

THAÍS DE CARVALHO ISSA

**O PAPEL DO GÁS DE PETRÓLEO NA MATRIZ DE ENERGIA ELÉTRICA
BRASILEIRA – PRESENTE E FUTURO**

Guaratinguetá
2015

THAÍS DE CARVALHO ISSA

**O PAPEL DO GÁS DE PETRÓLEO NA MATRIZ DE ENERGIA ELÉTRICA
BRASILEIRA – PRESENTE E FUTURO**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Oscar Armando
Maldonado Astorga

Guaratinguetá
2015

I861p	Issa, Thaís de Carvalho O papel do gás de petróleo na matriz de energia elétrica brasileira – presente e futuro / Thaís de Carvalho Issa – Guaratinguetá : [s.n], 2014. 60 f. : il. Bibliografia : f. 58-60 Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2014. Orientador: Prof. Dr. Oscar Armando Maldonado Astorga 1. Gás como combustível 2. Energia elétrica 3. Energia elétrica e calor - Cogeração I. Título CDU 662.767
-------	---

THAÍS DE CARVALHO ISSA

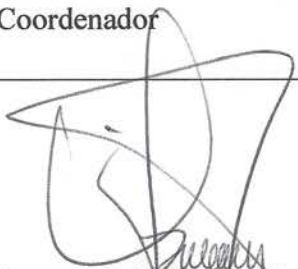
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA"

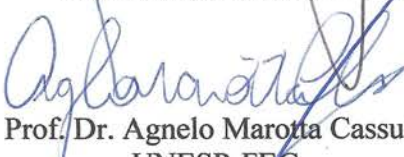
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

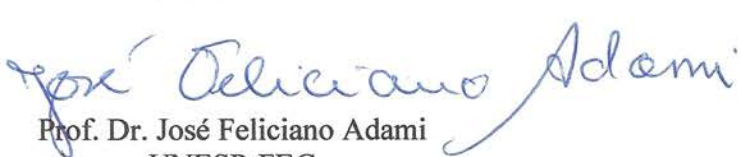
Prof. Dr. Leonardo Mesquita

Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Oscar Armândo Maldonado Astorga
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. Agnelo Marotta Cassula
UNESP-FEG


Prof. Dr. José Feliciano Adami
UNESP-FEG

Janeiro 2015

DADOS CURRICULARES

THAÍS DE CARVALHO ISSA

NASCIMENTO 07.03.1989 – GUARATINGUETÁ/ SP

FILIAÇÃO Jorge Alberto Sigaud Issa
Beatris de Carvalho

2004/2006 Curso Técnico em Eletroeletrônica no Colégio
Técnico Industrial de Guaratinguetá – Universidade
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

2009/2014 Curso de Graduação em Engenharia Elétrica na
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita
Filho” Campus de Guaratinguetá

de modo especial aos meus pais Jorge Alberto e Beatris, que sempre me apoiaram e me deram condições para chegar ao fim desta etapa com sucesso.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, e agradeço também,

à minha família, meus pais *Beto e Beatris*, minhas irmãs *Tatiana, Fabiana e Júlia*, minha madrastra *Patrícia*, e meus avós, que sempre me dão todo o amor e apoio nesta vida.

ao meu namorado, *Gustavo*, por todo seu amor e companheirismo desde sempre, e por toda compreensão e ajuda durante a graduação.

à *Isabel*, por todo amor e cuidado.

às minhas amigas e companheiras de caminhada desde os tempos de colégio técnico, *Evelyn, Mayara e Thaiane*, que sempre forneceram incentivos e apoio nos momentos difíceis.

às minhas amigas e companheiras de graduação, *Aline, Amanda, Priscila e Renata*, por todos os finais de semana de estudo, todas as risadas, todas as lições de vida, e claro, todas as loucuras.

ao meu orientador *Prof. Dr. Oscar Armando Maldonado Astorga*, pela confiança e apoio.

e, finalmente, agradeço a todos os professores da UNESP Guaratinguetá pelos ensinamentos.

“Aprenda como se fosse viver para sempre. Viva como se fosse morrer amanhã”.

Mahatma Gandhi

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Extensão da camada pré-sal das bacias brasileiras.....	15
Figura 2.1 - Produção de petróleo por região (milhões de barris/dia).....	19
Figura 2.2 - Produção de petróleo no Brasil (milhões de barris/dia).....	21
Figura 2.3 – Localização do petróleo no subsolo.....	22
Figura 2.4 – Localização do petróleo na camada de pré-sal.....	22
Figura 2.5 - Torre de destilação atmosférica.....	30
Figura 2.6 - Derivados de petróleo após o refino.....	31
Figura 3.1 Evolução das fontes primárias na geração de eletricidade.....	37
Figura 3.2 - Geração de energia elétrica mundial de acordo com a origem da fonte primária.....	38
Figura 3.3 - Matriz de energia elétrica brasileira.....	40
Figura 3.4 - Esquema do processo de produção de energia elétrica a partir do petróleo.....	42
Figura 3.5 - Usina termelétrica com ciclo combinado.....	43
Figura 3.6 - Instalação típica de uma refinaria.....	45
Figura 3.7 - Matriz elétrica brasileira.....	46
Figura 3.8 - Centrais termelétricas em operação (derivados de petróleo) e potência instalada.....	47
Figura 3.9 - Refinaria de Petróleo com co-geração e venda de eletricidade.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Produção mundial de petróleo.....	20
Tabela 2.2 - Composição elementar típica do petróleo.....	24
Tabela 2.3 - Composição do Gás de Refinaria	34
Tabela 2.4 - Poder calorífico por combustível.....	35
Tabela 3.1 - Geração de energia elétrica por combustíveis fósseis.....	39
Tabela 3.2 - Participação percentual do tipo de usina na matriz energética brasileira.....	40
Tabela 3.3 - Usinas a gás de refinaria em operação.....	48
Tabela 4.1 – Emissão de partículas por combustível gerador de eletricidade.....	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Derivados de petróleo e típicas faixas de corte.....	25
Quadro 2.2 – Frações ou cortes iniciais do petróleo.....	26
Quadro 2.3 – Principais características do gás de refinaria e outros gases.....	35
Quadro 3.1 – Empreendimentos em operação.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional de Petróleo
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BP	<i>British Petroleum</i>
CCC	Conta de Consumo de Combustíveis
CCEE	Câmara de Comércio de Energia Elétrica
CNTP	Condições Normais de Temperatura e Pressão
CORDIS	Comunidade de Serviço da Informação de Pesquisas e Desenvolvimento
EIA	<i>Energy Information Administration</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FCC	Craqueamento Catalítico
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
IEA	<i>International Energy Agency</i>
PVC	Policloreto de Vinila
SIN	Sistema Interligado Nacional

ISSA, T. C. **O papel do gás de petróleo na matriz de energia elétrica brasileira – presente e futuro.** 2015. 60 f. Trabalho de graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo baseado em pesquisa bibliográfica e em exemplos encontrados na literatura, sobre o potencial do gás de petróleo ser utilizado como fonte primária na geração de energia elétrica. O aumento constante da demanda de eletricidade no Brasil torna oportuno o aproveitamento de todas as fontes primárias disponíveis, aliada a esta necessidade o bom momento do país com a descoberta das reservas do pré-sal faz com que se torne interessante o aproveitamento deste gás, muitas vezes desperdiçado, para geração de eletricidade. A geração de energia elétrica, neste trabalho, é ilustrada pela cogeração em plantas de refino de petróleo que tem em funcionamento termelétricas a ciclo combinado. O objetivo final é disponibilizar um texto para consulta que permita identificar as vantagens, desvantagens e tendências deste tipo de geração.

PALAVRAS-CHAVE: Gás de petróleo. Gás de refinaria. Geração de energia. Cogeração.

ISSA, T. C. **The role of petroleum gas in the Brazilian energy matrix - present and future.** 2015. 60 f. Graduate Work (Graduate in Electrical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

ABSTRACT

This paper presents a study based on literature and examples found on literature of the potential of petroleum gas to be used as a primary source to generate electricity. The steady increase electricity demand in Brazil makes desirable an effective use of all available primary sources, combined with this need the momentum of the country with the discovery of the pre-salt reserves becomes interesting the use of this gas, often wasted, for generating electricity. The electricity generation in this work is illustrated by the cogeneration in oil refining plants that have the combined cycle thermal operation. The ultimate goal is to provide a text to identify the advantages, disadvantages and trends of this type of generation.

KEYWORDS: Petroleum gas. Still gas. Refinery gas. Power generation. Cogeneration.

SUMÁRIO

1	OBJETIVO E JUSTIFICATIVA.....	15
1.1	INTRODUÇÃO.....	15
1.2	ESTADO DA ARTE.....	16
1.3	ESTRUTURA DA MONOGRAFIA.....	17
2	O GÁS DE PETRÓLEO.....	19
2.1	O PETRÓLEO NO MUNDO.....	19
2.2	O PETRÓLEO NO BRASIL.....	20
2.3	PRODUÇÃO DO GÁS DE PETRÓLEO.....	21
2.3.1	O Petróleo.....	21
2.3.2	Classificação do Petróleo.....	24
2.3.3	O processo de refino.....	25
2.3.4	Como a refinaria funciona	28
2.3.5	Os derivados do petróleo.....	31
2.4	O GÁS DE REFINARIA (OU GÁS DE PETRÓLEO).....	33
2.5	ASPECTOS ENERGÉTICOS DO GÁS DE REFINARIA.....	34
2.6	UTILIZAÇÃO DO GÁS DE REFINARIA.....	36
2.6.1	Indústria Petroquímica.....	36
2.6.2	Produção de Energia.....	36
3	PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE.....	37
3.1	TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS PARA APROVEITAMENTO DE GÁS.....	41
3.1.1	Ciclo Convencional.....	41
3.1.2	Ciclo Combinado.....	42
3.2	PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE NAS REFINARIAS.....	44
3.3	PARTICIPAÇÃO NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA.....	46
3.3.1	Termelétricas a gás de refinaria.....	48

3.4 OPORTUNIDADES DE UTILIZAÇÃO DO GÁS DE PETRÓLEO.....	51
3.4.1 Tendências e perspectivas deste tipo de geração.....	52
4 ASPECTOS AMBIENTAIS.....	54
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

1 OBJETIVO E JUSTIFICATIVA

1.1 INTRODUÇÃO

No primeiro semestre de 2008, a Petrobras, controlada pelo Governo Federal, anunciou a descoberta de um campo de petróleo na camada pré-sal, abaixo da camada de sal, na Bacia de Santos, litoral brasileiro. Descobertas como estas têm importância estratégica para qualquer país no mercado internacional. Isto porque o petróleo e seus derivados transformaram-se, ao longo dos séculos, não só na principal fonte primária da matriz energética mundial, mas também, em insumo para praticamente todos os setores industriais (ANEEL, 2008).

As avaliações são de que a Bacia de Santos, no Estado de São Paulo, região Sudeste do País, representa a maior parte das reservas no pré-sal, respondendo por 60 bilhões de barris de petróleo. Apenas o campo de Libra, licitado em 2013, apresenta reservas estimadas entre 8 e 12 bilhões de barris de petróleo (INVESTE SP, 2013). A Figura 1.1 ilustra a extensão das bacias descobertas no chamado pré-sal.

A exploração dessa riqueza natural gera oportunidades de negócios nos setores mais diversos da economia brasileira, e dentre essas oportunidades enquadra-se a geração de energia elétrica a partir do gás de petróleo.

Figura 1.1 – Extensão da camada pré-sal das bacias brasileiras.



Fonte: (Petrobras, 2013)

O atual momento do sistema elétrico brasileiro, com aumento constante da demanda de energia e a utilização da geração térmica para o atendimento desta demanda, em função das condições climáticas desfavoráveis para o setor hidrelétrico, do esgotamento dos recursos hídricos próximos aos centros comerciais e do atraso dos principais empreendimentos em nova geração, torna necessário o aproveitamento de todas as fontes primárias disponíveis, dentre elas o gás proveniente do petróleo.

Este estudo visa dimensionar o potencial disponível desta reserva energética, num patamar atual e futuro, e suas vantagens e desvantagens como fonte primária na geração de energia elétrica.

Pesquisas com o mesmo objetivo, ou próximo deste, encontradas em publicações e aqui referenciadas caracterizam o estado da arte e servem também como uma justificativa científica para este trabalho.

1.2 ESTADO DA ARTE

De acordo com a necessidade global de se alcançar cada vez mais a eficiência energética, considerando ainda a grande dependência mundial por derivados de petróleo, o gás de petróleo, também conhecido como gás de refinaria, vem sendo alvo de diversos estudos e publicações na área, alguns dos quais são resumidamente apresentados a seguir:

- A Comunidade de Serviço da Informação de Pesquisas e Desenvolvimento, CORDIS (2014), organização gerida pelo Serviço das Publicações da União Europeia, em nome das direções gerais de investigação da Comissão Europeia e agências, publicou um relatório sobre um projeto financiado pela união européia e os seus resultados sobre o emprego do gás de petróleo na geração de energia elétrica. A publicação denominada *“Continued electricity production by burning refinery gas”*, apresenta os dados de um projeto implantado em uma usina na Grécia. O projeto teve o objetivo de coletar gases que eram antes descartados para utilizá-los numa mistura de gases de diferentes unidades de produção e então servir de combustível para geração de eletricidade. O que economizou energia e minimizou as perdas causadas por cortes de energia na unidade. Além disso, foi observada a melhora na eficiência da energia produzida na unidade. Alguns problemas aconteceram durante a nova configuração da usina, mas mesmo assim o projeto foi considerado bem sucedido, pois apresentou bons resultados tanto na economia de energia, quanto no retorno econômico.

- Segundo Silva (2010), em sua publicação sobre a análise energética em refino de petróleo, é sugerido um estudo aprofundado sobre o melhor aproveitamento do gás de refinaria na geração de energia elétrica para a própria refinaria através da integração de processos e uso de ciclos de geração térmica, além do estudo da reciclagem desses gases no regenerador da unidade, uma vez constatado em seu estudo um potencial não aproveitado.
- Em Lemos (2010) é analisado o uso da energia em refinarias de petróleo e concluído que na área do planejamento energético brasileiro será essencial a utilização de resíduos de combustíveis de processo, além da redução das perdas na utilização da cogeração de energia, visando o aumento da eficiência energética nos parques de refino de petróleo.
- Silva (2012) faz uma análise sobre o uso do gás natural associado ao petróleo na produção de energia elétrica. Silva constata a partir de uma análise econômica que os custos de implantação de uma termelétrica a gás natural estão em torno de metade do preço por kWh de uma usina hidrelétrica. Mas os custos de geração não superam o de uma hidrelétrica. Além disso, ele também conclui que em relação aos aspectos ambientais é necessária uma grande quantidade de água para resfriamento das termelétricas, o que caracteriza uma desvantagem neste tipo de geração. Mas em comparação com todas as outras fontes primárias utilizadas na geração de eletricidade, o gás apresenta uma emissão de poluentes atmosféricos, dentre eles os gases que contribuem para o efeito estufa, muito menor, sendo então um combustível ecologicamente mais correto.

1.3 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

No presente capítulo uma introdução e o estado da arte, que resume o conteúdo de algumas publicações referentes ao mesmo assunto abordado por esta pesquisa, são apresentados.

No segundo capítulo são apresentados os aspectos conceituais sobre o gás de petróleo, como ele é obtido no processo de refino e quais podem ser suas formas de utilização.

No terceiro capítulo é apresentado o panorama da geração de eletricidade no mundo, no Brasil, as tecnologias disponíveis para aproveitamento do gás de petróleo como fonte primária, sua participação na matriz energética brasileira e oportunidades de utilização.

No quarto capítulo é apresentada uma visão geral dos aspectos ambientais relacionados à geração de energia elétrica por gás de petróleo.

No quinto capítulo as conclusões e recomendações sobre a utilização do gás de petróleo na produção de eletricidade são apresentadas.

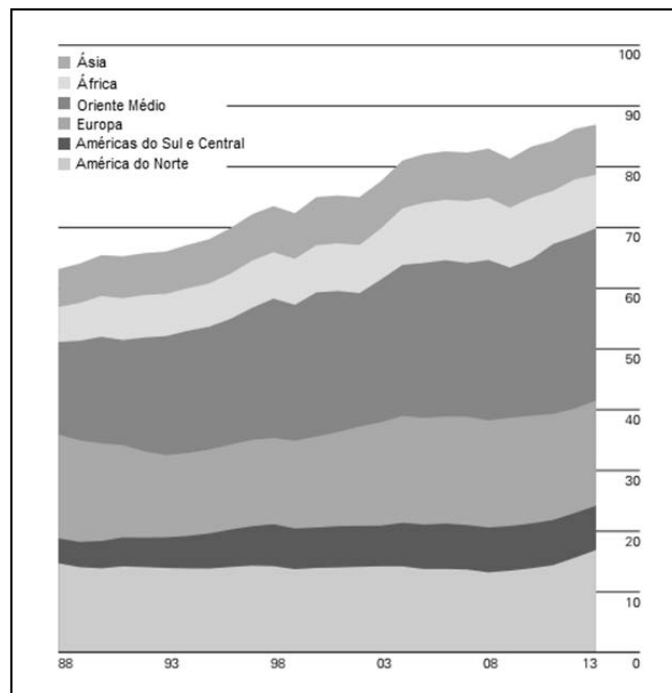
2 O GÁS DE PETRÓLEO

2.1 O PETRÓLEO NO MUNDO

O petróleo desde sua descoberta em volumes comerciais vem sendo uma fonte de energia fundamental para a humanidade. Carros, trens, barcos e aviões são movidos pela queima de seus derivados combustíveis. Do universo de produtos gerados a partir do petróleo, destacam-se os óleos lubrificantes, o asfalto das ruas e derivados do óleo cru, como eteno, buteno e benzeno, utilizados como matéria-prima na indústria petroquímica para fabricação de plásticos e fibras (FARAH, 2012).

Sua extração e produção são crescentes, a Figura 2.1 ilustra essa evolução da produção de petróleo no mundo desde a década de oitenta, quando eram extraídos cerca de 63 milhões de barris¹ de petróleo por dia.

Figura 2.1 - Produção de petróleo por região (milhões de barris/dia).



Fonte: (BP, 2014)

¹ Um barril de petróleo equivale a 159 litros.

A Tabela 2.1 apresenta a produção de barris de petróleo diária dos últimos dez anos, que chegou em 2013 a oitenta e seis milhões setecentos e quarenta mil (86 740 000) barris de petróleo por dia.

Tabela 2.1 - Produção mundial de petróleo

Ano	Produção de petróleo (mil barris/dia)
2003	77639
2004	81054
2005	82107
2006	82593
2007	82383
2008	82955
2009	81262
2010	83296
2011	84049
2012	86204
2013	86740

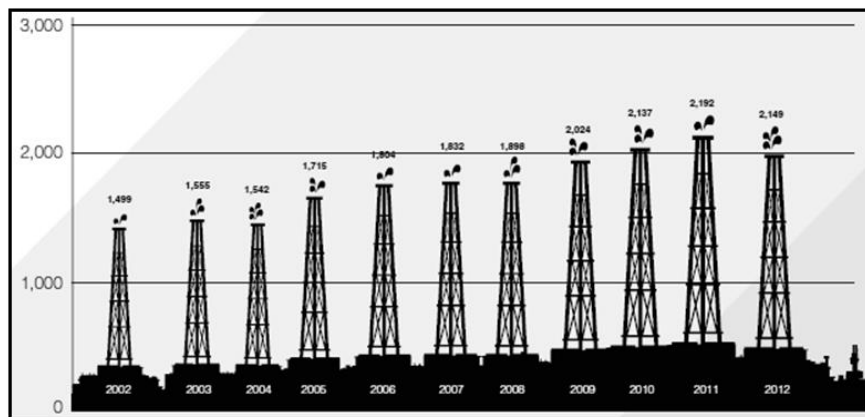
Fonte: (BP, 2014)

2.2 O PETRÓLEO NO BRASIL

O Brasil apresentou um crescimento significativo da produção de petróleo ao longo dos últimos anos, consolidando-se entre as maiores regiões produtoras do mundo. A Figura 2.2 ilustra a evolução da produção de petróleo no Brasil na última década. O país continua emergindo como um grande produtor de petróleo após descobertas de novas bacias, tendo hoje uma produção de aproximadamente dois milhões de barris por dia, e com a expectativa de produção entre três a cinco milhões de barris por dia nos próximos anos, se posicionando dentre os maiores produtores do mundo.

“Estima-se ainda que a exploração do pré-sal fará com que o Brasil atinja a produção de seis milhões de barris por dia até 2035, isso significa um terço do crescimento líquido da produção mundial, tornando-se assim o sexto maior produtor mundial de petróleo, atualmente o país ocupa o 14º lugar. (IEA, 2014)”.

Figura 2.2 - Produção de petróleo no Brasil (milhões de barris/dia)



Fonte: (SP INVESTE, 2013)

2.3 PRODUÇÃO DO GÁS DE PETRÓLEO

Dentre os derivados do petróleo podem ser encontrados diferentes tipos de gases. O objeto de estudo deste trabalho, o gás de petróleo, é conhecido também como gás de refinaria, ou ainda algumas vezes encontrado na literatura como gás combustível. Por este motivo é necessário entender primeiramente o que é o petróleo, como seus derivados são produzidos e quais são esses derivados, para que o gás de petróleo, ou gás de refinaria, seja definido.

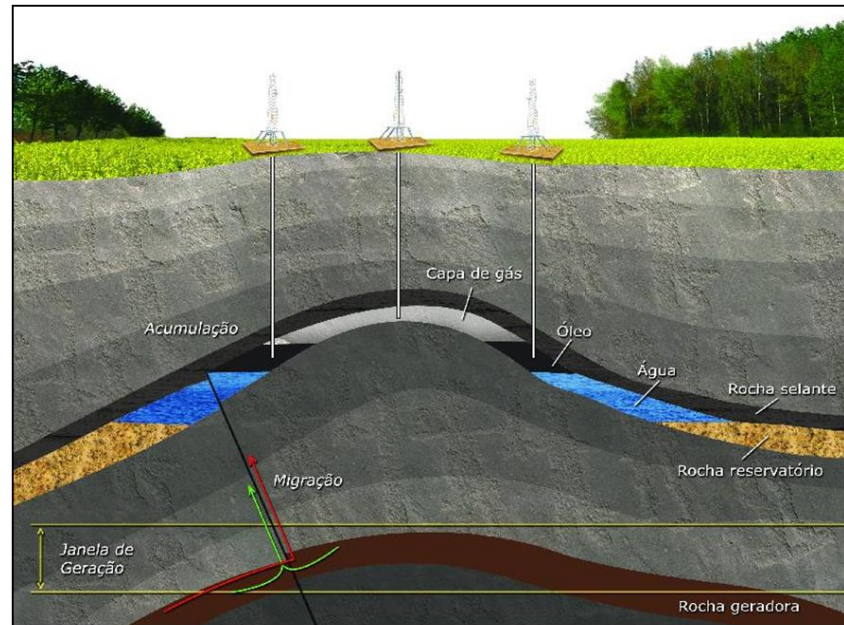
2.3.1 O Petróleo

O petróleo é definido pela Agência Nacional de Petróleo (ANP) em seu glossário da seguinte forma: “Todo e qualquer hidrocarboneto líquido em seu estado natural, a exemplo do óleo cru e condensado”.

É ainda, assim definido pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM): O petróleo é uma mistura de ocorrência natural, consistindo predominantemente de hidrocarbonetos e derivados orgânicos sulfurados, nitrogenados e oxigenados, o qual é, ou pode ser removido da terra no estado líquido.

O petróleo bruto é uma complexa mistura de ocorrência natural, formado a partir da decomposição, durante milhões de anos, de compostos orgânicos e inorgânicos, como plantas, animais marinhos e vegetação típica das regiões alagadiças, e encontrado em terreno sedimentar, como ilustra a Figura 2.3.

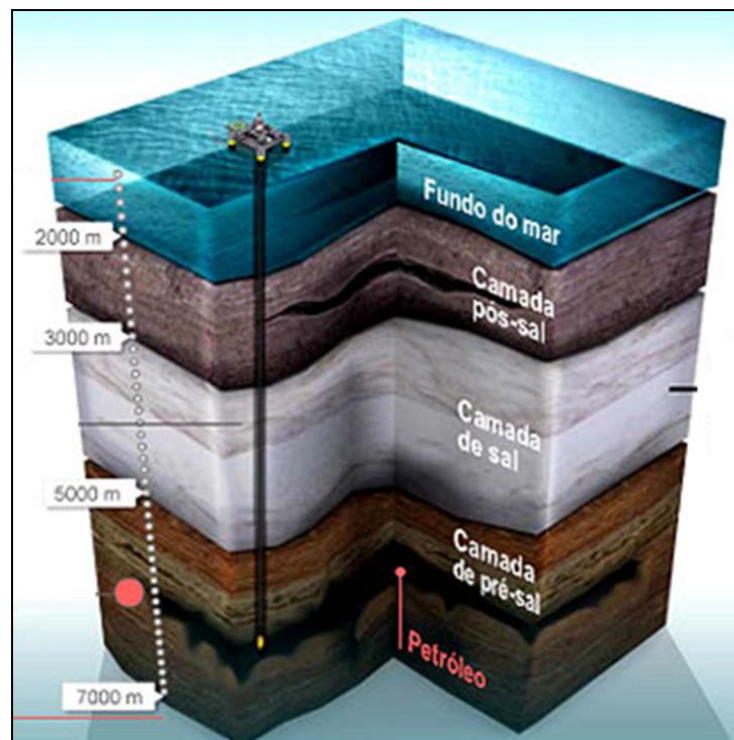
Figura 2.3 – Localização do petróleo no subsolo.



Fonte: (ANP, 2014)

No caso do pré-sal a localização do petróleo é bem diferente, ele é encontrado na camada denominada de pré-sal, que fica abaixo do fundo do mar, depois da camada de sal e pode chegar a mais de 6000m de profundidade como ilustra a Figura 2.4.

Figura 2.4 – Localização do petróleo na camada de pré-sal.



Fonte: (Petrobras, 2014)

Quimicamente é uma mistura complexa constituída por hidrocarbonetos, que são substâncias formadas basicamente por carbono e hidrogênio, e em minoria por não hidrocarbonetos.

Os hidrocarbonetos são compostos formados em sua maioria por átomos de carbono e hidrogênio, e outros átomos como oxigênio, nitrogênio e enxofre, além de íons metálicos, principalmente de níquel e vanádio. Os hidrocarbonetos têm em sua composição desde moléculas bem simples, com poucos átomos, até moléculas complexas de alto peso molecular, e podem chegar a mais de 90% da composição do petróleo.

Os hidrocarbonetos presentes no petróleo, de acordo com a sua estrutura, são classificados em saturados, insaturados e aromáticos. Os hidrocarbonetos saturados, alcanos ou parafínicos, apresentam átomos de carbono que são unidos por ligações simples ao maior número possível de átomos de hidrogênio, constituído de cadeias lineares parafínicos normais, podem ser ramificados, ou cíclicos. Os hidrocarbonetos insaturados, conhecidos como olefinas, apresentam pelo menos uma dupla ou tripla ligação carbono-carbono, enquanto que os hidrocarbonetos aromáticos apresentam um anel de benzeno em sua estrutura (THOMAS, 2004).

Os não hidrocarbonetos, também chamados de impurezas, possuem elementos como enxofre, nitrogênio, oxigênio e metais que podem estar presentes em toda faixa de destilação do petróleo, porém tendem a se concentrar nas frações mais pesadas.

À temperatura ambiente o petróleo apresenta-se no estado líquido, com característica oleosa, é inflamável, e suas propriedades físicas apresentam grandes variações, como por exemplo, densidades relativas entre 0,8 a 1,0. Além disso, podem ser encontrados desde petróleos muito fluidos e claros, com grandes quantidades de destilados leves, até petróleos muito viscosos e escuros com grandes quantidades de destilados pesados (FARAH, 2012).

O petróleo não é uma substância uniforme podendo estar dissolvido em sua massa líquida, gases, sólidos e suspensões coloidais. A faixa de variação da composição elementar do petróleo pode ser observada na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Composição elementar típica do petróleo.

Elemento	%
Carbono (C)	83-87
Hidrogênio (H)	11-14
Enxofre (S)	0,06-8
Nitrogênio (N)	0,11-1,7
Oxigênio (O)	0,1-2
Metais	<0,3

Fonte: (SZKLO, 2008)

Globalmente o petróleo é comercializado em barris, como mencionado anteriormente um barril corresponde a cento e cinquenta e nove litros. Esta medida também é utilizada para dimensionar o volume das reservas de petróleo.

2.3.2 Classificação do petróleo

A classificação mais utilizada para o petróleo está baseada em seu conteúdo químico primário em função do tipo de hidrocarboneto predominante, resultando as seguintes classes principais: parafínica, naftênica e aromática (THOMAS, 2004).

Outro tipo de classificação utilizado é em função da curva de destilação. Cada petróleo possui uma curva de destilação típica. As proporções das frações ou cortes que se obtêm a partir da destilação de petróleo são importantes para caracterizar o petróleo. Estas frações representam o grupo de hidrocarbonetos cujo ponto de ebulição se encontra dentro de determinada faixa de temperatura, caracterizada por duas temperaturas ou pontos de corte, como mostra a Quadro 2.1.

Quando se comparam os produtos obtidos a partir de um mesmo perfil de destilação de dois petróleos diferentes, o que muda não é a temperatura de corte, mas sim quanto de cada produto se obtém nas faixas de corte pré-determinadas.

Quadro 2.1 - Derivados de petróleo e típicas faixas de corte

Fração	T _{ebulição} (°C)	Composição	Usos
Gás residual	<40	C ₁ -C ₂	Gás combustível
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	até 40	C ₃ -C ₄	Gás combustível, uso doméstico e industrial
Gasolina	40-175	C ₅ -C ₁₀	Combustível, solvente
Querosene	175-235	C ₁₁ -C ₁₂	Iluminação, combustível
Gasóleo Leve	235-305	C ₁₃ -C ₁₇	Diesel, fornos
Gasóleo Pesado	305-400	C ₁₈ -C ₂₅	Combustível, matéria-prima para lubrificantes
Lubrificantes	400-510	C ₂₆ -C ₃₈	Óleos lubrificantes
Resíduos	>510	C ₃₈ +	Asfalto, piche, impermeabilizantes

Fonte: (SZKLO, 2008; THOMAS, 2004).

2.3.3 O processo de refino

O petróleo cru não tem aplicação direta. A sua utilização exige o processo de refino, do qual se obtém os derivados que são distribuídos a um mercado consumidor amplo e diversificado. Assim, além da extração, a cadeia produtiva compreende mais três etapas: transporte do petróleo bruto, também chamado de óleo cru (geralmente por oleodutos ou navios), refino e distribuição. A entrega dos derivados ao consumidor final geralmente é feita por caminhões-tanques. Nas refinarias, o petróleo é colocado em ebulição para fracionamento de seus componentes e consequente obtenção de derivados. Os derivados mais conhecidos são: gás liquefeito de petróleo (GLP, ou gás de cozinha), gasolina, nafta, óleo diesel, querosene combustível marítimo, solventes, parafinas e coque de petróleo. O gás de petróleo não está entre os derivados de petróleo mais conhecidos.

Dependendo da proporção de hidrocarbonetos na sua composição o petróleo se mostra mais adequado para a produção de um ou outro derivado, em outras palavras, o tipo de derivado obtido depende da qualidade do petróleo: leve, médio ou pesado, de acordo com o tipo de solo do qual foi extraído e a composição química.

O petróleo leve, como o produzido no Oriente Médio, dá origem a um maior volume de gasolina, GLP e naftas, produtos finais amplamente utilizados no mundo. Por este motivo é, também, o mais valorizado no mercado. As densidades médias produzem principalmente óleo diesel e querosene. As mais pesadas, características da Venezuela e Brasil, produzem mais óleos combustíveis e asfaltos.

Para produção de energia elétrica, utiliza-se o óleo diesel e o óleo combustível e, em menor proporção, o óleo superviscoso e o gás de refinaria.

Para entender como o gás de petróleo é produzido e obtido é necessário entender o processo de refino do petróleo.

O refino de petróleo constitui a separação deste insumo, via processos físico-químicos, em frações de derivados, que são processados em unidades de separação e conversão até os produtos finais (SZKLO, 2008).

Este processamento acontece em unidades denominadas refinarias. Uma refinaria é uma instalação complexa que leva em conta diversos fatores técnicos para sua construção, destacando-se sua localização, as necessidades de um mercado e o tipo de petróleo a ser processado. A refinaria pode, por exemplo, estar próxima a uma região onde haja grande consumo de derivados, ou próxima a áreas produtoras de petróleo.

A composição da carga na refinaria pode variar significativamente. Por esta razão “não existem duas refinarias iguais no mundo”.

Os processos realizados durante o refino do petróleo têm por objetivo então transformar os produtos iniciais e suas frações de corte, em produtos finais para que possam ser comercializados. O Quadro 2.2 apresenta os cortes iniciais mais importantes encontrados no petróleo.

Quadro 2.2 - Frações ou cortes iniciais do petróleo.

Frações e cortes iniciais do petróleo	
Gás Combustível (C ₁ -C ₂)	Combustível de refinaria, matéria prima para etileno.
GLP (C ₃ -C ₄)	Combustível doméstico e industrial, matéria-prima para petroquímica, obtenção de gasolina de aviação, veículo propelente para aerossóis.
Nafta (20-220°C)	Gasolina automotiva e de aviação, matéria-prima para petroquímica (principal), produção de solventes.
Querosene (150-300°C)	QAV, QI, produção de detergentes.

Gasóleo atmosférico (70-400°C)	Diesel, combustível doméstico e industrial (heating oil) e matéria-prima para petroquímica (gasóleo petroquímico).
Gasóleo de vácuo (400-750°C)	Carga para craqueamento (gasolina e GLP), produção de lubrificantes (subproduto parafinas), matéria-prima da petroquímica.
Resíduo de vácuo (acima de 570°C)	Óleo combustível, asfalto, lubrificantes de alta viscosidade, coque de petróleo.

Fonte: (SZKLO, 2008).

As etapas do processo de refino existentes podem ser divididas em quatro grandes grupos:

- Processos de Separação;
- Processos de Conversão;
- Processos de Tratamento; e
- Processos Auxiliares.

2.3.3.1 Processos de Separação

Estes processos são de natureza física, não alterando a natureza das moléculas envolvidas. Eles ocorrem por ação de energia (na forma de modificações de temperatura e/ou pressão) ou de massa (na forma de relações de solubilidade a solventes) sobre o petróleo ou suas frações. Exemplos destes processos são a destilação atmosférica e a vácuo, estabilização de naftas, extração de aromáticos, desaromatização a furfural, entre outros.

2.3.3.2 Processos de Conversão

Estes processos são de natureza química, englobando reações de quebra, reagrupamento e reestruturação molecular. As reações específicas de cada processo são conseguidas por ação conjugada de temperatura e pressão sobre os cortes, sendo bastante frequente a presença de um agente catalisador. A presença ou ausência desse agente, classifica o processo em catalítico ou não.

Os processos de conversão costumam ter alta rentabilidade, por conseguir transformar frações de baixo valor comercial, geralmente pesadas, em destilados leves e médios. Por este motivo, existe hoje uma forte tendência para o aperfeiçoamento destas tecnologias. Processos catalíticos deste tipo são o craqueamento catalítico fluido (FCC), hidrocrackeamento

catalítico, a alquilação, a reforma catalítica e a isomerização. Os processos não-catalíticos são o craqueamento térmico, a viscorredução e o coqueamento retardado.

No Brasil, dentre os processos de conversão implantados, o FCC é o mais utilizado. A Petrobrás utiliza esse processo em 90% de suas refinarias.

2.3.3.3 Processos de Tratamento

Também conhecidos como processos de acabamento, são de igual forma de natureza química, porém objetivam a melhoria de qualidade de cortes semiacabados, eliminando ou reduzindo impurezas presentes em suas constituições. Estes processos podem ser classificados em duas categorias: convencionais e hidro processamento.

Os primeiros são mais utilizados em frações leves, não requerendo condições operacionais severas ou grandes investimentos de implantação.

Os processos de tratamento vêm ganhando destaque devido ao maior aproveitamento de óleos não convencionais, principalmente através de tecnologias de conversão que possuem sistema catalítico sensível à presença de impurezas, e ao afunilamento das especificações ambientais e de qualidade dos derivados de petróleo.

2.3.3.4 Processos Auxiliares

São aqueles que se destinam ao fornecimento de insumos à operação dos outros processos já citados ou ao tratamento de rejeitos destes mesmos processos. Incluem-se neste grupo a geração de hidrogênio, fornecimento deste gás às unidades de hidro processamento, a recuperação de enxofre, produção desse elemento à partir da queima do gás ácido rico em ácido sulfídrico, e as utilidades, vapor, água, energia elétrica, ar comprimido, distribuição de gás e óleo combustível, tratamento de efluentes e tocha, que embora não sejam de fato unidades de processo, são imprescindíveis a eles.

2.3.4 Como a refinaria funciona

O processo de fracionamento do petróleo objetiva o máximo aproveitamento de seu potencial energético. Partindo-se do princípio que os pontos de ebulição dos hidrocarbonetos aumentam conforme os pesos moleculares, a variação das condições de aquecimento do petróleo possibilita a vaporização de compostos leves, intermediários e pesados, que são

separados quando condensam. O que resta é uma borra constituída basicamente de hidrocarbonetos de pesos moleculares elevados. Igualmente, como o ponto de ebulição de um líquido é função da pressão que lhe é aplicada, com as variáveis: temperatura e pressão, tem-se a completa destilação do petróleo.

Fundamentalmente, são três as seções que compõem uma unidade de refino de petróleo: pré-vaporização, destilação atmosférica e destilação a vácuo.

Inicialmente o petróleo é bombeado a uma bateria de trocadores de calor por onde estão passando os produtos acabados a serem resfriados. Uma vez aquecido, o petróleo passa pela dessalinizadora, onde é removida a água, os sais e as partículas sólidas em suspensão. Após a dessalinização, o petróleo passa por um segundo pré-aquecimento, onde a troca térmica realizada com os produtos que deixam a unidade, tem como objetivo otimizar o sistema, diminuindo o intervalo entre a temperatura inicial e a temperatura ideal ao fracionamento do petróleo, que é alcançada através de fornos tubulares. A temperatura máxima de aquecimento do petróleo é de aproximadamente 3700° C. A partir deste valor, ocorre o craqueamento térmico e consequente deposição do coque nos tubos dos fornos e regiões inferiores das torres. Na saída dos fornos, grande parte do petróleo já está vaporizada e a carga é introduzida na torre de destilação atmosférica.

Na etapa de destilação atmosférica, Figura 2.3, é onde grande parte da carga se vaporiza e se fraciona em diferentes cortes, através de 30 a 50 estágios, cada um correspondendo a uma diferente temperatura de condensação.

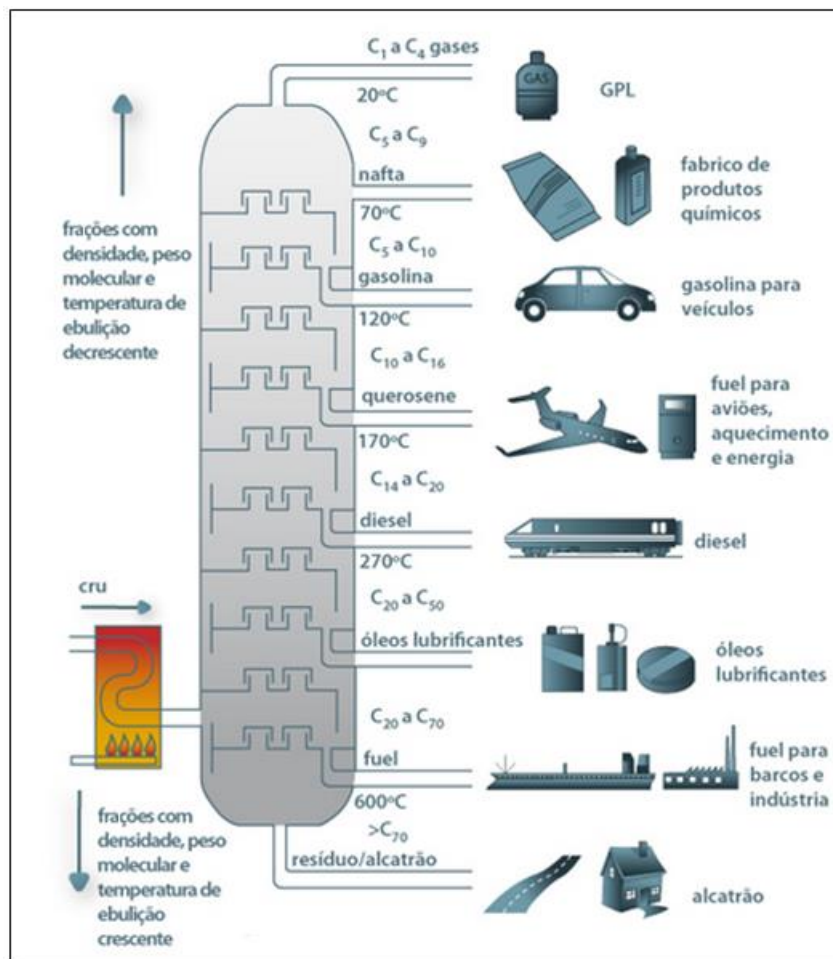
As torres possuem em seu interior bandejas que permitem a separação do petróleo pelos seus pontos de ebulição, uma vez que quanto mais próximos do topo, menores as temperaturas. As frações leves se condensam e são coletadas no topo da coluna, enquanto as pesadas, às vezes, nem se vaporizam e são coletadas no fundo da coluna, de onde seguem à princípio, para a coluna de destilação à vácuo.

Na teoria, ocorrem pelo menos quatro retiradas laterais na coluna, de acordo com as seções de cortes. Cada fração retirada lateralmente é enviada a uma torre de *stripping*, torre que separa os componentes voláteis da fase líquida e os transfere para a fase gasosa, e possui de 4 a 10 estágios.

Uma torre de destilação tem como produtos laterais o óleo diesel, o querosene e a nafta pesada. Pelo topo, os produtos obtidos são o GLP, a nafta leve e o gás de refinaria, ou também chamado na refinaria de gás combustível. O resíduo da destilação atmosférica, obtido no fundo da coluna, é conhecido como cru reduzido, e pode ser utilizado como óleo combustível. Entretanto, o cru reduzido contém frações de significativos potenciais

econômicos, que não podem ser fracionados através da destilação atmosférica em função de seus elevados pontos de ebulição. Neste caso então, aplica-se a segunda variável do refino de petróleo: a pressão, por meio da destilação a vácuo.

Figura 2.3 - Torre de destilação atmosférica.



Fonte: (ANP, 2008).

À saída da torre de destilação atmosférica, o óleo cru reduzido é bombeado aos fornos da seção de vácuo, onde será aquecido à temperatura máxima novamente. A seguir, a carga é enviada à zona de flash da torre de vácuo, e boa parte da carga é vaporizada. Da mesma forma que na destilação atmosférica, os hidrocarbonetos passam por bandejas de fracionamento, originando o gasóleo leve, e o gasóleo pesado. O resíduo do processo é uma borra de elevadíssimo peso molecular, com razoável concentração de impurezas que pode ser utilizada como óleo combustível ou asfalto.

Quando, ao gasóleo proveniente da destilação a vácuo, que seria utilizado como óleo combustível, é adicionado um catalisador a alta temperatura, processo de FCC, ocorre uma

ruptura das cadeias moleculares, originando uma nova mistura de hidrocarbonetos a ser fracionada. Este processo tem por finalidade a produção de gasolina e GLP.

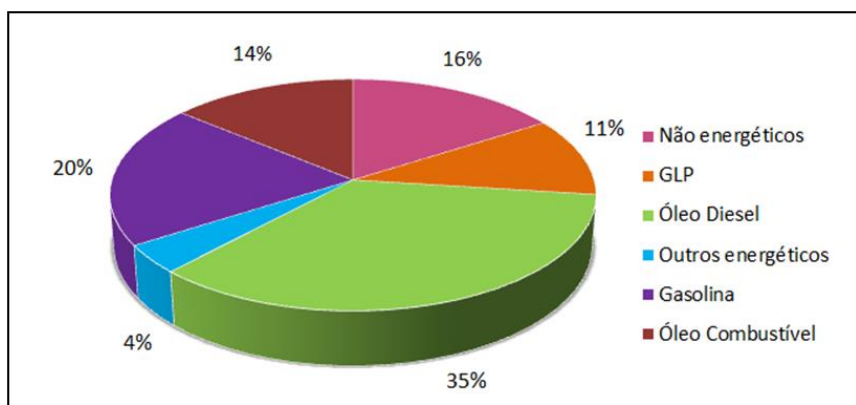
2.3.5 Os derivados de petróleo

Então, após a passagem por todas as etapas do processo de refino, os derivados estão finalmente prontos e podem ser encaminhados às distribuidoras, que os comercializarão em sua forma original ou aditivada. Os produtos finais geralmente são divididos em três categorias:

- Combustíveis (gasolina, diesel, óleo combustível, GLP, querosene de aviação, querosene, coque de petróleo, gás de refinaria, óleos residuais) – cerca de 90% dos produtos de refino no mundo.
- Produtos acabados não combustíveis (solventes, lubrificantes, graxas, asfalto e coque).
- Intermediários da indústria química (nafta, etano, propano, butano, etileno, propileno, butilenos, butadieno).

As quantidades obtidas de derivados de petróleo após o refino variam muito dependendo da composição do petróleo utilizado na entrada da refinaria, dentre outros fatores como o local de onde esse petróleo foi extraído, sua composição química, etc. Em geral pode ser considerada a proporção de derivados da Figura 2.4, obtidos nas refinarias brasileiras.

Figura 2.4 - Derivados de petróleo após o refino.



Fonte: (ANP, 2014)

O gás de petróleo, ou ainda gás de refinaria, objeto deste estudo, não é encontrado individualmente, apenas dentro da parcela de “outros energéticos” obtidos após o refino. Em

algumas literaturas inclusive, o gás de petróleo não é considerado um derivado de petróleo devido ao fato de ser consumido diretamente na própria refinaria.

Dos produtos de petróleo obtidos após o refino cerca de 1% é transformado em gás de petróleo, e de acordo com a Tabela 2.1 é possível afirmar que foi produzido em 2013 o equivalente a 867400 barris de gás de petróleo por dia, ou ainda de acordo com a equação (2.1) aproximadamente 138×10^6 litros de gás de petróleo. Hoje a maior parte desses gases é descartada, ou seja, liberados para a atmosfera durante processo de refino.

$$\text{Qtd. de Gás} = 1 \text{ barril} \times \frac{159 \text{ litros}}{\text{barril}} \quad (2.1)$$

Antes de definir o gás de petróleo, para que não haja confusão, algumas definições de outros gases são necessárias. Estes gases são: o gás liquefeito de petróleo (GLP), gás que também é obtido no processo de refino do petróleo, e o gás natural, gás não obtido no processo de refino. Essas definições são apresentadas a seguir:

- Gás Liquefeito do Petróleo (GLP):** Mistura de hidrocarbonetos com alta pressão de vapor, obtida do refino de petróleo ou do gás natural em unidades de processo especiais, que é mantida na fase líquida em condições especiais de armazenamento na superfície. Tem poder calorífico de até 11.900 kcal/kg. Este gás pode ser decompostos em correntes C3 e C4 para utilização das indústrias petroquímicas. O C4 é a base do butadieno que é a matéria-prima para a produção da borracha sintética. O propeno, da corrente C3, é utilizado para produção de fibras acrílicas e polipropileno. Nos Estados Unidos, a corrente de GLP é utilizada no processo de alcoilação, para produção de gasolina de alta octanagem. No processo de refino de petróleo, o GLP não é condensado em nenhum dos pratos da torre de destilação, sai pelo topo da coluna e é condensado em trocadores de calor externos. A unidade de craqueamento catalítico é a principal fonte de obtenção do GLP. É um produto que pode ser separado das frações mais leves do petróleo ou das mais pesadas do gás natural, Como todos os derivados de petróleo, compõe-se basicamente de hidrocarbonetos com três e quatro átomos de carbono. Nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP), é um produto gasoso e inodoro. Para facilitar sua armazenagem e transporte, é liquidificado. Para segurança dos usuários, são-lhe adicionados odorantes a base de enxofre, o que permite a identificação de vazamentos.

- **Gás Natural ou Gás:** É uma mistura de hidrocarbonetos, dentre os quais se destacam o metano, o etano e o propano, resultantes da degradação de matéria orgânica por bactérias anaeróbias e pela elevação da temperatura e pressão da crosta terrestre. O gás natural é encontrado no subsolo, por acumulações de gás que ocorrem em rochas porosas, isoladas do exterior por rochas impermeáveis, associadas ou não a depósitos petrolíferos. Além dos hidrocarbonetos, fazem parte da composição do gás natural bruto outros componentes como o dióxido de carbono (CO_2), o nitrogênio (N_2), hidrogênio sulfurado (H_2S), água (H_2O), ácido clorídrico (HCl), metanol e outras impurezas (CARDOSO, 2005). Apesar dos componentes serem em grande parte os mesmos, é importante destacar que as quantidades destes que compõem o gás natural e o gás de petróleo são bem diferentes, e ainda que o gás natural não é um derivado de petróleo e não deve ser confundido com o objeto deste estudo, o gás de petróleo, ou gás de refinaria.

No tópico seguinte é apresentada a definição do gás de petróleo, ou gás de refinaria¹, separadamente, uma vez que ele é nosso objeto de estudo para geração de eletricidade neste trabalho.

2.4 O GÁS DE REFINARIA (OU GÁS DE PETRÓLEO)

“Uma mistura contendo principalmente hidrocarbonetos gasosos (além de, em muitos casos, alguns compostos sulfurosos) produzida nas unidades de processo de refino de petróleo. Os componentes mais comuns são hidrogênio, metano, etano, propano, butanos, pentanos, etileno, propileno, butenos, pentenos e pequenas quantidades de outros componentes, como o butadieno. É utilizado principalmente como fonte de energia na própria refinaria (ANP, 2014)”.

Segundo a IEA (2014) o gás de refinaria é formado por uma mistura de gases não condensáveis, que consiste principalmente de hidrogênio, metano, etano e olefinas obtido

¹ Conhecido na literatura internacional como *Still Gas*.

durante a destilação de petróleo ou de tratamento dos produtos de petróleo (por exemplo, craqueamento) em refinarias de petróleo bruto.

O gás de refinaria é composto basicamente de H_1 , C_1 , C_2 e outros compostos em menor proporção. Tem peso molecular igual a 24; poder calorífico superior de até 12.500 kcal/m³ e densidade relativa igual a 0,82.

A Tabela 2.3 apresenta em detalhes uma composição química geral do gás de refinaria, uma vez que esta composição pode variar dependendo da composição do petróleo bruto na entrada da refinaria e dos processos pelos quais tenha sido submetido durante o refino. Em geral nas refinarias, para se determinar a real composição, o gás de refinaria é submetido à cromatografia, uma análise feita por equipamento especializado que identifica quantitativamente as substâncias presentes no gás.

No processo de refino de petróleo, o gás de refinaria pode ser obtido no craqueamento catalítico (FCC), nas destilações atmosférica e a vácuo, através de reformação e no coqueamento retardado. Antes de sair da unidade o gás de refinaria geralmente é tratado com Di-Etanol-Amina, que remove o H_2S , que pode ser utilizado como matéria-prima no processamento do enxofre.

Tabela 2.3 - Composição do Gás de Refinaria

Componente	% massa
Hidrogênio	2
Metano	25
Corrente C_2	45
Corrente C_3	15
Corrente C_4	2
Fração C_5+	1
Outros	10

Fonte: (ABIQUIM, 2013)

2.5 ASPECTOS ENERGÉTICOS DO GÁS DE REFINARIA

O gás de petróleo, ou gás de refinaria, tem grande poder calorífico se comparado a outras fontes primárias. Na Tabela 2.4 são apresentados os valores em quilo calorias de diferentes tipos de combustíveis, dentre esses alguns também são utilizados como fonte primária na geração de energia elétrica.

Tabela 2.4 - poder calorífico por combustível.

Quantidade	Combustível	Poder Calorífico [kcal]
1 m ³	Gás de Refinaria	12.500
1 kg	GLP	11.500
1 m ³	Gás Natural	9.400
1 kg	Óleo Diesel	10.200
1 kg	Carvão	5.000
1 kg	Lenha	2.900
1 kw	Energia Elétrica	860

Fonte: (COPAGAZ, 2014)

O Quadro 2.3 apresenta uma comparação entre o gás natural, o GLP e o gás de refinaria para que fiquem claras as diferenças entre eles.

Quadro 2.3 – Principais características do gás de refinaria e outros gases.

	GÁS NATURAL	GLP	GÁS DE REFINARIA
Origem	Reservatórios de gás no subsolo associados ou não a reservas de petróleo	Destilação de petróleo ou processamento de gás natural	Processos de refino de petróleo (principalmente destilação e craqueamento catalítico)
Peso Molecular	17 a 21	44 a 56	24
Poder calorífico (kcal/m³)	Rico: 10.900 Processado: 9.300	24.000 a 32.000	12.500
Densidade relativa	0,58 a 0,72	1,50 a 2,00	0,82
Principais componentes	Metano e etano	Propano e butano	Hidrogênio, nitrogênio, metano e etano
Principais utilizações	Residencial, comercial, automotivo e industrial (combustível, petroquímica e siderúrgica)	Residencial, comercial e industrial (combustível)	Industrial (combustível e petroquímica)
Pressão de armazenamento	200 atm	15 atm	não armazenado

Fonte: (MOREIRA, 2005; Elaboração própria)

2.6 UTILIZAÇÃO DO GÁS DE REFINARIA

O gás de refinaria pode ser utilizado como um combustível de refinaria ou como matéria prima da indústria petroquímica (EIA, 2014).

2.6.1 Indústria petroquímica

Na indústria petroquímica, o gás de refinaria pode ser utilizado para produzir eteno. O eteno é um dos principais compostos utilizados no setor químico industrial, pois ele é a principal matéria prima para a produção de polietileno e de PVC.

O polietileno é um dos polímeros mais versáteis existentes, possuindo diversas aplicações, dentre as quais se destacam: filmes, sacolas plásticas, embalagens para a indústria de alimentos, frascos e recipientes para a indústria cosmética, engradados para bebidas, lonas, caixas d'água, fios e cabos elétricos, além de tubos para água e gás, tanques de combustível e entressolas de calçados (BRASKEM, 2014).

O PVC tem grande participação nos materiais plásticos presentes no nosso cotidiano, sendo amplamente utilizado na construção civil na forma de tubos e conexões, janelas, portas, pisos, forros e telhas.

Segundo Moreira (2006) mundialmente, a exploração comercial de eteno produzido no refino é relativamente pequena. Nas refinarias da Petrobras, o gás de refinaria, do qual pode ser extraído o eteno, é usado hoje apenas para a produção de energia não havendo ainda recuperação deste produto para uso na indústria petroquímica. Para essa finalidade as Unidades de Processamento de Gás de Refinaria é que poderiam separar e purificar uma corrente de etano e eteno de forma adequada ao uso petroquímico, mas ao que tudo indica o aproveitamento do eteno nessas unidades depende de investimentos, o que não é prioridade para as usinas de refino no país hoje.

2.6.2 Produção de energia

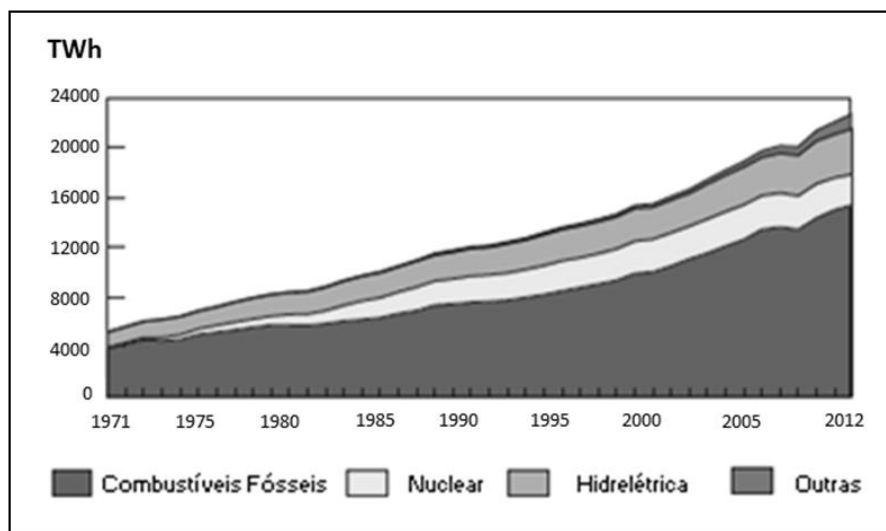
O gás de refinaria é muito utilizado na cogeração de energia elétrica no próprio parque de refino. É considerado o principal combustível requerido para a produção de vapor e eletricidade. A produção de eletricidade a partir do gás e mais detalhes sobre as tecnologias disponíveis são apresentadas no capítulo seguinte.

3 PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE

Durante todo o século XX, a grande oferta de energia, principalmente vinda dos combustíveis fósseis como petróleo e carvão mineral, deu suporte ao crescimento e às transformações da economia mundial. Mas nos primeiros anos deste século, o cenário mudou ao ser colocado à prova por uma nova realidade: a necessidade do desenvolvimento sustentável. A disponibilidade energética deveria se manter compatível com o acentuado aumento do consumo provocado por um novo ciclo de crescimento econômico, observado principalmente nos países em desenvolvimento. (ANEEL, 2008).

A Figura 3.1 ilustra a mudança das fontes geradoras de energia elétrica ao longo do desenvolvimento mundial desde 1971, na qual é possível observar que grande parte da geração de energia ainda depende de combustíveis fósseis. Mas é importante ressaltar que a tendência de grande consumo das fontes esgotáveis faz com que seja muito bem vinda qualquer tipo de melhora ou eficiência nos processos de transformação da fonte primária.

Figura 3.1 - Evolução das fontes primárias na geração de eletricidade.



Fonte: (IEA, 2014)

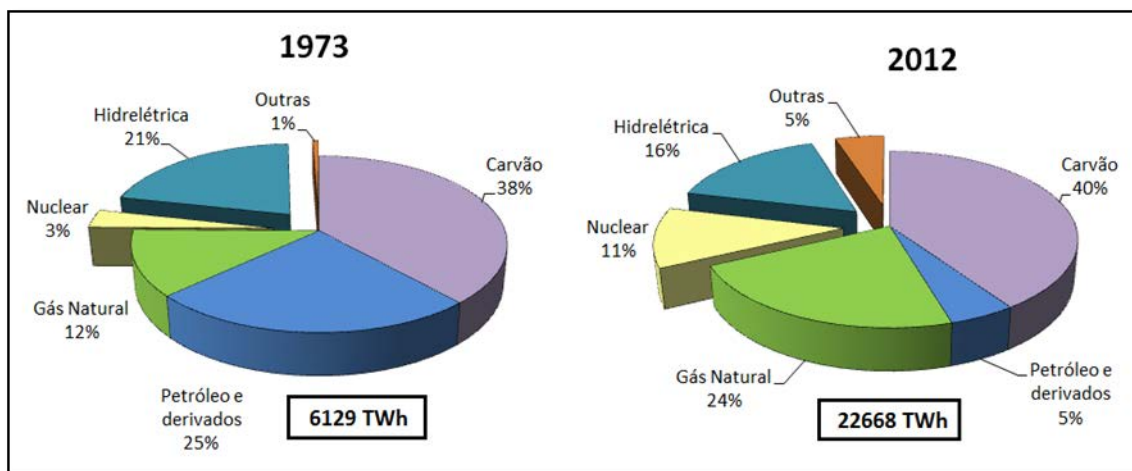
Na década de 70 os combustíveis fósseis representavam quase que a totalidade das fontes primárias na geração de eletricidade. Hoje 45% da eletricidade do mundo é gerada por carvão, e petróleo e derivados, no passado esse valor chegou a 80%. Observa-se então uma tendência para que as fontes tradicionais sejam substituídas por recursos ecologicamente mais corretos, como o gás natural por exemplo, que apesar de ser um combustível fóssil é muito menos agressivo ao meio ambiente. Além disso, os consumidores tem sido induzidos a

substituir energéticos mais poluentes por outros de menor impacto ambiental e a aderir a práticas mais eficientes, por meio das quais é possível obter o mesmo resultado utilizando menor quantidade de energia.

A Figura 3.2 ilustra em porcentagem quanto cada fonte primária geradora de energia elétrica representava no passado e representa nos dias de hoje. Nota-se o crescimento das fontes renováveis, como solar, eólica, etc. É possível observar também que o gás natural praticamente dobrou sua participação na matriz energética mundial, passando de 12,1 % para 22,5%, dentre diversos fatores com certeza um que contribui para esse aumento de participação, foi o fato de o gás natural ser um combustível ecologicamente mais correto que as outras fontes primárias. É interessante ressaltar que o gás de petróleo tem características muito semelhantes ao gás natural quando levada em consideração sua combustão.

Não foi encontrada a individualidade do gás de petróleo como fonte primária de energia, mas dentro apenas da parcela de energia elétrica produzida por petróleo e derivados.

Figura 3.2 - Geração de energia elétrica mundial de acordo com a origem da fonte primária.



Fonte: (IEA, 2014)

A participação do petróleo na produção mundial de energia elétrica sempre teve um papel significativo, mas tem sido cada vez menos expressiva em decorrência dos investimentos realizados na utilização de outras fontes, menos agressivas ao meio ambiente e com preços menores e mais estáveis. Em 2012 representou apenas 5% do total da energia elétrica produzida no mundo, como apresentado na Figura 3.2.

Os derivados de petróleo mais utilizados na geração de eletricidade são o óleo diesel, o óleo combustível, e em menor frequência e quantidade, o óleo ultra-viscoso e o gás de petróleo, cuja combustão produz o vapor necessário à movimentação de turbinas. A produção

de energia ocorre em termelétricas, instalação industrial que serve para gerar energia pela queima de combustíveis fósseis.

De acordo com o “*Key World Energy Statistics*” da IEA (2014) 3,76 TWh de energia elétrica foi produzida em 2012 a partir do gás de petróleo. Esse valor representou 0,19% da energia total produzida no mundo em 2012, que teve um total equivalente a 22668 TWh.

Considerando o calculado na equação (2.1), em 2013 foram gerados aproximadamente 138×10^6 litros de gás de petróleo por dia no mundo. Partindo do princípio de que todo este gás fosse aproveitado para produção de eletricidade, é possível calcular quantos TWh poderiam ter sido gerados em 2013, este cálculo é apresentado no tópico 3.4.

Atualmente o petróleo tem papel relevante na geração de eletricidade em países que não dispõem de muitas outras alternativas, como México, Itália, Portugal e Japão, por exemplo.

Dentre os países da União Europeia, os derivados são utilizados principalmente em usinas termelétricas complementares as usinas movidas por outras fontes e são acionadas em horários de pico ou em quadros de interrupção no fornecimento, ou ainda para fornecer energia a sistemas isolados ou em áreas remotas.

Como supracitado a produção de energia elétrica a partir dos derivados de petróleo é feita em centrais termelétricas, e atualmente aproximadamente 50% da energia elétrica gerada em plantas termelétricas que utilizam derivados de petróleo no mundo está concentrada em sete países como mostra a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Geração de energia elétrica por combustíveis fósseis

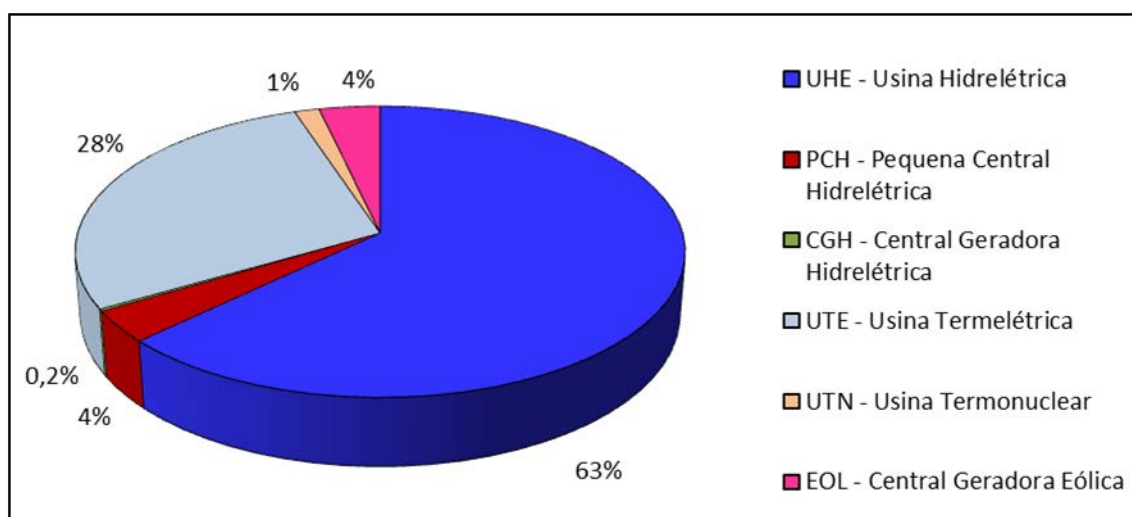
País	TWh
Japão	181
Arábia Saudita	150
Irã	69
México	56
Kuwait	40
Paquistão	35
EUA	33
Indonésia	33
Rússia	28
Egito	25
Outros	478
Total	1128

Fonte: (IEA, 2014)

No Brasil o cenário é um pouco diferente, atualmente 63%, ou seja, mais da metade da energia elétrica gerada, vem de usinas hidrelétricas. Nos últimos anos as usinas termelétricas têm ocupado gradativamente uma parcela significativa na matriz nacional e representaram 28,15 % da energia total gerada no país em 2013, este fato pode ser observado na Figura 3.3 que ilustra a matriz de energia elétrica atual de acordo com o tipo de empreendimento de produção de eletricidade, a Tabela 3.2 apresenta em detalhes cada tipo de unidade produtora e o valor percentual ocupado por cada uma delas no panorama nacional da geração de eletricidade.

Hoje o país conta em sua totalidade com 3.383 empreendimentos de geração de energia elétrica em operação, totalizando 131,5 GW de potência instalada segundo informações da ANEEL (2014).

Figura 3.3 - Matriz de energia elétrica brasileira



Fonte: (ANEEL, 2014)

Tabela 3.2 - Participação percentual do tipo de usina na matriz energética brasileira

Tipo de empreendimento	% na matriz energética
UHE - Usina Hidrelétrica	62,93
PCH - Pequena Central Hidrelétrica	3,55
CGH - Central Geradora Hidrelétrica	0,23
UTE - Usina Termelétrica	28,15
UTN - Usina Termonuclear	1,49
EOL - Central Geradora Eólica	3,65

Fonte: (ANEEL, 2014)

3.1 TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS PARA APROVEITAMENTO DE GÁS

A produção de energia elétrica a partir de gás acontece através da termoeletricidade. O princípio básico da termoeletricidade consiste em aproveitar a energia liberada em forma de calor da queima de algum tipo de combustível, podendo ser este renovável ou não. O local onde essa energia é produzida pode ser definido como um conjunto de obras e equipamentos, denominado termelétrica.

Dentre as tecnologias disponíveis hoje, existem duas principais: As termelétricas de ciclo convencional, e as de ciclo combinado.

3.1.1 Ciclo convencional

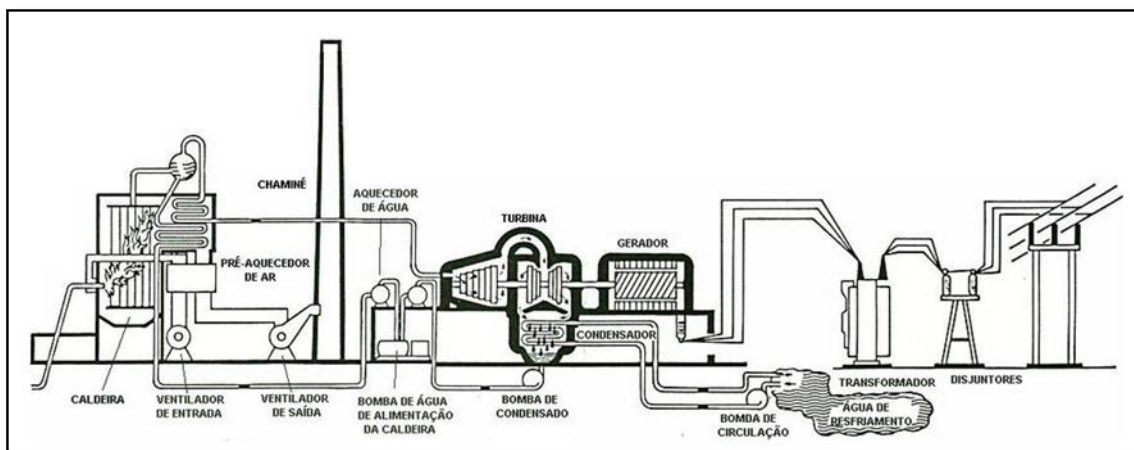
Nas usinas térmicas convencionais, o processo de produção de energia elétrica possui basicamente três etapas.

Na primeira ocorre a queima do combustível, que pode ser óleo, carvão, gás, entre outros. O calor obtido neste processo é usado para aquecer e aumentar a pressão da água, que se transforma em vapor. A segunda etapa utiliza o vapor gerado para movimentar as turbinas, que transformam a energia térmica em energia mecânica, e um gerador transforma a energia mecânica em energia elétrica. Na terceira etapa o vapor é condensado, e em seguida transportado para uma célula de refrigeração, sendo resfriado e devolvido à caldeira novamente em estado líquido, completando assim o ciclo.

As termelétricas convencionais, em geral, utilizam o ciclo Rankine, que consiste basicamente de uma caldeira, uma turbina a vapor, um condensador e um sistema de bombas.

O funcionamento de uma termelétrica pode ser brevemente explicado desta forma: Na caldeira, a água passa do estado líquido para o gasoso a uma pressão bem maior que a atmosférica, quanto maior a temperatura do vapor obtido, maior a eficiência das turbinas. Depois de mover as turbinas, o vapor é direcionado ao condensador para retornar ao estado líquido, a água que circula dentro de serpentinas conectadas ao equipamento, é o fluido de resfriamento. Após o retorno ao estado líquido, a água é direcionada, por meio de um sistema de bombas, novamente para a caldeira, que repete o processo de produção da energia térmica em mecânica para movimentação das turbinas (Figura 3.4).

Figura 3.4 - Esquema do processo de produção de energia elétrica a partir do petróleo



Fonte: (ANEEL, 2008)

Nas etapas de combustão e resfriamento ocorre a liberação de gases poluentes para a atmosfera, dentre esses os gases incondensáveis do vapor. O volume e o tipo de gás emitido variam conforme a composição do combustível queimado no início do processo, e ainda, conforme as condições de dispersão dos poluentes que podem variar de acordo com a altura da chaminé por exemplo.

Quanto mais denso o combustível utilizado, maior o potencial de emissões. Por isso, derivados de petróleo como os óleos combustível, diesel e ultra viscoso são rejeitados por ambientalistas como fontes de geração de energia elétrica. O ideal seria aumentar o nível de eficiência da combustão e reduzir o volume de gases poluentes emitidos.

Ao final do processo a energia gerada é levada dos terminais do gerador até o transformador elevador, onde tem sua tensão elevada para adequada transmissão até os centros de consumo.

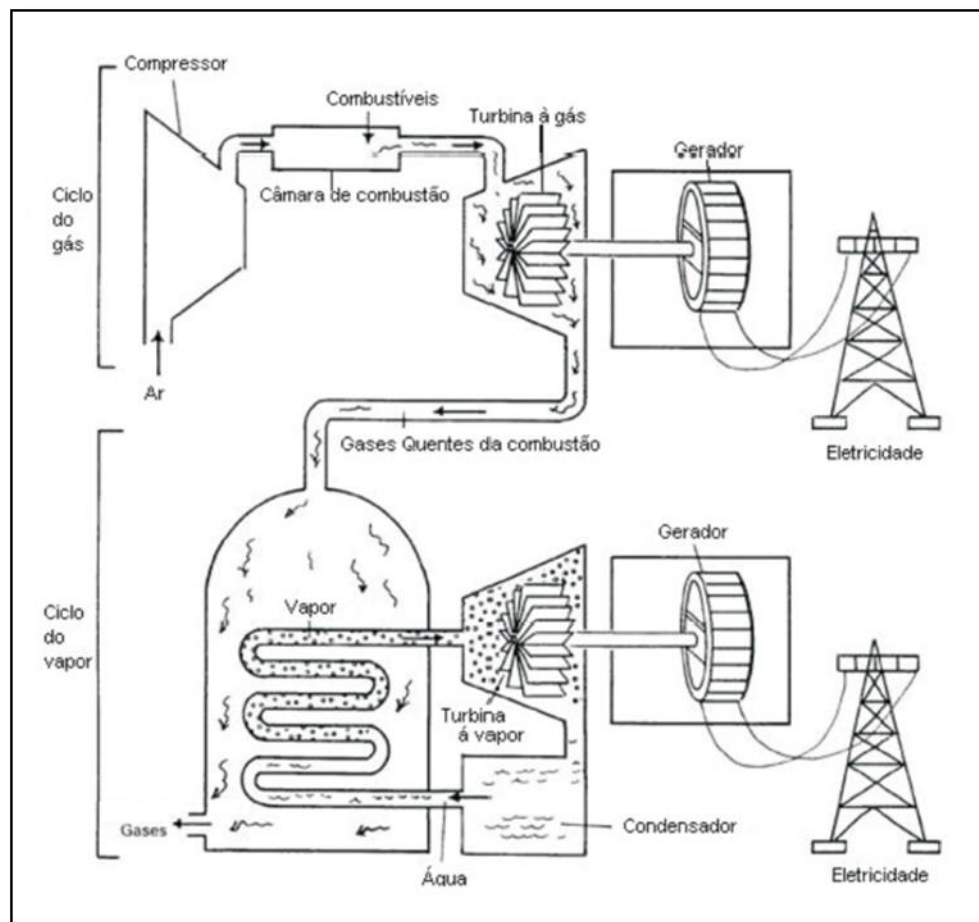
3.1.2 Ciclo combinado

Uma usina termelétrica a ciclo combinado tem o mesmo princípio de funcionamento que uma usina convencional, a diferença é que gases antes resfriados e liberados na atmosfera por meio de uma chaminé são nesta configuração aproveitados.

No ciclo combinado, ainda em alta temperatura, os gases são transformados em vapor que, direcionado às turbinas, também provocam o seu movimento. Assim, a característica básica de termelétricas a ciclo combinado é a operação conjunta de turbinas movidas a gás e a vapor.

Esta aplicação, na qual além de produzir energia elétrica, se extrai também o calor e o vapor utilizados nos processos industriais para aproveitamento como fonte de energia, é chamada de cogeração de energia. Sucintamente, o processo de cogeração permite a produção simultânea de energia térmica e energia mecânica, esta geralmente convertida em energia elétrica. Este tipo de configuração pode ser observado na Figura 3.5. É com este processo de cogeração que as refinarias produzem eletricidade tendo como combustível o gás de petróleo.

Figura 3.5 - Usina termelétrica com ciclo combinado.



Fonte: (SILVA, 2010)

Na Figura 3.5 a turbina a gás é acionada pela expansão dos gases resultantes da queima do combustível, e estando acoplada ao gerador transforma a potência mecânica em potência elétrica. Com o reaproveitamento do calor dos gases de escape da turbina a gás, que acontece na caldeira de recuperação de calor, a água é transformada em vapor e então movimenta a turbina a vapor.

Um dos argumentos favoráveis à cogeração é a possibilidade de utilização da energia que naturalmente se perde no processo de geração da eletricidade nas termelétricas. Outro é a independência em relação ao suprimento fornecido por terceiros – no caso brasileiro, pelas distribuidoras ou comercializadoras de energia elétrica, o que poderia até evitar cortes ou falta no fornecimento de energia. Finalmente, um terceiro é a redução do volume de gases lançados na atmosfera, o que pode ser um fator de competitividade no momento atual, em que os consumidores estão cada vez mais exigentes com relação ao impacto ambiental provocado pelos produtos que adquirem.

A cogeração, além de ser feita com o gás de refinaria, pode ser realizada com todos os combustíveis usados em usinas termelétricas convencionais, por exemplo: óleos, biomassa e carvão, além do gás natural. O que é interessante para a refinaria neste modelo é a opção por um ou por outro, que pode variar, dependendo da disponibilidade de suprimento e das características do consumidor.

A tecnologia do ciclo combinado é relativamente recente, década de 80, e ainda passa por processo de expansão em todo o mundo, inclusive no Brasil. Embora exija maiores investimentos que aqueles aplicados nas usinas de ciclo simples, aumenta a eficiência do processo de geração. Na termelétrica a ciclo combinado o rendimento chega em média a 50%, contra 38% da termelétrica convencional. Em outras palavras: com a mesma quantidade de combustível é possível obter maior produção de energia elétrica, e então os custos de produção ficam reduzidos.

3.2 PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE NAS REFINARIAS

Nas refinarias de petróleo o sistema de cogeração de energia se caracteriza por processos em que há grande demanda de energia térmica na forma de vapor, para acionamento por turbinas, ou para aquecimento ou ainda para introdução direta no processo, e também grande demanda de energia elétrica para acionamento de bombas, compressores, sopradores, entre outros. Nestes casos a cogeração é aplicada na forma de geração inicial de vapor de alta pressão utilizado para gerar energia elétrica através de turbinas a vapor, e o vapor para o processo pode ser ou das turbinas de contrapressão ou de turbinas de condensação com extração. A Figura 3.6 ilustra simplificada uma instalação típica desse tipo de aplicação.

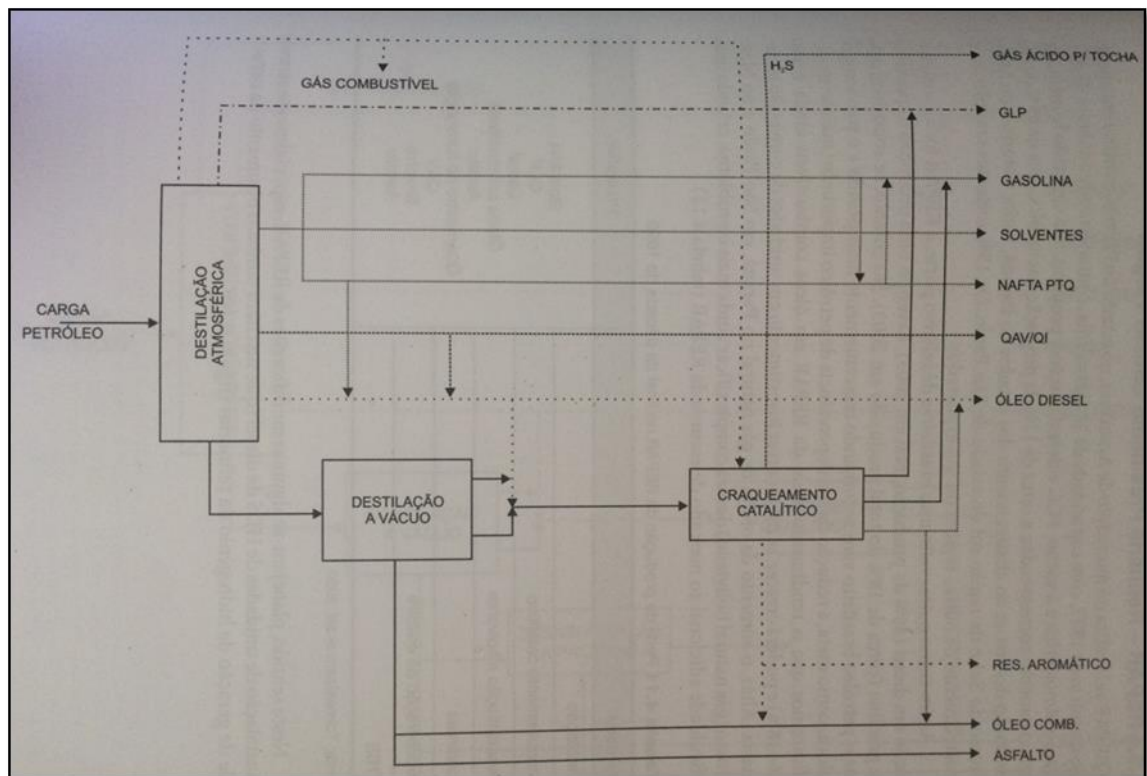
O gás de refinaria é obtido em maior quantidade no processo de destilação, quando são separadas as fases líquida e gasosa. O gás então é conduzido em tubulações para vasos de

pressão existentes na planta sendo então pressurizado através de compressores de grande porte e em seguida pode ser utilizado na geração de eletricidade ou distribuído para os diversos consumidores existentes na refinaria, que são basicamente fornos e caldeiras.

Normalmente em uma refinaria existem cerca de cinco caldeiras de grande porte e dezesseis fornos de elevada potência térmica que visam suprir energia e garantir a temperatura adequada no processo. Temperaturas da ordem de 320 °C são requeridas na destilação. Já no craqueamento são desenvolvidas temperaturas da ordem de 600 °C, queimando o coque no interior do reator e também o gás de refinaria no forno de carga da FCC.

Geralmente toda a eletricidade ou energia térmica produzida pelo gás é consumida na própria refinaria.

Figura 3.6 - Instalação típica de uma refinaria.

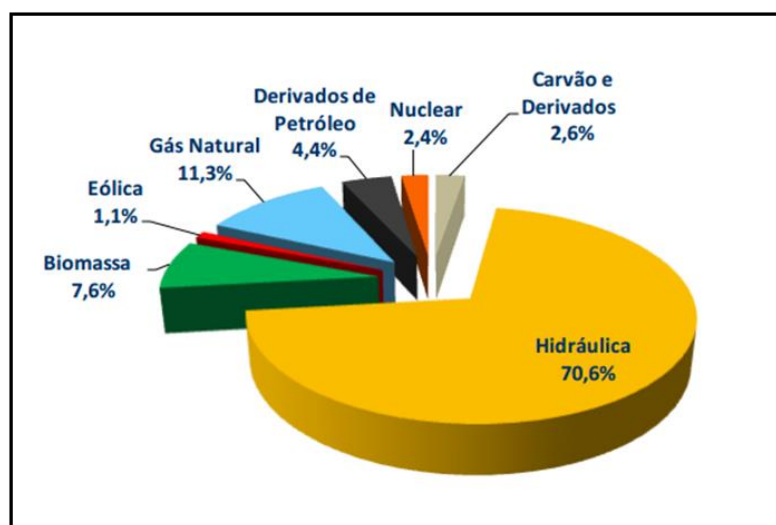


Fonte: (SZKLO, 2008)

3.3 PARTICIPAÇÃO NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

No Brasil, onde historicamente a geração de energia elétrica é predominantemente hídrica, a geração térmica, particularmente com derivados de petróleo, dentre eles o gás de refinaria, não é tão expressiva como ilustra a Figura 3.7.

Figura 3.7 - Matriz elétrica brasileira



Fonte: (EPE, 2013)

A geração térmica por derivados de petróleo representou 4,4% da eletricidade total produzida no país em 2013, aproximadamente 26,84 TWh. Dentre estas, a geração por gás de refinaria representou aproximadamente 0,2% do total, ou o equivalente a 1,22 TWh.

As termelétricas abastecidas por derivados de petróleo tem desempenhado um papel importante no atendimento da demanda de pico do sistema elétrico e, principalmente, no suprimento de energia elétrica a municípios e comunidades não atendidas pelo sistema interligado nacional (SIN). O país conta com um total de 1218 unidades em operação, abastecidas por óleo diesel, óleo combustível ou gás de refinaria, como apresentado no mapa da Figura 3.8. Dentre todas as unidades, sete são capazes de gerar energia a partir do gás de petróleo e são conhecidas como usinas a gás de refinaria.

Figura 3.8: Centrais termelétricas em operação (derivados de petróleo) e potência instalada.



Fonte: (ANEEL, 2008)

As usinas abastecidas por óleo diesel estão instaladas principalmente na região Norte para atender os Sistemas Isolados, que ainda não estão conectados ao Sistema Interligado

Nacional (SIN), rede composta por linhas de transmissão e usinas que operam de forma integrada e que abrange a maior parte do território do país.

Em médio prazo, a ideia é que eles sejam conectados ao SIN por meio da construção de linhas de transmissão. Essas termelétricas, em consequência, poderão vir a ser desativadas, principalmente as de menor porte ou de baixa eficiência. Os custos do óleo utilizado são repassados a todos os consumidores de energia elétrica do país por meio do encargo Conta de Consumo de Combustíveis (CCC) embutido na tarifa final.

As usinas que operam com óleo combustível estão distribuídas por todo o território nacional, com ênfase para a região Sudeste. Todas são complementares ao sistema hidrelétrico. Ou seja, são colocadas em operação para garantir o atendimento em momentos de pico de demanda ou para complementar a oferta proveniente das hidrelétricas em períodos de estiagem como aconteceu em 2008 e no ano passado, 2014.

Finalmente as usinas que operam com gás de refinaria, também se concentram na região Sudeste, mas normalmente não são colocadas em operação para atender demandas de pico, mas sim para suprir a demanda de eletricidade da própria refinaria.

3.3.1 Termelétricas a Gás de Refinaria

Atualmente sete usinas termelétricas que tem por combustível o gás de refinaria estão em funcionamento no país. Dessas sete usinas termelétricas, quatro estão localizadas no estado de São Paulo, uma no estado do Rio de Janeiro, uma no Paraná e uma na Bahia. Na Tabela 3.3 é apresentada a potência instalada de cada usina e o município onde ela está localizada. Ao todo elas somam uma potência de 281,7 MW.

Tabela 3.3 - Usinas a gás de refinaria em operação

Usina	Potência [MW]	Município-UF
Refinaria Capuava - RECAP	8,9	Mauá - SP
Refinaria Paulínia - REPLAN	60,5	Paulínia - SP
Refinaria Duque de Caxias - REDUC	63,3	Duque de Caxias - RJ
Refinaria Getúlio Vargas - REPAR	32	Araucária - PR
Refinaria Henrique Lages - REVAP	30	São José dos Campos - SP
Refinaria Landulpho Alves - RLAM	62,5	São Francisco do Conde - BA
Refinaria Presidente Bernardes - RPBC	24,5	Cubatão - SP

Fonte: (ANEEL, 2008)

É interessante observar de uma forma mais detalhada como essas usinas estão posicionadas na matriz nacional de energia elétrica. Os empreendimentos em operação no Brasil hoje podem ser classificados de acordo com a origem da fonte primária como apresentado no Quadro 3.1. As usinas termelétricas movidas a gás de refinaria aparecem classificadas dentro da fonte primária petróleo, e representam 0,24% da capacidade instalada total de produção de energia elétrica do país.

Quadro 3.1 - Empreendimentos em operação.

Origem		Fonte		Capacidade Instalada			
	Fonte nível 1	Fonte nível 2	nº de Usinas	[kW]	%	Nº de Usinas	
Biomassa	Agoindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	385	9.833.771	7,0385	399	
		Biogás-AGR	2	1.722	0,0012		
		Capim Elefante	2	31.700	0,0226		
	Biocombustíveis Líquidos	Casca de Arroz	10	37.633	0,0269		
		Óleos vegetais	3	19.110	0,0136	3	
		Carvão vegetal	7	54.900	0,0392	74	
		Floresta					
	Resíduos animais	Gás de Alto Forno - Biomassa	5	92.865	0,0664		
		Licor Negro	17	1.785.102	1,2776		
		Resíduos de Madeira	45	340.935	0,244		
Resíduos sólidos urbanos	Biogás - RA	10	1.164	0,0008	10		
	Biogás - RU	11	66.971	0,0479	11		
	Eólica	Cinética do vento	Cinética do vento	187	3.962.338	2,836	187
Fóssil	Carvão Mineral	Calor do Processo - Cm	1	24.400	0,0174	22	
		Carvão mineral	13	3.389.465	2,426		
		Gás de Alto Forno - CM	8	179.290	0,1283		
	Gás Natural	Calor de Processo - GN	1	40.000	0,0286	122	
		Gás Natural	121	12.549.996	8,9827		
	Outros Fósseis	Calor de Processo - OF	2	149.300	0,1068	2	
		Petróleo					
		Gás de Refinária	7	339.960	0,2433	1229	
		Óleo Combustível	34	4.083.973	2,9231		
		Óleo Diesel	1173	3.581.616	2,5635		
	Outros Energéticos de Petróleo	15	925.208	0,6622			
Hídrica	Potencial hidráulico	Potencial Hidráulico	1142	88.045.643	63,019	1142	
Nuclear	Urânio	Urânio	2	1.990.000	1,4243	2	
Solar	Radiação Solar	Radiação Solar	180	15.312	0,0109	180	
Importação		Paraguai		5.650.000	4,044		
		Argetina		2.250.000	1,6104		
		Venezuela		200.000	0,1431		
		Uruguai		70.000	0,0501		
Total			3383	139.712.374	100	3383	

Fonte: (ANEEL, 2014)

3.4 OPORTUNIDADES DE UTILIZAÇÃO DO GÁS DE PETRÓLEO

Como visto anteriormente no mundo muito pouco é aproveitado do gás de petróleo na geração de eletricidade, neste tópico são então apresentados alguns cálculos para quantificar quanta eletricidade poderia ser produzida se todo o gás fosse utilizado.

De acordo com o apresentado no tópico 2.3.5, foram produzidos 138×10^6 litros de gás de petróleo por dia no mundo em 2013. Utilizando a equação 3.1 é possível obter a quantidade de m^3 de gás de petróleo que foram produzidos em 2013.

$$Qtd. de gás = \frac{\text{litros}}{\text{dia}} \times \frac{365 \text{ dias}}{1000} = 50,37 \times 10^6 \frac{m^3}{ano} \quad (3.1)$$

Segundo a Secretaria de Energia, Ministério de Minas e Energia, $1 m^3$ de gás de refinaria gera aproximadamente 8MWh de energia elétrica. Então utilizando a equação 3.2 obtém-se a quantidade em Wh que poderiam ter sido geradas no mundo por gás de petróleo em 2013.

$$Eletricidade total = 50,37 \times 10^6 \times 8 MWh = 403 TWh \quad (3.2)$$

Portanto poderiam ter sido gerados 403 TWh de eletricidade por gás de petróleo, o que representaria 1,77 % da energia total produzida no mundo naquele ano.

No Brasil, considerando o fato de que foram produzidos dois milhões de barris de petróleo diariamente em 2012, utilizando as equações (3.3) e (3.4) teriam sido produzidos 9,3 TWh de energia elétrica no ano, o que teria representado 2,08% da energia elétrica total consumida no país em 2013, que foi igual a 448,12 GWh segundo o EPE (2014). Isso seria o equivalente para abastecer uma cidade de dois milhões de habitantes.

$$Qtd. de gás = \frac{\text{litros}}{\text{dia}} \times \frac{365 \text{ dias}}{1000} = 1,16 \times 10^6 \frac{m^3}{ano} \quad (3.3)$$

$$Eletricidade total = 1,16 \times 10^6 \times 8 MWh = 9,28 TWh \quad (3.4)$$

Considerando ainda que em alguns anos a previsão é de que o Brasil produza entre três e cinco milhões de barris de petróleo por dia, e utilizando o valor médio de quatro milhões, o valor obtido na equação 3.4 dobraria, chegando a 18,56 TWh no ano.

Observa-se então que uma refinaria tem potencial não só para suprir suas necessidades de eletricidade, mas ultrapassa em muito essa quantidade. Assim o conceito de geração distribuída pode ser aplicado a estas usinas como será apresentado a seguir.

3.4.1 Tendências e perspectivas deste tipo de geração

Com o desenvolvimento de tecnologia de ponta para exploração de petróleo em águas profundas, o Brasil aumenta significativamente sua capacidade de produção, aproximando-se cada vez mais da tão almejada autossuficiência. Para que isso aconteça há a necessidade de investimentos nas refinarias, para que essas possam gerar 100% dos produtos consumidos pelo país.

Nas plantas de refino de petróleo busca-se um aproveitamento total do petróleo bruto. Claro que existem certas prioridades de produção de derivados como a gasolina, o óleo diesel e o GLP, como visto anteriormente, porém é inevitável a produção de compostos secundários como óleo combustível, gasóleo pesado e outros resíduos pesados. As refinarias de hoje são autossuficientes em energia térmica, e tem potencial para gerar toda sua demanda de eletricidade. Como visto no tópico anterior, uma refinaria tem potencial não só para suprir toda sua demanda, mas também para fornecer energia elétrica para a rede.

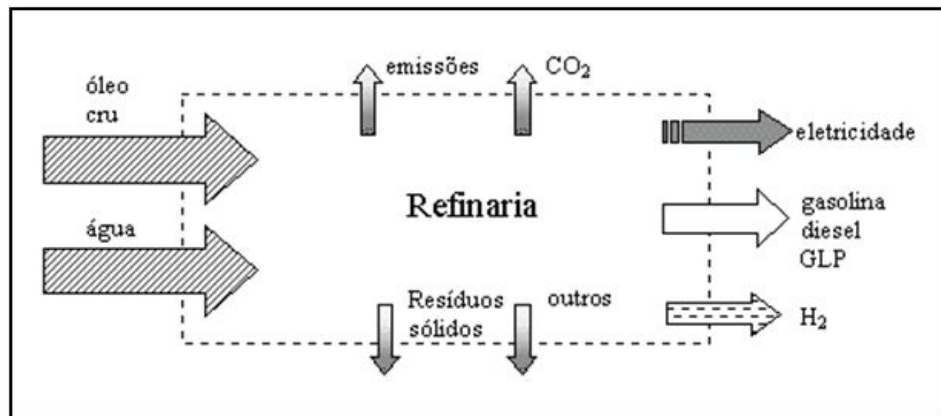
Neste sentido, o futuro tecnológico do refino poderá envolver então, não apenas o aprimoramento das técnicas de refino, mas também a própria transformação da refinaria num complexo energético, que abranja não apenas as atividades do refino de petróleo, mas também a geração de energia.

Ao mesmo tempo, o mercado de energia elétrica tem se tornado atrativo para geradores de pequeno porte, principalmente com a instalação da Câmara de Comércio de Energia Elétrica a CCEE. Considerando este novo cenário, há uma tendência para que empresas de petróleo migrem seus negócios para um campo mais amplo, o de energia.

Assim, surge a possibilidade de se cogear dentro da própria refinaria e vender o excedente de eletricidade ao CCEE. A Figura 3.9 ilustra o esquema de uma refinaria produtora de energia elétrica.

Plantas químicas, petroquímicas, entre outras, no Brasil e no mundo já adotam técnicas de integração energética com êxito, como é o caso das refinarias da Petrobras que possuem cogeração de energia. Um outro efeito positivo desta integração é a redução dos efluentes líquidos.

Figura 3.9 - Refinaria de Petróleo com cogeração e venda de eletricidade.



Fonte: (MARTINS, 2014)

Existe uma tendência da expansão do parque de refino brasileiro com a crescente produção de petróleo que acontecerá nos próximos anos, com isso tem-se a oportunidade de criação de refinarias cada vez mais eficientes e autossustentáveis. Um exemplo muito recente é a refinaria de Abreu Lima que entrou em operação em Dezembro de 2014, e já aproveita mais gás na geração da sua própria energia do que as refinarias existentes.

4 ASPECTOS AMBIENTAIS

A utilização da energia tem como consequência inevitável alguma forma de dano ambiental, seja na sua exploração ou no seu consumo.

O gás de refinaria, assim como o gás natural quando relacionados ao meio ambiente apresentam características marcantes que o distinguem dos demais combustíveis existentes. Trata-se de um produto com menor teor de agentes poluentes.

Em sua queima, emitem uma quantidade menor de material particulado, pouquíssimo SO_2 e menos CO_2 , hidrocarbonetos e óxido de nitrogênio, o que o torna isento da produção de fuligem e cinza. É um combustível mais limpo e ecologicamente correto. Por tratar-se de um gás leve, se dispersa na atmosfera mais rapidamente. Em substituição aos demais combustíveis fósseis, o gás provoca redução na emissão de gás carbônico, cerca de 30% a menos que o óleo combustível e 41% menos que os combustíveis fósseis sólidos como o carvão.

Ao ser comparado com outras fontes renováveis de energia, como a energia nuclear e a hidrelétrica, o gás de petróleo apresenta um número maior de emissões gasosas que conduzem ao efeito estufa. Mas não possui o risco de emissão radioativa de alta periculosidade como a energia nuclear, nem provoca grandes impactos ambientais advindos dos alagamentos de áreas e deslocamento de populações frente às construções de hidrelétricas.

Uma característica interessante do gás de refinaria é que como ele é aproveitado na própria refinaria durante o processo industrial da obtenção dos derivados de petróleo, sua utilização como fonte geradora de energia elétrica, poupa o espaço destinado à estocagem de combustíveis líquidos ou sólidos no local de consumo.

Apesar das vantagens relativas do gás de refinaria, quando comparado ao petróleo e ao carvão mineral, seu aproveitamento energético também produz impactos indesejáveis ao meio ambiente, principalmente na geração de energia elétrica. O maior fator de agressão é a emissão de gases poluentes, responsáveis pelo efeito estufa.

Em termos de poluição atmosférica, destacam-se as emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x), entre os quais o dióxido de nitrogênio (NO_2) e o óxido nitroso (N_2O), que são formados pela combinação do nitrogênio com o oxigênio. O NO_2 é um dos principais componentes do chamado *smog*, termo adotado para nevoeiros de poluição, com efeitos negativos sobre a vegetação e a saúde humana, principalmente quando combinado com outros gases, como o dióxido de enxofre (SO_2). O N_2O é um dos gases causadores do efeito estufa e também contribui para a redução da camada de ozônio. A Tabela 4.1 apresenta dados

referentes a emissão de partículas do gás de petróleo, do gás natural, do carvão e outros derivados de petróleo.

Tabela 4.1 – Emissão de partículas por combustível gerador de eletricidade

Combustível	Material particulado (kg/t)	SO₂ (kg/t)	NO_x (kg/t)	HC (kg/t)	CO (kg/t)
Derivados de petróleo	3,00	4,0	7,5	0,40	0,55
Gás Natural	0,29-0,34	1,0	3,6-11,5	0,02-0,06	0,32
Carvão	16,25-20	3,8	7,5-9,0	0,15-0,50	0,5-1,0
Gás de Refinaria	0,35-0,5	1,5	5-11	0,08-0,12	0,40

Fonte: (ANP, 2014)

Desde a assinatura do Tratado de Kyoto, nos anos 90, os grandes consumidores vêm sendo pressionados a reduzir o volume de emissões atmosféricas indesejáveis. No entanto, países como Estados Unidos, que assinaram o tratado, mas não ratificaram, evitam se comprometer com metas mensuráveis. Atualmente, essas questões ambientais estão entre os principais limitadores da expansão de usinas termelétricas movidas a derivados de petróleo. De outro lado, se constituem no impulso para o desenvolvimento de mecanismos e tecnologias que atenuem ou compensem o volume de emissões.

Um dos mecanismos criados pelo Tratado de Kyoto é o mercado de crédito de carbono (ou Mecanismo de Desenvolvimento Limpo) pelo qual o volume de emissões é compensado pela aquisição de títulos de projetos ambientais realizados por terceiros. Outro é o desenvolvimento de tecnologias específicas para redução das emissões. Neste caso, um dos mais modernos e principais sistemas é o de dessulfurização de gases, que consiste na eliminação do enxofre. No entanto tem um custo de implantação elevado e por esse motivo ainda não é muito utilizado.

O gás de petróleo quando emitido “in natura” para a atmosfera pode ser 15 vezes mais prejudicial ao ambiente em termos de aquecimento global que o dióxido de carbono, por conter grande quantidade de metano. Quando este gás é queimado para gerar energia e deixa de ser emitido para a atmosfera, a refinaria poderia vender os créditos de carbono no mercado internacional, conforme diretrizes estabelecidas no Tratado de Kyoto. Portanto quando uma refinaria consegue otimizar a sua produção de energia elétrica através de gás de petróleo, não emitindo gases para a atmosfera, além de produzir energia a emissão evitada entra na conta dos créditos de carbono.

Além da emissão de gases indesejáveis na atmosfera, outro problema causado pela geração de energia em termelétricas, é a necessidade de um sistema de resfriamento, cujo fluido refrigerante é normalmente a água. Nesse caso, mais de 90% do uso de água de uma central termelétrica podem ser destinados ao sistema de resfriamento. Embora existam tecnologias de redução da quantidade de água necessária e de mitigação de impactos, isso tem sido uma fonte de problemas ambientais, principalmente em relação aos recursos hídricos, em função do volume de água captada, das perdas por evaporação e do despejo de efluentes (BAJAY; WALTER; FERREIRA, 2000). Segundo a referida fonte, a demanda média de água de uma central termelétrica operando em ciclo combinado é de aproximadamente 40 m³ por MWh. Mas esses índices podem variar substancialmente, de acordo com a configuração adotada. Em geral, os valores são mais baixos nos sistemas de cogeração no que nos de geração simples.

Está constatado que o gás de refinaria pode ser um substituto menos poluente do carvão, do óleo diesel, do óleo combustível e do óleo ultra viscoso. As termelétricas atuais, que funcionam com ciclo combinado tem grande eficiência diminuindo os impactos ambientais.

Ainda, uma maneira de minimizar os impactos ambientais mencionados e manter limites aceitáveis de emissões seria a utilização cada vez mais racional dos recursos energéticos. A conscientização do homem para a exploração e utilização das fontes de energia renovável de menor impacto para o meio ambiente, bem como uma mudança cultural da forma de utilização da energia para o atendimento de suas necessidades, através da eficiência energética, pode ser a melhor maneira de melhorar a relação de sustentabilidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho é apresentado o resultado de um estudo baseado em pesquisa bibliográfica sobre o aproveitamento do gás de petróleo na geração de eletricidade.

No segundo capítulo foram apresentados aspectos conceituais relacionados ao petróleo, fatores sobre a obtenção do gás de petróleo, potencial do gás de petróleo para geração de eletricidade, assim como seus aspectos energéticos e comparações com outras fontes primárias.

De acordo com o estudo apresentado no capítulo três, pode-se afirmar que no sistema de geração termelétrica a ciclo combinado é possível aproveitar o gás de petróleo obtido no processo de refino, que não seria aproveitado num sistema a ciclo convencional. Além disso, constatou-se que essa produção oferece benefícios para o meio ambiente, pois diminui a emissão de gases para a atmosfera, esses benefícios podem ser ainda maiores quando o gás é utilizado em substituição ao óleo combustível ou óleo diesel. Foi possível concluir também, que o gás de petróleo tem um grande potencial para geração de energia elétrica, com capacidade para suprir 100% das necessidades de uma refinaria e ainda fornecer eletricidade para a rede.

Na matriz energética mundial e nacional o gás de petróleo como fonte primária na produção de eletricidade ainda tem um pequeno papel, representa cerca de 0,2% do total da energia produzida em ambos, e como calculado no capítulo três esse valor pode chegar a 2% do total, ou seja, poderia aumentar 1000%, o que representaria uma mudança significativa no cenário energético que passa por um momento de aumento constante da demanda de energia tanto no Brasil quanto no mundo.

Portanto com tudo que foi apresentado é possível concluir que o gás de refinaria é uma das fontes primárias para obtenção de energia elétrica que atende a maioria dos requisitos de sustentabilidade, uma vez que não foi feita uma análise econômica, mas ele é ecologicamente correto e atende uma necessidade imediata da sociedade.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA – ABIQUIM. **Anuário da Indústria Química Brasileira 2013**. Disponível em: <<http://www.abiquim.org.br/home/associacao-brasileira-da-industria-quimica>>. Acesso em: 14 out. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil 3ªed. 2008**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Banco de Informações da Geração, Capacidade de Geração do Brasil**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/informacoes_gerenciais_Jun_2012.pdf>. Acesso em 14 out. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2014**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em 10 dez. 2014.

AGÊNCIA PAULISTA DE PROMOÇÃO DE INVESTIMENTOS E COMPETITIVIDADE . **São Paulo, sua plataforma de negócios para Petróleo e Gás no Brasil – INVESTE SP 2013**. Disponível em: <http://www.investe.sp.gov.br/uploads/midias/documentos/folder_port_pg.pdf>. Acesso em 15 nov. 2014.

BAJAY, S. V. WALTER, A. C. S.; FERREIRA, A. L. **Integração entre as regulações técnico-econômica e ambiental do setor elétrico brasileiro**. Disponível em: <<http://www.nipe.unicamp.br/2013/projetos-detalle.php?id=168>>. Acesso em 03 dez. 2014

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Anuário estatístico de energia elétrica 2012**. Rio de Janeiro: EPE, 2012. 255 p.

BRASKEM. **Eteno e suas aplicações**. Disponível em: <<http://www.braskem.com.br/site.aspx/Braskem-News-Detalhe?codNews=k3+m+h91fs8=>>>. Acesso em 15 nov. 2014.

BRITISH PETROLEUM – BP. **Statistical Review of World Energy 2014**. Disponível em: < <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>>. Acesso em 15 dez. 2014.

CARDOSO, L. C. **Petróleo: do poço ao posto**. Rio de Janeiro, 2005. ed. Qualitymark, 178 p.

COMMUNITY RESEARCH AND DEVELOPMENT INFORMATION SERVICE – CORDIS. **Continued electricity production by burning refinery gas**. Disponível em: < http://cordis.europa.eu/project/rcn/15890_en.html>. Acesso em 10 dez. 2014.

COPAGAZ. **Gás liquefeito de petróleo**. Disponível em: < http://www.copagaz.com.br/representantes/o_que_e_glp.asp>. Acesso em 15 nov. 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2013**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Forms/Anurio.aspx>>. Acesso em 15 nov. 2014

FARAH, M. A. **Petróleo e seus derivados: definição, constituição, aplicações, especificações, características de qualidade**. LTC, Rio de Janeiro, 2012.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **2014 Key World Energy Statistics**. Disponível em: < <http://www.env-edu.gr/Documents/Key%20World%20Energy%20Statistics%202006.pdf>>. Acesso em 10 nov. 2014.

LEMONS, I. **Uso de energia em refinarias de petróleo**. Artigo (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2010.

MARTINS S. P. **Análise termoeconômica de uma planta de refinaria de petróleo com cogeração e produção de H₂ e O₂**. Disponível em: <http://www.abcm.org.br/pt/wp-content/anais/creem/2001/anais/a10_23.html>. Acesso em 15 nov. 2014.

MOREIRA, F. S. **Alternativas tecnológicas para a maximização da produção de olefinas leves a partir de petróleos pesados**. 2006. 190 f. Dissertação. (Mestrado em Gerenciamento

e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.

MOREIRA, L. B. G. **Avaliação dos aspectos ambientais da geração de energia através de termoeletricas a gás natural 2005.** 126 F. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2006.

PETROBRAS MAGAZINE. **Um desafio atrás do outro.** Disponível em: <<http://www.hotsitespetrobras.com.br/petrobrasmagazine/Edicoes/edicao56/pt/internas/presal/>>. Acesso em 05 jan. 2014.

SILVA, A. R. A. **Uso do Gás Natural de Petróleo na Geração de Energia Elétrica.** 2012. 118 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

SILVA, I. M. Gás natural: a sua utilização na geração de energia elétrica no Brasil. **Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**, Rio de Janeiro, v. 1, p. 103-107, 2010.

SILVA, U. G. O. **Análise Energética em Refino de Petróleo.** 2010. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica – Projetos e Materiais) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2010.

SZKLO, A. S. **Fundamentos do refino de petróleo - tecnologia e economia** 3 ed. Interciência, 2008.

THOMAS, J. E. **Fundamentos de engenharia de petróleo.** Rio de Janeiro, 2004. ed. Interciência, 271 p.