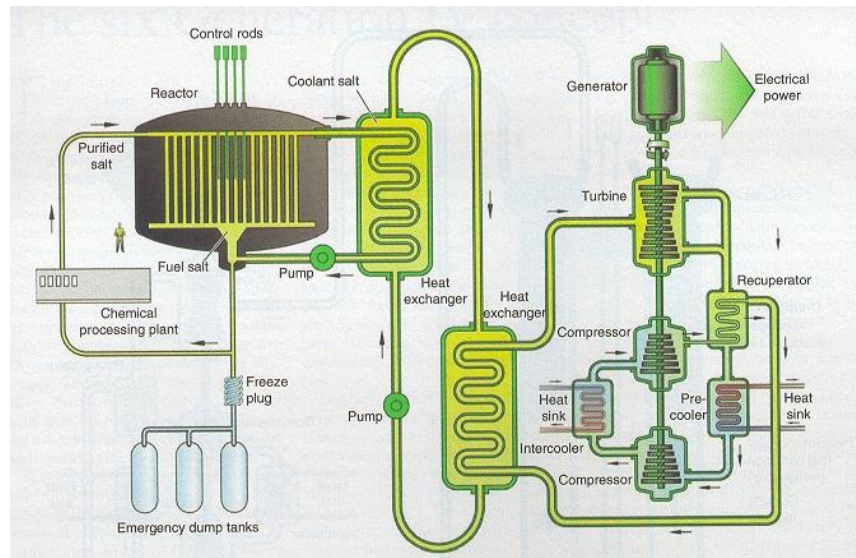
SMR



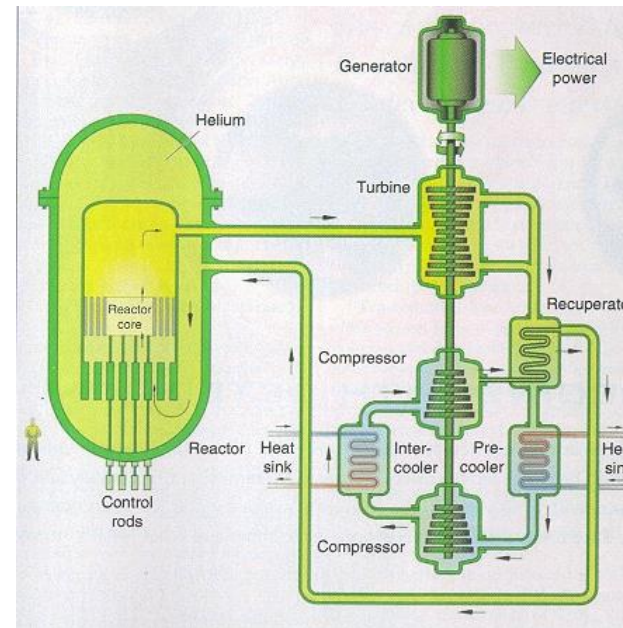
# No Mundo

## IV geração reatores do futuro

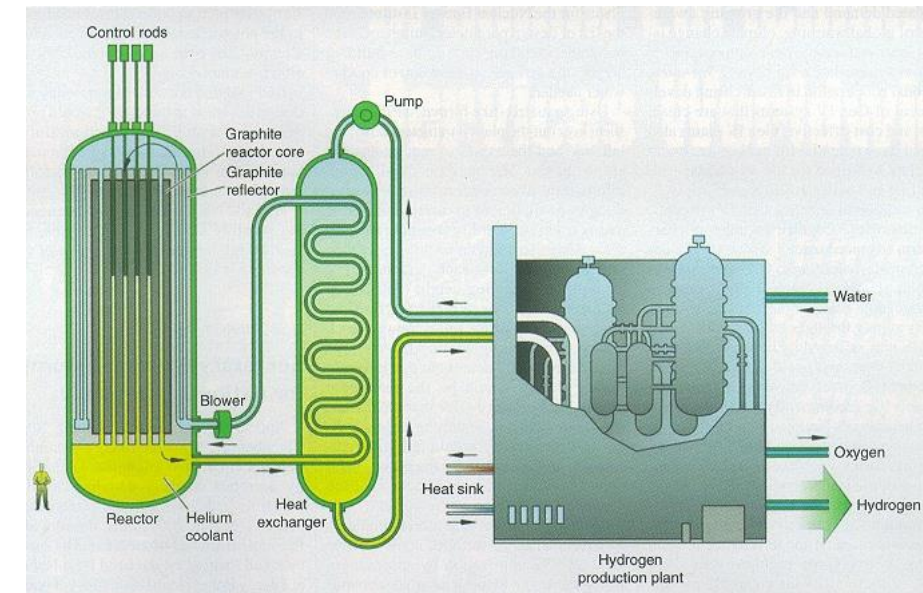
### Reator refrigerado a sal fundido



### Reator rápido refrigerado a gás



### Reator rápido refrigerado a gás de alta temperatura

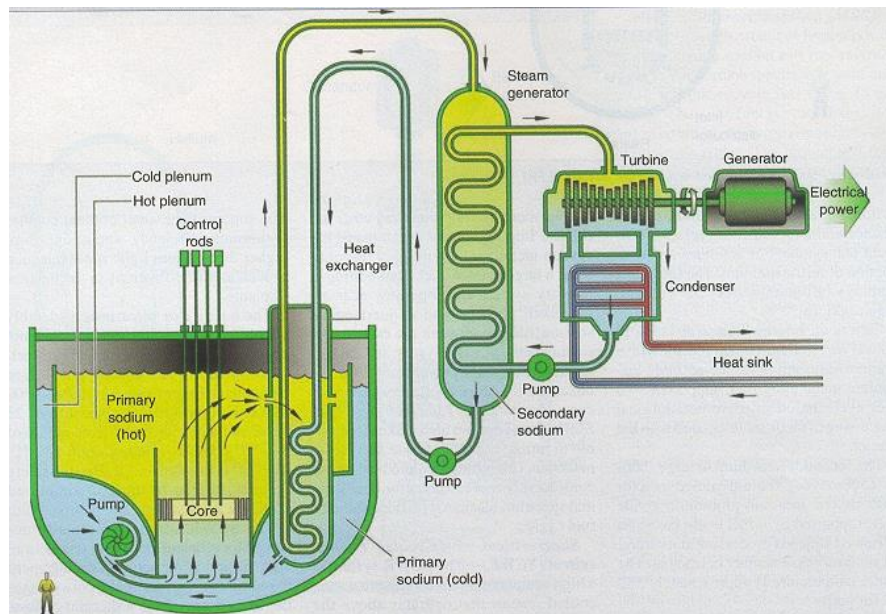




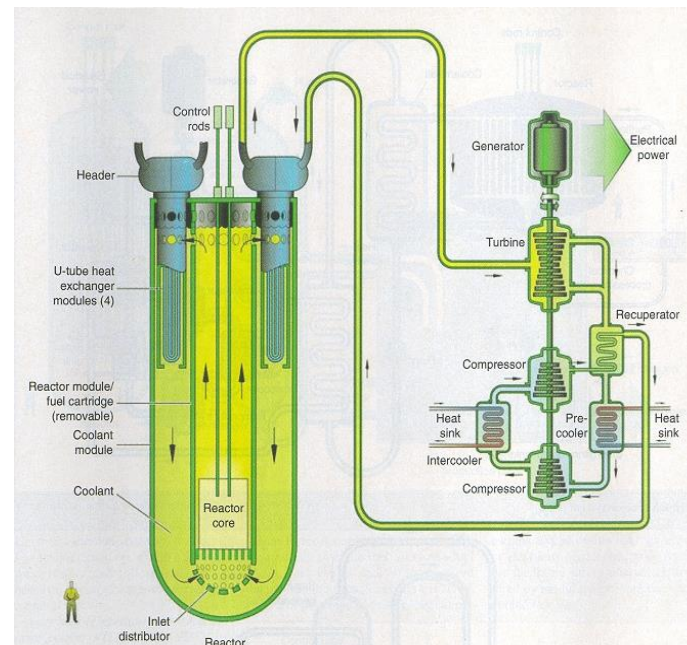
# No Mundo

## IV geração reatores do futuro

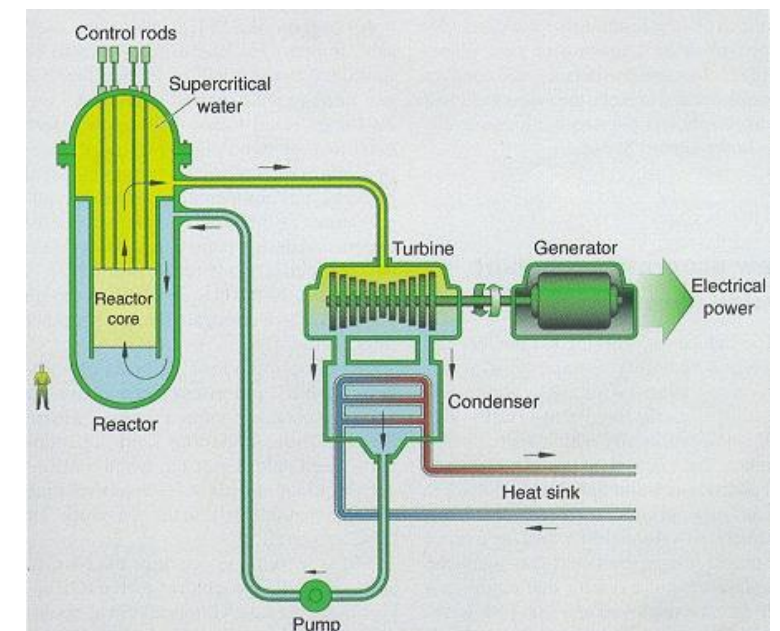
### Reator rápido refrigerado a sódio líquido



### Reator rápido refrigerado a chumbo líquido



### Reator refrigerado a água supercrítica





# Conceitos de SMRs

- SMR – “Small Modular Reactor.”
- Há certa confusão entre SMR e “small reator”. O segundo **não** privilegia a modularidade.
- Micro SMRs são reatores de potência menores que os SMR.
- Segundo AIEA\* existem 84 (72) conceitos de SMR e 12(6) conceitos de micro SMR.
- Intervalo de potência elétrica dos SMRs em MWe [5, 924].
- Intervalo de potência elétrica dos micro SMRs em MWe [0,001, 5].
- De todos, somente o e-Vinci da Westinghouse é transportável.

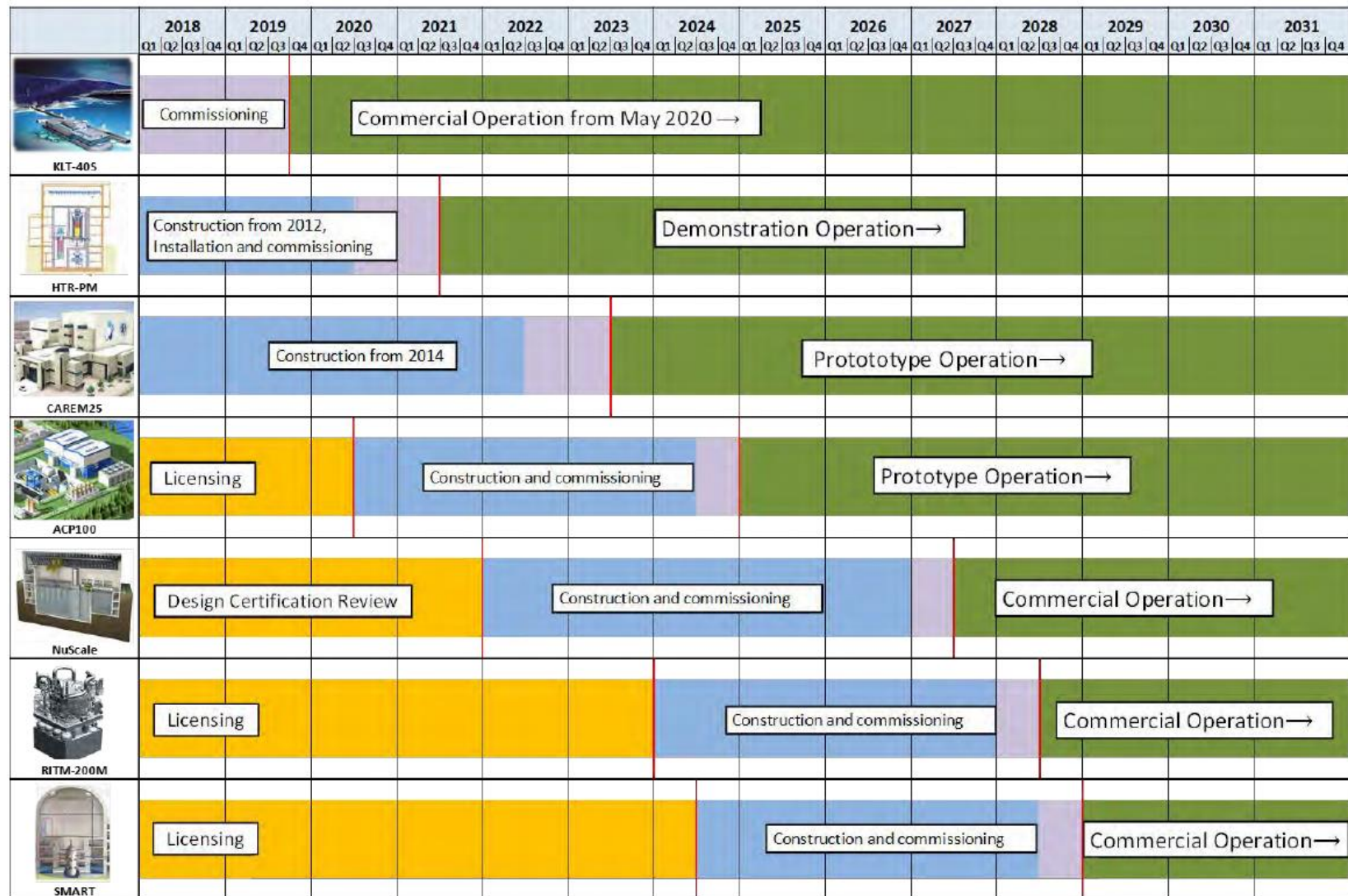


# Conceitos de SMRs

- Somente um SMR está em operação (KLT-40S). Esse SMS é russo e está na barcaça Akademic Lomonosov. Potência térmica do núcleo 135 MWth sendo 32 MWe. Há duas unidades destas, na barcaça.
- Existem mais 6 SMRs com boa chance de se tornarem operacionais até 2030.
- 27 Water cooled SMR (land base), 7 water cooled SMR (marine base)
- 17 HTGC SMR, 8 LMCFNS SMR, 13 Molten Salt SMR e
- 12 Microreactors.

# SMRs em operação ou próximo\*

Figure I-2 General Timeline of Deployment as of 2020



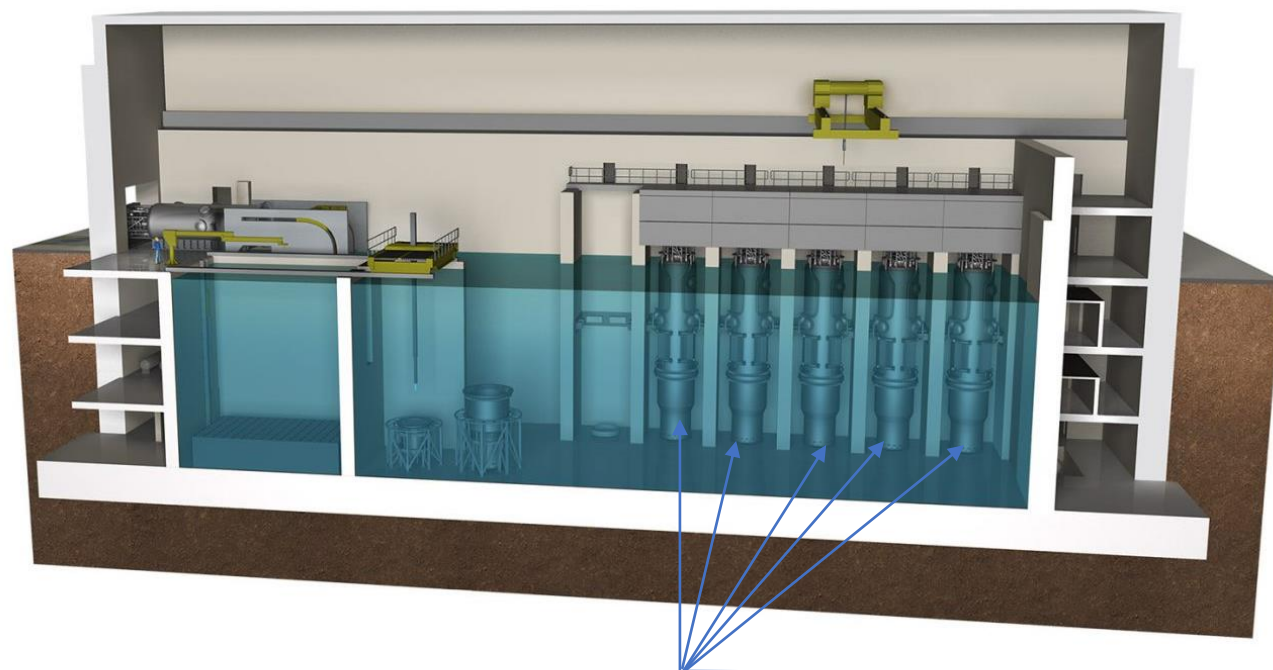
- ← Russo
- ← Chinês
- ← Argentino
- ← Chinês
- ← EUA
- ← Russo
- ← Coréia do Sul



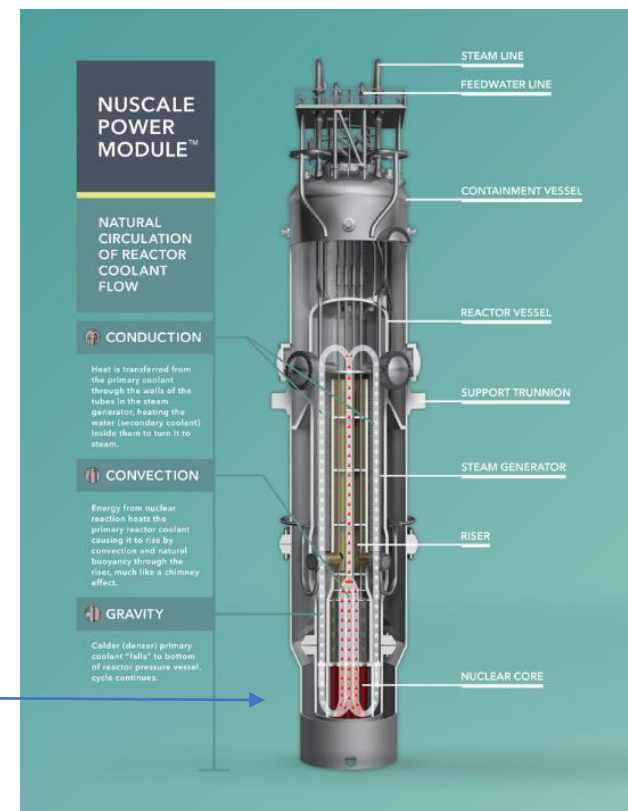




# NuScale excelência da modularidade



Módulo





# NuScale

- NuScale faz acordo (MOU) com Sul Coreanas. (26/04/2022 - Pulse)
  - GS Energy – operação de reatores.
  - Doosan Enerbility – equipamentos.
  - Samsung C&T – construção.
- Países interessados (MOU) România, Bulgária, República Tcheca, Polónia, Ucrânia e United Kingdom. Canadá.
- Prodigy, 12 módulos, 924 Mwe (77 MWe/módulo).

# Vantagens dos SMRs sobre grandes reatores.

## SMR

- Prodigy (924 Mwe) possui o inventário de PF dividido em 12 núcleos independentes e separados em módulos.
- AIEA vai propor processo unificado de licenciamento para SMRs.

## Grandes Reatores

- Grandes reatores (AP 1000) tem inventários de PF concentrado em um único núcleo.
- Cada órgão licenciador tem o seu processo de licenciamento.



# Conceitos de Microrreatores

- Núcleos bem compactos com potência térmica de até 4 MWth.
- Em geral, a eficiência de conversão térmica para elétrica é de 25%.
- O que coloca a potência elétrica a um máximo de 1 MWe.
- Os microrreatores ficam num intervalo de potência elétrica entre [0,001, 1] MWe. Ou [0,1, 1000] kWe.
- Nessa faixa pode-se produzir dois tipos de micro usinas, os quais utilizam dois ciclos térmicos diferentes.
- Em geral, quebra-se o intervalo acima em dois sobre postos, quais sejam: [0,1, 200] kWe e [70, 1000] kWe.



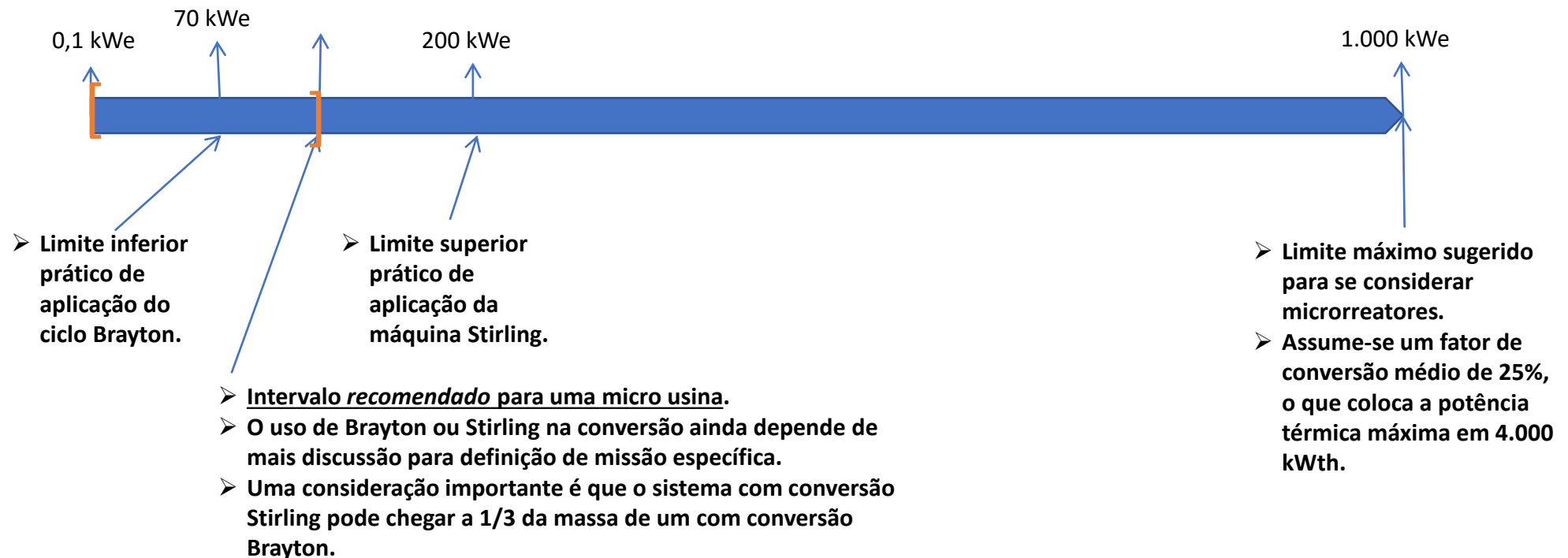
# Conceitos de Microrreator

- Na região de potência elétrica mais baixa [0,1, 200] kWe usa-se como conversor termo elétrico uma máquina de Stirling.
- Na região de potência elétrica mais alta [70, 1000] kWe usa-se como conversor termo elétrico um ciclo Brayton.
- Assim, se sua aplicação e necessidade estiver na região baixa o uso de máquina Stirling reduz a massa do sistema em 1/3.
- De outra forma, se sua aplicação estiver na faixa mais alta o ciclo Brayton deverá ser utilizado.
- Na região de sobreposição outras considerações terão que ser feitas, caso à caso.

# Conceitos de Microrreatores

Usos para um microrreator:

- gerar potência elétrica em regiões fora da malha elétrica Nacional,
- suprir energia elétrica em situações de catástrofes ambientais,
- suprir energia elétrica e calor em profundidades oceânicas,
- ser uma fonte de energia elétrica para as necessidades espaciais e operacionais.





# Proposta de microrreator Brasileiro experimental

- Microrreator com combustível de placa produzido no IPEN.
- Potência térmica inicial menor que 15KW.
- Um balanço de planta baseado em máquinas Stirling.
- Remoção de calor do núcleo realizada com tubos de calor.
- Arranjo deste sistema deve ser baseado nas dissertações da Ana Carolina e do Patryck da Silva Ferreira.
- SANTOS, Ana Carolina. **Análise de Ensaio do Acoplamento de Tubos de Calor em um Motor Stirling**. 2021. 156 f. Dissertação de mestrado em Ciências e Tecnologias Espaciais – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2021.
- Ferreira, Patryck. **Simulação Numérica de um Sistema de Conversão de Energia Espacial Baseado em Termossifão e Máquina Stirling**. 2021. 141 f. Dissertação de mestrado em Ciências e Tecnologias Espaciais – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2021.