



## ANÁLISE EXERGÉTICA DA CIDADE DO MÉXICO

### MEXICO CITY EXERGY ANALYSIS

Arlene Anahi Luft<sup>1</sup>

<https://orcid.org/0000-0003-1793-4750>

Elisandra de Oliveira Fernandes Casu<sup>2</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-1744-9387>

Rosalvo Junior Sell<sup>3</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-4709-3852>

**Resumo:** Focar no desenvolvimento das cidades, com uma economia de baixo consumo de carbono, tem se mostrado cada vez mais necessário. Uma nação que almeja desenvolver de forma inteligente sua economia, deve buscar investir em medidas que garantam uma maior eficiência energética. Esse trabalho teve como objetivo a análise e estudo da Cidade do México, buscando através dos levantamentos dos dados de consumo de combustíveis, resíduos sólidos e energia elétrica, calcular a emissão de CO<sub>2</sub> e sua eficiência exergética, através da obtenção da exergia de entrada e taxas de exergia destruídas, resultantes do processo de queima de combustíveis utilizados, foi calculada uma eficiência exergética de 22,16%, dadas as características demográficas, econômicas, e sistemas e dispositivos facilitadores para mobilidade urbana, o sistema de transporte público diversificado, e alto índice do uso de automóvel individual.

**Palavras-chave:** Termodinâmica das cidades. Análise exergética. Eficiência exergética. Cidade do México.

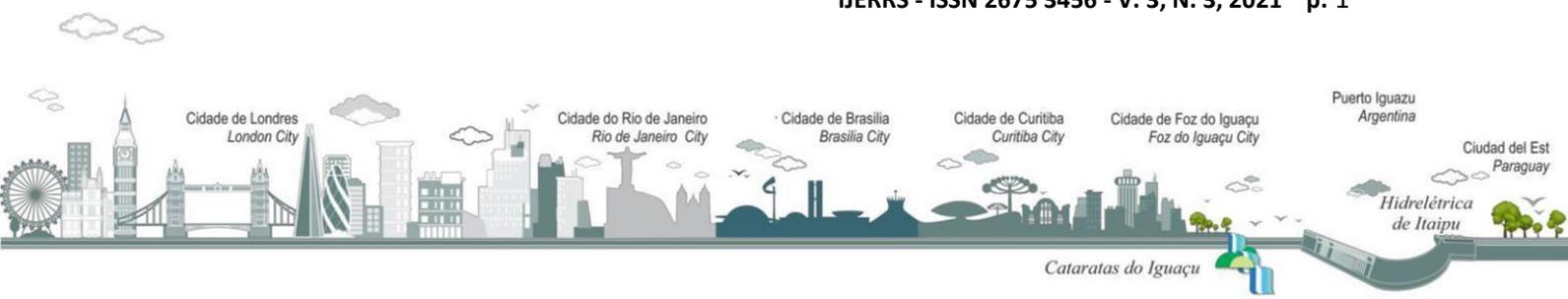
**Abstract:** Focusing on the development of cities, with a low carbon economy, has become increasingly necessary. A nation that aims to develop its economy intelligently must seek and invest in measures that ensure greater energy efficiency. This work aimed to analyze and study Mexico City, seeking through the survey of data on fuel consumption, solid waste and electricity, calculate the emission of CO<sub>2</sub> and its exergetic efficiency, by obtaining the input exergy and exergy rates destroyed, resulting from the process of burning fuels used, it was calculated an exergetic efficiency of 22,16%, due to demographic, economic, and systems and devices facilitating urban mobility, the diversified public transport system, and the high rate of individual car use.

**Keywords:** Thermodynamic of cities. Energy analysis. Exergetic efficiency. Mexico City.

<sup>1</sup> Estudante de graduação do curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil. [arlene.luft@aluno.unila.edu.br](mailto:arlene.luft@aluno.unila.edu.br).

<sup>2</sup> Estudante de graduação do curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil. [elisandra.casu@aluno.unila.edu.br](mailto:elisandra.casu@aluno.unila.edu.br).

<sup>3</sup> Estudante de graduação do curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil. [rj.sell.2020@aluno.unila.edu.br](mailto:rj.sell.2020@aluno.unila.edu.br).





## INTRODUÇÃO

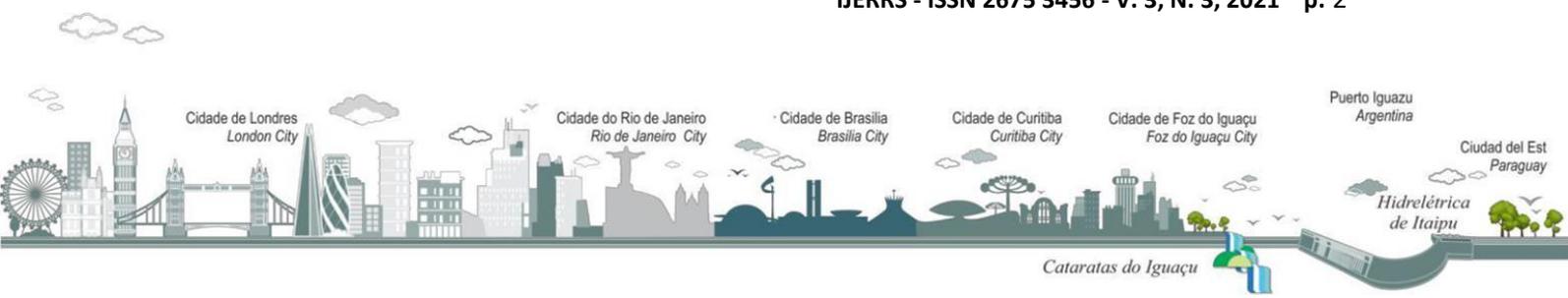
A Cidade do México é a capital do México e possui uma população aproximada de 9.210.000 habitantes (INEGI, 2020) e um território de 1.495 km<sup>2</sup> tendo como densidade demográfica aproximada 6.200 hab/km<sup>2</sup>. É dividida em 16 delegações para que seja possível uma melhor administração. Foi fundada pelo povo Asteca e desde esse período a cidade obteve grandes proporções sendo até hoje uma das maiores regiões metropolitanas do mundo, embora a cidade tenha sido fundada nas crenças do povo asteca, hoje em dia predomina o catolicismo devido à influência dos espanhóis.

O século XX foi marcado para a Cidade do México pelo terremoto em 1985 que chegou à magnitude de 8.1 na escala Richter causando inúmeras mortes e um grande prejuízo financeiro (FOLHA DE SÃO PAULO, 2017). Na década de 90 foi registrada uma preocupante poluição atmosférica por monóxido de carbono, dióxido de enxofre, e dióxido de nitrogênio. Mesmo com a constante preocupação do governo e as taxas terem caído consideravelmente, esse é um problema que mais afeta a economia local.

O fato de a poluição atmosférica ser um problema constante para a cidade é causado pelo fenômeno chamado *Smog*, o qual acontece quando a poluição gerada pela cidade não consegue se dispersar e a sua grande quantidade cria uma espécie de neblina. Tudo isso ocorre pela grande quantidade de fábricas que a cidade possui e a sua localização ser no Vale do México, fazendo com que a cadeia de montanhas ao redor da cidade dificulte a saída dos gases.

Com a sua grande população faz-se necessário um bom planejamento urbano para que a mobilidade urbana não se deteriore e afete cada vez mais. Como resposta do governo a esse problema, no século XXI grandes investimentos foram feitos como ônibus de trânsito rápido, e a grande eficiência do seu sistema de metrô que é um dos mais movimentados do mundo (DIÁRIO DO TRANSPORTE, 2018), para evitar a emissão de monóxido de carbono e demais gases que são liberados pelo excesso de carros particulares no centro urbano.

A economia atual da cidade baseia-se principalmente na indústria e juntamente com outros fomentadores de sua economia que são os serviços financeiros e o turismo que fazem com que a cidade tenha um dos melhores PIBs do país sendo aproximadamente 3.700.000 pesos mexicanos (INEGI, 2020).





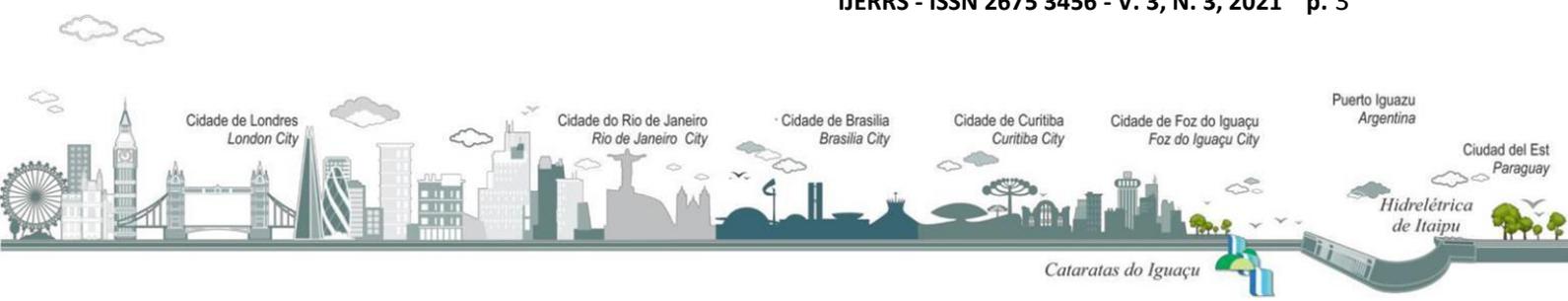
Hartmann *et al.* (2019), apresentaram um estudo sobre a relação entre a entropia do RSU, gerada desde a sua concepção e coleta, utilizando como estudo de caso a cidade de Florianópolis - SC, abordando a problemática do não aproveitamento do potencial de resíduos em energia numa cidade, e assim propiciando uma maior destruição exergética. O trabalho explicitou a problemática dos agentes causadores ou intensificadores da ineficiência, seja por motivos de falhas de aproveitamento do ciclo vivido até o ponto de processamento desse resíduo. Os autores admitiram em seu estudo o resíduo sólido urbano como um fluido composto por resíduos sólidos para assim fazer valer os preceitos da termodinâmica.

Henriques (2013) relacionou o estudo da análise exergética para determinar a eficiência do corpo humano saudável mediante seu sistema respiratório, as variadas situações ambientais, climáticas e situações variadas; Assim como o autor utilizamos o uso dos preceitos e conhecimentos termodinâmicos, porém a Cidade foi o objeto de estudo, tratada como um sistema termodinâmico interligado e a eficiência analisada mediante o levantamento de características de consumo dos combustíveis e geração de RSU.

A análise da produção de entropia e da energia destruída pode ser utilizada como uma ferramenta para a medida da eficiência termodinâmica (PURVIS; MAO, 2017) oferecendo um ótimo parâmetro para a sustentabilidade urbana, evidenciando setores com maiores fontes de trabalho perdido nessas cidades.

Após uma breve observação da cidade utilizada para estudo, foi possível ingressar ao objetivo deste trabalho, o qual era estimar a eficiência exergética da Cidade do México através dos cálculos de massa de combustível utilizado na cidade em um ano e o fluxo energético que esses combustíveis geram. Juntamente calcular a emissão de  $CO_2$  dos mesmos para estimar o grau de poluição atmosférica existente na cidade. Posteriormente foi calculado a exergia de entrada e a exergia destruída, assim finalmente foi determinada a eficiência exergética da cidade, a qual é obtida por meio do efeito desejado sobre a energia gasta.

Ao fim deste trabalho foi possível utilizar os resultados encontrados para obter uma melhor compreensão de como funciona a Cidade do México e seus principais problemas energéticos e ambientais. Para que assim haja um enorme potencial, a fim de originar novas ideias através das possíveis perspectivas criadas sobre a situação da cidade após a resolução desta pesquisa com o intuito de solucionar e aprimorar as adversidades.





## METODOLOGIA

A análise energética de uma cidade permite estimar diversos fatores, tais como suas propriedades, comportamento e desempenho é um meio que permite garantir um sistema de gestão de energia eficiente. A pesquisa está baseada em métodos quantitativos, estruturado a partir da definição do volume de controle adequado, com base na área delimitada pela Cidade do México com o consecutivo levantamento dos fluxos de massa e de energia de interesse para a análise, com base nos dados fornecidos pelos relatórios técnicos correspondentes ao Inventário de Emissões e ao Inventário de Resíduos Sólidos da Cidade do México, ambos do ano de 2016. Posteriormente foram realizados os cálculos dos valores dos fluxos energéticos, a partir dos dados correspondentes aos diversos setores de interesse: habitacional, comércios e serviços, indústria, transporte, agropecuário, em relação ao consumo de combustíveis e consumo de energia elétrica, outrossim o cálculo dos resultados de interesse, tais como emissões e eficiências, conforme à Energia e Exergia.

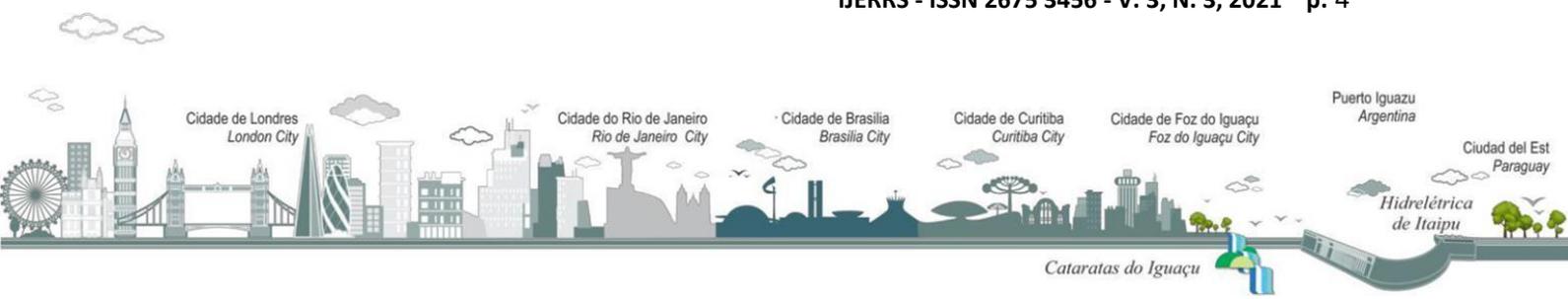
## EQUACIONAMENTO TERMODINÂMICO PARA A ANÁLISE

O cálculo de eficiência exergética das cidades requer da análise dos valores das taxas de exergia de entrada e exergia destruída considerando as respectivas unidades de medida, a variação da energia por unidade de tempo (J/s) ou Watt (W).

De acordo com o artigo introdutório desta edição, escrito por Hartmann e Dias (2021) para o cálculo da eficiência exergética se recomenda uma sequência no processo de desenvolvimento tal que sejam organizados os dados em tabelas contendo a informação sobre a quantidade de combustíveis e eletricidade consumidos na cidade, cuja unidade de medida corresponde a m<sup>3</sup> ou litros, a exceção do GLP que apresenta seu consumo em massa, e no caso da eletricidade a unidade é KWh. Para o cálculo de CO<sub>2</sub> foram utilizadas as seguintes equações:

Aplicando o conceito de massa molar:

$$MM_i = \frac{m_i}{n_i} \quad (2.1)$$





$MM_i$  corresponde à massa molar de um combustível  $i$  qualquer,  $m_i$  é a massa de um combustível  $i$ ,  $n_i$  é o número de mols de um combustível  $i$ .

Deste modo, foi possível expressar o produto entre a massa de combustível e a massa do  $CO_2$ , da seguinte maneira:

$$fator_{CO_2} = \frac{m_{CO_2}}{m_{combustível}} \quad (2.2)$$

O qual pode ser notado com os valores correspondentes a massa molar e ao número de mols produzidos durante o processo de combustão:

$$fator_{CO_2} = \frac{N_{CO_2} * MM_i}{1 * MM_{combustível}} \quad (2.3)$$

Para calcular o fator de  $CO_2$  de cada combustível, individualmente, utilizamos os dados dos respectivos volumes e as respectivas densidades, registrados na Tabela 1:

Tabela 1 - Densidade de combustíveis de interesse.

Combustível	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
Gasolina	750
GLP	2,5
Óleo Diesel	840
Gás Natural	0,78

Fonte: dados da pesquisa, 2021.

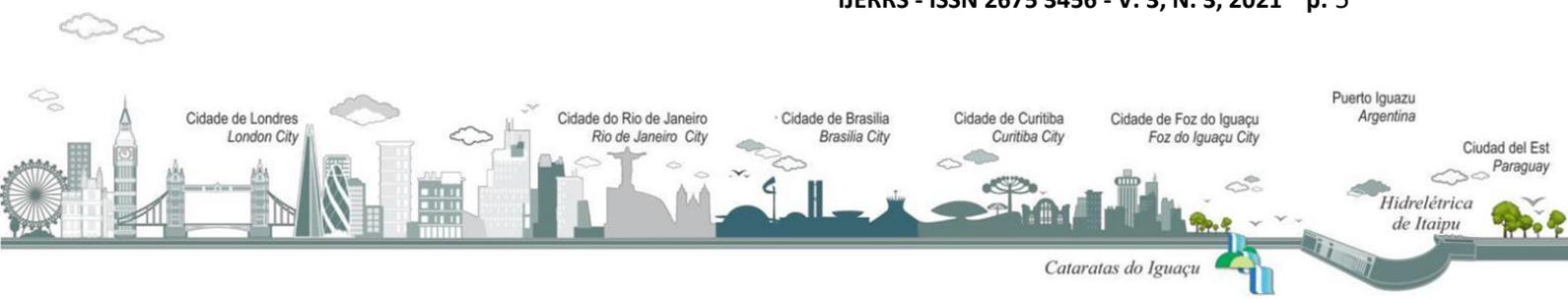
Previamente foi necessário calcular a massa do combustível consumido:

$$m_{combustível} = V_{combustível} * \rho_{combustível} \quad (2.4)$$

Os valores correspondem ao Volume de combustível consumido na cidade, em m<sup>3</sup>, informação proporcionada pelo inventário de emissões da Cidade do México (2016) é a densidade específica do combustível.

A massa de  $CO_2$  foi calculada como:

$$m_{CO_2} = fator_{CO_2,combustível} * m_{combustível} \quad (2.5)$$





Para calcular a Eficiência Exergética, e tendo em consideração que a Exergia compreende energia e entalpia, e corresponde às taxas de exergia de entrada e de exergia destruída da cidade, a fórmula utilizada foi a seguinte:

$$\eta_{II} = 1 - \frac{\dot{E}_{Destruida}}{\dot{E}_{Entrada}} \quad (2.6)$$

A matriz energética, de acordo com a Secretaria de Energia (SENER, 2015) forneceu informações sobre o fluxo de energia, partindo da produção até o consumo num tempo e região determinados. É composta pelas energias primárias e secundárias. As primeiras são aquelas obtidas diretamente da natureza, e as segundas, são obtidas através de algum processo de transformação. A seguir, é apresentada a tabela de dados correspondente ao consumo de energia da Cidade do México por setor no ano de 2016.

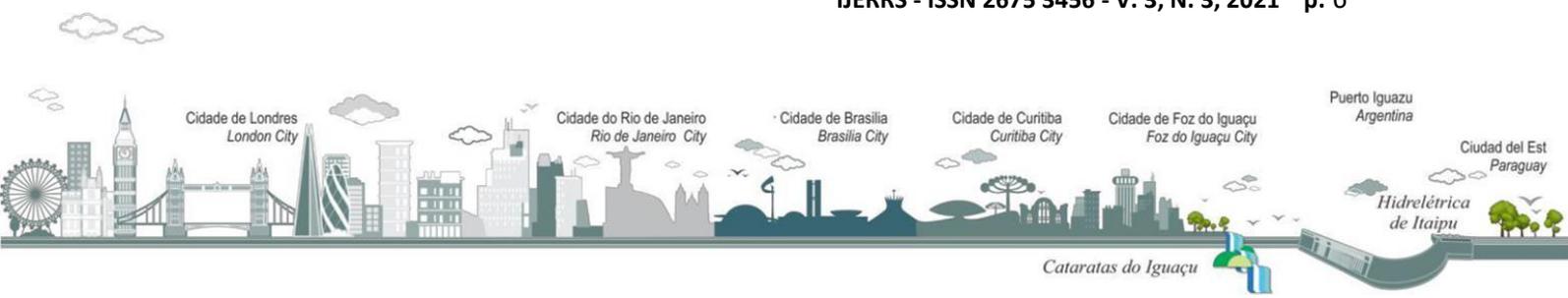
Tabela 2 - Dados de Consumo Combustíveis por setores na Cidade de México, 2016.

TIPO	Habitacional	Comércios e Serviços	Indústria	Transporte	Agropecuário
<b>Gasolina</b>	N/A	43 [m <sup>3</sup> /ano]	N/A	4.831.616 [m <sup>3</sup> /ano]	N/A
<b>Diesel</b>	N/A	26.049 [m <sup>3</sup> /ano]	9.501 [m <sup>3</sup> /ano]	1.253.214 [m <sup>3</sup> /ano]	N/A
<b>Gás LP</b>	928.031 [m <sup>3</sup> /ano]	261.005 [m <sup>3</sup> /ano]	172.341 [m <sup>3</sup> /ano]	171.722 [m <sup>3</sup> /ano]	4.352 [m <sup>3</sup> /ano]
<b>Gás natural</b>	169.470.625 [m <sup>3</sup> /ano]	46.471.095 [m <sup>3</sup> /ano]	52.230.3346 [m <sup>3</sup> /ano]	10.660.321 [m <sup>3</sup> /ano]	N/A
<b>Energia Elétrica</b>	3.260.894 [MWh/ano]	4.131.374 [MWh/ano]	6.244.120 [MWh/ano]	862.896 [MWh/ano]	737 [MWh/ano]

Fonte: Inventário de Emissões da Cidade do México, 2016.

A partir dos dados proporcionados no Balanço Nacional de Energia do ano 2016, a Cidade do México consome fundamentalmente energias secundárias, transformadas a partir de fontes primárias, tais como gasolina e diesel. No ano em que os dados foram coletados, foi registrado um consumo de 385.2 Petajoules (PJ), 356.4 PJ correspondentes ao processamento de petrolíferos e 28.8 PJ resultante de energias primárias. Estima-se que na Cidade do México o consumo anual da gasolina per capita é de 1300 litros.

Em relação aos dados dos resíduos sólidos urbanos, proporcionados pelo Inventário





de Emissões de Resíduos Sólidos (2016), da Secretaria do Meio Ambiente da Cidade de México (SEDEMA, 2016), a informação obtida corresponde aos dados da Tabela 3:

Tabela 3 - Geração de resíduos sólidos urbanos na Cidade do México.

Tipo	Quantidade [ton/dia]
Domiciliários	6162
Comércios	1994
Mercados	1364
Serviços	1762
Controlados	391
Diversos	662
CEPA	585
<b>TOTAL</b>	<b>12920</b>

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos da Cidade do México, 2016.

Segundo os planos operacionais, em 2016 foram coletadas 811 toneladas diárias de resíduos na Cidade do México, dos quais 90,5% correspondem a resíduos sólidos urbanos, e o valor restante, 9,5% são resíduos que precisam de um tratamento especial. Do total de resíduos sólidos urbanos, 24,47 toneladas são biodegradáveis e susceptíveis de aproveitamento, assim como 709,53 toneladas diárias são inorgânicos, com potencial de aproveitamento (SEDEMA, 2016).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

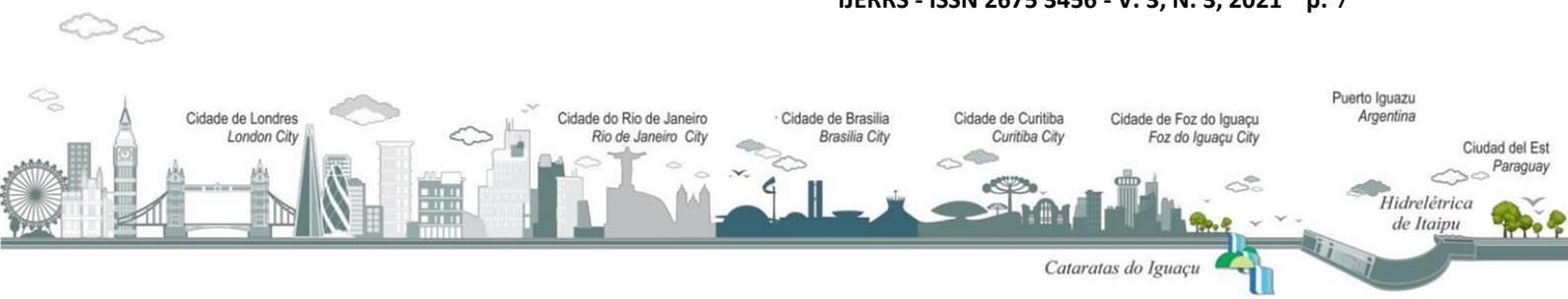
Foram utilizados para o cálculo as seguintes densidades o Fator de CO<sub>2</sub> equivalente ao tipo de combustível, conforme a Tabela 4 e 5, respectivamente:

Tabela 4 - Densidade e Fator CO<sub>2</sub> por tipo de combustíveis.

Tipo	Densidade	Fator CO <sub>2</sub>
Gasolina	750 kg/m <sup>3</sup>	3,08
Óleo diesel	840 kg/m <sup>3</sup>	3,115
GLP	2,5 kg/m <sup>3</sup>	3,02
Gás natural	0,78 kg/m <sup>3</sup>	3,01

Fonte: dados da pesquisa, 2021.

Na Tabela 5 foi realizada a somatória dos combustíveis por cada setor, totalizando o





valor em kg.

Tabela 5 - Taxa de CO<sub>2</sub> em kg produzido por setor.

TIPO	CO <sub>2</sub> Produzido por setor [TON/ANO]				
	Habitacional	Comércios e serviços	Indústria	Transporte	Agropecuário
Gasolina	N/A	92.708	N/A	10416.96	N/A
Diesel	N/A	68.86	25.11	3312.87	N/A
Gás LP	7.0066	1.97	1.30	1.296	0.032
Gás natural	165.23	45.30	509.25	10.39	N/A
Total	172.24	208.85	535.66	13741.53	0.033
%	0.00117514	0.00142	0.0036	0.094	2.24x10 <sup>-7</sup>

Fonte: dados da pesquisa, 2021.

A quantidade total de CO<sub>2</sub> produzida por todos os setores é de 14657009,06 kg. A Tabela 6 apresenta os valores do CO<sub>2</sub> emitido, em toneladas por ano, com sua respectiva porcentagem.

Tabela 6 - Taxa de CO<sub>2</sub> produzido por setor.

Tipo	Ton [Ano]	Porcentagem Co <sub>2</sub> Total %
Gasolina	10509,672096	71,70407039
Diesel	3406,847634	23,24381202
Gás LP	10,3065805	0,070318443
Gás natural	730,182752325	4,981799146
<b>Total</b>	<b>14657,009062825</b>	<b>100%</b>

Fonte: dados da pesquisa, 2021.

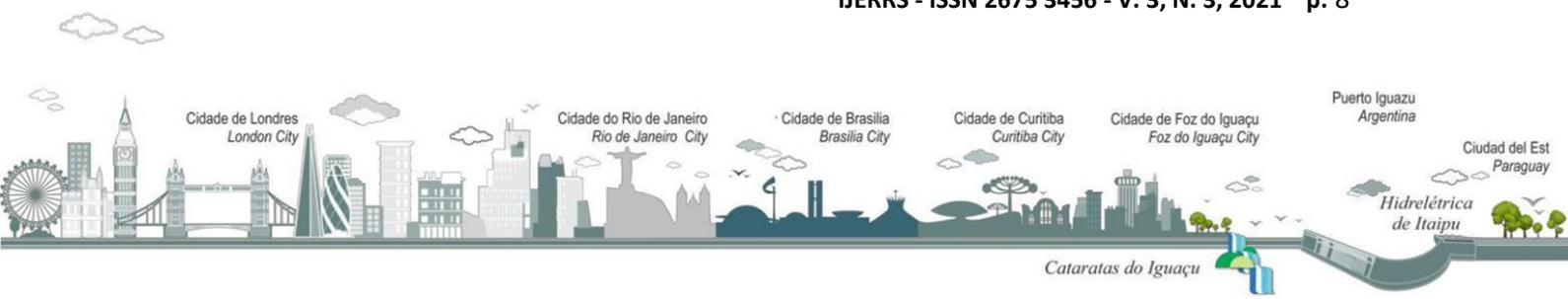
Na Tabela 7 apresenta-se o cálculo de Energia e Exergia da Cidade do México, ano 2016.

Tabela 7 - Cálculo de Energia e Exergia da Cidade do México, ano 2016.

Combustível	Energia [Gj]	Exergia [Gj]	Pci [Kj/Kg]	Fator Alfa [-]
Gasolina	142582.52	152563.29	39000	1,07
Diesel	45467.59	48195.65	42000	1,06
Gás LP	176.81	185.65	46000	1,05
Gás Natural	8139.95	8302.75	37000	1,02
Eletricidade	N/A	51744.2	N/A	N/A

Fonte: dados da pesquisa, 2021.

Para o cálculo da Energia, foi multiplicada a massa do combustível consumida, pelo





seu PCI (Calor Específico Inferior), antes disso, foi transformado o fluxo em volume para fluxo em massa, através da multiplicação do volume do combustível (m<sup>3</sup>) pela densidade (kg/m<sup>3</sup>) para obter o consumo em massa (kg). Para o cálculo de Exergia, foi multiplicado o valor da Energia pelo fator Alfa, conforme Tabela 8.

Tabela 8 - Obtenção da Exergia destruída.

Tipo	Energia [Gj]	Exergia (Entrada) [Gj]	Eficiência Exergética ( $\eta_{II}$ )	Exergia (Destruída) [Gj]
Gasolina	142582.52	152563.29	25%	114422.47
Diesel	45467.59	48195.65	25%	36146.74
Gás LP	176.81	185.65	14,90%	157.99
Gás Natural	8139.95	8302.75	19,95%	6646.353
Eletricidade	51744.2	51744.2	11,50%	45793.61
<b>TOTAL</b>		260991.54		203167.16

Fonte: dados da pesquisa, 2021.

Para o cálculo da Exergia destruída foi aplicada a seguinte fórmula:

$$\dot{E}_{Destruida,j} = (\dot{E}_{Entrada,j}) * (100 - \eta_{II,j}) \quad (2.7)$$

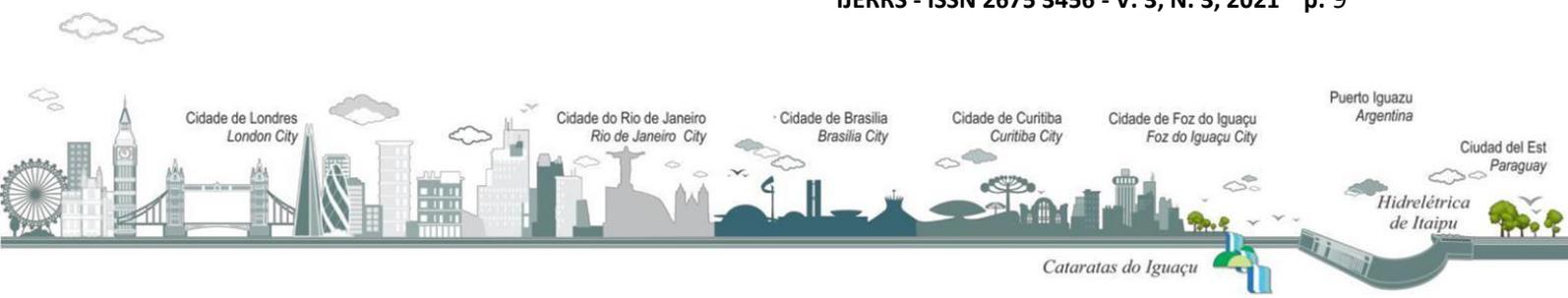
$\dot{E}_{Destruida}$  é a Exergia destruída nos processos que ocorrem dentro da cidade,  $\dot{E}_{Entrada}$  corresponde a Exergia que entra na cidade,  $j$  representa o processo específico considerado. O valor de  $\eta_{II}$  corresponde a eficiência, de acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica, cuja fórmula correspondente foi a seguinte:

$$\eta_{II} = 1 - \frac{\dot{E}_{Destruida}}{\dot{E}_{Entrada}} \quad (2.8)$$

Note que para o gás natural, foi realizada uma média entre os valores 14,4% e 25%, porque pode ser de cocção ou utilização veicular. Em termos da somatória de todos os processos avaliados, foi utilizada a seguinte fórmula:

$$\eta_{II} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \dot{E}_{Destruida,j}}{\sum_{i=1}^n \dot{E}_{Entrada,j}} \quad (2.9)$$

Os valores totais de exergia de destruída e a exergia de entrada com o respectivo





resultado de  $\eta_{II}$ , a eficiência exergética de Cidade do México estão na Tabela 9.

Tabela 9 - Cálculo de Eficiência Exergética.

EFICIÊNCIA EXERGÉTICA	Total [GJ]
Exergia Destruída	203167.16
Exergia de Entrada	260991.54
$\eta_{II}$	<b>0,2216</b>

Fonte: dados da pesquisa, 2021.

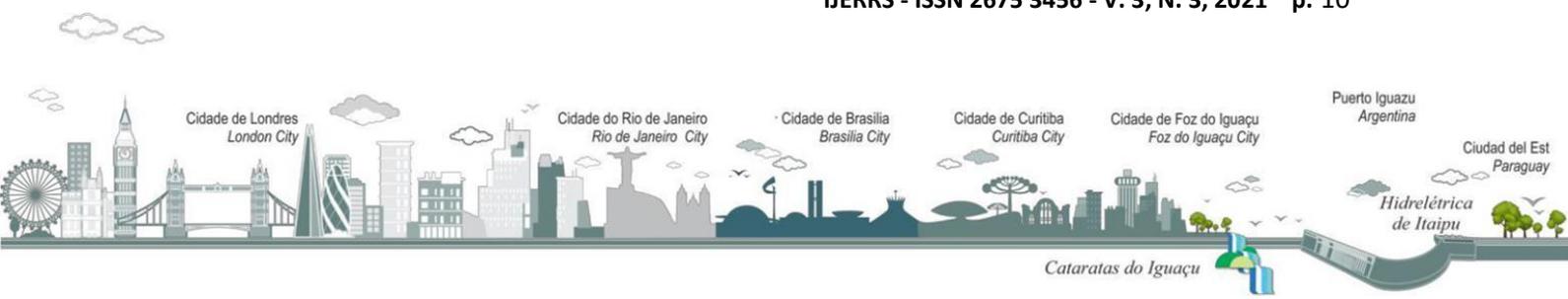
Considerando a soma dos valores da exergia destruída e a sua razão com a soma dos valores da exergia de entrada das variáveis de interesse, nos diversos processos termodinâmicos que ocorrem dentro dos limites analisados da Cidade do México, foi possível determinar que a sua eficiência exergética é de 22,16%.

Comparando os resultados obtidos em relação aos resultados alcançados segundo Hartmann *et al.* (2019) na análise realizada na cidade de Florianópolis, Capital do estado federal de Santa Catarina, Brasil, o potencial de exergia no melhor cenário e com uma adequada gestão de RSU, atingiria um potencial de recuperação de cerca de 246.995 J/ano, melhorando a eficiência exergética del 56,2% até 57,8%. Em relação à eficiência exergética calculada para a Cidade do México, 22,16%, é possível observar que poderia atingir valores mais favoráveis, mas seria necessário repensar o cenário atual e as variáveis que influenciam no resultado.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Cidade do México e suas características específicas fazem dela um ponto estratégico de estudo, considerando fatores como a sua área, população e desenvolvimento sociopolítico e econômico. Com base em dados tais como o reporte internacional Brown to Green Report (2019) a matriz energética do México ainda está fundamentada pelas fontes fósseis, correspondendo um 89% da oferta primária de energia, também é considerável a dependência ao gás natural, representando um 39% do consumo total, diante do 4% da oferta energética renovável. Tudo isso implica em grandes problemas ambientais.

Cidades inteligentes buscam o bem viver das pessoas com qualidade de vida, e isso inclui o meio ambiente, é possível através de medidas que visem buscar por combustíveis que





emitem menores taxas de gases tóxicos como o  $CO_2$ , através de medidas que organizam o meio, seja através de normas regulamentadoras, otimização de setores e equipamentos.

Um ponto interessante de observação, se comparamos com os dados energéticos do Brasil, é que o uso de Etanol não é amplamente difundido, isto é consequência de uma lei, a NOM 016-CRE, 2016 (SEGOB, 2016), na qual, se bem é permitida a mistura com a gasolina 10%, conhecida como E10, proibida nas zonas metropolitanas de Guadalajara, Monterrey e o Vale do México, que é onde se localiza a Cidade do México, argumentando os altos índices de ozônio, e aguardando evidências dos impactos ambientais que implica o seu consumo.

Os dados utilizados correspondem ao ano de 2016, pois não foi possível obter informações mais atualizadas, sendo que nem toda referência está disponível. Esta escassez de dados do consumo de combustíveis e energia, se mostrou ser um desafio e nos leva a refletir sobre a necessidade de uma frequência eficiente da divulgação deles. Futuros trabalhos poderiam se estender a eficiência da divulgação deles.

Como forma de análise e proposta de um planejamento urbano, voltado a criação de uma cidade inteligente, com uma eficiência energética, com aproveitamento de seu potencial de trabalho, otimizado com a redução de energia através de fontes emissoras de  $CO_2$ .

## REFERÊNCIAS

BROWN TO GREEN REPORT. **Climate Transparency. 2019.** Disponível em: <[www.climate-transparency.org/](http://www.climate-transparency.org/)> Acesso em: 26 mai. 2021.

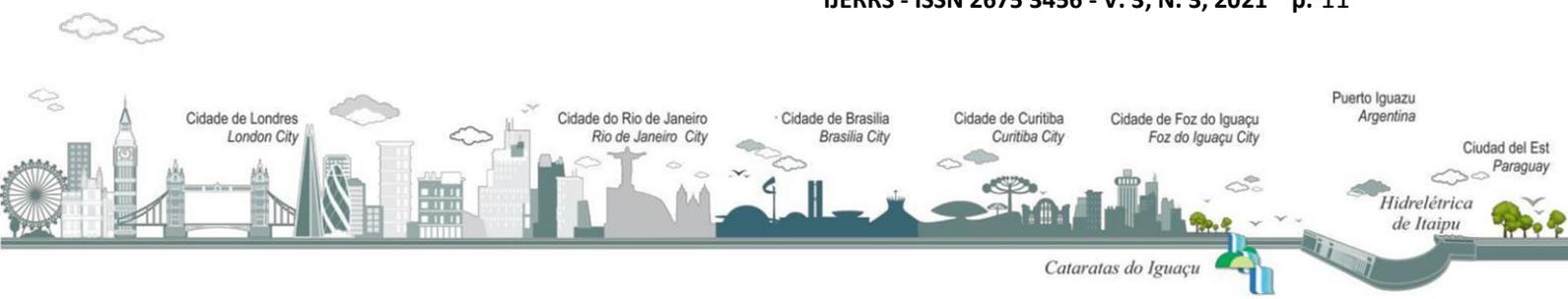
FOLHA DE SÃO PAULO. **No mesmo dia, em 1985, um terremoto matou 10 mil na Cidade do México.** 2017. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/banco-de-dados/2017/09/1919992-no-mesmo-dia-em-1985-terremoto-matou-10-mil-na-cidade-do-mexico.shtml> Acesso em: 21 mai. 2021.

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.

HENRIQUES, I. B. **Desempenho Exergético do corpo Humano e de seu sistema respiratório em função de parâmetros ambientais e da intensidade de atividade física.** 2013. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. **México en Cifras 2020.** 2020. Disponível em: <<https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=09>> Acesso em: 21 mai. 2021.

PURVIS, B.; MAO, Y. “Thermodynamic Entropy as an Indicator for Urban Sustainability?” **Procedia**





**Engineer**, v. 198, n. 1, p. 802–812, 2017.

SECRETARIA DEL MEDIO AMBIENTE DEL GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO. **Inventario de Residuos Sólidos de la Ciudad de México 2016**. 2016. Disponível em: < [www.sedema.cdmx.gob.mx](http://www.sedema.cdmx.gob.mx) >. Acesso em: 21 mai. 2021.

SEDEMA. Secretaría Del Medio Ambiente De La Ciudad De México. **Inventario de Emisiones de la Ciudad de México 2016**. 2016. Disponível em: < [www.sedema.cdmx.gob.mx](http://www.sedema.cdmx.gob.mx) >. Acesso em: 20 mai. 2021.

SEGOB. Secretaría de Gobernación. **Norma Oficial Mexicana NOM 016 CRE 2016**. Diario Oficial de la Federación. 2016. Disponível em: <[www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5450011&fecha=29/08/2016](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5450011&fecha=29/08/2016) >. Acesso em: 25 mai. 2021.

SENER. Secretaría de energía. **Flujo de energia**. 2015. Disponível em: <<https://www.gob.mx/sener>>. Acesso em: 10 set. 2021.

