



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI

CAMPUS ALTO PARAÓPEBA

GABRIELLA CRISTINA PROCÓPIO DA SILVA

**TENDÊNCIAS DO SETOR ELÉTRICO E SEUS IMPACTOS NO
MERCADO DE GÁS NATURAL**

Orientador: Prof. Dr. Edson R. Nucci

OURO BRANCO

Agosto/2021

GABRIELLA CRISTINA PROCÓPIO DA SILVA

**TENDÊNCIAS DO SETOR ELÉTRICO E SEUS IMPACTOS NO MERCADO DE
GÁS NATURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
em cumprimento às exigências do curso
Engenharia de Bioprocessos da Universidade
Federal de São João del-Rei, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Bioprocessos

Orientador: Prof. Dr. Edson R. Nucci

OURO BRANCO

Agosto/2021

GABRIELLA CRISTINA PROCÓPIO DA SILVA

**TENDÊNCIAS DO SETOR ELÉTRICO E SEUS IMPACTOS NO MERCADO DE
GÁS NATURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
em cumprimento às exigências do curso
Engenharia de Bioprocessos da Universidade
Federal de São João del-Rei, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Bioprocessos

Orientador: Prof. Dr. Edson R. Nucci

Ouro Branco, 18 de agosto de 2021.

Banca examinadora:

Profa. Marília Magalhães Gonçalves – UFSJ/DQBIO

Doutoranda Priscilla Amaral – PPGEAL/UESB

Prof. Dr. Edson Romano Nucci UFSJ/DQBIO - Orientador

OURO BRANCO

Agosto/2021

AGRADECIMENTO

A palavra gratidão se torna tão pequena diante dos imensos desafios ao longo da minha graduação, que eu não consigo encontrar uma palavra que exista no dicionário para expressar esse sentimento. Agradeço inicialmente aos meus pais, Marlene e Roberto, que não mediram esforços para me incentivar e apoiar ao longo desses anos de graduação. Em especial reconheço essa vitória à minha mãe, uma mulher incrível que me inspira a ser forte e determinada. Poder ser a segunda filha a entregar um diploma de graduação a eles, é motivo de orgulho e satisfação.

Agradeço às minhas irmãs Isabella e Roberta, companheiras de todas as horas, e responsáveis pelo sucesso dessa caminhada. Ao meu cunhado e também irmão lane, que esteve comigo em todos os momentos e celebrou mesmo as pequenas vitórias. Obrigada pela oportunidade de poder compartilhar a vida com vocês, que mesmo longe se faziam presentes. Vocês são incríveis!

Minha gratidão à minha tia Divina, que sempre se preocupou com meu desenvolvimento profissional. Agradeço as minhas primas Suellen, Tayana e Fernanda e aos meus amores Francisco, Helena e Maria Antônia, pelo apoio e amor que sempre me ofereceram. Infelizmente não será possível comemorar essa vitória com minha querida Fernanda, mas sei que do céu ela está muito orgulhosa.

Agradeço a Fernanda Freitas, Isadora, Karen e Sayannys por não deixarem me faltar amor em Ouro Branco, por serem mais que colegas de república, minhas irmãs do coração para a vida toda. Fica minha gratidão aos meus grandes amigos Alan, Sérgio, Warley, Jonas e Ana Cristina e ao meu namorado Gabriel Victor, por tornarem minha caminhada mais leve e por serem meus grandes companheiros.

Agradeço também aos professores, pelos inúmeros ensinamentos, de forma presencial ou remota, síncrona ou assíncrona, com uma gratidão especial ao meu orientador, Edson Nucci, por ser um dos mestres mais incríveis que tive oportunidade de conhecer.

RESUMO

Muitas foram as mudanças ocorridas no mundo desde a Revolução Industrial no século XVIII: o uso de combustíveis fósseis e os anos de consumo desenfreado nunca foram uma questão, até a constatação de que, essa estrutura traria, e trouxe, consequências para a vida no planeta. Durante as últimas décadas, evidenciou-se a necessidade da transição energética, tanto para frear os impactos do aquecimento global, como para produzir uma matriz energética sustentável. Percebe-se diferentes abordagens ao problema, tanto em nível nacional, com políticas públicas, como internacional, com acordos internacionais. É notório que a sociedade mundial precisa investir na descarbonização da matriz elétrica e com isso fontes energéticas renováveis viraram tema de pesquisas e estudos. O presente trabalho objetiva, portanto, compreender os impactos das tendências do setor elétrico no mercado de gás natural e analisar o potencial do gás como um recurso energético de transição. A transição energética vigente possui alguns obstáculos, como por exemplo, como garantir a oferta de energia elétrica que contemple a demanda das indústrias e da sociedade sem grande aumento no preço das tarifas. Nesse contexto, o gás natural aparece como um potencial recurso energético de transição, por ser uma fonte primária de grande disponibilidade, custo competitivo e, entre as fósseis, a de menor nível de emissão de dióxido de carbono. Para que o gás se torne de fato um recurso de transição é necessário que seu mercado ofereça suporte para isso. Hoje, o mercado de gás natural no Brasil está se desenvolvendo para se tornar mais dinâmico, aberto e competitivo. A nova Lei do Gás simplificará a construção de gasodutos e acesso negociado a infraestruturas essenciais.

Palavras-chave: Transição energética; Setor elétrico; Descarbonização; Gás natural; Recurso de transição.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fontes geradoras de energia elétrica no Brasil em 2020	14
Figura 2 – Chefes de delegações na Conferência das Nações Unidas sobre Mudança Clima de 2015 em Paris.....	18
Figura 3 – Maiores produtores de gás natural do mundo em bilhão m ³ no ano 2020.	23
Figura 4 – Maiores consumidores de gás natural do mundo em bilhão m ³ no ano 2020	24
Figura 5 – Usina termelétrica Sergipe I.....	26
Figura 6 – Logomarca do programa Novo Mercado de Gás criado pelo Governo Federal...	32
Figura 7 – Usina termelétrica a Biogás da Raízen	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fator de emissão de dióxido de carbono por fonte de energia	17
--	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.1. Objetivo geral	12
2.2. Objetivos específicos	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1. Setor elétrico brasileiro	13
3.1.1. Matriz elétrica	14
3.2. Sustentabilidade energética	15
3.2.1. Acordo de Paris	17
3.3. Transição energética	19
3.3.1. Energia renovável	19
3.4. Gás natural	20
3.4.1. O mercado de gás natural	22
3.5. Gás natural na geração de energia elétrica	25
3.6. Novo mercado do gás	28
3.7. Iniciativas sustentáveis no mercado de gás natural	31
3.7.1. Biogás	31
3.7.2. Captura e armazenamento de carbono	32
3.7.3. Hidrogênio verde	33
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

“Ao produzir, o homem pode apenas proceder como a própria natureza, isto é, pode apenas alterar a forma das matérias. Mais ainda: nesse próprio trabalho de formação ele é constantemente amparado pelas forças da natureza. Portanto, o trabalho não é a única fonte dos valores de uso que ele produz, única fonte da riqueza material. O trabalho é o pai da riqueza material e a terra é a mãe.” (Karl Marx)

1. INTRODUÇÃO

Embora seja usada em vários conceitos diferentes, o uso científico da palavra energia a define como potencial inato para executar trabalho ou realizar uma ação, ou seja, tudo que esteja trabalhando, movendo um objeto ou aquecendo-o, por exemplo, está usando energia. No decorrer da história, foram descobertas novas fontes de energia e isso possibilitou grandes mudanças e avanços nos modos de vida da sociedade. Desde a descoberta do fogo e seu domínio, o uso da lenha e do carvão, do petróleo e do gás, das águas, do vento e da luz, elementos da natureza têm proporcionado novas possibilidades de transformação e criação (REIS, 2011).

A energia tem um papel indispensável na vida humana, junto com transportes, telecomunicações e águas e saneamento, ela forma a infraestrutura necessária para inserir o ser humano no modelo de desenvolvimento vigente. Por esse motivo discutir temas energéticos será cada vez mais importante para que se caminhe na busca de um desenvolvimento sustentável (REIS, 2011).

Graças a essa busca por um desenvolvimento sustentável, estamos vivendo um período de crescente preocupação com temas relacionados ao aquecimento global, onde existe uma tendência no setor energético mundial na direção da redução das emissões dos gases responsáveis pelo efeito estufa. Essa tendência vem sendo fortificada pela realização de acordos internacionais, onde os países firmam compromissos coletivos para combater o problema. Nesse contexto, o setor elétrico tem um importante papel, uma vez que a geração de eletricidade é responsável por grande parte das emissões de gases de efeito estufa devido a queima de combustíveis fósseis (GÓES, 2021).

As energias renováveis são constantemente apontadas como recursos potenciais para o cumprimento das metas de redução de emissões de gases poluentes e de eletrificação da economia. Porém, a incorporação elevada dessas fontes na matriz elétrica também configura um desafio, uma vez que são fontes de geração inconstante. Para cumprir as metas de descarbonização será necessário investir em um portfólio de tecnologias de baixo carbono e aumentar a oferta de serviços de flexibilidade (GÓES, 2021). Segundo Tavares (2019), flexibilidade, compreendida como a capacidade de regular a oferta ao consumo de energia com

intuito de manter a segurança e a confiabilidade do sistema elétrico, será o precursor da transição para um sistema de baixo carbono.

O gás natural é considerado um bom combustível de transição, por ser um hidrocarboneto com menor cadeia de carbono para cada molécula de hidrogênio, sendo capaz de substituir outros combustíveis fósseis, como derivados de petróleo e carvão e agredir menos o meio ambiente. O gás natural é um recurso facilmente transportável e armazenável, com diferentes tecnologias disponíveis para essas funções. Estudos indicam que o gás natural tem o importante potencial para fornecer flexibilidade a um custo relativamente baixo, ajudando a suportar a variação diária e sazonal da demanda (TAVARES, 2019).

Diante de um setor elétrico competitivo e voltado para energia limpa, é importante refletir sobre o potencial do mercado de gás natural para sustentar o recurso como uma fonte energética de transição, nessa fase de trânsito da matriz elétrica mundial. Assim, algumas perguntas são levantadas: o gás natural continuará a desempenhar um papel fundamental na geração de eletricidade? A demanda de gás continuará em expansão ainda que as fontes de energia renováveis aumentem sua participação na matriz elétrica?

Nesse sentido, o presente trabalho tem o objetivo de apresentar a transição energética global, trazendo uma perspectiva das razões que impulsionam a substituição de fontes de energia não renováveis para as fontes renováveis, além de, abordar o mercado de gás natural e sua capacidade em exercer um papel estratégico para garantir uma transição energética rápida, com redução nas emissões de carbono, sem alta nos preços e com segurança na oferta de energia elétrica.

1. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Apresentar a transição energética global, analisar seu impacto no mercado de gás natural e apontar o potencial do recurso como uma fonte de energia elétrica de transição.

2.1. Objetivos Específicos

- i) Refletir sobre a relação entre a transição energética global para fontes energéticas mais limpas e as tendências do setor elétrico;
- ii) Apresentar a corrida pela descarbonização no setor elétrico;
- iii) Apontar os impactos das tendências do setor elétrico no mercado de gás natural;
- iv) Abordar o Novo Mercado de Gás;
- v) Levantar iniciativas voltadas para sustentabilidade energética no mercado de gás natural.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Setor elétrico brasileiro

Pequenas empresas nacionais privadas e empresas governamentais de nível municipal formaram o primeiro modelo de organização do setor elétrico brasileiro, nos anos finais do século XIX. Em seguida, no início do século XX, a produção de energia no Brasil começou a crescer, isso graças à chegada das primeiras concessionárias estrangeiras, viabilizando o consumo urbano e industrial nas proximidades das áreas produtoras (LORENZO, 2002).

Desta forma, os primeiros passos do setor elétrico do país foram comandados principalmente por empresas nacionais privadas, por meio da abertura de pequenas usinas, especialmente térmicas, no período de 1880 e 1900. No ano de 1903, por meio de uma lei, o governo foi autorizado a viabilizar, pelo meio de via administrativa ou concessão, a exploração da energia hidráulica dos rios brasileiros para fins públicos. Esse fato culminou na primeira ação com propósito de regulamentar o setor elétrico e contribuiu para progresso do parque gerador (GOMES et al., 2002). Apesar disso, o que de fato estimulou a evolução do setor elétrico no Brasil foi a entrada das concessionárias e capital vindos de outros países, sobretudo Estados Unidos e Canadá (LORENZO, 2002).

Conforme a demanda pelos serviços de energia foram se intensificando, a forma de comando descentralizado de base privada foi se mostrando inoperante para ofertar os serviços elétricos fundamentais para o progresso do país. Com isso, a intervenção estatal passou a ser necessária e o estado começou a interferir com mais força no setor, para amenizar a necessidade de investimentos em aumento da capacidade de oferta de energia por parte das concessionárias estrangeiras no mercado brasileiro (MERCEDES et al., 2015).

Com a atuação mais intensa do estado no setor, o modelo de gestão privado e descentralizado foi sendo substituído por uma crescente presença estatal e centralização da gestão e do planejamento (MERCEDES et al., 2015). Esse fato fez com que o setor elétrico se tornasse um setor estatal e tomasse forma de uma *holding* com organização vertical e estrutura federal, estadual e de minoria municipal, de

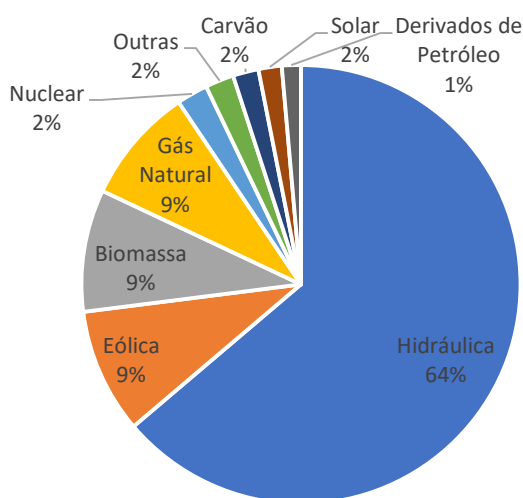
maneira que, o parque gerador ficasse em uma ponta, a transmissão no meio, e na outra ponta, a distribuição de energia, com o estado controlando todos os processos envolvidos (LEME, 2009).

3.1.1. Matriz elétrica

Matriz elétrica é o conjunto de recursos usados por um país para o fornecimento da energia elétrica que ele necessita. Esses recursos são divididos em dois grupos, os primários que são as fontes de energia que não passam por processos de transformação, isto é, que são provenientes da natureza, como gás natural, e os secundários que são as fontes geradas a partir de uma matéria-prima que sofre transformações, como gasolina (MARCOCCIA, 2007). As fontes primárias podem ser definidas como renováveis e não renováveis. As fontes renováveis são aquelas que podem ser repostas naturalmente no ambiente, por exemplo, a água; já as fontes não renováveis, são aquelas em que existe a probabilidade de esgotamento à medida que são consumidas, como petróleo (REIS, 2011).

Dados do Balanço Energético Nacional (BEN) feito pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) de 2021, relativos às fontes geradoras de energia elétrica no Brasil, são mostrados na Figura 1.

Figura 1 – Fontes geradoras de energia elétrica no Brasil em 2020.



Fonte: BEN (2021).

O Brasil é considerado um dos países com matriz energética mais limpa devido a expressiva participação de fontes de energia renováveis (PIRES, 2000). Embora a energia hidráulica seja a fonte mais significativa na matriz brasileira, o Balanço Energético de 2021, apontou que a participação de outras fontes renováveis tem crescido. Essas são fontes com menor impacto ambiental e que possuem um papel de complementariedade na matriz energética brasileira em momentos de crise hídrica.

3.2. Sustentabilidade energética

A energia está diretamente relacionada com o conceito de sustentabilidade e afeta grande parte da população, os recursos energéticos fomentam os processos e atividades econômicas de todos os países e setores do mundo, como industrial, transporte, residencial e comercial. Além disso, os recursos energéticos, renováveis ou não, são adquiridos no meio ambiente, e todo processo da cadeia produtiva para gerar e distribuir energia através desses recursos gera resíduos que são liberados na natureza, podendo provocar resultados negativos. O fornecimento de serviços elétricos está diretamente ligado ao aumento da qualidade de vida, apoiando, muitas vezes, a estabilidade social, refletindo na evolução social, cultural e econômica da sociedade. Com isso, considerando a conexão entre desenvolvimento sustentável e energia, a existência da sustentabilidade energética passa a ser um ponto chave para a realização desse desenvolvimento (ROSEN, 2009).

A exploração dos recursos energéticos é um dos maiores problemas relacionados a sustentabilidade energética, o que tem preocupado governos, pesquisadores e instituições em todo mundo (IAEA, 2005). Nos dias de hoje, mais de 80% de toda a energia produzida no mundo é oriunda de combustíveis fósseis como o carvão, gás natural e o petróleo (IEA, 2020). Essas são fontes de energia não renováveis, sendo assim esgotáveis e emissoras de gases causadores do efeito estufa na atmosfera.

Sobre os gases causadores do efeito estufa podemos afirmar que:

Os gases responsáveis pelo efeito estufa, como vapor de água, clorofluorcarbono (CFC), ozônio (O_3), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e o dióxido de carbono (CO_2), absorvem uma parte da radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra e irradiam, por sua vez, uma parte da energia de volta para a superfície. Como resultado, a superfície recebe quase o dobro de energia da atmosfera em comparação com a energia recebida do Sol, resultando em um aquecimento da superfície terrestre em torno de $30^\circ C$. Sem esse aquecimento, a vida, como a conhecemos, não poderia existir (SILVA; de PAULA; 2009, p. 43).

Ainda que indispensáveis, a emissão constante de gases de efeito estufa podem causar problemas irreversíveis no clima mundial, fenômeno que chamamos de aquecimento global. Nos últimos 250 anos a concentração de CH_4 , CO_2 e N_2O subiram 150%, 40% e 10%, respectivamente, e esse fato contribuiu para que a temperatura média da superfície da terra aumentasse entre $0,5^\circ C$ e $1,3^\circ C$.

Embora a concentração de CH_4 tenha crescido mais, o CO_2 é o gás que mais causa preocupação, isso porque o seu acúmulo na atmosfera é aproximadamente 220 vezes maior comparado aos outros gases. O processo pelo qual países, empresas ou indivíduos buscam reduzir suas emissões de carbono de origem fóssil é chamado descarbonização. Nos dias de hoje existe 95% de certeza que o agravamento do efeito estufa é especialmente devido à influência antropológica (IPCC, 2016).

Miranda (2012) desenvolveu uma metodologia para calcular as emissões de dióxido de carbono de algumas fontes de energia presentes na matriz energética brasileira. Essa metodologia avalia todo processo produtivo para a geração da energia, a começar das etapas de planejamento, construção e operação até a desativação da instalação de produção, assim como, todas as etapas de obtenção, processamento da matéria-prima e combustíveis.

Os fatores de emissão estão listados na Tabela 1.

Tabela 1 – Fator de emissão de dióxido de carbono por fonte de energia.

Fonte	Fator de emissão (gCO ₂ e/kWh)
Hidrelétrica	86
Eólica	16
Nuclear	14
Térmica à carvão mineral	1144
Térmica à gás natural	518
Térmica à óleo combustível	781
Térmica à óleo diesel	829
Térmica à biomassa	0*

*Considerando apenas o ciclo do carbono.

Fonte: Miranda (2012).

3.2.1. Acordo de Paris

As adversidades geradas pelos gases de efeito estufa têm causado grande preocupação no mundo. Devido a isso, os governos vêm se reunindo em encontros mundiais para debater os problemas ambientais e firmarem compromissos que visam reduzir os danos consequentes da exploração dos recursos naturais e de ações antrópicas na natureza. Em Paris, no ano de 2015, aconteceu a Conferência das Nações Unidas Sobre Mudanças Climáticas (Figura 2) e foi a vigésima primeira edição da conferência e talvez a mais importante delas. Na conferência, 175 países dos 197 que fazem parte da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas retificaram o Acordo de Paris, que tem como foco conter o aumento da temperatura média global abaixo de 2°C. O Acordo de Paris possui um modelo de cooperação internacional com uma estratégia flexível, em que cada país determinou suas próprias metas individuais de diminuição de emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa, conforme sua capacidade tecnologia, econômica, política e prioridades nacionais (UNFCCC, 2015).

Figura 2 – Chefes de delegações na Conferência das Nações Unidas sobre Mudança Climática de 2015 em Paris.



Fonte: (NAÇÕES UNIDAS, 2015).

Os países que se comprometeram com o Acordo de Paris tiveram suas metas oficializadas através de Contribuições Nacionalmente Determinadas (iNDC), que precisam ser revistas a cada cinco anos, com a finalidade de estimular os países a assumirem metas ambiciosas. Apesar do modelo de ‘reportar e revisar’ não atestar o cumprimento das metas, esse modelo adaptável gera mais transparência e legitimidade ao processo (VICTOR, 2016). O Brasil se comprometeu em reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005 até 2025 e em 43% até 2030 (BRASIL, 2015).

As metas do Brasil para reduzir as emissões de gases de efeito estufa no setor elétrico são:

- iii) no setor da energia, alcançar uma participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética em 2030, incluindo:
 - expandir o uso de fontes renováveis, além da energia hídrica, na matriz total de energia para uma participação de 28% a 33% até 2030;

- expandir o uso doméstico de fontes de energia não fóssil, aumentando a parcela de energias renováveis (além da energia hídrica) no fornecimento de energia elétrica para ao menos 23% até 2030, inclusive pelo aumento da participação de eólica, biomassa e solar (BRASIL, 2015, p. 3).

3.3. Transição energética

A expressão ‘transição energética’ surgiu após o início da crise do petróleo durante a década de 1970 e não existe um significado preciso para o termo, contudo, ele é frequentemente usado para descrever alterações na estrutura de consumo de energia primária. A primeira notável transição energética começou com a domesticação de animais e com a utilização do fogo para a fabricação de metais, gerando excedentes de energia e identificando a sociedade pré-industrial. A segunda grande transição teve início com a troca do trabalho animal e humano por engenhos, moinhos de água e vento, o qual ampliou a eficiência e potência dos trabalhos agrícolas. A terceira transição se caracterizou pela substituição do trabalho animal por motores e da biomassa por combustíveis fósseis. Por fim, a quarta transição começou com o aparecimento das primeiras unidades geradoras de energia elétrica (TAVARES, 2019).

A transição energética que estamos vivenciando atualmente procura reestruturar a matriz energética global com o intuito de alcançar a sua descarbonização, devido a isso podemos chamá-la de transição energética de baixo carbono. Seja do ponto de vista de tecnologias que serão usadas, seja da necessidade de técnicas de eficiência e racionalização da demanda que, consideradas em conjunto, traduzem o objetivo de menores emissões de gases de efeito estufa em especial de carbono (TAVARES, 2019).

3.3.1. Energia renovável

O uso de fontes de energias renováveis, ao contrário dos combustíveis fósseis, teve um aumento recorde em novas instalações em 2020, onde aproximadamente 90% da nova geração de energia no mundo teve como base as fontes renováveis, aumento de 4% em comparação com 2019. Espera-se que a geração de energia a

partir de fontes renováveis cresça 50% nos próximos cinco anos e, até 2025, sua presença na geração total deve chegar a 33%, superando o carvão (IEA, 2020).

O crescimento da presença de fontes de energia renovável na matriz energética mundial já se mostrou essencial para a ascensão do desenvolvimento sustentável. No entanto, as alternativas de produção sustentável de energia mais razoáveis não são simples e ainda não existe uma solução para a futura demanda energética mundial. Os desafios relacionados ao crescimento da geração de energia renovável envolvem a disponibilidade dos recursos, fatores econômicos e tecnológicos, fatores socioambientais, fatores políticos e a integração entre novas e antigas tecnologias (DUNLAP, 2015).

O gasto inicial de investimento de uma unidade geradora de energia renovável é geralmente mais elevado do que para uma unidade que utiliza fontes não renováveis, devido a isso a sua aplicação se torna inviável principalmente para países em desenvolvimento (IPCC, 2012). Em consequência disso e da constante ameaça de crise hídrica no Brasil, que gera aumento do preço da energia elétrica e instabilidade de sua oferta, é interessante o país investir em uma fonte de energia de transição.

3.4. Gás natural

O gás natural é um hidrocarboneto formado através do longo processo de degradação da matéria orgânica e pode ser encontrado no subsolo, em rochas porosas, separado por um revestimento impermeável. A sua composição básica são as moléculas de hidrocarbonetos, hidrogênio e carbono, encontradas em estado volátil e com baixa densidade. O principal constituinte do gás natural é o gás metano, porém também há, em proporções diversificadas, etano, propano, butano, gás carbônico, nitrogênio, água, ácido clorídrico e outros. Variáveis naturais, como processo de formação e as circunstâncias de acúmulo no reservatório de produção, influenciam a proporção final dos constituintes (ANEEL, 2008).

O processo de formação do gás natural é contínuo, porém, a velocidade do processo tem caído aceleradamente, dificultando a renovação das reservas, o que é uma consequência dos atuais padrões de movimentação da crosta terrestre. Devido

a isso, o gás natural é classificado como um recurso não renovável (ABREU; MARTINEZ, 1999).

Em relação à origem do gás natural, ele pode ser classificado como gás associado ou não associado ao petróleo, isso porque nas primeiras etapas de degradação da matéria orgânica é produzido o petróleo, o gás natural é um resultado das etapas subsequentes (ANEEL, 2008). Quando existe predominância de petróleo na exploração do reservatório, o gás natural é retirado durante o processo de produção, sendo assim um coproduto, nesse caso ele é classificado como associado. Quando o gás natural é obtido em grande quantidade direto do reservatório, ele é considerado não associado, porque assim o petróleo passa a ser um coproduto (BAHIA, 2010).

Sobre o processo produtivo do gás natural podemos considerar que:

A cadeia produtiva do gás natural envolve seis etapas. A primeira é exploração, na qual o foco é a possibilidade de ocorrência ou não do gás natural. A segunda é a exploração, que consiste na instalação da infraestrutura necessária à operação do poço e nas atividades de perfuração, completção e recompletção de poços (colocação das cabeças de vedação, válvulas, comandos remotos e demais acessórios que permitirão a produção). A terceira é a produção, processamento em campo (para separação do petróleo em caso de o gás ser associado) e o transporte até a base de armazenamento. A quarta é o processamento, na qual se retiram as frações pesadas e se realiza a compressão do gás para a terra ou para a estação de tratamento. A quinta é o transporte e armazenamento (esta última não existe no Brasil, mas é comum em países de clima frio, de modo a formar um estoque regulador para o inverno). E, finalmente, há a distribuição, que é a entrega do gás natural para o consumidor final (ANEEL, 2008, p.96).

Pode-se definir reservatório como o local onde acontece a acumulação de gás natural em determinada camada do subsolo, e reserva como a estimativa do volume de gás disponível nesses reservatórios que podem ser produzidos e a viabilidade econômica para comercializá-lo, de modo a cobrir os custos de produção. As reservas brasileiras são controladas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) através do Boletim Anual de Reservas (BRASIL, 2020). Segundo Faria (2010), existem três classificações para reservas: as reservas provadas, que são aquelas que, a partir de análise de dados geológicos e de engenharia, são consideradas promissoras por possuírem grande grau de certeza de recuperação comercial. As reservas prováveis são as que possuem um grau de

certeza mediano e as reservas possíveis, que são aquelas que possuem baixo grau de certeza de recuperação comercial.

Em 2020, as reservas aprovadas de gás natural no mundo somaram 188,1 trilhões de m³, a Rússia liderou o ranking com 37,4 trilhões de m³, 19,9% do total mundial, o Irã ficou em segundo, com 32,1 trilhões de m³, 17,1% do total, e o Catar em terceiro, com 24,7 trilhões de m³, 13,1% do total. Esses três países juntos possuem 56,1% das reservas mundiais de gás natural. O Brasil ocupou a 33ª colocação no ranking com 0,3 trilhões de m³ (IBP, 2021a).

3.4.1. Mercado de gás natural

No século XIX, o gás natural era visto como um problema nos Estados Unidos, isso porque a prioridade na época era a obtenção de petróleo, e o gás era encontrado junto com ele e isso exigia uma série de processos que encareciam e comprometiam as atividades dentro da exploração. A partir dos anos 80, o consumo de gás começou a crescer e ele se transformou na fonte de origem fóssil a registrar maior crescimento no mundo (ANEEL, 2008).

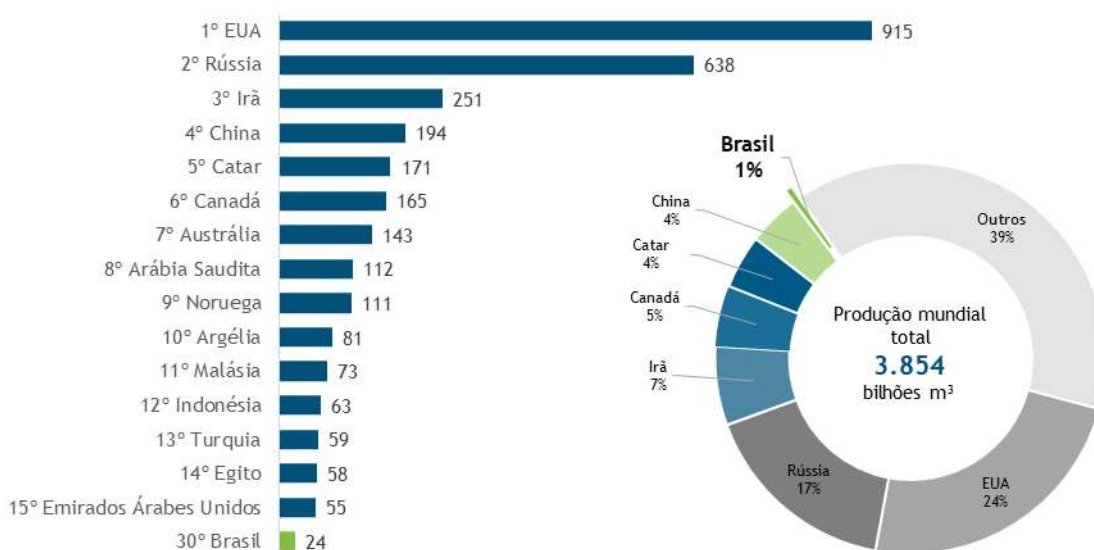
O mercado de gás natural no Brasil teve início em meados de 1940, com a produção de gás a partir do carvão para abastecer principalmente a iluminação pública. A partir disso, surgiram as primeiras empresas do setor, as duas com mais expressividade no mercado eram a CEG (distribuidora de gás da cidade do Rio de Janeiro) e a Comgás (hoje a principal distribuidora do estado de São Paulo). Apenas no início da década de 1990 o mercado de gás começou a acelerar no país. Com isso, a Petrobrás Petróleo Brasileiro S.A. passou a dar mais importância para a produção e suprimento do gás, mesmo sendo um dos principais concorrentes do seu principal negócio, a venda de derivados de petróleo. A empresa descobriu mais reservas e passou a investir em infraestrutura para a extração e produção de gás (SANTOS et al., 2007).

Com a ampliação do uso do gás natural, foram construídas formas de transportar e de distribuir o insumo desde os reservatórios até os grandes centros de consumo (ORTIGARA, 2017). Em 1999, ocorreu um grande marco na história do gás natural do Brasil, isto é, o início da operação do Gasbol, gasoduto que conecta a

Bolívia e o Brasil. Com esse acontecimento, o país passou a ofertar o gás com preços mais baixos que antes. No mesmo período, as duas principais companhias de distribuição, CEG e Comgás, foram privatizadas, permitindo a entrada de mais investimentos. O processo de expansão do mercado de gás natural continua em evolução, com as companhias privadas desafiando os antigos monopólios estatais que persistiram ao desenvolvimento de um mercado de gás que pudesse intimidar a predominância do petróleo e da hidreletricidade na matriz energética brasileira (SANTOS et al., 2007).

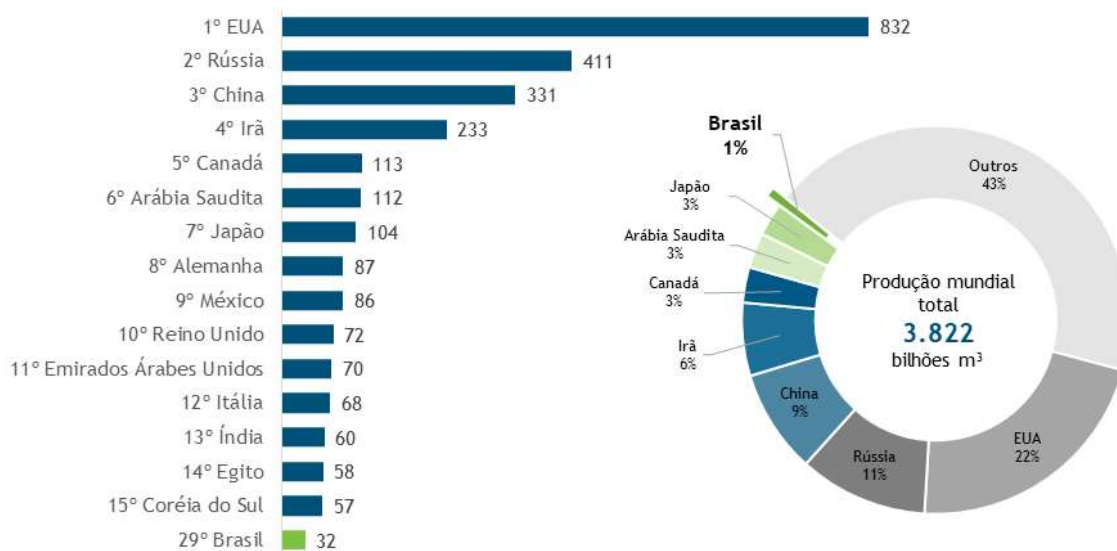
Os maiores produtores e consumidores de gás natural do mundo, segundo o IBP (2021b) no ano de 2020, são mostrados na Figura 2 e na Figura 3, respectivamente.

Figura 3 – Maiores produtores de gás natural do mundo em bilhão m³ no ano 2020.



Fonte: IBP (2021b).

Figura 4 – Maiores consumidores de gás natural do mundo em bilhão m³ no ano 2020.



Fonte: IBP (2021b).

Uma das principais características do mercado de gás natural, assim como de outras *commodities*, é a sua dependência da dinâmica dos mercados internacionais. Nesse caso, uma economia mundial estimulada pode aumentar o consumo do recurso, mas por outro lado, momentos de crise reduzem a sua procura. O mercado de gás é influenciado também por pressão política, a obtenção e uso do recurso dependem dos interesses políticos dos países produtores, o que causa certa insegurança em relação ao seu fornecimento. Com isso, o mercado de gás é definido por alguns fatores, como nível de atividade econômica, competitividade do preço em relação a outros recursos energéticos, considerações ambientais e políticas governamentais (LYRA, 2015).

A Bolívia foi o principal país exportador de gás natural para o Brasil em 2020, com 85% de participação, os Estados Unidos é o segundo, com 11%. Os estados brasileiros que mais importaram foram o Rio de Janeiro (52%), Mato Grosso do Sul (33,5%), Mato Grosso (6%) e Bahia (4,8%). Nesse mesmo ano, o Brasil exportou US\$25,5 milhões, na importação foi pouco mais de US\$1 bilhão, todo o produto foi destinado à Índia (UXCOMEX, 2021).

Os três principais segmentos que consomem gás natural são o industrial, o automotivo e o termelétrico. Os setores residencial e comercial ainda não possuem expressividade, poucas cidades brasileiras apresentam infraestrutura residencial de gás canalizado. A indústria, em geral, usa o gás como combustível em suas cadeias produtivas, no segmento automotivo o gás é um poderoso substituto para outros combustíveis fósseis, como a gasolina e o diesel, especialmente nas grandes cidades. O setor termelétrico utiliza o gás para a geração de energia elétrica e representa um grande pedaço do potencial de gás natural no Brasil (FARIA, 2010).

A flexibilidade do gás natural o torna um concorrente da maioria dos recursos naturais e energéticos, como o carvão, derivados do petróleo, hidroeletricidade ou energia nuclear. Essa versatilidade que por um lado é uma vantagem competitiva, faz com que o gás não seja um produto indispensável, dificultando o desenvolvimento de um mercado único que elimine forças concorrentes (LYRA, 2015).

De acordo com Lyra (2015), o desenvolvimento do mercado de gás natural está associado à procura por recursos naturais alternativos ao petróleo, que possuam eficiência energética e menores índices de emissão de gás carbônico. Essa tendência foi responsável pela expansão de estudos e pesquisas para a prospecção e exploração de novas reservas.

3.5. Gás natural na geração de energia elétrica

Uma usina termelétrica é uma instalação industrial de geração de energia elétrica por meio da queima de combustíveis, como bagaços, madeira, gás natural e outros. As usinas termelétricas a gás natural possuem características que tornam a sua utilização atrativa para o setor elétrico, como flexibilidade operacional, localização próxima dos centros de consumo, o que resulta em uma economia na transmissão de energia, menor tempo de construção e custo reduzido por kW instalado (TOLMASQUIM, 2005). A maior usina termelétrica a gás natural (Figura 4) da América Latina foi inaugurada em 2020, no município de Barra dos Coqueiros, em Sergipe.

Figura 5 - Usina termelétrica Sérgio I.



Fonte: (BRASIL, 2021)

As usinas termelétricas a gás funcionam através da passagem do gás por turbinas, de modo que a energia térmica presente na descarga em elevada temperatura dos gases na turbina seja utilizada para produção de vapor que resulta na ativação de um gerador de eletricidade (ORTIGARA, 2017).

Segundo a Aneel (2008), depois da crise do petróleo que aconteceu nos anos 70, vários países menos desenvolvidos começaram a considerar a utilização de gás natural para a geração de energia elétrica, assim como já acontecia nos países industrializados. Devido isso, houve um significativo avanço em relação às tecnologias usadas na geração de energia.

No Brasil, em meados de 1970, a atuação de usinas termelétricas na capacidade instalada de energia elétrica era cerca de 25%, e esse número caiu até chegar a 11,6% em 1996. Na época, as termelétricas funcionavam principalmente a óleo combustível ou carvão. Em 1999, o governo federal lançou o Programa Prioritário de Termelétricidade, com intuito de impulsionar a construção de usinas termelétricas,

principalmente, movidas a gás natural. A partir disso, a participação das termelétricas na capacidade instalada passou a subir (MME, 2008). O Brasil possui 164 usinas termelétricas movidas a gás natural em operação, com potência outorgada, que é a potência que a usina foi autorizada a operar, de 15.713.613,39kW (ANEEL, 2021). Em 2020, 9% da energia elétrica ofertada no país foi gerada através de termelétricas movidas a gás natural (BEM, 2021).

A matriz de energia elétrica brasileira é predominantemente hidráulica e isso não deve mudar no médio prazo, apesar disso, conforme o Plano Nacional de Energia 2030 elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a presença de termelétricas a gás natural crescerá no curto e médio prazo. Essas usinas servirão para complementar a energia elétrica gerada pelas hidrelétricas principalmente em momentos de intensificação da demanda ou redução da oferta hidráulica, devido a momentos de estiagem, por exemplo, quando é preciso preservar os reservatórios (ANEEL, 2008). Em 2011, que foi considerado um ano com um consumo de gás maior do que o normal, a média de consumo das termelétricas foi cerca de 10 milhões de m³/dia. Em 2014, o Brasil passou por uma forte crise hídrica, nesse período a atuação das termelétricas no consumo médio de gás natural foi de 46,8 milhões de m³/dia, próximo da metade do gás consumido pelo país (ORTIGARA, 2017).

Devido a legislações, novas usinas hidrelétricas com grande capacidade de reservação estão proibidas, em contramão, a demanda nacional de energia cresce constantemente. Além disso, o Brasil vive um expressivo aumento no número de instalações de usinas geradoras de energia elétrica movidas por fontes renováveis, como eólica e fotovoltaica, que depende da disponibilidade do vento e da luminosidade, respectivamente. Se o setor elétrico precisa, cada vez mais, de flexibilidade para complementar a inclusão de fontes de geração inconstante, a baixa da capacidade de armazenamento de energia em reservatórios deve ser contrabalanceada pela adição de outro tipo de fonte que cumpra esses requisitos de flexibilidade operacional (ORTIGARA, 2017).

Em questões ambientais, o gás natural possui vantagem significativa comparado a outros combustíveis fósseis, devido a menor emissão dos gases responsáveis pelo efeito estufa. O estudo sobre gás natural do Plano Nacional de Energia 2030 aposta que o volume de CO₂ lançado na atmosfera pode ser entre 20%

e 23% menor que o produzido pela geração a partir de óleo combustível e entre 40% e 50% menor que o produzido pela geração de combustíveis sólidos. Na cadeia de produção do gás natural podemos elencar alguns impactos socioambientais positivos, como a geração de royalties para os municípios que hospedam as usinas, aceleração das atividades econômicas, especialmente na fase de obtenção e produção do gás e da construção da usina, e aumento de vagas de emprego na região. Além disso, as termelétricas podem ser construídas próximo aos centros de consumo, por serem unidades pequenas e não exigirem a seleção de um terreno específico. Isso exclui a necessidade de grandes linhas de transmissão de energia produzidas às instalações de distribuição (ANEEL, 2008).

3.6. Novo mercado de gás

A Petrobras possuiu o monopólio das atividades da indústria de petróleo e gás natural no Brasil até 1995, quando uma emenda que flexibilizou esse monopólio foi adotada. Em 1997, foi sancionada a Lei do Petróleo (Lei nº 9.478/2017), que regulamentou o disposto constitucional e foi responsável pelo progresso da abertura dos mercados. Contudo, para o gás natural o impacto da lei foi insignificante e não causou mudanças na estrutura do seu mercado, assim a Petrobras continuou como agente predominante. Em 2009, com a Lei do Gás (Lei nº 11.909/2009), foi feita mais uma tentativa de abertura do mercado e novamente não foi o bastante para alcançar os objetivos esperados. No ano de 2015, a Petrobras começou a desinvestir em alguns ativos e a reduzir sua presença no mercado de gás, fato que trouxe a oportunidade de retificação do marco legal e regulatório do setor. Dado isso, em 2016 foi lançada a iniciativa Gás para Crescer, junto com ela foi publicada a Resolução CNPE nº 10/2016, que definia diretrizes estratégicas para o desenho de um novo mercado de gás natural, com o objetivo de formar um mercado competitivo e que colaborasse para o progresso do país. Essas iniciativas foram inseridas no Substitutivo do Deputado Marcus Vicente ao Projeto de Lei nº 6.407/2012, contudo, o parecer não chegou a ser votado (MME, 2020).

Em 2018, foi expedido o Decreto nº 9.616/2018, que adotou as medidas da iniciativa Gás para Crescer que eram possíveis de serem implementadas por meio da regulamentação. Em 2019, foi criado o Comitê de Promoção da Concorrência de Mercado de Gás Natural no Brasil, através da Resolução CNPE nº 4/2019. O comitê tinha a responsabilidade de propor medidas de incentivo à concorrência no mercado de gás, enviar ao Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) indicações de diretrizes e melhorias de políticas energéticas voltadas ao progresso da livre concorrência no mercado de gás, além de, sugerir ações a órgãos federativos para o desenvolvimento de boas práticas regulatórias. O CNPE aprovou as recomendações do comitê por meio da Resolução nº 16/2019, que estabelece diretrizes e melhoria de políticas energéticas voltadas para o desenvolvimento da livre concorrência no mercado de gás natural. Através dessa resolução foi criado o Novo Mercado de Gás (MME, 2020).

O Novo Mercado de Gás (Figura 6) é um programa estruturado pelo Ministério de Minas e Energia, desenvolvido em conjunto com o Ministério da Economia, ANP, EPE e CADE, para a construção de um mercado de gás aberto, dinâmico e competitivo. O programa foi iniciado em julho de 2019 com o propósito de estimular a concorrência, atrair investimentos e reduzir os preços do gás para o consumidor final. Foi criado o Comitê de Monitoramento para Abertura do Mercado de Gás Natural para coordenar as ações de agentes do governo dentro do programa (CBIE, 2021).

Figura 6 – Logomarca do programa Novo Mercado de Gás criado pelo Governo Federal.



(MME, 2020).

Os pilares e resultados esperados do programa Novo Mercado de Gás são:

Pilares

- Promoção da concorrência.
- Harmonização das regulações estaduais e Federal.
- Integração do setor de gás com setores elétrico e industrial.
- Remoção de barreiras tributárias.

Resultados Esperados

- Melhorar o aproveitamento do gás do Pré-sal, da bacia de SE/AL e outras descobertas.
- Ampliar investimentos em infraestrutura de escoamento, processamento, transporte e distribuição de gás natural.
- Aumentar a competição na geração termelétrica a gás.
- Retomar a competitividade da indústria em seus diversos segmentos, como celulose, fertilizantes, petroquímica, siderurgia, vidro, cerâmica e outros (CMGN, 2019).

No dia 8 de abril de 2021, após dois anos do lançamento do Novo Mercado de Gás, o governo sancionou a Nova Lei do Gás que regulamenta as iniciativas propostas pelo programa (CARVALHO, 2021). As mudanças que serão implementadas no mercado de gás terão um papel fundamental na retomada econômica do Brasil. Com a utilização do gás do pré-sal e das reservas descobertas na costa do Nordeste, a oferta de gás no país crescerá e aumentará a competitividade para a indústria, o que irá beneficiar as usinas termelétricas. A integração do setor elétrico com o de gás natural é um fator determinante ao sucesso do programa Novo Mercado do Gás (CRUZ, 2021).

O secretário especial de Produtividade, Emprego e Competitividade, do Ministério da Economia, Carlos Alexandre da Costa, considera o novo marco legal do gás natural uma grande alavanca para a reindustrialização, seja por meio da redução do preço do gás, como da redução do preço da energia elétrica devido a maior presença das termelétricas. De acordo com as estimativas do governo, a redução do preço da energia pode chegar a 50% dependendo do estado (COSTA, 2021).

3.7. Iniciativas sustentáveis no mercado de gás natural

Atualmente estamos passando por um processo de transição energética, onde as fontes de energia renováveis estão ocupando cada vez mais o espaço das fontes não renováveis. Nesse contexto de transição o gás natural é visto como a grande fonte de migração por estar entre as três principais fontes energéticas e por, comparada as outras possíveis fontes de transição, ser a mais barata e menos poluente (MENDES; SAMPAIO, 2019). Contudo, de acordo com Aneel (2008) as usinas termelétricas a gás natural emitem dióxido de carbono, óxidos de nitrogênio e, em menor escala, monóxido de carbono e alguns hidrocarbonetos de baixo peso molecular, inclusive metano.

Segundo IEA (2020), no seu cenário de Desenvolvimento Sustentável, a previsão é de crescimento do papel do gás na matriz elétrica mundial até 2030, decrescendo progressivamente e caindo pela metade em 2050. O gás natural substitui carvão inicialmente, mas depois passa a ser substituído por energias renováveis. Em 2050, o setor de gás natural somente terá um papel importante se adotarem medidas que diminuam seu impacto ambiental.

A seguir serão apresentadas três iniciativas sustentáveis que podem ser adotadas pelo mercado de gás natural para que as empresas do setor não percam a sua competitividade ao passar dos anos.

3.7.1. Biogás

O biogás é o gás gerado a partir da degradação da matéria orgânica por bactérias, é uma fonte de energia renovável e pode ser obtido naturalmente ou artificialmente seguindo critérios de fermentação, umidade, acidez e na ausência de oxigênio. Naturalmente ele é formado através da ação de microrganismos sobre o acúmulo de matérias orgânicas como resíduos industriais naturais, esterco de animais, lixo doméstico, e outros. Industrialmente ele é produzido através de um reator químico-biológico chamado de biodigestor anaeróbico (ROYA *et al.*, 2011).

A digestão anaeróbia é um processo de tratamento de materiais orgânicos que se desenvolve na ausência de oxigênio. A composição típica do biogás é cerca de 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura de hidrogênio,

nitrogênio, amônia, ácido sulfídrico, monóxido de carbono, aminas voláteis e oxigênio (WEREKO-BROBBY; HAGEN, 2000). O biogás é inflamável devido ao metano, gás mais leve que o ar, sem cor e odor. O que causa o odor no biogás é o dióxido de enxofre, que mesmo em quantidades pequenas é perceptível pelo olfato e bastante corrosivo (OLIVEIRA, 2004).

Na formação do biogás os microrganismos que atuam na ausência de oxigênio atacam a estrutura de materiais orgânicos complexos, produzindo compostos simples como o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2) (SANCHEZ et al., 2005). Para que ocorra a fermentação da matéria orgânica, esses microrganismos precisam de um ambiente favorável para seu crescimento e desenvolvimento, com ausência de compostos químicos tóxicos (sabão, detergente), temperatura adequada (entre 30 e 45° C), com a presença de matéria orgânica e com ausência de ar (SEIXAS; MARCHETTI, 1981).

A conversão do biogás em energia elétrica é considerada limpa por diminuir drasticamente a emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera, além disso, o uso do biogás leva ao reaproveitamento de resíduos e contribui para redução de desperdício. O biogás pode ser utilizado sozinho ou misturado com gás natural, além disso, ele pode ser armazenado e distribuído através da mesma infraestrutura do gás natural sem a necessidade de modificação (ENA, 2017).

Em 2020, a Raízen, empresa integrada de energia de origem brasileira com presença nos setores de produção de açúcar e etanol, distribuição de combustíveis e geração de energia, inaugurou no interior de São Paulo uma das maiores termelétricas a biogás do mundo (Figura 7). O biogás usado é produzido a partir de resíduos de cana de açúcar resultante dos seus processos produtivos. A usina possui 21 MW de capacidade instalada (RPA, 2020).

Figura 7 – Usina termelétrica a biogás da Raízen.



Fonte: (RPA, 2020).

3.7.2. Captura e armazenamento de carbono

A captura e armazenamento de carbono é uma tecnologia que busca frear a emissão de grandes quantidades de dióxido de carbono para a atmosfera a partir de combustíveis fósseis, principalmente em usinas de geração de energia. O propósito da tecnologia é capturar e armazenar o carbono em formações geológicas em áreas profundas para que ele não seja lançado para a atmosfera. A evolução desse tipo de tecnologia ganhou destaque com aumento do interesse internacional sobre mudanças climáticas (IEA e WBCSD, 2009).

A cadeia de captura e armazenamento de carbono pode ser dividida em três etapas: a captura, o transporte e o armazenamento (IEA e WBCSD, 2009). Existem quatro maneiras principais de capturar CO₂ de usinas de energia. A primeira é diretamente onde o processo da planta produz fluxos de CO₂ puro, como amônia e etanol na planta. A segunda é na pré-combustão, onde o CO₂ é removido do combustível bruto. A terceira é na pós-combustão, que ocorre após o processo normal de combustão, ou seja, após a queima do combustível para produzir eletricidade. E por fim a quarta maneira é na combustão de oxi-combustível, que é onde acontece a queima dos combustíveis fósseis em oxigênio para produzir água e CO₂. As principais tecnologias propostas para captura de carbono utilizam membranas, processos de absorção e adsorção (IEAGHG, 2016).

O transporte do CO₂ pode ser feito por dutos ou por transporte marítimo. O CO₂ que foi capturado das usinas de energia é comprimido e transformado em um estado fluido, conhecido como CO₂ supercrítico. Em seguida, é transportado por grossos dutos de aço carbono ou levado em um navio especialmente equipado para o local de armazenamento escolhido (IEAGHG, 2016).

O armazenamento do CO₂ é feito em formações geológicas subterrâneas, que estão a profundidades superiores a 800 metros. Para armazenar CO₂ com segurança, a formação deve ter uma rocha 'reservatório' adequada para receber o CO₂ e um '*caprock*' impermeável no topo do reservatório para evitar que o CO₂ suba no subsolo. A rocha do reservatório é porosa, o que significa que há pequenos espaços minúsculos entre os grãos nos quais o CO₂ fica preso, já o *caprock* é não poroso, então isso significa que não há nenhum espaço entre os grãos da rocha, então o CO₂ não pode entrar neste topo, cobrindo a rocha. Essas formações geológicas são formações salinas profundas, reservatórios de petróleo e gás esgotados ou camadas profundas de carvão não exploráveis (IEAGHG, 2016).

O terceiro maior projeto de captura e armazenamento de carbono do mundo foi destaque no Prêmio Firjam Ambiental 2020, na categoria Gases de Efeito Estufa e Eficiência Energética. O prêmio é uma iniciativa com objetivo de disseminar as ações bem-sucedidas em favor do desenvolvimento sustentável das empresas do estado do Rio de Janeiro, com foco na proteção ambiental, no equilíbrio ambiental, econômico e no bem-estar social. O evento avalia as ações do setor empresarial e reconhece projetos que vão além das obrigações legais, como é o caso do Projeto Captura, Uso e Armazenamento de Carbono no Processo de Produção da Petrobras (FIRJAN, 2021).

Até dezembro de 2019, por meio do projeto, a Petrobras conseguiu reinjetar 14,4 milhões de toneladas de CO₂ em reservatórios, sendo 4,6 milhões somente em 2019. Com o início da operação de novas unidades de produção, a expectativa é que o volume chegue a 40 milhões de toneladas reinjetadas até 2025, marca que colocará o vencedor do prêmio como o maior projeto de captura e armazenamento de carbono offshore do mundo (FIRJAN, 2021).

3.7.3. Hidrogênio verde

O hidrogênio é o elemento químico mais abundante do mundo, constituindo cerca de 75% de sua massa elementar. Suas moléculas estão presentes em muitos dos elementos químicos de nosso cotidiano. O hidrogênio pode ser usado como combustível e como fonte de energia no setor elétrico. Apesar de ser tão abundante, o hidrogênio só existe em combinação com outros elementos, na água por exemplo ele está junto com oxigênio. O hidrogênio também pode se agregar ao carbono para formar hidrocarbonetos, como gás natural, carvão e petróleo, e para ser usado industrialmente o elemento químico precisa ser separado de outras moléculas. Para poder ser definido como verde, o hidrogênio precisa ter sido produzido através de energia renovável, como eólica, solar e biocombustíveis. Assim ele é separado do oxigênio na molécula da água por um processo chamado eletrólise (FARO, 2021).

Na geração de energia elétrica, o hidrogênio verde pode ser usado para a combustão em usinas termelétricas, nesse caso a combustão é considerada limpa, isso porque o processo libera basicamente água na forma de vapor e oxigênio, não ocorre a liberação de dióxido de carbono. O hidrogênio verde pode ser adicionado ao gás natural para reduzir a emissão de gases em plantas de geração de energia já existentes ou pode ser utilizado sozinho (FARO, 2021).

A *Engix Energy*, uma empresa australiana, anunciou no início do ano o projeto de construção da maior usina produtora de hidrogênio verde do mundo, que ficará localizada no estado do Ceará. O projeto é uma parceria com o governo cearense e terá um investimento de aproximadamente US\$5,4 bilhões. A usina produzirá mais de 600 mil toneladas de hidrogênio verde por ano, a partir da combinação de energia eólica e solar, com zero emissões de gases de efeito estufa. A localização da planta é estratégica para a produção do recurso, já que dá acesso direto aos principais mercados internacionais através de transporte marítimo (UDOP, 2021).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As recentes discussões a respeito do aquecimento global demonstram que o clima é, sem dúvida, tema de grande relevância econômica e social. Existe o consenso científico de que o problema do aquecimento global está se intensificando devido a ações antrópicas de geração e uso de energias fósseis, principalmente o petróleo e seus derivados, que contribuem para o aumento dos níveis de concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. Assim, o setor elétrico é peça fundamental neste debate, dado que é uma das principais origens de emissões. É certo que, para além de emissões de gases, trata-se de um setor historicamente marcado por impactos adversos ao meio ambiente e às populações, sendo seu desenvolvimento justificado pela sua importância para as sociedades e bem-estar humano.

Como a atmosfera é uma só, a mudança do clima tem gerado preocupação internacional, uma vez que todos os países sentem os seus efeitos. Isso contribui para que se construam ações concretas para mitigar o problema, especialmente, no que se refere a produção de energias renováveis. Diante dessa realidade, novas fontes têm sido buscadas como forma não só de diversificar a matriz energética, mas também desenvolver alternativas que busquem uma redução dos impactos, ordem ambiental, causados principalmente pela geração de energia elétrica.

A distribuição das fontes de energia de um país reflete, de forma bastante aparente, as características de disponibilidade de recursos dele. No caso do Brasil, a predominância de um sistema hidráulico é resultado direto da grande abundância de recursos hídricos. Como vimos, 84% da matriz elétrica brasileira é formada por fontes renováveis, dessas, 64% correspondem a hidrelétricas. O uso de energia renovável no Brasil coloca o país em uma posição de destaque no cenário global.

A energia elétrica apresenta relações com questões ambientais, sociais e econômicas, ao ser capaz de melhorar a qualidade de vida das pessoas através do acesso aos serviços básicos e promover desenvolvimento econômico. Nesse contexto, é preciso considerar que as principais fontes renováveis utilizadas pelo país são consideradas intermitentes, ou seja, a geração de energia por meio dessas fontes não está disponível 24h, dependendo de fatores como água, luz solar e vento. Esse fato trás instabilidade para o setor elétrico, pois não é possível controlar a oferta de energia elétrica de acordo com a demanda. Com isso, até que o país possua fontes

renováveis não intermitentes ou tecnologias para contornar essa situação é necessário contar com o apoio de uma fonte energética de transição.

Nesse cenário, o gás natural aparece como um potencial recurso energético de transição para o setor elétrico, por ser uma fonte primária de grande disponibilidade, custo competitivo e, entre as fósseis, a de menor nível de emissões gases responsáveis pelo efeito estufa, principalmente de dióxido de carbono, principal vilão no contexto de aquecimento global. Contudo, o Brasil ainda não possui um mercado de gás aberto e dinâmico para dar suporte para que o recurso cresça dentro da matriz elétrica.

O mercado de gás no Brasil está sofrendo uma reestruturação através do programa Novo Mercado do Gás, e os resultados esperados são promissores para a ascensão do recurso como uma fonte energética de transição. Com o uso do gás do pré-sal, além das descobertas localizadas na costa do nordeste brasileiro, a oferta de gás nacional crescerá, o que aumentará a competitividade para a indústria nacional. Um outro ponto importante e que será o principal elemento para criação de um mercado de gás consistente e estruturado diz respeito ao aumento da competição na geração termelétrica a gás. Esses fatos favorecem a integração do setor elétrico com o de gás natural.

Contudo, é importante destacar que estudos, pesquisa e do desenvolvimento de novas tecnologias para frear a emissão de dióxido de carbono para a atmosfera estão avançando. Esse fato ameaça a permanência do gás natural na matriz elétrica a longo prazo, visto que a inserção de fontes renováveis vão se tornar cada vez mais viáveis, por isso é necessário que o setor de gás adote medidas que diminuam o impacto ambiental do recurso. Diante disso, a engenharia de Bioprocessos pode se mostrar um divisor de águas para a permanência do gás natural na matriz elétrica, devido a suas potencialidades para a redução dos impactos ambientais, através, por exemplo, da produção em larga escala de biogás ou por meio da bioenergia com captura e armazenamento de carbono. A Engenharia de Bioprocessos é a profissão do futuro, por contribuir para a construção de um setor industrial mais sustentável, baseado na utilização de recursos renováveis, na valorização de resíduos e na utilização de processos produtivos que trazem menor impacto para a sociedade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Atlas da Energia Elétrica no Brasil. ed 3. Brasília 2008.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Banco de Informações de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica. 2021. Disponível em: <<https://bit.ly/2IGf4Q0>>. Acesso em: 25 jun. 2021.

ABREU, P. L.; MARTINEZ, J. A. Gás natural – o combustível do novo milênio. Porto Alegre: Plural Comunicação, 1999.

BAHIA. BAHIA GÁS. Gás Natural: benefício ambientais do estado da Bahia. Bahia: Solisluna Design e Editora, 2010.

BEN (Balanço Energético Nacional). Empresa de Pesquisa Energética – 2021. Disponível em: <<http://shinyepe.brazilsouth.cloudapp.azure.com:3838/anuario/EPEFactSheetAnuario.pdf>>. Acesso em: 07 jun. 2021.

BRASIL. ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível). Reservas nacionais de petróleo e gás natural. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-estatisticos/reservas-nacionais-de-petroleo-e-gas-natural>. Acesso em: 15 jun. 2021.

BRASIL. Governo do Brasil. Maior termoeletrica a gás natural da América Latina é inaugurada em Sergipe. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2020/08/maior-termoeletrica-a-gas-natural-da-america-latina-e-inaugurada-em-sergipe>. Acesso em: 6 ago. 2021

BRASIL. República Federativa do Brasil – Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada. Brasília, 2015.

CARVALHO, Daniel. Folha de S. Paulo. Bolsonaro sanciona lei que promete abrir mercado de gás e baratear energia. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2021/04/bolsonaro-sanciona-lei-que-promete-abrir-mercado-de-gas-e-baratear-energia.shtml>. Acesso em: 12 jul. 2021.

CBIE (Conselho Brasileiro de Infraestrutura). O que é o novo mercado de gás? Disponível em: <https://cbie.com.br/artigos/o-que-e-o-novo-mercado-de-gas/>. Acesso em: 4 jul. 2021.

CMGN (Comitê de Monitoramento da Abertura do Mercado de Gás Natural). NOVO MERCADO DE GÁS. Brasília: Governo Federal, 2019. 2 slides, color.

COSTA, Rodolfo. Revista Oeste. Lei do Gás: preço da energia elétrica pode cair 50%, e o do botijão de gás, 30%. Disponível em: <https://revistaoeste.com/politica/lei-do-gas-preco-da-energia-eletrica-pode-cair-a-50-e-o-botijao-de-gas-a-30/>. Acesso em: 5 jul. 2021.

CRUZ, Efraim. “A Integração do Gás Natural e Energia Elétrica”. Agência CanalEnergia. Rio de Janeiro, 12 de junho de 2021.

DUNLAP, R.A. Sustainable energy. Halifax: Dalhousie University, 2015.

ENA, Energy Networks Australia. Gas Vision 2050: reliable, secure energy and cost-effective carbon reduction. Austrália: Apga, 2017.

FARIA, Luiz Fernando Rocha de. A Integração dos mercados de gás natural e energia elétrica no Brasil. 2010. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

FARO, Alberto. Machado Meyer Advogados. Hidrogênio Verde em ebulição. São Paulo: 2021. Disponível em: https://www.machadomeyer.com.br/images/publicacoes/Guia_Hidrogenio_Verde_21.pdf. Acesso em: 12 jul. 2021.

FIRJAN. Terceiro maior projeto mundial de captura, uso e armazenamento de carbono é destaque no Prêmio Firjan Ambiental. Disponível em: <https://www.firjan.com.br/noticias/premio-firjan-ambiental-2020-conheca-o-projeto-pioneiro-vencedor-da-categoria-gases-de-efeito-estufa-e-eficiencia-energetica.htm>. Acesso em: 14 jul. 2021.

GÓES, Guilherme Sandoval. A geopolítica da energia do século XXI. Rio de Janeiro: Synergia Editora, 2021.

GOMES, Antônio Claret S. et al. O setor elétrico. BNDES, Rio de Janeiro. v. 50, p. 1964- 1973, 2002.

IBP (Instituto Brasileiro De Petróleo E Gás). Maiores reservas provadas de gás natural em 2020. 2021. Disponível em: <<https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/snapshots/maiores-reservas-provadas-de-gas-natural-em-2020/>>. Acesso em: 01 jul. 2021a.

IBP (Instituto Brasileiro De Petróleo E Gás). Maiores produtores mundiais de gás natural em 2020. 2021. Disponível em: <<https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/snapshots/maiores-produtores-mundias-de-gas-natural-em-2020/>>. Acesso em: 01 jul. 2021b.

IAEA (International Atomic Energy Agency) .United Nations Department of Economic and Social Affairs,International Energy Agency, Eurostat, European Environment Agency. Energy indicators for sustainable development: guidelines and methodologies. Vienna: IAEA, 2005.

IEA (International Energy Agency), 2016. World Energy Outlook 2016 (PDF). International Energy Agency. Disponível em: <<https://www.iea.org/media/publications/weo/WEO2016Chapter1.pdf>>. Acesso em: 02 mai. 2021.

IEA (International Energy Agency), 2020. World Energy Outlook 2020 (PDF). International Energy Agency. Disponível em: <<https://www.iea.org/media/publications/weo/WEO2020Chapter1.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2018.

IEA; WBCSD. Cement Technology Roadmap 2009. International Energy Agency, World Business Council for Sustainable Development. Paris, France. 2009

IPCC – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas; Climate Change 2016: Synthesis Report. Edição 2016. Disponível em:

<<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf>>

Acesso em: 29 mai. 2021.

IEAGHG. Programa de P&D de Gases de Efeito Estufa da Iea. O QUE É CCS? 2016. Disponível em: <https://ieaghg.org/ccs-resources/what-is-ccs>. Acesso em: 19 ago. 2021.

LEME, Alessandro André. Reform of the electrical sector in Brazil, Argentina and Mexico: contrasts and perspectives in debate. Revista de Sociologia e Política, Curitiba, v. 17, n. 33, p. 97-121, 2009.

LYRA, Mariana. Recursos Naturais: Gás Natural. Revista Política Hoje, Pernambuco, v. 23, n. 1, p. 149-174, mar. 2015.

LORENZO, Helena Carvalho. O setor elétrico brasileiro: passado e futuro. Perspectivas: Revista de Ciências Sociais, São Paulo, 25-24: 147-170, 2002.

MARCOCCIA, R. A participação do etanol em uma nova perspectiva na matriz energética mundial. 2007. Dissertação de Mestrado em Energia - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MENDES, Paulo César Lopes; SAMPAIO, Maressa Oliveira. In: Congresso Brasileiro De Pesquisa E Desenvolvimento Em Petróleo E Gás, 10., 2019, Salvador. O IMPACTO DO PROGRAMA NOVO MERCADO DE GÁS NA COMERCIALIZAÇÃO DO GÁS NATURAL NO BRASIL. Salvador: Universidade Salvador, 2019. p. 1-8.

MERCEDES, Sonia Seger Pereira; RICO, Julieta AP; DE YSASA POZZO, Liliana. Uma revisão histórica do planejamento do setor elétrico brasileiro. Revista USP, São Paulo, n. 104, p. 13-36, 2015.

MIRANDA, M. M.; Fator de emissão de gases de efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil: implicações da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2012. 162 p.

MME (Ministério de Minas e Energia). Balanço Energético Nacional 2008 – Ano Base 2007, Brasília, 2008.

MME (Ministério de Minas e Energia). Novo Mercado de Gás. 2020. Disponível em: <<http://antigo.mme.gov.br/web/guest/conselhos-e-comites/cmgn/novo-mercado-de-gas>>. Acesso em: 29 jun. 2021.

NAÇÕES UNIDAS. COP 21. 2015. Disponível em: <https://news.un.org/pt/news/topic/climate-change>. Acesso em: 6 ago. 2021.

OLIVEIRA, P. A. V. de. Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004.

ORTIGARA, Gustavo. A escolha dos indexadores de reajuste de preço do gás natural liquefeito para a viabilização de novas termelétricas no Brasil. 2017. 57 f. Monografia (Especialização) - Curso de Mba de Finanças, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

PIRES, José Claudio Linhares. Desafios da reestruturação do setor elétrico brasileiro. BNDES, Area de Planejamento, Departamento Econômico-DEPEC, Rio de Janeiro, BNDES, 2000.

REIS, Lineu Belico dos. A geração de energia elétrica. 2. ed. Barueri: Editora Manole Ltda, 2011.

ROSEN, Marc A. Energy sustainability: a pragmatic approach and illustrations. Sustainability, v. 1, n. 1, 2009.

ROYA, Bruno *et al.* Biogás: uma energia limpa. Revista Eletrônica Novo Enfoque, Rio de Janeiro, v. 13, n. 13, p. 142-149, out. 2011. Disponível em: <http://biomassaworld.com.br/wp-content/uploads/2016/04/biogs.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2021.

RPA, Cana & Indústria. Raízen inaugura planta de biogás e amplia seu portfólio de energia renovável. 2020. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/sala-de-imprensa/raizen-e-geo-energetica-anunciam-joint-venture-para-construcao-de-planta-de-biogas>. Acesso em: 12 jul. 2021.

SANCHEZ, E.; BORJA, R.; TRAVIESO, L.; MARTIN, A.; COLMENAREJO, M. F. Effect of organic loading rate on the stability, operational parameters and performance of a secondary upflow anaerobic sludge bed reactor treating piggery waste. Bioresource Technology, v.96, p.335-344, 2005.

SANTOS, Edmilson Moutinho dos; FAGÁ, Murilo Tadeu Werneck; BARUFI, Clara Bonomi; POULALLION, Paul Louis. Gás natural: a construção de uma nova civilização. Estudos Avançados, [S.L.], v. 21, n. 59, p. 67-90, abr. 2007. FapUNIFESP (SciELO).

SEIXAS, Jorge; MARCHETTI, Delmar A. B.. Construção e funcionamento de biodigestores. Brasília: Embrapa Suínos e Aves, 1981.

SILVA, R.W.C.; de PAULA, B.L.; Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural. Terrae Didática, 5:p.43; 2009.

TAVARES, F. B. Política energética em um contexto de transição: a construção de um regime de baixo carbono. 2019. 216 f. Tese (Doutorado em Economia) - Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<http://tiny.cc/e0j8mz>>. Acesso em: 02 jun. 2021.

TOLMASQUIM, Maurício Tiomno, Geração de Energia Elétrica no Brasil, Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2005.

UNFCCC. (2015). Adoption of the Paris Agreement. Paris. Disponível em: <<http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>>. Acesso em: 2 jun. 2021.

UDOP. União Nacional de Bioenergia. Maior usina de hidrogênio verde do mundo será construída no Ceará; investimento de US\$ 5,4 bilhões. 2021. Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2021/03/30/major-usina-de-hidrogenio-verde-do-mundo-sera-construida-no-ceara-investimento-de-us-5-4-bilhoes.html>. Acesso em: 10 jul. 2021.

UXCOMEX (São Paulo). Órgãos Anuentes: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Disponível em:

<https://uxcomex.com.br/2021/03/orgaos-anuentes-agencia-nacional-do-petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis-anp/>. Acesso em: 3 jul. 2021.

VICTOR, D. G. (2015). Why Paris Worked: A Different Approach to Climate Diplomacy. Yale Environment 360. Retrieved December 18, 2015.

WEREKO-BROBBY, C. Y., HAGEN, E.B. Biomass conversion and technology. New York: Editora John Wiley & Sons. 2000.