

# Potencialidades do Planejamento Energético Local na redução da desigualdade na cidade de São Paulo

Flávia Mendes de Almeida Collaço<sup>I</sup>  
Célio Bermann<sup>II</sup>

<sup>I</sup> Instituto de Estudos Avançados (IEA-USP), São Paulo, SP, Brasil.

<sup>II</sup> Instituto de Energia e Ambiente (IEE-USP), São Paulo, SP, Brasil.

**Resumo:** Este artigo analisa o potencial do Planejamento Energético Local (PEL), conjunto de estratégias de energia no âmbito urbano, na cidade de São Paulo (período 2014 – 2030), através de modelo de simulação para quantificar os impactos da implementação destas estratégias no sistema energético da cidade segundo três indicadores: demanda de energia, % de uso de fontes renováveis e emissões de gases de efeito estufa (GEE). O desempenho das estratégias de PEL foi analisado segundo dois cenários: o primeiro reproduz as políticas vigentes na cidade e o segundo amplia o acesso da população aos serviços de energia. Considerando a implementação de PEL no primeiro cenário, a cidade alcançará, em 2030, 65% de energia renovável e redução de 43% das emissões de GEE. Se as mesmas estratégias forem implementadas no segundo cenário, 67% da participação de energia renovável será alcançada com uma redução de 24% nas emissões quando comparadas a 2014.

**Palavras-chave:** Cidade; Modelo de simulação LEAP; Desigualdade; Descentralização; Energia.

São Paulo. Vol. 24, 2021

Dossiê especial: Territórios da Energia

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200059r2vu2021L3DE>

## Introdução

Pesquisas tem associado a crescente urbanização mundial, caracterizada pela concentração de demanda de energia e recursos, como fator responsável pelo consumo de 2/3 da energia primária global e por 60-80% das emissões totais de CO<sub>2</sub> (ROSALES CARREÓN; WORRELL, 2018; YAZDANIE; DENSING; WOKAUN, 2017). Tal correspondência mostra a necessidade de atuação sinérgica entre duas áreas distintas, a de Energia e a do Urbanismo (COLLAÇO, 2019).

Segundo, Yazdanie, Densing e Wokaun (2017) as cidades tornaram-se locais estratégicos para implementação de iniciativas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, que podem ser formuladas de forma otimizada e contextualizada, após compreensão sobre os sistemas de energia urbanos (SEU) (YAZDANIE; DENSING; WOKAUN, 2017).

No entanto, o SEU das cidades ainda é pouco conhecido. Principalmente falta conhecimento sobre o perfil detalhado da oferta de energia, e particularmente, do potencial local para provisão de recursos energéticos das cidades (COLLAÇO et al., 2019a). Dessa forma, as regiões urbanas passam a constituir âmbito importante de atuação na busca pela redução das desigualdades sociais, através do aumento do acesso à energia para toda a população urbana, melhorando o bem-estar social (RUTTER; KEIRSTEAD, 2012).

São variadas as publicações científicas que fazem uso de ferramentas de modelagem para investigar o potencial do planejamento energético nas cidades (SAMSATLI; SAMSATLI, 2018). Peng et al. (2015) utilizou o LEAP para estudar cenários de transporte urbano de passageiros em Tianjin e o impacto na redução de emissões. Já Yang et al. (2017) e Zhang; Feng; Chen, (2011) investigaram o impacto de políticas de baixo carbono para cidades na China. Finalmente, Collaço et al. (2019b, 2019a) fez uso do modelo LEAP\_SP, aplicado a cidade de São Paulo, para quantificar as sinergias da integração entre as estratégias do Planejamento Urbano ao Planejamento Energético em temas de emissões de GEE, uso de recursos fósseis versus renováveis e do aumento da geração de energia local. O presente estudo utiliza o modelo LEAP\_SP (período de análise 2014 – 2030) desenvolvido por Collaço et al. 2019a, para analisar possíveis cenários de desenvolvimento para a cidade de São Paulo (Brasil), divididos em 2 opções de trajetória de inclusão, o *Business as Usual* (BAU) e Cidade Mais Inclusiva (CMI), que foram simulados segundo duas variações: a de manutenção da situação vigente (Histórico) e a que implementa um pacote de 17 metas de PEL, resultando em quatro cenários para o desenvolvimento da análise: *Business as Usual* – histórico (BAU-H), *Business as Usual* – PEL (BAU-PEL), Cidade Mais Inclusiva – histórico (CMI-H) e Cidade Mais Inclusiva- PEL (CMI-PEL).

O desempenho de cada cenário é analisado por meio dos resultados em aumento de participação de energia renovável, de economia de energia e da redução das emissões de GEE. Buscando dessa forma, contribuir para a construção do conhecimento sobre o estabelecimento de cidades menos desiguais no acesso aos serviços e menos dependentes de recursos, fluxos de energia e materiais externos ao seu território.

## Planejamento de Energia e as Cidades

Os centros urbanos precisam implementar estratégias para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> e considerar uma atuação em planejamento energético local (COLLAÇO et al., 2020; COLLAÇO; BERMANN, 2017). Segundo Covenant of Mayors (2014), a transição dos sistemas energéticos atuais deve ocorrer também por meio da redução da dependência energética das cidades, o que demanda um melhor e maior entendimento sobre os SEUs.

Existe corpo expressivo de trabalhos que apresenta diferentes elementos, fatores estruturais, mecanismos e padrões de urbanização que afetam a nossa forma de nos relacionarmos com o ambiente, implicando também no maior ou menor consumo de energia nas cidades. E segundo Jovanovic et al., (2010) e Collaço (2019), integrar o planejamento urbano ao planejamento energético é uma forma de construir cidades mais sustentáveis, pois pode ocasionar ganhos em termos de conservação de energia (CE), eficiência energética (EE) e menores emissões de GEE e poluentes (KEIRSTEAD; CALDERON, 2012). Também pode desenvolver alternativas de produção de energia no âmbito local (ADHIKARI et al., 2012; COLLAÇO, 2019).

No caso do Brasil, em decorrência de suas próprias características, tais como a prerrogativa exclusiva sobre a atuação do âmbito federal em Planejamento Energético, a Política Energética nacional ignora a atuação e o potencial de aplicação do planejamento energético local, tanto no que diz respeito ao seu impacto, quanto de sua potencialidade (COLLAÇO, 2019).

## Materiais e Métodos

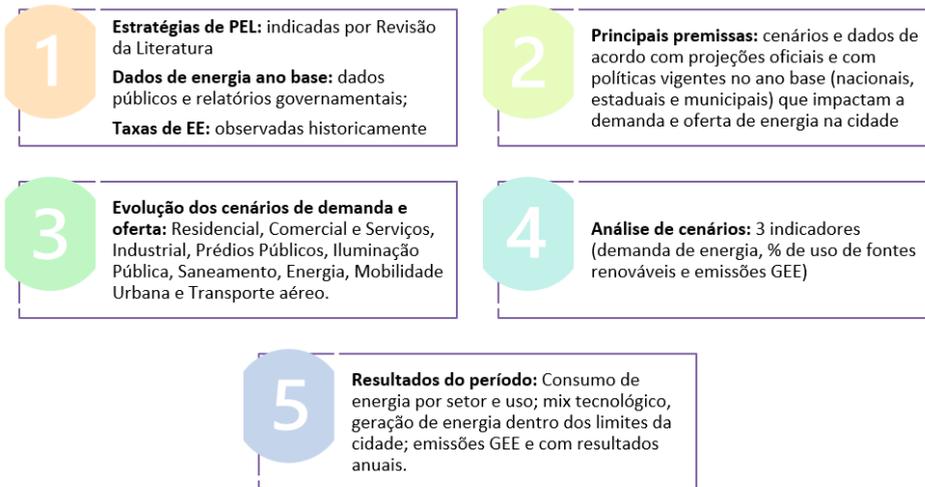
Toda informação coletada refere-se as atividades que ocorrem dentro dos limites da cidade de São Paulo, compondo análise do fornecimento de energia primária e o consumo de energia nos setores residencial, público (edifícios e iluminação), comercial e de serviços (C&S), industrial, de saneamento, de mobilidade urbana (MU), transporte aéreo, além do próprio consumo de energia do setor energético, que considera o consumo interno de eletricidade para as atividades de transmissão, distribuição e gás natural para cogeração. O modelo referido neste trabalho é apresentado em detalhe pelo artigo Collaço et al. (2019a).

Foram levantados dados e informações sobre demanda, oferta e transformações de energia para o ano-base de 2014 (o primeiro ano de análise escolhido pela modeladora). No caso do modelo LEAP desenvolvido para a cidade de São Paulo (LEAP\_SP), a configuração do ano base<sup>1</sup> assim como as premissas macroeconômicas dos dois cenários (BAU e CMI), exprimem a situação socioeconômica da população e das políticas urbanas e energéticas no ano de 2014. A evolução futura dos cenários segue projeções oficiais de demanda que considera diferentes indicadores por setor. As informações sobre as tecnologias de uso final de energia foram estimadas com base nas taxas de propriedade observadas para a região Sudeste (ELETROBRAS; PROCEL-INFO, 2007). Tais dados foram cruzados com dados

1 - O ano de 2014 foi escolhido como ano base pois foi o ano com dados mais atuais e de início do processo de modelagem. Ademais, o período de análise (2014-2030) é um período condizente com o estipulado pela Agenda 2030 (ONU, 2015) e de revisão de metas brasileiras do Acordo de Paris (2015).

do último censo nacional (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010) e com os dados socioeconômicos da cidade (SMDU; DEINFO, 2014). Da mesma forma, as informações sobre os serviços de energia da cidade levaram em conta diferentes documentos de planejamento urbana e de energia, para mais informações sobre os dados ver Collaço et al., (2019a). A Figura 1 apresenta uma visão geral do modelo LEAP.

Figura 1 - Overview do LEAP\_SP



Fonte: adaptado de Collaço et al., 2019a.

Também foram inseridas informações sobre o potencial para geração local de energia, à saber: solar fotovoltaica, importações de derivados de petróleo, central geradora hidráulica (CGH), biomassa e biogás proveniente de poda, Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), pecuária urbana, agricultura urbana e potencial de saneamento e cogeração.

Para o cálculo do potencial solar fotovoltaico foi considerado a capacidade atual instalada dentro da cidade (até março de 2018), segundo dados do Banco de Informações de Geração (BIG) da Aneel, e da Secretaria de energia do Estado de São Paulo (2013a). Para o potencial hidráulico, foi considerado apenas a estratégia de retrofit/recapacitação e a modernização da unidade existente na cidade (CGH), segundo Bianchi (2002). Para eletricidade proveniente de biomassa e biogás, considerou-se os recursos de podas e da manutenção das áreas verdes da cidade (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2014; PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 2010; REDE NOSSA SÃO PAULO, 2014), da biodigestão da fração orgânica dos RSU, dos resíduos da produção agrícola e pecuária da cidade e do processo de saneamento (JACOBI; BESEN, 2011; SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTACIMENTO, 2009; SILVA et al., 2015). Todo os parâmetros técnicos são descritos com mais detalhe em Collaço et al., 2019a.

Os dados de evolução histórica do consumo de recursos energéticos (de 2007-2017) foi considerada para estimar a demanda futura de energia para cada setor, segundo dados disponibilizados pela Secretaria de Energia e Mineração do estado de São Paulo (SECRETARIA DE ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017). As perdas para o sistema de distribuição de eletricidade de São Paulo correspondem à taxa de perdas de 14% no ano-base, considerando a região sudeste (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016). A energia não comercial não foi incluída na análise.

O modelo não considera as emissões de CO<sub>2</sub> de produtos e energéticos importados para a cidade, com exceção da eletricidade produzida dentro da cidade. Para tanto consideramos as emissões de CO<sub>2</sub> da importação de eletricidade da rede nacional para a cidade, cujo o fator de emissão assumido foi mantido constante até 2030 (0,11 tCO<sub>2</sub>/MWh, fator médio de emissão anual calculado entre 2013 e 2017 segundo MCTIC, 2017). Esse fator de emissão foi aplicado aos resultados das emissões da cidade para cada cenário, de forma a incluir as emissões de GEE associadas às importações de eletricidade na cidade (COLLAÇO et al., 2019a).

Alguns setores não foram direcionadas e simuladas estratégias, como é o caso do transporte aéreo e do setor energético. Também não foram simuladas estratégias para todos os usos finais e tecnologias de energia (ou seja, cocção e transporte vertical, motocicleta, trens e metrô), isso porque não existiam dados locais para esses setores e usos finais na época em que o modelo foi desenvolvido. O LEAP\_SP é de 2014 (ano-base) até 2030 (ano final) e fornece resultados anuais, sem resolução temporal sub-anual. Mais detalhes metodológicos podem ser consultados em Collaço, et al. 2019<sup>a</sup>.

### Cenários simulados no LEAP\_SP

Como apresentado, foram simulados 4 cenários distribuídos em 2 opções de trajetória de inclusão, ou de desenvolvimento socioeconômico (BAU e CMI) segundo 2 perspectivas de adoção de políticas (H e PEL), para analisar potencial de economia de energia, % de uso de fontes renováveis e de redução das emissões de GEE. Os cenários simulados foram:

- BAU – no qual as taxas de cobertura e de acesso aos serviços da cidade (percentual de iluminação pública, de cobertura do saneamento ambiental, do índice de mobilidade urbana, de uso final de energia, entre outros) foram mantidos tal como foram observados no ano base (2014) até o final do exercício de simulação em 2030;
- CMI – no qual as taxas de cobertura e de acesso aos serviços foram alteradas para simular o aumento do acesso aos serviços energéticos da cidade, seja pela (i) universalização do acesso aos serviços- 11% da população paulistana, segundo o CENSO de 2010 (SMDU; DEINFO, 2014), vive em habitações subnormais estando excluída do processo formal de acesso aos serviços públicos, equivalente a mais de 1 milhão de pessoas;

seja pelo (ii) aumento do percentual da cobertura dos serviços públicos municipais que ainda não estão integralmente provisionados na cidade no cenário BAU, tal qual a taxa de coleta e tratamento de esgoto.

As duas opções de desenvolvimento socioeconômico foram analisadas sobre duas variações – a de manutenção da atual situação da política energética vigente (H), ou seja, sem a implementação de estratégias locais de planejamento; e a que implementa um pacote de 17 metas de políticas de energia (PEL) apresentados pelo Quadro 1. Essas políticas consideram substituição tecnológica e eficiência energética, substituição de combustíveis e promoção da geração local de energia (solar térmica e eletricidade).

**Quadro 1- Políticas modeladas por cenário**

Estratégias	BAU-H	CMI-H	BAU-PEL	CMI-PEL
Principais pressupostos	Como em 2014	Maior do que 2014	Como em 2014	Maior do que 2014
Política de mitigação de GEE	Sem	Sem	Com	Com
Uso de querosene para iluminação	Como em 2014	Como em 2014	Sem uso desse recurso	Sem uso desse recurso
Mais iluminação à LED	Como em 2014	Como em 2014	Dobrado	Dobrado
Mais refrigeração eficiente	Como em 2014	Como em 2014	Dobrado	Dobrado
Mais aquecimento solar de água	Como em 2014	Como em 2014	Dobrado	Dobrado
Mais aquecimento de água a GN	Como em 2014	Como em 2014	Dobrado	Dobrado
Mais equipamentos eficientes - refrigeradores de ar	Como em 2014	Como em 2014	Dobrado	Dobrado
Gestão de energia-industrial	Sem	Sem	Com	Com
Bombas de água mais eficientes	Sem	Sem	Com	Com
Substituição de combustíveis- 10%	Sem	Sem	Com	Com
Mais carros elétricos	Sem	Sem	Com	Com
Mais ônibus híbridos	Como em 2014	Como em 2014	Dobrado	Dobrado
Menos perdas na rede	Como em 2014	Como em 2014	Dobrado	Dobrado
Retrofit usinas antigas	Sem	Sem	Com	Com

Uso de recursos energéticos locais	Sem	Sem	Com	Com
Mais geração solar fotovoltaica - 16,5% dos telhados	Sem	Sem	Com	Com

Fonte: adaptado de COLLAÇO et al., 2019a.

O modelo buscou analisar os impactos de cada cenário de inclusão social (BAU e CMI) segundo duas perspectivas de implementação de políticas (H e PEL) para verificar seu impacto em economia de energia; aumento de recursos renováveis e de redução das emissões de GEE e poluentes no âmbito local. Este trabalho parte do pressuposto de que a compreensão sobre os sistemas de energia urbanos pode auxiliar na promoção de políticas públicas embasadas e que objetivam um ambiente urbano mais equilibrado, buscando a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos, promovendo cidades mais saudáveis por meio da composição e da combinação de diferentes políticas, tais como as que associam estratégias de planejamento de energia no âmbito local (SALDIVA, 2018; COLLAÇO, 2019).

## Resultados e Discussão

Ao analisar os dados sobre o consumo de energia de São Paulo<sup>2</sup>, verifica-se que houve aumento progressivo na demanda por eletricidade nos edifícios da cidade (COLLAÇO, 2019). Em 2014, o setor que mais consumiu energia na cidade foi o setor de UM, equivalente a 58% do consumo final de energia na cidade, seguido pelo setor residencial com 15% do consumo final de energia, e o setor de C&S representando 13% do consumo final (COLLAÇO et al., 2019a).

Em 2014 a eletricidade foi o recurso energético mais consumido na cidade (36% de participação na demanda final de energia), seguido pela gasolina 25% e pelo diesel 16%. Os três recursos representam 77% das necessidades da cidade de São Paulo. Resulta que 32% da composição da demanda de energia em São Paulo era de renováveis (REN) (133 PJ) e 68% eram de combustíveis fósseis (234 PJ). A composição majoritária de combustíveis fósseis na demanda final de energia é causada pelo setor de MU (admitindo que o transporte rodoviário e o transporte aéreo são caracterizados por uma demanda de 76% e 100% de fósseis, respectivamente). Em segundo lugar, está o setor energético com 70% do consumo final de energia composto por fontes fósseis; e em terceiro lugar, o setor industrial, com 67% do consumo de energia também provenientes dessas fontes (COLLAÇO, 2019).

Os setores com maior participação de REN foram prédios públicos, iluminação pública e saneamento – todos com 75%. Isso porque os únicos dados disponíveis de demanda

2 - Foram consultados os relatórios: o Balanço Energético Nacional 2015, do Ministério de Minas e Energia (MME), e os anuários estatísticos de energéticos por município no estado de São Paulo, da Secretaria de Energia do Estado de São Paulo (2017, 2016, 2013a, 2012, 2010a, 2010b, 2008, 2007).

de energia para tais setores correspondem ao consumo de eletricidade. Considerando que toda a eletricidade consumida é basicamente importada da rede e que no ano base 75% da geração de energia elétrica no país naquele ano foi proveniente de fontes REN, enquanto 25% utilizaram fontes fósseis (COLLAÇO, 2019).

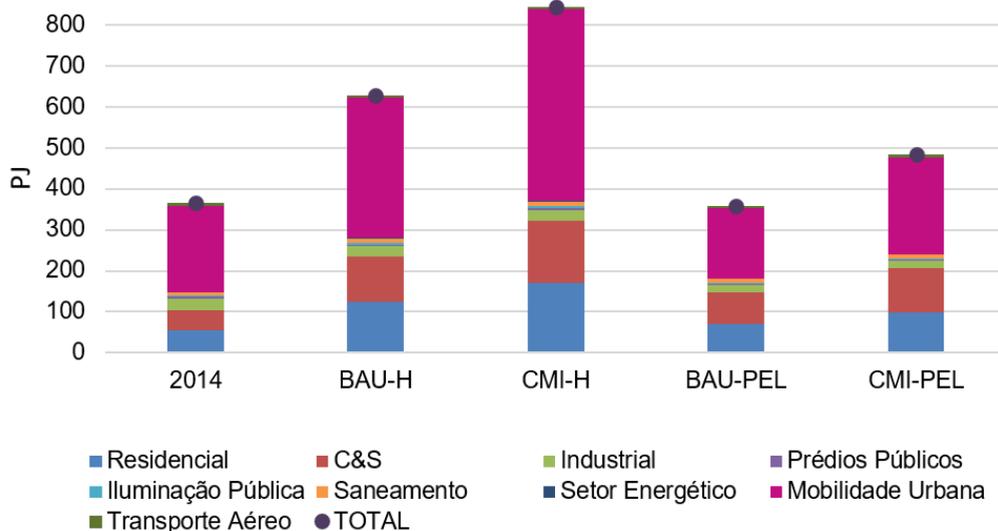
Considerando a capacidade instalada de 901,5 MW na cidade em 2014 (BIG- Aneel, 2019), o modelo LEAP calculou uma geração de eletricidade correspondente a 4 TWh. A produção de eletricidade que ocorre dentro do município de São Paulo é majoritariamente para autoprodução do setor industrial, de hospitais, shoppings etc. Essa matriz é baseada principalmente em recursos fósseis de energia, 93% da produção de eletricidade na cidade, segundo resultados do modelo, foi proveniente de fontes fósseis, utilizando principalmente o diesel (33% da geração), o GN (30%) e o óleo combustível, também com 30% (COLLAÇO, 2019).

Com relação as emissões de GEE, segundo resultados do modelo e considerando o SEU descrito no mesmo, em 2014 a cidade emitiu 1,8 milhões de tCO<sub>2</sub>e/habitante e 20,7 milhões tCO<sub>2</sub>e no total, sendo MU o setor que mais contribuiu para essas emissões (74% – 12 milhões tCO<sub>2</sub>e), seguido pelas residências, com 9% das emissões, e pelas indústrias, com 7%. A gasolina é o recurso de energia responsável pela maior parte das emissões de GEE (6,5 milhões de toneladas métricas de CO<sub>2</sub>e, representando 40% das emissões), o diesel, por sua vez, contribuiu com 27% e o gás natural com 12% (COLLAÇO, 2019).

### **Análise dos resultados para os cenários em 2030**

O Gráfico 1 apresenta a performance dos cenários (BAU-H, CMI-H, BAU-PEL e CMI-PEL) no consumo final de energia na cidade. O cenário que representa o *modus* atual de desenvolvimento da cidade é o BAU-H, neste cenário observa-se um aumento na demanda final por energia (71% de crescimento) comparado com o ano base. Por sua vez, o cenário que melhora o acesso aos serviços da cidade e não implementa estratégias de PEL (CMI-H), aumenta ainda mais a demanda por energia em 130%.

**Gráfico 1 - Evolução do consumo final de energia, por setor e por cenário (2014-2030)**



Os cenários que implementam o pacote de políticas energéticas apresentaram melhor desempenho para reduzir demanda de energia, sendo o cenário BAU-PEL o que mais economizou energia, salvando 269 PJ. Ou seja, 23% de redução de demanda quando comparado ao cenário BAU-H e 43% quando comparado ao CMI-H. Como esperado, os cenários CMI levaram a um consumo mais alto de energia, uma vez que consideram uma maior cobertura dos serviços da cidade e o acesso ampliado aos mesmos. No entanto, é importante observar que o cenário CMI-PEL apresenta um desempenho melhor do que a trajetória atual de desenvolvimento da cidade (cenários com as variáveis H) reduzindo a demanda em 144PJ (comparada ao BAU-H).

Sobre o desempenho de cada cenário em produção local de eletricidade entre 2014 e 2030, tem-se que a geração de eletricidade no ano base foi de 4TWh, atendendo apenas 9% das necessidades de eletricidade da cidade. Dessa forma, 91% da demanda restante é fornecida pela rede nacional (sendo que a cidade importa 99% da sua necessidade de recursos energéticos). Em adição ao exposto está prevista (decorrente do tempo de vida útil avançado das usinas urbanas de geração de eletricidade) uma redução acentuada na capacidade instalada da cidade de aproximadamente 89% (BAU-H). Nos cenários que implementam estratégias de geração distribuída e *retrofit* das usinas na cidade (BAU-PEL e CMI-PEL), a geração de eletricidade local alcança 13 TWh. O resumo dos principais resultados do modelo é apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1 - Resumo sobre o desempenho dos cenários por indicadores**

Indicadores /Cenários	2014	BAU-H (2030)	CMI-H (2030)	BAU-PEL (2030)	CMI-PEL (2030)
Demanda final (PJ)	367	628	844	359	484
Emissões (milhões de tCO <sub>2</sub> e/habitante)	1,80	2,58	3,44	1,03	1,37
% Renováveis no balanço de energia da cidade	32%	40%	41%	65%	67%

Em 2014, 68% da energia consumida em São Paulo era de fontes fósseis, como apresentado. A predominância de energia fóssil em 2030 é mantida nos cenários baseados em taxas históricas (BAU-H e CMI-H). Nos cenários PEL, em 2030, o consumo de combustível fóssil é reduzido em cerca de 50% em relação aos valores de 2014, decorrente do aumento de recursos renováveis na geração de eletricidade e na substituição de combustíveis (ver Quadro 1).

A mudança mais significativa ocorre com a implementação da estratégia que restringe o uso de combustíveis fósseis no setor de mobilidade urbana. Essa estratégia buscou implementar meta que existia na política climática da cidade, e propunha substituição de 10% de combustíveis fósseis por renováveis no setor de transportes, sendo aqui estendida também para o transporte privado na cidade. Portanto, no cenário BAU- PEL tem-se uma participação de 65% de renováveis na demanda total de energia e de 76% de renováveis na eletricidade em 2030. Nos cenários CMI- PEL a cidade alcançaria 67% de participação de renováveis na demanda total por energia e 76% na demanda por eletricidade no final do período de simulação.

A política atual (BAU-H) não reduz as emissões de GEE até 2030, mas as aumenta em cerca de 44% em relação aos valores de 2014 (1,8 milhões tCO<sub>2</sub>e/habitante em 2014 e 2,6 milhões tCO<sub>2</sub>e/habitante em 3030). Este cenário fica pior se ocorrer um aumento ao acesso de serviços da cidade desacompanhado da implantação de políticas de mitigação (resultado refletido pelo cenário CMI-H), que resultariam na multiplicação pelo dobro das emissões se comparado a 2014 (ou seja em 2030, CMI-H resultaria em 3,4 milhões tCO<sub>2</sub>e/habitante).

Por outro lado, ao implementar políticas que diminuem a demanda e aumentam o uso de renováveis (cenários que implementam PEL) observasse um bom desempenho refletido nas emissões totais e per capita. Por exemplo o cenário BAU-PEL diminui as emissões da cidade em cerca de 43% (de 1,8 milhões tCO<sub>2</sub>e/habitante em 2014, para 1,1 milhões tCO<sub>2</sub>e/habitante em 2030). No entanto, esse cenário não diminui a desigualdade no acesso aos serviços da cidade.

Por outro lado, no cenário CMI-PEL, acesso aos serviços da cidade são ampliados, enquanto uma redução de 24% das emissões é alcançada se comparado ao ano base (em 2030 CMI-PEL totalizou 1,4 milhões tCO<sub>2</sub>e/habitante). Conclui-se, dessa forma, que mesmo no cenário CMI-PEL, que considera um alto nível de cobertura dos serviços da cidade, mas que implementa estratégias de PEL, existe uma diminuição das emissões de

CO<sub>2</sub> quando comparado ao cenário que simula a manutenção da situação vigente na cidade (BAU-H), de 24% e em 2014 e de 43% em 2030.

O bom desempenho nos cenários PEL são consequência, principalmente, de dois fatores: da redução das importações de eletricidade da rede devido ao aumento da geração local de eletricidade com uso de renováveis; e da substituição de fosséis por renováveis no transporte coletivo.

Convém destacar ainda que, apesar do cenário BAU apresentar um melhor desempenho no geral, quando comparado ao cenário CMI, ele não apresenta uma evolução e direcionamento da cidade na busca pela igualdade. Vale ressaltar também que as métricas de desempenho analisadas correspondem tão somente a métricas de desempenho energético. No entanto, este exercício de modelagem não previu as alterações na demanda de energia decorrentes da pandemia de Covid-19, que teve início no final do ano de 2019.

Neste sentido, vale a pena mencionar material público disponibilizado pela EPE com análise sobre o impacto da Covid-19 para o 1º semestre de 2020, que demonstrou uma queda expressiva no PIB nacional, assim como do consumo de energia em 4,5% em comparação com o mesmo período do ano de 2019; acompanhado por uma queda de 5% na geração de energia e de 19% de redução das emissões de GEE do setor elétrico e de 11% do setor de transporte (EPE, 2020). Dessa forma, é esperado que tal redução de demanda de energia e de emissões também tenha ocorrido no âmbito da cidade de São Paulo.

A pandemia se soma às diversas crises sistêmicas e ecossistêmicas justamente quando, segundo IPCC, não é mais possível postergar decisões que afetarão crucialmente, e muito em breve, a habitabilidade do planeta. Isso porque, a ciência condiciona a possibilidade de estabilizar o aquecimento médio global dentro, ou não muito além, dos limites almejados pelo já mencionado Acordo de Paris (2015) ao fato primordial de que as emissões de CO<sub>2</sub> teriam até o limite máximo do ano de 2020 para atingir seu pico, e em seguida começar a declinar fortemente (MARQUES, 2020).

O IPCC traçou 196 cenários através dos quais seria possível limitar o aquecimento médio global a cerca de 0,5°C acima do aquecimento médio atual em relação ao período pré-industrial (1,2°C em 2019), mas nenhum dos cenários admite que o pico de GEE seja protelado para além de 2020 (HOOPER, 2020). Para complexificar ainda mais a situação global de emergência climática, o balanço de 2019 feito pelo World Resource Institute (WRI), demonstrou que na maioria dos casos, a ação dos países em mitigação foi insuficiente ou de progresso nulo.

Segundo o mesmo relatório, nenhuma das metas foram alcançadas e, em dezembro de 2019, a COP25 em Madrid acabou, em grande parte por culpa dos governos dos EUA, Japão, Austrália e Brasil (IRFAN, 2019), com as últimas esperanças de uma diminuição iminente das emissões globais de GEE (MARQUES, 2020). Nesse sentido, e pensando no que as cidades poderiam fazer dentro de seu âmbito de atuação, em prol da ação climática e pela redução da desigualdade social, é que os cenários de PEL foram desenhados.

Finalmente, convém esclarecer que nem mesmo a pandemia foi capaz de reduzir a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Segundo a Agência meteorológica da ONU as concentrações de 2019 de 410 partes por milhão assim como as emissões acumuladas

dos anos anteriores fizeram tendência de alta prosseguir em 2020 (OMM - ONU, 2020).

## Conclusões

Considerando estritamente os indicadores de energia utilizados neste estudo: aumento de energia renovável, demanda final de energia e emissões de GEE, os resultados do modelo mostram que o cenário BAU apresentou o melhor desempenho energético. No entanto, o cenário CMI representa um aumento significativo na qualidade de vida de muitos habitantes da cidade e, portanto, deve ser entendido como um possível cenário de sistema energético urbano mais sustentável e menos desigual.

Atualmente, São Paulo faz uso majoritário de fontes fósseis de energia, cerca de 68% em 2014 e 60% em 2030 (BAU-H). No entanto, a partir da promoção de estratégias de eficiência energética tanto para o lado da demanda quanto para o lado da oferta (implementação de PEL), em 2030 no cenário BAU-PEL, essa taxa poderia ser reduzida para 35% com o aumento da participação de fontes renováveis, bem como uma redução de até 43% das emissões de GEE seria possível (tendo como referência os níveis de emissões de 2014). Por sua vez, ao considerar o melhor acesso dos serviços de energia para os habitantes da cidade (cenário CMI-PEL), poderia ser alcançado um máximo de 67% de participação de energia renovável em 2030 e uma redução de emissão de 24% abaixo do nível das emissões de 2014.

Dessa forma, uma São Paulo menos desigual é tecnicamente possível quando as medidas de PEL são implementadas. Mesmo que os cenários CMI apresentem um pequeno aumento da demanda e das emissões de GEE quando comparadas ao cenário BAU (33% a mais de emissões e 35% a mais de demanda de energia), é importante considerar que o índice de emissões de São Paulo é 1,8 milhões tCO<sub>2</sub>e/habitante em 2014 (resultado do modelo, validado pela recente iniciativa SEEG do Observatório do Clima<sup>3</sup>, lançada em 2021, que estimou emissão para 2014 em 1,76 milhões tCO<sub>2</sub>e/habitante). Portanto, inferior ao de países desenvolvidos, que devem reduzir suas emissões de 5,0 milhões tCO<sub>2</sub>e *per capita* para 2,9 milhões tCO<sub>2</sub>e até 2020 (C40 CITIES; ARUP, 2015).

Nos cenários previstos, até 2030 o índice de São Paulo chegará a 1,03 milhões tCO<sub>2</sub>e/habitante no cenário BAU-PEL e 1,4 milhões tCO<sub>2</sub>e/habitante no cenário CMI-PEL, mantendo-se abaixo da meta dos países desenvolvidos mesmo no cenário de maior inclusão e demanda de energia. Outra razão diz respeito à taxa anualizada de eficiência energética adotada no modelo para os dois cenários menor que 1% ao ano, sendo, portanto, bastante conservadora e restritiva.

Uma transição sustentável e mais inclusiva é tecnicamente viável. No entanto, mais pesquisas são necessárias para garantir que essa transição seja também econômica, institucional, política e socialmente viável do ponto de vista da governança.

Por fim, os resultados desta pesquisa destacam que atuar com base em políticas tradicionais de eficiência energética, orientadas principalmente para a substituição tecnológica,

3 - <https://plataforma.seeg.eco.br/cities/statistics>

são efetivas, principalmente quando busca-se aumentar o acesso aos serviços, porém não são suficientes para alcançar uma redução significativa do consumo e da dependência de recursos exógenos de energia nas cidades. Nesse sentido, é importante analisar alterações substanciais na orientação das políticas atuais que são setoriais e intensivas em energia. Mesmo a busca pela inclusão das energias renováveis parte do pressuposto da necessidade incessante de aumento da demanda e consumo de recursos. Mais pesquisas precisam ser feitas para endereçar os impactos de mudança de paradigma sobre uso e consumo de energia e o estabelecimento de sociedades menos desiguais.

## Agradecimentos

Agradecemos o apoio da agência CAPES por meio do Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE), do RCGI-Research Centre for Gas Innovation, localizado na USP e financiado pela FAPESP (processo nº 2014/50279-4) e Shell Brasil. E novamente à FAPESP pelo processo nº 2015/03804-9.

## Referências

ADHIKARI, R. S.; ASTE, N.; MANFREN, M. Optimization concepts in district energy design and management - A case study. *Energy Procedia*, v. 14, p. 1386–1391, 2012. DOI: 10.1016/j.egypro.2011.12.1106.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS - ANTP. **Sistema de Informações da Mobilidade Urbana Relatório Geral 2014**. Brasília: 2016. Disponível em: <[http://www.antp.org.br/\\_5dotSystem/download/dcmDocument/2013/04/11/050FC84C-74EA-4A33-A919-6D2E380FA2C1.pdf](http://www.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2013/04/11/050FC84C-74EA-4A33-A919-6D2E380FA2C1.pdf)>.

BIANCHI, Inácio; SOUZA, Teófilo Miguel. **Recapacitação e repotencialização de pequenas centrais hidrelétricas desativadas ou em operação no estado de São Paulo**, 2002.

BRASIL; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Energia 2030 (PNE, 2030)**. Brasília: MME/EPE, 2007.

BRASIL; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Eficiência Energética**. Brasília.

BRISTOW, D. N.; KENNEDY, C. A. Maximizing the use of energy in cities using an open systems network approach. *Ecological Modelling*, v. 250, p. 155–164, 2013.

BROCKWAY, P. E. et al. Energy rebound as a potential threat to a low-carbon future: Findings from a new exergy-based national-level rebound approach. *Energies*, v. 10, n. 1, 2017.

BROWNSWORD, R. A. et al. Sustainable cities - Modelling urban energy supply and demand. *Applied Energy*, v. 82, n. 2, p. 167–180, 2005.

C40 CITIES; ARUP. *Deadline 2020 - how cities will get the job done*. 2015.

CAJOT, S.; PETER, M.; BAHU, J.; KOCH, A.; MARÉCHAL, F. Energy planning in the urban context : challenges and perspectives. *Energy Procedia*, v. 78, n. 0, p. 3366–3371, 2015. DOI: 10.1016/j.egypro.2015.11.752.

COLLAÇO, Flávia M. de A. **SINERGIAS ENTRE O PLANEJAMENTO ENERGÉTICO E O PLANEJAMENTO URBANO: ESTUDO DE CASO DO SISTEMA DE ENERGIA URBANO DA CIDADE DE SÃO PAULO**. 2019. 233f. Doutorado (Doutorado em Ciência da Energia) – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, 2019.

COLLAÇO, Flávia Mendes de Almeida; BERMANN, Célio. Perspectivas da gestão de energia em âmbito municipal no Brasil. *Estudos Avançados*, v. 31, n. 89, p. 213–235, 2017. DOI: 10.1590/s0103-40142017.31890018.

COLLAÇO, Flávia Mendes de Almeida; DIAS, Luís Pereira; SIMOES, Sofia G.; PUKŠEC, Tomislav; SEIXAS, Júlia; BERMANN, Célio. What if São Paulo (Brazil) would like to become a renewable and endogenous energy -based megacity? *Renewable Energy*, v. 138, p. 416–433, 2019. a. DOI: 10.1016/j.renene.2019.01.073.

COLLAÇO, Flávia Mendes de Almeida; SCHIRMER SOARES, Raiana; BENITES-LAZARO, Lira Luz; BEREJUK, Guilherme; MOTT PAVANELLI, João; LAMPIS, Andrea; BERMANN, Célio. Identificação do Sistema Energético da Macrometrópole Paulista: primeiro passo para atuação local em Mudanças Climáticas. *Ambiente & Sociedade*, v. 23, n. Na imprensa, 2020.

COLLAÇO, Flávia Mendes de Almeida; SIMOES, Sofia G.; DIAS, Luís Pereira; DUC, Neven; SEIXAS, Júlia; BERMANN, Célio. The dawn of urban energy planning – Synergies between energy and urban planning for São Paulo (Brazil) megacity. *Journal of Cleaner Production*, v. 215, p. 458–479, 2019. b. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.01.013.

COMITÊ INTERSETORIAL PARA A POLÍTICA MUNICIPAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS. **Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Cidade de São Paulo**. São Paulo - SP - Brasil.

COVENANT OF MAYORS. *Reducing Energy Dependence in European Cities*. p. 1–17, 2014.

ELETROBRAS; PROCEL-INFO. **PESQUISA DE POSSE DE EQUIPAMENTOS E HÁBITOS DE USO - ANO BASE 2005 (Região Sudeste)**. Rio de Janeiro : 2004.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Plano Nacional de Energia 2050- Estudo sobre a Demanda**. Rio de Janeiro - RJ – Brasil: 2018. Disponível em: <<http://informesanuais.xm.com.co/2013/SitePages/operacion/3-1-Demanda-de-energia-nacional.aspx>>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026 - Capítulo Introdução**. Rio de Janeiro - RJ – Brasil: 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balço COVID-19 – Impactos nos mercados de energia no Brasil, 1 semestre de 2020**. Rio de Janeiro - RJ – Brasil: 2020. Disponível

: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-500/Balanco\\_Covid-19%20rev.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-500/Balanco_Covid-19%20rev.pdf)>

FARZANEH, Hooman; SUWA, Aki; DOLLA, Christopher N. H.; OLIVEIRA, Jose Antonio Puppim De. Developing a Tool to Analyze Climate Co-benefits of the Urban Energy System. **Procedia Environmental Sciences**, v. 20, p. 97–105, 2014. DOI: 10.1016/j.proenv.2014.03.014.

FARZANEH, H.; DOLL, C. N. H.; PUPPIM DE OLIVEIRA, J. A. An integrated supply-demand model for the optimization of energy flow in the urban system. **Journal of Cleaner Production**, v. 114, p. 269–285, 2016.

GARGIULO, M. et al. An Integrated Planning Framework for the Development of Sustainable and Resilient Cities - The Case of the InSMART Project. **Procedia Engineering**, v. 198, n. September 2016, p. 444–453, 2017.

HEAPS, Charlie. LEAP Data Requirements for Energy Planning and Mitigation Assessment. n. February, p. 1–4, 2006.

IEA. World Energy Outlook 2016. **International Energy Agency: Paris, France**, p. 28, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. **Atlas do Censo Demográfico**. 2010.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **Energy Technology Perspectives 2016**. Paris: 2015.

JACOBI, Pedro Roberto; BESEN, Gina Rizpah. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v. 25, n. 71, p. 135–158, 2011. DOI: 10.1590/S0103-40142011000100010.

JIN, X. et al. Optimal day-ahead scheduling of integrated urban energy systems. **Applied Energy**, v. 180, p. 1–13, 2016.

JOVANOVIC, Marina; AFGAN, Naim; BAKIC, Vukman. An analytical method for the measurement of energy system sustainability in urban areas. **Energy**, v. 35, n. 9, p. 3909–3920, 2010. DOI: 10.1016/j.energy.2010.06.010.

KEIRSTEAD, James; CALDERON, Carlos. Capturing spatial effects, technology interactions, and uncertainty in urban energy and carbon models: Retrofitting newcastle as a case-study. **Energy Policy**, v. 46, p. 253–267, 2012. DOI: 10.1016/j.enpol.2012.03.058.

LEDUC, W. R. W. A.; VAN KANN, F. M. G. Spatial planning based on urban energy harvesting toward productive urban regions. **Journal of Cleaner Production**, v. 39, p. 180–190, 2013.

LIU, D. et al. Study on integrated simulation model of Economic, Energy and Environment Safety system under the low-carbon policy in Beijing. **Procedia Environmental Sciences**, v. 5, p. 120–130, 2011.

**Flávia Mendes de Almeida Collaço**

✉ [flavia.collaco@usp.br](mailto:flavia.collaco@usp.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4277-9043>

Submetido em: 02/05/2020

Aceito em: 03/03/2021

2021;24e:00592

**Célio Bermann**

✉ [cbermann@iee.usp.br](mailto:cbermann@iee.usp.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1759-7523>

**Como citar:** COLLAÇO, Flávia Mendes de Almeida; BERMANN, Célio. Potencialidades do Planejamento Energético Local na redução da desigualdade na cidade de São Paulo. **Ambiente & Sociedade**. São Paulo, v. 24, p. 1-16, 2021.

# Potencialidades de la planificación energética local para reducir la desigualdad en la ciudad de São Paulo

Flávia Mendes de Almeida Collaço  
Célio Bermann

São Paulo. Vol. 24, 2021

*Dossier especial:  
Territórios de Energia*

**Resumen:** Este artículo analiza el potencial del Planeamiento Energético Local (PEL), en las megalópolis de São Paulo (período 2014 - 2030), a través de un modelo de simulación para cuantificar los impactos de la implementación de PEL en el sistema energético de São Paulo de acuerdo con tres indicadores: demanda de energía, % de uso de fuentes renovables y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Se analizó el desempeño de las estrategias del PEL según dos escenarios: el primero reproduce las políticas vigentes y el segundo aumenta el acceso de la población a los servicios energéticos. Considerando la implementación del PEL en el primer escenario, la ciudad alcanzará en 2030, 65% de energía renovable y 43% de reducción de GEI. Si se aplican las mismas estrategias en el segundo escenario, se logrará 67% renovable con una reducción del 24% de las emisiones en comparación con 2014.

**Palabras-clave:** Megaciudad; Modelo de simulación LEAP; Desigualdad; Descentralización; Energía

**Como citar:** COLLAÇO, Flávia Mendes de Almeida; BERMANN, Célio. Potencialidades do Planejamento Energético Local na redução da desigualdade na cidade de São Paulo. *Ambiente & Sociedade*. São Paulo, v. 24, p. 1-16, 2021.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200059r2vu2021L3DE>

# Local Energy Planning Potentialities in Reducing São Paulo's Inequalities

Flávia Mendes de Almeida Collaço  
Célio Bermann

São Paulo. Vol. 24, 2021

*Special Issue:*

*Energy territories*

**Abstract:** This study analyzes the local energy planning (LEP), a set of urban energy strategies and potential scope, for São Paulo from 2014 to 2030. A simulation model is used to quantify the impacts of implementing LEP strategies on the city's energy system based on three indicators: energy demand, percentage usage of renewable sources, and greenhouse gas (GHG) emissions. The performance of LEP strategies was analyzed for two scenarios: the first reproduces the city policies in force, and the second expands the population's access to city energy services. Considering the implementation of LEP in the first scenario, the city exhibits a 65% usage of renewable energy and a 43% reduction in GHG emissions in 2030. Furthermore, implementation of the same strategies in the second scenario, also for 2030, results in a 67% usage of renewable energy with a 24% reduction in emissions compared to 2014.

**Keywords:** São Paulo Megacity; LEAP simulation model; Inequality; Decentralization; Energy.

**How to cite:** COLLAÇO, Flávia Mendes de Almeida; BERMANN, Célio. Local Energy Planning potentialities in Reducing São Paulo's Inequalities. *Ambiente & Sociedade*. São Paulo, v. 24, p. 1-17, 2021.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200059r2vu2021L3DE>