

A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA EM ANDAMENTO NO MUNDO E NA AMÉRICA LATINA

Manoel Gonçalves Rodrigues¹

Universidade Estácio de Sá
manoel.grodrigues@gmail.com

Fernando José Pereira da Costa²

Universidade do Estado do Rio de Janeiro
fjpcosta@sapo.pt

Resumo

Após os choques petrolíferos ocorridos na década de 1970, começou a ganhar espaço a necessidade de encontrar substitutos para o petróleo e seus derivados. Neste caso, promove-se a implementação de iniciativas destinadas à substituição do petróleo e derivados, buscando-se promover a construção de uma matriz energética menos dependente dos combustíveis fósseis, a valer-se de tecnologias inovadoras. Assim, a resposta brasileira, o maior e mais industrializado país da América Latina, vai lastrear-se na bioenergia, estratégia que mais tarde se consolidaria nas variantes etanol e biocombustíveis. A estas agregar-se-iam fontes alternativas como solar e eólica, para além da pré-existente base hidroelétrica do país. Em conjunto, tudo isto daria impulso à transição energética dos combustíveis fósseis aos energéticos renováveis, quer no mundo quer na América Latina. Contudo, em meados dos anos 2010, na América do Sul, o suprimento de energia continuava a depender de combustíveis fósseis, principalmente petróleo e gás natural.

Palavras-Chaves: energia; transição energética; combustíveis fósseis.

THE ENERGY TRANSITION UNDERWAY IN THE WORLD AND IN LATIN AMERICA

Abstract

After the oil shocks of the 1970s, the need to find substitutes for oil and its derivatives gained momentum. Efforts were made to replace oil and its derivatives with alternatives, aiming to create an energy matrix less dependent on fossil fuels through innovative technologies. In response, Brazil the largest and most industrialized country in Latin America focused on bioenergy. This strategy was later solidified with the development of ethanol and biofuels. Additionally, Brazil incorporated alternative sources such as solar and wind energy, alongside its pre-existing hydroelectric base. Collectively, these efforts aimed to drive the global and Latin American transition from fossil fuels to renewable energy sources. However, by the mid-2010s, South America's energy supply continued to rely heavily on fossil fuels, particularly oil and natural gas.

Keywords: energy; energy transition; fossil fuels.

¹ Pós-doutorado em Transporte e Meio ambiente pela Universidade da Califórnia em Davis (UC Davis). Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Graduado em Engenharia Química e Administração. Professor Titular na Área de Gestão e Negócios na Universidade Estácio de Sá (UNESA).

² Diploma de Estudos Aprofundados em Economia pela Universidade de Santiago de Compostela (USC). Mestre em Planejamento Energético pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Graduado em Economia. Pesquisador Colaborador em Projetos de Extensão na Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).



Esta obra está licenciada sob uma licença

Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0).

P2P & INOVAÇÃO, Rio de Janeiro, v. 11, n.2, p. 1-20, jan./jun. 2025.

LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN CURSO EN EL MUNDO Y EN AMÉRICA LATINA

Resumen

Después de los choques petroleros ocurridos en la década de 1970, comenzó a ganar terreno la necesidad de encontrar sustitutos para el petróleo y sus derivados. En este contexto, se promovieron iniciativas destinadas a reemplazar el petróleo y sus derivados, buscando construir una matriz energética menos dependiente de los combustibles fósiles mediante el uso de tecnologías innovadoras. Así, la respuesta de Brasil, el país más grande e industrializado de América Latina, se basó en la bioenergía, una estrategia que más tarde se consolidaría con el desarrollo de etanol y biocombustibles. A estas se sumaron fuentes alternativas como la solar y la eólica, además de la base hidroeléctrica preexistente del país. En conjunto, todo esto impulsó la transición energética de los combustibles fósiles a las fuentes de energía renovable, tanto a nivel mundial como en América Latina. Sin embargo, a mediados de la década de 2010, el suministro de energía en América del Sur seguía dependiendo en gran medida de los combustibles fósiles, principalmente el petróleo y el gas natural.

Palabras clave: energía; transición energética; combustibles fósiles.

1 INTRODUÇÃO

Após os choques petrolíferos ocorridos em 1973 e 1979 durante o século XX, impõe-se a necessidade de encontrar substitutos para o petróleo e seus derivados para a nova economia cada vez mais digitalizada no século XXI, de modo a erigir uma matriz energética menos dependente dos combustíveis fósseis e mais renovável na sua constituição. Assim, em fontes de energias renováveis como a eólica, solar, geração hídrica e na bioenergia, constituindo uma matriz energética predominantemente renovável. Contudo, a transição dos combustíveis fósseis para as energias renováveis implica em avanços e recuos, não sendo propriamente linear.

Por sua vez, deverão ocorrer interfaces dinâmicas e estratégicas entre os combustíveis fósseis e as energias renováveis, de modo a se valer da componente tecnológica para otimizar fontes de energia com a componente mercadológica. Entretanto, sabe-se que na América do Sul, por exemplo, registra-se, depois de todos esses anos, o domínio dos combustíveis fósseis notadamente petróleo e gás natural. Isto implica na incorporação de novas tecnologias direcionadas à produção e uso final, e no caso brasileiro do etanol adicionado à gasolina, com o estabelecimento de interações energéticas e tecnológicas que reduzam as emissões advindas do recurso aos combustíveis fósseis.

Uma das questões fundamentais ligadas ao petróleo vincula-se aos mecanismos de formação do preço desta fonte de energia. De fato, o preço do petróleo assim como a sua manutenção, tem impacto decisivo sobre a apropriação de excedente econômico. Este, por seu lado, constitui-se em objeto de disputa dentro do sistema capitalista, como motor do processo de acumulação, essencial ao modo de produção. O preço do petróleo também atua como balizador que sinaliza as possibilidades de novas fontes de energia, e em especial as fontes renováveis, que são menos impactantes sobre o meio ambiente.

A transição energética passa para uma matriz diversificada com aumento das fontes de energia renováveis, aumento da eficiência energética dos novos equipamentos frutos da nova revolução industrial em andamento, e de processo educacional de aumento de consciência ambiental. Na verdade, O petróleo tem a posição hegemônica como fonte de energia do modo de produção da atual estrutura urbano-industrial, sendo necessário avaliar as possibilidades da sua eventual substituição à escala global e seus reflexos em termos mundiais e a nível de cada país.

Com isso, buscar-se-ia recuperar o referencial teórico sobre a apropriação de recursos naturais no processo produtivo e na geração de riqueza, tanto do ponto de vista da economia

política quanto em termos do balanço energético. Ademais, deve-se levar em consideração o atual cenário mundial afeto ao petróleo, com os seus conflitos de interesse estratégicos e geopolíticos.

2 MUDANÇAS ENERGÉTICAS

Para Lampis *et al.* (2021, p. 103, p. 183 e 184), as mudanças climáticas devem ser vistas como fenômenos complexos, que impliquem a transição energética para fontes renováveis, de forma a mitigar as emissões de gases poluentes e de efeito estufa (GEE). Assim, deve-se promover significativamente a mudança do perfil de consumo que venha a implicar na redução da demanda energética e na adaptação à mudança climática. Por outro lado, a relação entre os desafios da transição energética e das mudanças climáticas implicará no conhecimento científico no âmbito de um mundo caracterizado por uma reconfiguração do risco como elemento estruturante das transformações de alcance global. De fato, a presença de relações do tipo predatória entre o capital e a natureza surgem no âmbito das instituições. Capitalistas modernas.

Entretanto, o estilo da política a adotar constitui um conceito que complementa as questões que se colocam quanto à duração dos processos de transformação e transição energética, bem como sobre a possibilidade de que esses processos possam ser produzidos de modo quase estandardizados no âmbito de contextos políticos, econômicos, sociais diferentes.

De acordo com Lampis *et al.* (2021, p. 103, p. 183 e 184), encontram-se, hoje em dia, mudanças que alteram a ordem energética dominante. A primeira delas é a tecnologia que permitiu aos Estados Unidos da América (EUA) fraturar a extração de hidrocarbonetos não convencionais, como óleo de folhelho (*shale oil*) e gás de folhelho (*shale gas*). Para, além disso, a extração de hidrocarbonetos através do desenvolvimento de novas tecnologias permite a realização de perfurações em grandes profundidades, como é caso do Brasil. Contudo, consoante é alertado por Lampis *et al.* (2021, p. 187 e 188 e p. 189 e 190), a expressão transição energética é transcendida pelo termo transformação energética, o que reflete a pluralidade dos caminhos ocorre no transporte da energia, principalmente com o crescente mercado de Gás Natural Liquefeito (GNL), um processo para o qual é necessário desenvolver infraestrutura (unidades de regaseificação) em diferentes partes do mundo.

Por seu lado, na América do Sul, de acordo com dados e informações da Organização Latino-Americana de Desenvolvimento Econômico (OLADE) relacionados às perspectivas energéticas desse continente, a variação no fornecimento de energia primária entre a matriz

energética de 2016 e sua projeção para o ano 2040 mostra poucas flutuações nas porcentagens de hidrocarbonetos.

De acordo com Lampis *et al.* (2021, p. 187 e 188 e p. 189 e 190), a oferta energética de 2016 é composta por 39% de petróleo, 30% de gás e 6% de carvão e, na projeção para 2040, estima-se 38% de petróleo, 28% de gás e 5% de carvão. De igual modo, registra-se um pequeno aumento na presença de outras energias renováveis, a saber: a energia eólica, solar e geotérmica passam de 1% a 4% da oferta energética, enquanto a energia hidrelétrica (7%) e a biomassa (6%) permanecem inalteradas. Logo, o suprimento de energia primária na América do Sul continua a depender de combustíveis fósseis, principalmente petróleo e gás natural.

Para Ferreira e Machado (2021, p. 142 e 143), a biomassa constitui-se em alternativa à hegemonia energofóssil e demonstra que a transição energética não passa apenas pela eletrificação e digitalização. De fato, há segmentos de mercados que enfrentam desafios significativos para eletrificação e descarbonização: transporte rodoviário de carga pesada de longa distância; navegação; aviação; calefação, alguns processos industriais nos quais o energético também é matéria-prima (fertilizante, aço, cimento, por exemplo), etc. Por outro lado, a eletrificação da frota automóvel não é trivial, podendo haver um longo período de convivência ao interna, híbridos e elétricos, com os biocombustíveis tendo um papel relevante no Brasil e eventualmente na América Latina e no mundo de modo a antecipar a descarbonização dos transportes.

Ademais, a convivência entre veículos a combustão interna, híbridos e elétricos até que se alcance a eletrificação plena. Com os biocombustíveis, pode haver um longo período de convivência entre veículos a combustível e a bioenergia. Isso pode não apenas antecipar a descarbonização dos transportes e máquinas agrícolas durante a transição energética, mas também manter sua relevância no novo paradigma energético por intermédio de biocombustíveis avançados como o bioquerosene, o biobunker, o HVO, o etanol lignocelulósico e o hidrogênio.

De acordo com Ferreira e Machado (2021, p. 160), a indústria de biocombustíveis também poderá desenvolver novas capacitações e produtos para se integrar à economia do hidrogênio, como por exemplo, a geração de hidrogênio para células combustíveis para o setor transporte. As indústrias nuclear e de resíduos também poderão se beneficiar da economia do hidrogênio. Para além disso, existe uma enorme expectativa acerca da viabilização da indústria do hidrogênio verde, com investimentos sendo anunciado em todo mundo (inclusive no Brasil), o qual é baseado na eletrólise da água a partir de renováveis, como a hidráulica, a eólica e a solar.

Por outro lado, um país como o Brasil tem relações econômicas internacionais importantes nas cadeias industriais de petróleo e gás natural, biocombustíveis e energia elétrica, tem estruturado aproximações relevantes na cadeia do hidrogênio. Tais relações são ativos geopolíticos para a transição energética, gerando diversidade de caminhos e graus de liberdade nas escolhas estratégicas. Essas relações são ativos geopolíticos para a transição energética, gerando diversidade de caminhos e graus de liberdade nas escolhas estratégicas.

Observam Madureira *et al.* (2023, p.1 e p. 4) que no que diz respeito à energia fotovoltaica no caso da América Latina, no sentido de promover a redução da emissão de GEE, tem-se a energia fotovoltaica como possibilidade. O fato é identificar se a energia fotovoltaica nos países dessa região colabora efetivamente para a transição da matriz energética latino-americana e para a redução da emissão de GEE, de modo a combater as alterações climáticas. De fato, como exemplo a transição da matriz energética latino-americana compreende um processo paulatino de superação da utilização de combustíveis fósseis e a inserção de alternativas energéticas sustentáveis em países divergentes em termos políticos e econômicos.

No entanto, a estabilização e posterior redução de emissões de GEE são fatores aglutinantes na introdução de fontes alternativas de energia, também ditas renováveis, dentre as quais se inclui a produção de energia solar fotovoltaica, podem promover a redução dos GEE e colaborar para a transição ambiental, no sentido de atenuar ou mesmo eliminar (o que se mostra bem mais difícil) a utilização de combustíveis fósseis. Por outro lado, há que registrar que a energia fotovoltaica também apresenta limitações, uma vez que os custos de instalação/operação dos sistemas fotovoltaicos demandam uma porcentagem ampla de território, para além do seu elevado custo.

3 ENERGIA E DESENVOLVIMENTO: A HEGEMONIA DO PETRÓLEO

A relação entre energia e desenvolvimento tem sido uma preocupação central nas discussões sobre políticas públicas e economia global. A hegemonia do petróleo desempenha um papel proeminente, influenciando tanto as dinâmicas econômicas quanto os desafios socioambientais enfrentados pelo mundo contemporâneo.

O petróleo emergiu como uma força motriz fundamental por trás do desenvolvimento econômico global. De acordo com Klare (2012), o petróleo não apenas alimenta a infraestrutura moderna, mas também sustenta indústrias-chave e impulsiona o crescimento

econômico. Nas atividades econômicas esse energético torna-o um recurso essencial, moldando as dinâmicas geopolíticas e econômicas em todo o mundo.

Apesar dos benefícios econômicos associados ao petróleo, sua hegemonia também gera desafios significativos, entre as quais as questões ambientais e climáticas. E, adicionalmente os grandes desafios econômicos e sociais. E, portanto, como alternativas e transição energética devido aos impactos negativos da hegemonia do petróleo se tornam cada vez mais evidentes, cresce o apelo por soluções energéticas mais sustentáveis. Como enfatizado por Smil (2017), a transição para fontes de energias renováveis, é crítico para garantir um futuro com melhor qualidade de vida para as gerações futuras. Essa transição certamente irá requer não somente avanços das inovações tecnológicos, mas também mudanças nos sistemas econômicos e políticos que perpetuam a dependência do petróleo.

No entanto, a hegemonia do petróleo exerce uma influência profunda no desenvolvimento socioeconômico global, regional e local. Embora esse energético tenha impulsionado e moldado a civilização moderna desde o século XIX com a II Revolução Industrial com o crescimento econômico, e a industrialização em todo o mundo, também provocou uma série de desafios, incluindo instabilidade econômica, desigualdades sociais e impactos ambientais negativos. Diante desses desafios de grande complexidade no século XXI, é imperativo buscar alternativas energéticas mais sustentáveis e promover uma transição para uma economia de baixo carbono.

De acordo com Silva e Appel (2020, p. 108), quanto mais complexa e produtiva uma sociedade, maior a sua necessidade de energia. De fato, sem fontes adequadas de combustível, uma sociedade complexa não pode manter um alto nível de produção industrial, fornecer um alto padrão de vida a seus cidadãos, ou mesmo se defender de potências competidoras. Por outro lado, a conservação de recursos naturais estratégicos é um ponto chave para o desenvolvimento e do poder estrutural do Estado, de modo a garantir-lhe um bom investimento estratégico em segurança e defesa.

De fato, para atender a esses requisitos, cabe registrar que o petróleo continua sendo único e extremamente estratégico. Sua singularidade é definida por não haver substitutos que o alcancem em quantidade, e muitas aplicações atuais nos sistemas de produção. O petróleo é ainda o recurso energético mais eficiente para ser usado em máquinas bélicas, por exemplo. Na verdade, qualquer sociedade que não disponha de oferta adequada de qualidade petróleo é incapaz de garantir a sua defesa nacional e, por extensão, a sua soberania o que sinaliza o petróleo como uma questão de segurança internacional.

De forma efetiva, em razão do que apontam Silva e Appel (2020, p. 108 e p. 110), a posição ocupada pelo petróleo pode ser analisada a nível da geopolítica. Esta, por sua vez, pode ser definida como o estudo das influências do espaço geográfico sobre as decisões do poder político composta por conceitos como a geoestratégia e a geoeconomia, englobando o ganho econômico, a distribuição de recursos entre Estados e a capacidade de um Estado em manter o controle de uma determinada região. A energia é fundamental para o desenvolvimento da sociedade e há uma correlação muito positiva entre o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e o consumo *per capita* de energia, não havendo uma sociedade desenvolvida com baixo consumo de energia.

No âmbito das fontes energéticas afetas a uma sociedade industrial avançada tem-se os combustíveis fósseis, em particular o petróleo. Este se constitui num dos principais recursos energéticos na indústria, particularmente nos transportes e na indústria de defesa, com o petróleo constituindo-se em elemento de destaque na economia mundial. Para além do mais, Além disso, a partir de seus hidrocarbonetos mais básicos (metano e etano), o petróleo e o gás natural podem produzir uma gama extensa de derivados com alta utilidade industrial e tecnológica, como combustíveis, solventes, fertilizantes, materiais de construção, plásticos, medicamentos, lubrificantes, tecidos, perfumes, tintas, borrachas, entre outros.

8

4. A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

Para Ferreira e Machado (2021, p. 142), uma importante e decisiva questão afeta à transição energética tem a ver com o papel do planejamento na transição energética. Por outro lado, no contexto do conceito de planejamento energético integrado, considera-se a for realização da estratégia e das táticas. Para além do mais, o planejamento deve ser levado em conta no âmbito da transição energética. Por fim, o planejamento deve ser considerado/avaliado no contexto da identificação e remoção de barreiras e ineficiências sistêmicas, assim como na formação de consensos para a tomada de decisões de investimentos na transição energética.

Por outro lado, há que considerar que o setor energético é extremamente complexo. Na verdade, é grande a complexidade do setor energético, a envolver múltiplas instituições e atores (privados e públicos), bem como aspectos vários (econômicos, sociais, ambientais, geopolíticos e tecnológicos). Assim, cabe a existência de uma robusta governança institucional, para além de transparência a ter como fundamentos em referências/estudos sólidos em termos técnicos.

Para além disso, são necessárias escolhas sociopolíticas informadas. Todos esses elementos são fundamentais à credibilidade do setor energético e aos graus de confiança necessários ao processo de tomada de decisões quanto aos investimentos. De outro modo, torna-se necessário que haja a formulação de políticas energéticas consistentes, que se mostrem como determinantes para se alcançar um custo de energia competitivo em termos da capacidade de pagamento dos consumidores e com a internalização dos custos das externalidades socioambientais

Destacam Ferreira e Machado (2021, p. 142) que o planejamento energético não pode ser visto de forma dissociada do arcabouço institucional, legal e regulatório no qual é realizado. Pelo contrário, seus elementos componentes (objetivos, instrumentos e avaliações) alteram-se pelas condições concretas nas quais se implementa o planejamento. Assim, deve-se considerar os condicionantes que conduziriam ao contexto atual do planejamento energético. O processo de planejamento energético possibilita a identificação das vantagens de estratégias empresariais, bem como a identificação/abordagem dos mercados sob formas mais integradas.

O conceito de planejamento energético pode abordar o setor energético de forma sistêmica, com a adoção de cenários econômicos, com a identificação das alternativas de substituição do petróleo e derivados, com os potenciais ganhos de eficiência energética, com os potenciais de desenvolvimento/inserção de novas fontes e tecnologias no setor energético, com os novos instrumentos de consolidação de informações (balanços energéticos), incorporando-se ainda os aspectos ambientais. Assim, sem qualquer sombra de dúvida, constitui-se o planejamento energético em elemento balizador a nível da análise/prospectiva para a configuração da matriz energética, delineando-a de forma estratégica.

Logo, o planejamento energético é elemento fundamental para a avaliação e promoção da passagem de uma matriz energética predominantemente fóssil para uma matriz energética majoritariamente renovável, e também dita uma matriz energética limpa. Desse modo, o planejamento energético, que se vale da montagem do balanço energético, da construção de cenários energéticos alternativos e da presença de um plano energético, ou seja, um documento de perfil técnico e cariz político, converte-se no elemento delineador e viabilizador da estratégia, política e gestão energética. Com isso, fomenta-se, delineia-se e se estrutura a articulação entre as diversas fontes de energia e o direcionamento presente e futuro da matriz energética, de modo a caracterizar a transição energética.

Para que os agentes privados também passassem a operacionalizar a indústria e os custos decorrentes dos investimentos em ativos específicos fossem minimizados. Introduz-se o gás natural (em geral associado à produção petrolífera). De modo a contextualizar o tema,

registra-se que o gás natural é uma energia não renovável, mas com vantagens que se sobrepõem aos demais energéticos, tais como as vantagens decorrentes da queima completa, alto poder calorífico por unidade de massa, exigindo uma quantidade menor de combustível para um determinado processo; menor emissão de dióxido de carbono (CO₂) e de óxidos de nitrogênio e particulados na atmosfera, o que reduz as agressões ao meio ambiente. Há também aspectos de ordem operacional, ou seja, menor dispêndio com a manutenção de equipamentos em comparação com outros combustíveis fósseis.

A despeito dos elevados investimentos iniciais na construção da infraestrutura de transporte, esta modalidade é considerada uma das mais seguras do mundo. Além disso, dispensa gastos com formação de estoque e pode ser utilizado como substituto de qualquer combustível, exceto querosene de aviação. O fato é que o gás natural mostra elevada competitividade a nível mundial. De fato, o gás natural tornou-se um aspecto fundamental a nível da redução dos custos de produção, direcionando-se à geração termoelétrica e ao consumo em outros segmentos e atividades (indústria, residência, comércio e como combustível veicular). Para além da produção gasquímica e como energético industrial, notadamente em setores cujo processo de produção caracteriza-se por intensa energointensividade, para além de contribuir na redução dos custos existentes, no aumento da competitividade no mercado e na redução dos impactos ambientais.

Por outro lado, considerando-se a necessidade de migração no dizer de Silva (2017, p. 18-20) o gás natural cresce em importância como fonte de energia a nível mundial. É considerado o combustível da transição energética rumo a uma matriz menos carbonizada. Em razão da sua eficiência/competitividade, o gás natural possibilita/viabiliza a transição energética. De fato, na transição energética observa-se uma mudança no perfil de consumo de energia ao longo do desenvolvimento do capitalismo. Assim, tinha-se uma economia baseada na lenha e no carvão vegetal,

Contudo, em razão da escassez desses dois recursos energéticos, passa a ser sustentada pelo carvão mineral. Este, por limitações tecnológicas, cede espaço para o petróleo, talvez a fonte energética com maior força geopolítica presenciada até combustível mais apropriado para a transição energética, o que exigirá um marco regulatório específico matriz energética menos carbonizada, o gás natural coloca-se como uma alternativa para que tal seja possível. De fato, com o consumo do gás natural na indústria, haveria que se avaliar em que medida a sua inserção reduziria as emissões agregadas de CO₂. Efetivamente, considerando-se os ganhos de participação do gás natural, em nível da matriz energética, que implica no adensamento das cadeias produtivas.

Na verdade, a indústria mostra-se como o consumidor-âncora da na cadeia de gás natural, sendo suficiente para viabilizar a infraestrutura de transporte necessária para a distribuição do gás até as plantas industriais. Por outro lado, conforme é observado por Silva (2017, p. 22-31 e p. 57) o gás natural, apesar da origem fóssil, ganhou bastante espaço nos períodos posteriores aos choques petrolíferos dos anos 70. Até 1950, o consumo de gás natural restringia-se aos Estados Unidos da América, que consumiam 90% do gás natural comercializado, com uso bastante disseminado na geração de eletricidade. A virada de rumo à diversificação da matriz energética para o gás natural ocorreu simultaneamente à produção da eletricidade primária e energia nuclear, o que surgia em razão dos elevados preços do petróleo nos anos 1970.

Por seu lado, a energia nuclear consolida-se nos anos 1960 e desde então apresentaria um crescimento vigoroso, interrompido pelos acidentes de *Three Mile Island* e *Chernobyl*, implicando na quase paralisação dos investimentos na área. Durante. Por outro lado, o gás livre perfaz a totalidade do conteúdo, eliminando qualquer economicidade voltada à produção de petróleo, três décadas, os novos investimentos foram praticamente paralisados. Assim, a produção de energia nuclear passaria a ser enormemente contestada, sobretudo pelos ambientalistas.

Desse modo, a energia nuclear entrou para o rol de energias não-renováveis, apesar das baixas emissões de CO₂ e gases de efeito estufa (GEE). A energia nuclear passa a ser condenada, principalmente em razão do lixo radioativo descartado ao longo da cadeia. Entretanto, a migração para uma matriz mais limpa ocorreu concomitantemente às pressões em torno das mudanças climáticas. Desse modo, em meados dos anos 1980 existia um debate acirrado sobre a ocorrência de aquecimento global e a necessidade de medidas corretivas. De fato, notou-se uma mudança na matriz energética mundial, com migração para fontes menos poluentes. De outro modo, por ser relativamente menos poluente do que o petróleo, o gás natural surge como alternativa.

Contudo, apesar da similitude no que se refere à geração de petróleo e gás natural, nem sempre as fases que ocorrem da mesma forma, podendo ser totalmente diferentes, razão pela qual a prospecção de petróleo e gás é um negócio de alto risco. De fato, o gás natural pode ser encontrado na natureza sob as formas não associado e associado ao petróleo. De forma adicional, o gás natural pode ter origem convencional e não convencional. Desse modo, o convencional encontra-se em rochas de alta permeabilidade e de baixo custo, enquanto o não convencional está localizado em rochas pouco porosas e de baixa permeabilidade. O gás natural possui um alto custo de extração, carecendo de tecnologias específicas, tais como

perfuração hidráulica e horizontal. Na forma livre, o gás natural encontra-se em pequena quantidade e em sua maior parte sobre a forma dissolvida no petróleo

De acordo com Silva (2017, p. 88-90), no caso do Brasil, as reservas natural-gasíferas encontram-se concentradas no ambiente *offshore* e associadas ao petróleo. Isto condicionaria a produção econômica das reservas aos planos de expansão da companhia petrolífera estatal (Petrobrás), pondo em xeque o próprio arcabouço regulatório e a atração de investidores para o setor gasífero. Entrementes, desde o seu surgimento, a indústria gasífera desenvolveu-se com elevada interdependência entre as etapas da cadeia produtiva, induzindo a verticalização de todo o setor. Na verdade, o setor de gás natural trata-se de um monopólio natural, englobando desde a produção até a infraestrutura necessária para o abastecimento dos centros consumidores. De fato, a existência de algumas especificidades interpõe significativas barreiras à entrada nesse segmento. A concepção de barreiras à entrada tem como eixo central um preço limite.

Nesse sentido, as barreiras à entrada podem ser entendidas por meio do significado geral de concorrência potencial e pela medida da condição de entrada. Essa medida é o hiato existente entre o preço e custo médio mínimo. Esse preço, que impede a entrada dos concorrentes potenciais, é determinado levando-se em consideração as vantagens absolutas de custo; de diferenciação do produto e economias de escala. Efetivamente, as vantagens absolutas de custo estão ligadas ao acesso privilegiado às fontes de matérias-primas. Portanto, a empresa adquire fatores de produção a um custo muito pequeno. De outro modo, a empresa talvez detenha a produção dos insumos utilizados. O fato é que os empréstimos são obtidos a uma taxa de juros bastante atraente e existe o controle privilegiado de técnicas produtivas.

A empresa pode elevar o preço à medida que novas concorrentes adentrem o mercado e criem desequilíbrio entre oferta e demanda. Destarte, as vantagens de diferenciação do produto dão margem à empresa para elevar o preço, assim que se percebe a existência de preferência do consumidor por seu produto. Especificamente na indústria de gás natural, onde operam os monopólios naturais, as economias de escala se apresentam de forma mais expressiva. Isso acontece porque a capacidade instalada da indústria exige um capital fixo muito elevado, principalmente na construção dos gasodutos de transporte e distribuição.

De acordo com Egler (1992, p. 11 e 12), em termos de base técnica, os Estados Unidos da América e a malograda União Soviética foram os países que levaram mais adiante os paradigmas da Segunda Revolução Industrial, principalmente no que diz respeito à conformação de sua matriz energética. Esta, por sua vez, era baseada na geração de energia elétrica em grandes plantas, bem como na exploração maciça do petróleo como principal

combustível fóssil para a indústria, os transportes e o uso residencial. A título de ilustração, basta citar que os Estados Unidos da América e a União Soviética, em meados dos anos 1980, geravam, em toneladas métricas equivalentes de carvão, cerca da metade da energia elétrica gerada no mundo. Por outro lado, essas duas superpotências retiravam do subsolo mais de 1/3 da produção mundial de petróleo. De fato, este desenho da matriz energética repousa sobre uma formidável base de recursos naturais, que permitiu a estes países internalizarem praticamente todos os impulsos a montante do vigoroso crescimento industrial que atravessaram no século XX.

Contudo, tal matriz energética não se mostra adequada à base técnica que se configura para o século XXI. Em primeiro lugar, cabe questionar a eficiência do processo de conversão das diversas fontes de energia primária em eletricidade e energia mecânica. Depois, apontar a dependência a um leque limitado de recursos naturais desigualmente distribuídos, cujo controle implica em conflitos de cariz geopolítico. Para além, a flexibilização e o fracionamento do processo produtivo exigem maior autonomia espacial e, consequentemente, novas redes de geração e distribuição com elevada confiabilidade e baixas perdas. Por fim, há que considerar que esse modelo tem elevados custos ambientais, nas liberações de calor e emissões de GEE.

De acordo com [Gabriel](#) (2021, p. 57 e 58), por transição energética entende-se a implementação de mudanças estruturais em nível da matriz energética, variando de um modelo com fontes fósseis, tais como carvão, petróleo e gás natural, para um modelo baseado em fontes primárias renováveis (hídrica, solar, eólica e biomassa), a incluir também a energia nuclear, que não é renovável, mas é considerada uma fonte de energia limpa, e não considerando os resíduos radioativos. Nesse sentido, para além da diversificação das fontes da matriz energética, esta transição também se relaciona com outros fatores (uso racional dos recursos naturais, eficiência energética, resgate de carbono) para além de inovações dos processos industriais tais como: automação, digitalização e soluções tecnológicas capazes de reduzir os impactos ambientais.

Para além das emissões de gases do efeito estufa (GEE), na maior parte dos países são oriundas da queima de combustíveis fósseis. Com relação ao meio ambiente, podem também impactar a questão ambiental a exploração mineral, os desmatamentos e as queimadas. Por outro lado, uma economia de baixo carbono, para além de se basear na redução dos impactos de atividades econômicas sobre o meio ambiente, visa também à geração do desenvolvimento através de tecnologias, processos e formas inteligentes e de menor impacto ambiental. Diz respeito, também, à reflexão e análise sobre os efeitos do atual modelo de geração/consumo

de energia no meio ambiente, na economia, na sociedade, bem como na relação com requisitos ambientais de acordos internacionais.

De outro modo, têm-se as oportunidades de aproveitamento dos potenciais de eficiência energética podem ser encontradas em vários segmentos. Essas oportunidades surgem em quase toda cadeia de valor envolvendo amplos setores transporte, indústria, serviços, agronegócio, setor elétrico, etc., como forma de gerar um melhor rendimento a menores custos (de bens e serviços). Neste sentido, cabe uma profunda reflexão acerca da eficiência energética em nível de quase toda a cadeia de valor. A competitividade, a incorporação da vertente tecnológica (tecnologia de ponta) e a maior eficiência conduzem à incorporação de menos energia e carbono.

O processo de transição energética implica na criação de novas oportunidades com relação a tecnologias avançadas e sofisticadas, de modo consolidar bases mais refinadas para o crescimento da economia enquanto processo guiado pelo desenvolvimento tecnológico, com alto valor agregado e baixo teor de carbono. No setor industrial, que se relacionaria com a penetração de equipamentos mais eficientes em pesquisas tecnológicas, inovações dos processos industriais, automação, digitalização, inteligência artificial, gestão de energia, eficiência energética, gestão da qualidade total, gestão ambiental, normatização, uso eficiente da energia elétrica, etc.

Para Santos (2021, p.1-6), o desenvolvimento tecnológico pode permitir a conciliação entre as emissões de carbono advindas do uso dos combustíveis fósseis com ações para neutralizá-las por completo. Entretanto, para muitos, a transição energética deve ser vista como um caminho para a transformação do setor energético global de base fóssil para carbono zero. Desse modo, tem-se a necessidade de reduzir as emissões de CO₂ relacionadas à energia, de modo a limitar as mudanças climáticas. Assim, são necessárias ações para a descarbonização do setor energético, com iniciativas voltadas à redução das emissões de CO₂, o que implica na introdução crescente de energia renovável e no recurso a ganhos crescentes em termos de eficiência energética.

Nesse contexto, as empresas petrolíferas e gasíferas possuem uma gama de opções de baixo carbono para escolher, condição que possibilitaria que se reinventassem profundamente, fortalecendo ainda mais seus compromissos e construindo uma visão mais atraente de longo prazo para tecnologias limpas e investimentos em energia renovável. Com isso, existe todo um potencial em termos de promoção de uma diferenciação competitiva, que pode vir a ser bem sucedida, em decorrência de fatores como o aumento dos múltiplos de lucro da companhia, assim como da satisfação e atração de investidores/acionistas.

No entanto, o ritmo e os aspectos da transição energética dividem o mercado de energia. De fato, há diferentes cenários afetos a autores/instituições. Na realidade, pode-se apontar que numa perspectiva mais acelerada, pela qual o setor energético do futuro será semelhante ao atual, de modo que a demanda por combustíveis fósseis aumente e, quando começar a declinar, o processo seja lento. Para além do mais, afirma-se que, mesmo com um crescimento relativamente alto de energia renovável, a oferta total de combustíveis fósseis deverá permanecer elevada, com uma transição gradual para o gás natural dentro do *mix* de combustíveis fósseis como uma opção mais limpa para o carvão, o que provavelmente ponha em xeque os objetivos estabelecidos por convenções/trados internacionais.

Por outro lado, essa perspectiva acelerada irá depender que novas tecnologias energéticas passem a suprir rapidamente todo o crescimento da demanda de energia, o que conduziria ao pico da demanda de combustíveis fósseis no decorrer da década de 2020. Os cenários afetos à essa concepção apontam para o fato de que as tecnologias atuais e novas políticas remodelarão mercados, modelos de negócios e padrões de consumo, de modo a desafiar o investimento planejado (atividades intensivas em carbono), o que conduziria a uma economia global de baixo carbono, com benefícios econômicos e sociais consideráveis. As estimativas dos principais produtores afirmam que o consumo de petróleo está longe do ápice e que a demanda de gás natural continuará a aumentar até próximo de 2050.

Quanto à transição energética, Santos (2021, p. 14-16) assinala que a mesma se trata de uma mudança radical no sistema energético, saindo de um modelo existente em direção a um novo paradigma. De fato, a transição energética trata-se de um processo complexo, que vai muito mais além da simples substituição de uma fonte energética para outra. Na verdade, a transição energética envolve mudanças em três dimensões inter-relacionadas, a saber: elementos tangíveis de sistemas sociotécnicos a considerar tecnologias, consumo, mercados, padrões, infraestruturas, instalações de produção, cadeias de suprimentos e distribuição; atores e redes sociais e com isso englobando novas estratégias, padrões de investimento, coalizões de mudanças; regimes sociotécnicos, que envolvem regras formais e instituições intangíveis como normas, mentalidade, sistemas de crenças, discursos, visões sobre a normalidade e práticas sociais.

Na verdade, o porvir em nível dos sistemas energéticos é um dos desafios centrais enfrentado pelos países industrializados em termos de *energypolicy*. Isto inclui os impactos sobre o meio ambiente e suas consequências em termos de impacção às esferas econômica/socialtecnológica/produtiva. Todas essas questões remetem-se à análise da cadeia de valor, que possui a função de investigar a sequência das atividades necessárias para

encaminhar um produto e serviço da concepção até a produção e distribuição final na cadeia de suprimentos, gerando-lhe valor. Entrementes, a indústria de petróleo e gás abrange uma gama de diferentes atividades/processos que contribuem conjuntamente para a transformação dos recursos de petróleo subjacentes em produtos finais junto aos mercados consumidores.

Assim, para Santos (2021, p. 14-16; 22 e 36-39) o setor *upstream*, também conhecido como exploração e produção (E&P), inclui a busca de potenciais reservatórios de óleo e gás (O&G), perfuração de poços exploratórios e desenvolvimento de instalações em torno desses poços que produzem quantidades comerciais de hidrocarbonetos. Já o *midstream* envolve o transporte/armazenamento de hidrocarbonetos. O transporte é realizado por diversas modalidades, como oleodutos (gasodutos, no caso do gás), transporte marítimo (navios de óleo cru), ferroviário e rodoviário, dependendo do produto. O setor de *downstream* (jusante), abrange o mercado de refino de petróleo bruto para derivados (para matéria-prima do usuário final ou petroquímico) e sua comercialização. Para, além disso, essa etapa da cadeia inclui a venda e distribuição de gás natural processado e os produtos derivados do petróleo bruto, como, entre outros, gás liquefeito de petróleo, gasolina, querosene de aviação, óleo diesel, outros óleos combustíveis, asfalto de petróleo e coque de petróleo.

A empresa petrolífera/gasífera deve apostar na inovação, que é um elemento essencial para que se venha a alcançar a redução da sua intensidade de carbono, sem que haja acréscimos ao custo de energia para a sociedade. Para, além disso, é necessário investir em pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) e também avaliar tanto as possíveis oportunidades na cadeia de óleo e gás, quanto em termos de energia renovável. Deve-se valorizar a inovação e aquisição de conhecimentos que poderão viabilizar uma futura diversificação em fontes renováveis e produtos de baixo carbono, de modo a possibilitar a captura de oportunidades no segmento das energias renováveis. O caminho do futuro passaria pela captura do carbono da atmosfera, pela utilização do carbono neutro em diversas atividades (como a produção de combustíveis sintéticos).

Contudo, de acordo com o que refere Santos (2021, p. 40-43), um dos elementos mais significativos na promoção da transição energética diz respeito às energias renováveis, que são provenientes de ciclos naturais de conversão da radiação solar. Esta, por sua vez, constitui-se na fonte primária de quase toda a energia disponível no planeta. Em razão disso, as energias renováveis são praticamente inesgotáveis e não alteram o balanço térmico do planeta, configurando-se como um conjunto de fontes de energia que podem ser denominadas de não-convencionais. Esta denominação, por seu lado, decorre do fato de serem fontes não baseadas nos combustíveis fósseis e grandes hidroelétricas.

Desse modo, as fontes renováveis de energia regeneram-se de forma cíclica em um pequeno intervalo de tempo, nelas incluindo-se diversas modalidades, quais sejam: solar, eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH). No que diz respeito à energia solar, esta é oriunda do sol, que pode ser transformada em energia elétrica a partir de parques fotovoltaicos. Quanto à energia eólica, os parques eólicos podem ser em terra (*onshore wind*) ou no mar (*offshore wind*). Nesta última situação, as turbinas eólicas erguem-se ao longo da costa.

Contudo, o uso de tecnologias que realizam o armazenamento de energia torna-se muito relevante para que haja segurança energética do sistema, para além do fato de vir a se constituir em elemento de legitimação da própria expansão das fontes renováveis. Assim, cabe registrar que o uso de baterias se configura como uma das alternativas para superar o desafio renovável-energético. Deste modo, o uso dessa tecnologia como armazenamento de eletricidade é considerado essencial na transição mundial para um sistema de energia sustentável. Diga-se de passagem, que as baterias, em longo prazo, terão capacidade de suportar altos níveis de eletricidade renovável variável, estocando a energia excedente e a liberando posteriormente, na ausência de sol ou de vento.

Para, além disso, há que considerar o caso da biomassa e dos biocombustíveis. No caso da biomassa, a sua utilização como combustível pode ser feita na sua forma bruta ou através de seus derivados. Desta forma, a geração de energia dá-se por meio da termoeletricidade, com a energia térmica produzida a partir da combustão da biomassa sendo convertida em energia mecânica e, subsequentemente, em energia elétrica. Todavia, apesar da queima dessa matéria liberar CO₂, mostra-se como pouco poluente caso se realize de forma não predatória. Na verdade, a plantação da qual se obtém a biomassa, consome todos os gases emitidos, de modo a provocar um ciclo neutro do carbono.

No entanto, com relação ao hidrogênio, energia futura que pode proporcionar grandes transformações na matriz energético mundial, e como apontado por Santos (2021, p. 45-47), sabe-se ser ele gerado a partir da sua separação do oxigênio na molécula da água, através do uso de um eletrólito e eletricidade. As estimativas apontam para um grande consenso mundial acerca da importante posição a assumir pelo hidrogênio verde, que desempenhará um papel fundamental na transição para um futuro de baixo carbono. O hidrogênio se constitui num armazenador versátil de energia, que pode ser produzido a partir de uma ampla gama de fontes e usado de muitas maneiras em todo o setor de energia.

De fato, existem três nomenclaturas de hidrogênio, atribuídas em razão da sua origem, a saber: o cinza, o azul e o verde. O hidrogênio cinza é produzido industrialmente,

principalmente a partir do gás natural, gerando emissões significativas de carbono. Já o hidrogênio azul se constitui numa versão mais limpa do cinza, no qual as emissões de carbono são capturadas e armazenadas, através de tecnologia específica. Na verdade, a sua implantação não é necessariamente livre de CO₂. Espera-se que a sua eficiência de captura alcance, na melhor das hipóteses, os 85% a 95%, o que implica que de 5% a 15% de todo o CO₂ é liberado na atmosfera.

No entanto, cabe registrar que com a atual tecnologia, sejam alcançadas taxas de captura de CO₂ muito mais baixas. Já o hidrogênio verde, que surge como sendo a variante mais limpa, é gerado por fontes de energia renováveis, sem produzir emissões de carbono. Contudo, o seu custo ainda é considerado muito alto. Todavia, com o barateamento da geração de energia solar e eólica, espera-se uma redução em breve. De fato, este é um dos novos mercados que as empresas petrolífero-gasíferas podem atuar, devido à sua experiência no transporte e venda de gás.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Aa transição energética exigirá a introdução de novas tecnologias e processos que a viabilizem de todo. Haverá países que transitarão mais rapidamente do que outros, fruto do desenvolvimento tecnológico e por opções renováveis. Entretanto, no Brasil, por exemplo, o expectável é que haja um aumento dos esforços de exploração e produção de petróleo/gás natural. Este aumento das atividades no Brasil, nos anos vindouros, dever-se-á à recuperação do preço do petróleo e como resultado dos leilões de campos e blocos exploratórios.

Contudo, a nível mundial, espera-se o crescimento significativo das energias renováveis como a eólica, solar, biomassa, eletricidade e hidrogênio, a conviver com o petróleo/gás natural, com reduções das emissões de CO₂. Para tal, torna-se necessário promover a eficiência operacional, calcada na redução das emissões fugitivas de metano e na eliminação da combustão do gás associado ao longo da produção e recuperação de óleo/gás (*flaring*).

É também importante ser considerado a transição para o gás natural, através do crescimento da sua produção e promovendo uma gradativa transição para as energias consideradas limpas ou renováveis. Portanto, deve ser promovida a energia de baixo carbono, direcionada para o aumento do fornecimento de eletricidade advinda de fontes renováveis. Ademais, deverão ser promovidos os combustíveis de baixo carbono, aumentando a produção e venda de hidrogênio e biocombustíveis. O desenvolvimento de soluções a receber os

investimentos nos vetores de biocombustíveis avançados, hidrogênio e combustíveis de baixo carbono, exigirão enormes esforços em pesquisa e desenvolvimento (P&D), notadamente no que se refere a tecnologias de eficiência energética.

A transição energética emerge como uma resposta crucial aos desafios enfrentados pelo nosso planeta devido às mudanças climáticas e ao esgotamento dos recursos naturais. Este processo implica uma mudança fundamental na maneira como produzimos, distribuimos e consumimos energia, e direcionado com um foco crescente em tecnologias inovadoras frente a natureza em função da complexidade dos desafios da contemporaneidade. As tecnologias inovadoras tem grande utilidade para aumentar a eficiência energética. Pode-se citar as tecnologias da internet das coisas (IoT) e a inteligência artificial (IA) como usos úteis para otimizar o consumo de energia em edifícios, indústrias e sistemas de transporte.

As tecnologias inovadoras desempenham um papel crucial na transição energética, oferecendo soluções viáveis e sustentáveis para os desafios energéticos e climáticos que planeta enfrenta nos dias atuais. A energia solar, eólica e as demais fontes energéticas renováveis, combinadas com os avanços na tecnologia em armazenamento de energia e eficiência energética, têm o potencial ímpar na transformação do sistema energético, promovendo um futuro mais limpo, e próspero para as gerações futuras.

REFERÊNCIAS

EGLER, Claudio. **Geoeconomia da Transição Energética**. Informe CORECON, p. 11-12, 1992.

FERREIRA, Thiago Vasconcellos Barral; MACHADO, Giovani Vitória. O papel do planejamento na transição energética: mais luz e menos calor. **Revista Brasileira de Energia**, Itajubá, v. 27, n. 2, p. 40-64, 17 ago. 2021. Disponível em: <https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/635>. Acesso em: 20 jan. 2025.

GABRIEL, Luiz Carlos. Transição Energética no Brasil: Desafios e Oportunidades. **Revista do Clube Naval**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 399, p. 57-62, 2021. Disponível em: <https://portaldeperiodicos.marinha.mil.br/index.php/clubenaval/article/view/3110>. Acesso em: 20 jan. 2025.

KLARE, Michael T. **The Race for What is Left: The Global Scramble for the World's Last Resources**. Disponível em: https://www.amazon.com.br/Race-Whats-Left-Scramble-Resources-ebook/dp/B0056DTS04/ref=monarch_sidesheet. Acesso em: 25 jun. 2024.

LAMPIS, Andrea; PAVANELLI, João Marcos Mott; GUERRERO, Ana Lía del Valle; BERMANN, Célio. Possibilidades e limites da transição energética: uma análise à luz da ciência pós-normal. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 35, n. 103, p. 183-200, dez. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2021.35103.010>. Acesso em: 20 jan. 2025.

MADUREIRA, Carolina Pereira; MENEZES, Lucas Lira; SANTOS JUNIOR, Raimundo Batista; SOUSA DE ASSIS, Raimundo Jucier. A utilização de energia fotovoltaica para transição energética na América Latina pós-Acordo de Paris (2015) e o regime internacional de mudanças climáticas. **Conjuntura Global**, Curitiba, v. 12, n. 2, 2023. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/conjglobal/article/view/88910>. Acesso em: 27 jan. 2025.

SANTOS, Gabriela Bastos dos. **Transição Energética na Indústria de Óleo e Gás: um olhar sobre a Petrobras**. Trabalho de Conclusão de Curso. CCS/PUC, junho de 2021. 74 p. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/53900/53900.PDF>. Acesso em: 27 jan. 2025.

SILVA, Daniele de Fátima Amorim. **Transição Energética e Exploração de Gás Natural no Maranhão: possibilidades e limites a partir de 2013**. Dissertação de Mestrado. CCS/UFMA, 2017. São Luís. Disponível em: <https://tedebc.ufma.br/jspui/handle/tede/1988>. Acesso em: 27 jan. 2025.

SILVA, Kethlyn Gabi Winter da; APPEL, Tiago Nasser. A geopolítica brasileira do petróleo: o papel da Petrobras na produção de ciência e tecnologia. **Oikos**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 1, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/oikos/article/view/52027>. Acesso em: 27 jan. 2025.

SMIL, Vaclav. **Energy and Civilization: A History**. Disponível em: <https://mitpress.mit.edu/9780262536165/energy-and-civilization/>. Acesso em: 12 jun. 2024.