

Previsão de demanda de energia a longo prazo usando o software LEAP no paramo de Santurbán: O caso de Berlín Santander após a Covid-19

Ana M. Rosso-Cerón

^aPrograma de Engenharia Ambiental, Unidades Tecnológicas de Santander, Av. Los Estudiantes #9-82, Bucaramanga-Santander, Colômbia

Álvaro E. Villamizar-Villamizar

Programa de Engenharia Química, Universidad de Pamplona, Km 1 Vía Bucaramanga Ciudad Universitaria, Berlín- Norte de Santander, Colômbia

Julieth Becerra-Rodriguez

Programa de Engenharia Química, Universidad de Pamplona, Km 1 Vía Bucaramanga Ciudad Universitaria, Berlín- Norte de Santander, Colômbia

RESUMO

Neste estudo, foram realizadas previsões de demanda de energia para consumo de eletricidade e calor em Berlín- Santander, no setor residencial da economia. Três cenários de previsão diferentes (de 2018 a 2040) foram simulados no modelo de Planejamento de Energia Alternativa de Longo Prazo. O primeiro cenário, denominado tendência usual, considerou uma taxa de crescimento média com base em dados históricos de demanda. O segundo cenário foi baseado na eficiência energética, utilizando o indicador de intensidade energética acordado no Programa para o Uso Racional e Eficiente de Energia, uma diretriz de política pública para promover o melhor uso dos recursos energéticos (fogões elétricos, uso de painéis fotovoltaicos e outras fontes de energia). Por fim, o terceiro cenário foi a tendência pós-COVID-19, baseada no grau de abertura da atividade econômica de 82% no final de 2020, atingindo 100% de abertura no quarto trimestre de 2021. Essa projeção pós-COVID-19 foi realizada na ausência de eventos semelhantes anteriores, acompanhados por um histórico estatístico. Os resultados obtidos nas previsões de crescimento são os mesmos incorporados na projeção de demanda de energia no plano nacional de energia até 2050. Estimativas de cada um desses cenários foram comparadas usando dados de uma pesquisa realizada em Berlín. Os resultados deste estudo sugerem um crescimento próximo à média nacional. No entanto, a composição da matriz energética mudará, de modo que a eletricidade será a forma de energia mais consumida, seguida por GLP, gás natural e madeira.

Palavras-chave: Consumo de eletricidade, Intensidade energética, Berlín Santander.

1 INTRODUÇÃO

Na região dos Andes, os páramos, como o páramo de Santurbán na Colômbia, desempenham um papel crucial na captação de água da névoa e no abastecimento das terras baixas. Cerca de dois milhões de pessoas na Colômbia dependem de Santurbán para suas necessidades de água doce. Essa dependência é especialmente significativa para setores vizinhos, incluindo a cidade de Berlín, localizada entre 2800-4290 metros acima do nível do mar no Departamento de Santander da Colômbia. Com uma população de



aproximadamente 2.507 habitantes, a economia de Berlim está predominantemente vinculada a atividades turísticas e agricultura.

O desenvolvimento econômico das regiões de páramo é essencial, mas a pandemia de COVID-19 tem apresentado desafios severos ao longo do tempo. Medidas significativas de mitigação da pandemia em países em desenvolvimento resultaram em repercussões econômicas, incluindo reduções de renda, aumento do desemprego e interrupções nos setores de transporte, serviços e manufatura. No que diz respeito à energia, a pandemia impactou negativamente o consumo mensal de eletricidade no setor residencial, enquanto outros setores, predominantemente industrial e comercial, registraram quedas, indicando uma queda geral nas atividades econômicas durante o ano inicial da pandemia. Essa mudança nos padrões de consumo de eletricidade pode gradualmente aumentar a demanda de energia, dada a predominância do setor residencial no consumo de eletricidade do país, especialmente durante crises prolongadas (Bahmanyar et al., 2020).

A atenção global tem se concentrado em projeções de demanda de energia pós-COVID-19, com estudos recentes, incluindo um de García-Rendon et al (2023), examinando transformações pós-pandêmicas nos padrões de consumo de energia. Tendências esperadas incluem o impacto persistente do trabalho remoto e das tecnologias digitais na demanda de eletricidade em ambientes residenciais e comerciais (Smith et al., 2021). Além disso, uma crescente conscientização ambiental pode impulsionar a preferência por fontes de energia renovável (IEA, 2022). Essas análises desempenham um papel crucial na compreensão da paisagem energética pós-pandêmica, informando estratégias de planejamento e orientando políticas governamentais.

Estudos na Europa examinaram o impacto da pandemia de COVID-19 no uso de eletricidade, como a análise comparativa de Bahmanyar et al. (2020), que revelou que países com lockdowns rigorosos experimentaram uma redução no uso de eletricidade em setores comerciais e industriais, ao mesmo tempo que houve um aumento no consumo residencial de eletricidade. No geral, o consumo de eletricidade no primeiro ano da pandemia reduziu em 1,04% em comparação com as taxas entre 2016 e 2019.

Estudos semelhantes na América Latina sobre previsões de oferta e demanda de eletricidade existem para países como Equador (Rivera-González et al., 2019) e México (Toledo et al., 2021).

Na Colômbia, as projeções de demanda de eletricidade e calor pós-COVID-19 tornaram-se áreas críticas de pesquisa. Investigações, incluindo o estudo da UPME, uma referência nacional em diversos estudos (García-Rendon et al. 2023). As mudanças previstas na demanda são influenciadas por fatores como processos industriais em evolução e alterações nos comportamentos do consumidor relacionados ao PROURE. Este programa, atuando como um quadro de política pública, visa incentivar o uso racional e eficiente dos recursos energéticos, incorporando a adoção de fogões elétricos, fontes de energia alternativas como o GLP e soluções de energia sustentável. Análises do Ministério de Minas e Energia da Colômbia



forneem insights sobre aspectos socioeconômicos, como o PIB, impactando a demanda de eletricidade e calor, cruciais para o planejamento futuro de energia na era pós-COVID.

No contexto dos Páramos colombianos, a energia sustentável é fundamental para o desenvolvimento econômico. No entanto, essas áreas carecem de dados confiáveis sobre recursos energéticos e enfrentam desafios em previsões de demanda a longo prazo, dificultando a formulação eficaz de políticas energéticas.

Este estudo destaca-se por sua exploração inovadora de projeções de demanda de eletricidade e calor pós-COVID-19 no setor residencial de Berlín de Santander de 2018 a 2040. Usando o modelo LEAP, foram simulados três cenários: uma "tendência usual" com taxas médias de crescimento, um comportamento "energeticamente eficiente" alinhado com o índice de intensidade energética do PROURE e uma tendência pós-COVID-19 refletindo a abertura econômica. Apesar da crescente incerteza nas previsões, abaixo de 15%, os resultados indicam uma tendência de crescimento semelhante à média nacional, com uma mudança para a eletricidade como principal fonte, seguida por gás natural, madeira e GLP. Essas descobertas estão alinhadas com o plano nacional de energia 2050, apoiado por avaliações comparativas usando dados de pesquisa em Berlín. A novidade do estudo está na exploração de projeções pós-COVID-19, enfatizando o impacto do programa PROURE e oferecendo insights valiosos para a formulação de políticas futuras na dinâmica do cenário energético. Ao analisar a interação entre estruturas de políticas públicas e iniciativas de energia sustentável, esta pesquisa não apenas adiciona uma camada de singularidade, mas também oferece insights cruciais para moldar formulações de políticas futuras no cenário energético em constante evolução.

2 METODOLOGIA

O sistema LEAP, uma ferramenta de software integrada, facilita o planejamento energético, a avaliação das mudanças climáticas e a análise de custos dentro de um período específico. Isso envolve a criação de cenários alternativos, cada um com informações exclusivas, permitindo uma análise da demanda de energia com base em dados demográficos e macroeconômicos para a área de estudo (Heaps, 2019). A análise da demanda total de consumo de energia é definida pela Equação (1):

$$EC_i = \sum AL_i(t) \times TE_i(t) \text{ (Eq. 1)}$$

2.1 ESTRUTURA DO MODELO LEAP PARA BERLÍN E VALORES DE REFERÊNCIA

No período de 2018 a 2040, o sistema de software LEAP analisou a previsão de demanda de energia a longo prazo, incorporando dados históricos e estatísticos a partir de 2018 como ano base. Os dados de entrada abrangeram o crescimento populacional, o PIB, estatísticas anuais e multianuais do Setor Elétrico Colombiano, consumo anual de eletricidade e gás natural, e índice de intensidade energética, provenientes de organizações públicas como DANE, UPME (especificamente o plano nacional de energia 2050 e



PROURE) e o banco de dados SUI. A descrição detalhada para a elaboração de cenários no modelo LEAP é fornecida na seção 2.2, apoiando a perspectiva até 2040.

A Tabela 1 mostra alguns dos parâmetros, valores de referência e suposições para 2018

Tabela 1. Suposições e valores base para o ano de referência (2018).

Parâmetro	Descrição
População 2018	6680 pessoas
Eletricidade	512467 kWh (SUI, 2022)
Calor	31867 kWh (SUI, 2022)
Urbana	96.4% (SUI, 2022)
Rural	2.11% (SUI, 2022)

2.2 PRINCIPAIS ASSUNÇÕES NO MODELO LEAP E DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS

O primeiro cenário, denominado "tendência usual", considerou a taxa média de crescimento dos últimos dez anos derivada dos dados históricos de demanda de eletricidade e calor da SUI para Berlín, com relação ao consumo de calor, a participação é de 58% lenha, 31% gás natural e 11% GLP.

O segundo cenário focou na eficiência energética, alinhando-se com o índice de intensidade energética estabelecido no Programa para o Uso Racional e Eficiente de Energia (PROURE). O índice de intensidade energética, entendido como a relação entre o consumo de energia (calor ou eletricidade) sobre o PIB, foi utilizado como dados para a série temporal no LEAP. Isso se traduz em um aumento anual na intensidade energética entre 0,35 e 0,95 no caso da demanda de eletricidade. As alternativas identificadas para melhorar a eficiência energética incluem a atualização de equipamentos de refrigeração e a substituição de luminárias ineficientes por LED. Em relação à demanda de calor, o maior desafio é reduzir as perdas de cozimento devido ao uso de lenha. Inicialmente, há uma participação de calor, excluindo eletricidade, que seria de 58% lenha, 31% gás natural e 11% GLP, variando ao longo do tempo, reduzindo o consumo de lenha para 41% em 2025 e 20% em 2030, substituindo-o por GLP.

O terceiro cenário, denominado "tendência pós-COVID-19", foi executado na ausência de eventos históricos semelhantes, fundamentado por dados estatísticos. Assim, a intensidade energética foi usada como um fator determinante do ponto de vista socioeconômico. Essa relação foi calculada como a relação entre o consumo histórico de energia sobre o PIB, estabelecida a partir do plano nacional de energia até 2050, onde o PIB foi fixado no grau de abertura da atividade econômica, refletindo um nível de abertura de 82% no final de 2020, com a continuidade do trabalho remoto e atingindo 100% de abertura no quarto trimestre de 2021, com uma parte mínima da população em trabalho remoto, apenas 5%. Além disso, este cenário propõe melhorias na eficiência da demanda de calor com a substituição de luminárias incandescentes por 60% de lâmpadas fluorescentes compactas e 40% de LED até 2025; e 100% de LED até 2030.

2.3 VALIDAÇÃO DE DADOS PROJETADOS ATÉ 2022

As previsões de demanda de cada cenário foram comparadas usando os dados anuais de demanda de energia da cidade provenientes de uma pesquisa realizada por Becerra-Bayona (2024), que utilizou uma malha estatística para realizar testes no setor residencial de Berlín e avaliar o uso final de eletricidade e calor após a COVID-2019. A partir de 2022, o consumo médio de eletricidade é de 2400 GJ com um uso médio de 15.213 h, e o consumo de calor é de 158 GJ.

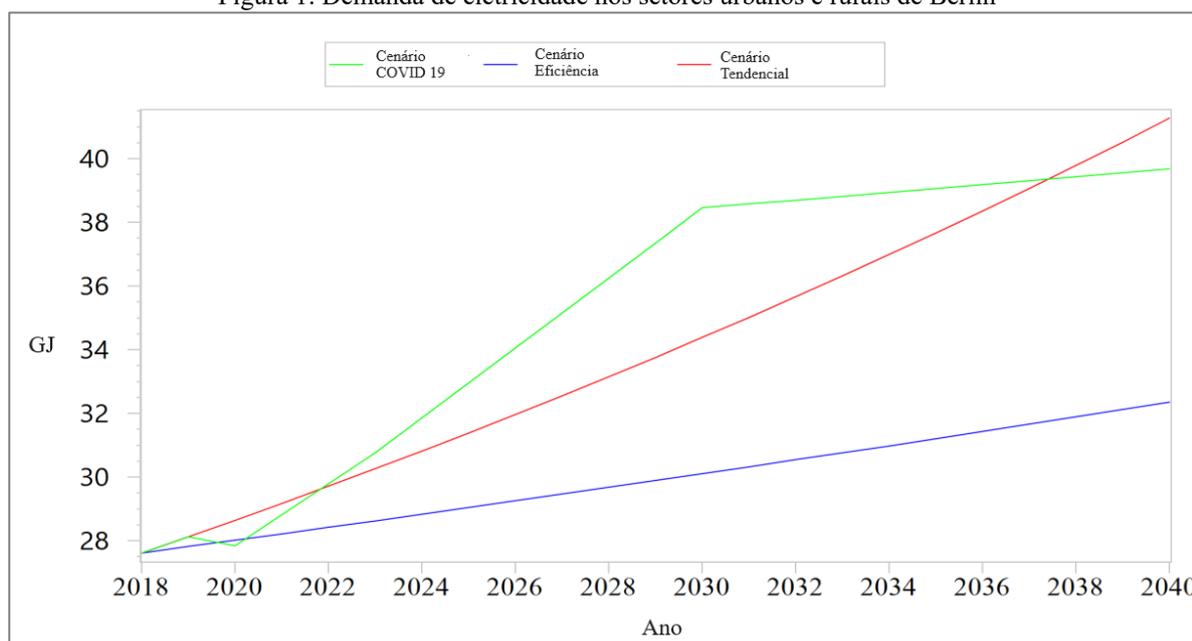
3 RESULTADOS E ANÁLISES

Esta seção ilustra os resultados da demanda de energia para o cenário de tendência usual, enfatizando a importância do planejamento estratégico de energia, enquanto as iniciativas de eficiência energética visam combater essa tendência. Finalmente, o cenário pós-COVID-19 reflete mudanças notáveis nas taxas de crescimento anual vinculadas às variações do PIB.

3.1 PREVISÃO DE DEMANDA DE ELETRICIDADE

Na Figura 1, a tendência usual para a demanda de eletricidade nos setores urbanos e rurais de Berlín é evidente, atingindo uma demanda de 3368,4 GJ em 2040. A taxa de crescimento anual para ambos os setores é de aproximadamente 1,84%, indicando um aumento persistente na demanda residencial de eletricidade ao longo da última década. Isso destaca a necessidade de um planejamento estratégico de energia para lidar com demandas crescentes, exigindo expansões de infraestrutura, adoção de tecnologias eficientes e implementação de políticas que promovam a sustentabilidade.

Figura 1. Demanda de eletricidade nos setores urbanos e rurais de Berlín





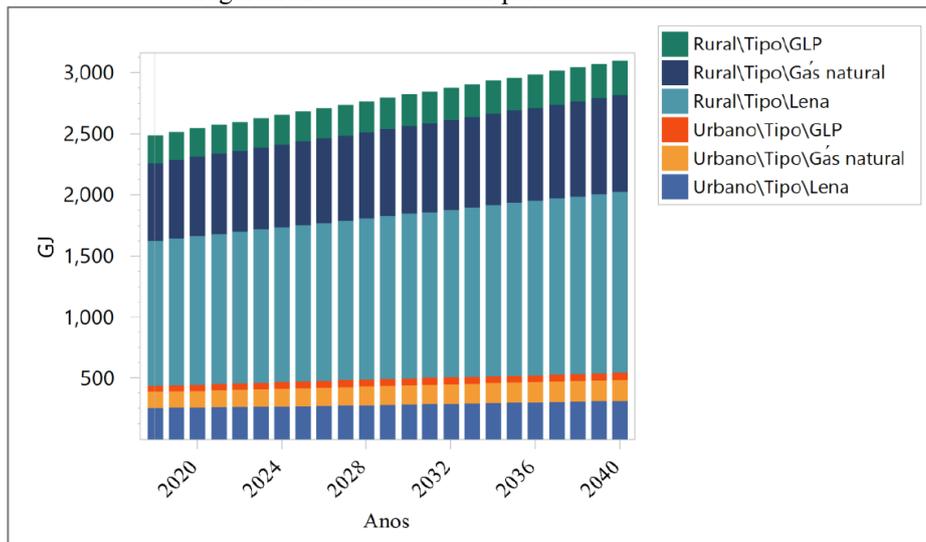
No cenário de eficiência energética para as áreas urbanas e rurais de Berlim, uma abordagem distintiva visa reduzir a demanda de eletricidade, alcançando 2641,0 GJ em 2040. Aplicando um índice de intensidade energética do PROURE, a trajetória mostra um padrão único com aumentos anuais variando de aproximadamente 0,67% inicialmente para cerca de 0,72% posteriormente na previsão para ambos os setores rurais e urbanos. A extrapolação dessas taxas resulta em um crescimento cumulativo estimado na demanda de eletricidade de cerca de 21,7% para áreas urbanas e 17% para áreas rurais. A estratégia envolve a atualização de equipamentos de refrigeração e a substituição de luminárias ineficientes pela tecnologia LED, antecipando melhorias de eficiência de 30% a 40%, proporções semelhantes às obtidas em pesquisas como Shahzad et al. (2016). Além disso, essas inovações visam reduzir significativamente o consumo de energia, promovendo uma abordagem mais sustentável e consciente do meio ambiente em Berlim.

O cenário de tendência pós-COVID-19 para a demanda de eletricidade mostra dinâmicas significativas, atingindo 3008,8 GJ em 2040. Em 2020, taxas de crescimento negativas, refletindo o impacto imediato da pandemia, levaram a uma redução de aproximadamente -6,9% na demanda de eletricidade tanto em áreas urbanas quanto rurais devido ao fechamento de atividades de turismo y agricultura, o que teve um alto impacto na cidade de Berlim devido à falta de turistas em lá pandemia, que levou grande parte da população a migrar para outras áreas do país. No entanto, em 2021, houve um ressurgimento resiliente com uma taxa de crescimento de cerca de 3,7%, alinhando-se com a recuperação pós-pandemia. A taxa média de crescimento calculada, derivada de comparações anuais, indica uma métrica estável, com média de aproximadamente 3% até 2022, significando as fases iniciais da recuperação e a tendência antecipada. Isso está alinhado com as projeções nacionais da UPME (2022), que preveem um crescimento anual variando entre 2,21% e 3,38% para o período de 2022 a 2036. Ao examinar as taxas de crescimento cumulativo até 2030 e 2040, emerge uma compreensão abrangente da trajetória da demanda de eletricidade de Berlim. Isso destaca a importância da implementação de estratégias adaptativas diante de eventos sem precedentes, ao mesmo tempo em que promove a sustentabilidade no setor de energia.

3.2 PREVISÃO DE DEMANDA DE CALOR

No cenário de tendência de Berlim (Figura 2), a avaliação do consumo de calor revela insights, projetando 3.096,1 GJ em 2040. Destaca-se uma taxa de crescimento de 23,7% na demanda para a zona urbana e 28,6% para a zona rural. Segundo a UPME (2020), na zona urbana, houve um aumento de 64,62% no consumo de gás natural, uma diminuição de 2,52% no consumo de lenha e um aumento de 92,05% no consumo de gás propano. Na zona rural, observou-se uma diminuição de 4,5% no consumo de lenha, um aumento de 32,96% no consumo de gás natural e um aumento de 84,95% no consumo de gás propano.

Figura 2. Demanda de calor para cenário tendencial



No cenário de eficiência representado na Figura 3, a demanda anual projetada para 2040 é de 3.096,1 GJ. Na zona urbana, essa demanda experimentou um aumento de 23,7% entre 2018 e 2040. Segundo as diretrizes do "Plano Energético Nacional 2020 e 2050" (UPME, 2020), o consumo de gás propano aumentou 64% até 2025, enquanto o consumo de gás natural apresentou um aumento de 4,88%, e o consumo de lenha diminuiu 34,3%. Para 2030, projeta-se que o consumo de gás propano aumente 69%, o de lenha diminua 28%, sendo substituído pelo uso de gás propano, e o consumo de gás natural apresente um aumento de 11,24%.

Na zona rural, a taxa de crescimento do consumo é de 28,6%. Estima-se um aumento no consumo de gás propano de 67%, lenha de 37,3% e gás natural de 3,6% até 2025. Para 2030, espera-se que o consumo de gás propano aumente 70,3%, enquanto o consumo de lenha diminui 26%, resultando em um aumento no consumo de gás propano. Por outro lado, o consumo de gás natural aumentaria 7,2%.

No cenário pós-COVID (Figura 4), a demanda é de 3.347,9 GJ, com um aumento de 31,4% na zona urbana e 34,5% na zona rural entre 2018 e 2040. Foram observadas taxas de crescimento anual de 2,3% para a zona urbana e 2,76% para a zona rural em 2040. A taxa de crescimento esperada para o setor urbano é de 2,76%, e no setor rural, 2,97%, com taxas acumuladas de 58,6% e 53% nos setores urbano e rural, respectivamente.

Essas projeções apontam para mudanças significativas na demanda de calor em Berlín, destacando tanto as tendências atuais quanto as estratégias de eficiência e os impactos do cenário pós-COVID no consumo de calor na cidade.

Neste ponto, é relevante mencionar que, para as projeções de consumo de eletricidade e calor até 2023, os dados foram validados por meio da pesquisa conduzida por Becerra-Rodríguez (2024).

Figura 3. Demanda de calor para cenário de eficiência

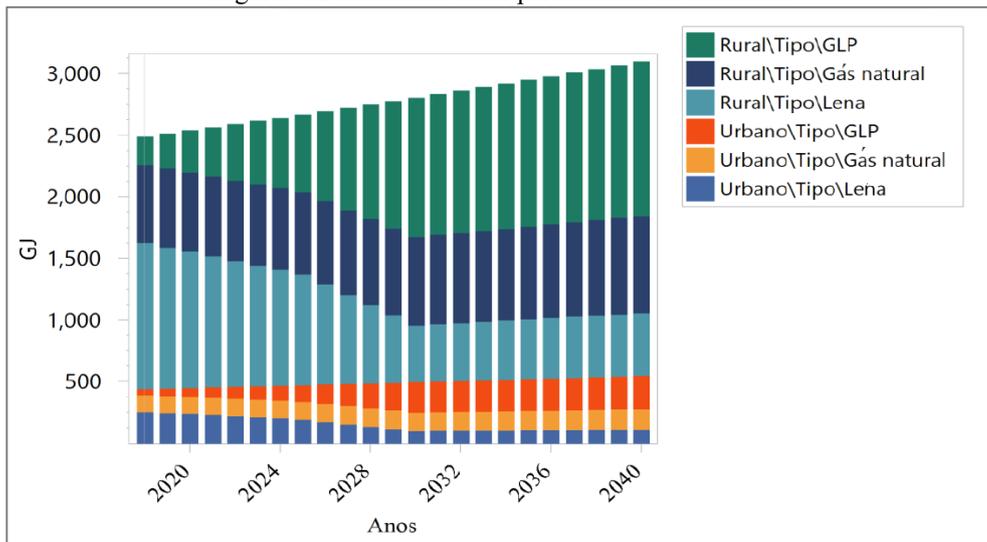
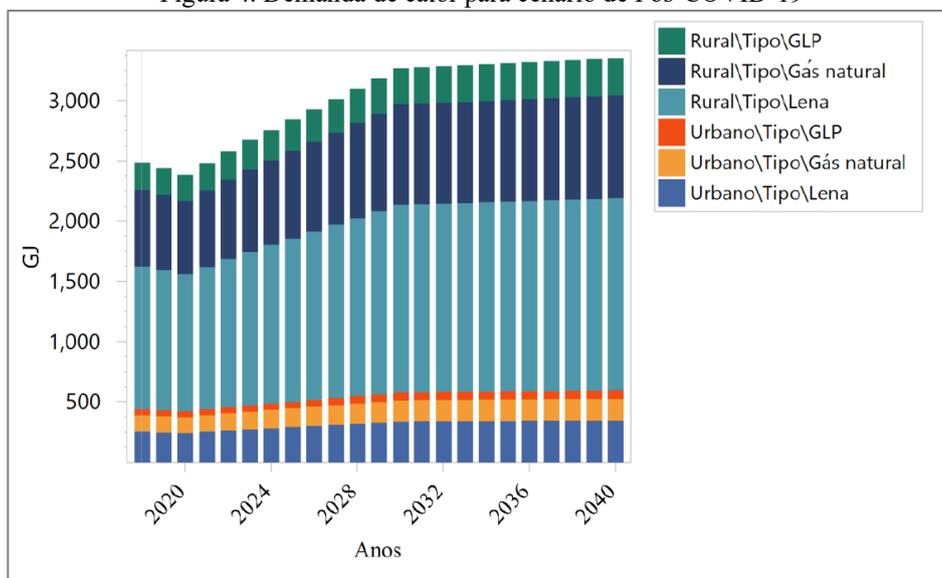


Figura 4. Demanda de calor para cenário de Pós-COVID-19



4 CONCLUSÕES

As projeções de demanda de energia para Berlín evidenciam uma constante trajetória de crescimento tanto no consumo de eletricidade quanto de calor em diversos cenários. O cenário de tendência convencional destaca a urgência de um planejamento estratégico de energia para lidar com o contínuo aumento na demanda de eletricidade residencial, demandando expansões na infraestrutura, adoção de tecnologias e implementação de políticas sustentáveis. Iniciativas voltadas para o aprimoramento da eficiência energética, através de abordagens inovadoras como a atualização de equipamentos e a implementação de tecnologia LED, visam conter o crescente consumo de eletricidade. Já o cenário pós-COVID-19 introduz dinâmicas significativas, com uma resiliência notável na demanda de eletricidade após a queda provocada pela



pandemia em 2020. As taxas de crescimento acumulado ressaltam a importância de estratégias adaptativas e medidas sustentáveis para navegar por incertezas e fortalecer um setor de energia resiliente.

No que diz respeito à previsão de demanda de calor, o cenário de tendência para Berlim aponta para um aumento robusto, destacando a necessidade premente de fontes de energia sustentáveis. Já o cenário de eficiência revela uma transição estratégica alinhada aos objetivos ambientais, reduzindo a dependência de lenha. Após o impacto da COVID-19, a região experimenta uma notável redução no consumo de calor em 2020, seguida por uma vigorosa recuperação, indicando um compromisso com a retomada e o crescimento. As taxas de crescimento acumulado ressaltam a adaptabilidade da paisagem energética de Berlim e seu empenho na promoção da sustentabilidade. É relevante destacar que a validação das projeções de consumo de eletricidade e calor até 2022 foi assegurada por meio de uma pesquisa conduzida por Becerra-Rodríguez (2024), conferindo robustez aos resultados apresentados.

NOMENCLATURA

AL – nível de atividade social ou econômica, %

EC – consumo total de energia para um setor, GJ

PIB – produto interno bruto

i – setor específico

LGP – gás liquefeito de petróleo

LEAP – planejamento de alternativas de energia a longo prazo

UPME – unidade de planejamento de mineração de energia

SUI – sistema de informação único

t – período, ano

TE – consumo final total de energia, GJ



REFERÊNCIAS

Bahmanyar, A., Estebansari, A., & Ernest, D. (2020). The impact of different COVID-19 containment measures on electricity consumption in Europe. *Energy Research & Social Science*, 68, 1-4.

Becerra-Rodríguez J. (2024). Estimación de potencial de recursos de energía renovable y requerimientos energéticos con proyección al año 2040 de electricidad y calor para tres casos de estudio en el Páramo de Santurbán, mediante el uso del software LEAP (In Spanish). Trabajo de Grado, Universidad de Pamplona, Colombia.

DANE. (2020). Population projections and retroprojections for the period 1985-2017 (In Spanish). Disponible en: <www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion> Accedido el 14.09.2022.

García-Rendon, J., Rey Londoño, F., Arango Restrepo, L. J., & Bohorquez Correa, S. (2023). Sectoral analysis of electricity consumption during the COVID-19 pandemic: Evidence for unregulated and regulated markets in Colombia. *Energy*, 268, 126614.

Heaps, C.G. (2019). Long-range Energy Alternatives Planning (LEAP) system. Stockholm Environment Institute. Disponible en: <www.energycommunity.org> Accedido el 25.4.2021.

International Energy Agency. (2022). Disponible en: <www.iea.org/reports/renewables-2022> Accedido el 14.09.2023.

PROURE. (2022). Disponible en: <www.1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PROURE/Documento_PROURE_2022-2030_v4.pdf> Accedido el 22.09.2023.

National Energy Plan, 2050 (In Spanish). Disponible en: <www.1upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2020_2050/Plan_Energetico_Nacional_2020_2050.pdf> Accedido el 10.10.2023.

Rivera-González, L., Bolonio, D., Mazadiego, L.H., & Valencia-Chapi, R. (2019). Long-Term Electricity Supply and Demand Forecast (2018–2040): A LEAP Model Application towards a Sustainable Power Generation System in Ecuador. *Sustainability*, 11, 1-19.

Toledo, D., Rodriguez-Martinez, A., Cerezo, J., Hernandez, G., Romero, R. J., & Lechon, Y. (2021). Mexican Power System to 2050: Sustainability Assessment with an Energy Model. *Chemical Engineering Transactions*, 86, 481-486.

Shahzad, K., Čuček, L., Sagir, M., Nizami, A.S., Iqbal, T., Almeelbi, T., & Ismail, I. (2016). A Case Study for Developing Eco-efficient Street Lighting System in Saudi Arabia. *Chemical Engineering Transactions*, 52, 1141-1146.

Smith, J., Brown, A., & Johnson, M. (2021). Remote Work and Its Impact on Residential Energy Demand: A Case Study. *Journal of Energy Economics*, 33(4), 567-584.

SUI. (2022). Tool O3 (In Spanish). Disponible en: <bi.superservicios.gov.co/o3web/browser/showView.jsp?viewDesktop-



=true&source=SUI_COMERCIAL_ENERGIA/VISTA_FACTURACION_ENERGIA%23_public>
Accedido el 24.08.2023.

UPME. (2022). Energy Demand Projection Report 2022-2036 (In Spanish). Disponible en: <
[//www1.upme.gov.co/Demanday-Eficiencia/Documents/Informe_proyeccion_demanda_energeticos.pdf](http://www1.upme.gov.co/Demanday-Eficiencia/Documents/Informe_proyeccion_demanda_energeticos.pdf)>
Accedido el 24.01.202.