



**RMB**

Reator  
Multipropósito  
Brasileiro

# Tecnologia Nuclear a Serviço da Vida

25° Aniversário – Fundação PATRIA  
Iperó  
23 Outubro 2017

José Augusto Perrotta



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,  
INOVAÇÃO E COMUNICAÇÕES



## Reatores Nucleares de Pesquisa no Brasil

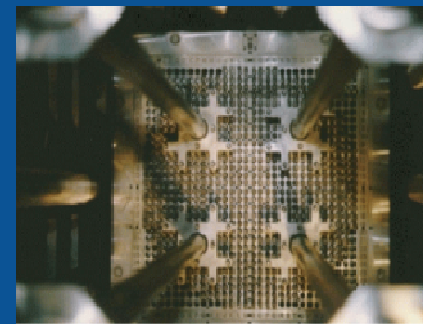
Nome	Utilização	Potência	Localização	Início de Operação	Tipo
IPEN/MB-01	Unidade Crítica – Análise de Núcleo de PWR	100 W	IPEN/CNEN-SP São Paulo	1988	Núcleo Aberto – Vareta
ARGONAUTA	Pesquisa – Ensino	500 W	IEN/CNEN-RJ Rio de Janeiro	1965	Argonaut
IPR-R1	Pesquisa – Ensino	100 kW	CDTN/CNEN-MG Belo Horizonte	1960	TRIGA MARK-I
IEA-R1	Pesquisa e Produção de Radioisótopos	5 MW (2MW)	IPEN/CNEN-SP São Paulo	1957	Reator MTR Piscina Aberta



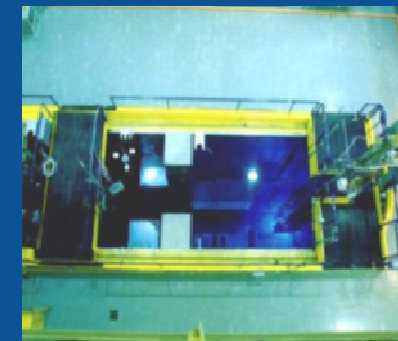
IPR-R1



ARGONAUTA



IPEN/MB-01



IEA-R1

## Porque um Novo Reator de Pesquisa?

- O RMB dotará o Brasil de uma **infraestrutura fundamental** para o desenvolvimento nacional das atividades do setor nuclear nas áreas de:
  - ✓ **aplicações sociais,**
  - ✓ **estratégicas e industriais,**
  - ✓ **desenvolvimento científico e tecnológico.**
- **Projeto estruturante e de arraste.**



## Objetivos do Empreendimento RMB

### Aplicações Sociais

- ➔ Autonomia nacional na produção de radioisótopos para aplicações na saúde, indústria, agricultura e meio ambiente
- ➔ Ênfase na produção do radioisótopo Mo-99 para assegurar o abastecimento do radiofármaco com tecnécio-99m
- ➔ Ampliação da medicina nuclear no país em benefício da sociedade

**RMB é fundamental para garantir segurança no suprimento de tecnécio-99m**

# REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO



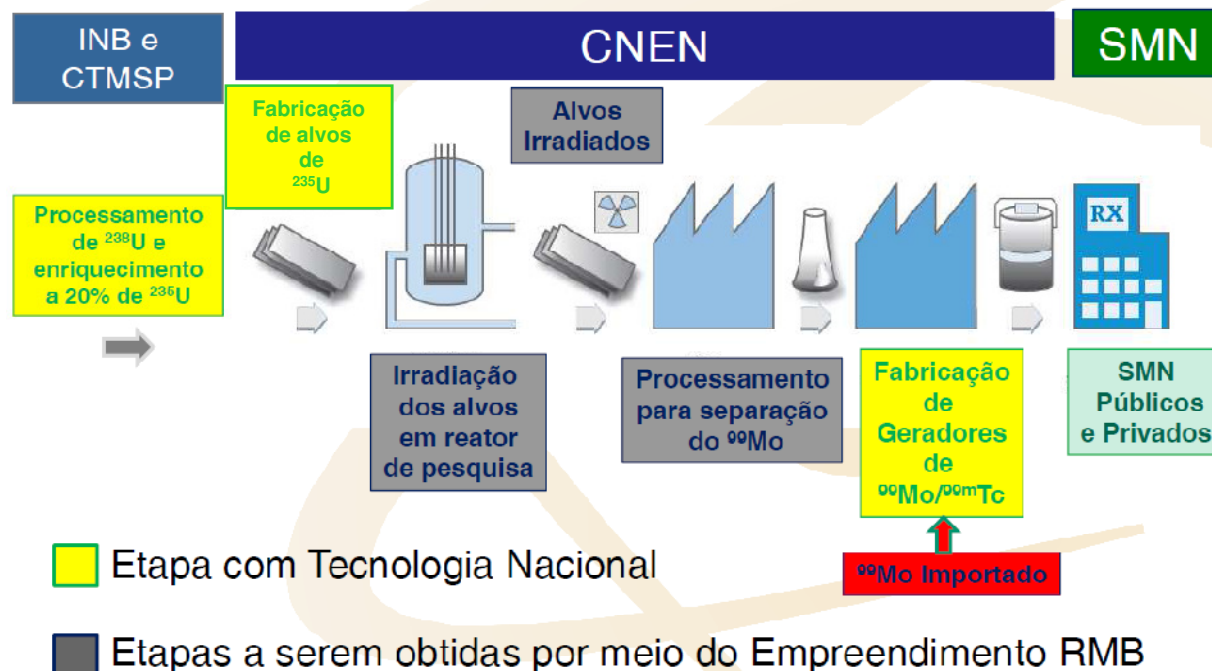
**RMB**  
Tecnologia Nuclear  
a Serviço da Vida

## Radionuclídeos utilizados na Medicina

Radionuclídeo	Forma de Produção	Aplicação	Situação no Brasil
$^{99m}\text{Tc}$	Produção de $^{99}\text{Mo}$ em reator nuclear de pesquisa	Diagnóstico	100% importado Gerador produzido no IPEN
$^{131}\text{I}$	Produção em reator nuclear de pesquisa	Diagnóstico Terapia	Parcialmente importado Processado no IPEN
$^{51}\text{Cr}$	Produção em reator nuclear de pesquisa	Diagnóstico	100% importado
$^{153}\text{Sm}$	Produção em reator nuclear de pesquisa	Terapia	100% nacional Produzido no IPEN
$^{90}\text{Y}$	Produção em reator nuclear de pesquisa	Terapia	100% importado
$^{177}\text{Lu}$	Produção em reator nuclear de pesquisa	Terapia	100% importado
$^{125}\text{I}$	Produção em reator nuclear de pesquisa	Braquiterapia	100% importado Processado no IPEN
$^{192}\text{Ir}$	Produção em reator nuclear de pesquisa	Braquiterapia	100% importado
$^{60}\text{Co}$	Produção em reator nuclear de pesquisa	Teleterapia	100% importado
$^{18}\text{F}$	Produzido em Cíclotron	Diagnóstico	100% nacional
$^{123}\text{I}$	Produzido em Cíclotron	Diagnóstico	100% nacional
$^{111}\text{In}$	Produzido em Cíclotron	Diagnóstico	100% importado
$^{67}\text{Ga}$	Produzido em Cíclotron	Diagnóstico	Parcialmente nacional
$^{201}\text{Tl}$	Produzido em Cíclotron	Diagnóstico	Parcialmente nacional



## Etapas da Cadeia de Suprimento de $^{99}\text{Mo}$



- São atendidas mais de 400 clínicas /semana
- Mais de 1,7 milhões de procedimentos/ano
- Os geradores são produzidos com  $^{99}\text{Mo}$  **importado**
- Custo de importação:
  - > US\$ 15 milhões /ano para  $^{99}\text{Mo}$
  - > US\$ 3 milhões por ano com importação de outros radioisótopos utilizados na Saúde



## Objetivos do Empreendimento RMB

### Estratégicos e Industriais

- ➔ Criação de capacidade nacional para testar e qualificar:
- combustíveis nucleares para reatores de potência e de propulsão naval;
  - novos combustíveis para reatores de pesquisa; e
  - materiais para serem utilizados em reatores nucleares

**RMB é fundamental para o desenvolvimento nacional de combustíveis nucleares e materiais para uso em reatores**



## Objetivos do Empreendimento RMB Estratégicos e Industriais





## Objetivos do Empreendimento RMB

### Desenvolvimento Científico e Tecnológico

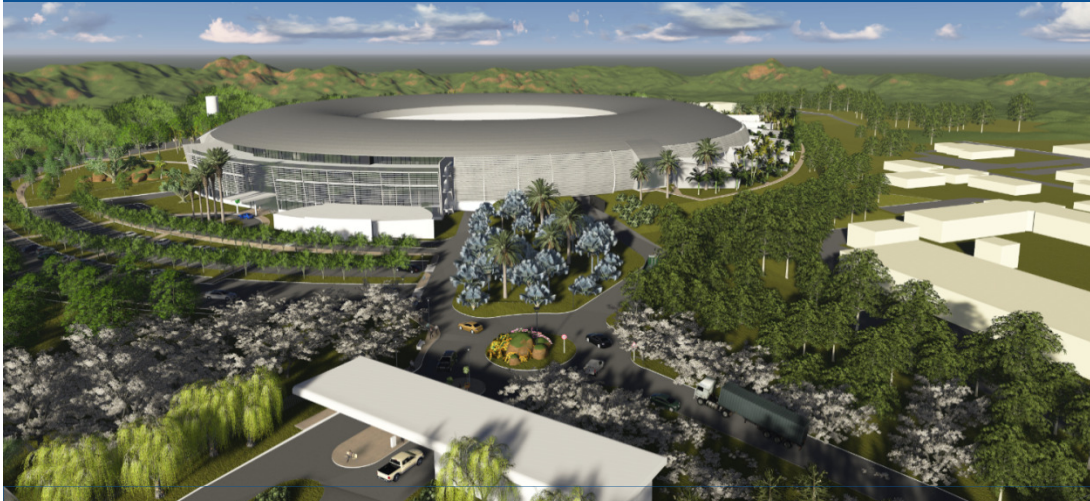
- ➔ Ampliação da capacidade nacional existente em pesquisa e em aplicações de técnicas nucleares
- ➔ Laboratório de Análise por Ativação disponível à comunidade científica nacional
- ➔ Criação de um Laboratório Nacional de pesquisas com feixes de nêutrons para complementar as pesquisas feitas no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron – LNLS/CNPEM

**RMB amplia a capacidade nacional em ciência, tecnologia e inovação.**

# REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO



**RMB**  
Tecnologia Nuclear  
a Serviço da Vida



RMB um Laboratório Nacional para Utilização de Feixe de Nêutrons em complemento ao LNLS (CNPEM)

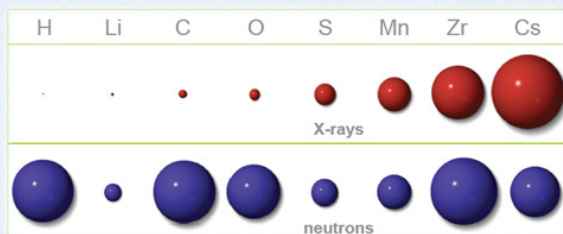
LNLS- Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (em operação)

Sirius–Nova fonte de luz síncrotron brasileira (em projeto)

## X-RAYS & NEUTRONS CROSS SECTIONS

### X-ray and neutron cross sections

As compared with x-ray scattering cross sections, which vary as  $Z^2$ , neutron scattering cross sections show little systematic variation with atomic number.



# REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO



**RMB**  
Tecnologia Nuclear  
a Serviço da Vida

## RESPONSÁVEL PELO EMPREENDIMENTO

Ministério da Ciência Tecnologia Inovações e Comunicações

Empreendedor

Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN

Órgão  
Responsável

Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento - DPD



Coexecutor

AMAZUL

Amazônia Azul Tecnologias de Defesa S.A.

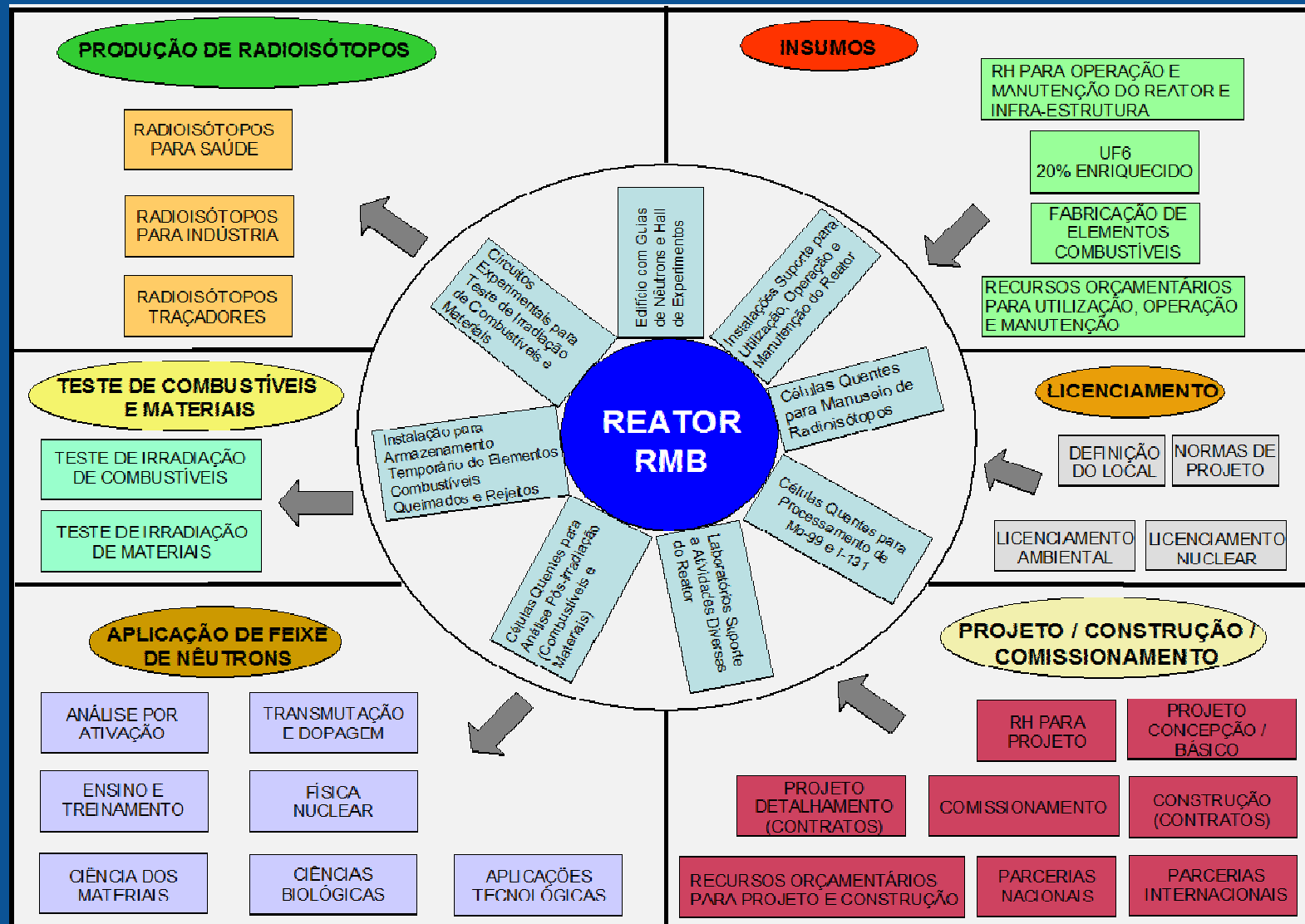


APOIO





## Escopo do Empreendimento





## ETAPAS DE IMPLANTAÇÃO

2008							2015							2022				
<b>Prospecção do Local</b>																		
<b>Projeto Conceitual</b>																		
<b>Projeto Básico</b>																		
<b>Projeto Detalhado da NPP</b>																		
<b>Suprimento da NPP</b>																		
<b>Construção NPP</b>																		
<b>Desenvolvimento do Combustível</b>																		
<b>Licenciamento Ambiental</b>																		
<b>Licenciamento Nuclear</b>																		
<b>Comissionamento da NPP</b>																		
<table border="1"> <tr> <td>Em Execução</td> </tr> <tr> <td>Concluído</td> </tr> <tr> <td>Não Iniciado</td> </tr> <tr> <td>Execução Futura</td> </tr> </table>															Em Execução	Concluído	Não Iniciado	Execução Futura
Em Execução																		
Concluído																		
Não Iniciado																		
Execução Futura																		

Custo Previsto: US\$ 500 milhões  
Ação PPA 12P1 - PAC/FNDCT



REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO



**RMB**  
Tecnologia Nuclear  
a Serviço da Vida

## INSTALAÇÕES DO RMB

Terreno em Iperó/SP





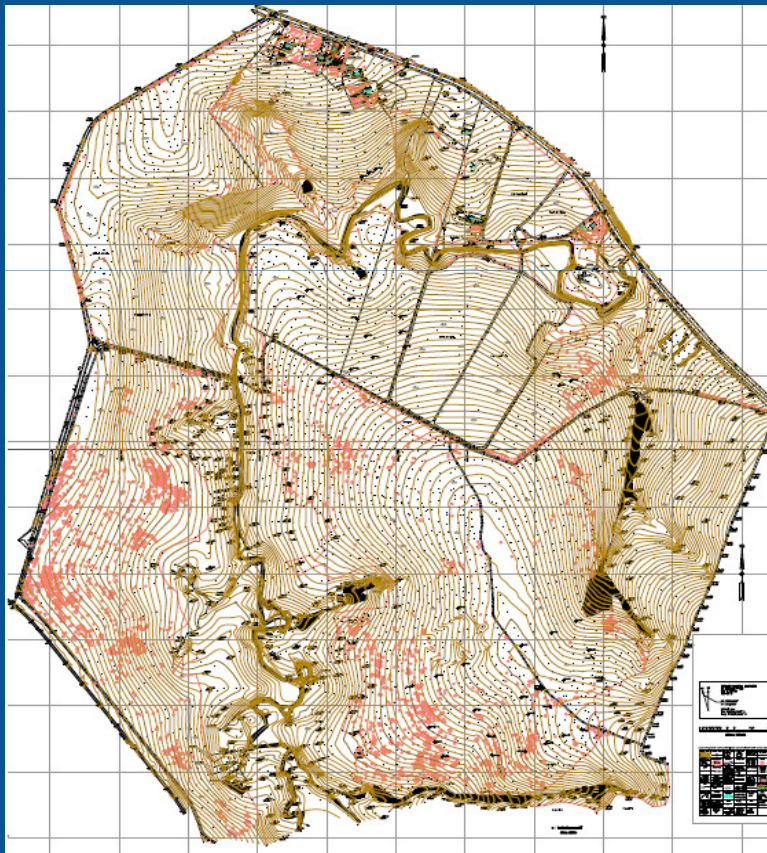
## INSTALAÇÕES DO RMB

Terreno em Iperó/SP



## Prospecção do Local

### Levantamento Topográfico



### Sondagem



### Torre Meteorológica





## Prospecção do Local

### Monitoração Ambiental - Iperó



### Monitoração Ambiental - Terreno



### Detalhe da Torre Meteorológica





## ETAPAS DE IMPLANTAÇÃO

2008							2015							2022
Prospecção do Local														
Projeto Conceitual														
Projeto Básico														
Projeto Detalhado da NPP														
Suprimento da NPP														
Construção NPP														
Envolvimento do Combustível														
Licenciamento Ambiental														
Licenciamento Nuclear														
Comissionamento da NPP														

### Projeto Conceitual e Básico

- Projeto de concepção dos sistemas do reator e principais instalações realizado por técnicos dos institutos da CNEN
- Convênio CNEN/FINEP/REDETEC No. 01.10.0704.00 de R\$ 50 milhões para Desenvolvimento do projeto básico.
- Projeto de engenharia conceitual e básico de prédios, sistemas e infraestrutura: empresa nacional **INTERTECHNE** - contratada em 02/01/2012 concluído em Dezembro de 2014.

Custo Previsto: US\$ 500 milhões  
Ação PPA 12P1 - PAC/FNDCT



## ETAPAS DE IMPLANTAÇÃO

2008							2015							2022
Prospecção do Local														
Projeto Conceitual														
Projeto Básico														

### Projeto Conceitual e Básico

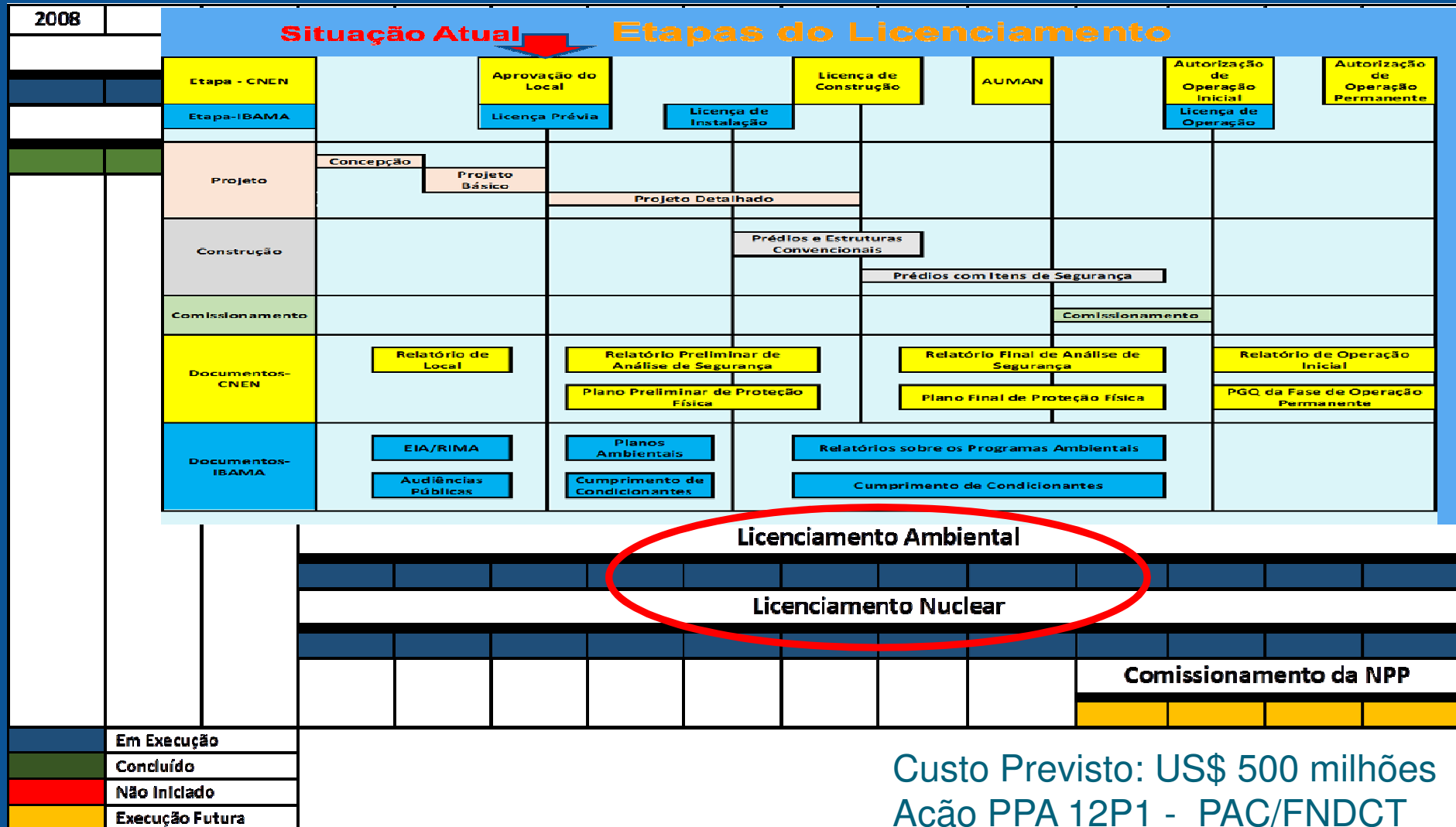
- Projeto de concepção dos sistemas do reator e principais instalações realizado por técnicos dos institutos da CNEN
- Convênio CNEN/FINEP/REDETEC No. 01.10.0704.00 de R\$ 50 milhões para Desenvolvimento do projeto básico.
- Projeto de engenharia conceitual e básico de prédios, sistemas e infraestrutura: empresa nacional **INTERTECHNE** - contratada em 02/01/2012 concluído em Dezembro de 2014.

### Projeto Conceitual e Básico

- **Acordo de Cooperação CNEN/CNEA**, no âmbito da **COBEN**, assinado em 31 de janeiro de 2011.
- Neste acordo foi assumido que Brasil e Argentina adotariam o reator de pesquisa OPAL, construído na Austrália e projetado pela empresa argentina INVAP, como reator de referência para os projetos básicos dos reatores de pesquisa **RMB** e **RA-10**.
- Projeto de engenharia básico dos itens e sistemas nucleares do reator: **INVAP** - contratada em 06/05/2013 concluído em Dezembro de 2014.



## ETAPAS DE IMPLANTAÇÃO



Custo Previsto: US\$ 500 milhões  
Ação PPA 12P1 - PAC/FNDCT





## ETAPAS DE IMPLANTAÇÃO

➤ Em execução o projeto de R\$ 25M (FINEP) para adequação da fabricação de combustíveis e alvos; e modificação do Reator IPEN/MB-01 para núcleo tipo placa como o RMB.

- ✓ CTMSP – adequação de uma linha exclusiva de enriquecimento a 20% para atender o RMB
- ✓ IPEN – adequação do Centro do Combustível Nuclear (CCN) para atender o RMB
- ✓ IPEN – projeto, fabricação, licenciamento e operação de um núcleo tipo placa combustível (tipo RMB) no reator IPEN/MB-01

Desenvolvimento do Combustível

Enriquecimento Isotópico – Cascata  
Inaugurada em 08/12/2016

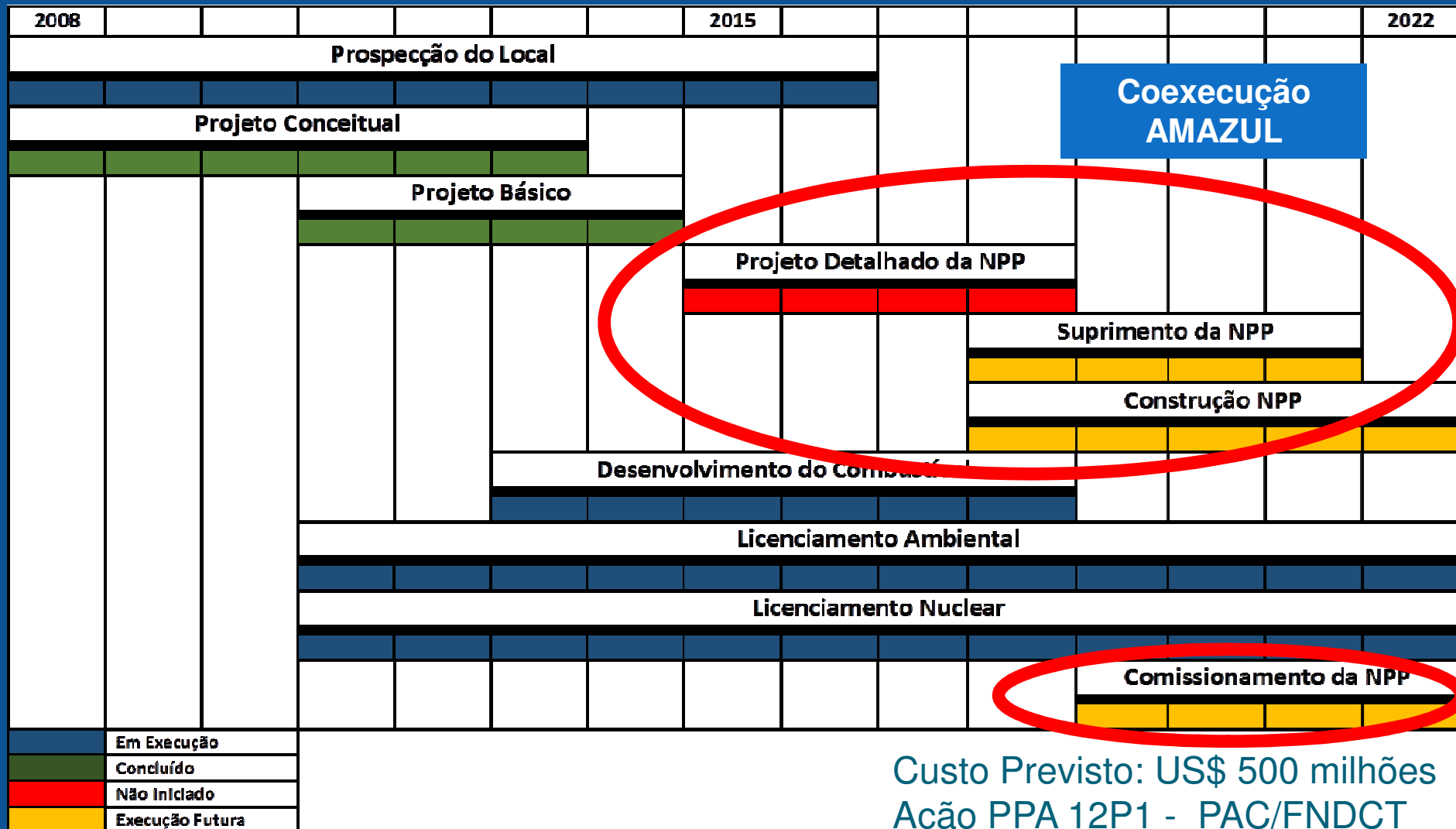
Licenciamento

Entrega do Primeiro Elemento  
Combustível em 31/08/2017





## ETAPAS DE IMPLANTAÇÃO





## Cooperação CNEN-AMAZUL

- Convênio de Parceria **CNEN-AMAZUL** para Implantação do RMB
- Convênio FINEP de R\$150M para execução do projeto detalhado do reator (Prédios N01, N02, N03, N07, N16, + ESCs associados) – (**Fundação PATRIA**).

- ✓ **AMAZUL** como a empresa brasileira de engenharia para executar o projeto detalhado.
- ✓ Base de trabalho de engenharia de 500 mil homens-hora . Mais de 70 pacotes de trabalho. Duração de 30 meses.
- ✓ Contrato em discussão com a empresa **INVAP** da Argentina, para pacotes de trabalho nucleares, com base no convênio **CNEN-CNEA** para os reatores **RMB** e **RA-10**.

## Responsabilidades da AMAZUL no projeto

- Elaborar documentação de engenharia
- Verificar e fiscalizar documentação da INVAP e contratadas
- Integrar as partes de projeto INVAP, CNEN e AMAZUL
- Estabelecer logística de implantação
- Elaborar orçamento de implantação
- Preparar aquisição dos principais itens
- Dar suporte ao licenciamento nuclear e ambiental
- Preparar equipes de implantação e operação
- Auxiliar na obtenção de recursos para o empreendimento

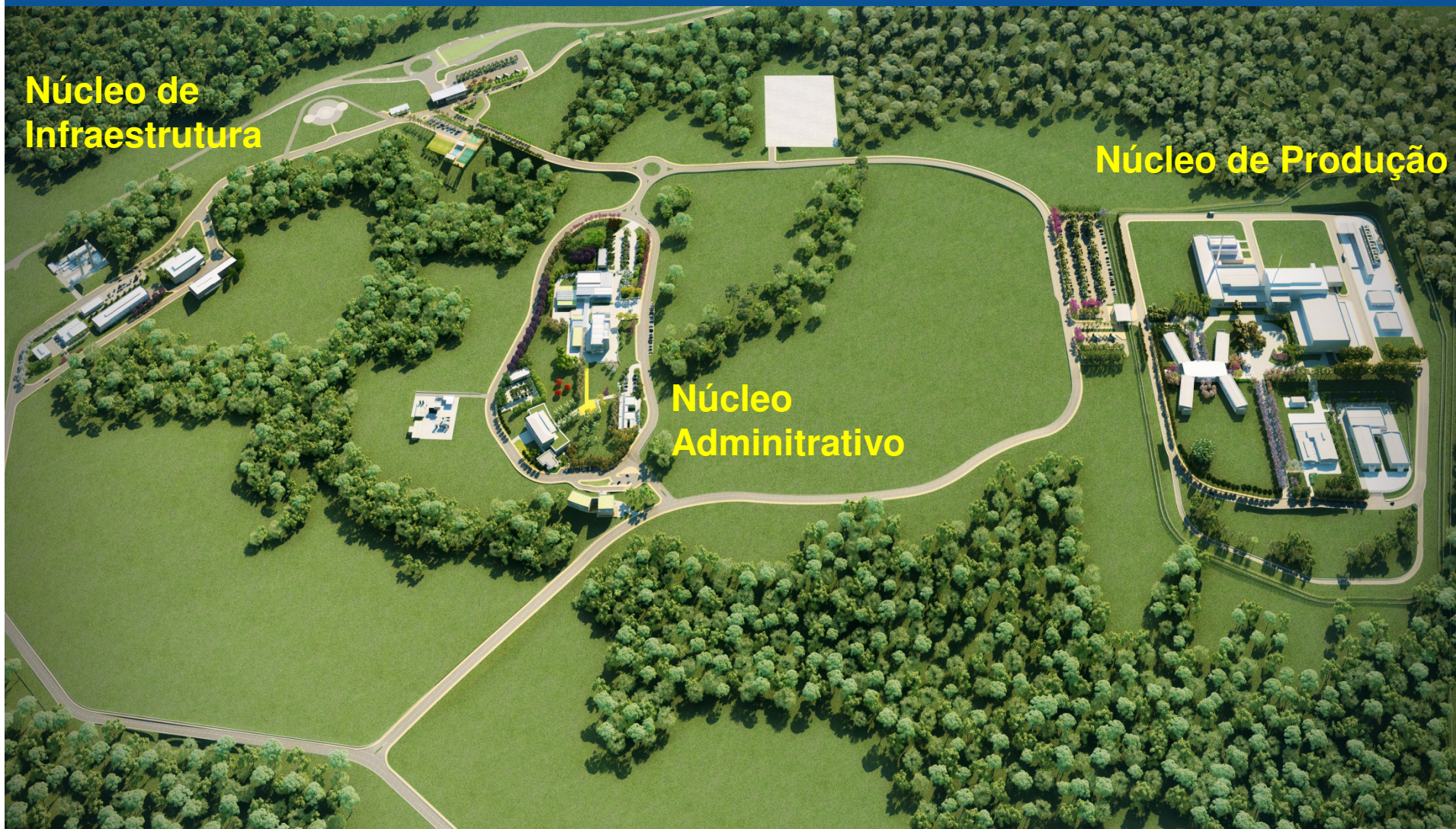
## INSTALAÇÕES DO RMB

Plano Diretor



## INSTALAÇÕES DO RMB

Plano Diretor



REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO



**RMB**  
Tecnologia Nuclear  
a Serviço da Vida

## INSTALAÇÕES DO RMB

Portaria RMB



REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO



**RMB**  
Tecnologia Nuclear  
a Serviço da Vida

## INSTALAÇÕES DO RMB

Portaria RMB



REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO



**RMB**  
Tecnologia Nuclear  
a Serviço da Vida

## INSTALAÇÕES DO RMB

Centro de Infraestrutura



REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO



**RMB**  
Tecnologia Nuclear  
a Serviço da Vida

## INSTALAÇÕES DO RMB

Centro de Infraestrutura



REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO



**RMB**  
Tecnologia Nuclear  
a Serviço da Vida

## INSTALAÇÕES DO RMB

Centro de Infraestrutura





## INSTALAÇÕES DO RMB

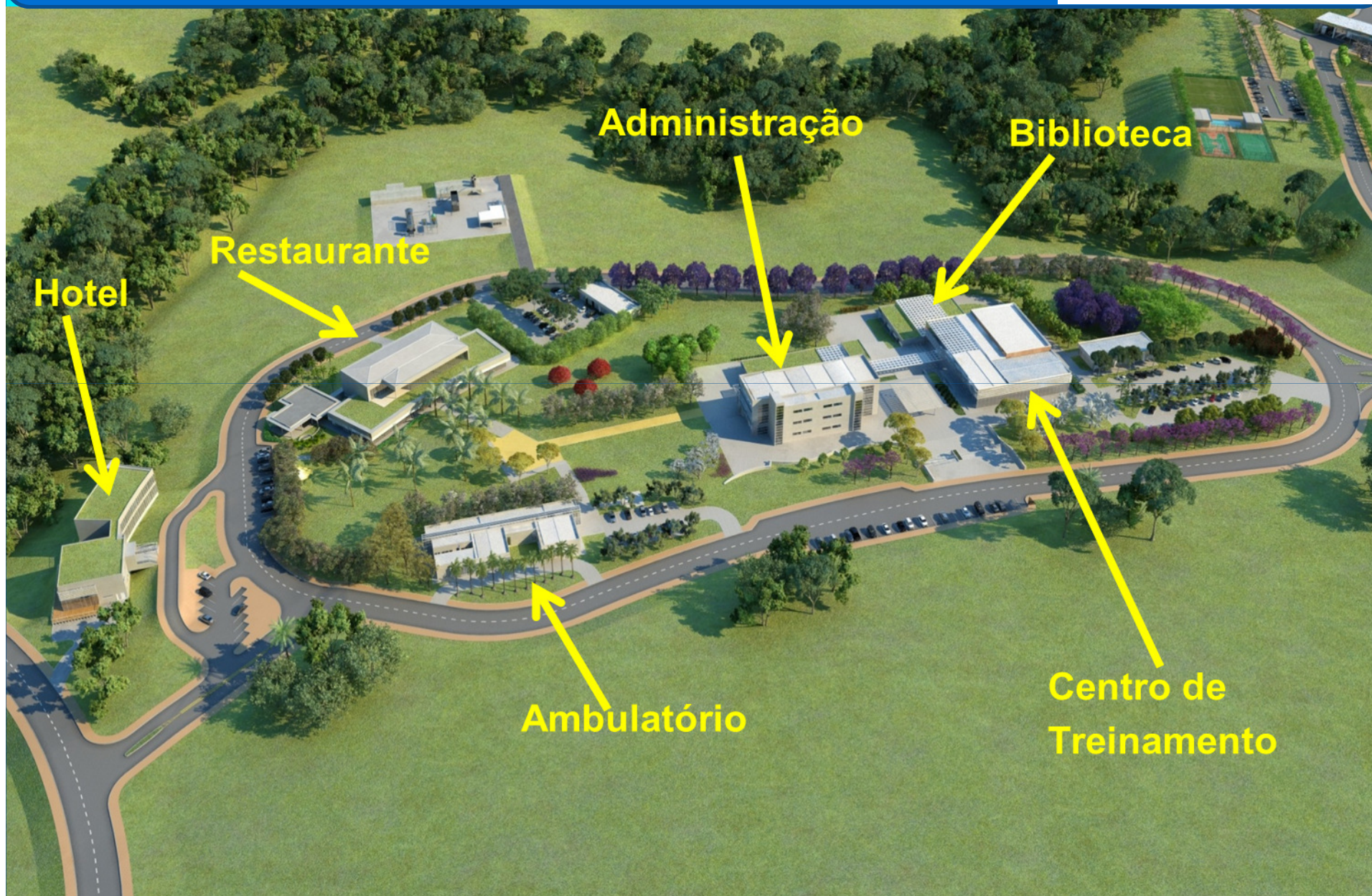
Centro de Lazer



# REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO



**RMB**  
Tecnologia Nuclear  
a Serviço da Vida



REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO



**RMB**  
Tecnologia Nuclear  
a Serviço da Vida

## INSTALAÇÕES DO RMB

Prédio Administração



REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO



**RMB**  
Tecnologia Nuclear  
a Serviço da Vida

## INSTALAÇÕES DO RMB

Prédio Administração



REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO



**RMB**  
Tecnologia Nuclear  
a Serviço da Vida

## INSTALAÇÕES DO RMB

Centro de Ensino e Auditório



REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO



**RMB**  
Tecnologia Nuclear  
a Serviço da Vida

## INSTALAÇÕES DO RMB

Centro de Ensino



REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO



**RMB**  
Tecnologia Nuclear  
a Serviço da Vida

## INSTALAÇÕES DO RMB

Ambulatório





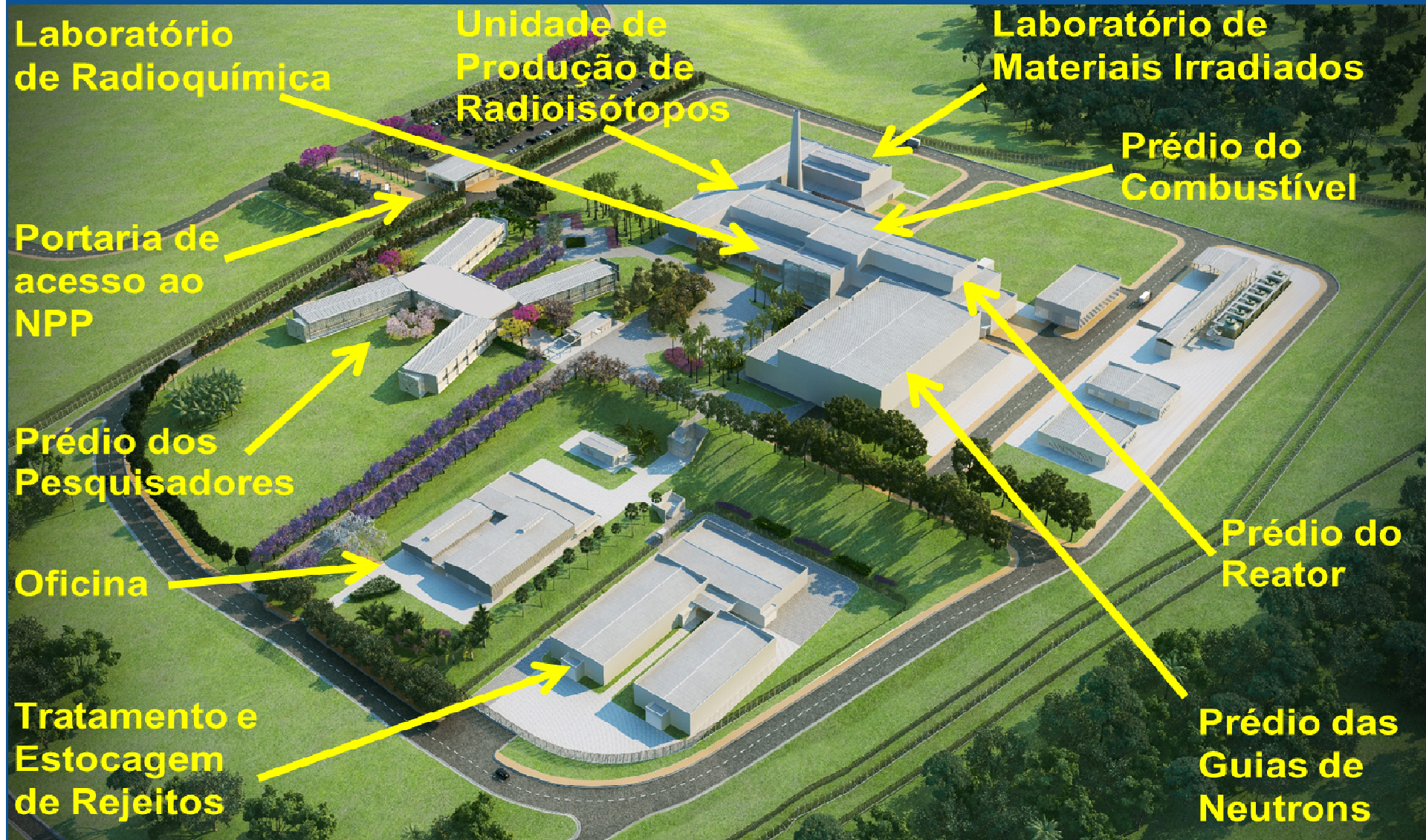
## INSTALAÇÕES DO RMB

Restaurante



## INSTALAÇÕES DO RMB

## Núcleo de Produção e Pesquisa



# REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO



**RMB**  
Tecnologia Nuclear  
a Serviço da Vida

## INSTALAÇÕES DO RMB

Entrada do NPP



REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO



**RMB**  
Tecnologia Nuclear  
a Serviço da Vida

## INSTALAÇÕES DO RMB

Prédio do Reator e Laboratórios



REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO



**RMB**  
Tecnologia Nuclear  
a Serviço da Vida

## INSTALAÇÕES DO RMB

Prédio do Reator e Laboratórios



REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO



**RMB**  
Tecnologia Nuclear  
a Serviço da Vida

## INSTALAÇÕES DO RMB

Prédio dos Pesquisadores



REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO



**RMB**  
Tecnologia Nuclear  
a Serviço da Vida

## INSTALAÇÕES DO RMB

Prédio dos Pesquisadores



REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO



**RMB**  
Tecnologia Nuclear  
a Serviço da Vida

## INSTALAÇÕES DO RMB

Entrada do Prédio do Reator e  
Laboratório de Feixe de Nêutrons



# REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO



**RMB**  
Tecnologia Nuclear  
a Serviço da Vida

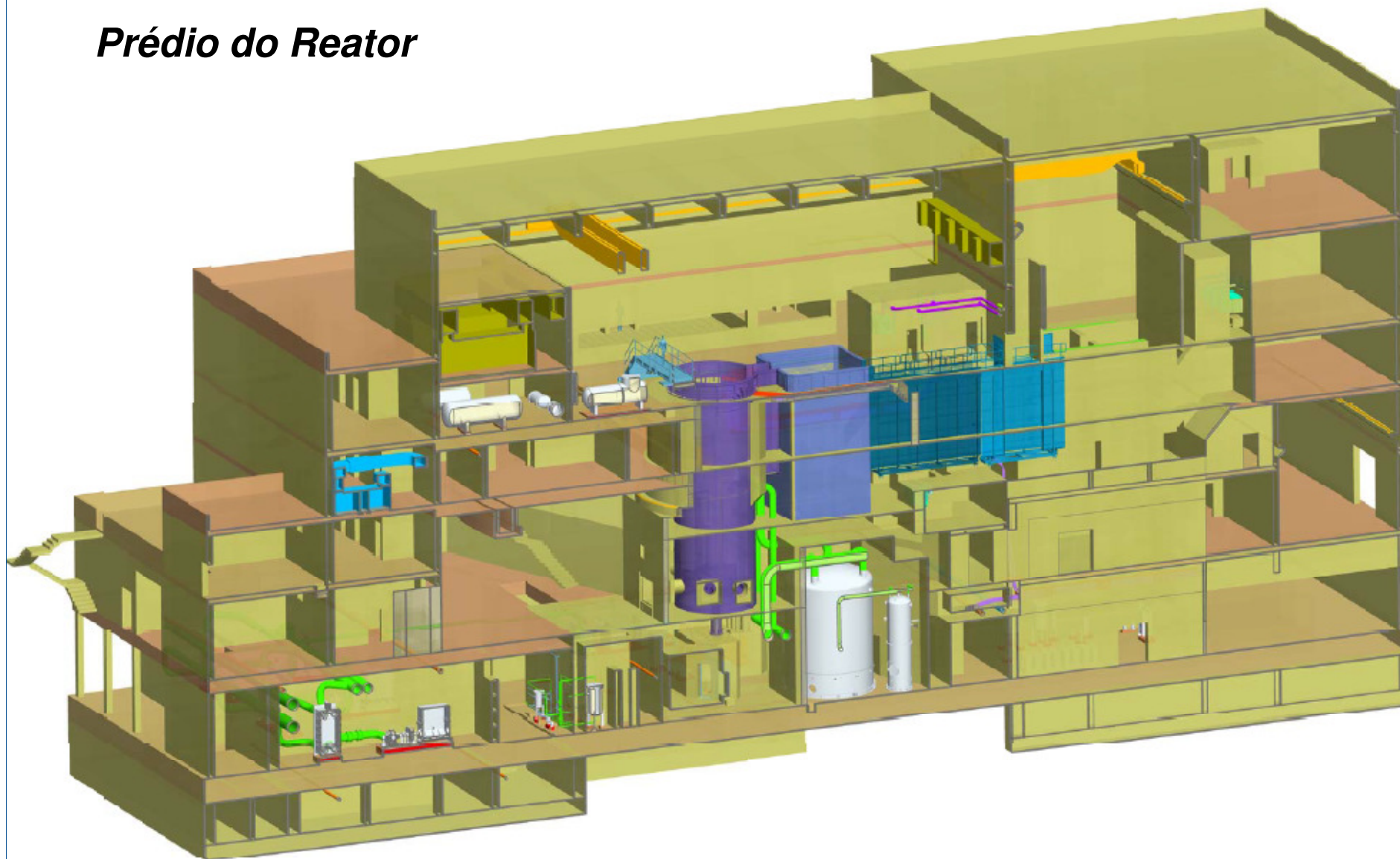
## INSTALAÇÕES DO RMB

Prédio da Estocagem e  
Tratamento de Rejeitos





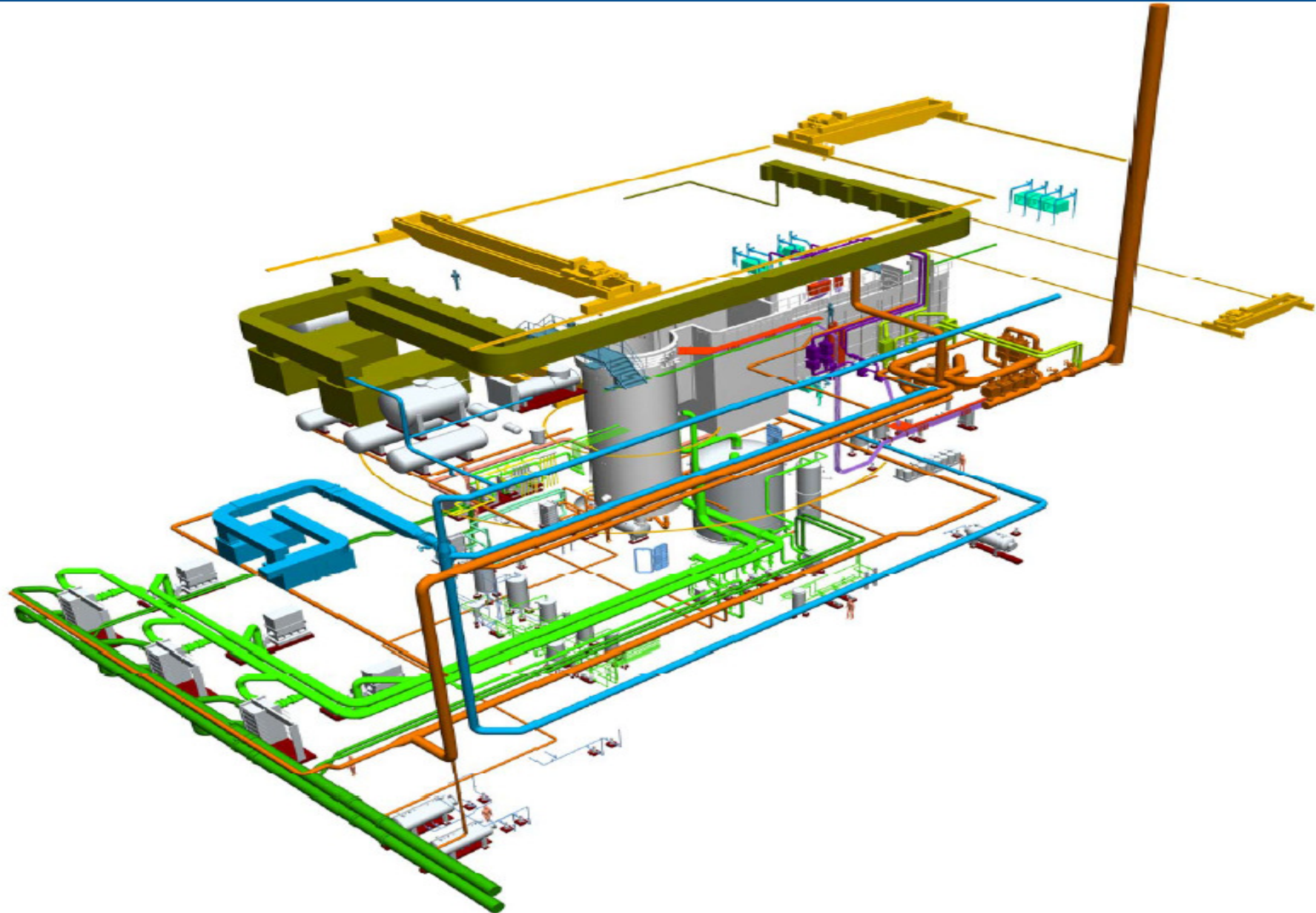
## *Prédio do Reator*



# REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO



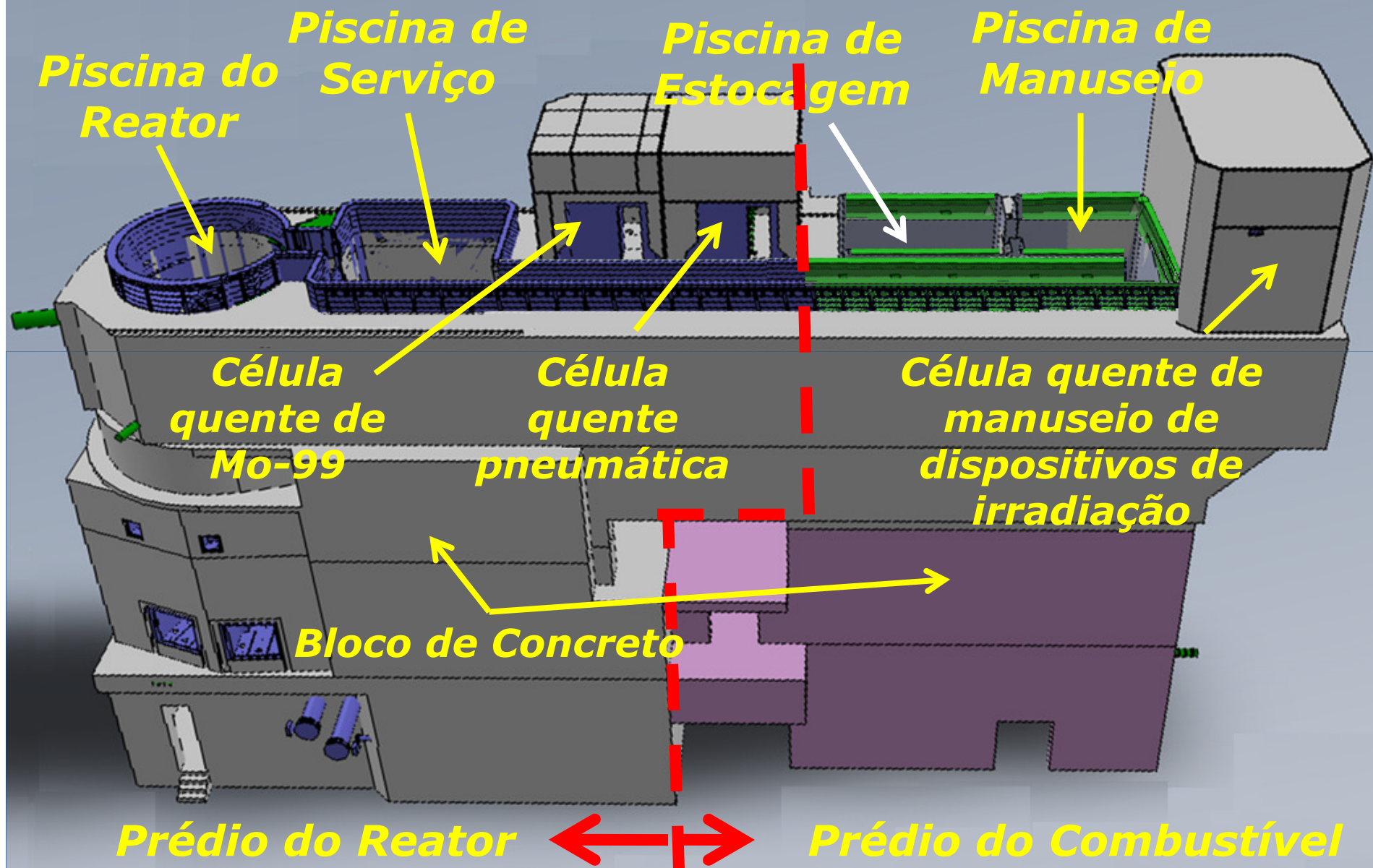
**RMB**  
Tecnologia Nuclear  
a Serviço da Vida



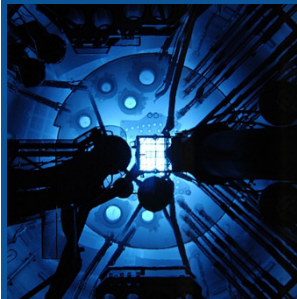
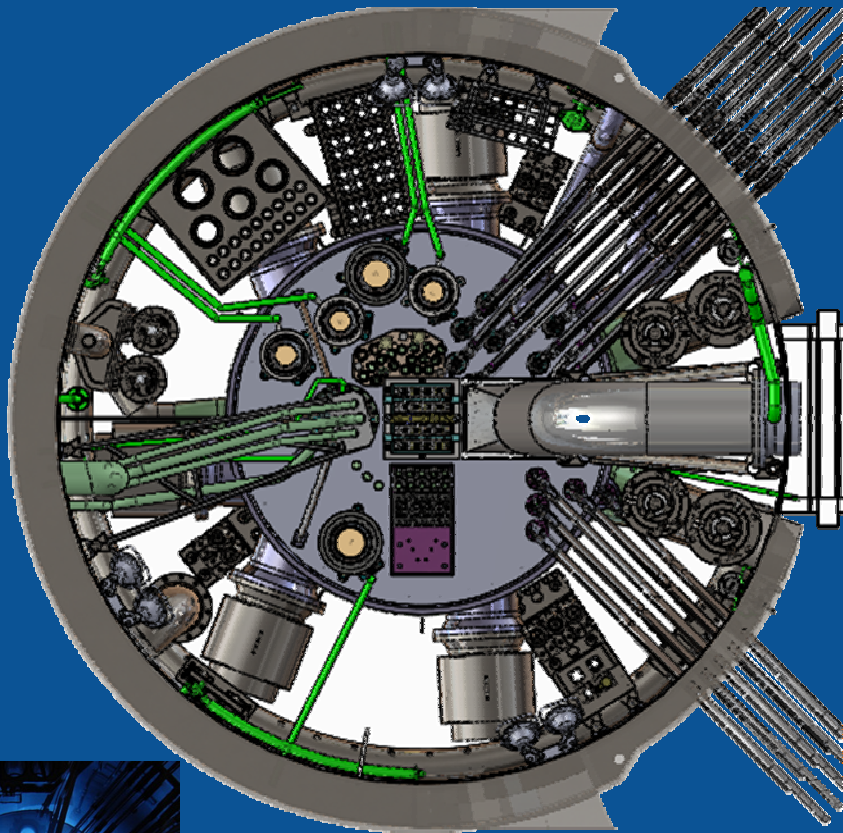
# REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO



**RMB**  
Tecnologia Nuclear  
a Serviço da Vida

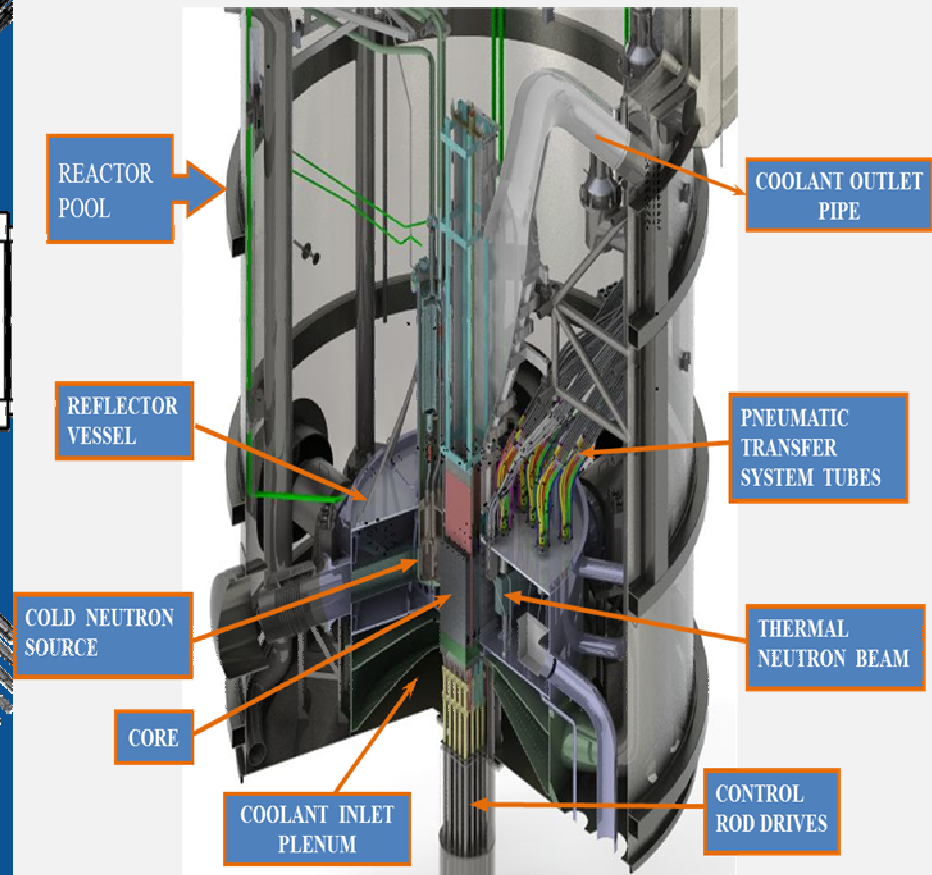


## Leiaute Reator



OPAL

### Nuclear Design



# REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO



**RMB**  
Tecnologia Nuclear  
a Serviço da Vida

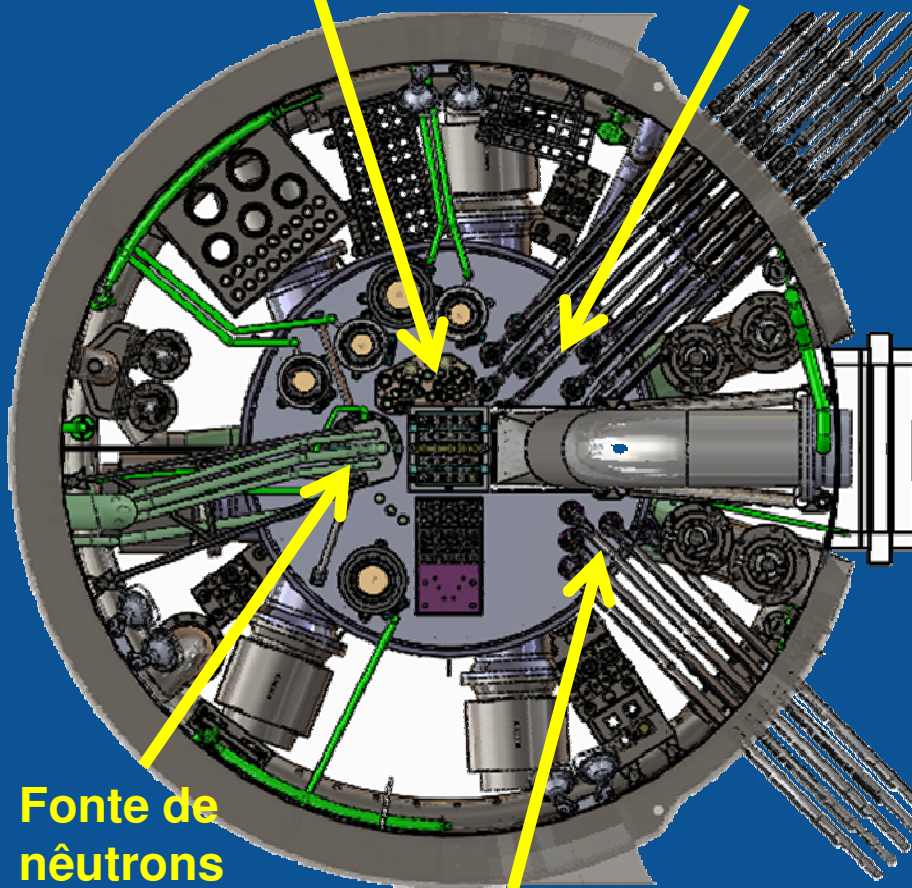
20 Posições para  
irradiação tipo “bulk”

9 Posições para  
irradiação tipo  
“pneumática”

Feixe para  
neutronografia

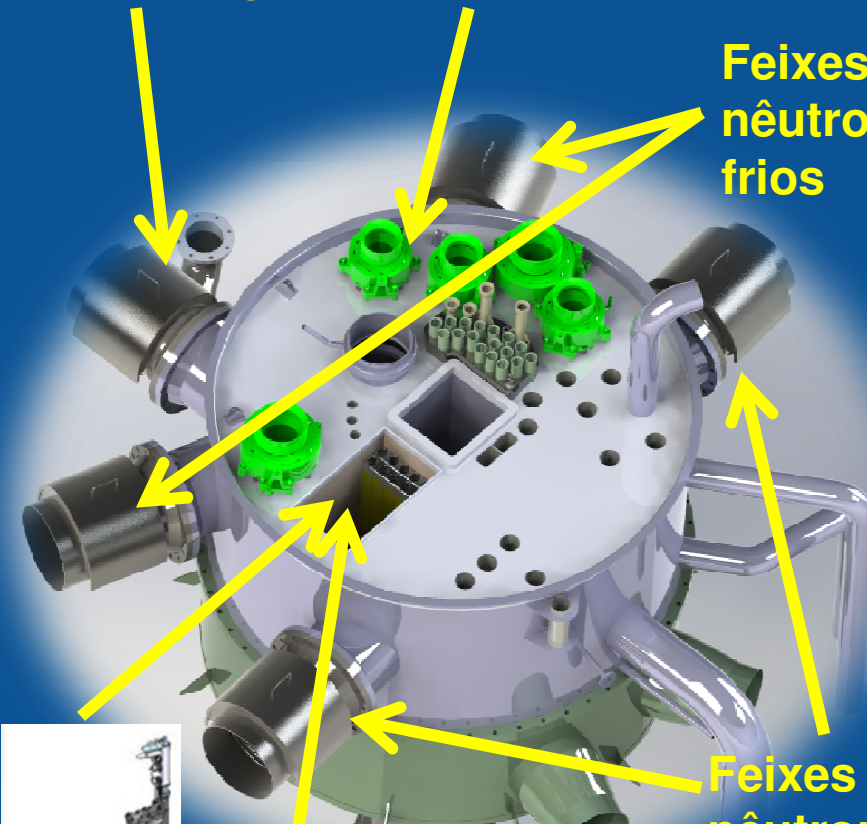
5 Posições de  
Irradiação de Si

Feixes de  
nêutrons  
frios



Fonte de  
nêutrons  
frios

5 posições para  
análise por ativação



Cavidade para teste  
de combustíveis

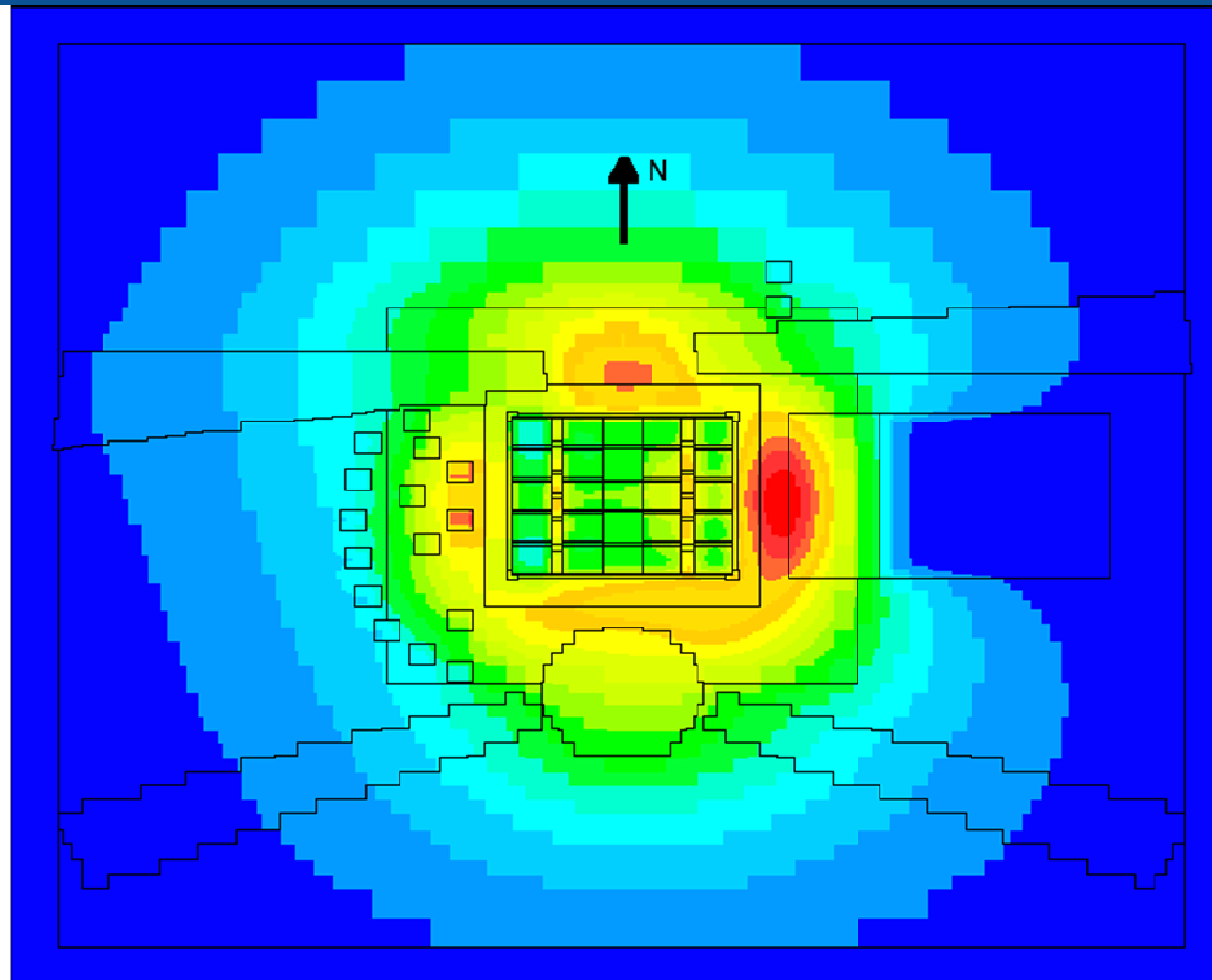
Feixes de  
nêutrons  
têrmicos



Dispositivo de Irradiação  
de Combustível

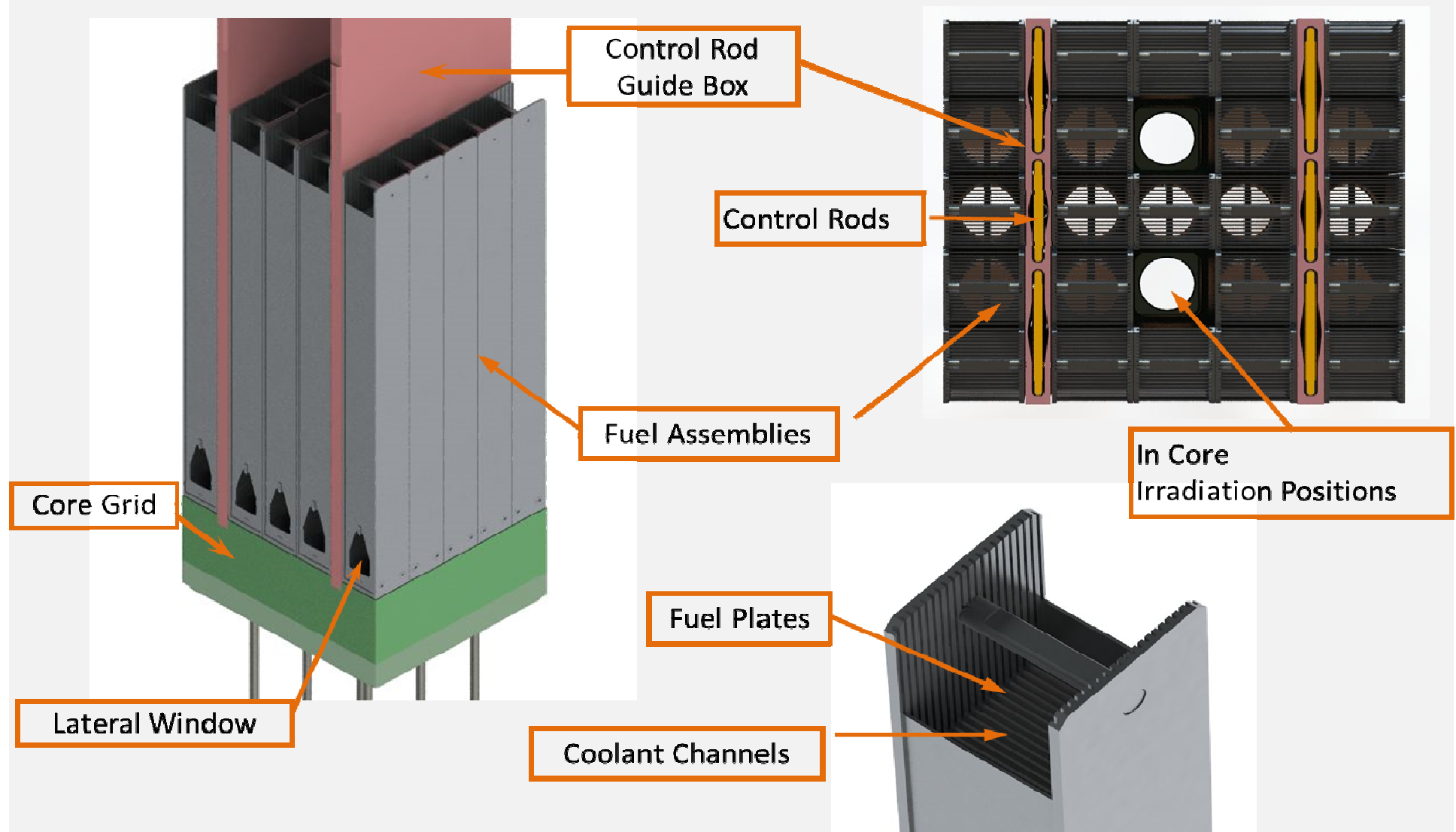


## Thermal flux [n/cm<sup>2</sup>s]En <0.625 eV - Midline of active length





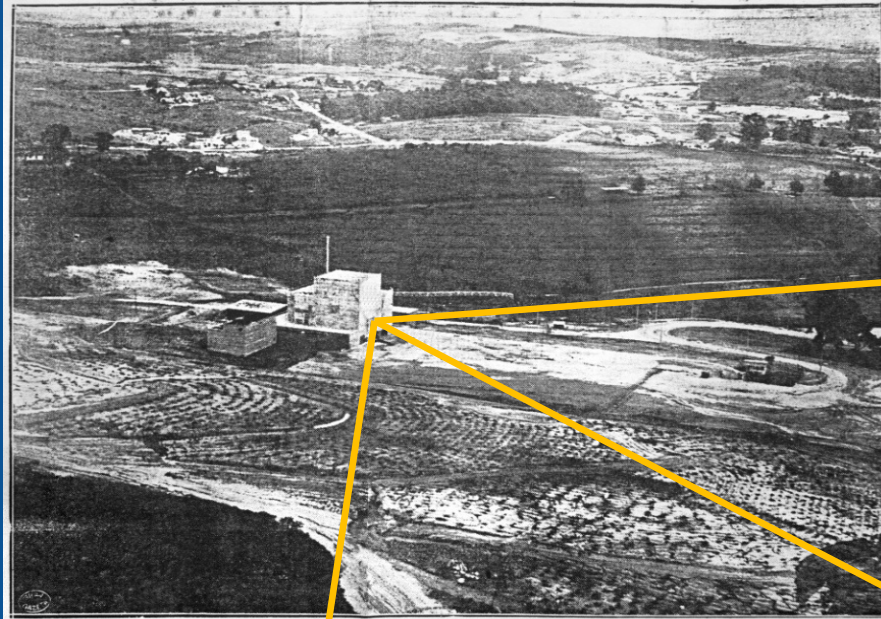
## *Núcleo e Combustíveis (projeto e fabricação nacional)*



# REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO

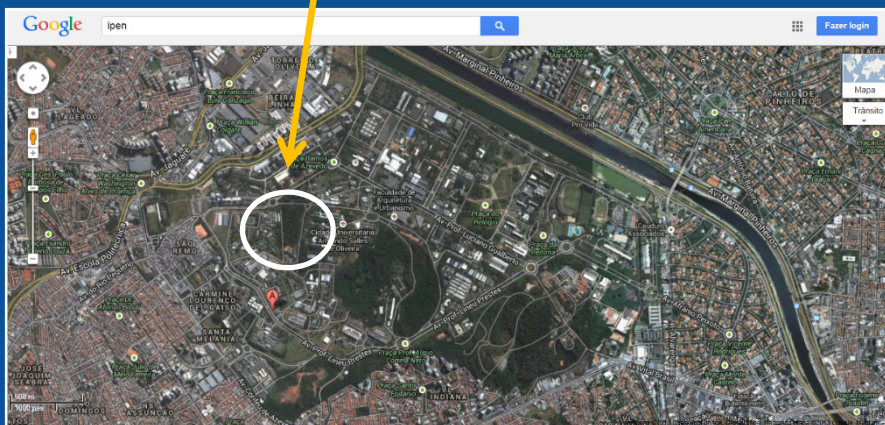


**RMB**  
Tecnologia Nuclear  
a Serviço da Vida



**IEA-R1 ( 1958 ) ----- IPEN (2017)**

**A instalação de um Reator de Pesquisa origina um grande Instituto de Pesquisa**



## VISTA GERAL DA ÁREA DO POLO DE TECNOLOGIA NUCLEAR

### Marinha

- ✓ Tecnologia e Plantas Piloto do Ciclo do Combustível Nuclear
  - ✓ Conversão
  - ✓ Enriquecimento
  - ✓ Reconversão
  - ✓ Produção de Combustível
- ✓ Reator de Potência de Pequeno Porte (LABGENE)
- ✓ Formação de Recursos Humanos para Área Nuclear e Propulsão Nuclear
- ✓ Treinamento de Operadores para Área Nuclear e Propulsão Nuclear

CTMSP / ARAMAR



### CNEN

- ✓ Reator RMB
- ✓ Laboratório Nacional de Nêutrons
- ✓ Laboratório de Produção de Radioisótopos
- ✓ Laboratório Pós-Irradiação
- ✓ Laboratório Nacional de AAN
- ✓ Laboratório de Fusão Nuclear
- ✓ Laboratório de Aceleradores de Partículas
- ✓ Laboratório de Laser de Alta Potência
- ✓ Centro de Radiofarmácia
- ✓ Centro Integrado para Desenvolvimento de Diagnóstico e Terapia Utilizando Radiação
- ✓ Pós-Graduação em Tecnologia Nuclear
- ✓ Formação de Técnicos para o Setor Nuclear em Saúde

RMB



**Muito  
Obrigado!!**