

ANÁLISE PRELIMINAR DO APORTE DE NITROGÊNIO REATIVO NO BIOMA CERRADO

PRELIMINARY ANALYSIS OF REACTIVE NITROGEN SUPPLY IN THE CERRADO BIOME

CÁSSIA MONALISA DOS SANTOS SILVA

Professora da Universidade Estadual de Goiás (UEG) e Doutoranda pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade de Brasília (UnB)
cassia.silva@ueg.br

PAULO AFONSO FISHER KUHN

Professor e Diretor da Faculdade de Meteorologia da Universidade Federal do Pará (UFPA)
pkuhn@ufpa.br

Resumo: O nitrogênio reativo atmosférico é um elemento essencial para o desenvolvimento da biodiversidade. Nos últimos 100 anos seu ciclo natural tem sido alterado com o aumento das atividades nos setores de energia e indústria alimentar. Com essa alteração diversos ecossistemas ao redor do globo sofrem com o desequilíbrio das taxas adicionadas de Nr. Neste estudo serão estimadas preliminarmente as taxas de emissões das espécies de nitrogênio reativo atmosféricos para o bioma Cerrado por diferentes setores econômicos no ano de 2012, através da técnica de downscaling dinâmico com o intuito de regionalizar espacialmente as informações das emissões de Nr, a base dos dados secundários do inventário global de emissões EDGAR foi utilizada. Nos resultados preliminares foi possível conhecer regionalmente a dinâmica de algumas fontes de emissões de Nr no bioma Cerrado, onde as maiores contribuições foram as fontes de emissões móveis e mudança de uso da terra. Contudo, a técnica se mostrou eficiente para análises regionais aplicadas a química da atmosfera em ambientes de sistemas naturais.

Palavras Chaves: Nitrogênio reativo. Atividades antrópicas. EDGAR. Fontes de emissões.

Abstract: Atmospheric reactive nitrogen is an essential element for the development of biodiversity. Over the last 100 years, its natural cycle has undergone changes with the increase in activities in the energy and food industry sectors. With this change, several ecosystems around the globe suffer from the imbalance of added Nr rates. In this study, the emission rates of atmospheric reactive nitrogen species for the Cerrado biome by different economic sectors in the year 2012 will be preliminarily estimated by dynamic downscaling technique in order to spatially regionalize the information on Nr emissions, the secondary database from the EDGAR global emissions inventory was used. In the preliminary results, it was possible to know regionally the dynamics of some sources of Nr emissions in the Cerrado biome, where the greatest contributions were the sources of mobile emissions and land use change. However, the technique proved to be efficient for regional analyzes applied to atmospheric chemistry in natural system environments.

Keywords: Reactive nitrogen. Anthropogenic activities. EDGAR. Emission Sources.

Introdução

A disponibilidade de nitrogênio é essencial para o funcionamento dos ecossistemas aquáticos e terrestres, e, é frequentemente um elemento limitante para a produção dos

alimentos consumidos pela humanidade (VITOUSEK *et al.*, 1997). O nitrogênio produzido pelas atividades antrópicas denominado de Nitrogênio reativo (Nr) vem sendo assunto discutido nos diversos grupos de pesquisa da química da atmosfera, como também na comunidade científica que vem tentando reduzir as lacunas informacionais a respeito do ciclo natural e antrópico do nitrogênio. Afinal, seria o Nitrogênio reativo (Nr), o dióxido de carbono (CO₂) da vez? E como o excesso ou a escassez de nitrogênio pode afetar os processos de funcionamento dos ecossistemas e a biodiversidade que esteja relacionada?

Enquanto o gás di-nitrogênio (N₂) é abundante na atmosfera, a maioria dos organismos é incapaz de usar essa substância quimicamente na forma não reativa. Primeiramente, ele deve ser convertido em uma forma como a amônia (NH₃) ou óxido de nitrogênio (NO_x). Essas formas Nr são comparativamente escassas e representam um recurso limitante na maioria dos ecossistemas naturais e nas terras agricultáveis. Ressaltando que a composição de grande parte da biodiversidade terrestre do mundo é resultado das limitações na disponibilidade de Nr. Todavia as principais alterações do ciclo do N causado pelo homem ocorrem através da:

- (1) Produção de fertilizante nitrogenado (Haber bosch);
- (2) Cultivo de leguminosas; e,
- (3) Produção de energia (combustíveis fósseis).

De acordo com a Erisman *et al.* (2015) na transição do século XVIII para XIX, as fontes fixas naturais do nitrogênio não eram suficientes para as necessidades de produção de alimentos do crescente aumento populacional da Europa Ocidental. O desenvolvimento de um processo para a produção de fertilizantes sintéticos de N sucitou no aumento da produtividade agrícola. No entanto, devido a baixa eficiência no uso em geral dos fertilizantes nitrogenados na agricultura, grande parte do nitrogênio industrial fixado é liberado na biosfera. A queima de combustíveis fósseis também libera grandes quantidades das emissões reativas dos óxidos nitrogenados para a atmosfera. O Resultado desses lançamentos e o fato de convertermos mais nitrogênio da atmosfera em formas reativas do que todo o material natural processado pelo sistema terrestre ocasionou em tempos atuais na drástica alteração global do ciclo global de nitrogênio, podendo ainda ser mais evidente que a alteração do ciclo global de Carbono (ERISMAN *et al.*, 2015).

A deposição de Nr aumentou nas últimas três décadas e foi identificada como um fator

importante relacionado à mudança ambiental global, principalmente devido aos impactos na biodiversidade e na saúde humana (GALLOWAY *et al.*, 2004). O aumento geral do nitrogênio reativo derivado de atividades antropogênicas superou de longe as taxas de fixação biológica de nitrogênio em todos os sistemas terrestres naturais e a taxa de aumento da introdução de nitrogênio reativo acelerou acentuadamente desde 1960 (GALLOWAY *et al.*, 2004).

Algumas atividades relacionadas ao nitrogênio reativo e sua influência nos ecossistemas aquáticos e terrestres foram discutidas em vários estudos a nível global nas últimas quatro décadas, tais como, a pesquisa realizada por Smil (1994) que trata de informações sobre as alterações do ciclo de nitrogênio de 1890 a 1990, a pesquisa realizada por Cowling e Galloway (2002) e Galloway *et al.* (2004) mostrando que as atividades humanas relacionadas à produção de alimentos e energia mais do que duplicaram a produção de vestígios de gases, em particular as taxas de nitrogênio reativo Nr nos anos de 1990.

Um estudo mais específico realizado por Smil (2004) mostra que para cada sistema o nitrogênio introduzido na superfície apresentava três destinos diferentes. No primeiro destino, o Nr pode ser armazenado dentro do próprio sistema, no segundo destino o Nr pode ser transferido para outro sistema e o terceiro e último é a desnitrificação do N₂ retornando à atmosfera. Nesse contexto, Smil (2004) analisa que o agroecossistema geral fornece uma estimativa de ~ 169 Tg N ano⁻¹ variando de ~ 151 Tg N ano⁻¹ para ~ 186 Tg N ano⁻¹, adicionado de diferentes fontes e desse ~ 14 Tg N ano⁻¹ variando de ~ 11 Tg N ano⁻¹ para ~ 18 Tg N ano⁻¹ é desnitrificado para N₂, representando aproximadamente 8% dentro do agroecossistema. A outra parte é reciclada de volta ao agroecossistema ou transferida para outros sistemas, ou é descarregada em sistemas aquáticos, ou emitida para a atmosfera. Outro estudo de caso em unidades paisagísticas de bacias hidrográficas de Van Breemen *et al.* (2002) estima a entrada média de N pela deposição atmosférica, importação de alimentos, uso de fertilizantes e fixação de N₂ em torno 3420 kg N km⁻² ano⁻¹, onde 48% foram denitrificados. No entanto, por uma metodologia de análise diferente, Seitzinger *et al.* (2002) estimou que a desnitrificação em rios pode ser maior do que o estimado por Van Breemen *et al.*, (2002), enfatizando incertezas sobre a conversão do nitrogênio reativo em N₂. Rabalais (2002), Wolfe e Patz (2002), Van Breemen *et al.* (2002) e Matson *et al.* (2002) mostram que

em 1965 as taxas de Nr antropogênico excederam a formação global natural de Nr. Esse excesso causado pela acumulação em vários ambientes gerou impactos positivos e negativos na saúde humana e nos ecossistemas terrestres. No entanto, não foi possível obter informações sobre as taxas de acumulação, o que provavelmente levou as incertezas na determinação da distribuição espacial e temporal dos efeitos no ambiente. Todos esses processos de transferência e efeitos no meio ambiente foram denominados por Galloway (1998) de efeito cascata de nitrogênio.

Continentes como a América do Sul apresentam um cenário científico escasso sobre a quantificação de Nr. A maioria das áreas da América do Sul não possuem informações observacionais, em geral apenas grandes cidades como São Paulo, Rio de Janeiro, Buenos Aires, entre outras, apresentam relatórios anuais de qualidade do ar com informações sobre diversas espécies de gases relacionadas ao tipo de fonte de emissão, como o relatório de monitoramento da qualidade do ar da cidade de São Paulo (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO-CETESB, 2010).

No Brasil as informações *in situ* sobre as emissões, concentrações e deposições das espécies de nitrogênio são ainda mais escassas, devido à grande extensão territorial do país e à falta de redes de estudo e monitoramento. Países em desenvolvimento como o Brasil, não produzem taxas de Nr nas mesmas proporções que os países da zona temperada. No entanto, de acordo com estudos de Cowling e Galloway (2002), mudanças no ciclo do nitrogênio em zonas tropicais e subtropicais têm sido modificadas devido à expansão das atividades humanas desenvolvidas nesses países. Além disso, as áreas tropicais e subtropicais recebem influência de zonas temperadas, resultando em um problema de escala regional e global. Em uma pesquisa desenvolvida por Filoso *et al.* (2006), utilizando o modelo de transporte químico TM3 nos anos 90, foram observadas informações sobre as taxas de deposição para duas espécies de nitrogênio reativo NO_x e NH₃ no Brasil. Neste artigo, Filoso *et al.* (2006) relaciona as atividades antropogênicas com as mudanças nas taxas de deposição encontradas para os anos 90, evidenciando mudanças relativas nas taxas de deposição.

A escassez de informações sobre o ciclo do nitrogênio na América do sul é um problema que provoca impedimento no *know-how* de avaliação e projeção das interferências das atividades humanas no funcionamento (reservatório e rotatividade) do ciclo em escala

regional e global. A fim de minimizar essa problemática, foi aplicada uma técnica de downscaling na área que se pretendia analisar, essa técnica poderá contribuir como suporte para a modelagem de informação em diversos ecossistemas, pois a mesma representa melhor o estado médio da atmosfera, podendo fornecer informações estimadas sobre a química da atmosfera em lugares extremamente dinâmicos e/ou remotos.

Setores de emissão e metodologias de abordagem para a produção de inventários

O crescimento dos padrões de consumo, do desenvolvimento industrial e urbano, bem como das queimadas e desmatamento em áreas complexas e remotas, tem como efeito, o aumento significativo das emissões globais. Com isso, ocorre conseqüentemente uma maior concentração de gases atmosféricos reativos e de efeito estufa com médio e alto tempo de vida, bem como, o aumento da deposição desses gases por meio do processo de deposição úmida ou seca no solo, na vegetação e nos recursos hídricos, ocasionando em desequilíbrios no funcionamento desses ecossistemas.

Dessa forma surgiu a necessidade da implementação de ações mitigadoras proveniente da gestão pública que idealize uma tomada de decisão através das leis, normativas e programas que reduzam o cenário pessimista de um possível colapso ambiental com relação as taxas de emissões globais, crescimento econômico, qualidade ambiental e conseqüentemente das mudanças climáticas.

Conforme Seinfeld e Pandis (2016) a estimativa das emissões da espécie de uma fonte é determinada com base no fator de emissão, que por sua vez são baseadas em medições de emissões específicas as fontes. Placet *et al.* (1990) afirma que os fatores de emissão em uso no contexto atual são desenvolvidos a partir de uma amostra limitada da população da fonte de emissão para uma determinada categoria, sendo os valores conhecido considerados como média de uma amostragem limitada, e sem representatividade estatística para a população de dados.

Os inventários de emissões de poluentes atmosféricos são ferramentas estratégicas de gerenciamento ambiental com o objetivo de estimar as emissões de uma espécie química específica em uma determinada região ou área geográfica para um período de tempo, podendo

ser calculado como demonstrado na figura 1. Segundo CNT (2013), os inventários de emissões são produto do conjunto das seguintes variáveis: Atividades: dados econômicos, dados de censo; Fator de emissão: medidas, extrapolações, estimação por tecnologia; Penetração: disseminação da tecnologia na região/país.

Os inventários de emissões podem contribuir com várias informações (CNT, 2013), por exemplo: Identificar a emissão dos poluentes em uma área de interesse; Estimar, com a ajuda da modelagem, os efeitos das emissões atmosféricas na qualidade do ar; Identificar possíveis medidas de mitigação; identificar e classificar as diferentes fontes de contribuintes e o total de emissões.

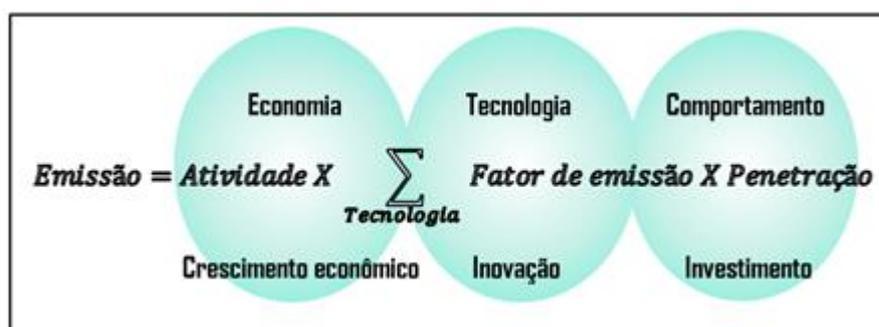


Figura 1: Conjunto de variáveis para compor o cálculo de estimativa de emissão nos inventários. Fonte: Adaptado de EDGAR (2012).

Para compreender as metodologias de abordagem para a estimativa das emissões é de fundamental importância entender os tipos de fontes de emissões existente, sendo elas, classificadas em:

- Fontes Pontuais: são individualmente identificadas, por exemplo, chaminés correspondem a fontes estacionárias onde as emissões são canalizadas e em grande quantidade. São tratados como um objeto geométrico isolado, possuindo parâmetros termodinâmicos (altura, diâmetro, velocidade de saída, temperatura) para tratar a emissão da pluma;

- Fontes área: são usadas para representar a agregação de todas as fontes que não são as fontes de área e linhas. As fontes domésticas estão incluídas, diferentes emissões de tráfego urbano, áreas industriais sem inventários precisos, florestas, áreas agrícolas, etc., são representadas por polígonos.

- Fontes de linha: são rotas de comunicação (estradas, ferrovias, rotas marítimas, vias aéreas) e são usadas também na representação dos efeitos das fontes móveis.

- Fontes biogênicas: são emissões de compostos orgânicos voláteis (VOCs) e óxidos de nitrogênio (NO_x) de fontes biogênicas, como florestas, lavouras e solos agrícolas, raios e infiltrações de gás natural e petróleo.

No Brasil a fonte com maior participação é a de uso da terra, contribuindo com 60% das emissões dos gases de efeito estufa de acordo com o SEEG (2021), nesse contexto, veja na figura 2 a distribuição das contribuições das atividades antrópicas em relação as emissões de gases de efeito estufa no Brasil, e conseqüentemente as áreas econômicas mais relevantes a nível nacional.

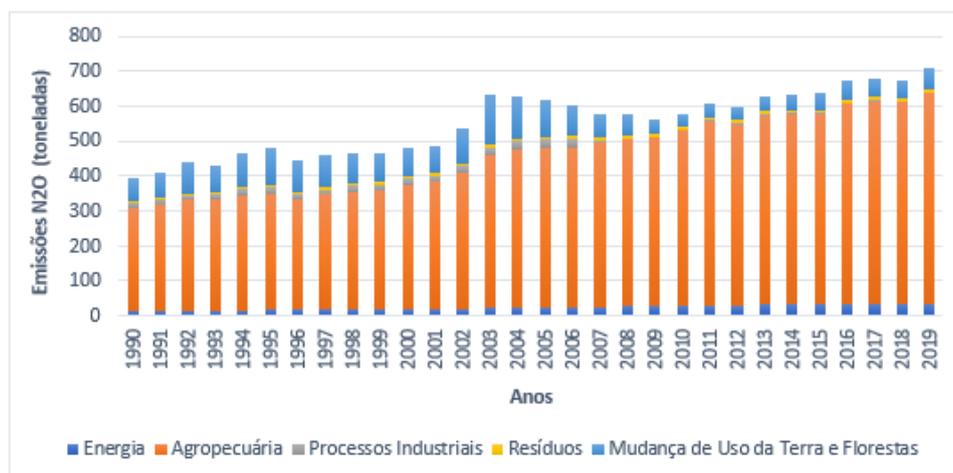


Figura 2: Estimativa da contribuição dos setores econômicos que emitem gases de efeito estufa no Brasil durante 30 anos. Fonte: SEEG (2021).

Na carência de informações sobre as emissões por região, ou até mesmo sobre estados algumas metodologias de abordagem para aproximação e preenchimento dessas lacunas vêm sendo elaborada, com o intuito de fornecer um prognóstico dos cenários de emissões e as principais fontes contribuidoras a nível regional e/ou local.

As principais metodologias de abordagem usadas na criação do inventário de emissões são a Top-Down e Bottom-Up. A metodologia Top-Down é precisa e leva em consideração as emissões estimadas com base em informações regionais e nacionais. A metodologia top-Down geralmente é usada para estimar a emissão de fontes de áreas, caso não haja dados disponíveis. Esses inventários apresentam baixa resolução espacial das informações,

consequências encontradas principalmente em áreas com pouca cobertura espacial e temporal, como exemplo de inventários que utilizam a metodologia top-down, destaca-se a reanálise do Inventário de Composição Química Troposférica (RETRO) derivado do TNO, bem como os inventários VERITAS que de acordo com a NASA (2015), mostram as seguintes características: Cobertura temporal entre 1960 – 2000, resolução temporal: mensal, Alocação espacial das emissões em 0.5° X 0.5° e Intervalo de resolução temporal: mensal - < Anual.

Andreão *et al.* (2020) utilizou a metodologia top-down do inventário de emissão veicular brasileiro (VEIN) do ano de 2012 na modelagem da qualidade do ar para transportes de gases troposféricos em áreas urbanas do Brasil, Grande Vitória, São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte em uma grade de 1 km² de resolução espacial, onde levou em consideração apenas dois setores, a frota veicular e a população. Nesse mesmo estudo Andreão *et al.* (2020) realiza uma comparação entre o inventário VEI e o inventário EDGAR, como a proposta de buscar uma melhor representatividade entre os dados simulados e observados, mostrando que ambos tiveram consistência em seus resultados quando comparado aos dados observacionais.

Já a metodologia *Bottom-up* mencionada por Berkowicz *et al.* (2006) é usado para estimar as emissões dos tipos de fontes pontuais e de fontes áreas, essa metodologia possui melhor precisão e representatividade das fontes, pois requer detalhes das informações locais e econômicas, além de outras informações de cunho sociais. Na América do Sul de acordo Alonso (2010), existem poucas cidades com inventários disponíveis com a presente metodologia, como especificado na tabela 1.

Tabela 1: Inventários locais usado no banco de dados regionais da América do Sul.

Inventário	Ano	Referência	Metodologia
São Paulo, São José dos campos, Campinas e Sorocaba	2005	CETESB 2005	<i>Bottom-up</i>
Porto Alegre	2004	Teixeira <i>et al.</i> (2008)	<i>Bottom-up</i>
Rio de Janeiro e Buenos Aires	2004/2008	FEEMA (2004)/D'Angiola <i>et al.</i> (2009)	<i>Bottom-up</i>
Santiago	2005	DICTUC (2007)	<i>Bottom-up</i>
Bogotá	2006	Behrentz <i>et al.</i> (2009)	<i>Bottom-up</i>

Fonte: Adaptado de Alonso *et al.* (2010).

Um dos inventários globais que utiliza a metodologia *Bottom-up* no banco de dados de emissões é o inventário global de pesquisa atmosférica EDGAR. Pois possui cobertura de informações relevantes para o globo, especialmente para a América do Sul.

Inventário Global de emissões (EDGAR Versão 4.3.2)

O EDGAR é um banco de dados global, multiuso e independente, de emissões antrópicas de gases de efeito estufa e poluição do ar desenvolvido pela Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO) e pela National Institute for Public Health and the Environment (RIVM). Os dados de emissões são fornecidos pela Agência Internacional de Energia (IEA). O EDGARv.4.3.2 compila as emissões gasosas e de poluentes atmosféricos particulados, utilizando os mesmos setores antropogênicos, período (1970-2012) e dados de atividades internacionais usados para estimar as emissões de GEE, conforme descrito em um documento complementar de Janssens-Maenhout *et al.* (2017).

O EDGARv.4.3.2 concatena todas as atividades antrópicas, exceto queima de biomassa em larga escala. Mudança do uso da terra e silvicultura, estão incluídas no cálculo das emissões. O método de compilação *bottom – up* de emissões específicas para cada setor é aplicada de forma consistente em todos os países do mundo, proporcionando transparência na metodologia e uma melhor comparabilidade entre os países (CRIPPA *et al.* 2018).

As informações são agrupadas e consistem em: código do país, ano, código do IPCC da nomenclatura selecionada para poluição do ar, espécies de poluentes, coordenadas, altura, unidade, valores de emissões e estrutura da grade. As emissões são calculadas por substâncias, tais como, gases de efeito estufa direto, gases precursores do ozônio, acidificação de gases, particulados primários e substâncias que destroem o ozônio estratosférico. As fontes de emissões usam uma nomenclatura (código do IPCC) relacionada a cada tipo de emissão, que são: 01 – combustão nas indústrias de energia e transformação, 02 – instalação de combustão não industriais, 03 – combustão na indústria de transformação, 04 – processos de produção, 05 – extração e distribuição de combustíveis fósseis e energia geotérmica, 06 – uso de solvente e outros produtos, 07 – transporte rodoviário, 08 – outras fontes e máquinas móveis, 09 – tratamento e distribuição de resíduo e 10 – mudança do uso da terra (atividades

agrícolas). abaixo são apresentadas algumas características sobre os dados do inventário EDGAR:

- O cálculo da emissão usa como abordagem a tecnologia do fator de emissão (comparado com uma abordagem do fator de emissão médio);
- Alocação espacial das emissões são de 0.1° X 0.1° por ponto de grade;
- Disponibilidade anual de emissões, dados do período de 1970 – 2019.
- Unidade em kg/m²/s ano⁻¹ por ponto de grade.

Para calcular as emissões, o inventário EDGAR usa uma abordagem de fator de emissão (eq.1) altamente consistente em todos os países do mundo, seguindo a mesma abordagem metodológica do IPCC (2013) e (CRIPPA *et al.* 2018).

$$EM_i(C, t, x) = \sum_{i,j} [AD_i(C, t) \cdot TECH_{i,j}(C, t) \cdot EOP_{i,j,k}(C, t) \cdot EF_{ij}(C, t, x) \cdot (1 - RED_{i,j,k}(C, t, x)) \cdot f_x] \quad (\text{Eq.1})$$

Onde as emissões (EM) de um setor específico (i), em um país (C), acumuladas durante o ano (t), para cada composto química (x), são calculadas com os dados do país (AD) quantificando a atividade humana para cada setor i de acordo com a tecnologia (j) para cada setor (i) e com o seu percentual de redução (k) e *End-of-pipe* (EOP) para cada tecnologia, e por outro lado, o país fator de emissão específico (EF) para cada setor (i) e tecnologia (j) com redução relativa (RED) da emissão não controlada pela medida de redução (k).

As taxas de emissões totais são do tipo vetoriais, ou seja, determinadas por um tipo de fonte de emissão (y), para um país (C), em ano específico (t), distribuídas em tempo e espaço de acordo com dados espaciais (f) e compartilhamentos mensais e setoriais, em função das coordenadas geográficas, conforme a seguinte (Eq.2) abaixo.

$$em_i(lat, lon, y) = EM_i(C, t, y) \frac{m_{i,j}(C)}{\sum_{k=1, \dots, 12} m_{i,j}(C)} \frac{f_{i,j}(lat, lon, t)}{\sum_{lat, lon} f_{i,j}(lat, lon, t)H(C, lat, lon)} \quad (\text{Eq.2})$$

O inventário EDGAR é uma das ferramentas de bases de dados mais eficientes para input de modelos de transporte químico, e também apresenta uma boa resolução a nível de cobertura global, tornando-o o mais indicado para diversas pesquisas e estudos a nível

regional. Tubiello (2015), refinou a base de dados do EDGARv4.3.2 para investigar a contribuição das emissões provenientes das fontes de agricultura, florestas e outras atividades de mudança do uso da terra entre o período de 1990 a 2012, constatando que dentro do período estudado ocorreu uma redução da contribuição deste setor, com uma média decadal de $28.7 \pm 1.5\%$ na década de 1990 e $23.6 \pm 2.1\%$ na década de 2000 e um valor anual de $21.2 \pm 1.5\%$ em 2010.

Para estudos regionais como o proposto nesta pesquisa, Crippa *et al.* 2017 realizou estimativa de incerteza para emissões de gases e partículas para todas as regiões do mundo com base nas estimativas de incerteza dos dados de atividades e dos fatores de emissão para cada setor de emissão, poluente e país, conforme a (Eq.3), onde se aplica o desvio padrão σ da atividade, tecnologia, end of pipe, fatores de emissão e fatores de redução para cada poluente x e país C

$$\sigma(C,t,x) = \left(\sum_i (\sigma_{AD_i(C,t)}^2 + \sigma_{TECH_i(C,t)}^2 + \sigma_{EOP_i(C,t)}^2 + \sigma_{EF_i(C,x,t)}^2 + \sigma_{RED_i(C,x,t)}^2) \left(\frac{EM_i(C,x,t)}{EM_{tot}(C,x,t)} \right)^2 \right)^{1/2} \quad (\text{Eq.3})$$

Metodologia

O bioma Savana Tropical Estacional (peino-pirobioma) refere-se ao Cerrado Brasileiro, um dos 34 “hotspots” mundiais de biodiversidade que compreende em sua área original cerca de 22% do território nacional ocupando uma área de 2.036.448 km², correspondendo a 204 milhões de hectares, abrangendo Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná, São Paulo e Distrito Federal, além dos estados do Amapá, Roraima e Amazonas, como observado na figura 3 (COUTINHO, 2016).

Tendo seu centro de distribuição predominantemente no Planalto Central, a região central dos Cerrados reveste superfícies aplainadas e superfícies sedimentares com altitudes que variam de 300 m a 1700 m (COUTINHO, 2016). De acordo com Pinheiro; Monteiro (2010) a formação do Cerrado brasileiro ocorre devido a interação de três fatores, que são: o clima, o fogo e o solo. A origem fitofisionômica é resultante da pressão exercida pela diminuição da disponibilidade hídrica, bem como da seleção de espécies adaptadas as novas

condições impostas pelo ecossistema.

A vegetação de Cerrado é de origem savânica e apresenta características biodiversas endêmicas em sua fitofisionomia, com variação que compreende de campo limpo a cerradão, além disso, intermediariamente são observadas fitofisionomias como campo sujo, campo cerrado e 70 % do bioma é cerrado sensu stricto. Porém, com o avanço da fronteira agrícola a configuração natural desse bioma tem mudado nas últimas três décadas. De acordo com o INPE (2013), 54% do Cerrado (equivalente a 204 Milhões de hectares - Mha) era coberto por vegetação nativa (111 Mha) e 46% estava ocupado por usos antrópicos (93 Mha), observe essa distribuição na figura 3.

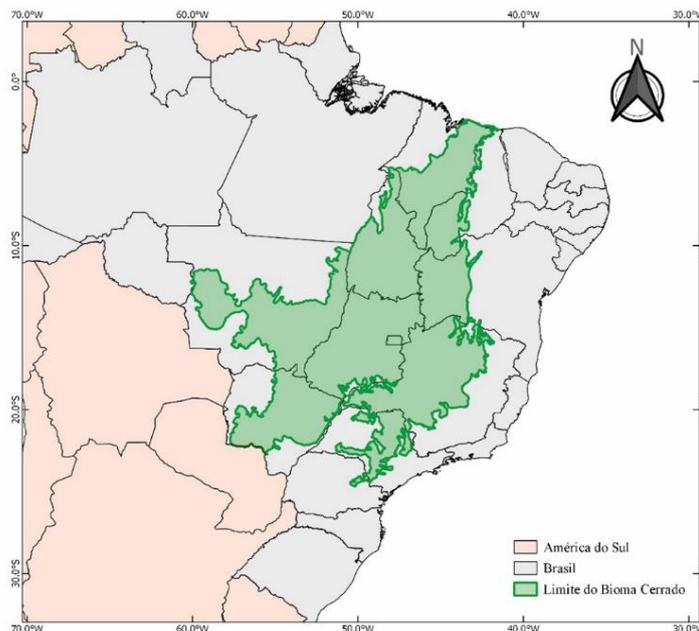


Figura 3: Domínio do bioma Cerrado. Fonte: Elaborado pelos autores.

Dentre as atividades antrópicas de maior destaque está a pastagem com uma extensão de aproximadamente 60 milhões de hectares, observe na figura 4, ou seja, ocupando 30% do bioma, enquanto a agricultura perene e anual ocupa juntas 24 milhões de hectares, em torno de 12% da extensão do bioma. Sendo que a agricultura anual, com 17,4 milhões de hectares (9%), predomina sobre a agricultura perene, que ocupa 6,4 milhões de hectares (3%) (TERRACLASS CERRADO, 2013).

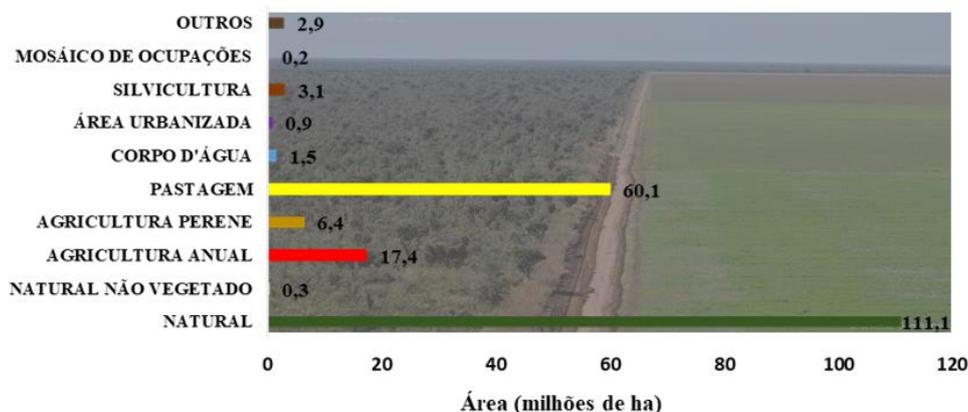


Figura 4: Mudança do uso da Terra no bioma Cerrado. Fonte: INPE e Terraclass (2013).

Os solos do bioma Cerrado datam do período terciário, com características profundas, de cor vermelha ou vermelha amarelada, porosos, bem drenados e consequentemente lixiviados, com textura predominantemente arenosa, areno-argilosa, argilo-arenosa ou argilosa. São oligotróficos ou distróficos, ou seja, são bastante ácidos com pH de 4,5 a 5,5, com baixa disponibilidade de nutrientes para os micro-organismos e consequentemente com gradiente variando entre baixa e média fertilidade, ricos em íons de alumínio, e pobres em base como K, Ca, Mg, e em N e P, elementos essenciais que condicionam o desenvolvimento das plantas e da excelente produção agrícola (COUTINHO, 2016; FONTES, 2018).

A climatologia na região do bioma Cerrado é influenciada pela dinâmica dos sistemas atmosféricos atuantes na América do Sul, tais como: Zona de convergência Intertropical-(ZCIT), Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis-(VCAN) e Linhas de Instabilidades-(LI) atuando nas costas Norte – Nordeste; Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Jatos de Altos Níveis-(JAN), Jatos de Baixos Níveis-(JBN), Ciclones e Ciclogênese (CAVALCANTI *et al.* 2009).

De acordo com a classificação de Koeppen, há três tipos de clima predominante na região do bioma Cerrado, que são do tipo (Aw) – com temperaturas médias anuais de 20-22 °C a 24-26 °C dependendo da região, apresentando invernos secos e verões chuvosos; (Cwa) – temperatura moderada e verões quentes e chuvosos; e (Am) temperaturas elevadas com altos índices pluviométricos. A média anual da umidade relativa do ar (UR) variando de 60% a 80%. O regime de precipitação na região é de caráter sazonal, com médias anuais entre 1000

mm e 1800 mm, permitindo distinguir o período úmido que concentra 80% das chuvas nos meses de outubro a abril, enquanto o período seco, ocorre em junho, julho e agosto, com características de baixa pluviosidade e UR em torno de 30% (COUNTINHO, 2016).

Downscaling espacial dinâmico: Adaptação das emissões do inventário EDGAR

Embora os modelos de circulação global sejam ferramentas valiosamente preditivas, são por outro lado, ferramentas limitadas para explicar a heterogeneidade da variabilidade e mudança climática em grande escala. Por exemplo, inúmeras características da paisagem, tais como, montanhas, corpos hídricos, infraestrutura, componentes do sistema climático, características da cobertura e uso da terra, entre outros, necessitam de resolução mais refinada do que 100 a 500 km. Portanto, vários métodos foram desenvolvidos, a fim de preencher lacunas informacionais entre os modelos de circulação global e o que a sociedade e empresas necessitam para as tomadas de decisões. Para a implementação das condições químicas iniciais foi necessário aplicar o método de refinamento de resolução neste trabalho, também conhecido como Downscaling.

A técnica de Downscaling pode ser realizada em aspectos espaciais e temporais, tendo como proposta responder as necessidades dos tomadores de decisão de planejar as mudanças climáticas em uma variedade de relatórios, ferramentas e conjuntos de dados que fornecem impactos climáticos projetados em resoluções espaciais e temporais mais refinadas do que aquelas em que as projeções são fornecidas, ressaltando que é de extrema importância compreender as variedades de suposições por trás das técnicas utilizadas para derivar essas informações e limitações que são impostas aos resultados.

De acordo com Trzaska (2014) qualquer informação com escalas espaciais menores que 100 x 100 km e escalas temporais menores que os valores mensais são casos que passaram por refinamento de resolução. Contudo, embora sejam produzidas informações climáticas em resoluções mais reduzidas que as projeções iniciais, esse processo envolve informações, dados e suposições adicionais, levando a outras incertezas e conseqüentemente limitações dos resultados, uma conseqüência que muitas vezes não são apresentadas pelos usuários. Daniels *et al.* (2012) afirma que a derivação das projeções em escala local é um

processo de várias etapas, e, em cada etapa, são realizadas suposições e aproximações. As incertezas são inerentes às projeções das mudanças no clima e em seus impactos. Ainda de acordo com Daniels *et al.* (2012) existem duas maneiras principais de combinar as informações sobre as condições locais com projeções climáticas em larga escala, são o downscaling do tipo dinâmico, e downscaling do tipo estatístico.

O downscaling estatístico é estabelecido pela relação estatística entre características climáticas de grande escala e as características climáticas locais, sendo de fácil implementação e interpretação. Exige baixo custo computacional, contudo dependem fortemente das observações históricas do clima e da suposição de que as observações serão carregadas no futuro. No entanto, registro históricos em alta qualidade não estão disponíveis em países subdesenvolvidos, afirmam Trzaska e Schnarr (2014).

Já o downscaling dinâmico que será utilizado nesta pesquisa refere-se ao uso de um modelo regional com base em um modelo de circulação global para simular os processos atmosféricos regionais. Essa técnica inclui explicitamente dados adicionais e processos físicos em modelos semelhantes aos modelos globais, porém com uma resolução consideravelmente maior, abrangendo apenas algumas partes do globo. O downscaling dinâmico tem inúmeras vantagens, no entanto, é computacionalmente caro e requer grandes volumes de dados, além de alto nível de conhecimento computacional para implementar e interpretar os resultados. (TRZASKA; SCHNARR, 2014).

O método de downscaling dinâmico pode ser aplicado em diversos estudos de impactos que envolvem várias áreas geográficas, desde que a sua resolução espacial seja inferior a 80 km. Essa metodologia é aplicada no planejamento e tomada de decisões por agências governamentais em vários setores, além disso, tem significativo apoio e recursos governamentais em avaliações regionais de várias partes do mundo, como por exemplo, na União Europeia.

Para a realização do downscaling, várias etapas foram necessárias, (figura 5). A primeira etapa consiste na desagregação da informação do inventário global. Nesta etapa os valores são extraídos dos arquivos de formato netcdf e convertidos em arquivos de texto. Os novos arquivos foram convertidos em dados matriciais e vetoriais com pontos de grade de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ equivalendo a 11,1 km de resolução espacial. Vale ressaltar que as informações geográficas e unidades foram convertidas para um novo formato com o sistema de referência de coordenadas WGS84.

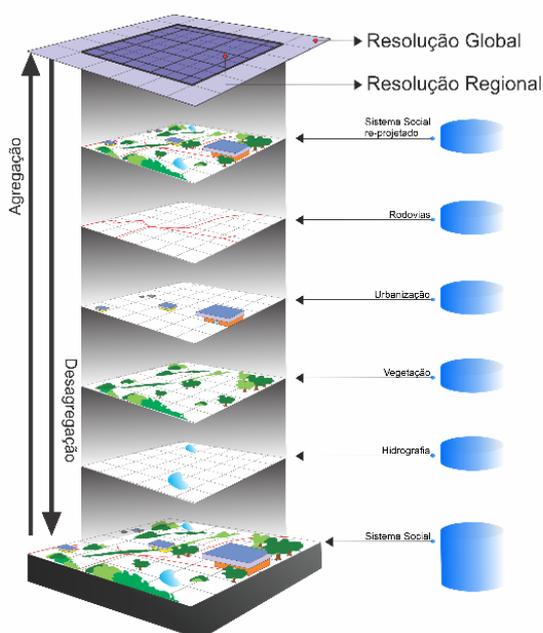


Figura 5: Esquema de representação do downscaling dinâmico aplicado nos dados globais do inventário EDGAR. Fonte: Elaborado pelos autores.

Após o processo de desagregação, alguns arquivos templates para os dados de emissão foram gerados com extensões idênticas, estes arquivos contêm informações espaciais, como por exemplo, o tamanho da grade e o sistema de coordenada. Os templates são re-projetados para o sistema de coordenadas WGS84. Posteriormente, a área de cada ponto de grade é calculada em m^2 e posteriormente armazenada nos atributos e os arquivos vetoriais são convertidos em arquivos do tipo raster.

Após todo esse processo inicial as unidades precisaram ser convertidas para toneladas por ano. Neste sentido, uma simples conversão é realizada, onde primeiramente os arquivos

matriciais de emissão em $\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$ é multiplicado com a área em m^2 e convertido para tonelada por ano (ton. ano^{-1}) adicionando um fator de 1000 para preservar as casas decimais enquanto se converte os arquivos raster em arquivos vetoriais. Dessa tem-se novas emissões em novos polígonos em toneladas por ano, por setor, espécie para cada ponto de grade de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$, e o resultado é a criação de uma nova grade presente na figura 6 (a) e 6 (b).

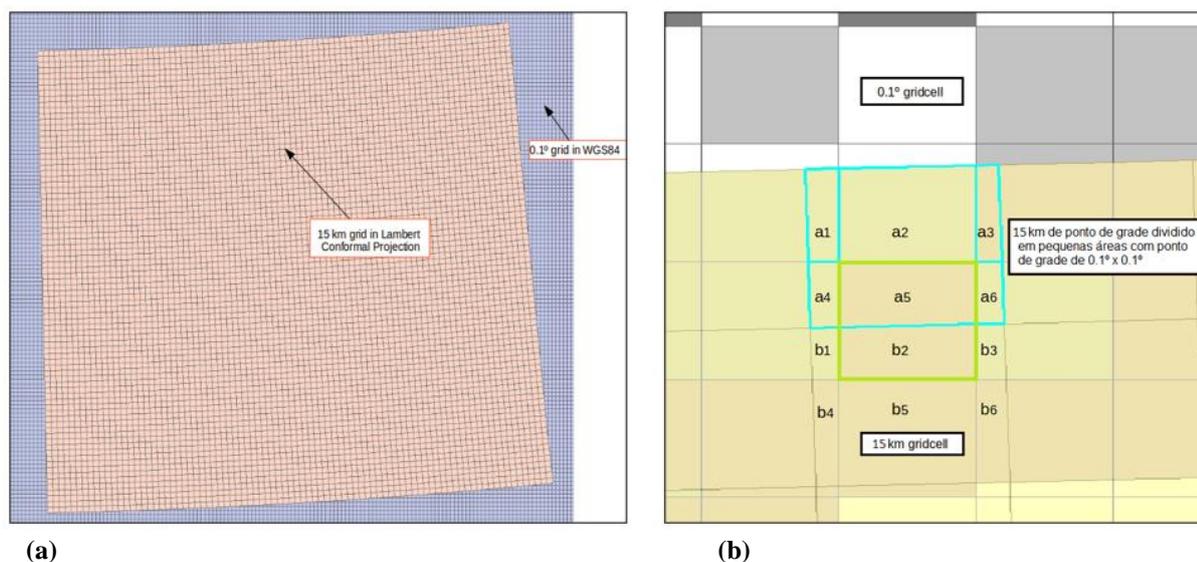


Figura 6(a): Ensaio do processo de desagregação dos dados globais de emissão do inventário EDGAR e 6(b) Ensaio das agregações dos polígonos ABR e CER. Fonte: Elaborado pelos autores.

A figura 6 (a) mostra a união dos polígonos com a preservação de todos os atributos e valores das grades. Portanto, o cálculo de área para cada polígono é gerado durante a sobreposição ($a^1 - a^6$, $b^1 - b^6$) das grades para o shapefile, multiplicando as emissões com a área em m^2 somadas para cada ponto de grade para uma resolução de 15 km.

Os valores das emissões dos pontos de grade de 0.1° são multiplicados pelas áreas dos polígonos que compartilham a alocação espacial, por exemplo, as emissões são multiplicadas pelas áreas (a^5 e b^2) verde da figura 6(b), e depois os polígonos são somados ($a^1+a^2+a^3+a^4+a^5+a^6$) sendo recriada uma nova base de informação regional para melhor visualização da área de estudo.

Resultados e discussões

Neste estudo preliminar foram realizados o refinamento das emissões para a região do

Cerrado considerando os setores de emissão que influenciam na dinâmica das concentrações e consequentemente das deposições das espécies de Nr.

Para o primeiro grupo de emissões por combustão nas indústrias de energia e transformação, os focos de emissões se apresentam significativamente na região centro-sudeste do bioma Cerrado (figura 7), consideradas áreas com dinâmica industrial de energia e transformação potencializada, tendo destaque para a indústria alimentícia, têxtil e veículos automotores (CNI, 2019).

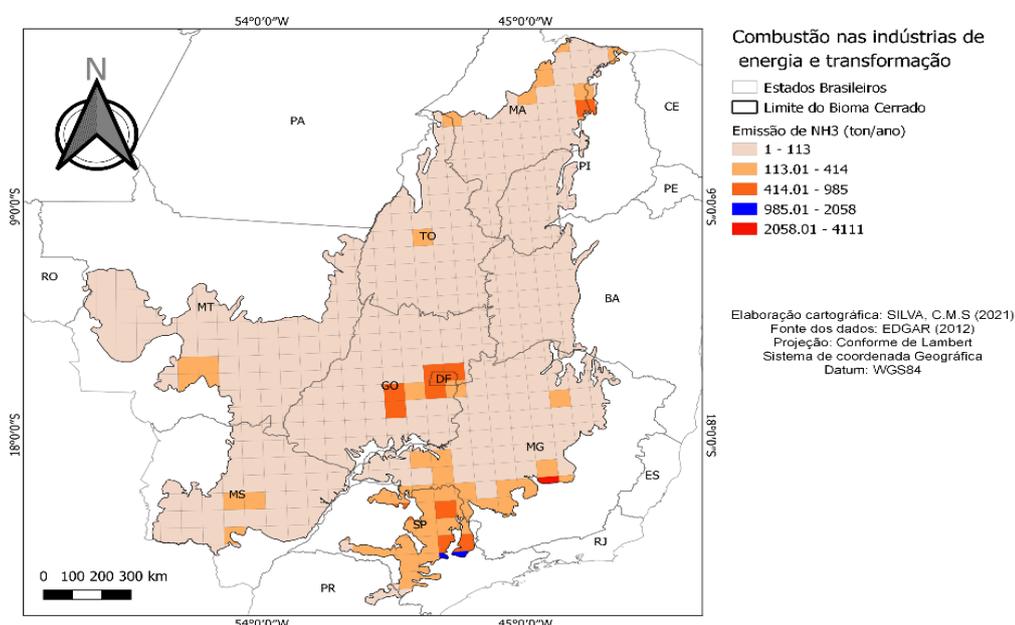


Figura 7: Emissão de NH₃ por Indústrias de energia e transformação. Fonte: Elaborados pelos autores.

Regionalmente e por diferentes tipos de fontes de emissão são raros os estudos que contribuem para o entendimento da disseminação dessas espécies nitrogenadas reativas em ecossistemas. Nesse estudo para o bioma Cerrado, as atividades de indústria de energia e transformação contribuem com uma estimativa de 4.11×10^{-3} Tg de NH₃ ano⁻¹. Já as emissões de NO_x apresentaram valores relativamente inferiores, 3.44×10^{-3} Tg de NO_x ano⁻¹ (figura 8).

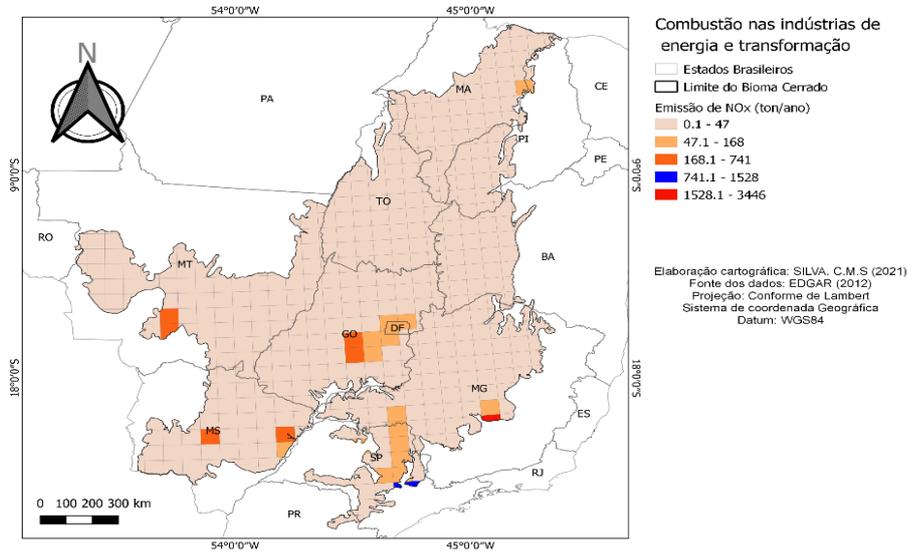


Figura 8: Emissão de NO_x das Indústrias de energia e transformação. Fonte: Elaborados pelos autores.

Similarmente é encontrada no setor de emissão de instalação de combustão não industrial (figura 9), com comportamento bem distribuídos sobre o bioma. É observado emissão da ordem de 6.61×10^{-6} Tg de NH₃ ano⁻¹ com estimativa de alta emissão nas áreas central e sudeste do bioma, indicando que há atividades antrópicas de cunho industrial e não industrial na região, que contribuem com uma carga significativa de amônia para a atmosfera.

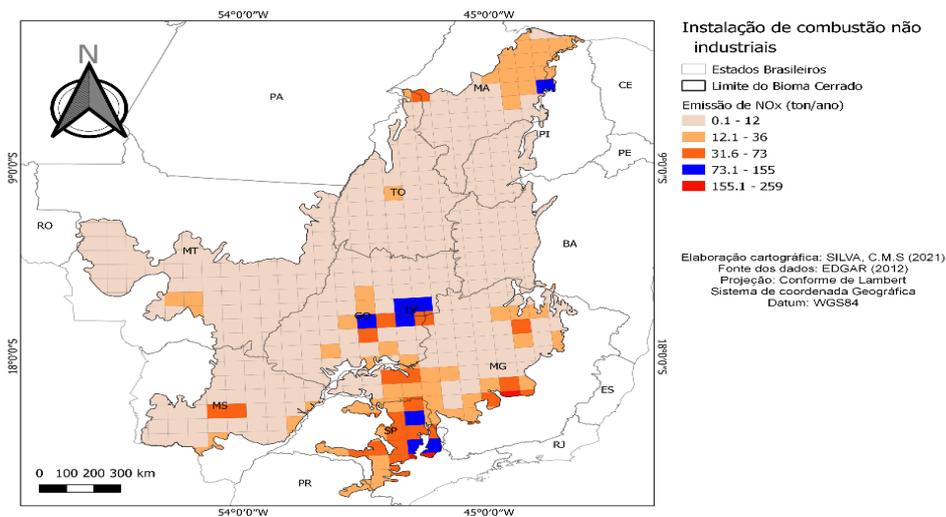


Figura 9: Emissão de NH₃ por Instalação de combustão não industrial. Fonte: Elaborados pelos autores.

A figura 10 apresenta a estimativa de emissão para o composto NO_x , é sabido que os óxidos de nitrogênio apresentam maiores relevâncias em processo da queima de combustíveis fósseis, dessa forma é esperado menores valores em processo de instalação de combustão não industrial, nesse caso, a região sudeste do bioma apresenta uma sutil relevância nas emissões, correspondendo a uma 2.59×10^{-4} Tg de NO_x ano⁻¹.

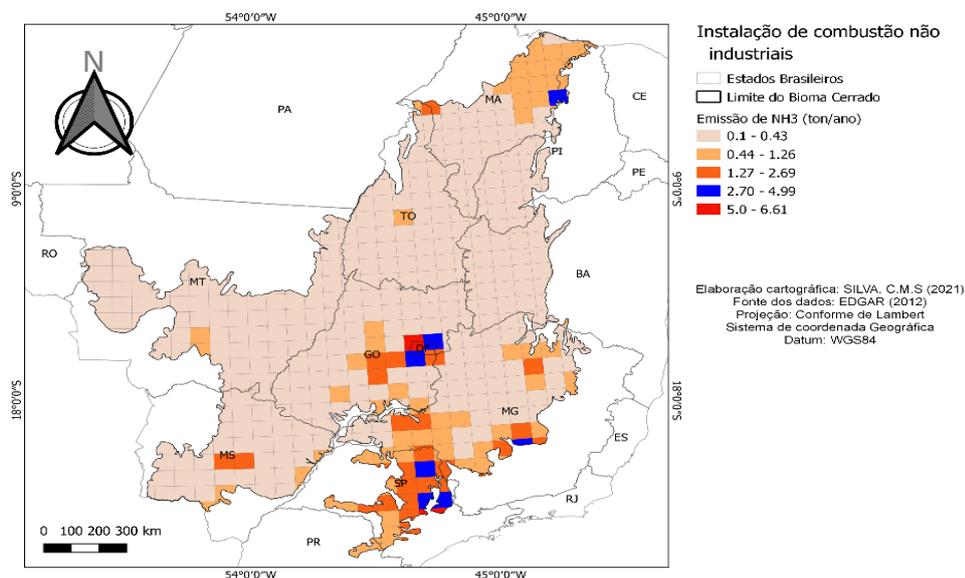


Figura 10: Emissão de NO_x por Instalação de Combustão não industrial. Fonte: Elaborados pelos autores.

A figura 11 apresenta estimativas de emissões de NH_3 por fontes móveis na ordem de 2.83×10^{-4} Tg de NH_3 ano⁻¹. Foram observadas atividades de focos de emissão por transportes rodoviários mais intensas nas mesmas áreas correspondentes aos setores anteriores, na região centro e sudeste do Cerrado. Os valores da estimativa da emissão de amônia no bioma são relativamente baixos, chegando a apresentar valores igual 0.1. Valores de emissão de amônia por fontes móveis não são tão significativas, de acordo com o IPCC (2013) a contribuição da emissão de amônia por queima de combustíveis fósseis é da ordem de 0.5 Tg de N ano⁻¹. Importante salientar que o tempo de vida da amônia na atmosfera é curto, com estimativa aproximada de 10 dias, podendo ser rapidamente absorvido por superfícies como água e solo, e sua concentração atmosférica é muito variável, dependendo da proximidade da fonte de emissão, dessa forma, as concentrações de amônia por fontes móveis tendem a ter uma menor participação (SEINFELD; PANDIS, 2006).

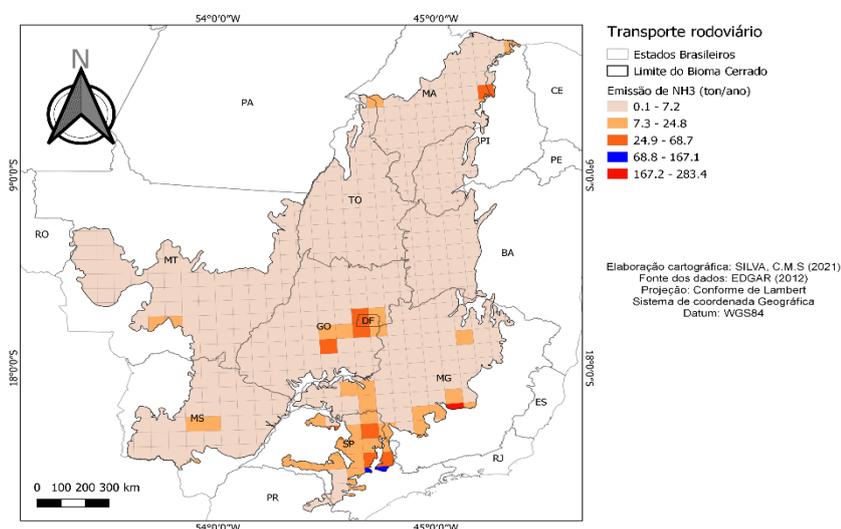


Figura 11: Emissão de NH₃ por Transporte rodoviário. Fonte: Elaborados pelos autores.

O NO_x é um tipo de nitrogênio reativo com alta relação com as fontes móveis, e varia de acordo com o tipo de combustível utilizado e tipo de veículo. De acordo com a CETESB (2012) a emissão de NO_x está na ordem de centenas de milhares, sobretudo nas grandes cidades, onde o fluxo veicular é intenso.

No presente estudo, para o setor de emissão de transporte rodoviário observa-se estimativa de 6.89×10^{-6} Tg de NO_x ano⁻¹ (figura 12), apresentando expressiva emissão nas regiões norte, centro e sudeste do bioma, onde há entroncamentos de rodovias e consequentemente fluxos de veículos pesados mais intensos devido ao escoamento da produção agrícola, bem como, dos fluxos de mercadoria que são transportados norte ao sul do país pelo Brasil central.

Outros tipos de fontes e máquinas móveis (figura 13) movido a diesel tem importante participação na contribuição das emissões de NO_x no bioma Cerrado, isso devido ao bioma ser bastante explorado pelas atividades agrícolas e ter um número expressivo de estradas vicinais que influenciam diretamente no fluxo de escoamento agrícola.

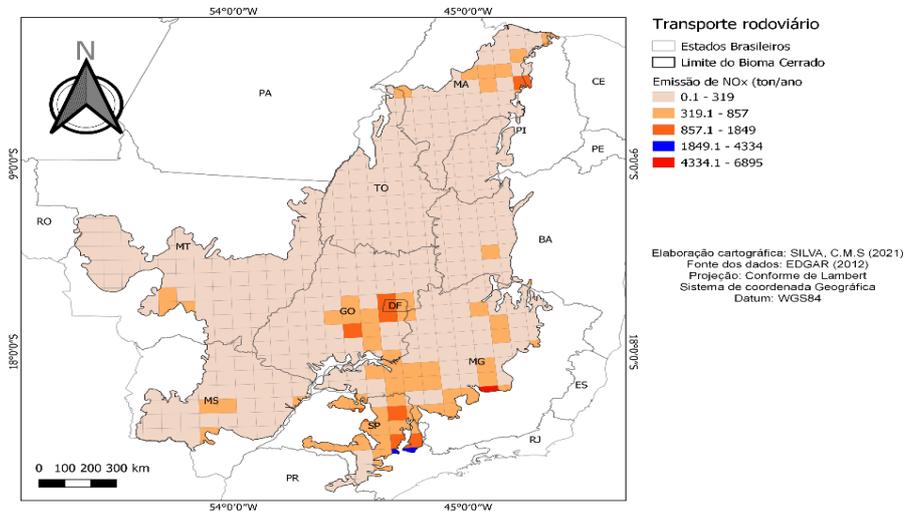


Figura 12: Emissão de NO_x por Transporte rodoviário. Fonte: Elaborados pelos autores.

Na figura 13 é estimada a emissão de NO_x com comportamento mais disperso, ao qual apresenta valor relativamente significativo de 3.57×10^{-4} Tg de NO_x ano⁻¹, com maiores fluxos no sudeste do bioma, contudo áreas como o Sudoeste tiveram valores expressivos, bem como na região do Matopiba ao norte do bioma onde a expansão da produção agrícola tem se intensificado, sobretudo na expansão do cultivo de soja e de milho (Rudorff; Risso, J. *et al.* 2015).

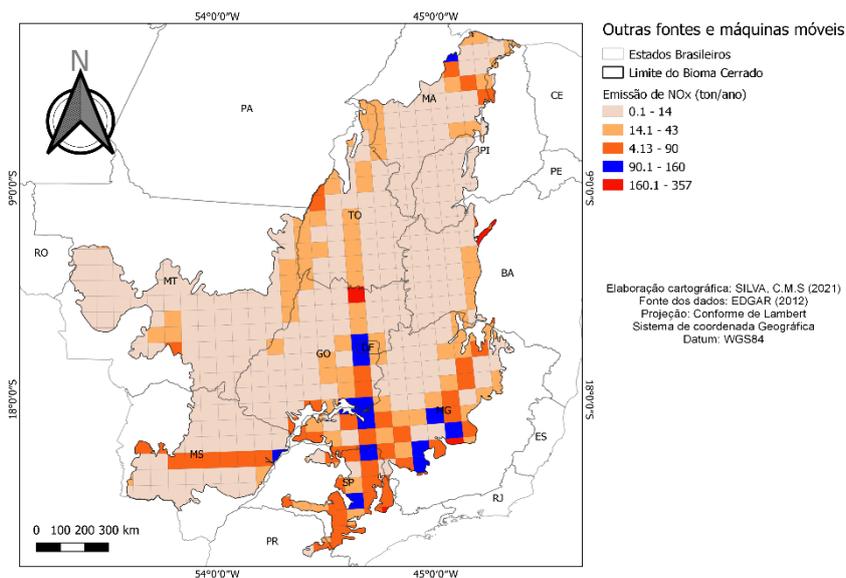


Figura 13: Emissão de NO_x por Outras fontes e máquinas móveis. Fonte: Elaborados pelos autores.

Embora as fontes móveis tenham apresentado relevância na classe das atividades que contribuem para emissão de nitrogênio reativo atmosférico. É na atividade de mudança de uso da terra que há a maior contribuição da emissão de NH_3 do bioma Cerrado conforme os resultados preliminares deste estudo.

Observa-se de acordo com a figura 14 que a distribuição do fluxo de emissão é acentuada e concentra-se em maior intensidade na região ao sul do Cerrado onde as atividades são mais desenvolvidas. Neste estudo a estimativa de emissão de NH_3 encontrada foi de 7.52×10^{-2} Tg de NH_3 ano⁻¹. Varella *et al.* (2004) afirma que embora estudos sobre fluxo de emissão de nitrogênio na região do Cerrado sejam escassos, em suas observações *in situ*, foi observado $0.1 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em área de pastagem com mais de 20 anos. Já em outro estudo anterior, elaborado por Saminêz (1999) em Cerrado nativo, com presença de pastagem com uma idade de 5 anos, o autor encontrou valor de fluxo de 5×10^{-10} Tg N ha⁻¹ ano⁻¹, resultando em valores inferiores do encontrado nos testes iniciais deste estudo.

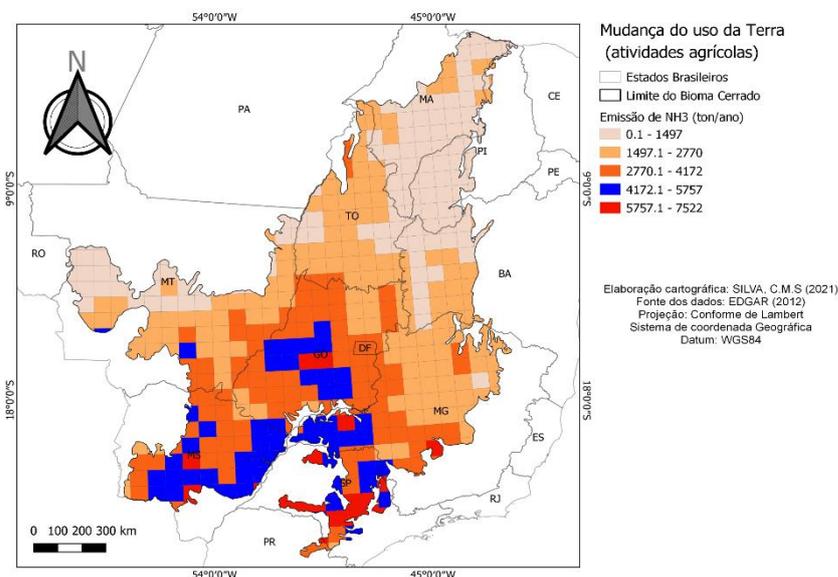


Figura 14: Emissão de NH_3 por Mudança do uso da terra. Fonte: Elaborados pelos autores.

A amônia tem um importante papel no desenvolvimento dos ecossistemas, pois usualmente quando a amônia gasosa encontra a superfície, ela é absorvida pelo solo onde reage com a água e em seguida é convertida em sua forma iônica, o NH_4^+ , quando não absorvida por plantas ou convertida a nitrato por micróbios, o amônio pode ser revertido a

amônia e eventualmente levar à redução do pH do solo. Em contrapartida quando adicionada de forma excessiva, pode ser carregada sendo removida para as águas superficiais contribuindo para o processo de eutrofização das águas e mudanças nos ecossistemas aquáticos (BUSTAMANTE *et al.* 2009).

Na figura 15 deste estudo é apresentada a estimativa da emissão de NO_x no bioma Cerrado, com valor estimado de 9.73×10^{-4} Tg de NO_x ano⁻¹, e comportamento semelhante ao NH₃ no que diz respeito a espacialização dos focos.

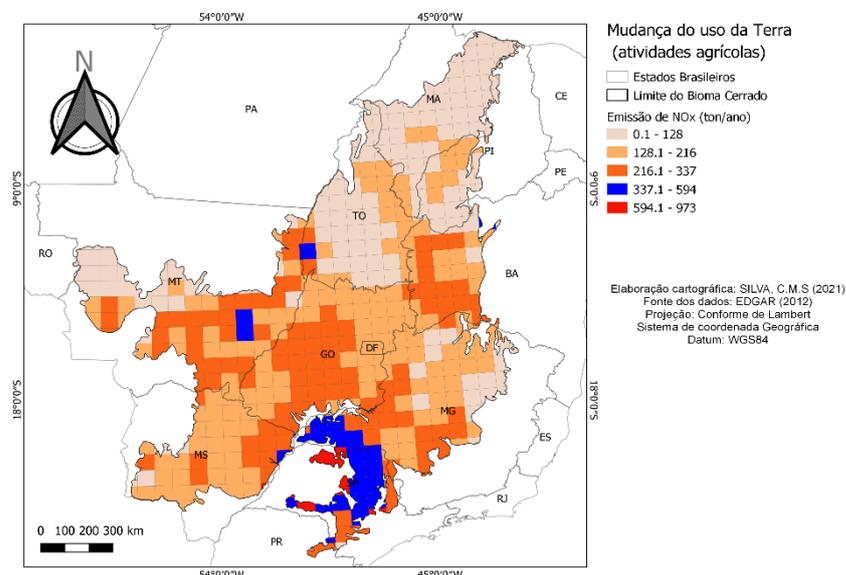


Figura 15: Emissão de NO_x por Mudança do uso da terra. Fonte: Elaborados pelos autores.

São observados fluxos de emissões mais intensos na região sul do Cerrado, emissão com valores baixos ao norte e intensa emissão no centro e sudeste do bioma. Para a emissão do NO_x ocorrem dinâmicas diferentes do que ocorre com a amônia nos ecossistemas naturais. Neste caso, o fogo tem impacto na emissão de gases traços, através do processo da combustão de biomassa, e, os óxidos de N são emitidos pelos solos após a queima.

Considerações finais

O nitrogênio reativo atmosférico é um elemento limitante no desenvolvimento dos ecossistemas aquáticos e terrestres. Sendo as atividades antrópicas as principais produtoras das espécies e especiações do nitrogênio reativo atmosférico. Através do método de

downscaling foi possível aferir preliminarmente a contribuição de cada fonte de emissão no que se refere aos compostos nitrogenados. Neste estudo foram observadas as emissões das seguintes fontes antrópicas: Indústrias de energia e transformação, Instalação de Combustão não industrial, Transporte rodoviário, outras fontes e máquinas móveis, além da mudança do uso da terra.

Dessas fontes de emissões que foram calculadas, a mudança do uso da terra, foi a que apresentou maiores contribuições de emissão no bioma Cerrado para o ano de 2012, sendo as emissões dos NO_x superiores as emissões de NH₃, isso ocorre, pois com as práticas das queimadas, no processo de combustão, temos a liberação das espécies dos óxidos de nitrogênio. Ressaltando que a emissão por transportes rodoviários, ou seja, a queima de combustíveis fósseis, também foram relevantes para as especiações do NO_x, apresentando emissões em torno de 6.89×10^{-6} .

Contudo, o método de downscaling para análise regional, apresentou eficiência e relevância na compreensão da dinâmica do nitrogênio reativo atmosférico no bioma Cerrado, e pode ser aplicado, sobretudo em áreas com grandes lacunas informacionais, servindo como suporte posterior na modelagem da química da atmosfera em sistemas naturais para estimar cenários de tempos passados e presentes.

Referências

ALONSO, M. F., Longo, K. M., Freitas, S. R., da Fonseca, R. M., Marécal, V., Pirre, M., & Klenner, L. G. (2010). An urban emissions inventory for South America and its application in numerical modeling of atmospheric chemical composition at local and regional scales. **Atmospheric Environment**, 44(39), 5072-5083.

ANDREÃO, W. L., Alonso, M. F., Kumar, P., Pinto, J. A., Pedruzzi, R., & de Almeida Albuquerque, T. T. (2020). Top-down vehicle emission inventory for spatial distribution and dispersion modeling of particulate matter. **Environmental Science and Pollution Research**, 1-19.

BEHRENTZ, Eduardo, Nancy, Sánchez, Magdalena, Fandiño, Paula, Rodriguez, 2009. **Inventario de emisiones provenientes de fuentes fijas y móviles. Proyecto contratado por la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá y Desarrollado por el Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional de la Universidad de los Andes** (Contrato de Ciencia y Tecnología # 347 de 2006). ISBN: 978-958-695-442-6.

BERKOWICZ, R., Winther, M., & Ketzel, M. (2006). Traffic pollution modelling and emission data. **Environmental Modelling & Software**, 21(4), 454-460.

BUSTAMANTE, M. M. C.; KELLER, Michael; SILVA, D. A. **Sources and sinks of trace gases in Amazonia and the Cerrado**. 2009

CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque; FERREIRA, Nelson Jesus; DIAS, Maria Assunção Faus da Silva; SILVA, Maria Gertrudes Alvarez Justi da. **Tempo e clima no Brasil**. [S.l.: s.n.], 2009.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS (2019) **Portal das industriais no Brasil** <http://www.portaldaindustria.com.br/cni/estatisticas/> Online; acessado em 21 de Abril de 2020.

CNT (2013). Pesquisa CNT da navegação interior - 2013. Confederação Nacional de Transportes. Brasília. Centro Oeste Competitivo (2011) **Projeto Centro Oeste Competitivo**. Disponível em: < www.arquivos.portaldaindustria.com.br >

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB), 2005. **Relatório de Qualidade do ar no Estado de São Paulo**. Report Series/Secretaria de Estado do Meio Ambiente, ISSN 0103-4103, 140 pp. <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Online; acessado 21 de Janeiro-2021.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB), 2010. **Relatório de Qualidade do ar no estado de São Paulo 2010** / cetesb. - - são paulo. Série Relatórios/CETESB, ISSN 0103-4103. Online; acessado 21 de Janeiro-2021.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO- CETESB (2011) **Inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do Estado de São Paulo**, 1. : comunicação estadual / CETESB; coordenação João Wagner Silva Alves, Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer; Equipe Mariana Pedrosa Gonzalez ... [et al.], - 2.ed. - São Paulo : CETESB, 2011. ISBN 978-85-61405-23-6. Online; acessado em 21 de Janeiro 2018

COWLING, E. and GALLOWAY, J. (2002). Challenges and opportunities facing animal agriculture: Optimizing nitrogen management in the atmosphere and biosphere of the earth. **J. Anim. Sci**, 80:E157–E167.

CRIPPA, M., JANSSENS-MAENHOUT, G., GUIZZARDI, D., VAN DINGENEN, R., and DENTENER, F.: **Sectorial and regional uncertainty analysis of the contribution of anthropogenic emissions to regional and global PM_{2.5}**. health impacts, Atmos. Chem. Phys. Discuss., <https://doi.org/10.5194/acp-2017-779>, in review, 2017

CRIPPA, M., GUIZZARDI, D., MUNTEAN, M., SCHAAF, E., DENTENER, F., VAN AARDENNE, J. A., ... & JANSSENS-MAENHOUT, G. (2018). **Gridded emissions of air**

pollutants for the period 1970–2012 within EDGAR v4. 3.2. *Earth Syst. Sci. Data*, 10(4), 1987–2013.

40

COUTINHO, Leopoldo Magno, 1934-2016. **Biomias brasileiros/Leopoldo Magno Coutinho--** São Paulo: Oficina de textos, 2016.

D'ANGIOLA, A., DAWIDOWSKI, L., GOMEZ, D.R., Osses, M., 2009. On-road traffic emissions in a megacity. **Atmos. Environ.** doi:10.1016/j.atmosenv.2009.11.004.

DANIELS, A. E., MORRISON, J. F., JOYCE, L. A., CROOKSTON, N. L., CHEN, S. C., & McNully, S. G. (2012). Climate projections FAQ. General Technical Report. Fort Collins, CO, U.S. **Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station:** 1-32

DICTUC, 2007. **Actualización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la RM 2005.** Informe Final Comisión Nacional del Medio Ambiente. Available at: http://www.conama.cl/rm/568/articles-41184_Dictuc0ActuaizaIforFinal.pdf (in Spanish). Acessado em 20 de julho de 2019.

ERISMAN, J.W.; J.N. Galloway; N.B. Dice; M.A. Sutton; A. Bleeker; B. Grizzetti; A.M. Leach & W. de Vries. 2015. **Nitrogen: too much of a vital resource.** *Science Brief.* WWF Netherlands, Zeist, The Netherlands.

FEEMA, 2004: **Inventário de Fontes Emissoras de Poluentes Atmosféricos da Região Metropolitana do Rio de Janeiro.** Disponível em: < www.feema.rj.gov.br > [Online; acesso 24-Julho-2021].

FILOSO, S., Martinelli, L. A., Howarth, R. W., Boyer, E. W., and Dentener, F. (2006). Human activities changing the nitrogen cycle in Brazil. **Biogeochemistry**, 79(1-2):61–89.

FONTES, Vieira Roberto; CAMILLO, Julcéia; CORANDIN, Lidio (Ed.). **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Centro-Oeste.** Brasília, DF: MMA, 2018 (Biodiversidade; 44).

GALLOWAY, James N. The global nitrogen cycle: changes and consequences. **Environmental pollution**, v. 102, n. 1, p. 15-24, 1998.

GALLOWAY, J. N., Dentener, F. J., Capone, D. G., Boyer, E. W., Howarth, R. W., Seitzinger, S. P., Asner, G. P., Cleveland, C., Green, P., Holland, E., et al., (2004). Nitrogen cycles: past, present, and future. **Biogeochemistry**, 70(2):153–226.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.(2013). **Projeto TerraClass Cerrado Mapeamento do Uso e Cobertura Vegetal do Cerrado.** Online em <<http://www.dpi.inpe.br/tccerrado/index.php?mais=1>> Acessado em 24 de julho de 2021.

IPCC. Climate change 2013: **The physical science basis. contribution of working group I**

to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2013a.

JANSSENS-MAENHOUT, Greet et al. **EDGAR v4. 3.2 Global Atlas of the three major Greenhouse Gas Emissions for the period 1970–2012**. Earth System Science Data Discussions, p. 1-55, 2017.

MATSON, P. A.; LOHSE, K. A.; HALL, S. J. The globalization of nitrogen deposition: consequences for terrestrial ecosystems. **AMBIO: A Journal of the Human Environment**, v. 31, n. 2, p. 113–9, 2002

PINHEIRO, M.H.O.; MONTEIRO, R. Contribution to the discussions on the origin of the Cerrado biome: Brazilian savanna. **Braz. J. Biol.**, n. 1, p.95-102, 2010.

PLACET, Marylynn. **Emissions involved in acidic deposition processes**. National Acid Precipitation Assessment Program, Office of the Director, 1990.

RABALAIS, N. N. (2002). Nitrogen in aquatic ecosystems. **AMBIO: A Journal of the Human Environment**, 31(2):102–112.

RUDORFF, B.; RISSO, J. et al., Agrosatélite Geotecnologia Aplicada Ltda. **Análise Geoespacial da Dinâmica das Culturas Anuais no Bioma Cerrado: 2000 a 2014** / Rudorff, B.; RISSO, J. et al., 2015. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, 2015.

SEINFELD, J. H. and Pandis, S. N. (2016). **Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change**. John Wiley & Sons.

SAMINÊZ, T. C. O. (1999), **Efeito do sistema de cultivo, tensão da água, biomassa microbiana e temperatura do solo nos fluxos de CH₄ e N₂O em solos de cerrados**, MSc. thesis, 99 pp., Univ. de Brasília, Brasília.

SEITZINGER, S. P., Styles, R. V., Boyer, E. W., Alexander, R. B., Billen, G., Howarth, R. W., Mayer, B., and Van Breemen, N. (2002). Nitrogen retention in rivers: model development and application to watersheds in the northeastern USA. **In The Nitrogen Cycle at Regional to Global Scales**, pages 199–237. Springer.

SEEG. Sistemas de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa. (2021). **ANÁLISE DAS EMISSÕES BRASILEIRAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA E SUAS IMPLICAÇÕES PARA AS METAS DE CLIMA DO BRASIL**. <https://seeg.eco.br/documentos-analiticos>

SMIL, Vaclav. The roots of nitrogen fixation. **Nature**, v. 431, n. 7011, p. 909-911, 2004.

TEIXEIRA, E.C., Feltes, S., Santana, E.R.R., 2008. Estudo das emissões de fontes móveis na região metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. **Quim. Nova** 31 (2), 244 e 248.

TRZASKA, Sylwia; SCHNARR, Emilie. **A review of downscaling methods for climate change.** US Agency for International Development, Washington, DC

http://www.ciesin.org/documents/Downscaling_CLEARED_000. Pdf, 2014.

TUBIELLO, Francesco N. et al., The contribution of agriculture, forestry and other land use activities to global warming, 1990–2012. **Global change biology**, v. 21, n. 7, p. 2655-2660, 2015.

VAN BREEMEN, N. van et al. Where did all the nitrogen go? Fate of nitrogen inputs to large watersheds in the northeastern USA. **Biogeochemistry**, v. 57, n. 1, p. 267-293, 2002.

VARELLA, R F., M. M.C.Bustamante, A. S. Pinto, K.W. Kisselle, R.V.Santos, R. A. Burke, R. G. Zeep, and L. T. Viana (2004), Soilfluxes of CO₂, CO, NO and N₂O from an old pasture and from native savanna in Brazil, **Ecol. Appl.**, 14(sp4),221-231.

VITOUSEK, Peter M. et al. Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. **Ecological applications**, v. 7, n. 3, p. 737-750, 1997.

WOLFE, Amir H.; PATZ, Jonathan A. Reactive nitrogen and human health: acute and long-term implications. **Ambio: A journal of the human environment**, v. 31, n. 2, p. 120-125, 2002.