

## Bunker

O combustível de navio, conhecido como bunker, é utilizado para a propulsão de embarcações e também para operações auxiliares a bordo. Existem diferentes tipos de combustíveis bunker, que variam em viscosidade, composição e aplicação.

Além disso, com o aumento das regulamentações ambientais, como a IMO 2020, que limita a quantidade de enxofre permitida nos combustíveis, muitos navios estão fazendo a transição para combustíveis mais limpos, como o GNL (Gás Natural Liquefeito) ou combustíveis alternativos.

O combustível de navio conhecido como **bunker** refere-se ao óleo combustível usado para abastecer navios marítimos. O termo "bunker" tem origem nos compartimentos dentro dos navios onde o combustível é armazenado.

### Tipos de combustível bunker:

1. **IFO (Intermediate Fuel Oil):**
  - Mistura de óleo combustível pesado (HFO) e óleo diesel marítimo.
  - Classificações comuns incluem IFO 180 e IFO 380, indicando sua viscosidade.
2. **HFO (Heavy Fuel Oil):**
  - Óleo combustível pesado, com alta viscosidade e teor de enxofre.
  - Requer aquecimento antes de ser usado no motor.
3. **MGO (Marine Gas Oil):**
  - Óleo diesel marítimo mais leve e menos poluente.
  - Comumente usado em áreas onde há restrições ambientais, como Zonas de Controle de Emissões (ECA).
4. **LSFO (Low Sulfur Fuel Oil):**
  - Combustível com baixo teor de enxofre ( $\leq 0,5\%$ ), em conformidade com os regulamentos da IMO 2020.

### Regulamentação:

A **IMO 2020 (Organização Marítima Internacional)** estabeleceu limites rigorosos para o teor de enxofre nos combustíveis marítimos:

- Máximo de 0,5% de enxofre globalmente.
- Máximo de 0,1% em Zonas de Controle de Emissões (ECAs).

### Como o combustível bunker é adquirido:

- **Bunkeragem:** Processo de abastecimento dos navios, geralmente realizado em portos por meio de barcaças ou oleodutos.
- **Mercado global:** Os principais portos de bunkeragem incluem Singapura, Roterdã, Fujairah e Houston.

O processo químico relacionado ao combustível bunker envolve etapas de refino e composição do óleo combustível pesado (HFO) e seus derivados. Este combustível é um subproduto do refino de petróleo, com alto peso molecular e complexidade química. A seguir, detalho o processo químico e as características envolvidas:

---

## 1. Origem no Refino do Petróleo

O combustível bunker é produzido como parte do processo de destilação e craqueamento do petróleo bruto:

### a. Destilação Atmosférica:

- O petróleo bruto é aquecido a altas temperaturas.
- Componentes mais leves (como gasolina e diesel) são separados no topo da coluna de destilação.
- Frações mais pesadas (resíduos) permanecem no fundo e servem como base para o bunker.

### b. Destilação a Vácuo:

- O resíduo pesado da destilação atmosférica é processado em uma coluna de vácuo.
- Frações intermediárias (como gasóleo a vácuo) são separadas, enquanto o resíduo restante é usado para produzir óleos combustíveis pesados.

### c. Craqueamento Catalítico ou Térmico:

- Parte do resíduo pode ser quebrada em frações mais leves por craqueamento térmico ou catalítico.
  - O material residual, rico em hidrocarbonetos de alto peso molecular, forma a base do bunker.
- 

## 2. Composição Química

O combustível bunker é composto principalmente de:

- **Hidrocarbonetos aromáticos e naftênicos:** conferem estabilidade térmica e energética.
- **Asfaltenos e Resinas:** componentes complexos que afetam a viscosidade e estabilidade.
- **Enxofre (S):** varia conforme a origem do petróleo, mas é regulado devido às emissões.

## 3. Processos Adicionais

Para atender às regulamentações e melhorar suas propriedades de combustão:

### a. Dessulfurização:

- **Hidrodesulfurização (HDS):** mistura o combustível com hidrogênio sob alta pressão e temperatura na presença de catalisadores para remover enxofre.

**b. Blendagem:**

- Mistura do resíduo pesado com frações mais leves (como diesel marítimo) para ajustar a viscosidade, teor de enxofre e ponto de fulgor.

**c. Adição de Aditivos:**

- Antioxidantes, dispersantes de asfaltenos e melhoradores de combustão são usados para otimizar o desempenho.

#### 4. Propriedades e Características

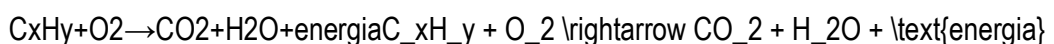
- **Viscosidade:** Alta, exigindo aquecimento para bombeamento e injeção nos motores.
- **Energia específica:** Elevada, ideal para motores marítimos de grande porte.
- **Teor de cinzas:** Traços de metais (vanádio, níquel) podem estar presentes.

#### 5. Queima nos Motores e Reações Químicas

Durante a combustão no motor do navio:

1. Os hidrocarbonetos reagem com oxigênio, produzindo energia, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e vapor de água (H<sub>2</sub>O).
2. Impurezas, como enxofre, produzem dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), que é um poluente atmosférico.

Reação simplificada:



O combustível bunker é um óleo combustível utilizado em motores marítimos e é conhecido por sua complexidade química e propriedades físicas específicas. Aqui estão os principais **detalhes técnicos** do combustível bunker:

#### 1. CLASSIFICAÇÕES PRINCIPAIS

O bunker é classificado de acordo com normas da **ISO 8217**, que define suas propriedades. Os tipos mais comuns são:

- **IFO 180 e IFO 380 (Intermediate Fuel Oil):** Mistura de óleo pesado e diesel marítimo, numerados pela viscosidade (180 cSt ou 380 cSt a 50 °C).
- **MGO (Marine Gas Oil):** Óleo diesel marítimo com menor teor de enxofre e baixa viscosidade.

- **VLSFO (Very Low Sulfur Fuel Oil)**: Combustível com teor de enxofre  $\leq 0,5\%$ , conforme regulamento IMO 2020.
  - **HFO (Heavy Fuel Oil)**: Óleo combustível residual de alta viscosidade, usado em motores de grande porte.
- 

## 2. PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS

### a. Viscosidade

- A viscosidade é uma das características mais importantes.
- Depende da temperatura, geralmente medida em **cSt (centistokes)** a 50 °C.
- Exige aquecimento para ser bombeado e queimado adequadamente.

### b. Teor de Enxofre (S)

- O teor de enxofre varia dependendo da regulamentação e da localização.
  - **LSFO**:  $\leq 0,5\%$  de enxofre (global após IMO 2020).
  - **HFO tradicional**: pode ter até 3,5% de enxofre.

### c. Densidade

- Normalmente entre **0,91 a 1,01 g/cm<sup>3</sup>** a 15 °C.
- Combustíveis mais densos têm maior conteúdo energético, mas podem ser mais difíceis de processar.

### d. Ponto de Fulgor

- Deve ser  $\geq 60$  °C para transporte seguro.
- Indica a temperatura mínima em que o combustível libera vapor inflamável.

### e. Teor de Metais

- Contém **traços de metais como vanádio e níquel**, que podem causar corrosão e acúmulo em motores:
  - Vanádio (V):  $\leq 50$  ppm.
  - Níquel (Ni):  $\leq 30$  ppm.

### f. Conteúdo Energético

- **38 a 42 MJ/kg** (MegaJoules por quilograma), variando com a composição.
- Combustíveis mais densos possuem maior conteúdo energético por volume.

### g. Teor de Cinzas

- Deve ser  $\leq 0,1\%$  em massa, para evitar depósitos nos motores e sistemas de escape.
-

### 3. CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTÃO

- **Estabilidade:** Determinada pelo equilíbrio entre asfaltenos e os hidrocarbonetos. Combustíveis instáveis podem formar sedimentos.
  - **Índice de Cetanagem:** Indica a facilidade de ignição. Combustíveis bunker têm valores mais baixos em comparação com o diesel automotivo.
  - **Produção de Gases:**
    - Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>): Emissão principal.
    - Dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>): Regulamentado para controle de poluição.
    - Óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>): Resultantes de altas temperaturas na combustão.
- 

### 4. PROCESSAMENTO E MANUSEIO

#### a. Pré-aquecimento

- Necessário para reduzir a viscosidade antes do bombeamento e injeção no motor.
- Temperatura típica: **90-120 °C**, dependendo do tipo de combustível.

#### b. Filtragem e Centrifugação

- Remove contaminantes sólidos, como sedimentos e água.
- Protetores térmicos e purificadores são usados para evitar danos ao motor.

#### c. Compatibilidade

- Misturas de combustíveis de diferentes origens podem ser incompatíveis, levando à formação de borra e sedimentos.
- 

### 5. REGULAMENTAÇÕES INTERNACIONAIS

- **IMO 2020:** Limita o teor de enxofre a **0,5% globalmente e 0,1% em zonas ECA (Zonas de Controle de Emissões)**.
  - **Marpol Anexo VI:** Regula emissões atmosféricas, incluindo SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e partículas.
  - Navios que utilizam HFO em ECAs precisam de sistemas de limpeza, como **scrubbers**.
- 

### 6. APLICAÇÕES E DESAFIOS

#### Aplicações:

- Usado em motores marítimos de ciclo lento e geradores auxiliares.

#### Desafios:

- Impactos ambientais: emissões de SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>.



- Problemas operacionais, como formação de sedimentos, depósitos em motores e corrosão.

