



Instituto de Energia e Ambiente - IEE
Universidade de São Paulo - USP
Prof. Célio Bermann

Instituto de Energia e Ambiente da USP

Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da USP

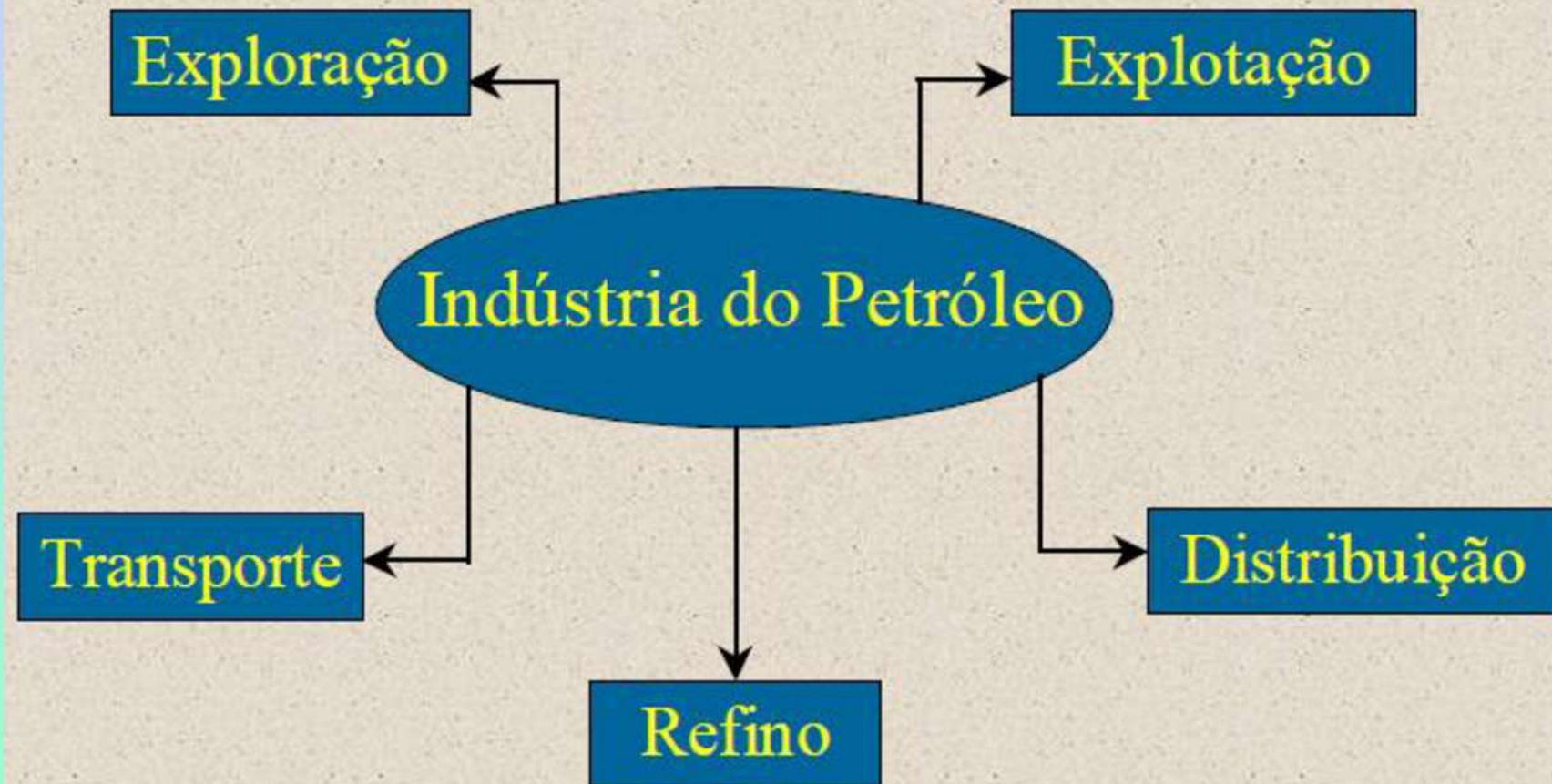
IEE 0005 - Produção e Consumo de Combustíveis e o Meio Ambiente

- 3a. aula: Refino do petróleo e obtenção de seus derivados:
gasolina, óleo combustível, óleo diesel, gás liquefeito de petróleo
- Características básicas
 - Aspectos sócio-ambientais

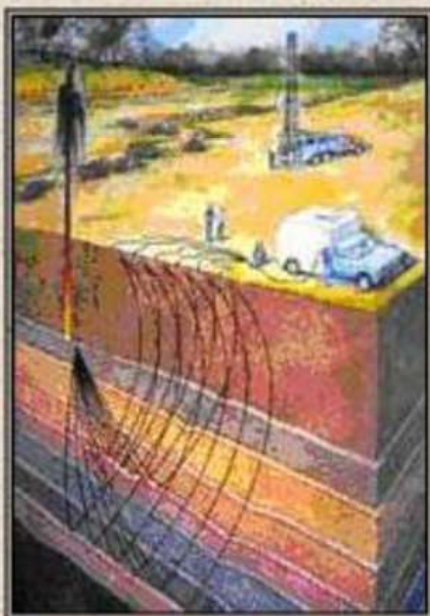
Introdução

- Indústria Petrolífera iniciou em meados do séc. XIX
- 1859: Perfuração do primeiro poço na Pensilvânia
- 1897: Primeiro poço no Brasil
- 1939: Criada CNP- Conselho Nacional do Petróleo
- 1953: Criada a Petrobrás
- No Brasil, o petróleo é encontrado em águas oceânicas profundas e ultra-profundas, o que encarece a sua extração
- O maior estado produtor é o Rio de Janeiro, na Bacia de Campos, cuja contribuição é de 75%.

- A indústria do petróleo é composta de cinco segmentos constitutivos básicos:

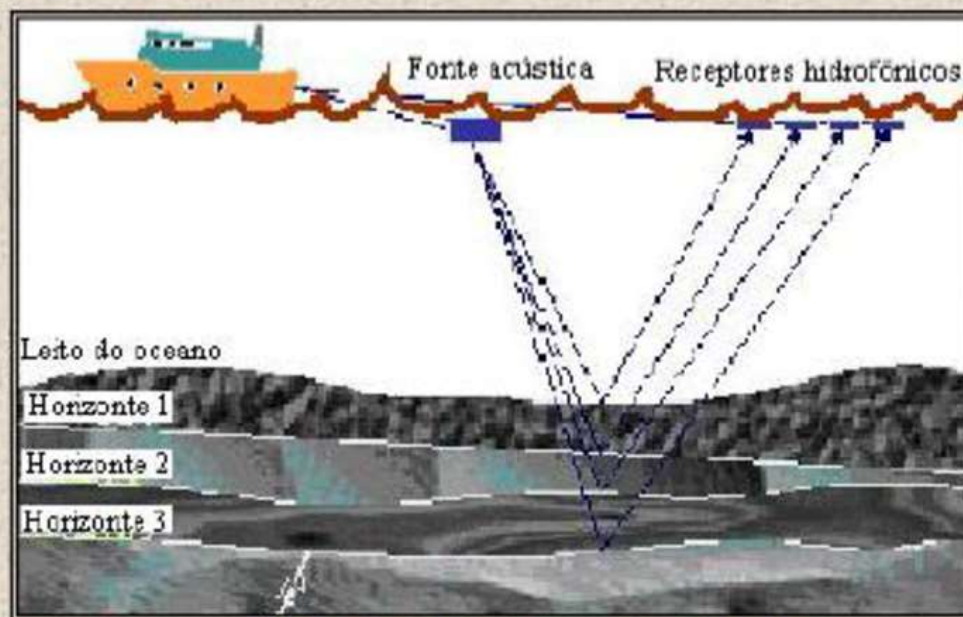


- **Exploração:** envolve a observação das rochas e a reconstrução geológica de uma área, com o objetivo de identificar novas reservas petrolíferas. Os métodos comuns empregados para se explorar petróleo são o sísmico, o magnético, o gravimétrico e o aerofotométrico.



Exploração sísmica em terra.

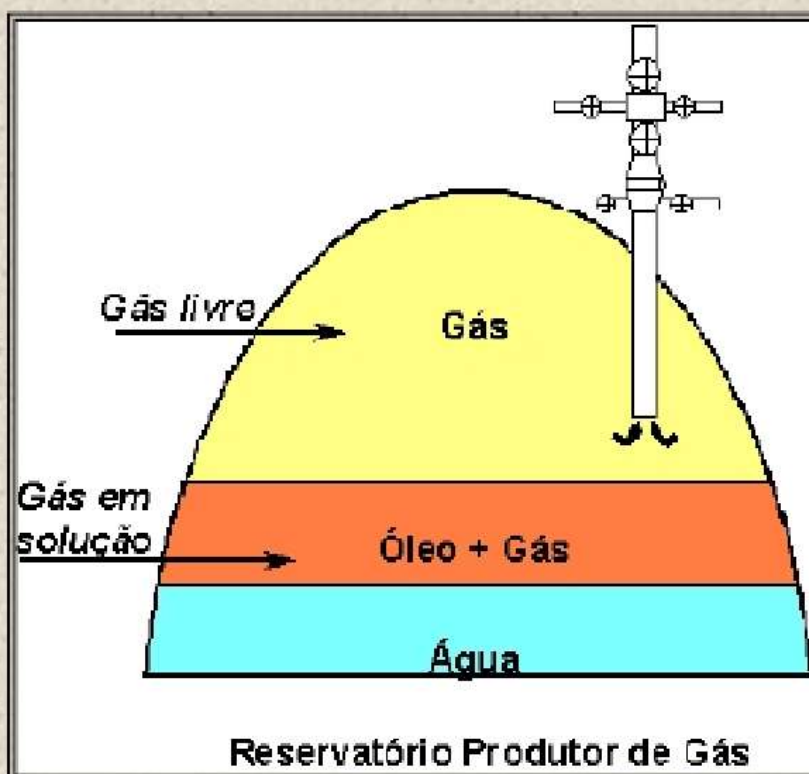
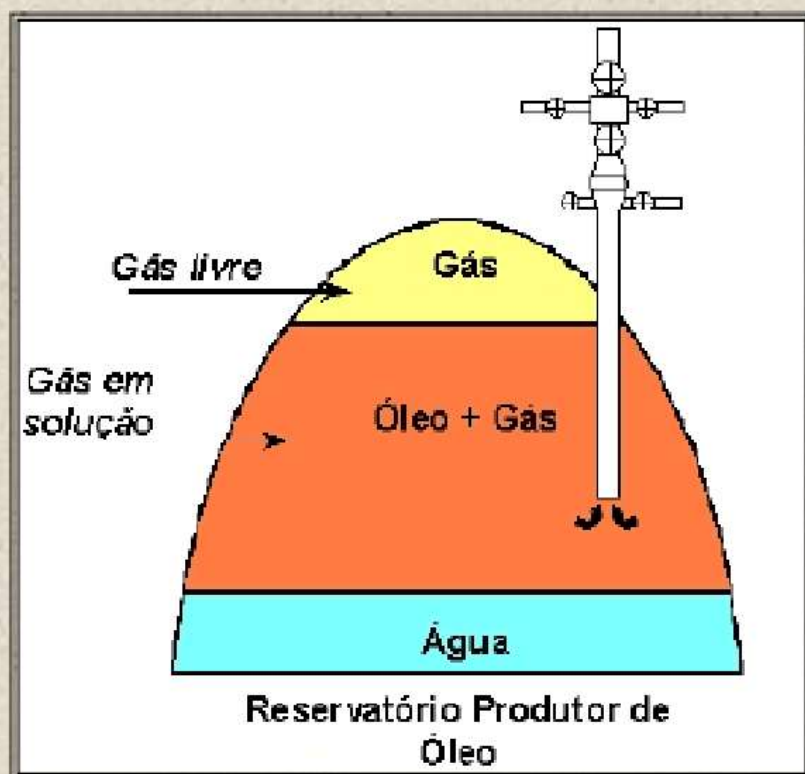
Fonte: *API*



Exploração sísmica em mar.

Fonte: *US Geological Survey*

- **Exploração:** O petróleo é encontrado em equilíbrio com excesso de gás natural (gás associado ou livre), água e impurezas, e contém certa quantidade de gás dissolvido (gás em solução) e água emulsionada. A quantidade relativa dessas fases determina o tipo de reservatório.



- **Exploração:** são empregadas técnicas de desenvolvimento e produção da reserva após comprovação de sua existência. O poço é então perfurado e preparado para produção, caracterizando a fase de completação.
- Em reservas terrestres, dependendo das condições físicas do poço, a produção é feita através de bombeamento mecânico, injeção de gás ou injeção de água.



Exploração terrestre



Poços de Petróleo em atividade – Kenedy-Texas

Fonte: Foto de C. Bermann – 29/06/2014



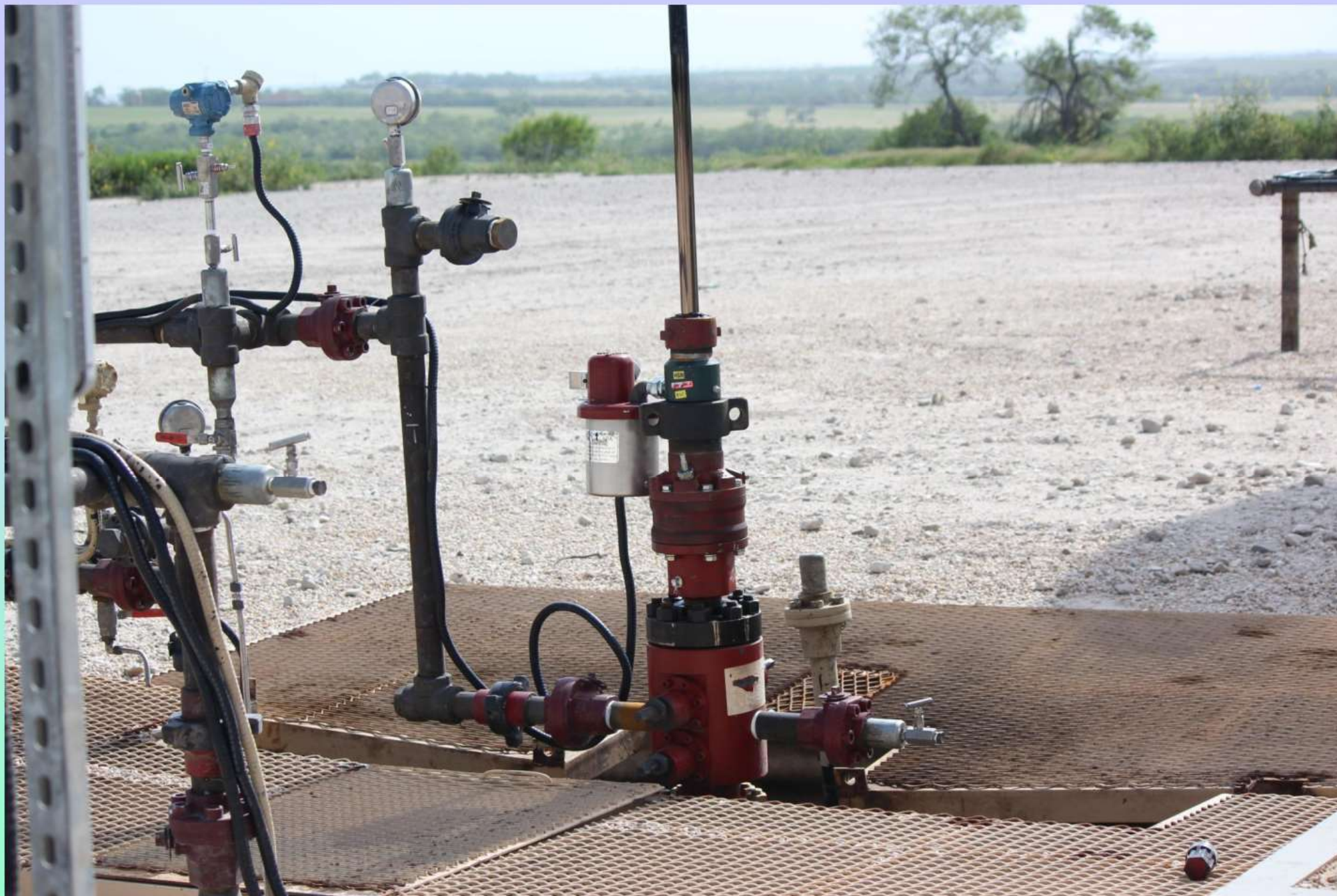
Poços de Petróleo em atividade – Kenedy-Texas

Fonte: Foto de C. Bermann – 29/06/2014



Poços de Petróleo em atividade – Kenedy-Texas

Fonte: Foto de C. Bermann – 29/06/2014



Poços de Petróleo em atividade – Kenedy-Texas

Fonte: Foto de C. Bermann – 29/06/2014



Poços de Petróleo em atividade – Kenedy-Texas

Fonte: Foto de C. Bermann – 29/06/2014



Poços de Petróleo em atividade – Kenedy-Texas

Fonte: Foto de C. Bermann – 29/06/2014



Poços de Petróleo em atividade – Kenedy-Texas

Fonte: Foto de C. Bermann – 29/06/2014



Poços de Petróleo em atividade – Kenedy-Texas

Fonte: Foto de C. Bermann – 29/06/2014



Poços de Petróleo em atividade – Kenedy-Texas

Fonte: Foto de C. Bermann – 29/06/2014



Poços de Petróleo em atividade – Kenedy-Texas

Fonte: Foto de C. Bermann – 29/06/2014



Poços de Petróleo em atividade – Kenedy-Texas

Fonte: Foto de C. Bermann – 29/06/2014



Poços de Petróleo em atividade – Kenedy-Texas

Fonte: Foto de C. Bermann – 29/06/2014



Poços de Petróleo em atividade – Kenedy-Texas

Fonte: Foto de C. Bermann – 29/06/2014

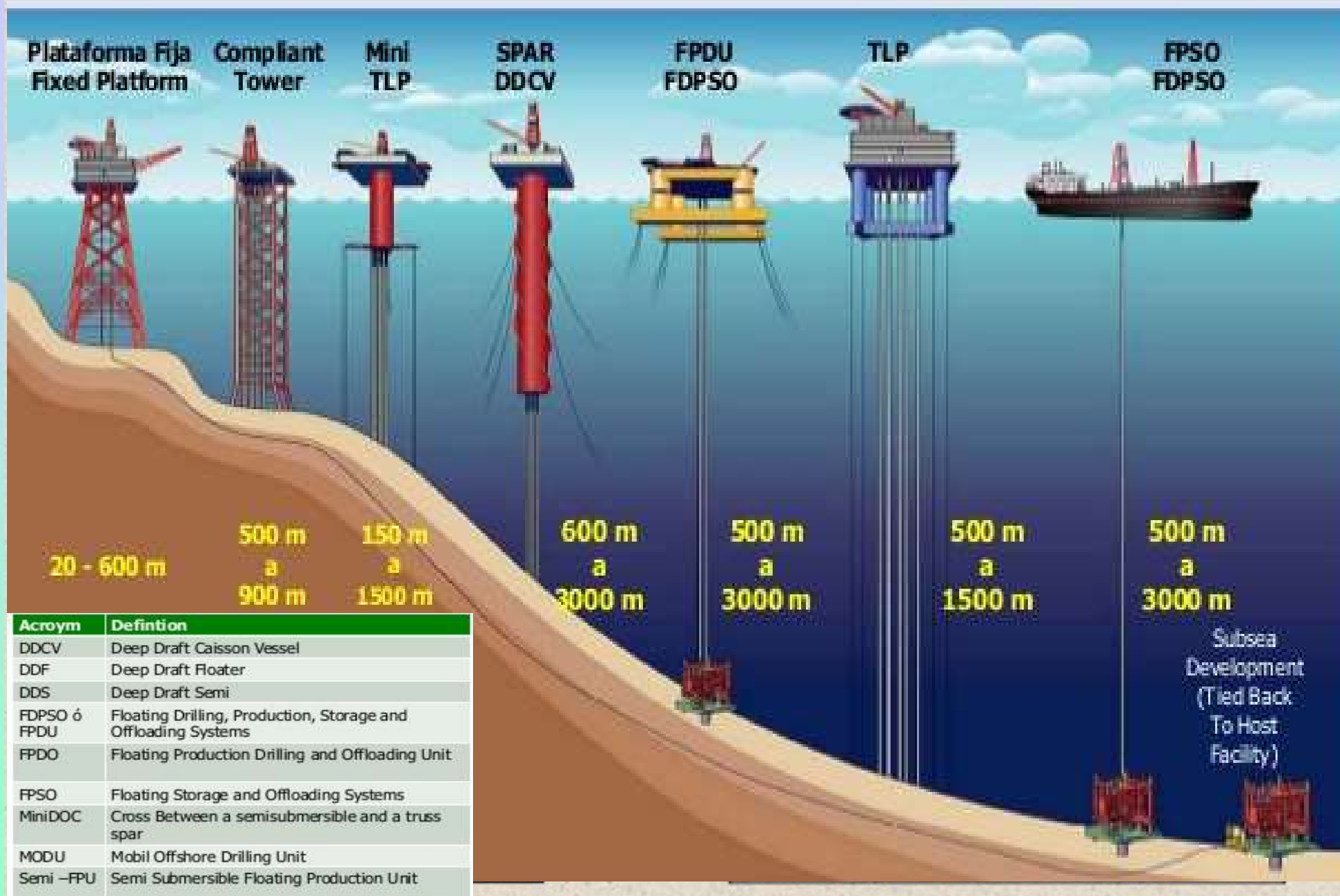
- **Exploração:** Em reservas marítimas, por sua vez, a produção poderá ser feita em plataformas fixas, plataformas auto-eleváveis (em águas rasas: aproximadamente 90 m) ou plataformas semi-submersíveis, e auxiliada por navios-sonda. Em determinados casos, pode haver integração entre esses métodos e adaptações.



Exploração marítima



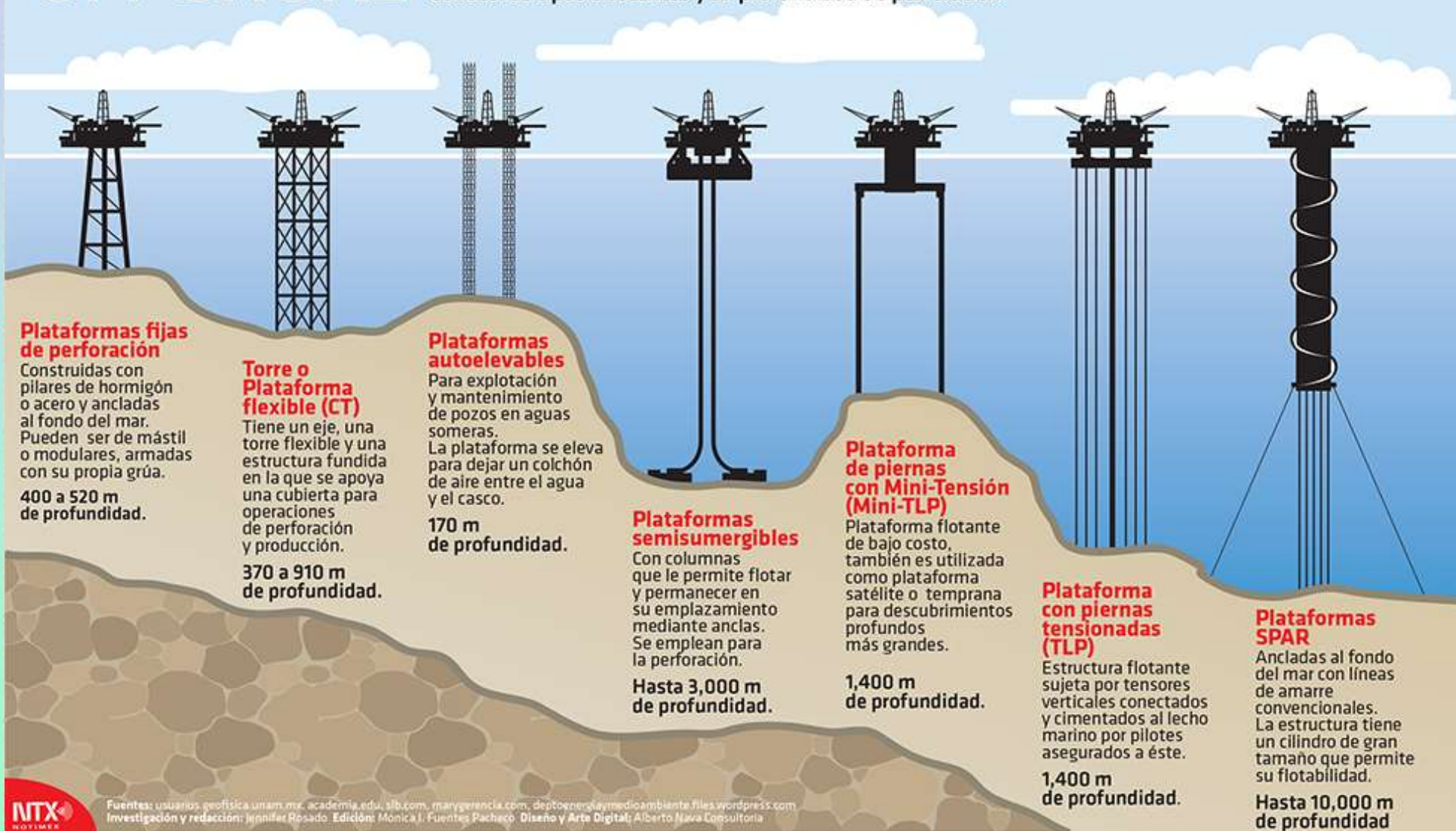
Tipos de Floating Production - Process Units



Acroym	Defintion
DDCV	Deep Draft Caisson Vessel
DDF	Deep Draft Floater
DDS	Deep Draft Semi
FDPSO ó FPDU	Floating Drilling, Production, Storage and Offloading Systems
FPDO	Floating Production Drilling and Offloading Unit
FPSO	Floating Storage and Offloading Systems
MiniDOC	Cross Between a semisubmersible and a truss spar
MODU	Mobil Offshore Drilling Unit
Semi -FPU	Semi Submersible Floating Production Unit
TLP	Tension Leg Platform
Acroym	Defintion
FPO	Floating Storage and Offloading

PLATAFORMAS PETROLERAS OFF SHORE

El petróleo y el gas natural "off-shore" (en el mar, alejado de la costa) se extraen mediante plataformas que también son utilizadas para la producción y almacenaje de hidrocarburos. Conoce los tipos existentes y su profundidad de perforación.



CONHEÇA QUAIS SÃO E COMO FUNCIONAM
OS **TIPOS DE PLATAFORMA** QUE OPERAMOS NO MAR.

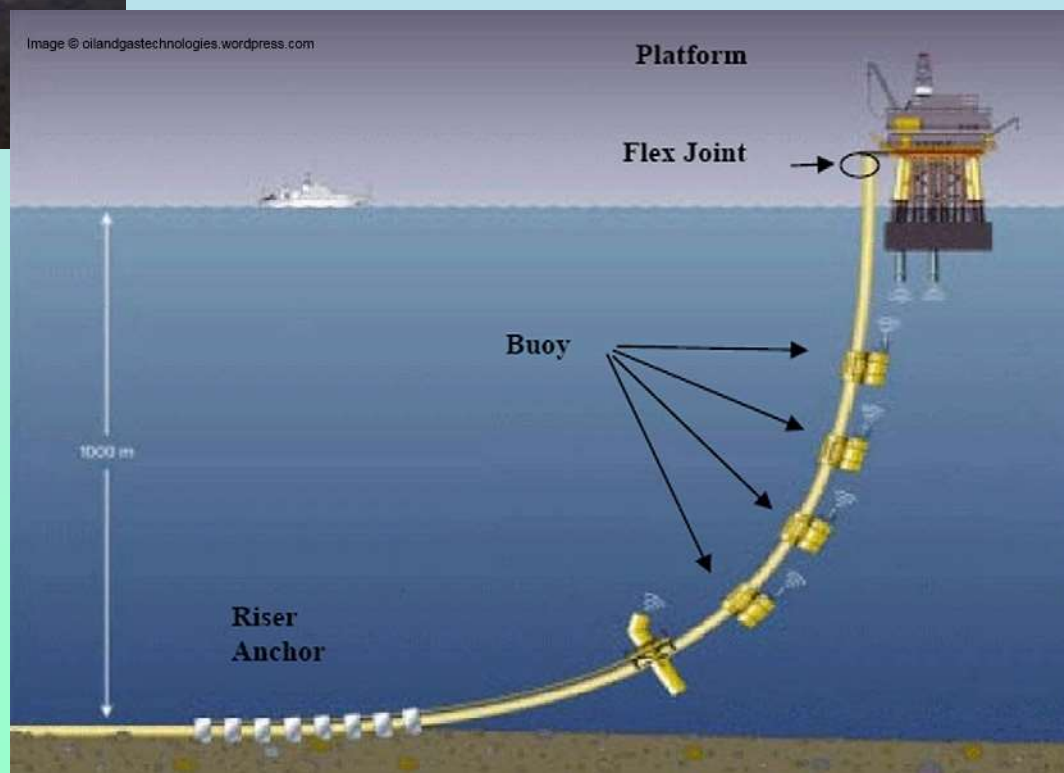


Módulos e principais equipamentos





Risers: tubos de aço de alta resistência que ligam uma estrutura de produção offshore flutuante, ou uma plataforma de perfuração, a um sistema submarino para fins produtivos, como a perfuração, produção, e injeção. Permitem a interconexão entre unidades de exploração e para reforçar a ancoragem das plataformas.





A plataforma P-36 da Petrobrás, explodiu em 15 de março de 2001, com 175 trabalhadores, dos quais 11 morreram, todos integrantes da equipe de emergência da plataforma. A plataforma tombou em 16 graus, devido ao bombeio de água do mar para o seu interior, o suficiente para permitir alagamento que levou ao seu afundamento 5 dias depois, com 1500 toneladas de óleo ainda a bordo.



A plataforma P-36 da Petrobrás, explodiu em 15 de março de 2001, com 175 trabalhadores, dos quais 11 morreram, todos integrantes da equipe de emergência da plataforma. A plataforma tombou em 16 graus, devido ao bombeio de água do mar para o seu interior, o suficiente para permitir alagamento que levou ao seu afundamento 5 dias depois, com 1500 toneladas de óleo ainda a bordo.



No golfo do México, a plataforma Deepwater Horizon, da BP, explodiu em 20 de abril de 2010, matando 11 trabalhadores e lançando no mar cerca de 780 milhões de litros de óleo, no maior vazamento accidental da história da indústria petrolífera

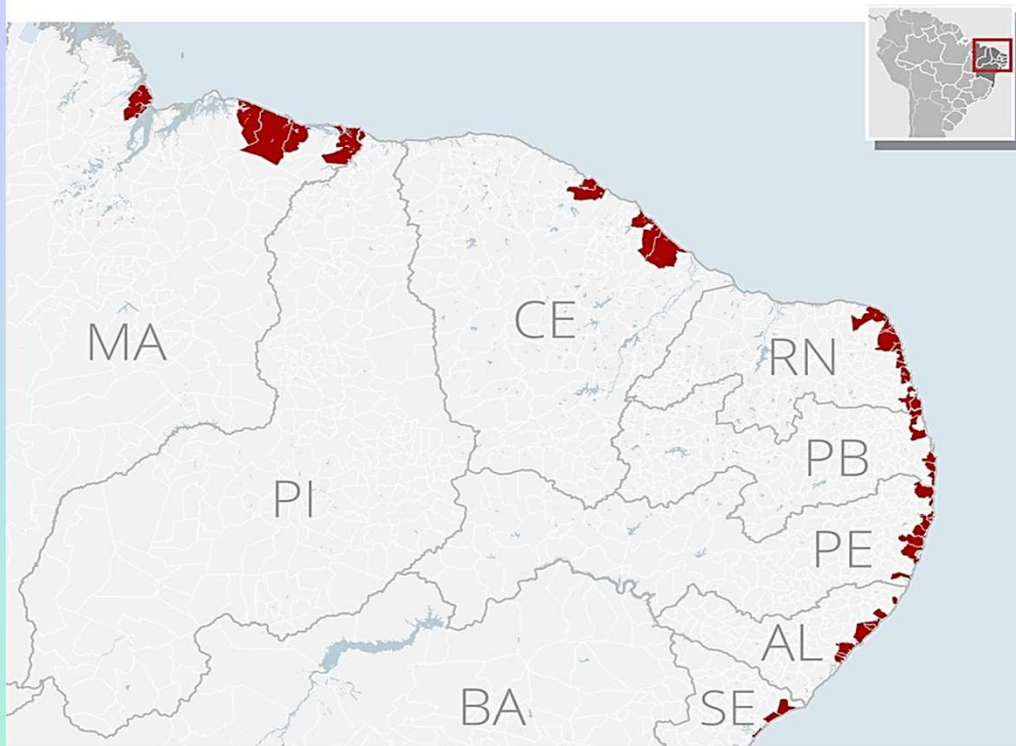


No golfo do México, a plataforma Deepwater Horizon, da BP, explodiu em 20 de abril de 2010, matando 11 trabalhadores e lançando no mar cerca de 780 milhões de litros de óleo, no maior vazamento accidental da história da indústria petrolífera

Manchas de óleo em praias do Nordeste

Ibama identificou 99 locais com sinais de petróleo cru

■ Área dos municípios afetados



Evolução do número de casos



Fonte: Ibama



➤ **Transporte:** feito em embarcações, caminhões, vagões, navios-tanque ou tubulações (oleodutos ou gasodutos) aos terminais e refinarias de óleo ou gás.

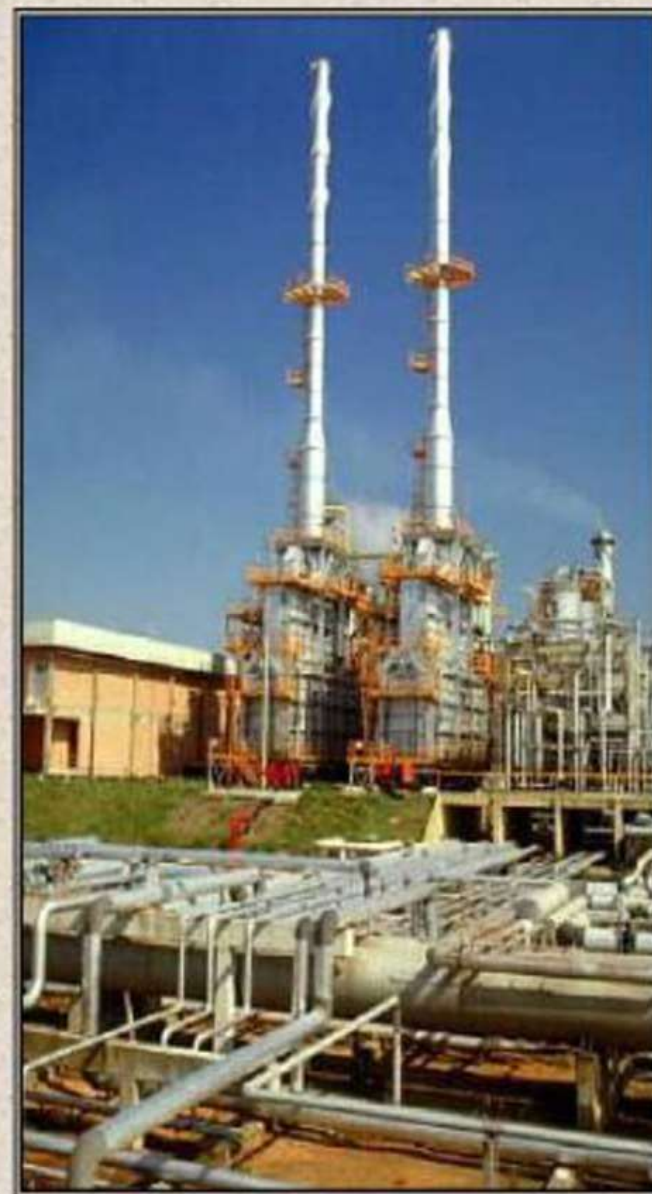
➤ **Transporte:** marítimo, os navios-tanque carregam cargas comumente classificadas como “escuras” (óleo cru, combustível ou diesel) ou “claras” (consistindo em produtos já bastante refinados, como gasolina de aviação).



- **Transporte:** em produção marítima, os oleodutos têm por função básica o transporte do óleo bruto dos campos de produção para os terminais marítimos, e então destes para as refinarias.
- Em produção terrestre, o transporte é feito dos campos de produção direto para as refinarias.
- Os oleodutos são também empregados para enviar alguns importantes produtos finais das refinarias para os centros consumidores.



➤ **Refino:** compreende uma série de operações físicas e químicas interligadas entre si que garantem o aproveitamento pleno de seu potencial energético através da geração dos cortes, ou produtos fracionados derivados, de composição e propriedades físico-químicas determinadas. Refinar petróleo é, portanto, separar suas frações e processá-las, transformando-o em produtos de grande utilidade.



A composição elementar média do petróleo é estabelecida da seguinte forma:

Elemento	Percentagem em Peso (%)
Carbono	83,9 a 86,8
Hidrogênio	11,4 a 14,0
Enxofre	0,06 a 9,00
Nitrogênio	0,11 a 1,70
Oxigênio	0,50
Metais (Fe, Ni, V, etc.)	0,30

Os hidrocarbonetos podem ocorrer no petróleo desde o metano (CH_4) até compostos com mais de 60 átomos de carbono.

Os alcanos têm fórmula química geral $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ e são conhecidos na indústria de petróleo como parafinas. São os principais constituintes do petróleo leve, encontrando-se nas frações de menor densidade. Quanto maior o número de átomos de carbono na cadeia, maior será a temperatura de ebulição.

$\text{C}_1 - \text{C}_4$
Hidrocarbonetos
Gasosos

Metano	CH_4
Etano	C_2H_6
Propano	C_3H_8
Butano	C_4H_{10}

$\text{C}_5 - \text{C}_{17}$
Hidrocarbonetos
Líquidos

Pentano	C_5H_{12}
Hexano	C_6H_{14}
Heptano	C_7H_{16}
Octano	C_8H_{18}
Nonano	C_9H_{20}
Decano	$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$
Undecano	$\text{C}_{11}\text{H}_{24}$

$\geq \text{C}_{18}$
Hidrocarbonetos
Sólidos

Destilação: Forma de separar os constituintes básicos do petróleo.

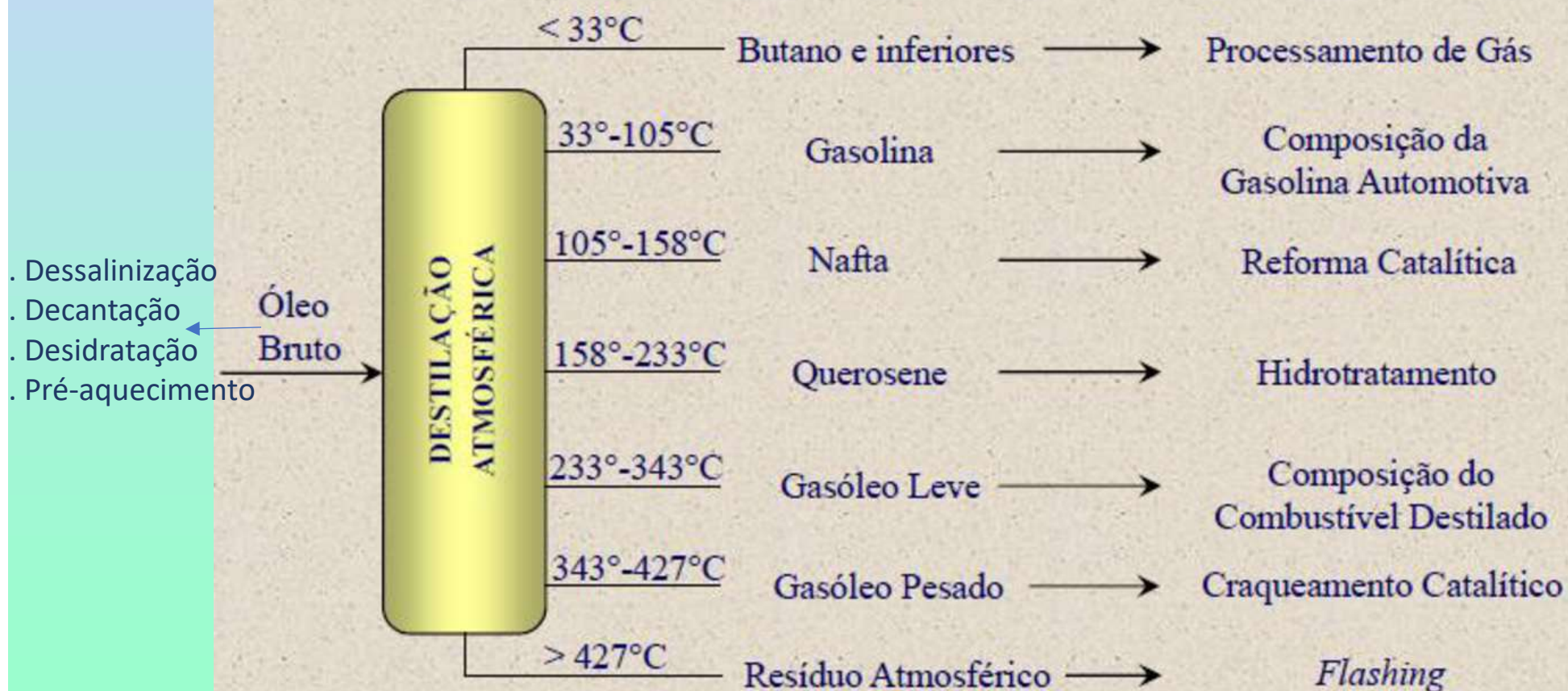
<u>Temperatura</u>	<u>Fração</u>
< 33°C	Butanos e inferiores
33°–105°C	Gasolina
105°–158°C	Nafta
158°–233°C	Querosene
233°–427°C	Gasóleo
> 427°C	Resíduo

Fonte: Prof. Afonso A. Dantas Neto & Alexandre Gurgel, PhD. Refino de Petróleo e Petroquímica. Depto. de Engenharia Química/Univ. Fed. Rio Grande do Norte – PRH ANP-14. Natal s/d.

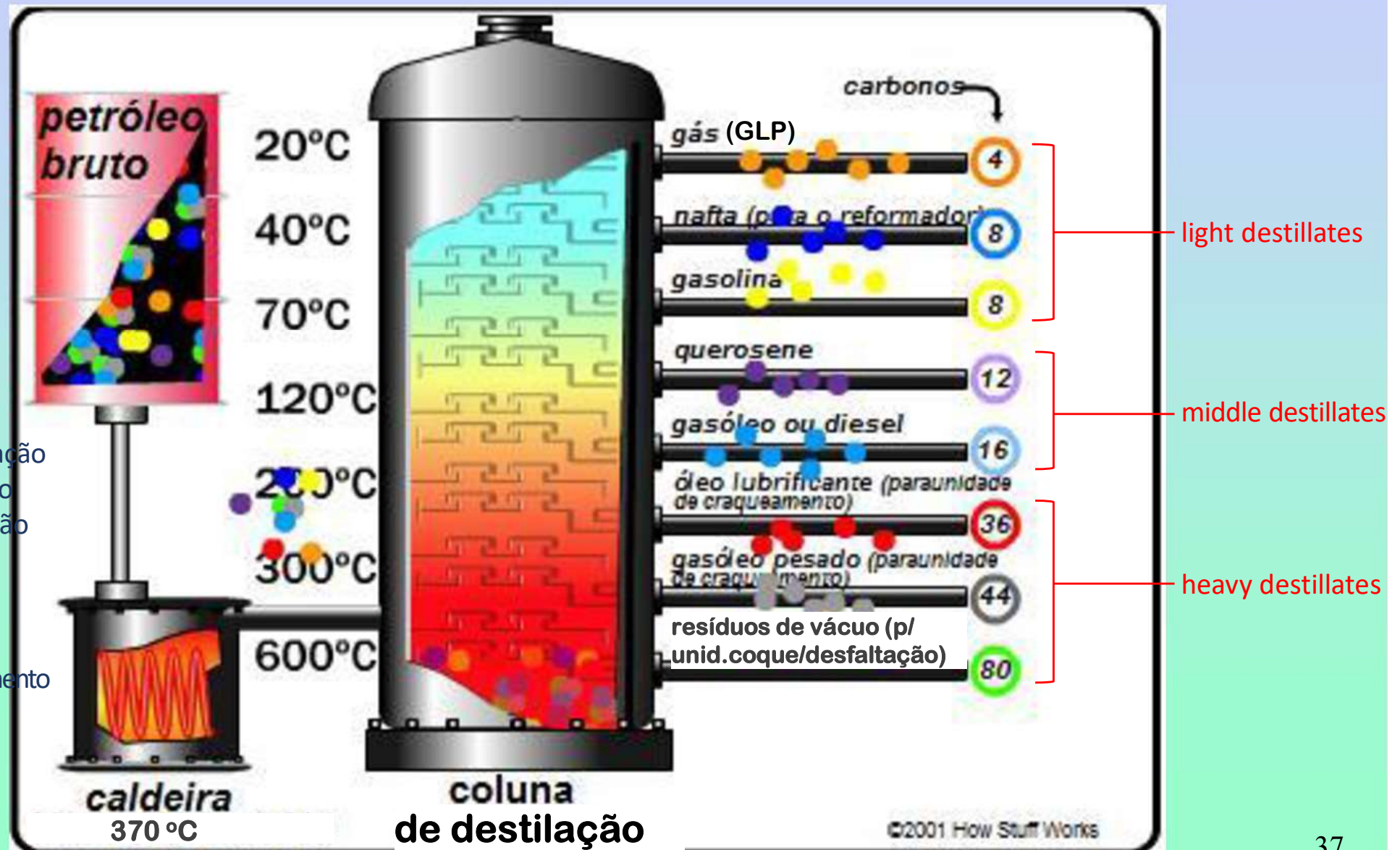
Destilação:

- **Atmosférica (Simples)**
- **Fracionada (mais utilizada)**
- **à Vacuo (utilizada para otimizar a obtenção de frações)**

A destilação atmosférica é normalmente a etapa inicial de transformação realizada em uma refinaria de petróleo, após dessalinização e pré-aquecimento. O diagrama abaixo oferece uma listagem dos tipos de produtos esperados e seu destino.



Destilação Fracionada



- . Dessalinização
- . Decantação
- . Desidratação

- . Pré-aquecimento

Derivados do petróleo

em % por barril

Derivados do petróleo	1998	2014	2018	2021
GLP (gás liquefeito do petróleo)	7,5	7,7	7,2	8,3
Gasolina	16,2	23,1	22,8	24,1
Óleo Diesel	33,9	38,2	40,2	37,0
Querosene ¹	5,0	4,7	6,2	3,5
Óleo Combustível	16,5	12,5	10,3	14,6
Asfalto	1,8	2,5	1,8	1,6
Lubrificantes	1,2	0,5	0,6	0,5
Naftas	11,2	3,9	3,9	4,0
Diversos ²	6,7	6,9	7,0	6,3

¹ inclui QAV e querosene iluminante

² inclui gasolina de aviação, coque, parafina, solventes, diluentes e resíduos não-energéticos

Fonte: ANP - Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis: 2014, 2015

ANP - Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis: 2018, 2019

ANP - Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis: 2021, 2022

Processos de Conversão

- São processos de natureza química que têm por objetivo modificar a composição molecular de uma fração com o intuito de valorizá-la economicamente. Essas modificações são através de reações de quebra, reagrupamento ou reestruturação molecular, podendo ou não ser transformada em outra(s) de natureza química distinta.
- Esses processos ocorrem com ação conjugada de temperatura e pressão nas reações, podendo haver ainda a presença de catalisadores, caracterizando processos catalíticos ou não-catalíticos (térmicos).
- As características dos processos de conversão são tais que seus produtos, quando misturados, não reconstituem de forma alguma a carga original, uma vez que a natureza das moléculas é profundamente alterada.

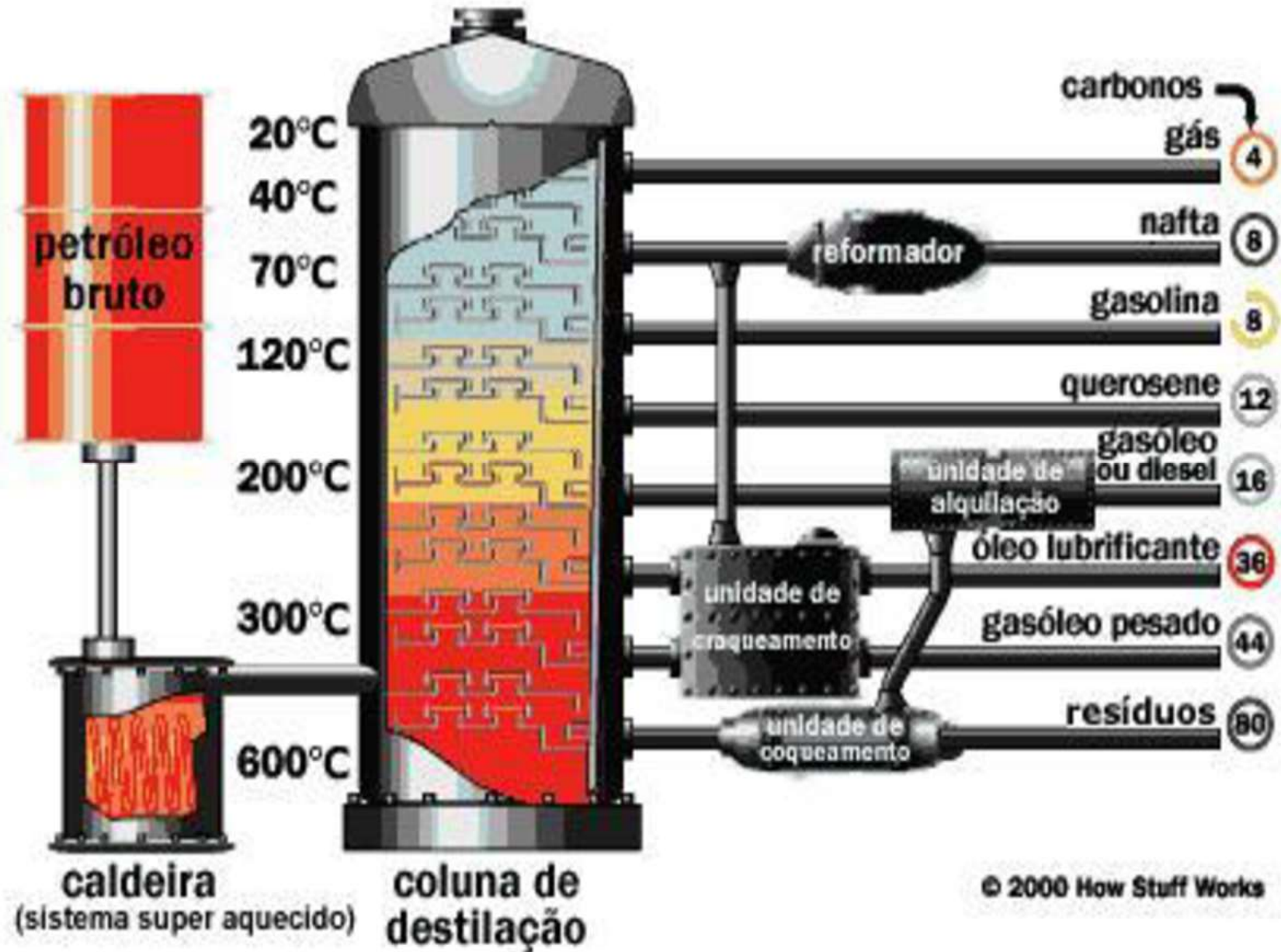
Processos de Conversão

- Sua rentabilidade é elevada, principalmente devido ao fato que frações de baixo valor comercial (gasóleos e resíduos) são transformadas em outras de maior valor (GLP, naftas, querosene e diesel).
- Apesar do investimento ser elevado, normalmente se trabalha com um curto tempo de retorno do capital investido, principalmente quando se consideram os processos de desintegração térmica ou catalítica.

Processos de Conversão

Pode-se transformar uma fração em outra usando um destes três métodos:

- **Craqueamento:** divisão de grandes cadeias de hidrocarbonetos em pedaços menores
- **Reforma:** combinação pedaços menores para criar outros maiores
- **Alquilação:** rearranjo de vários pedaços para fazer os hidrocarbonetos desejados



Produtos do Refino

- Como **combustíveis**:

- GLP
- Gasolina
- Querosene
- Óleo Diesel
- Óleo combustível

- Óleo lubrificante

- Piche: Asfalto

- Nafta: Plásticos

- Parafinas: Cera

- Parafinas: Vela

não energéticos

Qualidade do Petróleo

O Grau API (em inglês, *API Gravity*) é uma escala arbitrária que mede a densidade do petróleo. Foi criada pelo American Petroleum Institute - API, juntamente com a National Bureau of Standards e utilizada para medir a densidade relativa de líquidos. Quanto mais densidade o óleo tiver, menor será seu grau API.

É obtido pela fórmula:

$$^{\circ}\text{API} = (141,5 \div \text{densidade da amostra}) - 131,5$$

onde a densidade é medida relativamente à densidade da água

O grau de API permite classificar o petróleo em:

- **Petróleo leve** ou de base Parafínica: Possui $^{\circ}\text{API} > 30$.
Contém, além de alcanos, uma porcentagem de 15 a 25% de cicloalcanos.
- **Petróleo médio** ou de base Naftênica: Possui $^{\circ}\text{API}$ entre 22 e 30.
Além de alcanos, contém também de 25 a 30% de hidrocarbonetos aromáticos.
- **Petróleo pesado** ou de base Aromática: Possui $^{\circ}\text{API} < 22$.
É constituído, praticamente, só de hidrocarbonetos aromáticos.

Nota: Quanto maior o grau API, maior o valor do produto no mercado.



WTI (West Texas Intermediate, usado no mercado americano, com 39,6 graus API), ou o Brent (adotado no mercado europeu, com 38 graus API)

Nota: A IEA utiliza a nomenclatura North Sea para o Brent.

Características do petróleo brasileiro:

Conforme a classificação da ANP, o grau API médio do petróleo nacional produzido no mês de novembro/2014 foi de 24,6°, sendo 9% de óleo leve ($> 30^{\circ}\text{API}$), 60% de óleo médio ($>22^{\circ}\text{API} <30$) e 31% de óleo pesado ($<22^{\circ}\text{API}$).

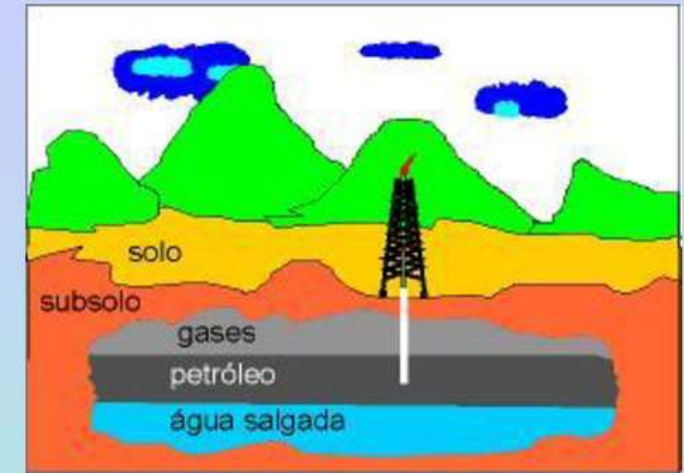
Fonte: SPG/MME. Boletim de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural nº 33, novembro 2014.

Indústria do Petróleo

Resíduos e Meio Ambiente

- Meio ambiente

- estudos sísmicos
- produção de água
- fluido de perfuração
- ferramentas radioativas



- Resíduos

- resíduos oleosos
- resíduos líquidos
- emissão de gases

Impactos ambientais no Refino de Petróleo

Impactos Ambientais Potenciais	Medidas Atenuantes
• Contaminação hídrica devido ao lançamento de efluentes, águas de lavagem, águas de resfriamento e lixiviação das áreas de depósitos de materiais ou rejeitos. OBS: Durante o processo de refino do petróleo, são utilizados em média 246 a 340 litros de água por barril de óleo cru, gerando uma quantidade de água residuária em torno de 0,4 a 1,6 vezes o volume de óleo processado	• Não deve ser lançada nenhuma água residuária, sem o tratamento necessário para sua depuração, nos rios ou em locais onde possa ocorrer infiltração. • Os efluentes hídricos podem ser tratados por meio de: neutralização, evaporação, aeração, floculação, separação de óleos e graxas, absorção por carbono, osmose reversa, troca iônica, tratamento biológico, etc., dependendo do tipo de carga contaminante que se quer remover. • Para lançamento de efluentes líquidos nos corpos hídricos receptores, devem ser observados, devem ser observados os padrões para emissão de efluentes constantes da resolução do CONAMA 020/86. • Os depósitos de materiais que possam ser lixiviados através das águas de chuva, devem ser cobertos e possuir sistema de drenagem, de forma a evitar a contaminação das águas pluviais. • As áreas de armazenamento e manuseio de matérias-primas e produtos devem ser impermeabilizadas e contar com sistema de canaletas ou ralos coletores, de forma que os derrames eventuais sejam conduzidos ao tratamento, assim como as águas de lavagem destas áreas.

Impactos ambientais no Refino de Petróleo

Impactos Ambientais Potenciais	Medidas Atenuantes
Emissões de partículas para a atmosfera, provenientes de todas as operações da planta.	- As emissões de partículas podem ser controladas pelo uso de equipamentos como ciclones, filtros de manga, precipitadores eletrostáticos e lavadores, entre outros. - A emissão de poeira dos pátios e áreas externas, onde não haja contaminantes químicos, pode ser controlada através de pulverização de água.
Emissões gasosas de óxidos de enxofre e nitrogênio, amoníaco, névoas ácidas e compostos de flúor.	O controle das emissões de gases pode ser feito pelo uso de lavadores de gases, ou absorção com carvão ativado, entre outras técnicas.
Liberação casual de solventes e materiais ácidos ou alcalinos, potencialmente perigosos.	- Manutenção preventiva de equipamentos e áreas de armazenamento, para se evitar fugas casuais. - Instalação de diques e bacias de contenção ao redor ou a jusante dos tanques de armazenamento de produtos perigosos ou que possam apresentar riscos para o meio ambiente.

Impactos ambientais no Refino de Petróleo

Impactos Ambientais Potenciais	Medidas Atenuantes
• Contaminação do solo e/ou de águas superficiais ou subterrâneas pela disposição inadequada de resíduos sólidos resultantes dos processos da indústria química, nos quais se incluem também os lodos de tratamento de efluentes hídricos e gasosos e partículas sólidas dos coletores de poeira.	• Os resíduos sólidos que não possam ser recuperados e reaproveitados devem ser tratados adequadamente antes da disposição final. • Para escolha do tratamento adequado, deve ser observada a classificação do resíduo, de acordo com a norma da ABNT – NBR 10004. • De acordo com a natureza do resíduo, as possibilidades de tratamento incluem: incineração, disposição em aterro industrial controlado, inertização e solidificação química, encapsulamento, queima em fornos de produção de cimento, etc. • Não havendo possibilidade de tratamento na área da indústria, o resíduo pode ser tratado em outra planta que disponha de instalações adequadas para tratamento, neste caso, deve-se ter cuidado especial com o transporte. • No caso de o resíduo não ser tratado imediatamente após a sua geração, deve-se prever, na área da indústria, locais adequados para seu armazenamento.

Impactos ambientais no Refino de Petróleo

Impactos Ambientais Potenciais	Medidas Atenuantes
• Alterações no trânsito local, decorrentes da circulação de caminhões de transporte de carga (inclusive cargas perigosas).	• Devem ser avaliadas as condições de acesso e sistema viário durante o estudo de viabilidade do empreendimento, selecionando-se as melhores rotas, de forma a reduzir os impactos e riscos de acidentes.
• Poluição sonora causada pelo uso de equipamentos e operações que geram ruídos elevados.	• Tratamento acústico por meio do enclausuramento de equipamentos ou de proteção acústica nas edificações onde estão instalados os equipamentos ruidosos e/ou nas unidades cujas operações gerem níveis de ruídos significativos.

Fonte: MARIANO, J. B. Impactos Ambientais do Refino de Petróleo. (Dissertação de Mestrado). PPE/COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2001.