

# *MODELAGEM DO POTENCIAL DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS EM RELAÇÃO A COMBUSTÃO PROVENIENTE DA FROTA VEICULAR DE FORTALEZA*

MODELING THE POTENTIAL OF ATMOSPHERIC EMISSIONS IN RELATION TO  
COMBUSTION FROM THE FORTALEZA VEHICLE FLEET

MODELADO DEL POTENCIAL DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS RESPECTO A LA  
COMBUSTIÓN GENERADA POR LA FLOTA DE VEHÍCULOS DE FORTALEZA

**Adriana de Oliveira Sousa Leite**

Doutora em Química e Professora do centro de Tecnologia da Universidade de Fortaleza, pós-graduanda em Especialização em Educação Ambiental pela Uninter

**Níkolos Gonçalves Paes de Almeida**

Engenheiro Ambiental e Sanitário pela Universidade de Fortaleza

## **RESUMO**

A poluição atmosférica acarreta diversos problemas ao meio ambiente e à população. Entre as causas que mais contribuem para o aumento da poluição está a crescente circulação de veículos e a consequente queima de combustíveis fósseis pelos motores de combustão. O monitoramento das concentrações de poluentes no ar pelo método *Top-down* e modelos matemáticos, pode auxiliar tomadas de decisões sobre planejamento e gerenciamento da mobilidade urbana. Assim, o presente trabalho se propõe estimar –pelo método *Top-down*–, o potencial das emissões produzidas pela combustão proveniente da frota veicular do Estado do Ceará e da cidade de Fortaleza, em particular, e calcular a sua compensação por plantios de mudas nativas da região. Entre os anos de 2013 a 2016, houve aumento de 14% na frota de Fortaleza e aumento de 5% na emissão de CO<sub>2</sub>. Fazendo-se uma projeção para 2030, se prevê um aumento de 13,9% na emissão de dióxido de carbono. Para compensar a quantidade de emissão de carbono de 2017 a 2030, será necessário o plantio aproximado de 13000 unidades de árvores nativas da região.

**Palavras-chave:** *Top-down*; Fortaleza; Compensação; Modelagem matemática.

## **ABSTRACT**

Air pollution causes several problems for the environment and the population. Among the causes that contribute the most to the increase in pollution is the growing circulation of vehicles and the consequent burning of fossil fuels by combustion engines. Monitoring air pollutant concentrations by *Top-down* method approach and mathematical models can help decision-making in planning and managing urban mobility. Thus, the present work aims to estimate– by *Top-down* method–, the potential of the emissions produced by combustion, from the vehicular fleet in the State of Ceará, and the city of Fortaleza, in particular, and to calculate their compensation for native seedling plantation of the region. Between 2013 and 2016, there was a 14% increase in Fortaleza's and 5% increase in CO<sub>2</sub> emissions. Looking ahead to 2030, carbon dioxide emissions are projected to increase by 13.9% of. To offset the amount of carbon emission from 2017 to 2030, it will be necessary to plant approximately 13000 units of native trees units in the region.

**Keywords:** *Top-down*; Fortaleza; Compensation; Mathematical modeling.

## **RESUMEN**

La polución atmosférica genera diversos problemas al medio ambiente y a la población. Entre las causas que más contribuyen para el aumento de la polución está la creciente circulación de vehículos y la consiguiente quema de combustibles fósiles por los motores de combustión. El monitoreo de las concentraciones de

## *Modelagem do potencial das emissões atmosféricas em relação a combustão proveniente da frota veicular de Fortaleza*

contaminantes en el aire, por medio del método *Top-down* y de modelos matemáticos, puede ayudar en la toma de decisiones sobre planificación y gestión de la movilidad urbana. Así, el presente trabajo se propone estimar –por el método *Top-down*–, el potencial de las emisiones producidas por la combustión proveniente de la flota vehicular del Estado de Ceará (Brasil) y de la ciudad de Fortaleza, en particular, y calcular su compensación por medio de la siembra de árboles nativos de la región. Entre los años 2013 y 2015, se constató un aumento de 14% en la flota de Fortaleza y un acrecentamiento de 5% en la emisión de CO<sub>2</sub>. Al hacerse una proyección para 2030, se prevé un aumento de 13,9% en la emisión de dióxido de carbono. Para compensar la cantidad de emisión de carbono entre 2017 a 2030, será necesario sembrar aproximadamente 13000 unidades de árboles nativos de la región.

**Palabras-clave:** *Top-down*; Fortaleza; Compensación; Modelado matemático.

### **INTRODUÇÃO**

No século XX, o tema ar atmosférico não era tratado de forma tão visível. A crença na integridade constante e na disponibilidade infinita de garantias para manutenção da vida no planeta acarretou em um processo inconsequente de poluição atmosférica. Entre as formas que mais contribuem para o aumento da poluição, está a crescente circulação de veículos e, como conseguinte, a queima de combustíveis fósseis pelos motores a combustão (RUSSO, 2010; MARIO, 2012; CESAR; NASCIMENTO; CARVALHO JUNIOR, 2013).

A poluição atmosférica acarreta diversos problemas ao meio ambiente, e também à população, em especial àquelas pessoas mais sensíveis aos poluentes, como as que sofrem de patologias respiratórias, crianças e idosos. Por conseguinte, o monitoramento das concentrações de poluentes no ar, tem elevada importância no estabelecimento de estratégias para a tomada de melhores decisões de cunho político, sobre planejamento e gerenciamento da mobilidade urbana (DARLEY; MIDDLETON, 1996) Os modelos matemáticos usuais, para obtenção de estimativas e projeções de emissões de poluentes, são instrumentos técnicos capazes de extrapolar no tempo valores provenientes da circulação de veículos a combustão (MOREIRA; TIRABASSI, 2004).

Assim, o método *Top-down*, modelo de abordagem para a determinação de potencial de emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e de projeção, poderia contribuir para uma melhor gestão estratégica da mobilidade da cidade de Fortaleza, auxiliando na tomada de decisões de gerenciamento e controle da magnitude dos impactos ambientais promovidos pela frota urbana.

## **Monitoramento das emissões de gases de efeito estufa**

A observação dos gases de efeito estufa (GEE) é um pré-requisito para desenvolver ações apropriadas; é necessário caracterizar a situação atual e os desafios sobre a mudança climática, por meio de identificação de tendências e dos fatores que mais influem, definindo cenários para alcançar maior eficiência energética. A ideia surge pela maior conscientização sobre a mudança climática, sobre a necessidade de redução das emissões GEE a partir de utilização de fontes renováveis e, ao mesmo tempo, garantindo suprimento necessário ao transporte com combustíveis ecológicos (OLIVEIRA, 2002).

O método de projeção de GEE contribui fortemente à construção de uma representação do impacto regional da mudança climática e a um enquadramento para identificar áreas de responsabilidades e prioridades para a ação. As ferramentas para a estimativa dos GEE e sua avaliação, proporcionam uma visão das emissões de gases de efeito estufa, embora restrita aos limites administrativos (SCHAMALL, 2008).

## **Ferramentas para calcular as emissões de gases de efeito estufa**

As ferramentas para calcular as emissões de gases de efeito estufa foram desenvolvidas pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2006) e pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US-EPA), autoridades científicas respeitadas internacionalmente.

Os cálculos para emissões GEE são um procedimento metodológico para quantificar a quantidade de GEE que é liberada na atmosfera devido a atividades antropogênicas, em um período de tempo e território determinado (EPA, 2012). Referida quantificação pode ser realizada mediante medição direta com equipamentos específicos, em uma campanha de monitoramento (ou monitoramento contínuo), ou através de metodologias de cálculo baseadas em informação da atividade das fontes de geração de emissões e o fator de emissão de referidos gases por unidade de atividade.

Um fator de emissão é um valor representativo baseado em um balanço de matéria, que busca relacionar a quantidade de um gás (poluente ou GEE) emitido na atmosfera, com uma atividade associada à emissão do referido gás. Estes fatores são usualmente expressos como o peso do gás dividido pela unidade de peso, volume, distância ou duração

da atividade emissora. Estes fatores facilitam a estimativa de emissões de várias fontes de poluentes e GEE. Na maioria dos casos, os fatores são simplesmente médias de todos os dados disponíveis de aceitável qualidade (EPA, 1994). Para o cálculo das emissões totais de um território, região ou país, podem ser aplicadas duas abordagens diferentes: "Top-Down" e o "Bottom-Up" (EPA, 2006).

### **Abordagem Top-down**

Esse método contabiliza apenas as emissões de CO<sub>2</sub>, a partir dos dados de consumo de combustível, seu teor carbônico e as emissões correspondentes a dióxido de carbono (Álvares et al., 2012). Essa abordagem tem como grande vantagem não necessitar de informações detalhadas sobre onde o combustível é utilizado ou por quais transformações ele passa antes de ser consumido (La Rovere, 2005). Está baseada na confiabilidade dos dados, pelo fato de possuir uma grande quantidade de informações sobre suprimento de combustíveis (MATTOS, 2001).

Segundo IPCC (2006), o CO<sub>2</sub> representa 95% das emissões de gases de efeito estufa no consumo de combustíveis; CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O completam a porcentagem restante. A incerteza dos cálculos para o CO<sub>2</sub> é da ordem de 5%, devido principalmente à operação, mais do que às imprecisões nos fatores de emissão. Já, as incertezas dos cálculos para o N<sub>2</sub>O e o CH<sub>4</sub> são de cerca de 50% e 40%, respectivamente, devido principalmente aos fatores de emissão, já que os mesmos dependem altamente da tecnologia que é usada (IPCC, 2006).

Uma pequena porção de carbono de processos de combustão escapa à oxidação, na forma de CO e HC, porém, a maior parte é oxidada posteriormente na atmosfera (IPCC, 2006). O IPCC assume que a pequena parcela remanescente que não se oxida, inferior a 1% do carbono submetido à queima, é armazenada permanentemente na forma de material particulado e cinzas. Assim, pela predominância do CO<sub>2</sub>, pela simplicidade e relativa confiabilidade do método *Top-down* e, em muitos casos, pela inexistência de fatores de emissão precisos para N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>, considera-se como uma boa prática a estimativa das emissões de GEE geradas pelo consumo de combustíveis baseada somente nos dados relativos ao CO<sub>2</sub> (ÁLVARES et al., 2012).

## **Estoque de carbono em árvores**

Como alternativa às emissões de CO<sub>2</sub> e minimização dos impactos ambientais, podem-se implementar práticas de compensação, definidas pela quantificação com posterior redução proporcional de emissões, por meio da redução de emissões nas fontes (substituição dos geradores a óleo diesel por energia eólica, entre outros) ou remoção do CO<sub>2</sub> da atmosfera com fixação da biomassa por meio de projetos de reflorestamento (STERK e BUNSE, 2004).

Assim, as florestas, devido à sua capacidade de estocar quantidades significativas de carbono na vegetação, através da fotossíntese e da respiração, desempenham importante papel em políticas de compensação de emissão de gases de efeito estufa (RENNER, 2004), como observado na Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, em 1997, que definiu sequestro de carbono, preservação da vegetação nativa ou reflorestamento, como um modo de manter o estoque de carbono nos ecossistemas terrestres (solo e vegetação) e estabilizar a concentração de gases (UNFCCC, 2001).

A redução das emissões e a introdução obrigatória de instrumentos de uma política de proteção climática são soluções melhores do que a compensação, pois geralmente previnem a poluição na fonte. Entretanto, quando a realização dessas opções não é possível, a compensação pode ser a melhor alternativa. Exemplo foi realizado pela Alemanha em 2006, a qual compensou a totalidade das emissões promovidas por reformas e construções para sediar a Copa do Mundo da FIFA, o qual se tornou um evento “neutro em carbono” (STERK; BUNSE, 2004).

## **METODOLOGIA**

### **Caracterização da área em estudo**

O campo amostral do presente estudo foi a emissão de dióxido de carbono, oriundo da combustão de óleo diesel, gasolina, álcool, emitido pelos transportes rodoviários do município de Fortaleza, Estado Ceará, Brasil. As espécies escolhidas para compensação ambiental são plantas nativas do Estado do Ceará, característico da vegetação caatinga e estão apresentadas na Tabela 1.

*Modelagem do potencial das emissões atmosféricas em relação a combustão proveniente da frota veicular de Fortaleza*

**Tabela 1** - Espécies nativas do estado do Ceará

NOME POPULAR	ESPÉCIE	NOME POPULAR	ESPÉCIE
Aroeira	<i>Myracrodruon Urundeuva</i>	Muquê	<i>Albizia Inundata</i>
Barriguda	<i>Ceiba Glaziovii</i>	Pau-Branco Louro	<i>Auxemma Glazioviana</i>
Braúna	<i>Schinopsis Brasiliensis</i>	Pau-D'arco Roxo	<i>Tabebuia Impetiginosa</i>
Catingueira	<i>Caesalpinia Pyramidalis</i>	Sabiá	<i>Mimosa Caesalpiniiifolia</i>
Cedro	<i>Cedrela Odorata</i>	Angico	<i>Anadenanthera Macrocarpa</i>
Freijorge	<i>Cordia Trichotoma</i>	Juazeiro	<i>Ziziphus Juazeiro</i>
Jucá	<i>Caesalpinia Ferrea</i>		

Fonte: Próprio autor, 2017.

### **Instrumentos de coleta de dados**

Os documentos, como fonte de pesquisa, foram classificados como primários ou secundários. Os documentos primários são aqueles que geram análises para posterior criação de informações; já os documentos secundários são aqueles cujas informações já foram elaboradas. No presente trabalho, foram utilizadas fontes secundárias obtidas em sites dos respectivos órgãos, especificamente as:

- a) Diretrizes do IPCC (2006),
- b) DETRAN-CE, (2016)
- c) Relatório da EEA (2004),
- d) Relatório sintético da MME (2016),
- e) Inventário da CETESB (2015),
- f) Plano nacional de energia e ANP (2016).

### **Metodologia para calcular as emissões de gases de efeito estufa**

O método *Top-down* utilizou os dados disponíveis pelo MME, em uma escala macrorregional, que possibilitou o cálculo do potencial das emissões de CO<sub>2</sub> dos anos avaliados de 2013, 2014, 2015 e 2016, para a modelagem matemática. Para tal, foi utilizado o software Excel® e aplicada a equação da metodologia *Top-down* apresentada na Equação 1.

$$CC = CA \times F_{conv} \times 45,2 \times 10^{-3} \times F_{corr} \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

CC - Consumo de energia em TJ (Tera Joule)

CA - Consumo de combustível (m<sup>3</sup>, l, Kg)

F<sub>conv</sub> - Fator de conversão da unidade física de medida da quantidade de combustível para tEP

F<sub>corr</sub> - Fator de correção de PCS para PCI (poder calorífico inferior)

1 tEP - 45,2 x 10<sup>3</sup> TJ (Tera-Joule = 1012 J)

Cada combustível possui um conteúdo energético diferente, portanto, a conversão do consumo aparente (CA) de cada combustível medido na sua unidade original, passa para uma unidade comum de energia. Essa conversão foi realizada multiplicando o consumo do combustível pelo fator de conversão em (tEP) por unidade física do combustível (tEP/unidade física), sendo a unidade física utilizada em m<sup>3</sup> ou L. Posteriormente, foi transformado a quantidade de energia tEP para (TJ) (MATTOS, 2001).

O fator de conversão F<sub>conv</sub> está baseado no poder calorífico superior (PCS) do combustível e pode variar de ano para ano, devido à variação do consumo de cada energia secundária utilizada, de acordo com a publicação anual do BEN do MME. (ÁLVARES; LINKE, 2001). Os valores do ano 2015 foram listados na Tabela 2.

**Tabela 2** - Valores Médios de Fatores de Conversão de Tonelada Equivalente de Petróleo

<b>Código</b>	<b>Combustível</b>	<b>tEP médio</b>	<b>Unidade</b>
A	Óleo diesel	0,848	tEP/m <sup>3</sup>
B	Gasolina	0,770	tEP/m <sup>3</sup>
C	Álcool	0,510	tEP/m <sup>3</sup>

Fonte: Adaptado MME, 2015.

A conversão do consumo de cada combustível, medido em 1000 tep, para uma unidade comum de energia foi efetuada multiplicando-se o consumo pelo poder calorífico inferior do combustível (PCI). A unidade comum de energia adotada é o (TJ). O uso do PCI do combustível, ao invés do seu poder calorífico superior (PCS), é necessário, pois os fatores de emissão de carbono recomendados pelo IPCC, em quantidade de carbono por unidade de energia, são definidos com base na energia efetivamente aproveitável do combustível. O relatório do BEN expressa as quantidades dos combustíveis em toneladas equivalentes

*Modelagem do potencial das emissões atmosféricas em relação a combustão proveniente da frota veicular de Fortaleza*

de petróleo – tep. (1 tep representa a energia contida em uma tonelada de petróleo médio consumido, sendo internacionalmente fixado no valor de 10.000 Mcal).

O fator de correção de PCS (poder calorífico superior) para PCI (poder calorífico inferior) foi definido pela sigla  $F_{corr}$ . No BEN, o conteúdo energético teve como base o PCS, mas para o IPCC, a conversão para unidade comum de energia deve ser feita pela multiplicação do consumo pelo PCI, sendo que para combustíveis sólidos e líquidos o  $F_{corr}$  é 0,95 e para combustíveis gasosos 0,90 conforme listado na Tabela 3, segundo MCT, ano base 2015.

**Tabela 3** - Fator de correção de poder calorífico superior para poder calorífico inferior ( $F_{corr}$ )

$F_{corr}$	Valor para Combustíveis Sólidos e Líquidos	0,95
	Valor para Combustíveis Gasosos	0,90

Fonte: Adaptado IPCC, 2006.

Assim como o conteúdo energético, os combustíveis possuem diferentes quantidades de carbono. Então, transformou-se o consumo de energia em conteúdo de carbono (QC), expresso em toneladas de carbono (tC). Para tal, multiplicou-se o consumo de energia pelo fator de emissão do respectivo combustível ( $F_{emiss}$ ), o qual representa a quantidade de carbono por unidade de energia contida no combustível, de modo que a Equação 2 pode ser utilizada para a obtenção desta quantidade (LA ROVERE, 2005).

$$QC = CC \times F_{emiss} \times 10^{-3} \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

QC - Conteúdo de Carbono Expresso em GgC

CC - Consumo de Energia em TJ (Já Calculado no 1º Passo)

$F_{emiss}$  - Fator de Emissão de Carbono (tC/TJ)

Os fatores de emissão utilizados, nessa presente metodologia, foram retirados da referência IPCC (2006) e foram dispostos na Tabela 4. Álvares e Linke (2001) afirmam que caso não se tenham fatores de emissão locais, fatores presentes no banco de dados do IPCC (2006) podem ser utilizados como referência.

**Tabela 4** - Fatores de Emissão de Carbono para os Diferentes Combustíveis

<b>Código</b>	<b>Combustível</b>	<b>tC/TJ médio</b>	<b>Unidade</b>
A	Óleo diesel	20,2	tC/TJ
B	Gasolina	18,9	tC/TJ
C	Álcool	14,81	tC/TJ

Fonte: Adaptado IPCC, 2006.

Assim, todo o conteúdo de carbono dos combustíveis, ou seja, 100% do carbono, foi considerado lançado na atmosfera durante o processo de combustão, pois, segundo IPCC (2006), ocorre que 99% a 100% do teor de carbono entram no processo de combustão. Deste modo, assumiu-se que a quantidade de carbono (QC) corresponde à emissão de carbono, não havendo fração de carbono estocada.

Por tanto, as emissões de CO<sub>2</sub> liberadas na queima do combustível foram calculadas multiplicando QC por 44/12, em função dos respectivos pesos moleculares do carbono e CO<sub>2</sub>, ou seja, 1 tCO<sub>2</sub> = 0,2727 tC. A Equação 3 demonstra o cálculo da referida emissão de CO<sub>2</sub>. (LA ROVERE, 2005).

$$ECO_2 = QC \times 44/12 \quad (\text{equação 3})$$

Onde,

ECO<sub>2</sub> – emissões de CO<sub>2</sub>

QC - quantidade de carbono

### **Metodologia de estimativa de compensação ambiental em relação à emissão de co<sub>2</sub> emitido**

Conforme Tanizaki (2004) o método para estimar a retenção de carbono em espécies arbóreas leva em conta: área basal da árvore, altura da árvore, densidade, fator arbóreo de cada espécie e teor de carbono na biomassa. Este número foi expresso na Equação 4.

$$\text{Carbono na árvore} = AB \times H \times DB \times TC \times FFA \quad (\text{equação 4})$$

Onde:

AB - Área Basal da árvore (m<sup>2</sup>)

H - Altura total da árvore (m)

DB - Densidade básica (massa de madeira seca/ volume da madeira fresca; kg/m<sup>3</sup>)

*Modelagem do potencial das emissões atmosféricas em relação a combustão proveniente da frota veicular de Fortaleza*

TC - Teor de carbono, no caso de madeiras, considerado em 50% da biomassa seca.  
FFA - Fator de Forma Arbóreo

Para a determinação da capacidade de absorção de carbono que a espécie suportará foi necessário saber as características relativas à densidade, altura e diâmetro de cada espécie planejada. A área basal foi calculada a partir de dados em termos do diâmetro da árvore, normalmente fornecidos em centímetros (cm) convertidos para metro (m), elevado à segunda potência, multiplicado por 2 e multiplicado pelo valor de  $\pi = 3,14$  que é a proporção numérica definida pela relação entre o perímetro de uma circunferência e seu diâmetro, demonstrado na Equação 5.

$$AB = [(d)^2 \times 2] \times 3,14 \quad (\text{equação 5})$$

Onde,

AB – Área Basal

D – Diâmetro da espécie

A densidade básica definida pela massa de madeira seca por volume da madeira fresca, normalmente encontrada em  $\text{g/cm}^3$  (grama por centímetro cúbico), deve ser convertida posteriormente para  $\text{kg/m}^3$  (quilograma por metro cúbico). No caso, a madeira de uma árvore apresenta cerca de 50% da sua composição atribuído ao teor de carbono, que consiste em massa de biomassa seca, e para tal foi considerado um coeficiente de 0,5 de densidade.

O fator forma arbóreo foi considerado constante; umas espécies não são cilíndricas, na verdade se assemelham a um cone, para tanto foi assumido o valor de 0,72. Após o cálculo da capacidade de carbono (C) absorvida pela espécie, expressa na Equação 4, o resultado foi convertido para dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) em tonelada, multiplicando por 3,66 (relação mássica de carbono no  $\text{CO}_2$ ), definido como fator de conversão. A quantidade de árvores foi calculada a partir da divisão do total de  $\text{CO}_2$  emitido pelo  $\text{CO}_2$  equivalente, retido na biomassa das espécies.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Dados referentes à frota veicular

A composição em unidade da frota do Ceará, incluindo capital e interior, conforme o Departamento Estadual de Transito do Ceará (DETRAN-CE) está formada por veículos capacitados para trafegarem com diversos combustíveis, entre álcool/gás natural combustível, álcool/gasolina/GNV, álcool/gás natural veicular, diesel/gás natural veicular, elétrico/fonte externa, elétrico/fonte interna, gás metano, gasogênio, gasolina/gás natural combustível, gasolina/elétrico e sem informação, que juntos foram agrupados e denominados como “Outros”, incluídos nas Tabelas 5 e 6, e que posteriormente foram anulados por não fazer parte do escopo deste trabalho.

Os veículos habilitados para utilizarem álcool/gasolina, predominantemente, apresentaram maior consumo de gasolina que de álcool, portanto foram organizados dentro da categoria gasolina, nos dados definidos para o período entre 2013 e 2016, conforme a Tabela 5 para o Estado e a Tabela 6 para o município de Fortaleza. A taxa de crescimento veicular de 2% no ano de 2016 em Fortaleza foi umas das menores entre as capitais do Nordeste, porém a quantidade de veículos foi apontada como a maior, representando 21,9% da frota do Nordeste, seguido de Salvador (18,3%), Recife (14%), Teresina (9,5%), Natal (8,1%), São Luís (7,9%), João Pessoa (7,5%), Maceió (6,5%) e Aracaju (6,2%) (IBGE, 2016).

Tabela 5 - Frota veicular por tipo de combustível do Estado Ceará

Combustível	2013	2014	2015	2016
Álcool	62.565	62.524	62.557	62.585
Gasolina	2.062.246	2.255.744	2.422.062	2.538.824
Diesel	182.979	197.455	207.917	216.906
Outros	76.605	80.898	86.069	90.857
<b>Total</b>	<b>2.384.395</b>	<b>2.596.621</b>	<b>2.778.605</b>	<b>2.909.172</b>

Fonte: Adaptado IBGE, 2016.

*Modelagem do potencial das emissões atmosféricas em relação a combustão proveniente da frota veicular de Fortaleza*

**Tabela 6 - Frota veicular por tipo de combustível do Município Fortaleza**

<b>Combustível</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
<b>Álcool</b>	29.735	29.448	29.333	29.237
<b>Gasolina</b>	753.888	804.937	845.778	871.380
<b>Diesel</b>	76.628	80.908	82.853	84.578
<b>Outros</b>	47.823	49.431	51.731	53.867
<b>Total</b>	<b>908.074</b>	<b>964.724</b>	<b>1.009.695</b>	<b>1.039.062</b>

Fonte: Adaptado IBGE, 2016.

O percentual da frota em relação aos referidos tipos de combustível utilizados na cidade de Fortaleza foi demonstrado na Tabela 7, tomando como base a frota do Estado do Ceará nos anos avaliados.

**Tabela 7 - Porcentagem por tipo de combustível do Município de Fortaleza em relação à frota do Estado Ceará**

<b>Combustível</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>Varição %</b>
<b>Álcool</b>	1,25%	1,13%	1,06%	1,00%	-19,41%
<b>Gasolina</b>	31,62%	31,00%	30,44%	29,95%	-5,27%
<b>Diesel</b>	3,21%	3,12%	2,98%	2,91%	-9,54%
<b>Outros</b>	2,01%	1,90%	1,86%	1,85%	-7,68%
<b>Total</b>	<b>38,08%</b>	<b>37,15%</b>	<b>36,34%</b>	<b>35,72%</b>	<b>- 6,22%</b>

Fonte: Próprio autor, 2017.

Foi possível notar uma redução nos percentuais da frota do município Fortaleza em relação ao Estado do Ceará, nos anos de 2013 a 2016, para todas as categorias de combustíveis pesquisadas. Este efeito não sinalizou uma diminuição da frota da capital em cerca de 6% quando comparada ao Estado, todavia configurou um aumento da frota do interior do Estado, confirmando uma menor proporção da quantidade de veículos da capital em relação ao interior do Estado.

### **Tipo de combustível consumido**

Conforme a ANP (2016), o Estado do Ceará consumiu por tipo de combustível o equivalente a 2.547.211,89 m<sup>3</sup> no ano de 2016; o maior consumo foi verificado para carros movidos a gasolina, conforme Tabela 8. Constatou-se ainda que houve uma taxa de crescimento de cerca de 4,74% no total de consumo de combustíveis no Estado, de 2013 a 2016. Segundo a ANP (2016), o aumento do consumo de gasolina em 2016 foi influenciado

não só pela dificuldade do mercado de etanol, mas também por um crescimento da oferta do combustível fóssil, resultado de uma abertura importante na importação.

A Petrobrás respondeu em 2016 por 59,7% das importações, contra 83,7% em 2015. A ANP destacou, no entanto, que apenas 8% do mercado interno de gasolina foi suprido por compras externas. Já no caso do diesel, as importações também cresceram, apesar da retração no consumo, que causou uma perda maior de participação no mercado da Petrobrás. O diesel importado foi responsável por 12% do consumo nacional, entretanto não repercutiu no cenário do Estado do Ceará, onde houve uma retração de 7%, conforme Figura 1.

**Tabela 8** - Consumo por tipo de combustível do Estado Ceará (m<sup>3</sup>)

<b>Combustível</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>Variação %</b>
<b>Álcool</b>	97.864,95	109.934,44	172.587,82	143.299,50	46,43%
<b>Gasolina</b>	1.216.335,29	1.348.677,04	1.331.394,41	1.372.176,49	12,81%
<b>Diesel</b>	1.117.640,40	1.164.170,19	1.076.652,14	1.031.735,90	-7,69%
<b>Total</b>	<b>2.431.840,64</b>	<b>2.622.781,66</b>	<b>2.580.634,38</b>	<b>2.547.211,89</b>	<b>4,74%</b>

Fonte: Adaptado ANP, 2016

O consumo do município de Fortaleza foi encontrado proporcionalmente através da multiplicação do percentual por tipo de combustível de Fortaleza em relação à frota do Estado Ceará, apresentado na Tabela 9, pela unidade consumida de combustível, respectivamente, relativa ao ano.

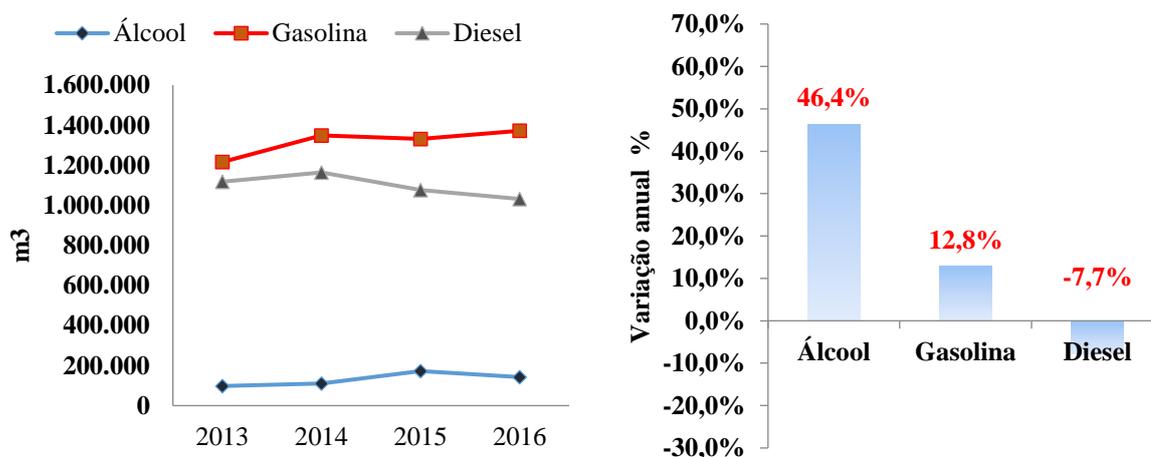
**Tabela 9** - Consumo por tipo de combustível do Município Fortaleza (m<sup>3</sup>)

<b>Combustível</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>Variação %</b>
<b>Álcool</b>	1.220,44	1.246,75	1.821,96	1.440,15	18,00%
<b>Gasolina</b>	384.575,79	418.081,83	405.262,39	411.006,00	6,87%
<b>Diesel</b>	35.917,94	36.274,33	32.103,83	29.995,53	-16,49%
<b>Total</b>	<b>421.714,16</b>	<b>455.602,91</b>	<b>439.188,18</b>	<b>442.441,68</b>	<b>4,92%</b>

Fonte: Adaptado ANP, 2016

*Modelagem do potencial das emissões atmosféricas em relação a combustão proveniente da frota veicular de Fortaleza*

**Figura 1** - Consumo por tipo de combustível do Estado Ceará (m<sup>3</sup>) e variação anual de consumo



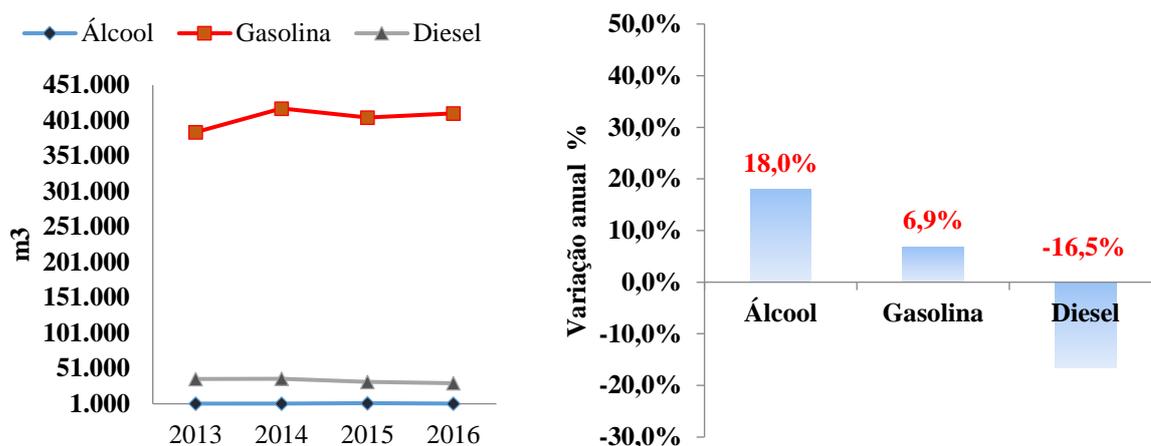
Fonte: Adaptado ANP, 2016

A Figura 2 apresenta os resultados para o município de Fortaleza, de forma mais clara, para a percepção das variações no consumo de combustíveis. A ANP (2017) registrou queda nacional no consumo de combustível de 4,5% no período entre 2015 e 2016; essa redução produziu-se devido à retração da economia brasileira, a elevados impostos associados aos combustíveis e a fatores relacionados à produção de combustíveis.

Todavia quando se faz uma análise no âmbito estadual e municipal, pode se observar que o aumento da frota impulsionou o aumento no consumo de combustível de derivados de petróleo. A capital cearense viu seu número de veículos nas ruas, especialmente carros e motos, aumentar em aproximadamente 41 mil novas unidades em apenas um ano, com um total de 1.016.703 veículos. O número representa a maior frota entre as capitais nordestinas (DENATRAN, 2016). O Ceará fechou o ano de 2016 com a segunda maior frota entre os estados das regiões Norte e Nordeste do País, perdendo apenas para a Bahia.

Um fato a ser observado nessa análise do número de veículos automotores, é a idade da frota, visto que esta característica afeta diretamente o volume de emissões atmosféricas. Dados relativos à idade da frota destacam que três em cada cinco automóveis estão em uma faixa etária superior a seis anos, de acordo com dados do Sindipeças, 2016, que ainda afirma que um terço da frota nacional tem mais de 11 anos, e 5% do total tem mais de 20.

Figura 2 - Consumo por tipo de combustível do município Fortaleza (m<sup>3</sup>) e variação anual de consumo



Fonte: Adaptado ANP, 2016.

A categorização por tipo de combustível foi muito importante, haja vista que as emissões se alteram conforme a influência de cada combustível; modificam-se conforme a variável dependente. Desta forma foram calculadas as emissões quando utilizados os combustíveis diesel, álcool e gasolina.

### Emissão parcial oriunda de carros a diesel

O monóxido de carbono (CO) é formado em grande quantidade nas altas temperaturas produzidas no início do processo de combustão, oxidando-se nos processos subsequentes de expansão e resfriamento, quando se forma o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Para o cálculo das emissões foi considerado um cenário otimista, referido a uma situação que considera veículos novos, em bom estado de conservação e boas condições de tráfego.

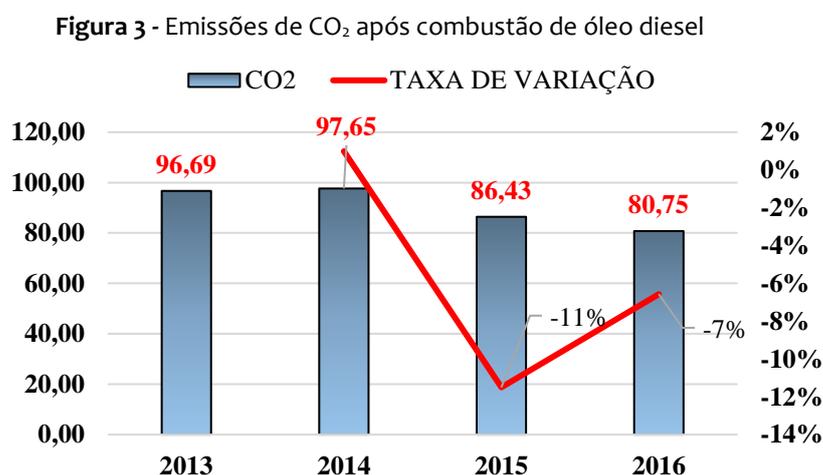
O óleo diesel é um derivado de petróleo utilizado em motores automotivos de combustão interna por compressão. Devido à sua alta eficiência, durabilidade e flexibilidade, há uma tendência mundial de utilização crescente destes motores na indústria automobilística, o que gera um aumento da demanda por diesel em relação aos demais derivados de petróleo. Entretanto, a poluição causada por este produto, que movimenta a frota de caminhões e ônibus, são resíduos produzidos na combustão e lançados no ar que respiramos. A fumaça preta que sai dos escapamentos dos veículos a

*Modelagem do potencial das emissões atmosféricas em relação a combustão proveniente da frota veicular de Fortaleza*

diesel é formada pela mistura de poluentes gasosos e particulados, nocivos à saúde humana.

Neste trabalho observou-se uma redução das emissões de CO<sub>2</sub> a partir de 2015, quando houve uma queda de 11%, com um total de 86,43 toneladas de CO<sub>2</sub> lançadas. Já em 2016 o decréscimo foi ainda maior respeito a 2014; atingiu patamares de 7%, com um total de 80,75 toneladas de CO<sub>2</sub> lançadas (Figura 3).

Proporcionalmente, ficou constatado que no município de Fortaleza ocorreu uma queda de 16% no consumo de óleo diesel de 2013 para 2016, de acordo com o cálculo feito de emissões de CO<sub>2</sub> destacadas na Tabela 10; isso acarretou, também, a redução nas emissões de CO<sub>2</sub>, atribuídas à queda da atividade econômica (MME, 2016).



Fonte: Próprio autor, 2017

Um dado importante a ser considerado é que os veículos movidos a diesel emitem mais CO<sub>2</sub> por unidade de volume ou peso de combustível, que os demais modais motorizados. Considerando-se apenas o transporte rodoviário em Fortaleza, os sistemas de ônibus –que respondem por mais de 60% dos deslocamentos urbanos– são responsáveis por apenas 7% das emissões totais de CO<sub>2</sub>. Já os automóveis e comerciais leves, com menos de 30% de participação no total de viagens realizadas, contribuem com a metade das emissões desse poluente. Esses dados mostram que o sucesso das políticas ambientais voltadas para o transporte tem que passar necessariamente por medidas que fomentem a substituição do transporte individual pelo coletivo (CNT, 2009).

**Tabela 10** - Emissões de CO<sub>2</sub> após combustão de óleo diesel

ÓLEO DIESEL										
CONVERSÃO					CONTEÚDO DE CARBONO			EMISSÃO tCO <sub>2</sub>	TAXA DE VARIAÇÃO	
Ano	CA	F <sub>conv</sub>	F <sub>corr</sub>	1 tEP	CC	F <sub>miss</sub>	tC/GgC	QC	tCO <sub>2</sub>	-16,0%
2013	35917,94	0,848	0,95	0,0452	1307,88	20,2	0,001	26,42	96,69	
2014	36274,33	0,848	0,95	0,0452	1320,86	20,2	0,001	26,68	97,65	1,0%
2015	32103,83	0,848	0,95	0,0452	1169,00	20,2	0,001	23,61	86,43	-11,0%
2016	29995,53	0,848	0,95	0,0452	1092,23	20,2	0,001	22,06	80,75	-7,0%

Fonte: Próprio autor, 2017

### Emissão parcial oriunda de carros a gasolina

No Brasil, a gasolina não é o derivado de maior produção, mas ainda é o combustível mais importante. O mercado consumidor é o mais representativo entre os combustíveis. A gasolina utilizada como combustível nacional tem como característica principal a adição de etanol anidro na proporção de 25:1% em volume, devido à legislação vigente.

Para cada 1g de gasolina pura queimada são gerados 3,08g de CO<sub>2</sub> (352/114). Considerando-se uma densidade de 0,740kg/l da gasolina pura, é obtida a relação de 2,28kg de CO<sub>2</sub>/l de gasolina. Vários fatores podem influenciar a taxa quilométrica de emissão de CO<sub>2</sub> equivalente aos veículos movidos a gasolina, entre os quais se podem destacar os fatores ligados ao perfil da frota, potência média, idade, rendimento quilométrico etc.

A Tabela 11 apresenta os dados de referentes à emissão de combustível gasolina, de modo que se verifica uma oscilação entre os anos de 2013 a 2014, com patamar de elevação em 9% ao ano, contabilizando 957,46 toneladas de CO<sub>2</sub>, atribuídas ao aumento de 7% da frota habilitada para circular com gasolina.

Os veículos a gasolina têm contribuição mais significativa nas emissões de CO<sub>2</sub>; assim, a emissão deste composto por veículos a gasolina foi bem mais elevada que por veículo a álcool o que resultou em emissões totais geradas em 1000 t/ano, muito maiores que os demais combustíveis comparados neste trabalho.

*Modelagem do potencial das emissões atmosféricas em relação a combustão proveniente da frota veicular de Fortaleza*

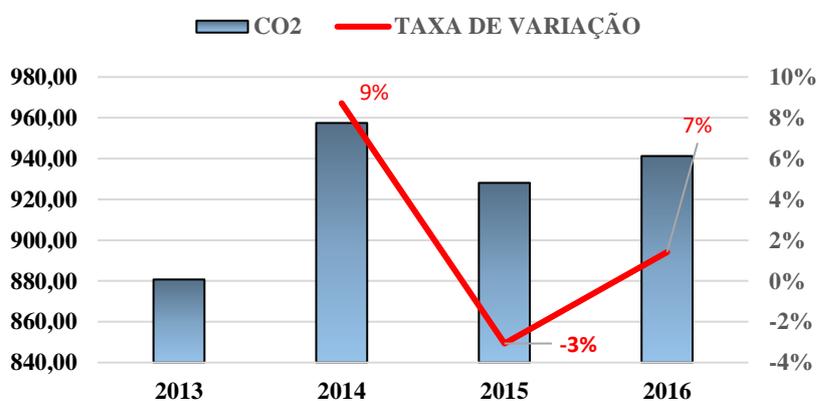
**Tabela 11** - Emissões de CO<sub>2</sub> após combustão de gasolina

Gasolina										
Conversão					Conteúdo de carbono			Emissão	TAXA DE	
Ano	CA	tCO <sub>2</sub>	F <sub>corr</sub>	1 tEP	CC	F <sub>miss</sub>	tC/GgC	QC	tCO <sub>2</sub>	VARIAÇÃO
									CO <sub>2</sub>	7%
2013	384575,8	0,771	0,95	0,0452	12732,1	18,9	0,001	240,7	880,73	
2014	418081,8	0,771	0,95	0,0452	13841,3	18,9	0,001	261,6	957,46	9%
2015	405262,4	0,771	0,95	0,0452	13416,9	18,9	0,001	253,6	928,10	-3%
2016	411006,0	0,771	0,95	0,0452	13607,1	18,9	0,001	257,2	941,26	1%

Fonte: Próprio autor, 2017

A Figura 4 mostra o comportamento da emissão de CO<sub>2</sub> frente à variação anual, onde foi possível verificar uma redução sinalizada em 2015 de cerca 3% respeito a 2014, justificada por preços mais competitivos do etanol hidratado; desse modo, foi alcançado menor consumo de gasolina (MME, 2016). Proporcionalmente, o aumento de 7% no consumo de gasolina de 2013 para 2016.

Figura 4 Emissões de CO<sub>2</sub> após combustão de gasolina



Fonte: Próprio autor, 2017

### Emissão parcial oriunda de carros a álcool

No caso do álcool, considerou-se que as emissões provenientes da queima no motor seriam todas absorvidas no cultivo da cana, por se tratar de um combustível renovável, ressaltando-se que as emissões de GEE nos processos de preparo da terra, transporte da cana e produção e distribuição do álcool não se constituem em energia renovável.

Estudo publicado na Circular Técnica da Embrapa (SOARES; ALVES, 2009) calculou para um tipo específico de veículo utilitário as emissões de CO<sub>2</sub> equivalente para uso puro de álcool e gasolina, chegando ao resultado de que o uso do álcool representava cerca de 20% das emissões de CO<sub>2</sub>, porção não renovável, das emissões do mesmo veículo utilizando gasolina pura. Naquele estudo, um percentual de 33,8% foi obtido e considerado a porção não renovável de CO<sub>2</sub> equivalente nas emissões dos veículos movidos a álcool hidratado; assim, obtêm-se as emissões totais de 0,28 kg de CO<sub>2</sub>/km (gasolina) e 0,056 kg de CO<sub>2</sub>/Km (álcool), ou seja, utilizar carro a álcool lança menos CO<sub>2</sub>.

Utilizando o apelo ambiental como pano de fundo, o governo brasileiro a fim de garantir o mercado mínimo para o álcool, adotou a política de mistura do álcool na gasolina. A mistura de álcool, que chegou até a 25% do volume total do combustível, propiciou reduções de cerca de 18% nas emissões de CO<sub>2</sub> dos veículos a gasolina (SOARES; ALVES, 2009).

Na pesquisa em questão, a partir de 2013 até 2016, houve uma elevação de 18% no consumo de álcool, o que também refletiu no aumento das emissões de CO<sub>2</sub>. A Tabela 12 traz os cálculos e a taxa de emissões deste combustível.

**Tabela 12 - Emissões de tCO<sub>2</sub> após combustão de álcool**

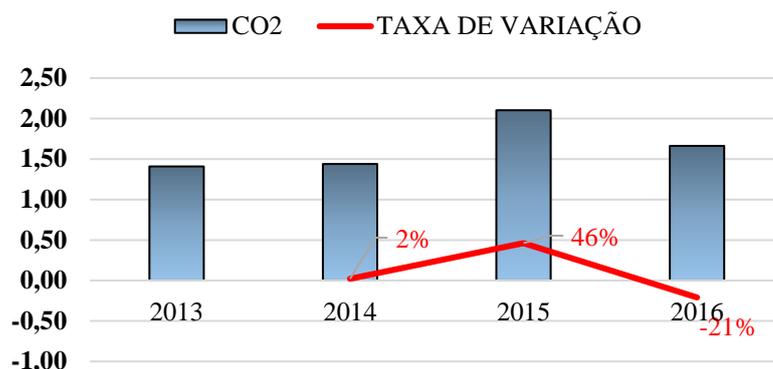
ÁLCOOL										
CONVERSÃO						CONTEÚDO DE CARBONO			EMIÇÃO tCO <sub>2</sub>	TAXA DE VARIAÇÃO
Ano	CA	tCO <sub>2</sub>	Fcorr	1 tEP	CC	Fmiss	tC/GgC	QC	CO <sub>2</sub>	18%
2013	1220,44	0,496	0,95	0,0452	25,99	14,81	0,001	0,38	1,41	
2014	1246,75	0,496	0,95	0,0452	26,55	14,81	0,001	0,39	1,44	2%
2015	1821,96	0,496	0,95	0,0452	38,80	14,81	0,001	0,57	2,10	46%
2016	1440,15	0,496	0,95	0,0452	30,67	14,81	0,001	0,45	1,66	-21%

**Fonte:** Próprio autor, 2017.

A Figura 5 mostra o comportamento da emissão de CO<sub>2</sub> frente à variação anual, onde é possível verificar uma elevação, até o ano de 2015, de 46%, atribuído ao elevado consumo de álcool devido ao seu menor preço em relação à gasolina no referido ano. Entretanto, já no ano seguinte ocorreu uma queda de 21%, em detrimento do custo para consumo em relação à gasolina (EPE, 2016).

*Modelagem do potencial das emissões atmosféricas em relação a combustão proveniente da frota veicular de Fortaleza*

**Figura 5** - Emissões de CO<sub>2</sub> após combustão do álcool



Fonte: Próprio autor, 2017

### Emissão total

Em concordância com a Tabela 13, que destaca as emissões totais provenientes dos combustíveis analisados, nos anos de 2013 a 2016, a elevação total da emissão de CO<sub>2</sub> relacionada aos consumos de óleo diesel, gasolina e álcool, cresceu em 5%, entre 2013 e 2016. Fortaleza, por apresentar uma frota representativamente maior que as outras capitais do Nordeste, aporta uma quantidade equivalente de CO<sub>2</sub>.

**Tabela 13** - Emissão total em tCO<sub>2</sub> provenientes dos combustíveis analisados, nos anos de 2013 a 2016

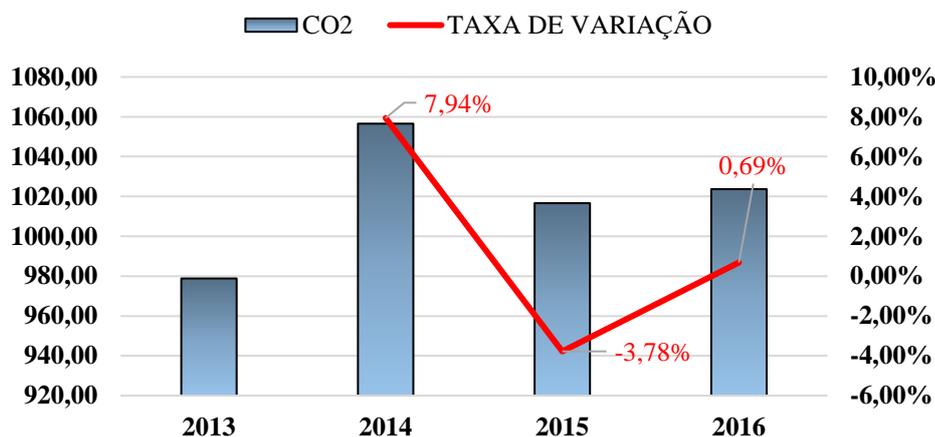
TOTAL					TAXA DE VARIAÇÃO
Ano	CC - Consumo de energia em TJ	CA - Consumo de combustível (m <sup>3</sup> )	QC - Conteúdo de Carbono Expresso em GgC	tCO <sub>2</sub>	5%
2013	421714,16	14065,93	267,44	978,83	
2014	455602,91	15188,74	288,68	1056,55	7,94%
2015	439188,18	14624,72	277,77	1016,63	-3,78%
2016	442441,68	14729,97	279,69	1023,67	0,69%

Fonte: Próprio autor, 2017

A informação calculada a partir da Tabela 12 resultou na Figura 6, onde é perceptível a elevação em 7,94% na taxa de emissão de CO<sub>2</sub> –com um total de 1.056,55 toneladas de CO<sub>2</sub> em 2014– em relação a 2013, fato atribuído ao aumento de 6% da frota habilitada para circular com gasolina (IBGE, 2016).

A retração na economia em 2015, resultou em declínio no consumo de diesel e gasolina e sucessiva depressão no lançamento de CO<sub>2</sub> na atmosfera, de 3,78% em relação ao ano de 2014, consoante com Figura 6 (EPE, 2016).

Figura 6 - Potencial de emissão de CO<sub>2</sub> de 2013 a 2016 para o município de Fortaleza



Fonte: Próprio autor, 2017

### Estimativa de emissões de CO<sub>2</sub> até 2030

Após calcular o potencial das emissões de CO<sub>2</sub> pelo método de *Top-down* de cada tipo de combustível consumido e somando todas estas emissões nos anos de 2013, 2014, 2015 e 2016, foi obtido um conjunto de pares ordenados de elementos, considerados base de dados, que serviram de orientação para determinar a função que melhor se ajusta aos dados experimentais, isto é, foi obtida uma equação da reta que passa o mais próximo do conjunto de pontos experimentados. A Equação 6 da reta expressa o cálculo da projeção de CO<sub>2</sub>:

$$y (\text{emissão de CO}_2) = 9,4594x - 18037 \quad (\text{equação 6})$$

Considerando a variável (x) como a representação numérica do ano –por exemplo, 2017, 2018 e assim sucessivamente–, foi possível obter as projeções das emissões de 2017 até 2030. A partir desta extrapolação foi encontrada uma taxa de crescimento das emissões de 0,92% ao ano e variação total de 13,9% de 2016 a 2030 totalizando 1.165,74 tCO<sub>2</sub>, conforme evolução representada na coluna (tCO<sub>2</sub>) da Tabela 14.

*Modelagem do potencial das emissões atmosféricas em relação a combustão proveniente da frota veicular de Fortaleza*

Esse comportamento pode ter como justificativas os fatores econômicos favoráveis para consumo de combustíveis, como o crescimento da renda per capita, aumento no volume de concessão de crédito, redução das taxas de juros para aquisição de veículos, conforme previsão da (EPE, 2014).

**Tabela 14** - Emissões projetadas 2017 a 2030

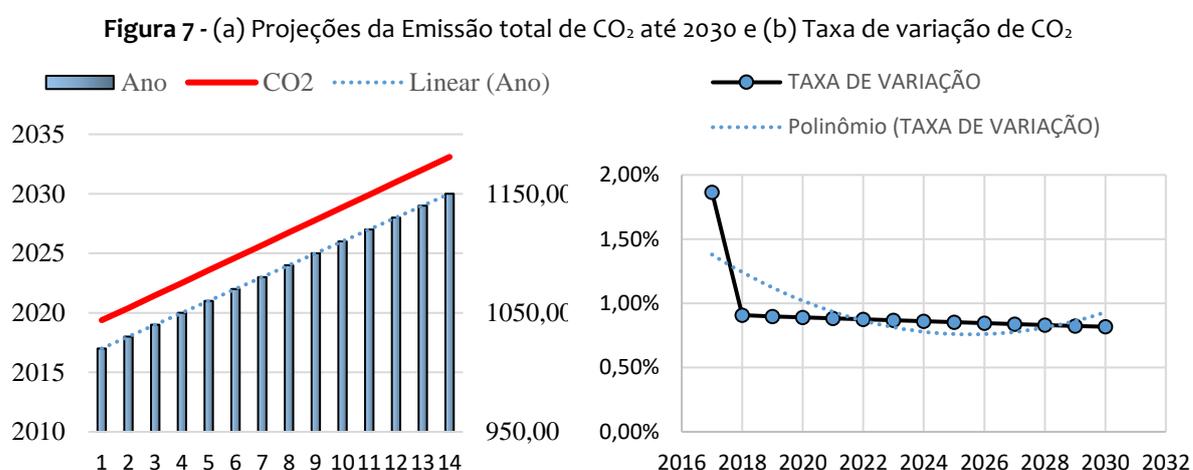
TOTAL					TAXA DE VARIACÃO
Ano	CA	CC	QC	tCO <sub>2</sub>	13,9%
2017	451694,22	15026,88	285,19	1042,77	1,87%
2018	456534,34	15179,28	287,97	1052,23	0,91%
2019	461528,29	15337,28	290,86	1061,69	0,90%
2020	466522,24	15495,28	293,75	1071,15	0,89%
2021	471516,19	15653,29	296,64	1080,61	0,88%
2022	476510,13	15811,29	299,54	1090,07	0,88%
2023	481504,08	15969,29	302,43	1099,53	0,87%
2024	486498,03	16127,29	305,32	1108,99	0,86%
2025	491491,97	16285,29	308,21	1118,45	0,85%
2026	496485,92	16443,29	311,10	1127,91	0,85%
2027	501479,87	16601,29	313,99	1137,37	0,84%
2028	506473,82	16759,29	316,88	1146,83	0,83%
2029	511467,76	16917,30	319,78	1156,28	0,82%
2030	516461,71	17075,30	322,67	1165,74	0,82%
Total (2017 até 2030)				15.459,61	---

Fonte: Próprio autor, 2017.

Em 2013 já havia uma expectativa da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2013) no sentido de o governo estimular novos investimentos em ampliação, modernização e criação de novas fábricas automotivas; ou seja, houve aumento na produção de veículos a partir de 2012, o que gerou elevação no consumo de combustível e incremento nas emissões de CO<sub>2</sub>. Esse fato implicou em um acréscimo de 8% (83,89 tCO<sub>2</sub>) de 2013 para 2014. A Figura 7a melhor demonstra as projeções das emissões totais de CO<sub>2</sub> dos respectivos anos calculados.

O Brasil apresenta uma taxa de motorização (quantidade de veículos automotores por grupo de 100 habitantes) muito inferior àquela dos países desenvolvidos, e até mesmo

em relação aos índices de outros países em desenvolvimento ou da própria América Latina. Isto significa que, mesmo com os problemas de mobilidade e poluição encontrados atualmente nos grandes centros urbanos, a tendência é o crescimento da participação relativa das emissões dos veículos privados, pois há uma grande margem de aumento da propriedade de veículos automotores entre a população brasileira, principalmente nas camadas de menor renda. Nos períodos de recuperação econômica, a indústria automobilística é uma das primeiras a sentir os efeitos positivos, pois transforma demanda reprimida em demanda manifesta. (PNAD/IBGE, 2015).



Fonte: Próprio autor, 2017

Davidson e Michaelis (1996) previam medidas para promover redução das emissões de CO<sub>2</sub> até 40% em 2025, através de modificações na tecnologia dos veículos, no uso de energias sustentáveis, no tamanho dos veículos, nos sistemas de transporte, nos padrões de deslocamento; as estimativas obtidas não confirmam intensa redução dessas emissões, mas apresentam uma tendência de queda na taxa de variação no período entre 2022 e 2028, conforme Figura 7b.

Diversos aspectos devem ser levados em conta para uma análise profunda das reduções das emissões, visto que fatores das mais diferentes esferas contribuem para o resultado final. Entre os itens, foram destacados fatores positivos e negativos no cenário das emissões. É possível destacar (ANP, 2014):

a) O aspecto relacionado ao aumento dos automóveis que utilizam energias alternativas que, porém, têm demonstrado baixa representatividade em relação à frota

local nas projeções de emissões para 2030. O ritmo na demanda de combustíveis fósseis para o transporte rodoviário tem tendência a reduzir somente entre 2040 e 2050, ou seja, após esse período os veículos híbridos e elétricos vão ter maior representatividade na frota, com conseqüente redução na emissão de CO<sub>2</sub> (EPE, 2014).

b) Do ponto de vista da mobilidade urbana e da sustentabilidade ambiental essa política é bastante questionável, pois torna o transporte público menos atrativo e acessível em relação ao transporte individual.

c) As questões ligadas à morfologia das cidades assim como o planejamento e a gestão urbana, são condicionantes importantes para o desempenho do sistema de transporte urbano, pois impactam diretamente sobre a matriz modal de emissões de poluentes.

d) A adoção de medidas mais extremas como o rodízio de carros e a restrição de circulação de veículos pesados em determinadas áreas e horários.

e) Aumento da competitividade do transporte público com vistas à redução das viagens relativas do transporte individual.

### **Compensação de emissões de CO<sub>2</sub> através de plantio de espécies de árvores**

A redução efetiva das emissões de CO<sub>2</sub> foi projetada para um futuro distante, no entanto são necessárias ações para neutralizar as degradações ambientais. No contexto das emissões atmosféricas, a compensação ambiental é definida pela proporcionalidade entre a emissão de CO<sub>2</sub> e neutralização deste poluente (STERK; BUNSE, 2004).

A compensação ambiental foi estabelecida pelo plantio de espécies de árvores nativas no ano de 2017, visando equilíbrio entre as emissões de CO<sub>2</sub> oriundas da queima dos combustíveis veiculares e a capacidade de fixação de carbono nas árvores até o ano de 2030.

A fixação de carbono ocorre durante o crescimento da árvore, ou seja, a capacidade de fixação de carbono das árvores foi estimada com base no acúmulo do CO<sub>2</sub> emitido pelos veículos de 2017 até 2030, conforme projeções; desse modo foi estimado que toda emissão veicular de CO<sub>2</sub> será absorvida nas árvores durante o desenvolvimento da biomassa, até 2030.

As espécies demonstradas na Tabela 15 foram selecionadas pelas peculiaridades e adaptações ao clima tropical semiúmido e ao bioma caatinga, e as características basearam-se no índice de sítio médio menor que 20 anos.

**Tabela 15** - Quantidade de mudas de espécies para plantio e espaço a ser ocupado

Nome popular	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Altura (m)	Diâmetro (cm)	AB	DB	FFA	Total de C.	Absorção tCO <sub>2</sub>	Total de Árvores	Total de mudas	Total em m <sup>2</sup>
Aroeira	1,11	13	43	1,35	1100	0,72	6.950,83	25,44	607,68	729,22	3.646,13
Barriguda	0,59	12	100	3,14	590	0,72	8.003,23	29,29	527,77	633,33	3.166,67
Braúna	1,23	13	55	1,72	1230	0,72	9.941,30	36,39	424,88	509,86	2.549,33
Catingueira	0,99	12	33	1,03	990	0,72	4.431,62	16,22	953,13	1.143,76	5.718,82
Cedro	0,55	30	100	3,14	550	0,72	1.8651,60	68,26	226,46	271,75	1.358,79
Freijorge	0,67	10	60	1,88	670	0,72	4.544,21	16,63	929,52	1.115,42	5.577,13
Juazeiro	0,70	10	60	1,88	700	0,72	4.747,68	17,38	889,68	1.067,62	5.338,11
Jucá	1,19	6	20	0,62	1190	0,72	1.614,21	5,91	2.616,71	3.140,06	15.700,31
Muquêm	0,65	14	45	1,41	650	0,72	4.628,99	16,94	912,49	1.094,99	5.474,98
Pau-branco louro	0,84	12	40	1,25	840	0,72	4.557,77	16,68	926,75	1.112,10	5.560,53
Pau-d'arco roxo	1,01	12	30	0,94	1010	0,72	4.110,13	15,04	1.027,68	1.233,22	6.166,13
Sabiá	0,95	7	25	0,78	950	0,72	1.879,29	6,88	2.247,62	2.697,14	13.485,74
Angico	1,05	10	50	1,57	1050	0,72	5.934,60	21,72	711,74	854,09	4.270,49
<b>Totais</b>									<b>13.002,19</b>	<b>15.602,62</b>	<b>78.013,14</b>

Fonte: Próprio autor, 2017

Para a estimativa da quantidade de mudas de árvores para plantio, foi considerada uma perda de mudas de 20%, conforme Azevedo e Quintino (2010), desse modo contabilizou-se um acréscimo de 20% no total de árvores para plantio, ou seja, para obter 13000 mil unidades de árvores é necessário plantar 15000 mudas de árvores. A quantidade de mudas plantadas por ano, corresponderia a 2000 unidades ao longo dos 14 anos.

Durante o desenvolvimento das árvores, o equilíbrio entre emissão e absorção de CO<sub>2</sub> estimado sofrerá interferência de outras fontes de emissão de CO<sub>2</sub>, haja vista que a absorção é difusa. Portanto, recomenda-se que cada fonte de emissão compense o seu dano na mesma proporção. Considerando uma superfície para plantio de muda de 6 m<sup>2</sup>/muda, a área necessária para plantar 13.002,191 unidades de árvores é de 78.013,147 m<sup>2</sup> ou cerca de 7,8 hectares, o equivalente à 11 campos de futebol com as mesmas medidas do estádio Castelão (105 metros de comprimento x 68 metros de largura).

## **CONCLUSÕES**

Foi possível concluir que houve um aumento no consumo combustível fóssil de 4,74% no Estado do Ceará e 4,92% no Município de Fortaleza, assim como um aumento na frota veicular de 22% no Estado do Ceará e 14% no Município de Fortaleza, entre 2013 e 2016. Foi possível notar uma redução nos percentuais da frota do município Fortaleza em relação ao Estado do Ceará, nos anos de 2013 a 2016, para todas as categorias de combustíveis pesquisadas. Este efeito sinalizou um aumento da frota do interior do Estado.

O aumento no consumo de combustível fóssil proporcionou acréscimo de 5% nas emissões de CO<sub>2</sub>, entre 2013 e 2016. O aumento do consumo de gasolina em 2016 foi influenciado não só pela dificuldade do mercado de etanol, mas também por um crescimento da oferta do combustível fóssil, resultado de uma janela importante de importação.

Neste trabalho foi observada uma redução das emissões de CO<sub>2</sub> a partir de 2015, quando houve uma queda de 11%, com um total de 86,43 toneladas de CO<sub>2</sub> lançadas; já em 2016 o decréscimo foi ainda maior respeito a 2014, com patamares de 7%, totalizando 80,75 de toneladas de CO<sub>2</sub> lançadas.

Os dados referentes à emissão de combustível gasolina, indicam uma oscilação entre os anos de 2013 a 2014, com patamar de elevação em 9% ao ano, em um total de 957,46 toneladas de CO<sub>2</sub>. Esse aumento se atribui à elevação de 7% da frota habilitada para circular com gasolina. A partir de 2013 até 2016 houve uma elevação de 18% no consumo de álcool, o que também refletiu no aumento das emissões de CO<sub>2</sub>.

A elevação de 7,94% na taxa de emissão de CO<sub>2</sub> –com 1.056,55 toneladas de CO<sub>2</sub> em 2014– em relação a 2013 foi atribuída ao aumento de 6% da frota habilitada para circular

com gasolina.

A projeção para 2030 demonstrou aumento de 13,9% nas emissões de CO<sub>2</sub> no setor de transporte rodoviário de Fortaleza. Esse comportamento foi justificado pelos fatores econômicos favoráveis para consumo de combustíveis, como o crescimento da renda per capita, aumento no volume de concessão de crédito, redução das taxas de juros para aquisição de veículos, conforme previsão da Empresa de Pesquisa Energética.

Para compensar as emissões de CO<sub>2</sub> veiculares são necessárias aproximadamente 13.000 árvores. A compensação ambiental foi estabelecida pelo plantio de mudas de árvores nativas no ano de 2017, visando equilíbrio entre as emissões de CO<sub>2</sub> oriundos da queima dos combustíveis veiculares e a capacidade de fixação de carbono nas árvores até o ano de 2030.

## **REFERÊNCIAS**

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP). **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis** – 2013. Rio de Janeiro, 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP). **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis** – 2015. Rio de Janeiro, 2016.

ÁLVARES JR, O. de M.; LINKE, A. R. R. **Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases do efeito estufa de frotas de veículos no Brasil**. CETESB, São Paulo. Disponível em< [http://www.ambiente.sp.gov.br/proclima/PDF/inventario\\_efeitoestufa.pdf](http://www.ambiente.sp.gov.br/proclima/PDF/inventario_efeitoestufa.pdf)>. Acesso em, v. 14, n. 06, p. 2011, 2012.

BRASIL, G. H.; JUNIOR, P. A. de S; JUNIOR, J. A. de C. **Inventários corporativos de gases de efeito estufa: métodos e usos**. Revista Eletrônica Sistemas & Gestão, v. 3, n. 1, p. 15-26, 2008.

BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA DE TECNOLOGIA / ECONOMIA E ENERGIA (OSCIPI). **Relatório de referência das emissões de gases de efeito estufa no transporte rodoviário**, 2010.

CESAR, G. C. A.; NASCIMENTO, C. F. L.; CARVALHO, A. J. **Associação entre exposição ao material particulado e internações por doenças respiratórias em crianças**. Revista de Saúde Pública, v.47, n.6, p.1209-12, 2013.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Oficina Nacional: transporte e mudança climática**. Brasília, 2009.

CONVENÇÃO MARCO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE A MUDANÇA CLIMÁTICA (UNFCCC).

**The Marrakech Accords and the Marrakech Declaration**, available at [http://www.unfccc.int/cop7/documents/accords\\_draft.pdf](http://www.unfccc.int/cop7/documents/accords_draft.pdf). 2001.

DAVIDSON, O. MICHAELIS, L. **Methodological and Technological Issues in Technology Transfer. GHG Mitigation in the Transport Sector**. Energy Policy, v. 24, p. 969–984, 1996.

DARLEY, e F; MIDDLETON, J T. Problems of Air Pollution in Plant Pathology. Annual Review Of Phytopathology, [s.l.], v. 4, n. 1, p.103-118, set. 1966. **Annual Reviews**. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.py.04.090166.000535>.

EEA ANNUAL REPORT. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2004.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional – BEN 2014**.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional – BEN 2016**.

EPA, Public Participation Procedures For EPA's Emission Estimation Guidance Materials, EPA-454/R-94-022, July 1994.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2015**. Rio de Janeiro, ago. 2016. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv94254.pdf>.

INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Evolução da frota de automóveis e motos no Brasil, 2001 – 2012**. Observatório das Metrôpoles, Relatório 2013.

IPCC, Intergovernmental Panel On Climate. 2007 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. 2013-04-28. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2007gl/index.html>, 2006.

LA ROVERE, E. L. **Inventário de Emissões de Gases do Efeito Estufa do Município de São Paulo**. São Paulo, p. 137, 2005.

MARIO, M. P. J. **Poluição atmosférica como condicionante no processo de ocupação do espaço urbano: Análise na cidade de Porto Alegre, RS**. 2012. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Industrial) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

MATTOS, L. B. R. DE. **A Importância do Setor de Transportes na Emissão de Gases de Efeito Estufa - O Caso do Município do Rio de Janeiro**, p., 179, 2001. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Boletim Mensal de Energia. Dez, 2016.

MOREIRA, D., & Tirabassi, T. **Modelo matemático de dispersão de poluentes na atmosfera: um instrumento técnico para a gestão ambiental.** Ambiente & Sociedade, 7(2), 159–172. <http://doi.org/10.1590/S1414-753X2004000200010>, (2004).

OLIVEIRA, A. S. **Modalidades e procedimentos simplificados do mecanismo de desenvolvimento limpo e a eletrificação residencial rural baseada em projetos de geração de energia renovável em pequena escala.** In Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural, 2002.

RENNER, R. M. **Sequestro de carbono e a viabilização de novos reflorestamentos no Brasil.** Curitiba, UFPR, 2004.

RUSSO, P. R. **A qualidade do ar no município do Rio de Janeiro: análise espaço-temporal de partículas em suspensão na atmosfera.** Revista de Ciências Humanas, v.10, n.1, p.78-93, jan./jun. 2010.

SCHAMALL, Doris. **Qualitative und quantitative Differentialdiagnose von Individuen mit und ohne Mineralisationsstörungen am Beispiel spätantiker, neuzeitlicher und rezenter menschlicher Skelettreste:** unter Verwendung des radiologischen, histologischen und histomorphometrischen Analysespektrums. 2008. 363 f. Tese (Doutorado) - Curso de Antropologia, Fakultät Für Lebenswissenschaften, Viena, 2008. Disponível em: <<http://othes.univie.ac.at/4621/>>. Acesso em: 01 dez. 2019.

SOARES, L.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. **Mitigação da emissão de gases efeito estufa pelo uso de etanol da cana de açúcar produzido no Brasil.** Embrapa, abr. (Circular Técnica, n. 27), 2009.

STERK, W.; BUNSE, M. **Voluntary Compensation of Greenhouse Gas Emissions.** Policy Paper .n. 3, Wuppertal Institute for Climate, Environment. 2004.

TANIZAKI, K. F. **Reducing Uncertainties of Carbon Stock in Tropical Forest.** In: **4th International Symposium Environmental Geochemistry in Tropical Countries**, 2004, Búzios. Anais do 4th International Symposium Environmental Geochemistry in Tropical Countries, 2004.

UNFCCC (Convenção marco das nações unidas sobre a mudança climática). **The Marrakech Accords and the Marrakech Declaration, available at.** 2001. Disponível em: <[http://www.unfccc.int/cop7/documents/accords\\_draft.pdf](http://www.unfccc.int/cop7/documents/accords_draft.pdf)>. Acesso em: 15 nov. 2019.