
Cidades, políticas públicas e perspectivas para 2050 com uma nova abordagem sobre a matriz elétrica.

Cities, public policies and an outlook for 2050 with a new approach to the electrical matrixes.

Gustavo Focesi Pinheiro ^{1*}, Tiago Zenker Gireli ¹

RESUMO

O crescimento populacional e concentração nos grandes centros urbanos geram cada vez mais impacto local e global, demandando cada vez mais recursos naturais para as atividades humanas, conforto nas edificações e serviços nas cidades. Este artigo apresenta dados sobre a matriz elétrica, crescimento populacional e pesquisas relacionadas ao tema, com o objetivo de analisar as demandas para 2050 no Brasil e no Mundo, discutindo iniciativas, e a importância da formulação de políticas públicas na gestão das cidades e recursos. A metodologia sugerida é uma nova abordagem a Análise Matriz Elétrica e População. Também são analisados os impactos da pandemia de Covid-19 e da invasão na Ucrânia sobre o tema. Os resultados obtidos mostram que até 2050 a demanda por energia elétrica crescerá no mundo em torno de 30%, gerando mais impacto ambiental. Concluindo que: o crescimento populacional com o mesmo nível de consumo de eletricidade per capita anterior a pandemia de Covid-19, demandará ajustes nas matrizes; a transição energética será impactada pós-invasão na Ucrânia em 2022, tornando urgente adaptar a infraestrutura energética, aumentar a conservação de energia, e adequar a legislação.

Palavras-chave: Análise Matriz Elétrica e População; Políticas públicas; Sustentabilidade; Brasil; Crescimento Urbano

ABSTRACT

Population growth and concentration in large urban centres generate more local and global impact, demanding more natural resources for human activities, comfort in buildings and city infrastructure. This article presents data on Electrical Matrix, population growth and research related to the subject. The objective is to analyze the demands for 2050 in Brazil and the world, discuss initiatives, and the importance of formulating public policies for cities and resources management. The methodology suggested is a new approach the Analysis the Electrical Matrix and Population. The impacts of the Covid-19 pandemic and the invasion in Ukraine on the subject are also analyzed. The results obtained show that by 2050 the electricity demand will grow around 30% in the world, increasing the environmental impact. The conclusion is that: population growth with the same level of electricity consumption per capita as before Covid-19 pandemic will require adjustments in the matrices; and the energy transition will be impacted post-invasion in Ukraine in 2022, making it urgent to adapt the energy infrastructure, increase the energy conservation, and adjust the legislation.

Keywords: Electrical Matrix and Population Analysis; Public Policies; Sustainability; Brazil; Urban growth

¹ Universidade Estadual de Campinas
*E-mail: gfp11573@gmail.com

INTRODUÇÃO

Em busca de melhores condições de vida e segurança, ao longo da história a humanidade ocupou o espaço originando cidades, cuja evolução ora planejada e ora desordenada, aliada ao consumo de recursos naturais e depois a industrialização, geraram desequilíbrios locais e regionais. As fontes energéticas se tornaram indispensáveis, principalmente os combustíveis fósseis. O impacto gerado pode ser mitigado, controlado e em alguns casos eliminado, com a gestão do espaço e políticas públicas adequadas.

As edificações estruturam os centros urbanos, suportam as atividades humanas e fabris. No início, as edificações eram extremamente adaptadas ao clima e materiais de construção regionais. Porém, com novos materiais, tecnologias, equipamentos, a internacionalização dos estilos arquitetônicos e sistemas construtivos, os edifícios perderam características e adaptabilidade local, vários equipamentos foram agregados para proporcionar habitabilidade, aumentando o consumo de eletricidade, água e demais recursos naturais.

O crescimento populacional, a migração e imigração de pessoas de áreas rurais e de conflito, buscando melhores condições de vida nos grandes centros urbanos e em outros países, aumentam a demanda por eletricidade, água e demais recursos. Há a necessidade de pesquisar e explorar novas fontes confiáveis de energia, e reduzir os impactos ambientais.

A Pandemia de Covid-19, que começou em 2019, atingiu todos os países, a economia e renda das famílias. Nos países que estavam em ritmo econômico mais lento antes da pandemia, a retomada pós-Pandemia desperta maior cautela com relação ao potencial das matrizes energética e elétrica, sistemas de reservação, geração e transmissão.

A invasão russa na Ucrânia em 2022 atingiu rapidamente todos os países com o aumento das commodities, e na área energética impactou principalmente os países importadores de fontes energéticas (petróleo e gás) da Rússia, ou que passam pela Ucrânia. Tornando necessário encontrar novas alternativas energéticas capazes de atender a demanda. O mundo ainda é grande dependente de combustíveis fósseis e derivados, o que gerou inflação nas cadeias produtivas, logísticas e de transportes internacionais, como em outras guerras com impacto mundial.

Parte da União Europeia é grande consumidora de gás russo, uma fonte energética “confiável”, que pode ser reservada e utilizada de acordo com a necessidade e disponibilidade, independente de condições meteorológicas ou sazonais, e por isso, de difícil substituição por fontes renováveis (hídrica, solar e eólica) até o momento. Assim, a transição energética nas matrizes energéticas e elétricas, planejada por alguns países para médio e longo prazo, substituindo fontes mais poluentes e em alguns países desligando usinas nucleares, será impactada pela invasão na Ucrânia, podendo ser o início de uma nova Crise Energética com duração e resultados imprevisíveis, aumentando o custo da energia e a busca por novas fontes.

A conservação de energia em edifícios e equipamentos se torna tão importante quanto no pós-crise do petróleo de 1970 nos países mais dependentes de petróleo e derivados, e agora afeta também os que utilizam o gás russo. É necessário rever políticas públicas para o setor energético, a gestão de recursos em nível local e global, e acordos internacionais para controle de emissões, a fim de evitar falta de energia e maior impacto a população, a economia e ao ambiente.

As perspectivas para 2050 são analisadas para o Mundo e o Brasil, considerando o crescimento populacional, a composição e geração da matriz elétrica. A composição da matriz elétrica brasileira foi impactada nos últimos 20 anos pela escassez hídrica, e deve considerar projeções populacionais, desenvolvimento industrial e econômico.

O objetivo é demonstrar que nas matrizes elétricas a escolha de fontes alternativas e renováveis, deve ser alinhada aos hábitos de consumo da população, crescimento populacional projetado, desenvolvimento econômico, conservação e reserva de energia.

METODOLOGIA: UMA NOVA PROPOSIÇÃO PARA ANÁLISE

Esta pesquisa utiliza dados sobre fontes energéticas, população e projeções, de bases oficiais e instituições de reconhecida capacidade. Os dados foram tabulados, tratados estatisticamente em porcentagem para comparações e análises considerando a previsão de crescimento populacional até o ano 2050, horizonte utilizado por várias pesquisas e estudos. Todos os dados, pesquisas e estudos citados foram indicados e referenciados.

Para analisar o crescimento da demanda elétrica, o primeiro autor deste artigo sugeriu uma abordagem aparentemente simples e de grande alcance, elaborada por ele, relacionando matriz elétrica e população, aqui denominada como Análise Matriz Elétrica e População, que proporciona análises e estudo de perspectivas futuras de forma clara, com vários desdobramentos interessantes e importantes para balizar decisões. Esta metodologia é realizada em três etapas:

- Na primeira são analisados os dados de crescimento populacional das regiões foco da pesquisa para o período desejado, verificando projeções de crescimento, estabilidade ou queda. Define-se a população máxima no período para comparação, pois será a atendida em plena carga.

- Na segunda etapa, buscam-se os dados consolidados da matriz de interesse para a análise, neste estudo, foi a matriz elétrica, e avaliou-se: composição da matriz, suscetibilidades, fontes renováveis, total gerado, e tendências nos últimos anos.

- Na terceira etapa, relaciona-se para um mesmo ano escolhido para análise atual e projeção futura, a matriz e a população, encontrando as médias, matriz per capita e projeções.

Podem ser realizadas diversas análises para contribuir com o planejamento de políticas públicas, gestão de cidades, adaptações necessárias para o crescimento da matriz, utilização e adequação de fontes energéticas, inclusão e disseminação de fontes alternativas, incentivos à

conservação de energia, entre outras. Esta abordagem também pode ser utilizada para análise da matriz energética e matrizes de outras áreas, e comparação de cenários em épocas diferentes.

Nesta pesquisa, foram adotadas as seguintes premissas: desconsiderou-se que parte da população mundial não tem acesso a eletricidade, e este dado pode ser utilizado em cada país acrescido ao valor projetado encontrado, conforme planejamento futuro; foi desconsiderado que o consumo de eletricidade per capita é diferente em cada país por várias características, e foi considerado igual por habitante, mas podem variar dentro de um mesmo país por diversos fatores; adotou-se que não surgirão novas necessidades de consumo de eletricidade até 2050, capazes de aumentar o consumo per capita de forma considerável; e que o aumento de demanda relacionada à construção de mais moradias devido ao crescimento populacional projetada está implícito no valor per capita.

Foram idealizados três cenários para a matriz elétrica de 2050 no Brasil e no Mundo: Cenário 1- manutenção da razão matriz elétrica população, per capita de 2018; Cenário 2- manutenção da média da razão matriz elétrica população per capita de 2014 à 2018; e Cenário 3- crescimento anual de 0,5% da matriz elétrica de 2018 à 2050 (valor próximo ao real de 0,48% de 2014 à 2018) para o Brasil, e para o Mundo 1% ao ano.

Nesta abordagem, ao relacionar a matriz elétrica consolidada anual com a população total, e não por setor econômico, a demanda para todos os setores (serviços, indústria, iluminação pública, e outros usos) é considerada proporcional à população, assim, a projeção futura considera o desenvolvimento econômico continuado nos mesmos padrões de consumo do ano referenciado. Podendo orientar o planejamento, investimento em novas fontes e em fontes já utilizadas e com maior potencial. A mesma metodologia serviria para analisar só o setor residencial, por exemplo.

Devido a Pandemia de Covid-19, foram considerados dados de 2018 para análise, pois as medidas de afastamento e restrições na tentativa de frear contaminações alteraram os padrões de consumo da população, e foram adotadas em períodos e de formas diferentes em cada país.

CRESCIMENTO POPULACIONAL E A DEMANDA POR ELETRICIDADE

O crescimento populacional varia de acordo com características regionais que interferem na natalidade. No Brasil, no período estudado, é prevista desaceleração do crescimento quando são analisados os dados completos, mas a população mundial continua crescendo. Deve-se considerar também que a expectativa de vida da população aumentou em grande parte do mundo, e diminuiu estatisticamente com a pandemia de Covid-19. O envelhecimento da população pode trazer novas necessidades e tecnologias, e pode aumentar o consumo de eletricidade.

A Tabela 1 mostra o crescimento populacional e a projeção para 2050, no mundo pelas Nações Unidas (UN), e na Tabela 2, o crescimento no Brasil, pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Tabela 1 – Estimativa da população global em bilhões de pessoas

Ano	2014	2015	2016	2017	2018	2050
População	7,295291	7,379797	7,464022	7,547859	7,631091	9,735034
Crescimento (%)	-----	1,158	1,141	1,123	1,102	27,57

Fontes dos dados: Nações Unidas (2022)

Tabela 2 – Estimativa da população brasileira em milhões de pessoas

Ano	2014	2015	2016	2017	2018	2050	2047 - Maior população
População	201,72	203,48	205,16	206,80	208,49	232,93	233,23
Crescimento (%)	-----	0,87	0,83	0,803	0,817	11,722	11,866 (ref.2018)

Fontes dos dados: IBGE (2022a)

O Brasil é um país em desenvolvimento, com falta de universalização de algumas infraestruturas e serviços básicos. A população atual passa de 213 milhões de habitantes (IBGE, 2022b), entre 2018 e 2050 tem crescimento previsto de 11,72%, e pico populacional em 2047 representando 11,866% em relação a 2018, ano escolhido para análise da matriz. A população mundial terá crescimento previsto de 27,57%. Estes dados são aproximados, mas importantes para elaborar políticas públicas nacionais e acordos mundiais.

O crescimento populacional, o êxodo rural para grandes centros urbanos e a imigração de áreas de conflito em busca de melhores condições de vida, segurança e oportunidades, impactam a infraestrutura urbana existente e o ambiente. Nos últimos anos a imigração do continente Africano, Oriente Médio e da Ucrânia (invadida pela Rússia) principalmente, para União Europeia, foi de milhões de refugiados, tornando-se importante verificar a disponibilidade das fontes energéticas para atender o consumo sem comprometer o nível de qualidade de vida.

Para Khanna, Guo e Zheng (2016), na China, com o crescimento econômico, o aumento da renda e a urbanização, o consumo residencial de eletricidade subiu de 48 bilhões kWh em 1990 para 718 bilhões kWh em 2014, equivalendo a 12,7% do consumo nacional, e com o crescimento populacional até 2050, pode alcançar quase o consumo total de 2012.

Como destacam Cao, Ho e Liang (2014), para a China, e que vale para todos os países, é importante entender o aumento da demanda por energia nas áreas urbanas, e propor políticas públicas capazes de proporcionar economia e reduzir impactos ambientais.

MATRIZES ELÉTRICAS

A matriz elétrica é composta pelas fontes energéticas utilizadas para produzir eletricidade, e deve ser capaz de atender as demandas da sociedade. As premissas para escolha das fontes variam em cada país considerando: disponibilidade de recursos, condições técnicas e

tecnológicas, financeiras, climáticas, geográficas, geológicas, políticas e até ideológicas. Alguns países importam fontes energéticas e eletricidade, o que pode se tornar uma vulnerabilidade.

Porém, é importante a complementaridade entre as fontes, e confiabilidade da matriz, assim muitos países utilizam combustíveis fósseis, pois, fontes como a eólica, solar e hídrica, são suscetíveis as condições climáticas. A intermitência ou incapacidade do sistema prejudica o desenvolvimento econômico, bem estar e segurança da população. Deve-se sempre tentar reduzir o impacto ambiental e ter eletricidade com custo acessível.

A MATRIZ ELÉTRICA DO BRASIL

No Brasil, a fonte hídrica predomina na geração de eletricidade pelo grande potencial de algumas regiões, e é complementada por outras fontes energéticas. O impacto ambiental para a construção das barragens e enchimento dos reservatórios demanda muitos estudos, porém na operação o impacto é menor. O Brasil foi a oitava economia do mundo, agora está entre as quinze. A energia elétrica é primordial para o crescimento econômico, desenvolvimento e retomada pós-pandemia. Houve escassez de eletricidade em 1999/2001, 2014 e 2015/2016 e 2021, devido a estiagens prolongadas na região dos reservatórios hidroelétricos, e várias instituições têm tentado buscar soluções para aprimorar a matriz e evitar novas crises. Tolmasquim, Guerreiro e Gorini (2007), salientam que no Brasil, o consumo de energia aumentou muito após a Segunda Guerra Mundial, com o crescimento populacional, urbanização, industrialização e rodovias.

No Brasil, geralmente, os grandes centros urbanos estão distantes dos grandes polos geradores de eletricidade, e a microgeração com energia eólica e solar, pode contribuir para atender a demanda nas áreas urbanas, apesar das limitações e impactos na vizinhança. A Tabela 3, apresenta a participação percentual por fonte energética por ano de referência.

Tabela 3- Composição da Matriz elétrica brasileira (%) entre os anos 2014 e 2018

Fonte energética	2014	2016	2017	2018
Hidráulica	59,8	61,5	59,4	61,1
Bagaço de cana-de-açúcar	5,2	5,7	5,7	5,6
Eólica	2,0	5,4	6,8	7,6
Solar	0,003	0,014	0,13	0,54
Outras renováveis	2,2	2,6	2,5	3,0
Petróleo	5,1	2,0	2,0	1,5
Gás Natural	13,0	9,1	10,5	8,6
Carvão	2,9	2,7	2,6	2,2
Nuclear	2,5	2,6	2,5	2,5
Outras não renováveis	1,9	1,9	2,0	1,9
Energia importada	5,4	6,6	5,8	5,5
Total em Gwh	624.254	619.693	624.317	636.375

Fonte dos dados: Ministério de Minas e Energia (2015), (2017), (2018), (2019)

No período estudado, o crescimento da matriz foi de 1,942%, pequeno se comparado à matriz mundial, possível reflexo da desaceleração econômica; o uso de fontes eólica e solar aumentaram, mas têm pequena participação; houve redução considerável de petróleo, gás natural e pequena em carvão, o que demonstra atendimento às questões ambientais. A complementação da matriz em caráter emergencial tem sido com termelétricas, mais confiáveis, caras e poluentes. Os custos adicionais são cobertos por sistema tarifário, adicionado à conta do consumidor, padronizado com “bandeiras coloridas”, conforme nível de escassez hídrica. Esta política pode prejudicar investimentos em eficiência energética por agregar valores fixos, e inflaciona preços finais de produtos e serviços.

Em 2018, a região Sudeste do Brasil, a mais industrializada, com 42,07% da população (IBGE, 2022a), consumiu 50,25% da eletricidade no país (EPE, 2021), do total consumido no país, 29% foi nas residências, 35,8% nas indústrias, 18,6% setor comercial, e 16,6% setor público, rural, iluminação pública e energético.

MATRIZ ELÉTRICA MUNDIAL, PANDEMIA, INVASÃO NA UCRÂNIA: DESAFIOS

Os países signatários de acordos ambientais globais se comprometeram em minimizar emissões, e tendem a investir e incentivar fontes energéticas menos poluentes. Na Índia, Srikanth (2018) destaca que 75% da energia vêm do carvão, e para o desenvolvimento sustentável o maior desafio é produzir energia confiável, acessível à população, e aumentar as fontes renováveis. O custo das fontes energéticas e processos de produção de eletricidade são essenciais para definir políticas públicas e oferecer eletricidade acessível à população.

A Tabela 4 apresenta a matriz elétrica mundial e participação percentual das fontes.

Tabela 4 – Composição da matriz elétrica mundial (%) entre os anos de 2014 e 2018

Fontes	2014	2016	2017	2018
Petróleo	4,8	4,5	3,8	3,4
Gás	22,0	22,0	24,5	23,1
Carvão	39,2	39,1	36,0	37,1
Urânio	10,4	10,6	10,6	10,1
Hidráulica	17,1	16,8	16,1	16,1
Outras	6,6	---	---	---
Outras não renováveis	---	0,3	0,2	0,2
Outras renováveis	---	6,8	8,8	10,1
Biomassa Sólida	1,9	1,9	2,0	2,1
Eólica	3,2	3,4	4,9	5,6
Solar	1,1	1,1	1,5	2,0
Geotermal	0,3	0,3	0,3	0,3
Total em Twh	23.782	24.639	25.181	26.669

Fonte dos dados: Ministério de Minas e Energia (2015), (2017), (2018), (2019)

Nota-se a predominância de petróleo, gás natural, carvão, e pequena participação de fontes eólica e solar. Alguns países usam usinas nucleares em grande escala, mas a participação global é pequena. No período, a matriz cresceu 12,14%, com aumento contínuo do uso de gás e eólica; pequeno aumento em biomassa sólida e solar; com redução do uso de petróleo, mas aumento do carvão entre 2017 e 2018. Fica clara a grande dependência de fontes fósseis, a importância do gás natural e do carvão, expondo barreiras à transição energética mundial pela dificuldade de adaptação em curto e médio prazo, e o impacto geopolítico da invasão na Ucrânia sobre a matriz elétrica mundial, principalmente na Europa, a ser tornar uma nova crise energética.

Os impactos e reflexos da utilização ou supressão de fontes energéticas devem considerar o potencial de geração, necessidade de desenvolvimento regional e urbano, e a realidade econômica de cada país. Segundo o WB (2022), até 2018, 99,7% da população brasileira tinha acesso a eletricidade e 89,6% no mundo, porém, há quem só pode comprar fontes energéticas mais econômicas e poluentes, e quem nem pode comprar.

A Rússia é grande produtor de petróleo e gás, fornecedor de fontes energéticas para vários países da União Europeia, e de eletricidade. A Tabela 5 apresenta a variação do valor do petróleo tipo Brent e do gás natural russo. A referência de março facilita a relação com a invasão na Ucrânia em fevereiro de 2022. A Rússia busca novos compradores de gás devido às sanções pela guerra, e o grande potencial são os países próximos em busca de novas fontes energéticas.

Tabela 5 – Variação do preço em dólar por barril de petróleo e milhão de BTU de gás russo

Mês / Ano	Mar/2017	Mar/2018	Mar/2019	Mar/2020	Mar/2021	Mar/2022
Petróleo Brent	51,97	66,55	66,41	32,98	65,19	115,59
Gás Natural russo	5,00	6,07	5,18	2,72	6,13	42,39

Fontes dos dados: Index Mundi (2022)

O petróleo e o gás são insumos energéticos que agregam confiabilidade às matrizes, quando ficam mais caros, inflacionam os preços finais de praticamente todos os produtos que em algum momento os utilizam na produção ou transporte. A substituição por carvão, mais poluente, para produzir eletricidade é uma possibilidade, por ser um insumo muito utilizado. Várias tentativas estão sendo realizadas para frear os preços do petróleo e do gás, como a utilização de reservas estratégicas de alguns países, e pedidos para que outros grandes produtores aumentem a produção proporcionando queda nos preços. Porém, até o momento não houve efeito concreto, e as razões podem ser várias, desde econômicas até de segurança.

Uma possibilidade são os programas de conservação de energia que se bem elaborados e avaliados podem beneficiar diversos setores econômicos. Novas fontes energéticas como o hidrogênio também são uma possibilidade, após consolidadas as pesquisas. Porém, a exploração em larga escala de qualquer fonte energética deve considerar riscos e impacto ambiental, pois podem gerar mais emissões e aumentar a poluição. Uma alternativa que deve ser explorada é a

adequação ambiental de sistemas existentes, e evitar a “transição energética” apressada e mal avaliada, que não alcance metas e gere outros problemas ambientais futuros.

Para Farrell e Lyons (2015), o uso crescente de fontes renováveis pode gerar impactos ambientais e afetar o bem-estar da sociedade com custos extras, subsídios, e aumentar o preço da eletricidade prejudicando os consumidores de baixa renda e os que consomem menos, beneficiando os de maior renda e que consomem mais. Políticas mal elaboradas podem favorecer o aumento do consumo e contrariar conceitos de conservação de energia.

Choi, Eom e McClory (2018) em Ohio (EUA), avaliaram o efeito de três programas de desconto para investimento industrial em eficiência energética de equipamentos e instalações, e citam que políticas destinadas a encorajar fontes alternativas e retrofit para reduzir emissões, podem ter o efeito contrário no equilíbrio geral, considerando todos os setores envolvidos.

Para Gallopín (2018), não há perspectivas previsíveis para um futuro global sustentável, e a revisão das metas do Acordo de Paris, não garante a capacidade dos países em cumpri-las. Chang e Chung (2018) apontam que a previsão legal de emissões nos transportes até 2050 em Taiwan é a metade de 2005, mas é importante avaliar e simular opções antes de implantar para contribuir efetivamente com as metas. Em 2021, novas metas foram anunciadas por vários países, e provavelmente serão impactadas pelo prolongamento da pandemia e da invasão na Ucrânia.

Clancy, Curtis e Gallachóir (2018), em um estudo na Irlanda, com métodos de simulação para apoiar decisões para cumprir o Acordo de Paris, considerando recursos limitados de biomassa, metas nacionais de redução de carbono, aumento de bioenergia, políticas públicas inconsistentes em aquecimento, transporte e eletricidade. Concluíram que: decisões no setor de transporte e aquecimento contribuiriam para cumprir as metas climáticas para 2030 em 3%; o uso de biomassa e combustível fóssil gerando eletricidade aumentaria as emissões de CO₂, e afetaria em 63% o cumprimento das metas; no setor de aquecimento, o processo de coqueima utilizaria mais biomassa, limitaria a captação de energia renovável; as conversões de carvão e uso de biocombustíveis avançados só seriam possíveis aumentando as importações. Assim, políticas para aumentar o uso de biomassa no setor elétrico poderiam ter resultado oposto ao esperado e dificultar o cumprimento das metas climáticas para os países da União Europeia.

A Alemanha incluiu em larga escala energias renováveis na matriz elétrica, desenvolveu normas e regulamentos com revisão periódica mantendo o equilíbrio econômico entre microprodutores e concessionárias, pesquisam painéis solares mais eficientes, e anunciaram a intenção de abandonar fontes energéticas nucleares. Para Rahbauer et al. (2018) o sucesso na substituição de algumas fontes energéticas por renováveis foi resultado de planejamento e políticas públicas com metodologias específicas, consciência ambiental, disponibilidade, preços especiais e percepção do mercado. Mas, a Alemanha é grande dependente do gás russo, e agora vive a incerteza de corte pós-invasão na Ucrânia.

O avanço das fontes renováveis pode ter barreiras tecnológicas e culturais. Liu et al. (2018) identificaram na China, que a expansão de energias renováveis (solar e eólica) substituindo outras fontes energéticas, teve redução na produção em 2016, principalmente no noroeste, por barreiras de mercado e administrativas, e sugeriram mecanismos de mercado para inclusão das fontes renováveis em grande escala adotando contratos de longo prazo, mercado spot com serviços auxiliares, e política de preços e horários. Sovacool (2018) comparou programas de inclusão de energia solar do Sri Lanka, bem sucedido, e da Indonésia, que ficou abaixo de 5% da meta, em entrevistas e observações de campo identificou que o sucesso estava relacionado às tecnologias selecionadas, envolvimento do usuário e marketing.

Para Camioto, Rebelatto e Rocha (2016), vários são os problemas a serem enfrentados pela sociedade moderna para garantir o fornecimento sustentável de energia e reduzir o uso.

A oscilação nos últimos três anos dos preços das fontes energéticas mais utilizadas dinamiza a competição entre fontes convencionais e renováveis, agita os investimentos e mercados na busca por alternativas. À medida que as fontes alternativas se tornam mais usadas, os preços, incentivos fiscais e políticas de benefícios governamentais tendem a diminuir.

DISCUSSÃO E PERSPECTIVAS

Analisando as informações e dados coletados, fica claro que a gestão dos centros urbanos tem cada vez mais desafios nas várias áreas de planejamento, edificações, administração, abastecimento, sustentabilidade, saúde e bem estar social. Segundo a NU (2019 a, b, c) as cidades ocupam em torno de 3% da superfície terrestre, com cerca da metade da população mundial e em 2030 poderá abrigar cerca de 70%, consumindo cerca de 70% da energia, gerando mais de 70% das emissões globais. A pandemia de Covid-19, segundo Mishra, Gayen e Haque (2020) e a NU (2020) é mais um desafio urbano, onde ocorreram mais de 95% dos casos e impacto econômico.

Planejar um futuro energeticamente seguro, sustentável, e políticas públicas efetivas, envolve muitas variáveis, incertezas e interesses diversos num mundo globalizado com dinâmicas geopolíticas que devem ser avaliadas.

Até 2018, algumas nações investiam na transição energética reduzindo emissões de carbono, de repente, surgiu a pandemia. Durante a pandemia, algumas nações planejaram uma “retomada verde”, com redução do uso de combustíveis fósseis e mais poluentes. Porém, a invasão na Ucrânia evidenciou que matrizes energéticas e elétricas não podem depender da importação de fontes energéticas e/ou eletricidade, riscos altos para os importadores desses itens, principalmente de petróleo e do gás russo. Agora tentam reduzir os impactos nas matrizes, e o risco da falha no fornecimento de eletricidade que prejudica toda a sociedade.

Ao avaliar cenários futuros para o setor elétrico ou demais infraestruturas urbanas e estimar a expansão necessária pela metodologia sugerida, são necessários dados estatísticos

confiáveis sobre o crescimento populacional, projeções futuras e sobre a infraestrutura a ser estudada. É importante monitorar o crescimento populacional, hábitos de consumo, folgas nos sistemas, demanda reprimida e orientar a gestão urbana e as políticas públicas.

A inclusão de fontes renováveis na matriz elétrica deve considerar: disponibilidade da fonte; potencial da tecnologia disponível, vida útil, destinação pós-obsolescência, e redução do impacto ambiental; escolha racional e técnica para complementaridade entre as fontes; respeito às condições regionais, culturais e econômicas. E conjuntamente considerar o potencial de ampliação do sistema existente, modernização tecnológica, ajuste ambiental, e conservação de energia. A matriz resultante deve ser confiável, com potencial de armazenamento, e custo final da eletricidade acessível aos consumidores.

A Tabela 6 apresenta as relações entre dados populacionais, matriz elétrica, valores per capita, médias, variações anuais, evolução do PIB de 2014 à 2018, utilizados para os cenários futuros, análises, tendências e comparações com o ritmo econômico.

Tabela 6 – Relação entre dados para definição dos cenários e o PIB

Ano	2014	2015	2016	2017	2018	2050
População Brasil (milhões)	201,717	203,475	205,156	206,804	208,494	233,23*
Matriz elétrica Brasil Gwh	624.254	615.908	619.693	624.317	636.375	Média A
A = Per capita Brasil Kwh	3.094,69	3.026,94	3.020,58	3.018,87	3.052,23	3.042,66
% A relacionada ao ano anterior	-----	-2,19	-0,210	-0,057	1,10	-----
Evolução PIB Brasil (%)	0,5	-3,5	-3,3	1,3	1,8	-----
População Mundial (bilhões)	7,295291	7,379797	7,464022	7,547859	7,631091	9,735034
Matriz elétrica Mundial Twh	23.782	24.192	24.639	25.181	26.669	Média B
B = Per capita mundo Kwh	3.259,91	3.278,14	3.301,03	3.336,18	3494,78	3.377,33
% B relacionada ao ano anterior	-----	0,559	0,698	1,065	4,754	-----
Evolução PIB mundial (%)	3,1	3,2	2,8	3,4	3,3	-----

Fontes: IBGE (2022a); MME (2015),(2016),(2017),(2018),(2019); NU (2022); WB (2022); próprio autor (2022) - Nota: (*) Brasil - adotada maior população no período projetada para 2047

Analisando os dados anuais da matriz elétrica e da população pela razão matriz elétrica / população tem-se um valor per capita, que comparando ao PBI, deixa clara a relação entre a queda do PIB e do valor calculado, não sendo possível definir uma proporcionalidade. Os valores per capita A (Brasil) e B (Mundo) são próximos, variação perto de 14,5% em 2018, e 11% na média, demonstrando certa tendência e coerência entre os valores calculados, com exceção entre 2017 e 2018 para o mundo que cresceu além dos anos anteriores, mais de 4,75%, sem causa aparente.

A Tabela 7 apresenta os cenários e valores definidos com a metodologia sugerida, mas para planejamentos futuros deve-se adicionar a porcentagem de população sem acesso a eletricidade, conforme projeto definido para universalização de acesso em cada país. Segundo o WB (2022), em 2020, a população com acesso à eletricidade no Brasil alcançou 100%, e no Mundo chegou a 90,5%.

Tabela 7 – Demanda de eletricidade conforme cenários para 2050

Referência	Cenário 1	%	Cenário 2	%	Cenário 3	%
Brasil (Gwh)	711.872	11,86	709.639	11,51	746.495	17,30
Per capita (Kwh)	3.052,23	----	3.042,66	----	0,5% ao ano a partir 2018	-----
Mundo (Twh)	34.022	27,57	32.878	23,28	36.668,29	37,49
Per capita (Kwh)	3.494,78	----	3.377,33	----	1% ao ano a partir 2018	-----

Fonte: próprio autor (2022)

Para o Brasil, no Cenário 1 a matriz elétrica crescerá 11,86%, no Cenário 2, 11,51%, até 2047. Nos dois casos o aumento é considerável, porém, pode ser administrado no período necessário, com: políticas públicas efetivas, ajustes na matriz para atender a demanda com fontes confiáveis (capazes, de longa vida útil e ambientalmente adequadas), e a adoção de alternativas definitivas para períodos de estiagem nas barragens das hidroelétricas. O Cenário 3 merece maior atenção, pois o crescimento anual de 0,5% até 2050, aumentaria a matriz elétrica em 17,3%, demandando maiores esforços para adaptação e ampliação, para manter o desenvolvimento nacional e evitar intermitência no fornecimento.

No período estudado o crescimento anual da matriz elétrica brasileira foi inferior a 0,5% e o mundial foi em torno de 2,9%, o que gera preocupação e necessidade de acompanhamento da demanda, e é reforçada pela relação entre os valores per capita calculados para o Brasil e para o mundo, pois podem representar demanda reprimida e apresentar a tendência de aumento acentuado no consumo de eletricidade com a retomada econômica no Brasil. O aumento da matriz nacional ao ritmo mundial com as tecnologias e fontes adotadas atualmente seria um grande desafio, sendo necessário investir na pesquisa de novas fontes, armazenamento e tecnologias, aumentar a conservação de energia e conscientização da população, ampliar o parque gerador nacional, ajustar políticas do setor e os custos, incluindo impostos e encargos.

Pelos dados, após 2047 a população tenderia a diminuir, e com a provável queda no consumo, seria possível planejar o desligamento paulatino das fontes mais poluentes como carvão e derivados de petróleo.

A matriz elétrica brasileira é bem diversificada, e de 2014 à 2018 as fontes renováveis eólica e solar foram as que mais cresceram. A eólica teve maior participação e associada a fatores como o sistema interligado nacional, o grande potencial de geração em algumas áreas pouco habitadas que propicia a implantação de parques eólicos com menor impacto, a produção nacional da maior parte dos componentes dos aerogeradores, e de acordo com os critérios descritos para seleção de fontes, pode ser a preferencial para investimentos, multiplicando a participação de 2018 na matriz com a vantagem de gerar eletricidade 24 horas por dia. A solar, teve o maior crescimento percentual entre 2017 e 2018, mas participação muito inferior. Porém, ambas têm variação de produção de acordo com a fonte.

A matriz elétrica mundial, em 28 anos, pode crescer no Cenário 1, 27,57%, no Cenário 2, 23,28%, e no Cenário 3, 37,49%, e considerando a população sem acesso à eletricidade os valores devem ser acrescidos de mais dez pontos percentuais, conforme planejamento. Os valores encontrados são muito altos e englobam realidades econômicas, culturais e tecnológicas bem diferentes, em cada parte do mundo e expõe riscos e impactos. Os grandes fluxos migratórios globais dificultam a previsão e o planejamento da infraestrutura em geral. Sendo otimista, a inclusão de fontes renováveis de energia, e a conservação de energia nos próximos 30 anos pode aumentar a folga nos sistemas.

O valor referenciado conforme a abordagem sugerida já é alarmante para os próximos 30 anos, um curto período para adequar matrizes e formular políticas públicas eficazes. Porém, o mais alarmante é considerar a taxa de crescimento anual de 2014 à 2018, que foi por volta de 2.9% ao ano, pela qual a matriz elétrica alcançaria 66.573 Twh em 2050, crescimento de 249,63% aproximadamente em relação à 2018, que com certeza comprometeria todo o planeta, e deve ser alvo imediato de políticas para conservação de energia; investimento na pesquisa de armazenamento, novas fontes seguras, abundantes e de baixo impacto ambiental.

O parque gerador, mesmo com a adoção de fontes energéticas atualmente classificadas como renováveis, mas que não provém confiabilidade à matriz por dependerem das condições climáticas, por segurança energética, deve estar apto a assumir 100% da demanda de eletricidade com as demais fontes quando necessário, o que muitos também chamam de lastro. É importante destacar que as fontes energéticas mais utilizadas no mundo para produção de eletricidade são as mais poluentes, petróleo, gás e carvão, com 64,3% da matriz elétrica mundial em 2017, e 63,6% em 2018, com queda no consumo de petróleo e gás, e aumento no consumo de carvão. As matrizes não podem ser alteradas repentinamente devido a questões econômicas e tecnológicas, nos países que estão sofrendo os impactos da invasão na Ucrânia, haverá provavelmente aumentem do uso das fontes mais poluente por necessidade.

As fontes de energia mais acessíveis e poluentes provavelmente continuarão sendo as mais utilizadas em países com dificuldades econômicas e em desenvolvimento, e persistirão em alguns países mais desenvolvidos, e a guerra gerou uma nova crise energética que causará ajustes na dinâmica energética internacional nos próximos anos.

A educação ambiental e a legislação podem ser decisivas para a mudança de hábitos da população e formação de profissionais mais conscientes, como destaca Pelicioni (2014). A participação de todos os setores da sociedade na formulação de projetos, leis ou iniciativas para planejamento urbano adequado e saudável, edificações e equipamentos energeticamente eficientes, racionalização de recursos naturais, contribuem para resultados bem sucedidos.

A chave é encontrar o equilíbrio para a questão: atender a demanda da população e da economia no curto e médio prazo, gerando energia elétrica de forma contínua e confiável, ou proteger o ambiente?

CONCLUSÃO

A proposta da Análise Matriz Elétrica e População, apresentou de forma clara e realista, com dados estatísticos e as premissas descritas, o crescimento da matriz prevista para população projetada para 2050 no mundo, e no Brasil, para a maior população no período que em 2047, com aumento de 11,86% à 17,3%, que pode ser alcançado com políticas públicas adequadas com início imediato, priorizando tornar ambientalmente adequadas às unidades geradoras já existentes, revendo limites do sistema, dando preferência às fontes que agregam maior potencial e segurança a matriz de forma definitiva e não apenas emergencial como tem ocorrido nos períodos de estiagem nos reservatórios, e estimulando a conservação de energia.

Ajustes na política energética nacional têm sido feitos para enfrentar os impactos dos períodos de estiagem e da alta das commodities energéticas devido a invasão na Ucrânia; e alguns projetos de lei tramitam no país para mudanças no setor elétrico para equilibrar mercados livres e cativos de energia e custos da eletricidade, mantendo regulamentação e monitoramento do setor; mais uma iniciativa foi a capitalização da Eletrobrás. Em paralelo deveriam ser considerados: o potencial de redução de consumo de eletricidade com um novo programa de conservação de energia com ganhos reais à população para reduzir a energia consumida e aumentar a energia disponível, aplicável também para os demais setores da economia; investimento em pesquisa; revisão do potencial do parque gerador para ser mais adequado ambientalmente; aumentar a eficiência da geração, transformação, transmissão e distribuição de eletricidade.

Para o Mundo, o crescimento projetado para a matriz elétrica de 27,57% à 37,49%, para os próximos 28 anos, depende das prioridades, realidade e necessidades de cada país e as alternativas consideradas para a adoção das fontes energéticas, dos acordos internacionais que podem ser firmados e seguidos conforme a situação geopolítica global e local. Para todos os países é importante verificar folgas nas matrizes existentes perante a demanda futura, após empreender esforços imediatos para adequar a infraestrutura existente e a legislação, racionalizar energia, e reduzir o impacto ambiental. A adoção de novas fontes energéticas deve seguir parâmetros de complementaridade e segurança energética. Mas, os investimentos programados para a transição energética de várias nações já foram impactados pela situação geopolítica pós-invasão da Ucrânia em 2022.

As migrações com deslocamento de milhões de pessoas, considerando que muitas não retornam aos países de origem, aumenta a pressão sobre a infraestrutura urbana e devem ser incorporadas no planejamento. A Pandemia Covid-19 destacou a fragilidades dos grandes centros urbanos, dificuldade de assistência em áreas remotas e imunização da população.

Superar os desafios demanda mais esforços políticos e tecnológicos. A conservação de energia em edifícios e demais setores é importante para reduzir o consumo e aumentar a energia

disponível, podendo diminuir a necessidade de novas usinas. O planejamento urbano adequado e a conscientização da população podem tornar as cidades mais eficientes e reduzir o impacto ambiental. A troca de experiências entre países, sobre melhores opções de gestão de recursos, redução de emissões, planejamento urbano e políticas públicas, é importante e devem ser adaptadas aos aspectos culturais e econômicos de cada país. O Acordo de Paris prevê intercâmbio entre signatários, no entanto, o planejamento deve ser realista para atingir as metas propostas.

Em poucos anos houve pandemia e guerra que afetaram todo o mundo, na saúde pública, economia, políticas públicas, geopolítica, acordos ambientais e planejamento energético. Até 2050, outros eventos inesperados podem ocorrer com impacto semelhante. Portanto, políticas públicas e acordos globais devem ser concebidos de forma eficaz e ágil para alcançar os objetivos pretendidos e ajustáveis a situações inesperadas. São novos desafios no planejamento, velhos desafios para a humanidade.

REFERÊNCIAS

Cao, J., Ho, M.S., Liang, H. **Household energy demand in Urban China: Accounting for regional prices and rapid income change**. Nov 30, 2014. Disponível em: https://scholar.harvard.edu/files/munho/files/hh_energy_demand_china.2014.pdf Acessado em: 06 de novembro de 2019

Chang, C.C., Chung, C.L. Greenhouse gas mitigation policies in Taiwan's road transportation sectors. **Energy Policy**. Vol 123, dez 2018, p.299-307.

Choi, J.K., Eom, J., McClory, E. Economic and environmental impacts of local utility-delivered industrial energy-efficiency rebate programs. **Energy Policy**. Vol 123, dez 2018, p.289-298.

Clancy, J.M., Curtis, J., Gallachóir, B.O. Modelling national policy-making to promote bioenergy in heat, transport and electricity to 2030 – Interactions, impacts and conflicts. **Energy Policy**. Vol 123, dez 2018, p.579-593.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Consumo Mensal de Energia Elétrica por Classe (regiões e subsistemas)**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica> Acessado em 15 de outubro de 2021

Farrell, N., Lyons, S., Who should pay for renewable energy? Comparing the household impacts of different policy mechanisms in Ireland. **Energy Res. Soc. Sci.** 7, 2015, p.31-42.

Gallopín, G. Back to the future. **Energy Policy**. Vol 123, dez 2018, p.318-324

Index Mundi. **Petróleo bruto Brent Preço Mensal - E.U. dólares por barril**. Disponível em: <https://www.indexmundi.com/pt/pre%EF7os-de-mercado/> Acessado em: 19 de abril de 2022

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Projeção da população/Tabela 7358**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/7358> Acessado em: 19 de maio de 2022a

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **População residente estimada (2021)**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/busca.html?searchword=população+atual> Acessado em: 19 de maio de 2022b

Khanna, N.Z., Guo, J., Zheng, X.Y., Effects of demand-side management on Chinese household electricity consumption: Empirical findings from Chinese household survey. **Energy Policy**, Vol 95, 2016, p.113-125.

Liu, S., Bie, Z., Lin, J., Wang, X. Curtailment of renewable energy in Northwest China and market-based solutions. **Energy Policy**, Vol 123, dez 2018, p.494-502.

Ministério de Minas e Energia (MME). Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Departamento de Informações e Estudos Energéticos. **Resenha Energética Brasileira –2018** - Mai 2019 ed.

Ministério de Minas e Energia (MME). Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Departamento de Estudos da Informação e Energia. **Resenha Energética Brasileira – Ano Base 2017** - Jun 2018 ed.

Ministério de Minas e Energia (MME). Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. **Resenha Energética Brasileira - 2016-** Jun 2017 ed.

Ministério de Minas e Energia (MME). Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. **Resenha Energética Brasileira – 2015** - Mai 2016 ed.

Ministério de Minas e Energia (MME). Núcleo de Estudos Estratégicos de Energia. **Resenha Energética Brasileira - 2014** - Jun 2015 ed.

Mishra, S.V., Gayen, A., Haque, S.M. COVID-19 and urban vulnerability in India. **Habitat International**, Vol 103, set 2020.

Pelicioni, M.C.F. **Promoção da saúde e meio ambiente: uma trajetória técnico-política**. in: Philippi Jr, A., Pelicioni, M.C.F. (editores). Educação ambiental e sustentabilidade (Coleção ambiental, v.14) 2.ed revista e atualizada - Barueri, SP: Manole, 2014. p. 477-490.

Rahbauer, S., Menapace, L., Menrad, K., Lang, H. Determinants for the adoption of green electricity by German SMEs – An empirical examination. **Energy Policy**, Vol 123, dez 2018, p. 533-543

Sovacoola, B.K. Success and failure in the political economy of solar electrification: Lessons from World Bank Solar Home System (SHS) projects in Sri Lanka and Indonesia. **Energy Policy**, Vol 123, dez 2018, p. 482-493.

Srikanth, R. India's sustainable development goals – Glide path for India's power sector. **Energy Policy**, Vol 123, dez 2018, p. 325-336.

Tolmasquim, M.T., Guerreiro, A., Gorini, R. Matriz Energética Brasileira. **Novos Estudos**, n.79, Nov. 2007, p.47-69.

Nações Unidas (NU). **Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2017)**. World Population Prospects: The 2017 Revision, custom data acquired via website. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/DataQuery> Acessado em: 30 de maio de 2022

Nações Unidas (NU). **UN predicts cities to host 70% of the world's population by 2050**. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2019/02/1660701> Acessado em: 22 de abril de 2019a

Nações Unidas (NU). **Cities: a 'cause of and solution to' climate change**. Disponível em: <https://news.un.org/en/story/2019/09/1046662> Acessado em: 22 de abril de 2019b

Nações Unidas (NU). **As urbanization grows, cities unveil sustainable development solutions on World Day**. Disponível em: <https://news.un.org/en/story/2019/10/1050291> Acessado em: 22 de abril de 2019c

Nações Unidas (NU). **UN-Habitat. UN-Habitat COVID-19 Response Plan – April 2020**. Disponível em: <https://unhabitat.org/un-habitat-covid-19-response-plan-0> Acessado em: 07 de março de 2021

World Bank (WB). **Data**. Disponível em: <https://data.worldbank.org/?locations=1W-BR> Acessado em 03 de junho de 2022

Recebido em: 05/08/2022

Aprovado em: 10/09/2022

Publicado em: 17/09/2022