



ANÁLISE ENERGÉTICO DA CIDADE DE SANTOS-SP

ENERGY ANALYSIS OF THE CITY OF SANTOS-SP

Carlos Alejandro Urzagasti¹
<https://orcid.org/0000-0002-4540-9489>

Nikole Teran Uruchi²
<https://orcid.org/0000-0002-3538-2788>

Resumo: Este trabalho analisou a cidade de Santos-SP, partindo de um contexto histórico e urbanístico, evidenciando os setores mais influentes da cidade, como também o plano diretor atual de Santos. Logo, foi feito um levantamento de dados energéticos de consumo, entre eles eletricidade, derivados do petróleo (óleo Diesel, gasolina) etanol e gás natural. Todas essas informações foram padronizadas em unidades TOE (Tonelada equivalente de petróleo) e foi realizado um diagrama Sankey, constatou-se que o transporte é o setor de maior consumo energético da cidade, como era de esperar já que Santos possui um dos maiores Portos de América Latina e também um forte apelo pelo turismo. Para a análise energética e exergética, com os dados coletados, realizou-se o cálculo dos fluxos de energia e exergia de entrada bem como exergia destruída para os diferentes tipos de combustível e a eficiência exergética da cidade cujo valor obtido foi de 19,70%. Finalmente realizou-se o cálculo das emissões de CO₂ dos combustíveis, cujo valor obtido foi de 641.151.042,6 kg equivalente de CO₂. O resultado para emissões de CO₂ é muito próximo ao estimado pela Prefeitura de Santos, apesar que Santos é uma cidade que se destaca por um plano diretor que pretende ser uma cidade inteligente no futuro e tem uma eficiência baixa no sentido de consumo energético.

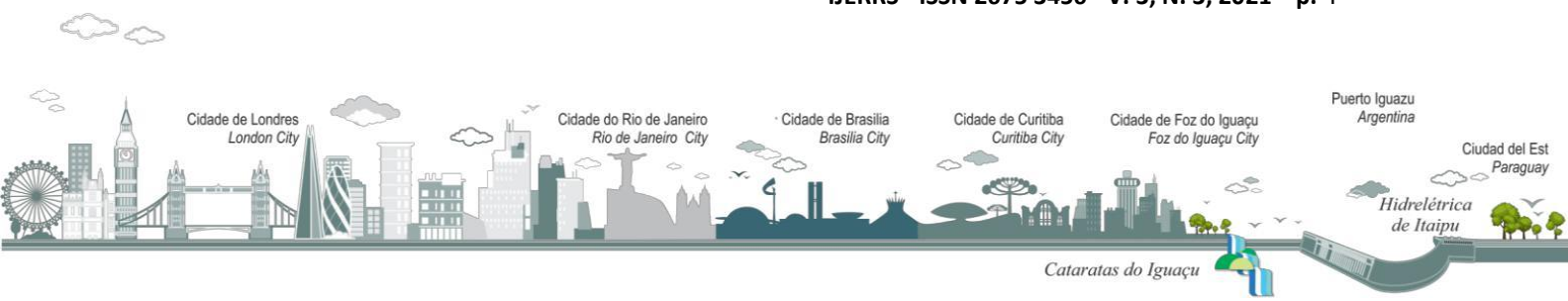
Palavras-chave: Santos. Exergia. Balanço Energético. Eficiência. Termodinâmica das cidades.

Abstract: This work, the city of Santos-SP was analyzed, starting from a historical and urban contextualization, highlighting the most influential sectors of the city, as well as the current master plan of Santos. Therefore, a survey of energy consumption data was carried out, including electricity, petroleum products (diesel oil, gasoline), ethanol and natural gas. All this information was standardized in TOE (Equivalent Tonne of Oil) units and a Sankey diagram was performed, it was found that transport is the sector with the highest energy consumption in the city. For the energetic and exergetic analysis, with the collected data, the input and destroyed exergy were calculated for the different types of fuel and the exergetic efficiency of the city was calculated as 19.70%. Finally, calculation of CO₂ emissions from fuels was performed, resulting in 641,151,042.6 kg CO₂ equivalent. The result for CO₂ emissions is very close to that estimated by the Municipality of Santos, although Santos is a city that stands out for a master plan that intends to be a smart city in the future and has a low efficiency in terms of energy consumption.

Keywords: Santos. Exergy. Energetic balance. Efficiency. Thermodynamic of cities.

¹ Aluno de graduação do curso Engenharia de Energia da Universidade Federal da Integração Latino Americana, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil. carlos.uzzagasti@aluno.unila.edu.br.

² Aluna de graduação do curso Engenharia de Energia da Universidade Federal da Integração Latino Americana, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil. nikole.uruchi@aluno.unila.edu.br.





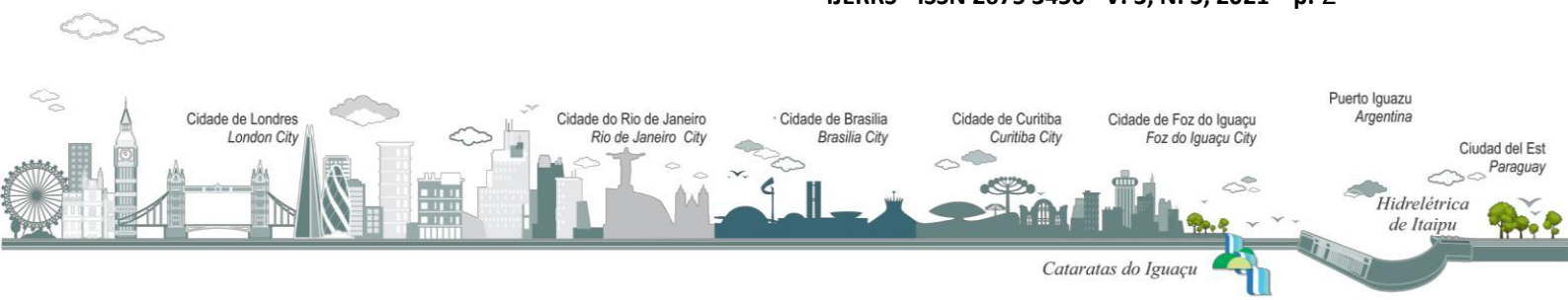
INTRODUÇÃO

As cidades foram evoluindo e como consequência aumentando sua complexidade social e, além disso, também sua infraestrutura. Neste trabalho é analisado a cidade de Santos, uma das cidades mais antigas do Brasil fundada em 1547, mas que já estava sendo povoado anteriormente, entretanto ganhou relevância a partir desta data. A esta época que antecede sua promoção à cidade, o território santista pertencia a uma das sesmarias distribuídas pela coroa portuguesa para que ali neste território desenvolvesse algum tipo de cultivo e se colonizasse aquela região (PAIVA FILHO; RIGHI, 2021). Diversos fatores históricos contribuíram para a ocorrência de processo de ocupação da área municipal de Santos, entre eles os fluxos migratórios que as atividades portuárias desencadearam através da atração de mão de obra que influenciaram a evolução populacional e urbana na Região Metropolitana de Santos (JACOB, 2003).

Santos é caracterizada também por um forte apelo turístico, principalmente no estado de São Paulo. Além disso, o Porto é em si um ponto turístico, por ser o maior ponto logístico do país e atrai uma grande massa de trabalhadores. Portanto, é importante ressaltar que o Porto de Santos movimentava $\frac{1}{4}$ do valor dos produtos negociados no mercado internacional, fator que torna ele o mais importante do País (IBGE, 2021) por tanto é de esperar que a cidade tenha um elevado consumo de combustível por causa do transporte da mercadoria do Porto e movimentação turística em diferentes épocas do ano, que também influenciam no consumo energético de Santos. O primeiro desafio é então quantificar o fluxo de produção e consumo energético de Santos, desde um ponto de vista termodinâmica.

Neste contexto, as grandes cidades têm perdas energéticas além disso geram resíduos, que podem ser quantificadas pelos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Apesar que Santos possui uma gestão de RSU realizada pelas secretarias de serviços públicos e meio ambiente, bem como a PRODESAN³ e pelo Gabinete do Prefeito Municipal, onde se estima que são coletados aproximadamente 389 mil ton/ano (PREFEITURA DE SANTOS, 2021).

³A PRODESAN: Progresso e Desenvolvimento de Santos S/A é uma empresa de economia mista, que atua com a Prefeitura Municipal de Santos nas ações de desenvolvimento e progresso da cidade de Santos.





Em Wark (1995) a exergia é definida como uma propriedade termodinâmica que representa quantitativamente a energia útil, ou capacidade de realizar trabalho, logo a irreversibilidade é quantificada como perdas, ou destruição de exergia. Em base a isso, no capítulo introdutório desta edição da revista, menciona-se que uma cidade pode ser modelada como um volume de controle, facilitando assim a visualização dos fluxos de energia e exergia para servir como base a uma análise termodinâmica e para calcular a eficiência exergética. Portanto, assim como para análises termodinâmicas de sistemas térmicos, é preciso entender como uma cidade funciona.

Não existe um estudo na bibliografia que se analise o consumo de massa e energia desde o ponto de vista termodinâmico da cidade, por isso o objetivo de este trabalho é fazer uma análise energética e exergética dos principais setores de consumo de energia, entre eles destaca-se a influência do Porto e o turismo como principais focos de consumo. Além disso, determinar a eficiência da cidade, utilizando a metodologia proposta no capítulo introdutório desta mesma edição.

LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Santos está localizada no litoral sul do Estado de São Paulo a 72 km da capital, limita ao norte com Santo André e Mogi das Cruzes, ao sul com o Oceano Atlântico e Guarujá, no Leste com Bertioga e no Oeste limita com Cubatão e São Vicente, como é mostrado na Figura 1 (PREFEITURA DE SANTOS, 2021).

Segundo informações obtidas no site da prefeitura municipal, o município de Santos possui uma área territorial de 271 km², constituída por uma parte insular de 39,4 km² na qual reside o 99,2% da população da cidade, e outra continental de 231,6 km², com extensa área de Mata Atlântica preservada. De acordo com a Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados - SEADE, a população em 2019 no município Santos era de 429.513 habitantes com uma densidade demográfica de 1528,35 habitantes/km².

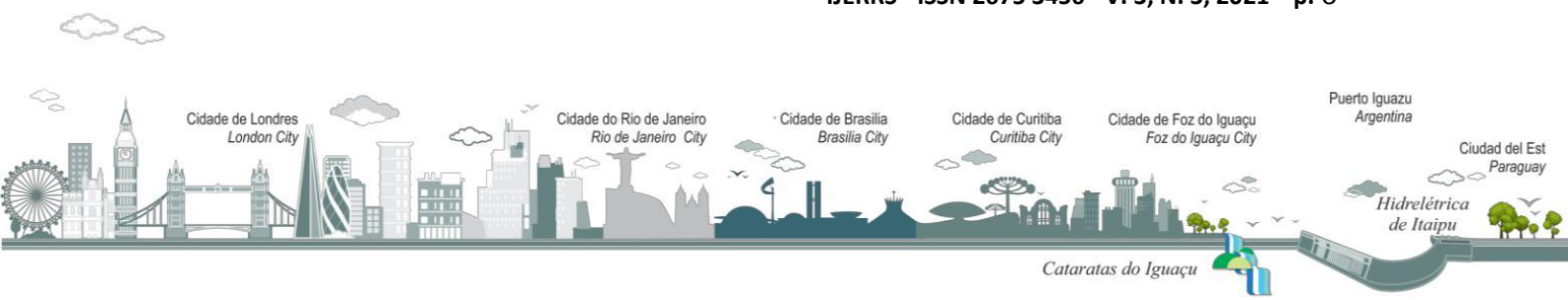




Figura 1 – Localização geográfica de Santos-SP.



Fonte: adaptado de Dias, 2014.

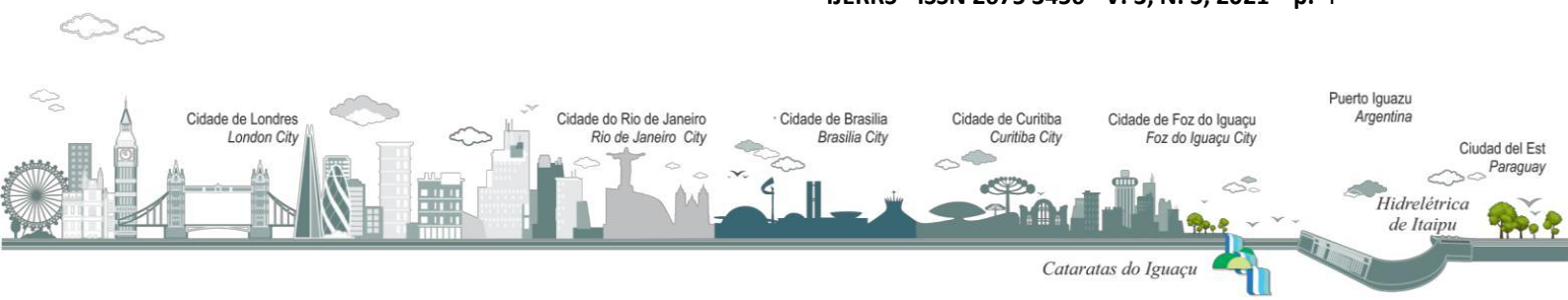
O IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) calculado com base nos níveis de expectativa de vida, educação e PIB (Produto Interno Bruto) per capita, instituído pela ONU (Organização das Nações Unidas) para avaliar o grau de desenvolvimento dos países foi calculado para o município, atingindo em 2010 o valor igual a 0,840, considerado muito alto na escala do IDH mundial, colocando Santos na 6ª posição, quando comparado com os 100 maiores valores de IDH do Brasil (IBGE, 2021).

Conforme dados fornecidos pela administração municipal, o PIB de Santos foi de R\$ 27,619 bilhões em 2010 e de R\$ 31,544 bilhões em 2011, ocupando a 7ª maior posição em comparação com os municípios paulistas e a 17ª colocação quando comparado com todos os municípios brasileiros. A posição do PIB santista é devida, principalmente, às atividades portuárias e aos setores: comércio, serviços, pesca e turismo.

URBANIZAÇÃO

O processo de urbanização do município de Santos foi produto de diversos acontecimentos históricos, com início no século XVI, época na qual o principal fator de urbanização era devido a sua comunicação direta com o ambiente costeiro (MARTINS, 2014).

Seguido posteriormente por um período de muita relevância para a história de Santos,





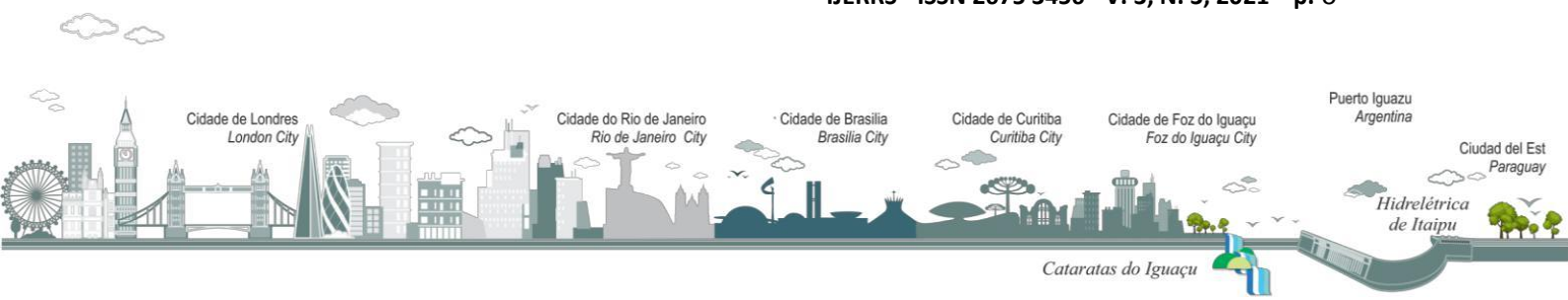
e que principalmente favoreceu o processo de urbanização da cidade. O *boom* econômico brasileiro através da produção agroexportadora de café e a instalação do complexo portuário de Santos nos séculos XVIII e XIX, período no qual o Brasil era o maior exportador destas commodities do mundo, fizeram com que Santos ganhasse relevância principalmente com as funções do porto marítimo, ponto de articulação entre a economia colonial das regiões litorâneas brasileiras e os mercados europeus. A inauguração da ferrovia São Paulo Railway ligando Santos às lavouras cafeeiras de Jundiaí em 1867, o que induziu uma forte onda de progresso, principalmente para o porto de Santos, que já tinha grande importância. A cidade começou a se urbanizar e o número de habitantes praticamente duplicou-se, interessados nos possíveis empregos que despontavam na região portuária.

Por mais de 300 anos, até o início do século XX, as funções portuárias e comerciais desempenharam o papel principal na evolução urbana santista (PÓLIS, 2018). A partir do século XX, o processo responsável de acelerar as transformações nas sociedades atuais foi o desenvolvimento da industrialização, o que porém trouxe consigo uma série de problemáticas para a cidade entre elas relacionada à saúde pública (FIOVARANTI, 2013).

O aumento na população santista causou problemas de saúde pública, devido ao mau planejamento urbano, que não acompanhou o aumento populacional. O principal problema no início do século XX eram alagamentos e enchentes, advindas da alta umidade do ar e do aumento do nível do mar. Nesta época o governo do estado de São Paulo colocou em prática o projeto do engenheiro e urbanista Francisco Saturnito de Brito, que tinha o desafio de resolver o problema sanitário que a cidade enfrentava. Para isso, aplicou um projeto audacioso e inovador, que iria marcar o território santista até hoje, dividindo a cidade com canais.

Era preciso um plano municipal com a previsão do crescimento da cidade, tanto nas áreas já ocupadas como nas ainda ociosas, o que não existia. A intenção da Comissão não era elaborar um plano para Santos, mas, uma vez que esse não estava estabelecido, não havia outra opção a não ser traçar um plano geral e definir uma legislação para garantir sua implantação para poder então projetar o saneamento (DIAS, 2014, p. 85).

Já na metade do século XX, especificamente entre as décadas de 1950 e 1970, as diferentes atividades de veraneio do município de Santos contribuíram diretamente para que iniciasse uma extensão da aglomeração urbana juntamente às praias. Como consequência





das atividades turísticas, uma parcela da população passou a ocupar áreas que antes não eram habitadas sendo em sua maioria inadequada para fixar moradia (MARTINS, 2014).

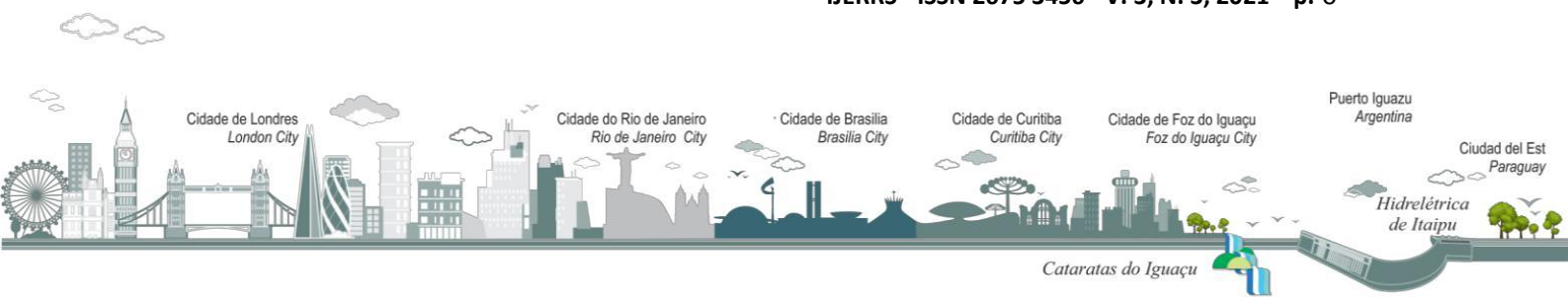
Já para o final da década de 1970, apesar do importante crescimento do porto e sua articulação com outras regiões do país, se constatou uma desaceleração do crescimento populacional de Santos e da expansão de sua urbanização. Na atualidade apesar da reduzida dinâmica populacional das últimas duas décadas, Santos, continua sendo a cidade com maior concentração populacional da região, se constituindo como um centro dinâmico da Região Metropolitana da Baixada Santista (PÓLIS, 2018).

PLANO DIRETOR ATUAL DE SANTOS

No plano diretor de Santos, observa-se que o município tem como objetivo o desenvolvimento de atividades de geração de energia, e algumas adicionais como por exemplo: garantir a preservação, conservação e recuperação ambiental, estimular o uso de energias alternativas com fontes limpas e renováveis, expandir e reformar a rede de gás e seus equipamentos e no campo portuário, continuar com o desenvolvimento e planejamento estratégico da infraestrutura, bem como melhorar as qualidade logísticas por meio de novas tecnologias. Aproximadamente 40% de todo o fluxo portuário do Brasil passa pelo porto de Santos. Por isso, este trabalho tem como objetivo analisar o impacto dos fluxos de combustível e eletricidade na eficiência da cidade de Santos (PREFEITURA DE SANTOS, 2021).

MATRIZ ENERGÉTICA E CONSUMO DE ENERGIA

Segundo Paes e Schmid (2017) as matrizes energéticas são inventários realizados por países sobre a produção e o consumo de energia, e podem ser classificados por energéticos ou por atividades. Esta ferramenta vem sendo utilizada por diferentes nações ao longo dos anos na elaboração do seu planejamento e na análise das diferentes questões energéticas (SIMA, 2020). A utilização das matrizes energéticas, apesar de não ser comum em escalas menores como a urbana, ainda podem ser aplicadas a qualquer escala, portanto a elaboração de matrizes energéticas para cidades é um instrumento útil para estudos energéticos em escala urbana.





Já os balanços energéticos nacionais que são realizados anualmente, constituem uma ferramenta indispensável para o planejamento energético das nações (PAES; SCHMID, 2017). No Brasil, a instituição responsável da elaboração do Balanço Energético Nacional (BEN) é a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) que foi criada no ano 2001 após o período de insuficiência de oferta de energia (conhecido como “apagão”) ocorrido no mesmo ano.

No estado de São Paulo desde 1980 o balanço energético é elaborado pela Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente (SIMA, 2020). A documentação da matriz energética paulista é utilizada como base no planejamento de ações públicas e privadas para seus municípios.

Para a elaboração deste trabalho foram coletados dados especificamente sobre consumo energético da cidade de Santos. Segundo o Anuário de Energéticos por Município no Estado de São Paulo – 2020 (SIMA, 2020), o consumo de energia elétrica total no município de Santos em 2019 foi de 1.415,3 GWh com 217.720 consumidores em total.

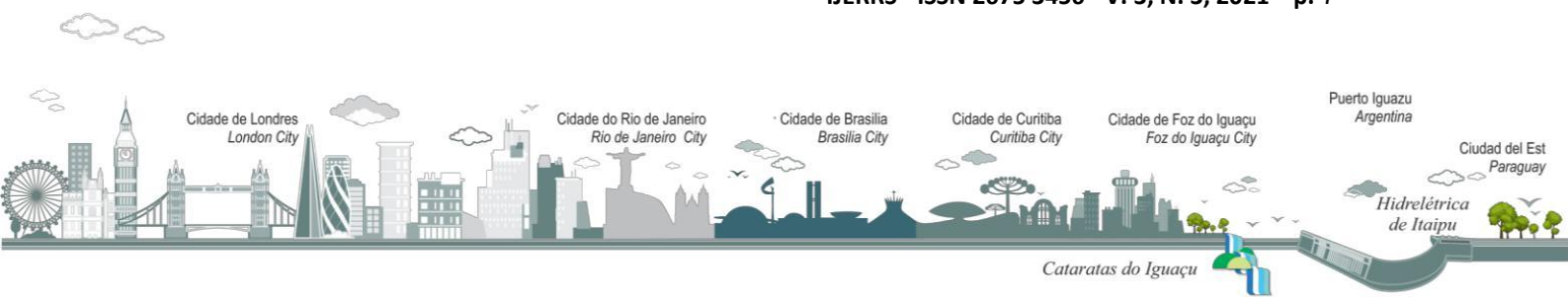
Na Tabela 1 se observa que os setores de maior consumo de energia elétrica são o setor comercial, residencial e industrial.

Tabela 1 - Consumo de energia elétrica por setor em [GWh].

SETOR	Unidade	Valores
Residencial	N.C.	198.157
	GWh	589.977
Comercial	N.C.	17.495
	GWh	613.530
Industrial	N.C.	358
	GWh	128.334
Iluminação Pública	N.C.	217
	GWh	27.729
Poder Público	N.C.	1.403
	GWh	36.275
Serviço Público	N.C.	76
	GWh	18.239
Outras necessidades	N.C.	14
	GWh	1.220
Total	N.C.	217.720
	GWh	1.415.304

*N.C.: número de consumidores

Fonte: Adaptado do Balanço energético de São Paulo, 2020.





O consumo e número de consumidores total de gás natural em 2019 foram de 14.197.563 m³ e 41.452 respectivamente. Segundo a Tabela 2 tanto o setor comercial como o residencial, apresentam um consumo de gás natural muito similar, seguidos pelo setor industrial e automotivo.

Tabela 2 - Consumo e número de consumidores de gás natural por classe no município Santos ano base 2019.

SETOR	Unidades	Valores
Residencial	N.C.	40.630
	m ³	4.650.019
Comercial	N.C.	808
	m ³	4.956.430
Industrial	N.C.	3
	m ³	3.238.683
Automotivo	N.C.	1
	m ³	1.352.430
Total	N.C.	41.452
	m³	14.197.563

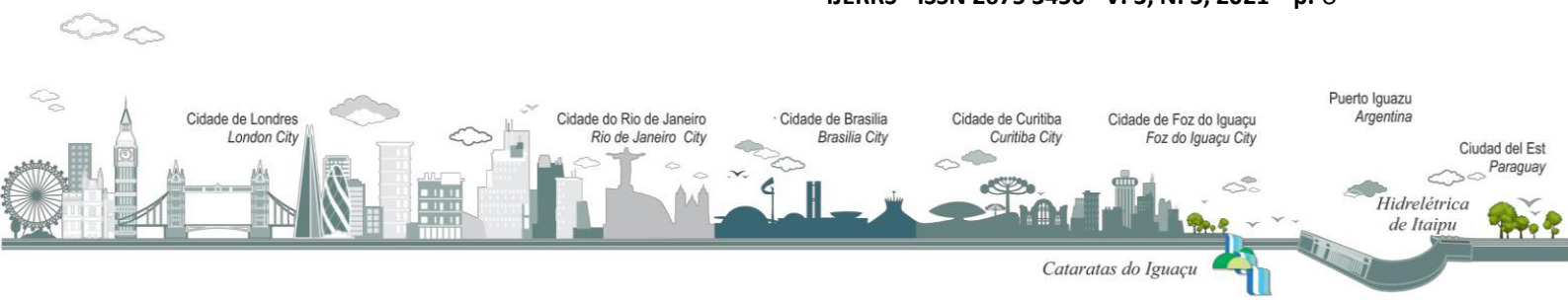
Fonte: Adaptado do Balanço energético de São Paulo, 2020.

Os combustíveis derivados do petróleo mais consumidos em 2019 foram o Óleo Diesel e a Gasolina Automotiva seguidos pelo etanol, conforme a Tabela 3. Santos ao ser uma cidade portuária consome elevadas quantidades de combustível líquidos na movimentação dos contêineres que entram e saem do país.

Tabela 3 - Consumo de derivados de petróleo e etanol no município Santos – Ano base 2019.

Gasolina Automotiva	Litros	74.671.016
Gasolina de Aviação	Litros	0
Óleo Diesel	Litros	112.759.489
Óleo Combustível	kg	4.310.770
Querosene de Aviação	Litros	2.758.000
Querosene de iluminação	Litros	0
GLP	kg	13.318.036
Coque	kg	0
Etanol	Litros	69.453.626
Asfalto	kg	4.260.780

Fonte: Adaptado do Balanço energético de São Paulo, 2020.





TRABALHOS RELACIONADOS

Com relação a estudos feitos sobre análise de cidades, pode citar-se Hartmann *et al.* (2019) onde foi analisado a gestão de RSU da cidade de Florianópolis – Santa Catarina (Brasil), o autor identifica uma grande mobilidade devido ao turismo e por uma questão geográfica do local, existe um grande deslocamento de veículos.

Em um outro estudo feito no arquipélago do Havaí (HAWIAIS, 2020) foram elaborados uma análise do setor energético do estado, elaborando assim um diagrama de Sankey, onde é possível descompor e visualizar o fluxo de energia desde suas fontes até sua utilização final, além disso permite determinar o total de energia não utilizada (energia rejeitada em forma de calor residual, ou seja, energia não aproveitada).

Além disso, outro estudo realizado na cidade de São Luís no estado de Maranhão (Brasil) (ARAÚJO; RANGEL, 2015) onde relaciona o crescimento urbano com as variações térmicas, modificando o clima da região, isso é de grande importância para um bom planejamento urbano. Por tanto é interessante saber, que o desenvolvimento de uma região traz consigo consequências climáticas, podem gerar perdas energéticas e afetam diretamente ao planejamento urbano.

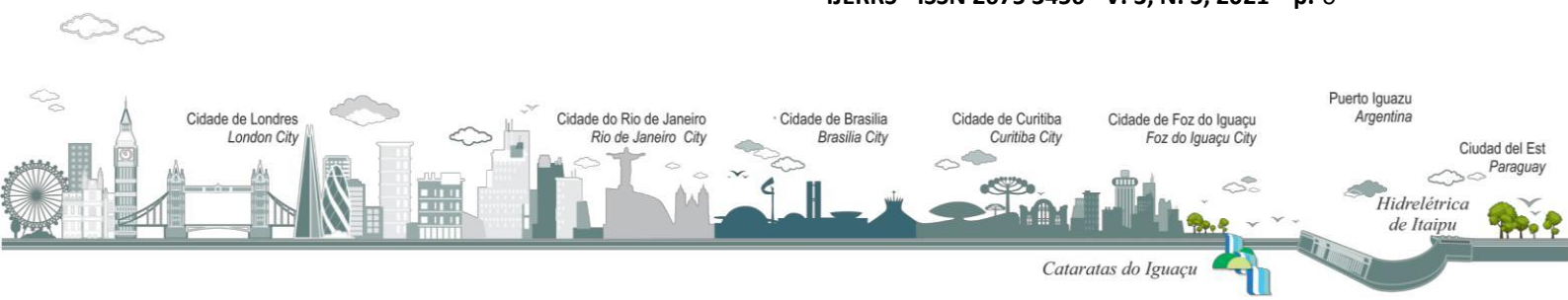
METODOLOGIA

A metodologia utilizada está em base no artigo introdutório, proposto por Hartmann e Dias (2021). A partir disso, a análise energética para a cidade de Santos foi desenvolvida com os dados de consumo de combustíveis e consumo de eletricidade obtidas da literatura. O equacionamento de forma resumida é apresentado a continuação.

A energia de entrada por combustível foi obtida multiplicando o consumo com o PCI do combustível e com a densidade do combustível.

$$Energia_{entrada,comb} = Consumo_{comb} * PCI * Densidade_{comb} \quad (1)$$

Já tendo o valor calculado da energia de entrada, foi multiplicado pelo fator alfa que foi





disponibilizado como conteúdo da matéria, tendo como resultado o cálculo da exergia de entrada de cada combustível.

$$Exergia_{entrada,comb} = Energia_{entrada,comb} * fatoralfa \quad (2)$$

Para o cálculo da exergia destruída, deve-se conhecer a eficiência exérgica dos processos termodinâmicos que acontecem nas cidades. Os valores das eficientes utilizadas no equacionamento a seguir foi disponibilizado como conteúdo da matéria.

$$Exergia_{destruida,comb} = Exergia_{entrada,comb} * (100 - \eta_{processo}) \quad (3)$$

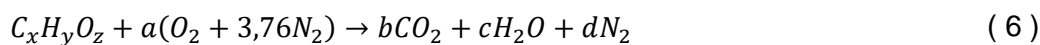
Já tendo os valores das exergias de entrada e destruídas podemos calcular a eficiência exérgica conforme a seguinte equação:

$$\eta_{processo} = 1 - \frac{Exergia_{destruida}}{Exergia_{entrada}} \quad (4)$$

Como no interior da cidade existem mais de um processo e há mais de um fluxo de entrada de exergia, a eficiência exérgica deve ser descrita em termos de somatório de todos os processos de interesse.

$$\eta_{processo} = 1 - \frac{\sum Exergia_{destruida}}{\sum Exergia_{entrada}} \quad (5)$$

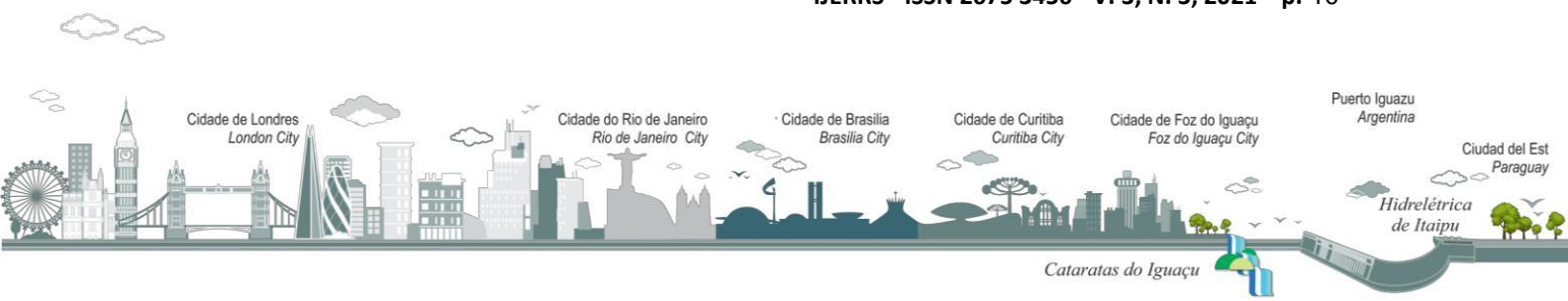
Para o cálculo do balanço de espécies químicas dos combustíveis consumidos na cidade foi seguido o processo descrito a continuação:



$$b = x \quad (7)$$

$$c = y/2 \quad (8)$$

$$a = (x + (y/4) - (z/2)) \quad (9)$$





Já tendo realizado o balanço químico prosseguiu-se com o cálculo da obtenção de $massa_{CO_2}/massa_{comb}$.

$$\frac{m_{CO_2}}{m_i} = \frac{MM_{CO_2} \cdot x}{(x \cdot 12 + y \cdot 1 + z \cdot 16)} \left[\frac{kg_{CO_2}}{kg_i} \right] \quad (10)$$

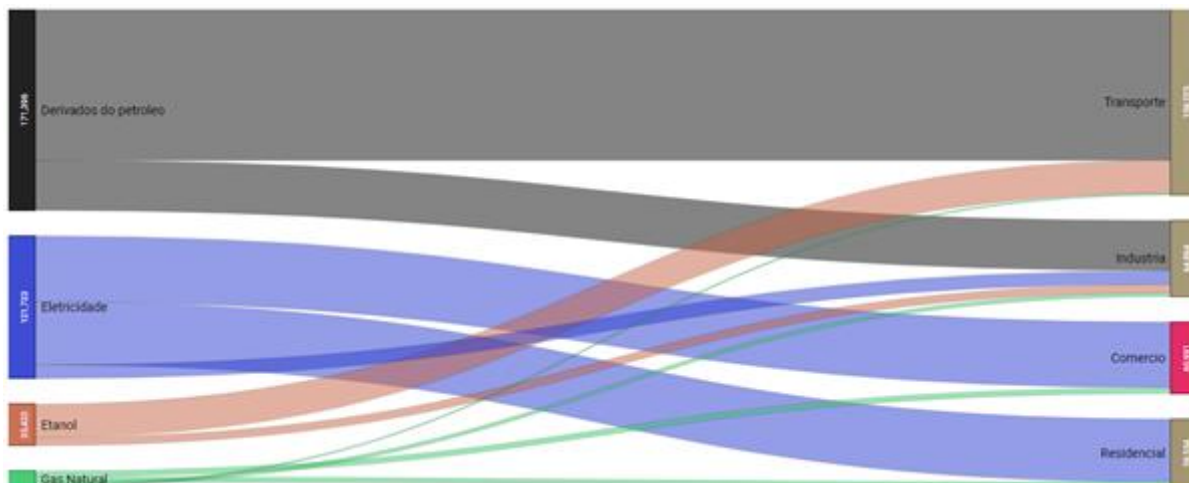
Para finalizar foi calculado a produção da massa de CO₂ total e por tipo de combustível para a cidade utilizando a seguinte equação.

$$m_{CO_2,i} = \frac{m_{CO_2}}{m_i} \cdot m_i \quad (11)$$

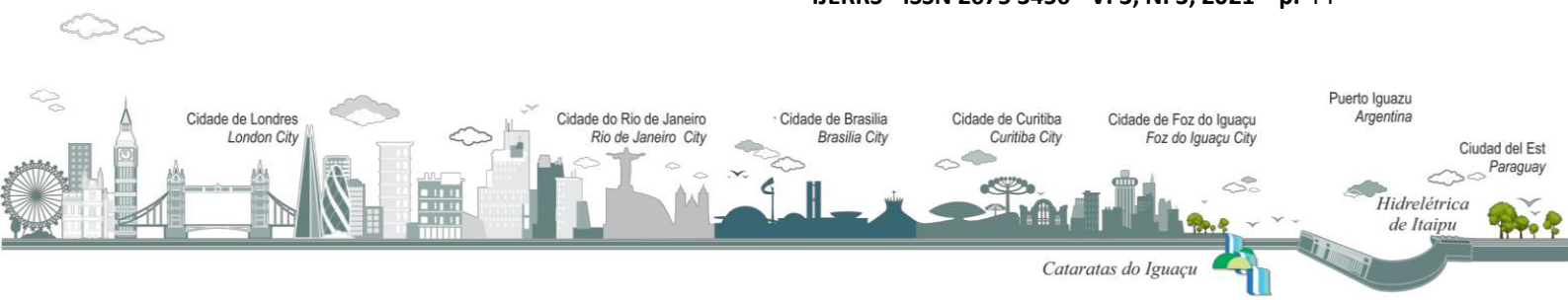
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 2 apresenta-se o diagrama de Sankey, onde foi realizado o balanço energético das principais fontes de energia primária e secundária e suas derivações aos principais setores de consumo, em unidade TOE (toneladas equivalentes de petróleo). Cabe destacar que na entrada “Derivados do petróleo” por questões práticas foram agrupados combustíveis como “Óleo Diesel” e “Gasolina”.

Figura 2 – Representação do diagrama de Sankey no setor energético.



Fonte: adaptado pelos autores a partir de dados municipais, 2021.





Portanto, pode-se observar (Figura 2) que o maior consumo da cidade corresponde ao setor de transporte, seguido da indústria, comércio e residencial. Isso é esperado, já que grande parte da matriz energética de Santos é destinada ao Porto e na logística de transporte é utilizada caminhões, por outra parte Santos ao ser uma cidade muito turística, grande parte de sua infraestrutura está destinada ao comércio.

O consumo total de energéticos de Santos em toneladas equivalentes de petróleo (toe) e as correspondentes emissões de CO₂ (10³ t/ano) mostram-se na Tabela 4, que foram adaptadas do balance energético de São Paulo, para gerar o diagrama de Sankey (Figura 2).

Tabela 4 - Consumo total de energéticos.

Eletricidade	toe	121716
Gás Natural	toe	14098
Etanol	toe	35421
Derivados de Petróleo	toe	171396
Total	toe	342632
Emissões de CO ₂	10 ³ t/ano	521

Fonte: adaptado do balanço energético de São Paulo, 2020.

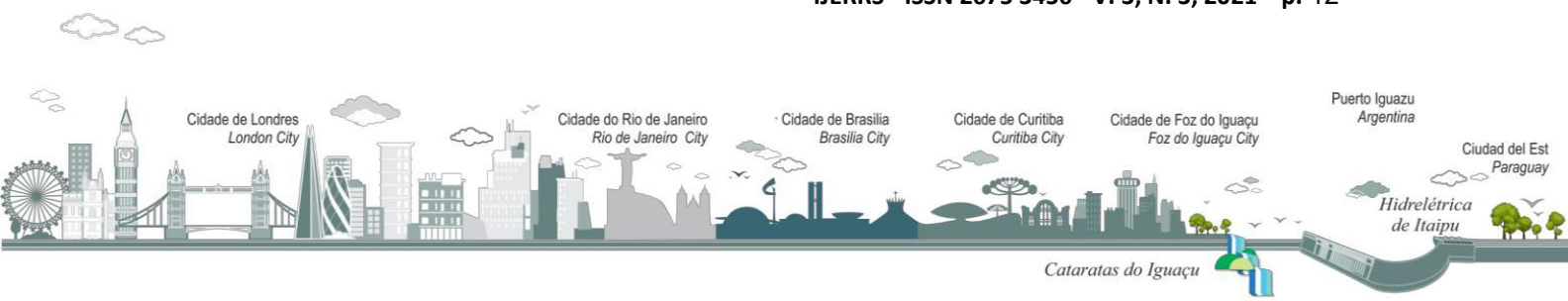
Seguindo a metodologia proposta no artigo introdutório, foi obtida a energia e exérgia de entrada de cada energético analisado na cidade, cujos valores encontram-se na tabela 5.

Tabela 5 - Energias e Exérgias de entrada calculadas para a cidade de Santos.

Energético	Consumo	Energia de Entrada [GJ/ano]	Fator Alfa [-]	Exérgia de Entrada [GJ/ano]
Gás natural [m ³]	14,197,563	518480.8032	1.02	528850.4193
Gasolina [litros]	74,671,016	2392085.998	1.07	2559532.017
Óleo Diesel [litros]	112,759,489	4058326.769	1.06	4301826.375
Etanol [litros]	69,453,626	1479570.595	1.08	1597936.242
GLP [kg]	13,318,036	625947.692	1.05	657245.0766
Energia Elétrica [kWh]	1,415,303,882	5095093.975	1	5095093.975
TOTAL		14169505.83		14740484.11

Fonte: os autores, 2021.

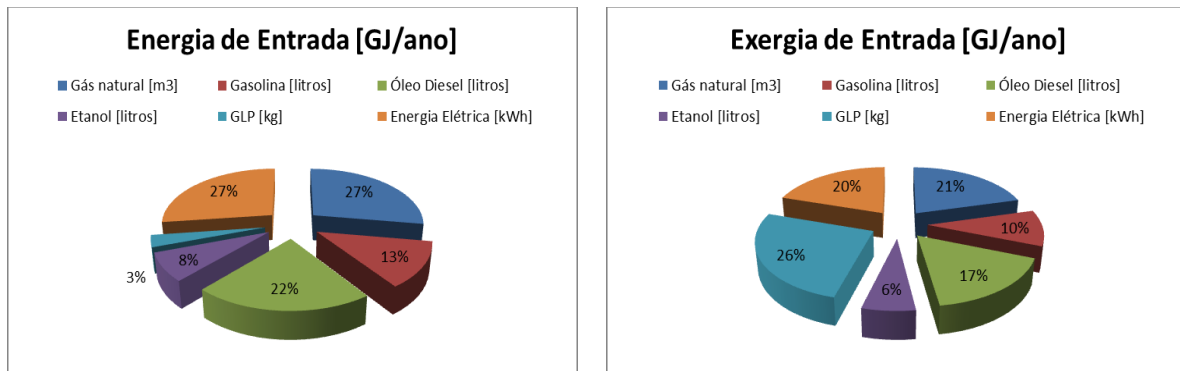
Para o ano de 2019 o total de energia ingressada na cidade de Santos foi 14169505.83 GJ/ano onde a energia elétrica e gás natural representam cada uma o 27% do total seguidas





de óleo diesel, gasolina, etanol e GLP com 22%, 13%, 8% e 3% do total respectivamente como mostra-se na Figura 3.

Figura 3 – Representação em porcentagem da entrada de energia e exérgia na cidade de Santos.



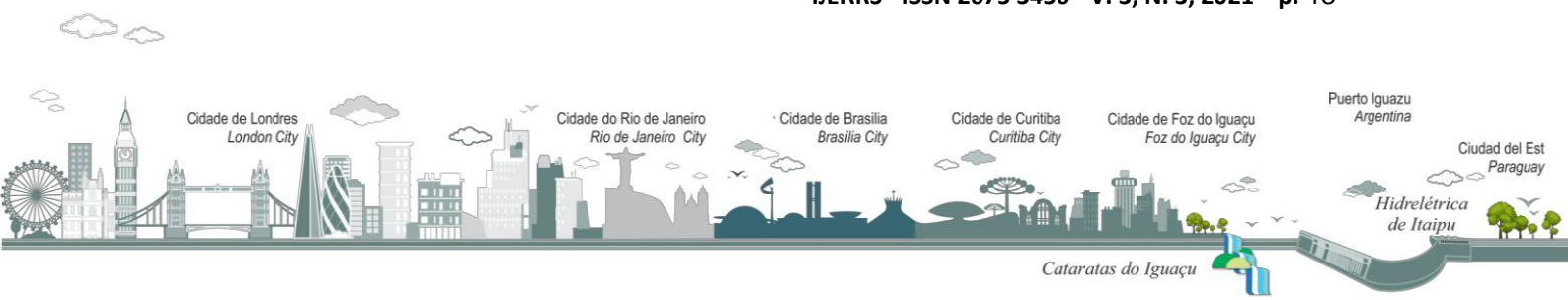
Fonte: os autores, 2021.

Já para a entrada de exergia no ano 2019 cujo valor total foi de 14740484.11 GJ/ano o combustível que representa a maior porcentagem foi o GLP com o 26% do total seguido da energia elétrica, gás natural, óleo diesel, gasolina e etanol com 20%, 21%, 17%, 10%, 6% do total respectivamente. Uma vez calculada a energia de entrada e conhecendo os valores das eficiências exérgica dos processos, pode ser calculado a eficiência exérgica da cidade e a exergia de saída para cada energético analisado.

Tabela 6 - Exergia destruída calculada para a cidade de Santos.

Energético	Exergia de Entrada [GJ/ano]	Eficiência exérgica [%]	Exergia destruída [GJ/ano]
Gás natural [m ³]	528850.4193	19.95	423344.7606
Gasolina [litros]	2559532.017	25	1919649.013
Óleo Diesel [litros]	4301826.375	25	3226369.781
Etanol [litros]	1597936.242	25	1198452.182
GLP [kg]	657245.0766	14.9	559315.5602
Energia Elétrica [kWh]	5095093.975	11.5	4509158.168
TOTAL	14740484.11	19.70	11836289.46

Fonte: os autores, 2021.





No ano 2019 a cidade de Santos apresenta uma eficiência exergética de 19.70% (Tabela 6). O valor obtido se encontra na faixa para as cidades que apresenta consumos energéticos parecidos. Seguindo o equacionamento descrito na metodologia foi possível calcular as emissões de CO₂ para a cidade de Santos. No ano 2019 a cidade teve uma de emissão total de CO₂ de 641151042.6 kg como pode-se observar na Tabela 7.

Tabela 7 - Emissões de CO₂ calculadas para a cidade de Santos.

Energético	Massa do combustível (kg)	MM _{CO2} [kg/kmol]	m _{CO2} /m _{comb} [kg _{CO2} /kg _{comb}]	Massa de CO ₂ [kg]
Gás natural [m ³]	11031506.45	44	2.75	30336642.74
Gasolina [litros]	55629906.92	44	3.087719298	171769537.2
Óleo Diesel [litros]	94379692.29	44	3.115044248	293996917.6
Etanol [litros]	54798910.91	44	1.913043478	104832699.1
GLP [kg]	13318036	44	3.019607843	40215245.96
Energia Elétrica [kWh]	0	0	0	0
TOTAL				641151042.6

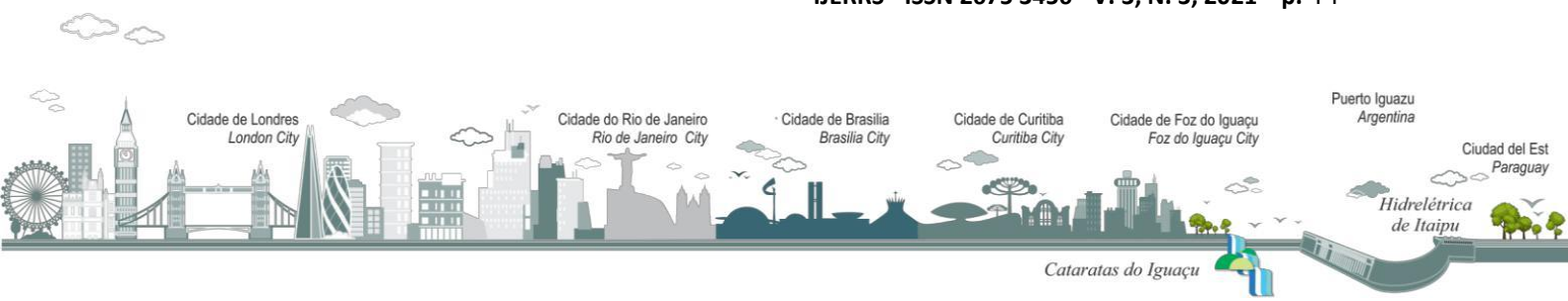
Fonte: os autores, 2021.

O valor de CO₂ calculado representa um valor próximo estimado pela prefeitura municipal de Santos, além disso a eficiência da cidade fica com valores próximos a outras cidades analisadas neste mesmo trabalho.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No contexto histórico foi constatado que Santos desde seus primórdios tem uma economia voltada ao Porto, assim como Itaipu é de grande influência na cidade de Foz de Iguaçu, a cidade de Santos é todo voltada ao Porto, desde a economia, infraestrutura, tecnologia e turismo. Uma observação interessante é que a cidade em termos de área é pequena, para comportar toda sua população teve que se verticalizar.

Uma das principais dificuldades foi a obtenção de informação quantitativa sobre o consumo energético da cidade Santos, o site da Prefeitura apresenta uma organização não muito trivial sobre o acesso às informações. Este trabalho focou na análise energética dos





principais setores de consumo, mas, no entanto, há outros setores para serem explorados em futuros trabalhos assim também aumentando a exatidão dos resultados.

Por último, como já foi mencionado o setor de transporte de Santos é o setor de maior consumo, isso está relacionado com a logística de transporte do Porto, onde centenas de caminhões entram e saem da cidade cada dia. Fica como conclusão, que seria interessante analisar futuramente o volume de controle de fluxo energético, principalmente na região portuária. Também estimular o uso de software para análise de fluxo de energia. Finalmente, considera-se que abordar a Termodinâmica das cidades como um todo, é uma excelente metodologia que pode ser implementada em conjunto com as tecnologias da *Smart City*, com sensores que podem facilitar acesso à informação e assim detectar pontos de ineficiência em alguns setores de uma cidade ou localização.

REFERENCIAS

ARAÚJO, R. R.; RANGEL, M. E. S. Crescimento urbano e variações térmicas em São Luís-MA. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 9, p. 308-318, 2012.

DIAS, V. F. **Mapeamento de ocorrências de eventos perigosos no município de Santos SP: integração com dados de vulnerabilidade socioambiental**. 2014. 71 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Geografia) - Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2014.

FIORAVANTI, L. M. Reflexões sobre o “direito à cidade” em Henri Lefebvre obstáculos e superações. **Revista Movimentos Sociais e Dinâmicas Espaciais**, v. 2, n. 2, p. 173-184, 2013.

HARTMANN, R. M.; ACEVEDO, L. E. G.; BAZZO, E. Assessment of municipal solid waste management system using a mixing index as indicative for urban sustainability analysis. *In*: Proceedings of ECOS 2019 - The 32nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, 32., 2019. Wroclaw. **Anais...** Wroclaw: University of Science and Technology, 2019. p. 1715–1729.

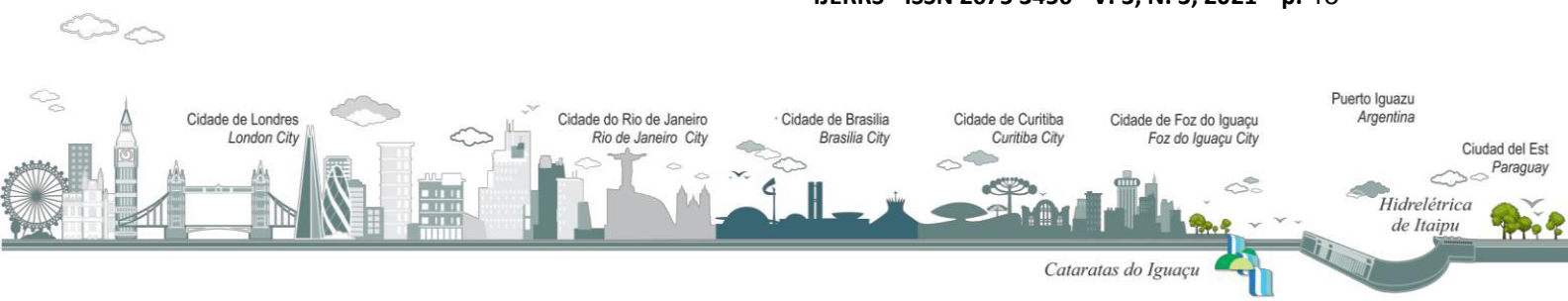
HAWIAIS. **Energy Facts & Figures**. 2020. Disponível em < https://energy.hawaii.gov/wp-content/uploads/2020/11/HSEO_FactsAndFigures-2020.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2021.

IBGE. **Estimativa da população no município de Santos em 2020 e informações completas**. 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/santos/panorama>> Acesso em: 15 mai. 2021.

JACOB, C. R. **Atlas da filiação religiosa e indicadores sociais no Brasil**. 7. ed. São Paulo: Edições Loyola, 2003. 131 p.

MARTINS, M. I. F. P. O. **Estudo do processo de urbanização e das transformações do uso da terra urbana no município de Santos (SP) com uso de geotecnologias**. 2014. 157f. Dissertação (Mestrado em Engenharia geotécnica) – Unicamp, Campinas, 2014.

PAES, N. C.; SCHMID, A. L. City, Mobility and Energy - Relations between urban characteristics and





partial energy matrix of Curitiba, Brazil. **Espaço energy**, v. 1, n. 26, p. 24–34, 2017.

PAIVA FILHO, H. D.; RIGHI, R. **O desenvolvimento urbano da cidade de Santos o local, o regional e o nacional em 400 anos de história**. Santos: UPCommons, 2021.

PÓLIS. **Resumo executivo de santos: relatórios econômicos**. 2018. Disponível em: <<https://polis.org.br/wp-content/uploads/2020/03/Resumo-Executivo-SANTOS-Litoral-Sustentavel.pdf>> Acesso em: 20 mai. 2021.

PREFEITURA DE SANTOS. **Conheça Santos: dados gerais e meio ambiente**. 2021. Disponível em: <<https://www.santos.sp.gov.br/?q=hotsite/conheca-santos>>. Acesso em: 15 de mai. 2021.

PREFEITURA DE SANTOS. **Plano diretor de Santos. 2018**. Disponível em: <https://www.santos.sp.gov.br/static/files_www/conselhos/lei_no_1005_de_16_de_julho_de_2018_-_institui_o_plano_diretor_de_desenvolvimento_e_expansao_urbana_do_municipio.pdf> Acesso em: 21 mai. 2021.

SIMA. **Balanco Energético do Estado de São Paulo 2021: Ano base 2020**. 2020. Disponível em <<http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portalsev2/intranet/BiblioVirtual/diversos/BalancoEnergetico.pdf>> Acesso em: 11 set. 2021.

WARK, K. **Advanced thermodynamics for engineers**. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 1995. 210 p.

