Artigo

Determinação de Gases do Efeito Estufa em Cinco Capitais de Diferentes Biomas Brasileiros

Moreira Júnior., D. P.; Silva, C. M.;* Bueno, C; Corrêa, S. M., Arbilla, G.

Rev. Virtual Quim., 2017, 9 (5), 2032-2051. Data de publicação na Web: 17 de outubro de 2017

<http://rvq.sbq.org.br>

Determination of Greenhouse Gases in Five Capitals in Different Brazilian Biomes

Abstract: In a world in constant change, the increasing concentrations of greenhouse gases (GHG), the processes leading to CO₂ capture and the mitigation of GHG concentrations to control global warming, are relevant. In this study, the concentrations of CO₂, CH₄ e N₂O were determined in five capitals located in the three main Brazilian biomes: Curitiba, São Paulo and Rio de Janeiro in Mata Atlântica, Brasília in Cerrado and Belém in Amazônia. The sampling and chemical analysis was performed using a low-cost analytical method developed by some of the authors of this study. The CO₂, CH₄ e N₂O concentrations were in the intervals 391-542 ppmv, 1,74-2,31 ppmv e 263-342 ppbv, respectively. The determined values are in good agreement with values reported for other urban areas around the world and do not present an important difference for samples collected, in the same city, for vegetated and no-vegetated areas, which is probably due to the rapid transport of air masses and the global effect of green areas as carbon quenchers. Nevertheless, in the city of Rio de Janeiro, CO₂ concentrations were clearly lower than in the other cities, suggesting the importance of compacted forested areas, mainly secondary forest and re-forested areas, in the process of carbon capture.

Keywords: Carbon dioxide; carbon capture; atmospheric emissions; urban pollution; green areas; global warming.

Resumo

Em um mundo em constante transformação, as concentrações crescentes de gases de efeito estufa (GEE) e os processos que podem levar ao sequestro de CO₂ e à mitigação das concentrações destes gases para conter o aquecimento global são relevantes. Neste trabalho foram determinadas as concentrações de CO₂, CH₄ e N₂O em cinco capitais brasileiras, pertencentes aos três principais biomas brasileiros: Curitiba, São Paulo e Rio de Janeiro na Mata Atlântica, Brasília no Cerrado e Belém na Amazônia. As coletas e análises químicas foram realizadas utilizando um método de análise de baixo custo recentemente desenvolvido por alguns dos autores deste estudo. As concentrações de CO₂, CH₄ e N₂O se encontram nos intervalos 391-542 ppmv, 1,74-2,31 ppmv e 263-342 ppbv, respectivamente. Os valores encontrados neste trabalho são consistentes com os reportados para outras áreas urbanas no mundo e não apresentaram diferenças importantes dentro de uma mesma cidade, ao se comparar a área verde com a área livre de cobertura vegetal, devido provavelmente à rápida mistura das massas de ar e o efeito global das áreas verdes como sumidouro de carbono. Contudo, para a cidade do Rio de Janeiro as concentrações de CO₂ foram claramente menores, tanto no inverno quanto no verão, que nas outras cidades, sugerindo a importância das áreas compactas de florestas, especialmente de floresta secundária e outras áreas de reflorestamento recente, no processo de sequestro de carbono.

Palavras-chave: Dióxido de carbono; sequestro de carbono; emissões atmosféricas; poluição urbana; áreas verdes; aquecimento global.

* Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Físico-Química. Instituto de Química, CEP 21941-909 Rio de Janeiro, RJ, Brazil.

martins.cleyton@gmail.com

DOI: [10.21577/1984-6835.20170121](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170121)

Determinação de Gases do Efeito Estufa em Cinco Capitais de Diferentes Biomas Brasileiros

Danilo P. Moreira Júnior,^a Cleyton M. da Silva,^{a,b,*} Cecilia Bueno,^a Sergio M. Corrêa,^b Graciela Arbilla^c

^a Universidade Veiga de Almeida, Campus Maracanã, CEP 20271-020 Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

^b Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Química e Ambiental, CEP 27537-000, Resende-RJ, Brasil.

^c Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Físico-Química. Instituto de Química, CEP 21941-909 Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

* martins.cleyton@gmail.com

Recebido em 15 de outubro de 2017. Aceito para publicação em 15 de outubro de 2017

1. Introdução

2. Material e Métodos

2.1. Área de estudo

2.2. Coleta e análise das amostras

3. Resultados e Discussão

4. Conclusões

1. Introdução

Em um mundo em constante transformação, o homem tem se transformado em uma força geológica capaz de alterar o equilíbrio do planeta.^{1,2} Em 2004 foram publicados pelo *International Geosphere-Biosphere Programme* (IGBP) uma série de resultados mostrando a evolução de uma série de indicadores socioeconômicos e parâmetros da Terra no período de 1700 a 2000. Esses dados foram posteriormente atualizados até o ano 2010 e incluem indicadores como a composição da atmosfera, concentrações do ozônio na estratosfera, ciclos da água e do nitrogênio,

degradação das florestas e extinção de espécies.³ Os resultados mostram que a partir de 1950 se observa uma mudança exponencial em todos esses indicadores, conhecida na literatura como a “Grande Aceleração”. Entre esses parâmetros se encontram as concentrações de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e compostos nitrogenados, a temperatura da superfície da Terra, a degradação das florestas, as mudanças no uso da terra e a acidificação dos oceanos.

Todos esses indicadores estão relacionados às atividades antrópicas e podem ser analisados pelas emissões de gases do efeito estufa (GEE). Os três principais GEE são o CO₂, CH₄ e óxido nitroso

(N₂O), que no Brasil representam 99% das emissões em unidades de CO_{2eq} (CO₂ equivalente). Segundo o relatório do Observatório do Clima, as emissões brutas de GEE no Brasil aumentaram 14 %, passando de 1,62 Gt CO_{2eq} para 1,85 Gt CO_{2eq}.⁴ O CO₂ isoladamente representa 69% das emissões brutas e pode ser atribuído principalmente à queima de combustíveis fósseis e às mudanças de uso da terra. O CH₄ representa 20% das emissões totais brutas e se origina principalmente da pecuária e do tratamento de resíduos. Já o N₂O, que tem como principal fonte a adubação de solo, tanto por dejetos animais quanto por fertilizantes nitrogenados, representa 10% das emissões brutas.⁴ As emissões devidas às atividades econômicas, como uso da energia, agropecuária, processos industriais e despejo de resíduos, tem apresentado um crescimento contínuo desde 1970. Já as emissões relacionadas ao uso do solo, estão fortemente vinculadas ao desmatamento, principalmente na Amazônia e, por esse motivo apresentam oscilações ao longo do tempo, com máximas em períodos anteriores a 2004.⁵ O Brasil, que é o maior país de América Latina tanto quanto à população quanto à superfície, é o quinto emissor do mundo, representando 5 % do total de emissões mundiais.

O armazenamento natural de carbono acontece principalmente em cinco compartimentos interconectados: oceânico, geológico, pedológico (solo), biótico (biomassa vegetal e animal) e atmosférico.⁶ Estima-se que as conversões de ecossistemas nativos para agrossistemas e as atividades agrícolas contribuem atualmente, a nível mundial, com aproximadamente 24, 55 e 85% das emissões mundiais de CO₂, CH₄ e N₂O, respectivamente.⁶ Contudo, no Brasil, as emissões de GEE oriundas da mudança de uso da terra e agricultura são ainda mais relevantes e representam aproximadamente 75, 91 e 94% do total de emissões de CO₂, CH₄ e N₂O, respectivamente.⁷

Uma parte considerável do carbono orgânico no solo se encontra em forma de matéria orgânica do solo (MOS), que é

facilmente decomposta e liberada quando se realizam desmatamentos e práticas de manejo não conservacionistas. Além disso, as florestas removem carbono, na forma de CO₂, no processo de fotossíntese. O sequestro de carbono acontece em maiores proporções quando as plantas são jovens e estão em fase de crescimento. À medida que atingem a maturidade e o crescimento se estabiliza, a absorção de CO₂ é reduzida e a vegetação entra em estágio de equilíbrio dinâmico.⁸ Assim, o sequestro de carbono através de reflorestamento é uma opção para mitigar as concentrações de CO₂.

Carvalho *et al.* analisaram o potencial de sequestro de carbono de três dos principais biomas brasileiros,⁶ Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica, e o impacto das práticas agrícolas, assim como do reflorestamento e o manejo das pastagens nas emissões de GEE. Os autores concluem que a Floresta Amazônica teria um potencial de sequestrar 421 a 470 Tg ano⁻¹ de carbono através da acumulação pelo solo (30%) e o restante pela absorção pela biomassa aérea. Além disso, a contribuição da floresta não se reduz apenas ao sequestro de carbono, mas também ao evitar a degradação acelerada do solo e a queima de material orgânico.⁹

Já na região do Cerrado apenas 34% da superfície do solo encontra-se em estado natural e a derrubada e queima da vegetação nativa para a utilização com fins agrícolas, a uma taxa de 1,1% ao ano, tem resultado na redução dos estoques de carbono do solo e no aumento das emissões de GEE para a atmosfera.¹⁰

Quanto à Mata Atlântica, estima-se que atualmente apenas 8% da cobertura vegetal original tenha restado após os fortes processos de desmatamento para implementação da agricultura, pecuária e atividades industriais.⁶ Após esse processo a terra vem sendo utilizada de diversas formas, como floresta remanescente (primária), floresta plantada, pastagens, culturas de café, citros, cacau e bananas, entre outros cultivos e culturas anuais. Diversas estimativas do potencial de sequestro de carbono desse bioma, mostram seu elevado

potencial pelas próximas décadas, apesar da intervenção humana e da perda da vegetação nativa.⁶

Apesar da relevância do tema e dos diversos trabalhos publicados em áreas como economia, agricultura e florestais, as medições de GEE em cidades brasileiras são muito escassas.¹¹

O objetivo deste trabalho é realizar um estudo preliminar das concentrações de CO₂, CH₄ e N₂O em cinco capitais brasileiras localizadas nos biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica, tanto em área urbana como em área verde, e inferir o possível impacto das áreas verdes na mitigação dos GEE nos centros urbanos.

2. Material e Métodos

2.1. Área de estudo

Neste trabalho foram determinadas as concentrações dos três principais GEE em cinco capitais do Brasil – Belém (PA), Brasília (DF), Curitiba (PR), Rio de Janeiro (RJ) e São Paulo (SP), localizadas em diferentes biomas do Brasil, conforme apresentadas na Figura 1.

Todas as cidades apresentam características distintas no que tange à população, à frota veicular, à extensão territorial e também ao bioma predominante. Na Tabela 1 são apresentados os principais dados descritivos destas cidades.

Figura 1. Capitais do Brasil selecionadas para amostragem – Belém (PA), Brasília (DF), Curitiba (PR), Rio de Janeiro (RJ) e São Paulo (SP). Fonte: Google Earth

Tabela 1. Dados descritivos das cidades estudadas para o ano de 2016¹²

Cidade	População estimada	Frota Veicular	Área da unidade territorial (km ²)	Bioma
Belém – PA	1.446.042	428.898	1.059,458	Amazônia
Brasília – DF	2.977.216	1.699.682	5.779.999	Cerrado
Curitiba – PR	1.893.997	1.516.468	435,036	Mata Atlântica
Rio de Janeiro – RJ	6.498.837	2.730.992	1.200,179	Mata Atlântica
São Paulo – SP	12.038.175	7.805.127	1.521,110	Mata Atlântica

A cidade de Belém, capital do estado do Pará, está localizada na região Norte do país, e possui sua topografia e formas de relevo pouco variáveis e caracterizadas por baixos platôs e planícies litorâneas, seu ponto de altitude máximo atinge uma altitude de 25 m, na Ilha de Mosqueiro. De acordo com a classificação de Köppen, o seu clima é do tipo Af, de floresta tropical, úmido e com

temperaturas maiores que 18 °C.¹³ Nesta cidade as coletas foram realizadas em dois pontos distintos – no Bosque Rodrigues Alves (Jardim Zoobotânico da Amazônia) e nas proximidades do mercado Ver-o-Peso – caracterizando respectivamente uma área de cobertura vegetal e outra tipicamente urbana. Os pontos de amostragem desta cidade são apresentados na Figura 2.

Figura 2. Locais de Amostragem em Belém (PA) – Mercado Ver-o-Peso (área urbana) e Jardim Botânico da Amazônia (área verde)

Brasília, capital do Distrito Federal, está localizada na região Centro-Oeste do Brasil, e foi inicialmente planejada como uma “cidade-parque” dotada de grandes áreas de cobertura vegetal, que vem sendo diminuída com o crescimento demográfico.¹⁴ O Distrito Federal, por estar situado no Planalto Central, é marcado pela sua paisagem de chapadas com extensas superfícies de relevo plano e ondulado.¹⁵ Apresenta predominantemente clima tropical de savana, do tipo Aw, conforme a classificação climática de Köppen, de inverno seco e verão quente, com temperaturas médias anuais entre 26,7 °C (máxima) e 16,1 °C (mínima).^{14,16}

O Distrito Federal é ocupado pela vegetação de savana típica do Cerrado, que é um Bioma considerado *hotspot* da biodiversidade, em função de elevada biodiversidade e considerável perda de seu território original.¹⁷

Em Brasília as coletas em área de cobertura vegetal foram realizadas diante do lago do Parque Dona Sarah Kubitschek, região com árvores distantes entre si e com copa reduzida. Já a amostragem em ambiente livre de cobertura vegetal se deu no Eixo Monumental, importante ponto turístico da cidade, caracterizado por um movimento intenso de automóveis. A Figura 3 mostra os locais das coletas realizadas em Brasília.

Figura 3. Locais de Amostragem em Brasília (DF) – Eixo Monumental (área urbana) e Parque Sarah Kubitschek (área verde).

A cidade de Curitiba é a capital do estado do Paraná e está localizada na Região Sul do país e seu relevo é caracterizado por uma depressão morfológica margeada por dois altos topográficos e estruturais, respectivamente, os maciços graníticos da Serra do Mar (altitude máxima de 1.800 m, no Pico Paraná) e os metassedimentos do Grupo Açungui, com altitude máxima de 1.100 m. O seu sítio urbano é caracterizado por rugosidade e o aplainamento generalizado, apresentando heterogeneidade em terreno.¹⁸

Curitiba é considerada uma das cidades com maior cobertura vegetal do país, onde ocorre predominantemente a Floresta Ombrófila Mista, tipo de vegetação que faz parte do bioma Mata Atlântica, são 77,87 km² ha de área verde georreferenciada, representando cerca de 18 % de seu

território.^{19,20} Curitiba apresenta clima temperado úmido, do tipo Cfb, de acordo com a classificação de Köppen, com temperatura média de suas máximas em torno dos 20 °C (verão), e média de suas mínimas cerca de 13 °C (inverno), muito embora atinja frequentemente valores negativos.²¹

Nesta cidade foram realizadas coletas em duas localidades distintas: no Jardim Botânico Francisca Maria Garfunkel Richbiete e na Rua Visconde de Nacar (avenida com grande tráfego veicular, onde se encontra a Rua 24 horas, espécie de polo gastronômico municipal), de forma a representar respectivamente uma área de cobertura vegetal e uma área livre de tal característica. A Figura 4 apresenta um mapa com os sítios de amostragem.

Figura 4. Locais de Amostragem em Curitiba (PR) – Rua Visconde de Nacar (área urbana) e Jardim Botânico de Curitiba (área verde).

A cidade do Rio de Janeiro, capital do estado de mesmo nome, está localizada na Região Sudeste do país e possui grande importância no que diz respeito à sua concentração populacional, ao seu papel econômico e logístico para o país.^{22,23} Também é considerada como um dos principais destinos turísticos do país, tendo, nos últimos anos, sediado importantes eventos de alcance internacional – Jogos Pan Americanos, Jornada Mundial da Juventude, Copa do Mundo de Futebol e Jogos Olímpicos e Paralímpicos.²³

O território do Rio de Janeiro é caracterizado por suas áreas cobertas pelo bioma da Mata Atlântica, apresentando clima tropical, do tipo Am, segundo a classificação climática de Köppen, com temperaturas entre a mínima de 18,4 °C (durante o inverno), e a máxima de 30,2 °C (durante o verão), possuindo ainda estação chuvosa no verão, e estação seca no inverno.^{24,25}

O município do Rio de Janeiro, sendo a principal cidade da Região Metropolitana de mesmo nome, apresenta um grande número de indústrias e frota veicular, sendo a segunda cidade com maior Produto Interno Bruto do país,¹² possui características peculiares quanto aos fatores de influência para as concentrações atmosféricas, pois além de concentrar um parque industrial bastante intenso e diversificado, associado às suas contribuições majoritárias de emissões veiculares, a cidade abriga o Parque Nacional da Tijuca, que com 39,53 km² é considerada a maior floresta secundária urbana do mundo, e ainda o Parque Estadual da Pedra Branca na zona oeste do município do Rio de Janeiro, que com uma área de 124,92 km², é

considerado a maior floresta urbana primária do mundo.²⁶

Ambas áreas verdes estão localizadas em dois maciços respectivamente, os maciços da Tijuca (com altitude máxima de 1.021 m no Pico da Tijuca) e da Pedra Branca (com altitude máxima de 1.024 m no Pico da Pedra Branca), que juntamente com os demais acidentes topográficos e diversificados do município, formam uma barreira natural para a circulação e dispersão atmosférica, caracterizando a topografia acidentada do município e permitindo a divisão do espaço aéreo com características distintas denominadas bacias aéreas.^{23,26,27}

No Rio de Janeiro as coletas em área de cobertura vegetal foram realizadas no Jardim Botânico, localizado na zona sul da cidade, próximo à Floresta da Tijuca, tendo uma área coberta por floresta secundária e outra área contendo mais de 9.000 plantas de 1.500 diferentes espécies do Brasil (Mata Atlântica, Cerrado e Floresta Amazônia) e outras partes do mundo.²⁸ Já a amostragem em ambiente livre de cobertura vegetal se deu na Avenida Radial Oeste, importante avenida que liga os bairros da zona norte à região central, caracterizada por intenso tráfego veicular, principalmente nos horários de *rush*. A Figura 5 apresenta um mapa com os sítios de amostragem na cidade do Rio de Janeiro.

A cidade de São Paulo está localizada na Região Sudeste do Brasil e é a capital do estado de mesmo nome. Possui a maior população bem como a maior frota veicular do país, concentrando ainda o maior PIB do país,¹² sendo considerada uma das maiores cidades do mundo e a maior do Hemisfério Sul.²⁹

Figura 5. Locais de Amostragem no Rio de Janeiro (RJ) – Avenida Radial Oeste (área urbana) e Jardim Botânico do Rio de Janeiro (área verde).

O clima de São Paulo é classificado como sendo subtropical/tropical de altitude, do tipo Cwa, de acordo com a classificação de Köppen, caracterizado por apresentar temperatura média anual entre 19 °C e 27 °C.²⁹ A cidade de São Paulo está inserida no Bioma da Mata Atlântica de vegetação típica de Floresta Ombrófila Densa, e possui altitude média de 760 m, sendo o seu ponto de maior altitude o Pico do Jaraguá, com 1.135 m, onde está localizado Parque Estadual do Jaraguá, na serra da Cantareira, onde se encontra também o Parque da Cantareira, sendo considerada uma das maiores florestas urbanas do mundo.³⁰

Em São Paulo o ponto de coleta

representativo de área verde foi o Parque do Ibirapuera, sendo este um conhecido local de cobertura vegetal da cidade. Possui 1,58 km² representando cerca de 0,1 % da área total da cidade, 1.521 km².³¹ O ponto de amostragem representativo de área livre de cobertura vegetal foi o símbolo máximo do desenvolvimento paulistano: a Avenida Paulista, sendo considerada uma das principais vias da cidade, com grande movimentação de veículos leves e de transporte público. A Figura 6 apresenta um mapa com os pontos de amostragem.

A Tabela 2 mostra o detalhamento de cada local de amostragem nas cinco capitais estudadas.

Figura 6. Locais de Amostragem em São Paulo (SP) – Avenida Paulista (área urbana) e Parque Ibirapuera (área verde).

Tabela 2. Localização dos pontos de coleta nas capitais estudadas

Capital	Área	Local	Coordenadas
Belém	Área Verde	Jd. Zoobotânico Amazônia	1°26'0,71"S 48°27'10,46"O
	Área Urbana	Ver-o-Peso	1°27'1,79"S 48°30'13,6"O
Brasília	Área Verde	Pq. da Cidade	15°48'4,55"S 47°54'37,09"O
	Área Urbana	Eixo Monumental	15°47'30,01"S 47°53'45,93"O
Curitiba	Área Verde	Jardim Botânico	25°26'33,58"S 49°14'17,88"O
	Área Urbana	Rua Visconde de Nácar	25°26'4,30"S 49°16'35,95"O
Rio de Janeiro	Área Verde	Jardim Botânico	22°58'24,9"S 43°13'33,02"O
	Área Urbana	Av. Radial Oeste	22°54'43,28"S 43°13'33,20"O
São Paulo	Área Verde	Pq. Ibirapuera	23°35'21,95"S 46°39'41,57"O
	Área Urbana	Av. Paulista	23°33'53,95"S 46°39'6,21"O

2.2. Coleta e análise das amostras.

Os GEE foram coletados e analisados segundo metodologia previamente desenvolvida, implementada, validada e descrita detalhadamente por Silva *et al.*¹¹ Esse método estabelece os procedimentos gerais para a coleta de GEE usando seringas de polipropileno e sua análise por cromatografia gasosa com múltiplos detectores (Detector por Condutividade Térmica – DCT/ Detector por Ionização de Chama – DIC/ Detector por Captura de

Elétrons – DCE), coordenados por uma série de válvulas e *loops* de amostragens, que permitem o direcionamento da amostra aos diferentes detectores.¹¹

As coletas foram realizadas, em duplicata, no horário compreendido entre 11:30 h e 13:00 h. As amostras foram coletadas a uma altura de cerca de 1,7 m do solo, usando seringas de capacidade volumétrica de 60 mL, com êmbolo de borracha e válvula manual de três vias para abertura e fechamento, como demonstrado na Figura 7.

Figura 7. Procedimento de coleta e análise dos GEE¹¹

Antes do procedimento de amostragem, as seringas foram submetidas a procedimento de rinsagem com o próprio ar ambiente de forma a minimizar as possíveis contaminações da amostra.

Durante o procedimento de coleta, o êmbolo da seringa foi puxado lentamente (por cerca de 30 segundos), até que o volume interno da seringa fosse completamente

preenchido. Logo após este procedimento, a válvula de três vias foi disposta na posição de bloqueio de entrada e saída de gases. As amostras foram devidamente identificadas e revestidas por folhas laminadas de alumínio, de modo a garantir a integridade das mesmas.

As amostras foram analisadas no prazo máximo de 10 dias, utilizando cromatografia

gasosa, com múltiplos detectores (Cromatógrafo *Agilent, modelo 7890A*). O sistema consiste, brevemente, em dois canais separados empregando-se ao total 4 colunas cromatográficas empacotadas de aço inox de 1/8" (*HayeSep Q 80/100*). O *loop* de amostragem é de 1,0 mL, o que permite várias análises de uma mesma amostra. O primeiro canal emprega duas válvulas com o DCT e o DIC. O DCT e o metanador (catalisador de conversão de CO_2 a metano) com DIC são conectados em série para medida de CH_4 e CO_2 . O segundo canal, com um detector DCE e duas válvulas é dedicado à medida de N_2O .

Nas condições de análise a temperatura das válvulas e do forno de colunas foram de 100°C e 60°C, respectivamente. Após o término das análises, a temperatura do forno foi mantida a 110°C durante 2 minutos para limpeza do sistema. As colunas operam com um fluxo de 20 mL/min, sendo que duas destas utilizam Hélio 5.0 e as duas outras, Nitrogênio 5.0. Outros detalhes sobre a implementação do método foram previamente apresentados por Silva *et al.*¹¹

As curvas de calibração foram construídas usando misturas gasosas certificadas com 300 e 500 ppmv de CO_2 , 1500 a 2000 ppbv de CH_4 e 270 a 330 ppbv de N_2O (Linde Gases).

No momento inicial da coleta foram monitorados parâmetros meteorológicos, como Umidade Relativa, Velocidade do Vento e Temperatura, para tal foi utilizado um dispositivo portátil *Instrutherm*, modelo THAL300, bem como tomadas anotações relevantes para análise dos futuros dados.

Os dados experimentais foram tratados usando estatística descritiva para o cálculo dos valores médios e desvio-padrão.

3. Resultados e Discussão

Foram coletadas 40 amostras em duas campanhas de coleta em cada uma das cinco cidades estudadas: uma no período de inverno (21 a 28 de junho de 2016) e outra no período de verão (29 de janeiro a 3 de fevereiro de 2017). Na Tabela 3 são apresentadas as concentrações médias de CO_2 , CH_4 e N_2O , assim como os valores médios para os dados meteorológicos determinados durante cada uma das campanhas.

Os valores encontrados neste trabalho são consistentes com os reportados para outras áreas urbanas no mundo. As concentrações de CO_2 , CH_4 e N_2O se encontram nos intervalos 391-542 ppmv, 1,74-2,31 ppmv e 263-342 ppbv, respectivamente. Valores típicos de concentração para o CO_2 e o CH_4 em áreas urbanas se encontram no intervalo entre 350 e 600 ppmv e 1,70-2,50 ppmv, respectivamente.^{32,33} Os valores médios informados para CO_2 , CH_4 e N_2O são 399,5 ppmv, 1,834 ppmv e 328 ppbv, respectivamente.³⁴ Em todos os casos, os níveis dependem das condições meteorológicas, da densidade demográfica e do trânsito veicular.^{32,33}

Como pode ser observado na Tabela 3, para uma mesma cidade e período do ano, os valores determinados nas áreas verdes e nas áreas livres de cobertura vegetal, diferem em menos de 8 %, indicando a circulação de massas de ar dentro da cidade e o intercâmbio entre as áreas com e sem cobertura vegetal. Quando são comparados os valores determinados no inverno e verão, observa-se que em todos os casos existe uma diferença das concentrações dos GEE. Essas variações sazonais, chamadas de ciclos anuais, dependem de diversos fatores como localização geográfica, altitude e condições meteorológicas, e já foram reportadas por diferentes autores.³⁵⁻³⁸

Tabela 3. Concentrações médias dos GEE, valores médios de temperatura e umidade e direção predominante do vento, nas cidades de Belém, Brasília, Curitiba, Rio de Janeiro e São Paulo, durante o período de coleta (21 a 28 de junho de 2016 e 29 de janeiro a 3 de fevereiro de 2017)

Cidade	Local	Data	Hora	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Direção vento	Velocidade vento (km/h)	CO ₂ (ppm)	CH ₄ (ppm)	N ₂ O (ppb)
<i>Campanha de Inverno</i>										
Belém	Área Verde	21/06/2016	11:45	30,7	73,3	Sudoest e	0,00	531	1,99	269,50
	Área Urbana	21/06/2016	12:33	32,1	58,2	Sudoest e	7,10	533	1,95	273,50
Brasília	Área Verde	28/06/2016	11:50	28,1	37	Leste	4,60	537	1,86	280
	Área Urbana	28/06/2016	12:18	23,4	42,5	Leste	12,20	537	1,81	276
Curitiba	Área Verde	23/06/2016	12:43	21	49,3	Oeste	4,50	534	2,03	273
	Área Urbana	23/06/2016	12:15	22	50,1	Oeste	0,30	541	1,95	272
Rio de Janeiro	Área Verde	24/06/2016	12:08	26,7	56,7	Sudoest e	0,00	505	1,86	262
	Área Urbana	24/06/2016	12:03	25,2	45,5	Sudoest e	3,00	515	2,31	265
São Paulo	Área Verde	22/06/2016	11:54	25,7	46,3	Oeste	0,30	542	1,99	275
	Área Urbana	22/06/2016	12:42	25,4	46,5	Oeste	6,80	535	1,88	279
<i>Campanha de Verão</i>										
Belém	Área Verde	29/01/2017	12:00	27,2	85,1	Leste- Nordest e	0,00	423	1,85	308
	Área Urbana	29/01/2017	12:33	30	66,1	Leste- Nordest e	3,60	415	1,85	308
Brasília	Área Verde	01/02/2017	11:45	29	58	Leste- Nordest e	3,50	407	1,74	317
	Área Urbana	01/02/2017	12:25	29	58	Leste- Nordest e	12,70	435	1,80	341
Curitiba	Área Verde	02/02/2017	12:49	25	65	Noroest e	10,00	428	1,79	337
	Área Urbana	02/02/2017	12:15	25	65	Noroest e	4,20	430	1,81	336
Rio de Janeiro	Área Verde	03/02/2017	12:37	30,6	70,4	Norte- Nordest e	0,40	393	1,88	313
	Área Urbana	03/02/2017	11:45	31	67	Norte- Nordest e	1,90	391	2,00	312
São Paulo	Área Verde	30/01/2017	12:54	26	46	Leste	0,60	415	1,79	319
	Área Urbana	30/01/2017	12:09	27	46,1	Leste	7,30	441	1,94	329

As concentrações de CO_2 foram maiores no inverno, comportamento já observado em outros trabalhos, para os quais foi reportado que os níveis de CO_2 foram maiores no final do outono e durante o inverno, coincidindo com o final do ciclo biológico das plantas e a diminuição da atividade fotossintética.³⁹ As concentrações de CH_4 foram, também, maiores no inverno na maioria dos casos, comportamento oposto ao observado em outros locais do mundo.³⁹ As emissões urbanas de CH_4 podem estar relacionadas à decomposição anaeróbica de matéria orgânica, evaporação do chorume de resíduos sólidos, áreas de despejo, canais e rios. Porém, a pequena variação térmica observada entre as duas campanhas (1 a 4 °C) não é provavelmente suficiente para ocasionar uma mudança significativa nesse processo. As emissões relacionadas ao trânsito veicular e ao uso de gás comprimido veicular foram provavelmente menores no verão,³⁹ já que a campanha coincidiu com o período de férias escolares, onde normalmente são encontrados níveis menores de poluentes relacionados ao transporte.²⁴ No caso do Jardim Botânico do Rio de Janeiro e da Avenida Paulista, os valores foram ligeiramente maiores no verão. No caso do Jardim Botânico a coleta foi realizada próxima a pequenos córregos que descem da encosta da Mata Atlântica e assim o maior valor durante o verão pode ser atribuído à maior decomposição de compostos orgânicos de origem animal e vegetal encontrados no solo e na água. Na Avenida Paulista o aumento na concentração de CH_4 pode ter relação com os resíduos sólidos urbanos das lixeiras espalhadas pela mesma, como as observadas nas proximidades do ponto de coleta.

Já as concentrações de N_2O foram em geral maiores no verão, o que poderia ser atribuído ao aumento na atividade metabólica de bactérias que são responsáveis pela contribuição da fonte natural deste composto.

Recentemente Fritzsons *et al.* estudaram os diferentes tipos de clima das capitais

brasileiras, relacionando-os aos vários biomas.²⁰ Usando estatística multivariada, determinaram dois grandes grupos, que denominaram A e B, e foram subdivididos, por sua vez, em subgrupos. Das cidades estudadas neste trabalho, Curitiba e São Paulo, se encontram no grupo A, bem como no mesmo subgrupo (A1), correspondente às capitais do sul e sudeste do Brasil, no bioma Mata Atlântica, que apresentam umidade relativa de valores intermediários, temperaturas médias anuais mais baixas que o resto do país e pluviosidade entre as menores das cidades.²⁰ Porém, Curitiba se isola das demais capitais do subgrupo, pois é a mais fria do país, e onde ocorre a formação vegetal típica das regiões mais frias e úmidas, a Floresta Ombrófila Mista, conhecida também como Floresta com Araucária. Já Brasília na região centro-oeste, pertence ao mesmo grupo, mas outro subgrupo (A12), no bioma Cerrado. Neste subgrupo de capitais (onde também se encontram Belo Horizonte, Campo Grande e Goiânia) as temperaturas médias são semelhantes às das outras cidades do grupo, mas a umidade relativa e pluviosidade são, juntamente com as de outras cidades localizadas no Cerrado e na Caatinga, as menores do país, enquanto que a insolação é comparável à da área litorânea do sudeste e nordeste.²⁰

O Rio de Janeiro se encontra no grupo B, no subgrupo (B11) correspondente às cidades da região litorânea do sudeste, no bioma Mata Atlântica, com altas temperaturas médias e máximas, e média das temperaturas mínimas com valores intermediários. A insolação é alta, mas a umidade relativa é intermediária, bem como os volumes totais da pluviosidade.²⁰

Finalmente, Belém se encontra em outro subgrupo (B12) do Grupo B, correspondente às capitais da região litorânea norte, no bioma Amazônia, junto com as cidades de Macapá, São Luís, Manaus, Porto Velho e Rio Branco. Este grupo apresenta características muito diferentes dos demais, com altas temperaturas médias, pluviosidade e

umidade, porém baixa insolação, sob clima equatorial úmido.²⁰ Essas características climáticas, associadas aos diferentes biomas irão, provavelmente, influenciar nas concentrações dos GEE.²⁰

Ao comparar as capitais, pode ser observado que apesar de o Rio de Janeiro ser a segunda maior cidade do Brasil com respeito à população, frota veicular e PIB,¹² apresenta as menores concentrações de CO₂, tanto no inverno como no verão. Esse fato pode ser atribuído à sua grande extensão de cobertura vegetal referente ao bioma Mata Atlântica, 34% tanto na superfície do município como na Região Metropolitana, com amplas áreas de cobertura secundária, reservas ecológicas, áreas protegidas e de reflorestamento recente.²⁴ Na Floresta da Tijuca, o programa de reflorestamento foi iniciado em 1867, tendo sido replantadas em 13 anos aproximadamente 100 mil mudas.⁴⁰ Programas como o Mutirão de Reflorestamento da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, iniciado há 20 anos e que tem recebido prêmios internacionais, tem levado ao plantio de mais de 4 milhões de árvores, na sua maioria, espécies nativas da Mata Atlântica, nas encostas e morros da cidade.⁴¹ Como já mencionado, existem evidências na literatura de que o potencial das plantas de remover CO₂ está relacionado à sua idade, e é maior na fase de crescimento da planta.⁸ Assim, as práticas de reflorestamento em larga escala teriam um efeito positivo, com um maior sequestro de carbono pelo sistema solo-planta, tanto através do processo de fotossínteses como na fixação da matéria orgânica no solo. Outro aspecto a ser notado na RMRJ é a distribuição da vegetação com grandes áreas verdes conectadas com mínima intrusão da urbanização, como o Parque Nacional da Tijuca, o Parque Estadual da Pedra Branca e o Maciço Gericinó-Mendanha.²⁷

Outro aspecto dos menores valores encontrados para o CO₂ no Rio de Janeiro pode estar associado à presença do oceano ao longo de sua extensão territorial. O oceano age como um reservatório de CO₂ em um processo de acidificação envolvendo o

equilíbrio físico-químico entre CO₂ atmosférico e na fase líquida.⁴² As concentrações de CO₂ têm sido medidas em diversos experimentos no Mar Mediterrâneo, Oceanos Índico e Atlântico, costa de Nova Zelândia e Antártica.⁴³ Os resultados não são conclusivos e, muitas vezes são contraditórios, de forma que ainda não é possível avaliar quantitativamente a contribuição dos oceanos no processo de captura de CO₂.

Já as cidades de Curitiba e São Paulo, que pertencem ao mesmo bioma Mata Atlântica, não apresentam cobertura vegetal, especialmente áreas reflorestadas contínuas, de mesma expressão que a encontrada na cidade do Rio de Janeiro.^{19,44} Como já mencionado, Curitiba tem 77,87 km² de área verde georreferenciada,¹⁹ que compreende floresta nativa com e sem araucária, bracingal, floresta ciliar, reflorestamento (5,12 km²) e floresta secundária (2,69 km²). Em comparação, segundo recente estudo da Câmara Metropolitana do Rio de Janeiro a Região Metropolitana do Rio de Janeiro possui 2.444 km² de áreas verdes, das quais 1.110 km² são protegidas, como parques, reservas e estações ecológicas.⁴⁵ Contudo, é importante salientar a importância dessas áreas verdes em Curitiba, como sumidouros e estoques de carbono nos diversos componentes florestais.¹⁹ Já na cidade de São Paulo a cobertura vegetal ocupa 21,29 % da superfície,⁴⁴ sendo que a área total reflorestada é de aproximadamente 28 km². Importantes áreas remanescentes de Mata Atlântica se encontram especialmente nas áreas sul e norte do município. Conforme informações publicadas em 2016 pela Prefeitura de São Paulo, foram mapeados mais de 4000 fragmentos remanescentes, a maioria muito pequenos e apenas duas áreas com mais de 10 km². Esse trabalho aponta para o problema já mencionado da fragilidade das áreas isoladas de vegetação e a necessidade de replantio e definição de áreas protegidas.⁴⁶

A cidade de Belém apresenta uma extensão de cobertura vegetal semelhante à do Rio de Janeiro, em torno de 37%,¹³ porém

com características muito diferentes. A distribuição espacial da cobertura vegetal é bastante desigual, com características isoladas ou lineares. Apenas na região das ilhas e a área continental no sudeste da cidade (terrenos militares e instituições públicas de ensino e pesquisa) a cobertura apresenta características mais compactas. Como discutido por Amaral *et al.*,⁴⁷ o Estado de Pará apresenta índices alarmantes de desmatamento da Amazônia legal. Esse processo tem afetado a Região Metropolitana de Belém, que inclui a capital e os municípios interligados de Ananindeua, Marituba, Santa Bárbara e Benevides, levando ao desaparecimento de aproximadamente 70% da floresta original.⁴⁸ A floresta primária remanescente apresenta grande fragmentação.⁴⁹ Foi identificada uma flora composta de 759 espécies em 69 famílias botânicas, das quais oito estão em listas oficiais de ameaçadas de extinção da Flora Nacional.⁴⁷ Essa fragmentação se constitui em uma ameaça para a sobrevivência das áreas verdes, pois paisagens florestais fragmentadas estão mais sujeitas à redução nas populações das espécies, alteração em seus padrões de migração e dispersão e, deterioração da diversidade biológica numa escala temporal. O fato de se tratar de uma floresta primária, envelhecida e fragmentada espacialmente é provavelmente a causa do menor potencial de absorção de CO₂.

Além disso, estudos realizados na Amazônia, mostraram a sensibilidade dos fluxos de carbono às anomalias climáticas das regiões tropicais e à intervenção antrópica, principalmente pelas queimadas.⁴⁹ A partir de dados coletados nos anos de 2010 e 2011, que foram excepcionalmente secos e úmidos, respectivamente, foram estimados os fluxos de carbono, onde os autores encontraram que, no ano seco, a Bacia Amazônica perdeu $0,48 \pm 0,18 \text{ Pg C ano}^{-1}$ e, no ano úmido, teve um balanço neutro ($0,06 \pm 0,1 \text{ Pg C ano}^{-1}$). Quando são considerados os fluxos de carbono devidos às queimadas, os autores encontraram que o fluxo entre a floresta não queimada e a atmosfera é neutro no período

seco, enquanto que no período úmido a vegetação representa um sumidouro nato de $0,25 \pm 0,14 \text{ Pg C ano}^{-1}$, que é consistente com valores previamente estimados para florestas intactas ($0,39 \pm 0,10 \text{ Pg C ano}^{-1}$).⁴⁹ Assim, resulta difícil estimar a contribuição do remanescente da floresta na absorção de CO₂ na região de Belém, sendo muito provável que todas as situações adversas já mencionadas resultem em um balanço próximo de zero.

Apesar de a cidade de Brasília possuir uma extensão considerável de cobertura vegetal referente ao Bioma Cerrado, estudos indicam que o sequestro de carbono neste bioma por km² é substancialmente menor que o do Bioma Amazônia.^{50,51} O solo do Cerrado armazena muito mais carbono do que a Floresta Amazônica, Atlântica e as Pampas por possuir um grande estoque de carbono subterrâneo, visto que a maior parte de sua biomassa encontra-se abaixo do solo.⁵² A quantidade de biomassa aérea, entretanto, é bem inferior quando comparada à subterrânea. O sequestro natural para o Cerrado tem sido estimado em $200 \text{ t C km}^{-2} \text{ ano}^{-1}$, um valor que mesmo sendo consideravelmente menor que o de regiões de florestas, se torna importante pela superfície ocupada no território brasileiro. No entanto, é importante notar que as queimadas frequentes neste bioma, utilizadas para o manejo de pasto e os incêndios que escapam ao controle, limitam o sequestro espontâneo de carbono.

Finalmente, deve-se notar que as áreas verdes assumem um papel de equilíbrio entre o espaço natural e o espaço modificado pelo homem, e contribuem na conservação da biodiversidade, a regulação do clima, e cumprem funções estéticas e na saúde e recreação dos cidadãos. A conservação dos fragmentos remanescentes dos diversos biomas, assim como o reflorestamento, mesmo que constituam uma pequena fração dentro da superfície do território nacional e uma pequena contribuição ao sequestro de carbono global, parecem importantes na mitigação das concentrações de CO₂,

especialmente quando as áreas são conectadas e compactas como é o caso das áreas de floresta da Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

4. Conclusões

Este estudo preliminar das concentrações de CO₂, CH₄ e N₂O nas capitais Curitiba, São Paulo e Rio de Janeiro, localizadas na Mata Atlântica, Belém localizada na Amazônia e Brasília na região do Cerrado, mostraram que as concentrações desses gases do efeito estufa são semelhantes às encontradas em outras cidades do mundo e não apresentaram diferenças importantes dentro de uma mesma cidade ao se comparar a área verde com a área livre de cobertura vegetal. Contudo, para a cidade do Rio de Janeiro as concentrações de CO₂ foram claramente menores, tanto no inverno quanto no verão, que nas outras cidades, sugerindo a importância das áreas compactas de florestas, especialmente de floresta secundária e outras áreas de reflorestamento recente, no processo de sequestro de carbono, além da possível contribuição do sequestro pelo oceano. O fato de apresentar valores semelhantes para as áreas com e sem cobertura vegetal, sugere a rápida mistura das massas de ar e o efeito global das áreas verdes como sumidouro de carbono e, provavelmente, outros poluentes.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Amparo a Pesquisa do Rio de Janeiro (FAPERJ), e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Referências Bibliográficas

- ¹ Monastersky, R. The human age. *Nature* **2015**, 519, 144. [Link]
- ² Crutzen, P. J.; Stoermer, E. F. The Anthropocene. *Global Change Newsletter* **2000**, 41, 17. [Link]
- ³ Steffen, W.; Broadgate, W.; Deutsch, L.; Gaffney, O.; Ludwig, C. The trajectory of the Anthropocene: The great acceleration. *The Anthropocene Review* **2015**, 2, 81. [CrossRef]
- ⁴ Observatório do Clima. Análise das emissões de GEE Brasil (1970-2014) e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o Acordo de Paris. Disponível em: <http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2016/09/WIP-16-09-02-RelatoriosSEEG-Sintese.pdf>. Acesso em: 20 Setembro 2017.
- ⁵ Ferreira, L. C.; Martinelli, M. Anthropocene: Governing climate change in China and Brazil. *Sociology and Anthropology* **2016**, 4, 1084. [CrossRef]
- ⁶ Carvalho, J. L. N.; Avanzi, J. C.; Silva, M. L. N.; de Mello, C. R.; Cerri, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *Revista Brasileira de Ciências do Solo* **2010**, 34, 277. [Link]
- ⁷ Cerri, C. C.; Cerri, C. E. P. Agricultura e aquecimento global. *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo* **2007**, 32, 40. [Link]
- ⁸ Ciesla, W. M.; Mbugua, D. K.; Ward, J. D. Ensuring forest health and productivity: A perspective from Kenya. *Journal of Forestry* **1995**, 93, 36. [Link]
- ⁹ Fearnside, P. M. The potential of Brazil's forest sector for mitigating global warming under the Kyoto Protocol. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* **2001**, 3, 355. [CrossRef] [Link]
- ¹⁰ Franchini, J. C.; Crispino, C. C.; Souza, R. A.; Torres, E.; Hungria, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern. *Brazil Soil Tillage Research* **2007**, 92, 18. [CrossRef]
- ¹¹ Silva, C. M.; Corrêa, S. M.; Arbilla, G. Determination of CO₂, CH₄ and N₂O: A Case Study for the City of Rio de Janeiro Using a

New Sampling Method. *Journal of the Brazilian Chemical Society* **2016**, 27, 778. [CrossRef]

¹² IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. Cidades. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php?lang=>. Acesso em: 20 agosto 2017.

¹³ SEGE. Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão. Anuário Estatístico do Município de Belém 2011, Prefeitura Municipal de Belém, Pará, 2012. Disponível em: http://www.belem.pa.gov.br/app/ANUARIO_2011/ANUARIO%202011%20COMPLETO.pdf. Acesso em: 20 agosto 2017.

¹⁴ Santana, N. C. Investigação de Ilhas de Calor em Brasília: Análise Multitemporal com Enfoque na Cobertura do Solo (Investigation of Heat Islands in Brasilia: Multi-Temporal Analysis with Focus on Land Cover). *Revista Brasileira De Geografia Física*, **2015**, 7, 1044. [Link]

¹⁵ Zoby, J. L.; Duarte, U. Caracterização hidrogeológica da Bacia do Ribeirão Sobradinho-Brasília (DF). *Geologia USP. Série Científica* **2001**, 1, 79. [CrossRef]

¹⁶ Daniele, K.; Dornelas, S.; da Silva, C. L.; da Silva, C. A. O. Coeficientes médios da equação de Angström-Prescott, radiação solar e evapotranspiração de referência em Brasília. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **2006**, 41, 1213. [CrossRef]

¹⁷ Fernandes, M. H.; Zoch, V. P.; Mata, R. A.; Walter, B. M. T. Fitossociologia do componente arbóreo e florística de um remanescente de Cerrado sentido restrito contíguo a áreas de agricultura na porção leste do Distrito Federal, Brasil. *Heringeriana*, **2013**, 7, 7. [Link]

¹⁸ Salamuni, E.; do Nascimento, E. R.; da Silva, P. A. H.; Fiori, C. O. Geomorfologia do município de Curitiba-PR. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, **2014**, 14, 327. [CrossRef]

¹⁹ Ribeiro, J. B.; Borgo, M.; Maranhão, L. T. Áreas protegidas de Curitiba (PR, Brasil) como sumidouros de CO₂. *Floresta* **2013**, 43, 181. [Link]

²⁰ Fritzsos, E.; Mantovani, L. E.; Wrege, M. S. Os biomas e o clima das capitais do Brasil.

Revista Brasileira de Geografia Física **2017**, 10,1152. [Link]

²¹ Krüger, E. L. Efeitos da ilha de calor nos níveis de conforto em ambientes externos e internos para as condições climáticas de Curitiba. *Engenharia Sanitaria e Ambiental* **2016**, 21, 459. [CrossRef]

²² Egler, C. A.; Gusmão, P. P. Gestão costeira e adaptação às mudanças climáticas: o caso da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management*, **2014**, 14, 65. [Link]

²³ Martins, E. M.; Fortes, J. D. N.; Ribeiro, G. P.; Pereira, M. F. M. Utilização de Sistema de Informação Geográfica como ferramenta para gestão do monitoramento da qualidade do ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. *Engenharia Sanitaria e Ambiental* **2014**, 19, 43. [CrossRef]

²⁴ Sítio da SMAC. Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/web/smac/sig-floresta>. Acesso em: 20 setembro 2017.

²⁵ Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Qualidade do Ar na Cidade do Rio de Janeiro. 2016. Relatório da Rede MonitorAr-Rio 2011-2012. Rio de Janeiro. **2013**. [Link]

²⁶ Silva, C. M. D.; Souza, E. C. C.; da Silva, L. L. D.; Oliveira, R. L.; Arbilla, G.; Corrêa, S. M. Evaluation of TO-15 Method efficiency to determine volatile organic compounds in typical urban conditions. *Química Nova* **2016**, 39, 1245. [CrossRef]

²⁷ Silva, C. M.; da Silva, L. L.; Corrêa, S. M.; Arbilla, G. Kinetic and mechanistic reactivity. Isoprene impact on ozone levels in an urban area near Tijuca Forest, Rio de Janeiro. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **2016**, 97, 781. [CrossRef]

²⁸ Silva, C. M.; Souza, E. C. C.; da Silva, L. L.; Oliveira, R. L.; Corrêa, S. M.; Arbilla, G. Volatile Organic Compounds in the Atmosphere of the Botanical Garden of the City of Rio de Janeiro: A Preliminary Study. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **2016**, 97, 653. [CrossRef]

²⁹ São Paulo. Disponível em: <http://www.cidadedesaopaulo.com/sp/>. Acesso em: 20 setembro 2017.

- ³⁰ Santos, B. G.; Cavenaghi, A. J. O processo de concretização do imaginário e a visitação no Parque Estadual do Jaraguá (SP). *Revista Brasileira de Ecoturismo* **2014**, 7, 119. [Link]
- ³¹ Parque Ibirapueira. Disponível em: <http://parqueibirapueira.org/>. Acesso em: 20 setembro 2017.
- ³² Jacobson, M. Z. Enhancement of local air pollution by urban CO₂ domes. *Environmental Science & Technology* **2010**, 44, 2497. [CrossRef]
- ³³ Idso, S. B.; Idso, C. D.; Balling, R. C. Seasonal and diurnal variations of near-surface atmospheric CO₂ concentrations within a residential sector of the urban CO₂ dome of Phoenix, AZ, USA. *Atmospheric Environment* **2002**, 36, 1655. [CrossRef]
- ³⁴ Carbon Dioxide Information Analysis Center. CDIAC. Disponível em: http://cdiac.ornl.gov/pns/current_ghg.html. Acesso em: 20 setembro 2017.
- ³⁵ Angelbratt, J.; Mellqvist, J.; Blumenstock, T.; Borsdorff, T.; Brohede, S.; Duchatelet, P.; Forster, F.; Hase, F.; Mahieu, E.; Murtagh, D.; Petersen, A. K.; Schneider, M.; Sussmann, R.; Urban, J. A new method to detect long term trends of methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) total columns measured within the NDACC ground-based high resolution solar FTIR network *Atmospheric Chemistry and Physics* **2011**, 11, 6167. [CrossRef]
- ³⁶ Dlugokencky, E. J.; Houweling, S.; Bruhwiler, L.; Masarie, K. A.; Lang, P. M.; Miller, J. B.; Tans, P. P. Atmospheric methane levels off: Temporary pause or a new steady-state? *Geophysical Research Letters* **2003**, 30, 1992. [CrossRef]
- ³⁷ Haszpra, L.; Barcza, Z.; Hidy, D.; Szilagyi, I.; Dlugokencky, E.; Tans, R. Trends and temporal variations of major greenhouse gases at a rural site in Central Europe. *Atmospheric Environment* **2008**, 42, 8707. [CrossRef]
- ³⁸ Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/>. Acesso em: 20 setembro 2017.
- ³⁹ Haiduc, I.; Beldean-Galea, M. S. Variation of Greenhouse Gases in Urban Areas-Case Study: CO₂, CO and CH₄ in Three Romanian Cities, Air Quality-Models and Applications, Prof. Dragana Popovic (Ed.), ISBN: 978-953-307-307-1, InTech, 2011. [CrossRef]
- ⁴⁰ Parque Nacional da Tijuca. Disponível em: <http://www.parquedatijuca.com.br/#historia>. Acesso em: 20 setembro 2017.
- ⁴¹ Multirão Reflorestamento. Disponível em: http://www0.rio.rj.gov.br/pcrj/destaques/especial/mutirao_reflorestamento2.htm. Acesso em: 20 setembro 2017.
- ⁴² PMEL Carbon Program. Disponível em: <https://www.pmel.noaa.gov/co2/story/Ocean+Carbon+Uptake>. Acesso em: 20 setembro 2017.
- ⁴³ Longinelli, A.; Langone, L.; Ori, C.; Giglio, F.; Selmo, E.; Sgavetti, M. Atmospheric CO₂ concentrations and δ13C values during 2011–2012 voyage: Mediterranean, Atlantic Ocean, southern Indian Ocean and New Zealand to Antarctica. *Atmospheric Environment* **2013**, 77, 919. [CrossRef]
- ⁴⁴ Mapa florestal dos Municípios do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://s.ambiente.sp.gov.br/sifesp/saopaulo.pdf>. Acesso em: 20 setembro 2017.
- ⁴⁵ Câmara Metropolitana do Rio de Janeiro 2017. Disponível em: <http://www.camarametropolitana.rj.gov.br/>. Acesso em: 20 setembro 2017.
- ⁴⁶ Prefeitura de São Paulo. Disponível em: www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/meio_ambiente/pmma/index.php?p=219941. Acesso em: 20 setembro 2017.
- ⁴⁷ Amaral, D. D. de; Vieira, I. C. G.; Almeida, S. S. de; Salomão, R. de P.; Silva, A. S. L. de; Jardim, M. A. G. Checklist da flora arbórea remanescentes florestais da região metropolitana de Belém e valor histórico dos fragmentos, Pará, Brasil. **2009**, 4, 231. [Link]
- ⁴⁸ Luz, L. M. de; Rodrigues, J. E. C. Análise do índice de cobertura vegetal em áreas urbanas: estudo de caso na cidade de Belém-PA. *Boletim Amazônico de Geografia, Belém*, **2014**, 1, 43. [CrossRef]
- ⁴⁹ Gatti, L. V.; Gloor, M.; Miller, J. B.; Doughty, C. E.; Malhi, Y.; Domingues, L. G.; Basso, L. S.; Martinewski, A.; Correia, C. D. S. C.; Borges, V. F.; Freitas, S.; Braz, R.; Anderson, L. O.; Rocha, H.; Grace, J.; Phillips, O. L.; Lloyd, P. & J. Drought sensitivity of Amazonian carbon balance revealed by atmospheric

measurements. *Nature* **2014**, 506, 76. [CrossRef]

⁵⁰ Mapa de uso atual do solo e cobertura vegetal em unidades de conservação de Brasília. Disponível em: <http://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/pdf/mapa-de-uso-atual-do-solo-cobertura-vegetal-e-unidades-de-conservacao-brasilia-e-entorno.pdf>. Acesso em: 20 setembro 2017.

⁵¹ Sawyer, D. Fluxos de carbono na Amazônia e no cerrado: um olhar socioecossistêmico. *Sociedade e Estado, Brasília* **2009**, 34, 149. [CrossRef]

⁵² Lopes, R. B.; Miola, D. T. B. Sequestro de carbono em diversas fitofisionomias do Cerrado. *SynThesis Revista Digital FAPAM, Pará de Minas* **2010**, 2, 127. [Link]