

X-027 – EMISSÕES ATMOSFÉRICAS ORIGINADAS PELA QUEIMA DE BIOMASSA NAS REGIÕES DO ESTADO DE SANTA CATARINA EM 2016

Nathan Campos Teixeira⁽¹⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) e mestrando em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Leonardo Hoinaski⁽¹⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Doutor em Engenharia Ambiental pela UFSC. Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC e supervisor do Laboratório de Controle da Qualidade do Ar (LCQAr).

Pedro Luiz Borges Chaffe⁽²⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental e Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Doutor em Urban and Environmental Engineering pela Kyoto University. Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC e supervisor do Laboratório de Hidrologia (LabHidro).

Endereço⁽¹⁾: Laboratório de Controle da Qualidade do Ar – LCQAr. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rua Delfino Conti - Trindade - Florianópolis - SC - CEP: 88.040-970 - Brasil – Telefone: (48) 3721 – 4993. Email: leonardo.hoinaski@ufsc.br

Endereço⁽²⁾: Laboratório de Hidrologia – LabHidro. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rua Delfino Conti - Trindade - Florianópolis - SC - CEP: 88.040-970 - Brasil – Telefone: (48) 3721 – 7749. Email: pedro.chaffe@ufsc.br

RESUMO

Os incêndios e a queima de biomassa são amplamente vistos como eventos importantes de perturbação ecológica, perdas ambientais, sociais e econômicas. Por se tratar de uma combustão, as queimadas liberam grande quantidade de compostos gasosos e partículas para a atmosfera. Grande parte dos estudos sobre poluição do ar concentra-se nas emissões de queima de combustíveis fósseis em centros urbanos. Aproximadamente metade da população mundial está exposta à poluição do ar causada pelas emissões originadas por atividades de uso do fogo. Tratando-se de Santa Catarina, o estado possui entre suas principais atividades econômicas o agronegócio, atividade diretamente relacionada com ações envolvendo queima de pastagens e utilização do fogo para preparo do solo. Neste Contexto, o objetivo deste trabalho é realizar um levantamento quali quantitativo das emissões de poluentes atmosféricos originados pela queima de biomassa nas regiões de SC, com auxílio do modelo de estimativas de emissões *Fire Inventory From NCAR* (FINN), onde também será avaliada a variação espacial e temporal das emissões durante o ano de 2016. Entre os compostos mais emitidos foram dióxido de carbono, monóxido de carbono, material particulado, metano e dióxido de nitrogênio. É possível notar a relevância das emissões desses compostos quando comparado com outras fontes de emissões de poluentes atmosféricos no estado. As regiões Serrana, Oeste e Norte Catarinense se destacaram na distribuição ao longo dos meses das emissões originadas por queimadas, onde as maiores ocorrências foram entre os meses de julho a setembro. Enquanto que para a emissão de poluentes atmosféricos oriundos de combustíveis fósseis já exista uma rede de estimativas Santa Catarina, os fatores que controlam a queima de biomassa ainda é uma motivação para a pesquisa científica.

PALAVRAS-CHAVE: Queima de biomassa, poluição atmosférica, FINN, Santa Catarina.

INTRODUÇÃO

Os incêndios e a queima de biomassa são amplamente vistos como eventos importantes de perturbação ecológica, e perdas ambientais, sociais e econômicas (CAÚLA et al., 2016). Entre os impactos podem ser listados: a degradação da vegetação, fenômenos de erosão, alterações no ciclo hidrológico, empobrecimento do solo. (BOND et al., 2005; HARLEY et al., 2007).

Por se tratar de uma combustão, as queimadas liberam grande quantidade de compostos gasosos e partículas para a atmosfera. Durante a queima ocorrem as emissões de: dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono

(CO), metano (CH₄), material particulado (MP), hidrocarbonetos não metanos (HCNM), óxido de nitrogênio (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂), entre outros (ARTAXO et al., 2005; URBANSKI et al., 2009).

Estimativas de Wiedinmeyr et al. (2011) apontam a queima de biomassa como responsável por 51% das emissões globais de CO. Segundo Bond et al. (2004), em relação ao MP e carbono negro (BC), o percentual atinge até 73% e 41% das emissões globais, respectivamente. Esses aerossóis afetam diretamente o balanço de radiação global e regional, reduzem a visibilidade e desempenham um papel importante na mudança climática e ambiental (DENG et al., 2008; ZHANG et al., 2017).

Além dos efeitos no meio ambiente as queimadas provocam efeitos que implicam em condições adversas a saúde humana (Heal *et al.*, 2012). Segundo Alves *et al.* (2017), a queima de biomassa são responsáveis pela intoxicação a nível molecular e celular em regiões pulmonares humanas, além de efeitos como, estresse oxidativo, indução de autofagia, parada do ciclo celular e até mesmo danos severos ao DNA. Lelieveld (2015) afirma que metade da população mundial está exposta a poluição do ar originado pelas queimadas, estima-se que as doenças oriundas das queimadas ocasionem 180.000 mortes prematuras anuais no mundo. Devido à importância das emissões da queima a céu aberto, as estimativas dos poluentes são fundamentais para caracterizar os problemas de qualidade do ar.

Em escala global, existem vários inventários de emissões de queima de biomassa empregados em diferentes resoluções espaciais e temporais. Ito e Penner (2004) desenvolveu uma estimativa de emissão de poluentes decorrentes da queima de vegetação e de biocombustíveis a uma alta resolução espacial (1 km) para o ano de 2000. Mieville *et al.* (2010) descreve um inventário de estudos químico-climáticos (GICC), fornecendo estimativas das emissões de CO₂, CO, NO_x, e carbono orgânico (OC) subsidiando aplicações de modelagem química ao clima. Outro modelo que usufrui de observações de satélite e de focos de calor é o *Fire Inventory From NCAR* (FINN), voltado a apenas a detecção de incêndios e queimadas, o modelo considera a cobertura do solo, juntamente com fatores de emissões e cargas estimadas de combustível para fornecer dados diários. Detecções de fogo com confiança menos de 20% são removidos, anualmente em torno de 2% dos pontos de incêndios originais são removidos devido a baixos valores de confiança (Wiedinmeyr *et al.*, 2011). Portanto, este modelo é capaz de calcular com precisões consideráveis a emissão dos principais poluentes originados das queimadas, além de possibilitar a especiação química de diversos compostos orgânicos voláteis.

No Brasil estudos contribuíram para a investigação de que os incêndios florestais e a queima em áreas de cultivo são responsáveis pela degradação do ar (Godoy-Silva *et al.*, 2017). Tratando-se de Santa Catarina, o estado possui entre suas principais atividades econômicas o agronegócio, atividade diretamente relacionada com ações envolvendo queima de pastagens e utilização do fogo para preparo do solo (Pillar, 2009). Teixeira *et al.* (2017) demonstra em seu trabalho a potencialidade que o estado de Santa Catarina (SC).

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é realizar um levantamento quali-quantitativo das emissões de poluentes atmosféricos originados pela queima de biomassa nas regiões do estado de Santa Catarina, por meio do *Fire Inventory From NCAR* (FINN). Também é avaliada a variação espacial e temporal das emissões durante o ano de 2016.

MATERIAIS E MÉTODOS

O domínio do estudo é o estado de Santa Catarina, uma das 27 unidades federativas do Brasil, localizada no centro da região Sul do país. O estado possui 295 municípios, abrangendo em uma área de 95.737,954 km². O estado é constituído por seis mesorregiões, elas congregam diversos municípios de uma área geográfica com similaridades econômicas, sociais e possuem como objetivo centralizar as atividades das secretarias estaduais sendo elas: Grande Florianópolis, Norte Catarinense, Oeste Catarinense, Serrana, Sul Catarinense e Vale do Itajaí, conforme a Figura 1 (IBGE, 1990).

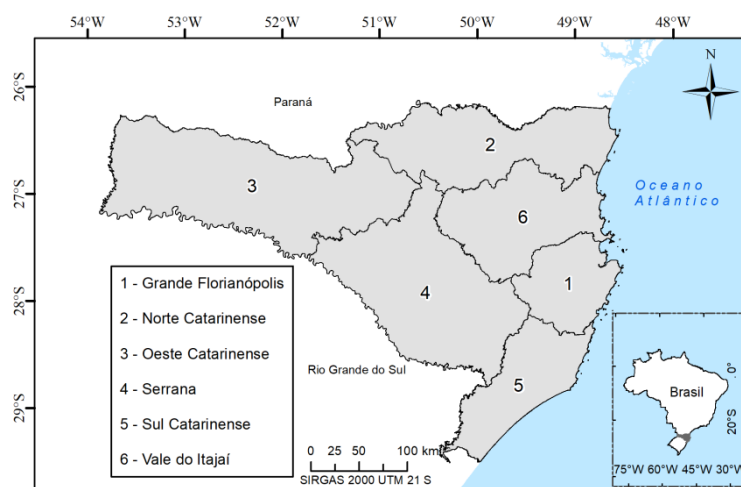


Figura 1. Mesorregiões do estado de Santa Catarina

Emissões diárias de fogo ativo foram analisadas entre 1 de janeiro e 31 de dezembro de 2016. Os dados de emissão do FINN (<https://www2.acom.ucar.edu/>) possuem em seu atributo informações referentes as coordenadas geográficas, área queimada, horário de detecção do fogo ativo, oriundo dos sensores MODIS presentes nos satélites polares Terra e Aqua, classificação do tipo de vegetação e os compostos químicos emitidos. O modelo fornece diariamente um inventário de emissões de queima a céu aberto com uma resolução de 1 km², conforme a equação 1:

$$Ei = A(x,t) \times B(x) \times FB \times FE \quad (\text{Equação 1})$$

onde, “*E*” é a emissão do poluente *i*; “*A*” é a área queimada no tempo “*t*” e localização “*x*”; “*B*” representa a proporção de biomassa na localização “*x*”; “*FB*” a fração de biomassa queimada em “*x*” e “*FE*” o fator de emissão da espécie “*i*”. Para o presente estudo foi utilizado os dados de 2016 tendo como base o GEOS-chem da versão FINNv1.5

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Emissões diárias de focos foram analisadas entre 1 de janeiro e 31 de dezembro de 2016, resultando em um ranqueamento dos compostos emitidos, dispostas na Tabela 1.

Tabela 1. Emissões totais por poluentes em ton/ano em 2016 em Santa Catarina.

Fórmula Molecular	Emissão (ton/ano)	Fórmula Molecular	Emissão (ton/ano)
CO ₂	9.593.143	NH ₃	7.562
CO	509.216	C ₂ H ₄ O ₂	6.25
MP _{2,5}	52.283	C ₂ H ₄	5.219
C ₄ H ₆	29.53	C ₃ H ₆ O ₂	5.067
C (OC)	28.615	C ₃ H ₄ O ₂	3.646
CH ₄	26.893	C ₂ H ₆	3.223
NO ₂	18.868	C ₃ H ₆ O	3.148
C ₅ H ₈	13.913	C (BC)	2.991
C ₇ H ₈	12.435	SO ₂	2.594
C ₂ H ₄ O	11.424	C ₆ H ₆	1.902
C ₄ H ₈ O	9.877	C ₂ H ₂	1.262
CH ₂ O	8.241	C ₃ H ₈	632
NO	8.532	C ₈ H ₁₀	546

O CO_2 é o composto que apresenta valores mais elevados, $9,59 \times 10^6$ toneladas/ano, pois resulta diretamente da combustão total da biomassa, sendo o seu principal produto final. Posteriormente o CO, procedente de uma combustão incompleta, com $5,09 \times 10^5$ toneladas/ano. Em relação às partículas com 2,5 micrômetros ou menos de diâmetro ($\text{MP}_{2,5}$), o estado de Santa Catarina exibiu um montante de $5,22 \times 10^4$ toneladas/ano.

Entre outras atividades potenciais de emissão, como, veículos, usinas de energia e transporte ferroviário, as queimadas se destacam em outros poluentes conforme apresentado na Tabela 2. Os valores para tais atividades foram retirados do 1º Inventário Nacional de Emissões Veiculares (BRASIL, 2011), incluindo veículos movidos à gasolina e diesel, do Inventário de Emissões de Gases do Efeito Estufa (ELETROBRAS, 2017) incluindo todas as usinas do grupo Eletrobrás, e do 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas do Transporte Ferroviário de Cargas (BRASIL, 2012b).

É possível notar a relevância das emissões por queimadas no estado principalmente quando se trata dos compostos CO, CH_4 e material particulado.

Tabela 2. Comparação da emissão de poluentes atmosféricos entre diferentes atividades.

Atividades	CO ($\times 10^3$ ton/ano)	CO ₂ ($\times 10^3$ ton/ano)	NO _x ($\times 10^3$ ton/ano)	CH ₄ ($\times 10^3$ ton/ano)	MP ($\times 10^3$ ton/ano)
Queimadas em SC	510	9.610	27,4	27,0	52,3
Veículos	500	75.000	50,0	10,0	18,6
Energia	-	11.060	10,0	10,0	00,3
Transporte ferroviário	40	3.070	50,0	00,2	01,4

Em relação à variação espacial das emissões, como mostra a Figura 2, a Região 1 (Grande Florianópolis), Região 5 (Sul Catarinense) e Região 6 (Vale do Itajaí) apresentaram 2,0, 2,7 e 1,3% de suas áreas territoriais queimadas em 2016, respectivamente. Estas regiões foram responsáveis por 7 a 9% da emissão de CO_2 , CO, $\text{MP}_{2,5}$, CH_4 e NO_2 (poluentes mais ranqueados) no estado de SC. A região 4 (serrana) foi a que apresentou maior densidade de focos de calor, com 9,2% da sua área queimada, e uma emissão variando entre 36 e 38% do total dos poluentes emitidos em SC pela queima de biomassa.

Na Região 3 (Oeste Catarinense), 3,8% de seu território foi queimado em 2016. Suas emissões variaram entre 23 a 24% do total. A Região 2 (Norte Catarinense) apesar de dispor de apenas 2,2% de seu território com a ocorrência de fogo, foi responsável por emitir 15% a 16% do total de poluentes.

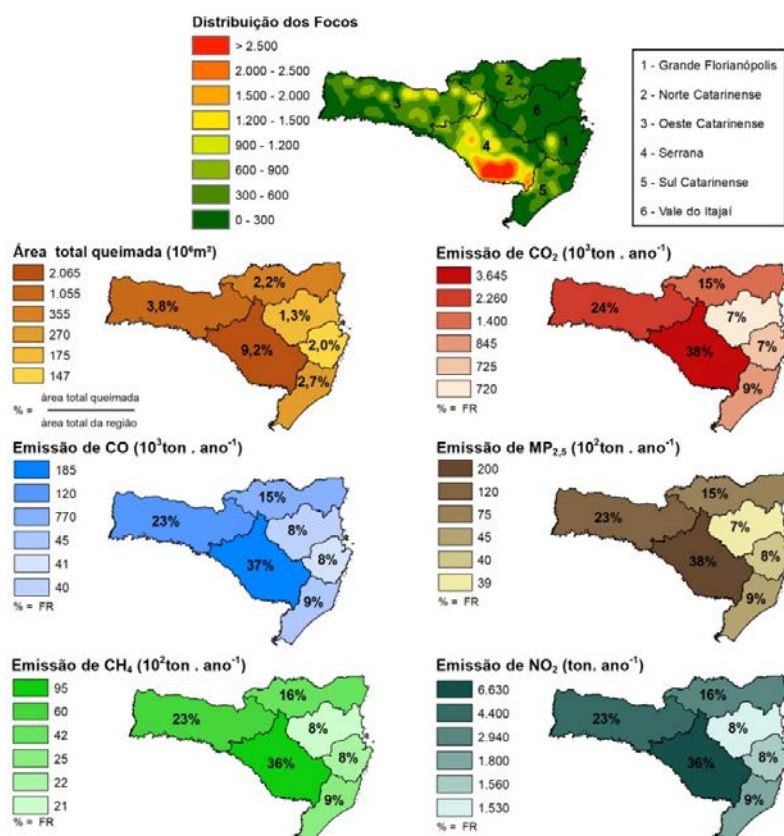


Figura 2. Distribuição dos focos de calor, área queimada, emissão de dióxido de carbono (CO₂), emissão de monóxido de carbono (CO), emissão de material particulado (MP_{2,5}), emissão de metano (CH₄) e emissão de dióxido de nitrogênio (NO₂) nas regiões de Santa Catarina em 2016.

A região Serrana foi a que mais apresentou ocorrências de focos de calor, consequente uma maior quantia de área queimada e de emissão de poluentes citados anteriormente. Estas emissões são decorrentes da cultura do uso do fogo por parte de agricultores com intuito de promover o crescimento de uma nova pastagem nos campos de altitude, característica da vegetação da região (Pillar, 2009).

Fato interessante a ser notado é o comportamento das emissões de poluentes na região Norte Catarinense. As emissões de CO, por exemplo, foram de $7,67 \times 10^4$ toneladas/ano, enquanto que a região Sul foi emitida $4,65 \times 10^4$ toneladas/ano. Apesar de um padrão semelhante de número de focos de calor (384 e 323), as regiões supracitadas destoam em suas emissões devido ao tipo de biomassa queimada. A região Norte possui combinações de áreas contendo Floresta Ombrófila Densa e Floresta Ombrófila Mista, estudos realizados por Vibrans (2013), apontam que propriedades particulares usufruem dessa exploração vegetal para fins madeireiros e avanço de áreas agropastoris.

A Figura 3 apresenta os picos de ocorrências de focos de calor, área queimada, CO₂, CO, MP_{2,5}, CH₄ e NO₂, justamente nos meses em que as condições meteorológicas são mais propícias para a ocorrência de fogo.

Cerca de 50% das queimadas de Santa Catarina ocorrem na Região Serrana, o que equivale a $2,0 \times 10^9$ m² de área queimada aproximadamente. Na região do Oeste Catarinense cerca de $1,2 \times 10^9$ m² foram queimados em 2016, o que representa quase 25% das áreas de fogo do Estado. Enquanto que para a emissão dos poluentes supracitados as regiões Serrana, Oeste e Norte catarinense se destacaram principalmente entre os meses de julho a setembro.

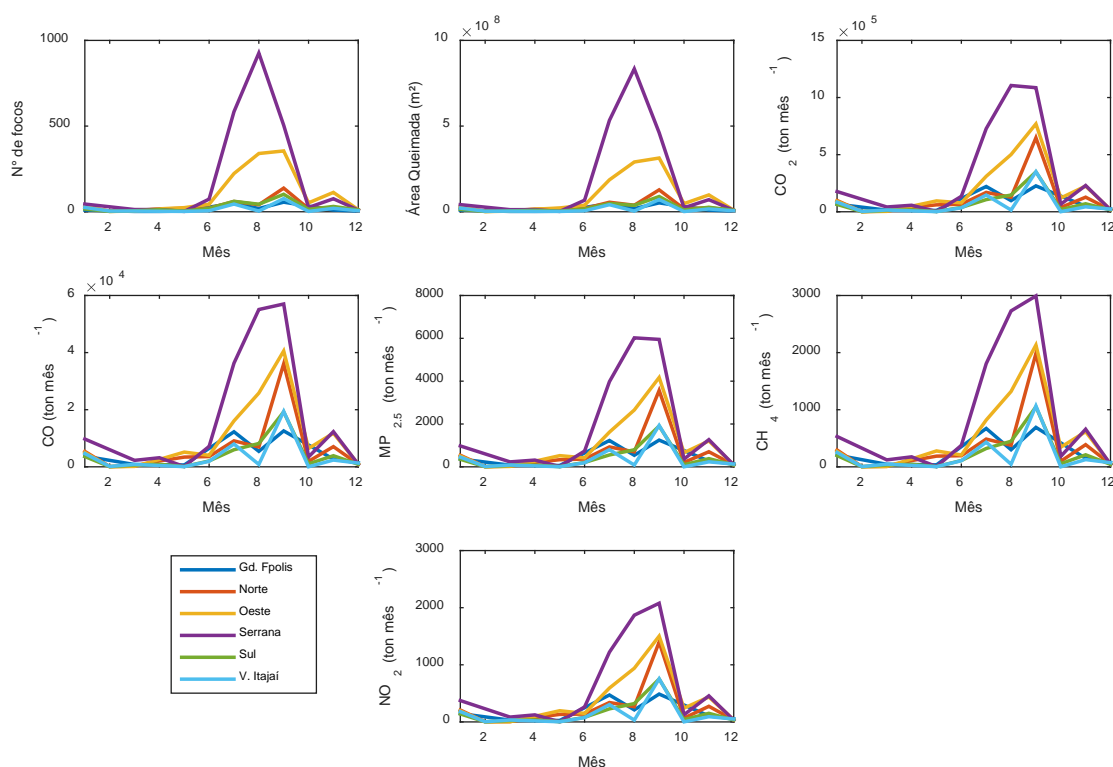


Figura 3. Emissões por região de focos de calor, área queimada, dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), material particulado de partículas finas (MP_{2,5}), metano (CH₄) e dióxido de nitrogênio (NO₂) em 2016.

Como esperado, as regiões catarinenses possuem ao longo do seu território uma heterogeneidade nas atividades de exploração do solo e da sua cobertura vegetal. Este fator implica diretamente nas estimativas de emissões. Uma investigação mais detalhada sobre as classes de ocupação de solo pode ser um importante aliado na averiguação das classes mais suscetíveis a ocorrências de queima.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No presente trabalho utilizou-se o inventário de emissões FINN para analisar as ocorrências de focos de calor e taxas de poluentes emitidas pela queima de biomassa no estado de Santa Catarina. Dentro deste inventário apresentamos dados quantitativos e da especiação química dos poluentes presentes nesses eventos bem como, a distribuição das ocorrências das emissões dos poluentes atmosféricos pela queima da biomassa.

A Região Serrana é a grande responsável pelas emissões dos compostos CO₂, CO, MP_{2,5}, CH₄ e NO₂ em Santa Catarina. O crescimento abrupto no trimestre julho-agosto-setembro faz confirmar a hipótese de que as causas são de origem antropogênica. Regiões Oeste e Norte catarinense apresentaram padrões semelhantes para a distribuição ao longo dos meses de 2016.

A queima de biomassa em SC apresentou ser um importante contribuinte para emissões de poluentes atmosféricos, com cargas de emissões até mesmo superiores as emissões originadas por veículos e de transportes ferroviários para os poluentes: monóxido de carbono e materiais particulados menores que 2,5 micrometros.

Enquanto que para a emissão de poluentes atmosféricos oriundos de combustíveis fósseis já exista uma rede de estimativas para Santa Catarina (MAES, 2017; MEIRELLES, 2017), os fatores que controlam a queima de biomassa ainda é uma motivação para a pesquisa científica. Uma forma de incentivar pesquisas e a produção de aprimoramento de dados para melhor entender a dinâmica do fogo pode ser a incorporação do monitoramento dos poluentes em regiões estratégicas das principais ocorrências dessas emissões.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho faz parte do projeto "AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS EMISSÕES VEICULARES, QUEIMADAS, INDUSTRIAIS E NATURAIS NA QUALIDADE DO AR EM SANTA CATARINA" contemplado no Edital de Demanda Espontânea da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC), segundo o termo de outorga 2018TR499. O projeto conta com o apoio da Diretoria de Mudanças Climáticas (DMUC) da Secretaria do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS) do Estado de Santa Catarina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, N. O. et al. Biomass burning in the Amazon region causes DNA damage and cell death in human lung cells. *Scientific Reports*, [s.l.], v. 7, n. 1, p.1-13, 7 set. 2017.
2. ARTAXO, P. et al. Química atmosférica na Amazônia: A floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. *Acta Amazonica*, São Paulo, v. 35, n. 2, p.185-196, 2005.
3. BOND, W.J.; WOODWARD, F.I.; MIDGLEY, G.F. The global distribution of ecosystems in a world without fire. *New Phytologist*. n165. pp. 525-538. 2005.
4. BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas do Transporte Ferroviário de Cargas: Relatório Final. Brasília: S.i., 2012b. 53 p. Disponível em: <<http://www.energiaambiente.org.br/wp-content/uploads/2015/08/inventario-ferroviario02.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2019.
5. BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 1º INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS POR VEÍCULOS AUTOMOTORES RODOVIÁRIOS. Brasília, 2011. 111 p. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2019.
6. CAÚLA, R. H.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; GOIS, G.; DELGADO, R.C.; PIMENTEL, L.C.G.; TEODORO, P.E. Nonparametric statistics applied to fire foci obtained by meteorological satellites and their relationship to the MCD12Q1 product in the state of Rio de Janeiro, Southeast Brazil. *Land Degradation & Development*, 28(3), 1056–1067. 2016.
7. DENG, X.; TIE, X.; WU, D.; ZHOU, X.; BI, X.; TAN, H.; LI, F.; JIANG, C. Long-term trend of visibility and its characterizations in the Pearl River Delta (PRD) region, China. *Atmos. Environ.* 42, 1424–1435, 2008.
8. ELETROBRÁS (Brasil). Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa: ano base 2016. Rio de Janeiro: S.I., 2017. 28 p. Disponível em: <<http://eletrobras.com/pt/MeioAmbiente/Inventario-de-Emissoes-de-Gases-de-Efeito-Estufa-das-Empresas-Eletronbras-2016.pdf>>. Acesso em: 19 jan. 2019.
9. GODOY-SILVA, Daniely; NOGUEIRA, Raquel F.p.; CAMPOS, M. Lucia A.m.. A 13-year study of dissolved organic carbon in rainwater of an agro-industrial region of São Paulo state (Brazil) heavily impacted by biomass burning. *Science Of The Total Environment*, [s.l.], v. 609, p.476-483, dez. 2017.
10. HARLEY, M.K.. ROGERS, W.E.. SIEMANN, E.. GRACE, J. Responses of prairie arthropod communities to fire and fertilizer: balancing plant and arthropod conservation. *American Midland Naturalist* 157: 92–105 Jun. 2007.
11. HEAL, M.R.; KUMAR, P.; HARRISON, R.M. Particles, air quality, policy and health. *Chem. Soc. Rev.* 41, 6606–6630, 2012.
12. IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Divisão regional do Brasil em mesorregiões e microrregiões geográficas. Volume 1., 1990.
13. ITO, A. PENNER, J. E.: Global estimates of biomass burning emissions based on satellite imagery for the year 2000, *J. Geophys. Res.*, 109, D14S05, doi:10.1029/2003JD004423, 2004.
14. LELIEVELD, J., EVANS, J. S., FNAIS, M., GIANNADAKI, D., & POZZER, A. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, 525(7569), 367–371. 2015.
15. MAES, A. de S. Modelagem de dispersão das emissões veiculares de NO₂ e CO no entorno da Avenida Beira Mar Norte em Florianópolis/SC. 2017. 101 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
16. MEIRELLES, T. Inventário de emissões atmosféricas: Um estudo de caso da região de Florianópolis. 2017. 99 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

17. MIEVILLE, A., GRANIER, C., LIOUSSE, C., GUILLAUME, B., MOUILLOT, F., LAMARQUE, J.-F., GREGOIRE, J.-M., PETRON, G.: Emissions of gases and particles from biomass burning during the 20th century using satellite data and an historical reconstruction, *Atmos. Environ.*, 44, 1469–1477, 2010.
18. PILLAR, V. P. Campos Sulinos: Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade. 409 pgs. Brasília. 2009.
19. TEIXEIRA, N. C. CHAGAS, V. B. P. CHAFFE, P. L. B. HOINASKI, L. Análise preliminar da relação entre queimadas e chuvas no estado de Santa Catarina. In: Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos. Florianópolis: S.I. 8 p., 2017.
20. URBANSKI, S. P.; HAO, W. M.; BAKER, S. Chapter 4 Chemical Composition of Wildland Fire Emissions Developments in Environmental Science, 2009.
21. VIBRANS, A.C., MCROBERTS, R.E., MOSER, P., NICOLETTI, A. Using satellite image-based maps and ground inventory data to estimate the area of the remaining Atlantic forest in the Brazilian state of Santa Catarina. *Remote Sensing of Environment* 130: 87-95, 2013.
22. WIEDINMYER, C. et al. The Fire INventory from NCAR (FINN): a high resolution global model to estimate the emissions from open burning. *Geoscientific Model Development*, [s.l.], v. 4, n. 3, p.625-641, 20 jul., 2011.
23. ZHANG, H.; HU, J.; QI, Y.; LI, C.; CHEN, J.; WANG, X.; HE, J.; WANG, S.; HAO, J.; ZHANG, L. Emission characterization, environmental impact, and control measure of PM_{2.5} emitted from agricultural crop residue burning in China. *J. Clean. Prod.* 149, 629–635, 2017.