

O combustível nuclear

Cláudio Geraldo Schön

Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

21 de junho de 2021

- 1 Configuração de um combustível
- 2 Ciclo do combustível
- 3 *Cladding*

Estrutura de um combustível nuclear

Um elemento de combustível nuclear geralmente consiste do:

- núcleo (*core*) contendo o material físsil
- *cladding*, que isola o núcleo do ambiente interno do reator

Além disso os elementos podem ser montados em estruturas complexas contendo outros itens importantes para o funcionamento do reator.

Propriedades dos elementos combustíveis

- Resistentes à irradiação (inchamento)
- Baixa absorção de nêutrons (manutenção da reação em cadeia)
- Segurança em acidentes

- 1 Configuração de um combustível
- 2 **Ciclo do combustível**
- 3 *Cladding*

Fluxograma



Fonte: INB <http://www.inb.gov.br/Nossas-Atividades/Ciclo-do-combustivel-nuclear> (acesso em 20/06/2021).

Mineração

- Rocha contendo Urânio (na forma de U_3O_8) é extraída da mina e beneficiada (processo de britagem)
- A rocha britada é tratada com ácido nítrico, que dissolve o Urânio (processo de lixiviação)
- O produto líquido do processo de lixiviação é chamado de **licor**, e é rico em nitrato de urânio $UO_2(NO_3)_2 \cdot (H_2O)_n$

Mina de Caetité - BA



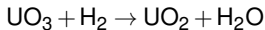
Fonte: INB <http://www.inb.gov.br/>

Nossas-Atividades/Ciclo-do-combustivel-nuclear
(acesso em 20/06/2021).

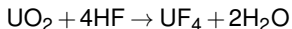
Processamento do concentrado de Urânio

Conversão

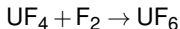
- O licor é purificado e concentrado (processo de extração por solvente)
- No Brasil se usa a chamada rota seca, em que o sulfato de urânio é convertido diretamente em UF_4 e deste, a UF_6
- Na primeira etapa de conversão temos a calcinação do sulfato de urânio em forno de leito fluidizado, produzindo UO_3
- O UO_3 é reduzido a UO_2 via



- Hidrofluorinação



- Fluorinação



Tetrafluoreto de Urânio



- Temperatura de fusão: 1036°C
- Temperatura de ebulição: 1417°C
- Massa molar: $314,02 \text{ g mol}^{-1}$
- Insolúvel em água



Hexafluoreto de Urânio



- Temperatura de sublimação: $56,5^\circ\text{C}$
- Massa molar: $352,02\text{ g mol}^{-1}$
- Solúvel em alguns compostos orgânicos
- Reage rapidamente com a água formando HF



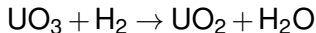
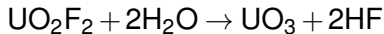
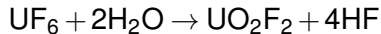
Enriquecimento isotópico

Objetivo: aumento da proporção de U^{235} (concentração natural é 0,7%)

- Difusão gasosa
- Ultracentrifugação

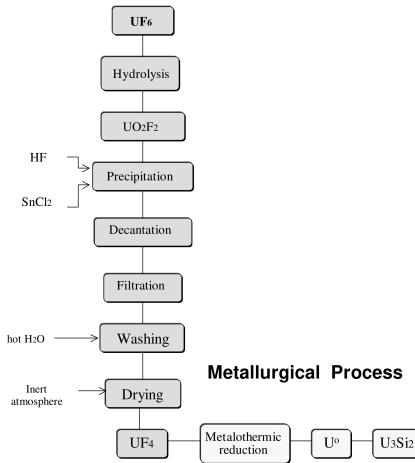
Processamento para obter UO_2

Rota seca



Processamento para Urânio metálico

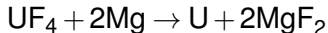
Chemical Process



Metallurgical Process

Redução magnesiotérmica

Reação pirofórica (termita):



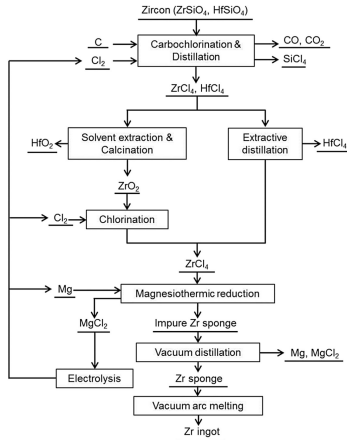
O Urânio metálico produzido pode ser destinado a produzir um elemento metálico (monolítico ou disperso) ou fundido com a adição de algum componente para produzir um composto (por exemplo, silício).

- 1 Configuração de um combustível
- 2 Ciclo do combustível
- 3 *Cladding*

Háfnio no Zircônio

Zircônio tem excelentes propriedades nucleares (baixa absorção de nêutrons, tanto térmicos quanto rápidos) → aumenta a eficiência do reator por não interferir com a reação em cadeia. Entretanto zircônio natural é encontrado em combinação com 1 a 2% em massa de Hf, que tem propriedades nucleares totalmente opostas → extração do háfnio

Processo



Fonte: L. Xu *et al* "Production of nuclear grade zirconium: a review" *J. Nuclear Mater.* **466** (2015) 21 – 28.