



ELETRIFICAÇÃO NO BRASIL: UM CAMINHO DA TRANSIÇÃO

ARTIGO ORIGINAL

LIMA, Leandro Jose Barbosa¹, HAMZAGIC, Miroslava²

LIMA, Leandro Jose Barbosa. HAMZAGIC, Miroslava. **Eletrificação no Brasil: um caminho da transição**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano. 07, Ed. 11, Vol. 07, pp. 83-98. Novembro de 2022. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: [https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-](https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/eletrificacao-no-brasil)

[mecanica/eletrificacao-no-brasil](https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/eletrificacao-no-brasil),

DOI:

10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/eletrificacao-no-brasil

RESUMO

A transição energética está em marcha com o foco claro na redução dos Gases de Efeito Estufa (GEE). O mundo já passou por outras transições energéticas e por outras iniciativas de redução do seu impacto na atmosfera, como os casos de redução de poluição atmosférica e o de redução de gases que afetam a camada de ozônio, gases fluorados. Nesse cenário, sabe-se que já existem diversos caminhos para serem explorados para o período de transição. Sendo assim, o presente artigo tem como objetivo explorar as formas pelas quais o Brasil poderia potencializar o uso da eletricidade em outros setores, como o transporte, por exemplo, e de que forma pode caminhar para reduzir as emissões do setor elétrico. Para isso, foi realizada uma pesquisa exploratória, explicativa e bibliográfica. Ao final, infere-se que a eletrificação tende a oferecer mais flexibilidade e compatibilidade entre sistemas, em especial considerando que algumas formas de transformação de energia para a elétrica são mais eficientes que outras.

Palavras-chave: Transição energética, Eletrificação, Eficiência, Rendimento, Gases de efeito estufa.

1. INTRODUÇÃO

Da mesma forma que o mundo voltou o seu foco para a redução de poluidores atmosféricos na década de 1970, após observações do impacto da humanidade no



meio ambiente, e dos esforços da década de 1990 para a redução de gases causadores de danos na camada de ozônio, agora, a humanidade enfrenta um novo desafio relacionado à redução dos Gases de Efeito Estufa (GEE) (UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME, 2012; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2021).

Os gases de efeito estufa são gases que têm a capacidade de reter o calor refletido pela superfície da terra e impedem o efeito de reflexão desse calor para o espaço. Eles são emitidos de forma natural, mas também, e principalmente, devido a atividades antropogênicas. Existem diferentes gases de efeito estufa, dentre eles pode-se citar: gás carbônico, óxido nitroso, metano, entre outros. Entretanto, o principal gás de efeito estufa é o gás carbônico, sendo este, também, utilizado como referencial para a medição do potencial de gerar efeito estufa dos demais gases, adotando-se, como unidade de medida, CO₂e (LIMA; HAMZAGIC, 2022).

Em 2019, o Brasil, emitiu 450,5 MtCO₂e para a produção de energia, sendo 95% ou 428,1 MtCO₂e com processos de combustão de combustíveis, e outros 22,4 MtCO₂e relacionados a perdas. Esses números representam 1,2% das emissões mundiais que estão na ordem de 37629,7 MtCO₂e (IEA, 2022).

Mediante ao exposto, o presente artigo, tem como objetivo explorar as formas pelas quais o Brasil poderia potencializar o uso da eletricidade em outros setores, como o transporte, por exemplo, e de que forma pode caminhar para reduzir as emissões do setor elétrico.

Para isso, foi realizada uma pesquisa exploratória, que buscou formas de entender onde a energia elétrica tem um papel mais desenvolvido atualmente e de que forma ela poderia tomar uma maior parcela em setores que predominantemente utilizam combustíveis fósseis, além de buscar soluções para as emissões relativas ao setor elétrico, sem deixar de ser, também, uma pesquisa explicativa, que buscou, dentro da literatura, explicar algumas das estratégias globais com relação à energia.



Quanto ao procedimento técnico, essa foi uma pesquisa bibliográfica e documental, que usou diversas fontes de informação para entender as principais emissões, a forma com que a energia elétrica é usada no Brasil e os setores que ainda não são cobertos.

2. O ACESSO A ENERGIA ELÉTRICA

O acesso à energia elétrica é um fator de desenvolvimento econômico e social. Entretanto, sabe-se que muitos países no mundo ainda não conseguem garantir o acesso à energia aos seus habitantes, por este motivo, a Organização das Nações Unidas (2022), estabeleceu, dentre os 17 objetivos de desenvolvimento sustentável, a energia limpa e acessível (objetivo #7).

A tabela 1 mostra a comparação do Brasil com a média mundial em relação a esse objetivo.

Tabela 1 - Brasil e mundo. Objetivo de desenvolvimento sustentável #7

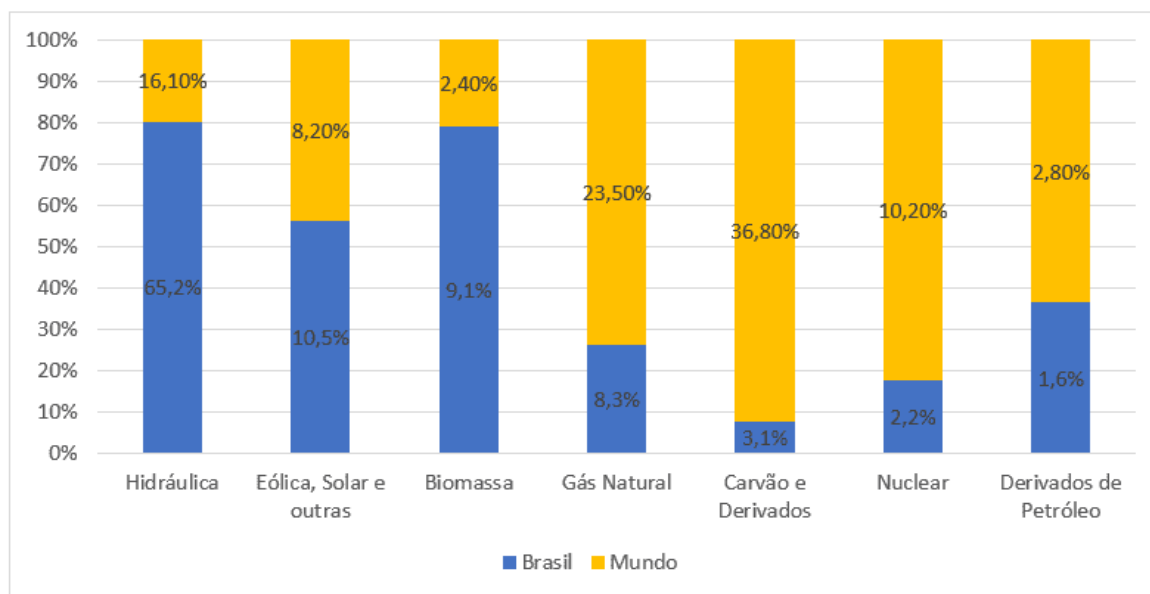
Indicador	Brasil	Mundo
Acesso à eletricidade	100%	91%
Energia renovável	47,6%	17,7%
Capacidade de energia renovável per capita (Watts per capita)	706	246
% da população com acesso ao cozimento com energia limpa	96%	69%
Eficiência energética (MJ/ 2017 USD)	3,9	4,7
Fluxo financeiro internacional para apoiar energia limpa e renovável (USD, milhões)	51	10887

Fonte: adaptado de ESMAP (2022).

Conforme demonstrado acima, no Brasil, 100% da população tem acesso à energia elétrica, enquanto a média mundial está em 91% (ESMAP, 2022).

Entretanto, apesar da população ter o acesso à eletricidade e de mais de 75% da eletricidade produzida no Brasil (2020) ter origem na geração hidroelétrica, eólica e solar, conforme pode ser observado no gráfico 2, o risco de desabastecimento – o chamado “apagão” – só é garantido com o uso de termelétricas, que, em sua maioria, operam a gás natural e substituem as demais energias a depender de condições climáticas que afetam diretamente a capacidade de produção hidroelétrica (BRASIL, 2020).

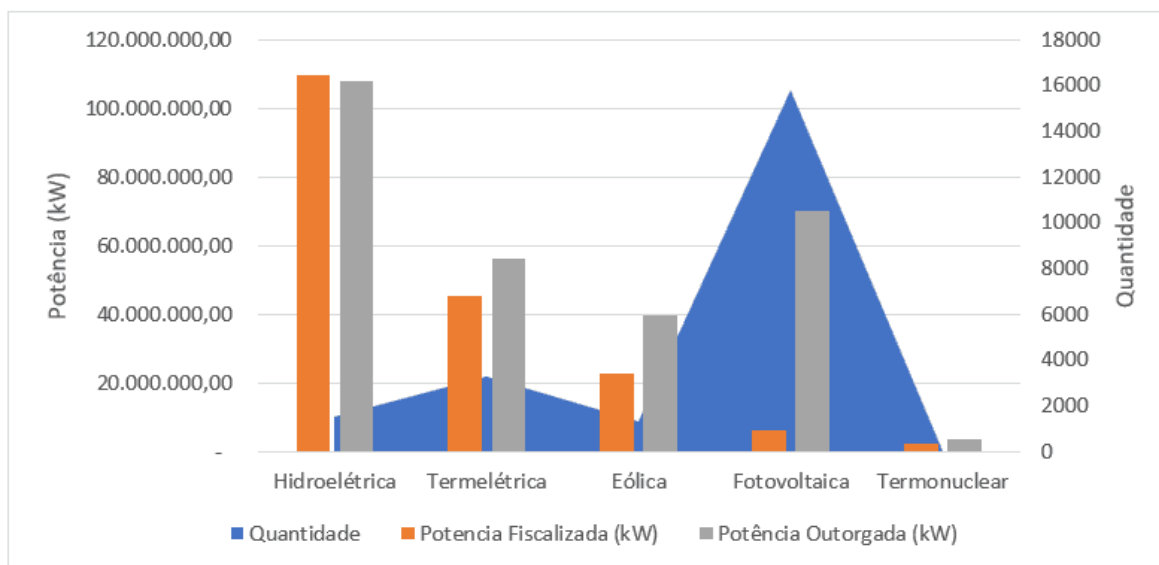
Gráfico 2 - Fontes de geração de energia elétrica no Brasil e no mundo, 2021



Fonte: adaptado de Brasil (s.d.).

Ainda, com relação a geração da energia no Brasil, o gráfico 3 mostra a quantidade de energia fiscalizada, ou seja, em operação e disponível atualmente, e a quantidade de energia outorgada, que inclui centros de geração em construção ou em fase de planejamento, o que corrobora para um aumento no investimento em energias renováveis no Brasil. Como parâmetro, o total de potência fiscalizada soma 185,751,183.01 kW, enquanto a outorgada soma 276,961,901.00 kW, o que indica um crescimento de 91,210,717.99 kW em disponibilidade nos próximos anos.

Gráfico 3 - Potência e quantidade por tipo de usina, 2022



Fonte: Brasil (2022a).

A tabela 2 apresenta um detalhamento das usinas termelétricas do Brasil que operam com combustíveis de origem fóssil, incluindo o gás natural, que é considerado um combustível de transição e tem compatibilidade com o hidrogênio.

Tabela 2 - Quantidade e potência outorgada de termelétricas operadas com combustíveis fósseis

Combustível	Quantidade	Potência outorgada (kW)	%
Gás natural	171	17,243,391.4	57%
Óleo diesel	2234	4,373,013.6	15%
Óleo combustível	47	3,307,439.3	11%
Carvão mineral	13	3,085,740.0	10%
Outros energéticos de petróleo	16	985,108.0	3%
Gás de refinaria	7	419,530.0	1%
Gás de alto forno	8	352,890.0	1%



Calor de processo	7	234,370.0	1%
Total	2503	30,001,482.3	100%

Fonte: Brasil (2022a).

3. A ELETRIFICAÇÃO COMO UM CAMINHO PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

Por definição, energia é a propriedade quantitativa que é transferida para um corpo ou para um sistema físico, reconhecível na realização de trabalho e na forma de calor e luz, e é medida em joule, do Sistema Internacional. A energia é convertida em luz, movimento/cinética ou, principalmente, calor, e a eletrificação é uma das formas de conservar e transportar energia (VALENTE, 1993).

Para produzir energia para os diferentes tipos de atividades antrópicas, essas fontes de energia passam por transformações, por exemplo, os holandeses costumavam ter energia cinética de moinhos de vento para realizar trabalhos (serrar madeira para construir embarcações mais rápido que outras áreas).

De acordo com a lei de conservação de energia, “a energia não pode ser criada nem destruída; ao contrário, só pode ser transformada ou transferida de uma forma para outra”. Esta lei da física é a chave para este estudo, pois todo sistema tem sua eficiência, e não há motores perpétuos, ou sistemas, que trabalhem continuamente com energia, porque, em cada transformação – do cinético ao calor, do calor ao mecânico e do mecânico ao elétrico – há, e sempre haverá, alguma perda de energia (VALENTE, 1993).

Não existe apenas a eficiência de transformação de energia, mas também a eficiência de emissão das diferentes fontes de energia, a eficiência de transporte e a eficiência de armazenamento. Em muitos casos, a energia é convertida em eletricidade, e a eletricidade é posteriormente usada para reconverter essa energia em calor ou cinética, por exemplo. Atualmente, a eletricidade pode ser usada em



quase todos os setores da economia: transporte, agricultura, mineração, produção de cimento etc. mas a eletrificação deve ser considerada como um caminho de transição energética, capaz de auxiliar na redução das emissões dos GEE.

As emissões de gases de efeito estufa nem sempre estão isoladas, em muitas vezes, há uma associação desta com poluentes atmosféricos que podem, diretamente ou indiretamente, causar efeitos nocivos, maiormente estocásticos, a saúde humana (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2021). O método de captura de carbono para sua utilização ou armazenamento permanente (CCUS) é uma das formas de se reduzir ou até mesmo eliminar as emissões de usinas que operam com combustíveis fósseis, e, considerando a demanda crescente por energia, essa tecnologia torna-se chave para o crescimento e manutenção da produção elétrica nacional (LIMA; HAMZAGIC, 2022).

Ainda existe uma outra forma de produção de energia ilimitada, que está atualmente em desenvolvimento, que representa uma oportunidade de produção de energia limpa e segura: a fusão termonuclear controlada por confinamento magnético do plasma. Normalmente, uma máquina do tipo tokamak, que consegue, através de uma câmara de vácuo, e do uso de um intenso campo magnético, confinar uma coluna de plasma que pode chegar a milhões de graus célsius, e, com o uso desse calor, gerar eletricidade a partir de turbinas a vapor e geradores elétricos. Sua eficiência energética-volumétrica comparativa pode ser observada na figura abaixo (WILTGEN, 2022a, 2022b).

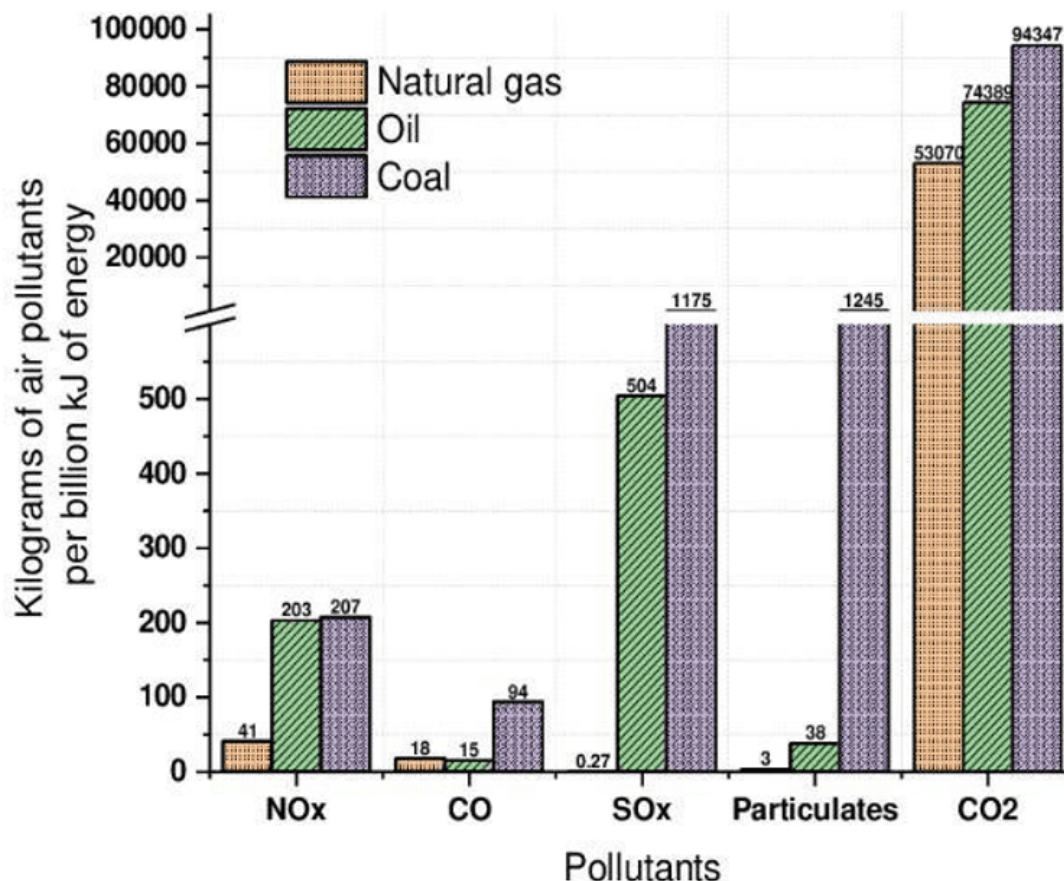
Figura 1 - Comparativo entre os volumes de combustível requeridos para produção de 1 GW de energia



Fonte: Wiltgen (2022a).

Em termos de energia nuclear, esse não é o único caminho em desenvolvimento. Os pequenos reatores nucleares, do Inglês *Small Modular Reactors* (SMR), representam uma solução de produção própria de energia limpa para algumas plantas nucleares dada a sua modularidade, baixo custo de capital, flexibilidade, eficiência e segurança. Inclusive, os SMR podem ser utilizados para a produção de água quente para plantas industriais (UNITED STATES, s.d.).

Gráfico 4 - Poluentes atmosféricos associados a combustíveis fósseis



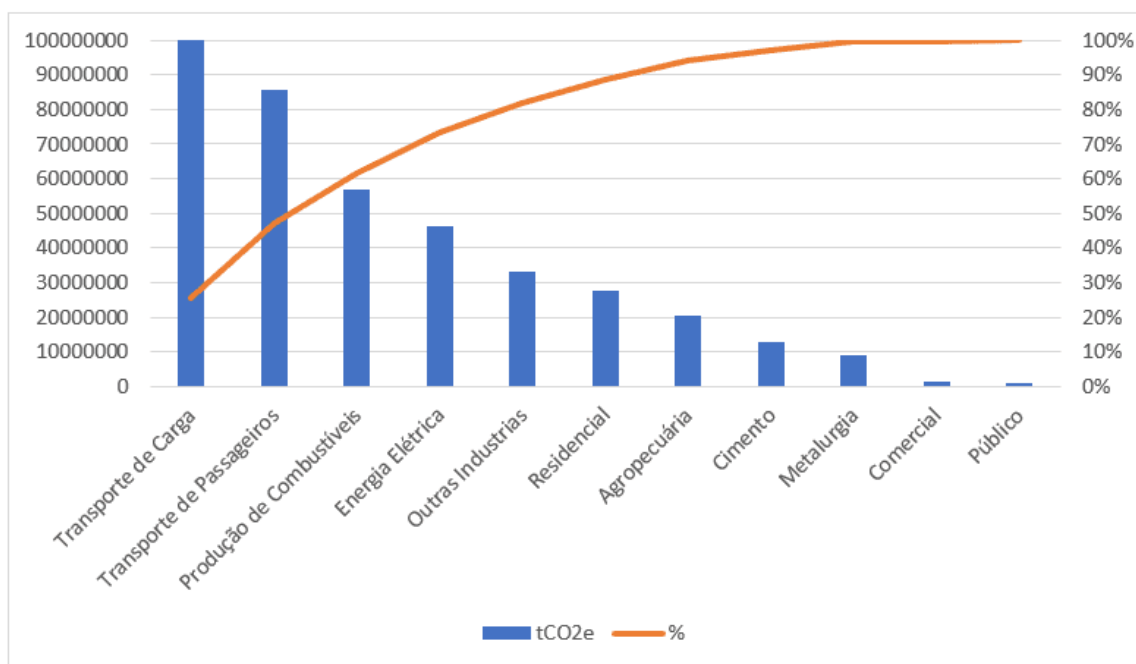
Fonte: Qyyum et al. (2019).

Ao observar o gráfico 1 e a tabela 2, e comparar com o gráfico 4, é possível concluir que o Brasil está em uma posição privilegiada em relação ao mundo quanto às emissões de gases de efeito estufa, e, olhando para o gráfico 2, algumas oportunidades relacionadas à geração de energia também podem ser exploradas, especialmente considerando que ainda há o uso de carvão e petróleo na produção de energia.

O gráfico 5 mostra as emissões em toneladas de CO₂e, um detalhamento do gráfico 1, onde observa-se que 47% das emissões relacionadas à energia vêm de

atividades de transporte, que, no Brasil, é predominantemente rodoviário (LIMA, 2022).

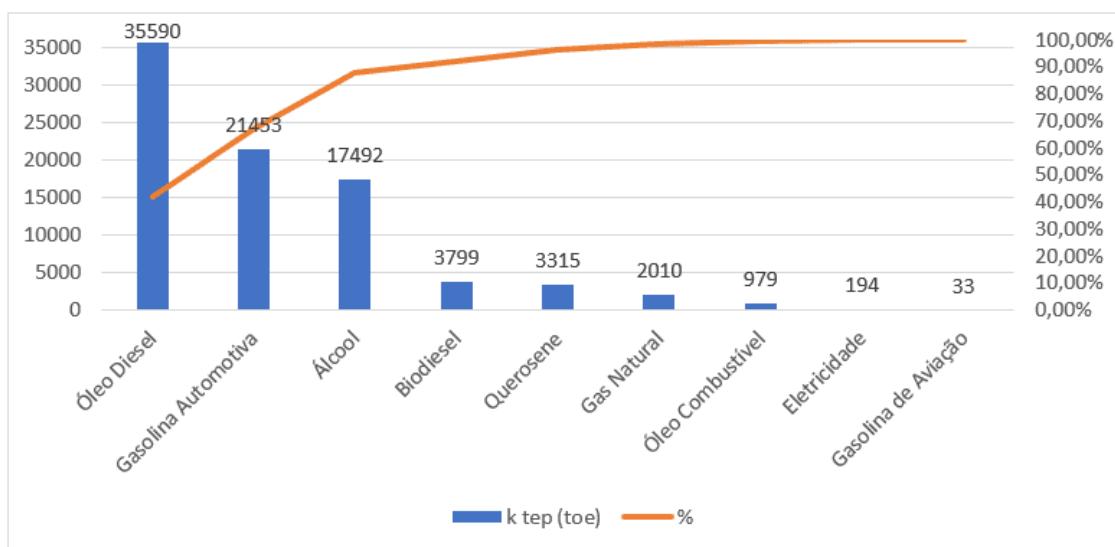
Gráfico 5 - Brasil, 2019, emissões na área de energia por atividade econômica



Fonte: SEEG (2022).

E para entender melhor as fontes de energia e emissões do setor de transporte, o gráfico 6 demonstra que o diesel e a gasolina são predominantes nessa cadeia de suprimento, enquanto a eletricidade ainda representa um valor pouco significativo.

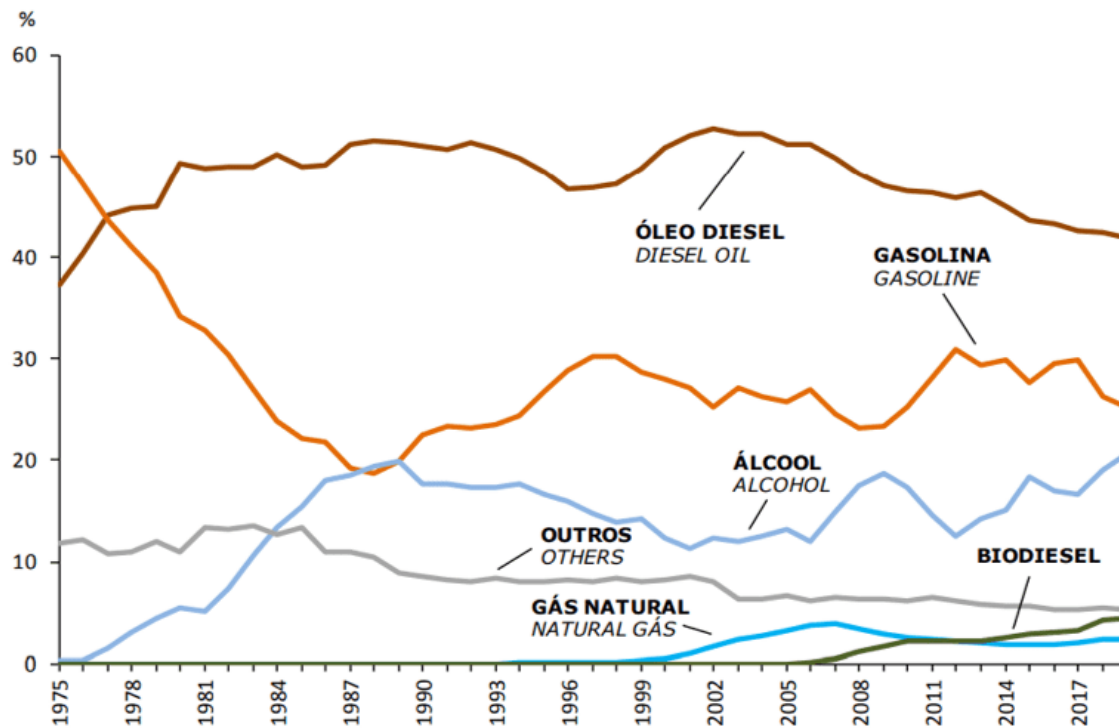
Gráfico 6 - Brasil, 2019, consumo de energia no transporte em Toneladas de Óleo Equivalente (TOE)



Fonte: adaptado de Brasil (2020).

Apesar da predominância do consumo do diesel como principal combustível do setor de transporte, a tendência do consumo tem apresentado queda, enquanto a presença de biocombustíveis vem aumentando, conforme pode ser observado no gráfico 7.

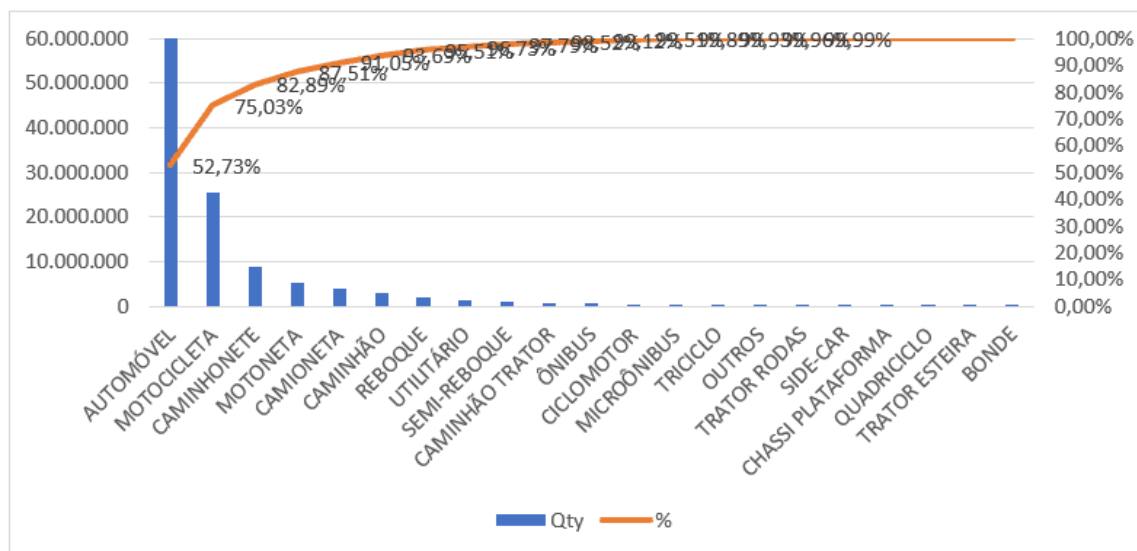
Gráfico 7 - Consumo de combustíveis no setor de transporte no Brasil



Fonte: Brasil (2020).

Já quando se observa os dados do Ministério da Infraestrutura (BRASIL, 2022b) em relação aos tipos de combustíveis de veículo emplacados no Brasil, mais de 75% são motocicletas e automóveis, que, predominantemente, não utilizam diesel em seus motores a combustão por conta da legislação vigente no Brasil, conforme o gráfico 8.

Gráfico 8 - Frota de veículo do Brasil em agosto de 2022



Fonte: adaptado de Brasil (2022).

Cerca de 1200 kW/ano seriam necessários para abastecer cada veículo elétrico no Brasil (60 milhões). Considerando uma rodagem de 8 mil km/ano para cada veículo e um rendimento energético de 0,15kW/km (valor mais baixo assumido), o consumo apenas com veículos elétricos poderia chegar a 72 TW ano, porém, o Brasil conta com uma ampla matriz de biocombustíveis, ainda em expansão, o que torna a necessidade de eletrificação de frota algo gerenciável, no longo prazo, para a adaptação da matriz elétrica (SILVA, 2017; ECO COST SAVINGS, 2020).

Ante ao exposto, nota-se que o Brasil possui uma boa malha de distribuição de energia elétrica, e tem a sua população bem coberta com relação ao acesso à energia elétrica. Mais de 80% da matriz elétrica brasileira é de origem renovável, e os investimentos em andamento apontam na direção da expansão dessas fontes de energia.

Com relação a matriz energética e as emissões de poluição e gases de efeito estufa, o setor de transporte é o mais impactante, sendo que, mesmo que com uma frota



de 75% de veículos sendo movidos a outros combustíveis, o consumo de diesel no país, nesse setor, é de aproximadamente 40%, sendo o transporte de carga responsável por 25% das emissões de CO₂e (BRASIL, 2020).

Nesse cenário, a fusão nuclear representa a maior oportunidade para o futuro da eletrificação, mas ainda em longo prazo. Até lá, as estratégias de investimento, em curto e médio prazo, em biocombustíveis; uso de alternativas mais limpas, como o gás natural; fontes renováveis; uso do hidrogênio ou amônia como forma de transporte de energia para regiões com menor capacidade de geração renovável; geradores de fusão nuclear compactos e o uso e avanço de tecnologias do tipo CCUS são chave.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mundo caminha na direção correta em relação às metas de redução de gases de efeito estufa, da mesma forma com que já trabalhou para a redução de gases que afetam a camada de ozônio e para a redução de poluentes atmosféricos.

Não há uma única fonte a ser considerada para a produção de energia, uma vez que ainda há escassez de energia no mundo, e muitos conflitos armados em virtude dessa escassez. Sendo assim, no curto prazo, nenhuma forma de energia pode ser descartada, e métodos como a captura de carbono, a expansão de biocombustíveis ou de combustíveis mais limpos e uso da energia nuclear são cruciais no curto e médio prazo.

Ante ao exposto, o presente artigo, teve como objetivo explorar as formas pelas quais o Brasil poderia potencializar o uso da eletricidade em outros setores, como o transporte, por exemplo, e de que forma pode caminhar para reduzir as emissões do setor elétrico.



Sendo possível constatar que a eletrificação tende a oferecer mais flexibilidade e compatibilidade entre sistemas, em especial considerando que algumas formas de transformação de energia para a elétrica são mais eficientes que outras.

A pequeno prazo, a produção própria de energia, em residências, estabelecimentos comerciais e industriais, com o uso de energia fotovoltaica, eólica e até mesmo através de biogás ou gás natural pode colaborar de forma muito positiva com o aumento da disponibilidade do sistema elétrico, assim como, a médio prazo, os chamados SMR podem produzir energia ou calor para processos e plantas industriais (primeira planta em construção). Ainda a médio prazo, a conversão dos lixões do país em usinas de energia, com o uso do biogás, aumentaria a disponibilidade do sistema elétrico para outros fins. A longo prazo, o potencial do desenvolvimento da fusão nuclear, que tende a ser uma fonte inesgotável de energia (primeira central de fusão nuclear estimada para 2100).

Dessa forma, a expansão e interconexão de redes elétricas, e a eletrificação em seus diversos setores e aplicações, precisa seguir em desenvolvimento, assim como as demais pesquisas de produção com maiores rendimentos, e em formas mais eficientes de uso de energia. E, apesar de acreditar na atratividade econômica dos projetos eólicos e fotovoltaicos para residências e empreendimentos comerciais, e da criação das usinas a partir de lixões, uma legislação específica, e outros estímulos, são necessários para dar viabilidade e celeridade a esse processo.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional**. Rio de Janeiro: EPE, 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf. Acesso em: 23 set. 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Sistema de informações de geração da ANEEL. ANEEL, 2022a. Disponível em:



<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiaNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSlslmMiOjR9>. Acesso em: 23 set. 2022.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Frota de Veículos – 2022. **Gov.br**, 2022b. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2022>. Acesso em: 23 set. 2022.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. Matriz energética elétrica. **Empresa de Pesquisa Energética**, s.d. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 23 set. 2022.

ECO COST SAVINGS. Electric Car KWh Per Mile List [277 KWh/Mile Listed]. **Eco Cost Savings**, c2022. Disponível em: <https://ecocostsavings.com/electric-car-kwh-per-mile-list/>. Acesso em: 25 set. 2022.

ESMAP. The energy progress report. **Tracking SDG7**, c2022. Disponível em: <https://trackingsdg7.esmap.org/country/brazil>. Acesso em: 2 set. 2022.

IEA. Greenhouse gas emissions from energy data explorer. **IEA**, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/greenhouse-gas-emissions-from-energy-data-explorer>. Acesso em: 2 set. 2022.

LIMA, L. J. B. Caminhos para a transição energética sustentável no Brasil. In: **XI CICTED – Congresso Internacional de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento**, 2022.

LIMA, L. J. B.; HAMZAGIC, M. Estratégias para a transição energética: revisão de literatura. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, ano. 7, ed. 6, vol. 8, p. 96-120, 2022. Disponível em: DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-ambiental/transicao-energetica. Acesso em: 23 set. 2022.

ONU. Objetivos de desenvolvimento sustentável. **Nações Unidas Brasil**, 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/7>. Acesso em: 2 set. 22.

QYYUM, M. A. *et al.* Performance enhancement of offshore LNG processes by introducing optimal mixed refrigerant self-cooling recuperator. **International Conference on Applied Energy**, p. 712-749, 2019.

SILVA, T. B. da. Recarga de veículos elétricos: o que esperar quando o combustível dos nossos carros for a eletricidade? **FGV Energia - Caderno Opinião**, 2017. Disponível em:



https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/coluna_opinioao_dezembro-tatiana_bruce_final.pdf. Acesso em: 23 set. 2022.

SEEG. Emissões por atividade econômica. **SEEG10anos**, 2022. Disponível em: https://plataforma.seeg.eco.br/economic_activity. Acesso em: 2 set. 2022.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. **25 Years Montreal Protocol**. New York: United Nations Development Programme, 2012.

UNITED STATES. Office of Nuclear Energy. Benefits of small modular reactors. **Energy.gov**, s.d. Disponível em: <https://www.energy.gov/ne/benefits-small-modular-reactors-smrs>. Acesso em: 25 set. 2022.

VALENTE, M. de J. P. **A pedagogia do conceito de energia: contributo para a utilização formativa do conceito de energia**. Dissertação (Mestrado em Ciências da Educação: área de Educação e Desenvolvimento) - Universidade Nova de Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia. Lisboa, 1993.

WILTGEN, F. Eletricidade via fusão nuclear. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 14, n. 3, p. 235-247, 2022a.

WILTGEN, F. Fusão nuclear via máquina tokamak: energia elétrica para o futuro do desenvolvimento humano. In: **Congresso Brasileiro de Planejamento Energético - XIII CBPE - 2022**, 2022b.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Air pollution. **World Health Organization**, 2021. Disponível em: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1.

Enviado: Setembro, 2022.

Aprovado: Novembro, 2022.

¹ Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade de Taubaté (UNITAU), MBA em Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), MBA em Gestão de Projetos pela Fundação de apoio ao CEFET/RJ, Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Candido Mendes (UCAM), Especialista em Engenharia de Petróleo pela Universidade Estácio de Sá (UNESA), Graduado em Engenharia de Petróleo pela Universidade Estácio de Sá (UNESA) e Graduado em Tecnologia Mecânica com ênfase em Automação Industrial pelo CEFET/RJ, e certificado Supervisor de Radioproteção pela CNEN. ORCID: 0000-0002-6647-3914.



MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC JOURNAL

**NÚCLEO DO
CONHECIMENTO**

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR NÚCLEO DO
CONHECIMENTO ISSN: 2448-0959

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br>

² Orientadora. Doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade de São Paulo, Mestre em Gestão de Desenvolvimento Regional pela Universidade de Taubaté, Graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de Taubaté. ORCID: 0000-0001-8082-5763.