

Edição Especial

Linhas de instabilidade na região Amazônica e o transporte de gases próximo à superfície durante a ocorrência de downdraft

Squall line in the Amazon region and the transport of gas near the surface during the occurrence of downdraft

Gilmar Henrique Santana da Silva^I, Cléo Quaresma Dias Junior^{II},
Júlia Clarinda Paiva Cohen^I, Stefan Aiko Wolff^{III}

^I Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil

^{II} Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Belém, PA, Brasil

^{III} Max Planck Institute for Chemistry, Mainz, Alemanha

RESUMO

As linhas de instabilidade (LI) são um dos sistemas atmosféricos mais importantes e frequentes na Amazônia e no norte do Nordeste do Brasil. Podem ser entendidas como conjuntos organizados de cumulonimbus, com deslocamento simultâneo, responsáveis por índices elevados de precipitação e modificam a estrutura termodinâmica atmosférica perto da superfície nessas regiões. Sua causa se relaciona com a circulação da brisa marítima e com a oscilação diurna, e são importantes para regiões tropicais, especialmente na Amazônia, os eventos de convecção profunda estão intimamente relacionados à ocorrência de correntes ascendentes e descendentes de ar. As correntes descendentes, conhecidas como downdrafts, são originadas em altos níveis, e são compostas por uma camada de ar frio e denso que se espalha no solo como uma "piscina fria", causando mudanças na direção do vento perto do solo. O downdraft é o elo entre a convecção profunda e as fontes e sumidouros de gases traços, como o (O₃) e (CO₂).

Palavras-chave: Downdraft; Gases; Amazônia

ABSTRACT

The squall lines (LI) are one of the most frequent atmospheric systems in the Amazon and in the north of Northeast Brazil. Can be interpreted as planned according to the planned regions and modified as the planned configuration terms for the corresponding regions. Its cause is related to the circulation of the sea breeze and the diurnal oscillation, and they are important for the transport of heat to the upper troposphere. Its maximum activity can be observed at night. In tropical regions, especially in the Amazon, deep convection events are closely related to the occurrence of updrafts and downdrafts of air. As offspring, known as downdrafts, originate at higher levels, and are composed of layer of dense air

that spreads out into the ground as a “cold pool compound” shifted to changes in wind direction near the ground. Downdraft is the link between deep convection and the sources and sinks of trace gases such as (O₃) and (CO₂).

Keywords: Downdraft; Gases; Amazon

1 INTRODUÇÃO

Aproximadamente dois terços da precipitação global ocorrem em regiões tropicais, principalmente causada por Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) (Houze 1989; Nesbitt *et al.*, 2006; Peters *et al.*, 2009; entre outros). Os SCM são caracterizados como tempestades que se propagam de forma organizada e que podem durar dezenas de horas, resultando em eventos de chuva intensa, ventos fortes e, em muitos casos, tempestades de granizo. As Linhas de instabilidade (LI) são um tipo comum de SCM, frequentemente observados na região amazônica (Cohen *et al.*, 1995). Nesses sistemas as nuvens convectivas se organizam em forma linear, com escalas espaciais superiores a 100 km (Houze *et al.*, 2015).

Na região amazônica, As LI's muitas vezes se originam ao longo da costa norte do oceano Atlântico. Essas tempestades podem se propagar por distâncias muito grandes (maiores que 1000 km) da região de origem, ou podem se dissipar perto da costa (Cohen *et al.*, 1995). Cohen *et al.* (1995) documentaram, de maneira muito didática, as condições ambientais associadas à formação e evolução dessas linhas continente adentro. Ainda segundo Cohen et al. (1995) as LI's que se formam ao longo da costa Norte-Nordeste da AS podem ser classificadas em três tipos, os quais dependerão do deslocamento horizontal dessas linhas para dentro do continente, sendo elas: 1) linhas de instabilidade costeira (LIC): são aquelas cuja propagação horizontal, para o interior do continente, não ultrapassa 170 Km; 2) linhas de instabilidade tipo 1 (LIP1): possuem deslocamento horizontal entre 170 e 400 km para dentro do continente; 3) linhas de instabilidade tipo 2 (LIP2): conseguem mover-se mais de 400 km em diante. Vários estudos demonstraram que as Lis podem causar intensos downdrafts

(correntes descendentes de ar) na região amazônica (Garstang, *et al.*, 1994; Melo *et al.*, 2019). Além disso, vários autores documentaram que tais correntes descendentes podem alterar os níveis de ozônio (O_3) perto da superfície (Gastang *et al.*, 1988; Betts *et al.*, 2002; Gerken *et al.*, 2016). Usando dados do experimento *Large-Scale Biosphere-Atmosphere experiment* (Silva-dias *et al.*, 2002), Betts *et al.* (2002) mostraram que as medições superficiais de temperatura potencial equivalente (Θ_e) e O_3 foram alterados pela presença de downdrafts. Eles mostraram que esses movimentos descendentes apresentavam a capacidade de transportar ar da média e alta troposfera para a superfície, com maior concentração de O_3 e menores valores de Θ_e em relação aos valores encontrados na superfície.

Vários estudos empregando observações experimentais ou modelos numéricos mostraram que a presença de LI intensifica a turbulência em sua vizinhança (Skamarock *et al.*, 1994; Meischner *et al.*, 2001; Verrelle *et al.*, 2017; Alfaro, 2017). No entanto, praticamente não há estudos detalhando o papel das LI's nos processos turbulentos de troca na interface floresta-atmosfera amazônica.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Neste projeto de pesquisa foram usados dados experimentais do projeto ATTO (*Amazon Tall Tower Observatory*, (<https://www.attodata.org/>)), tais como: concentração de O_3 e concentração de CO_2 , medidos em torre micro meteorológica a uma altura de 81 m do solo na reserva florestal do Uatumã.

Para a identificação e acompanhamento da propagação das LI's recorreu-se às imagens de satélite e radar. Os dados de satélite são do GOES-13 (*Geostationary Operational Environmental Satellites*) adquiridos através do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Além disso, o Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM) opera uma rede de radares Doppler banda S (10 cm de espessura), com espaçamento de porta de 500 m e uma largura de feixe de $1,8^\circ$ em toda a Amazônia. Um dos radares do SIPAM está localizado no aeroporto de Manaus ($03,08^\circ$ S; $59,59^\circ$ W). A estratégia de

varredura operacional teve 17 ângulos de elevação a cada 12 min.

As LI's foram identificadas e classificadas de maneira similar ao realizado por Cohen *et al.* (1995), ou seja, as LI's foram classificadas em função do seu deslocamento horizontal para dentro do continente, sendo elas:

1) linhas de instabilidade costeira (LIC): são aquelas cuja propagação horizontal, para o interior do continente, alcança até 170 km. Um exemplo deste tipo de LI ocorreu no dia 05 de abril de 2014 (Figura 4a);

2) linhas de instabilidade com propagação do tipo 1 (LIP1): possuem deslocamento horizontal entre 170 e 400 km para dentro do continente. A Figura 4b mostra uma LIP1 ocorrida no dia 6 de abril de 2014;

3) linhas de instabilidade com propagação do tipo 2 (LIP2) conseguem mover-se mais de 400 km em diante. Na Figura 4c, podemos observar uma LIP2 ocorrida no dia 25 de abril de 2014.

As LI's que foram investigadas neste trabalho foram originadas na costa Norte da América do Sul no período de janeiro a outubro de 2014. Para tanto, recorreu-se às imagens do satélite GOES disponíveis a cada meia hora.

Neste trabalho dar-se-á atenção especial às LIP2, uma vez que são essas linhas que apresentam a capacidade de adentrar o interior do continente, e, em alguns casos, elas passam acima dos sítios experimentais analisados aqui. Sendo assim, teremos a oportunidade de observarmos o impacto da presença de tais linhas na organização da turbulência próximo a uma superfície florestada e outra desmatada.

3 RESULTADOS

Entre os meses de janeiro de 2014 e dezembro de 2015 foram identificados 18 episódios de Linhas de Instabilidade do tipo 2 (LIP2), que ocorreram acima do sítio ATTO. Nas tabelas 1 (2014) e 2 (2015) são mostrados os meses, dias e horários em que essas LIP2 passaram acima do ATTO. Durante o ano de 2014 observou-se onze LIP2 enquanto para o ano de 2015 sete LIP2 passaram acima do ATTO. Vale lembrar

que o ano de 2014 foi um ano “normal”, enquanto o ano de 2015 foi um ano de *El Niño*. Portanto, nota-se que as LIP2 ocorrem em menor número durante os anos de anomalias climáticas.

TABELA 1 – Ocorrências das linhas de instabilidade do tipo LIP2 no ano de 2014 acima do sítio ATTO

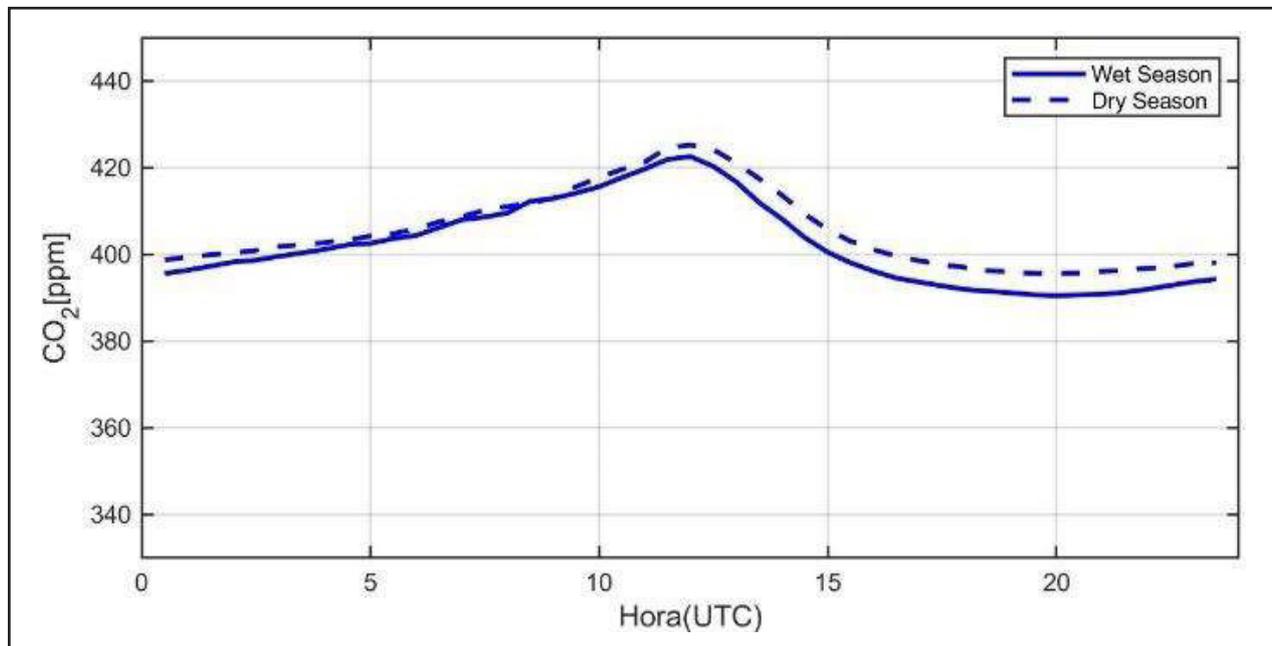
Mês	Dia	Hora UTC
01	18	11:00
02	05	19:00
02	11	08:00
04	01	11:30
04	21	14:30
04	23	15:30
05	29	18:30
08	31	11:30
09	18	20:00
10	18	12:00
12	20	10:30

TABELA 2 – Ocorrências das linhas de instabilidade do tipo LIP2 no ano de 2015 acima do sítio ATTO

Mês	Dia	Hora UTC
02	09	02:30
02	12	16:30
02	17	11:30
02	22	19:00
04	16	11:30
05	06	09:30
07	25	12:00

A Figura 1 mostra o ciclo diário médio da concentração de CO₂ para o ano de 2014, durante as estações seca – *dry season* (de julho a dezembro) e chuvosa – *wet season* (janeiro a junho). Observou-se que a média dessas concentrações de CO₂ esteve acima 400 ppm para o ano de 2014, considerado ano “normal”, sem *El Niño*.

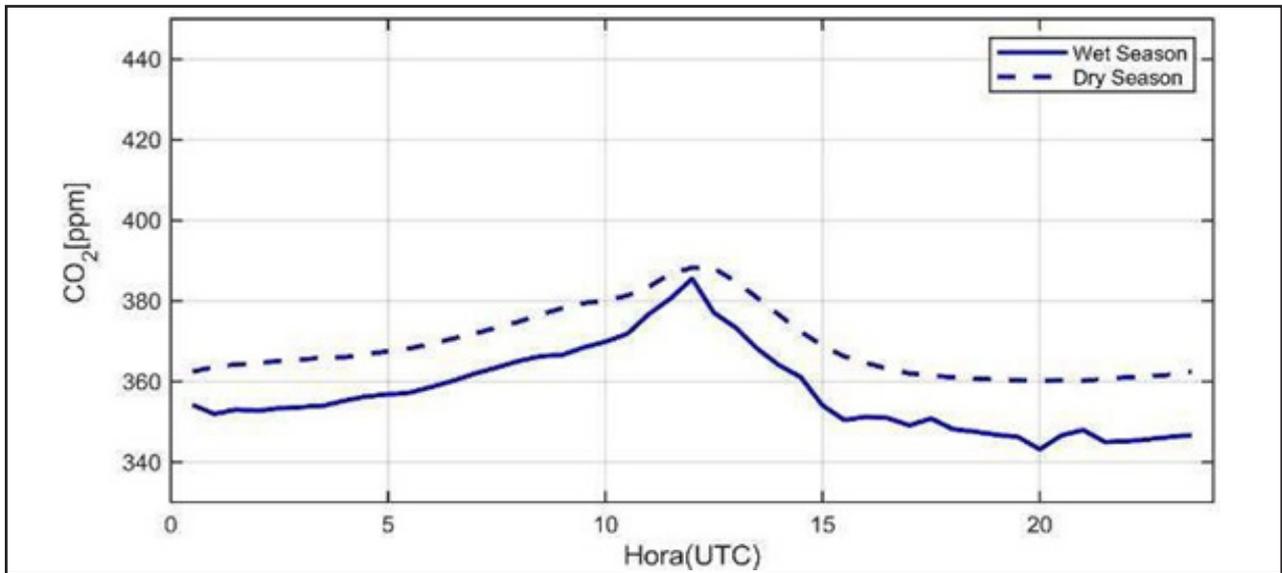
Figura 1 – Ciclo diário médio do CO₂ para o ano de 2014 acima do sítio ATTO. A linha tracejada corresponde ao período seco (Julho a dezembro) e a linha contínua corresponde ao período chuvoso (Janeiro a Junho)



Fonte: Autores

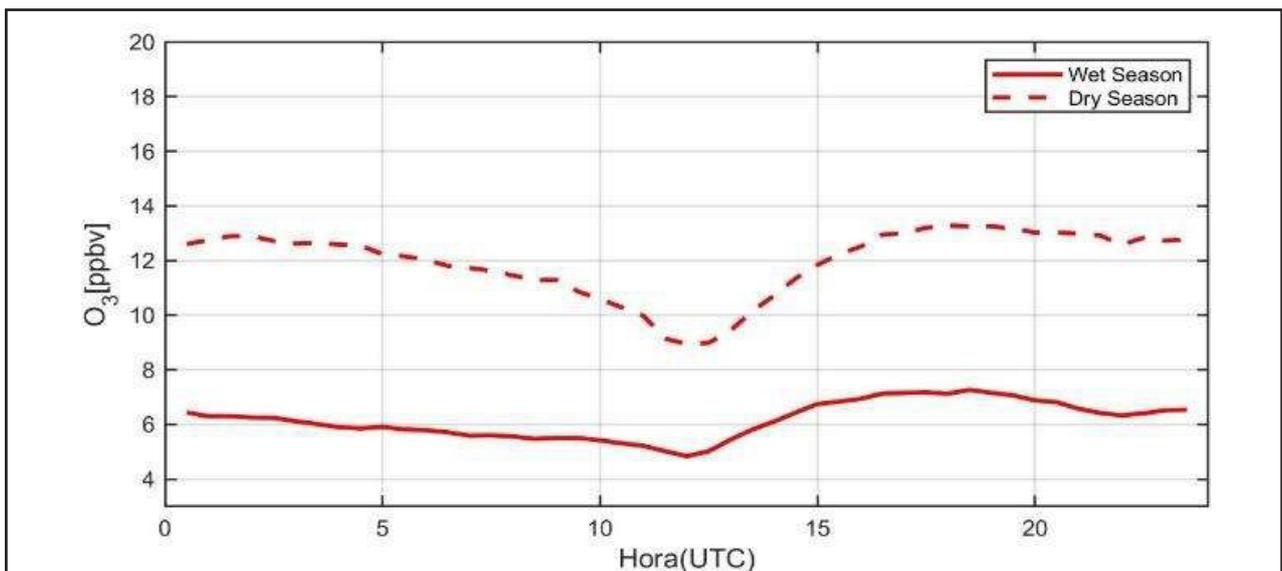
A figura 2 é similar à Figura 1, mas agora ela mostra o ciclo diário médio da concentração de CO₂ para o ano de 2015 (ano de El Niño), observou-se que a concentração de CO₂ esteve abaixo de 400 ppm. Esses menores valores de CO₂ estiveram associados ao período mais seco (El Niño). Sabe-se que, as concentrações de CO₂ para o ano de 2014 foram maiores do que o ano de 2015 devido este último ser um período em que se tem menor formação de nuvens e, por consequência, maior radiação solar próximo à superfície, intensificando o processo de fotossíntese na floresta, logo, diminuindo essa concentração do gás para o ano de 2015 em comparação a 2014 (Figuras 1 e 2).

Figura 2 – Ciclo diário médio do CO₂ para o ano de 2015 acima do sítio ATTO. A linha tracejada corresponde ao período seco (Julho a dezembro) e a linha contínua corresponde ao período chuvoso (Janeiro a Junho)



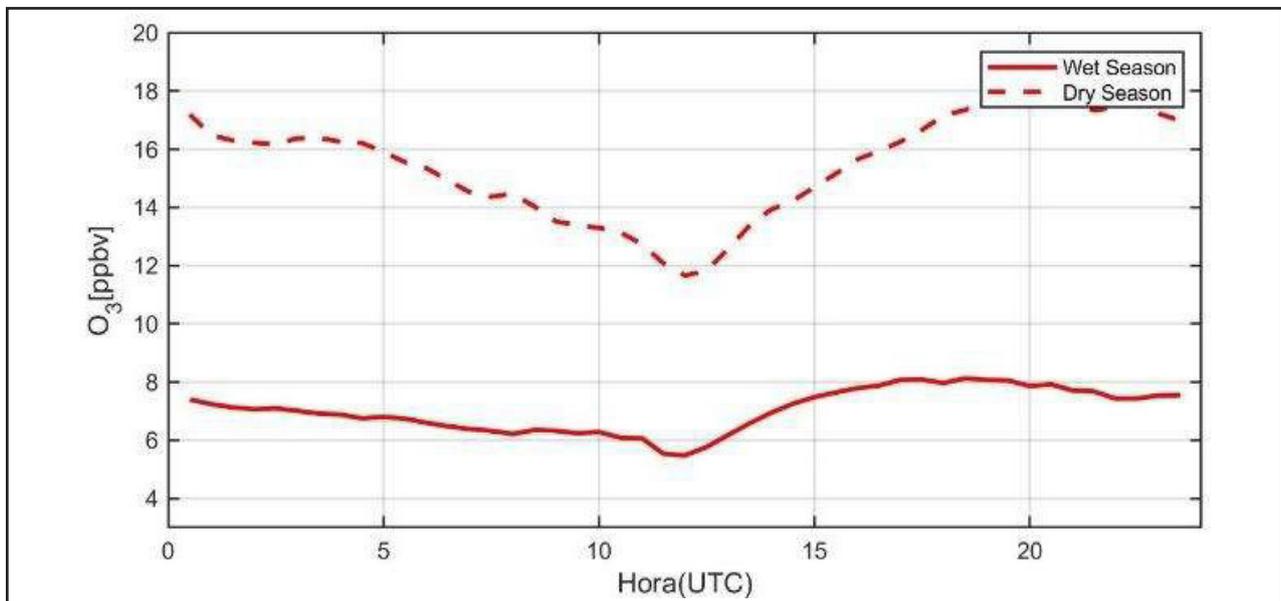
Fonte: Autores

Figura 3 – Ciclo diário médio do O₃ para o ano de 2014 acima do sítio ATTO. A linha tracejada corresponde ao período seco (Julho a dezembro) e a linha contínua corresponde ao período chuvoso (Janeiro a Junho)



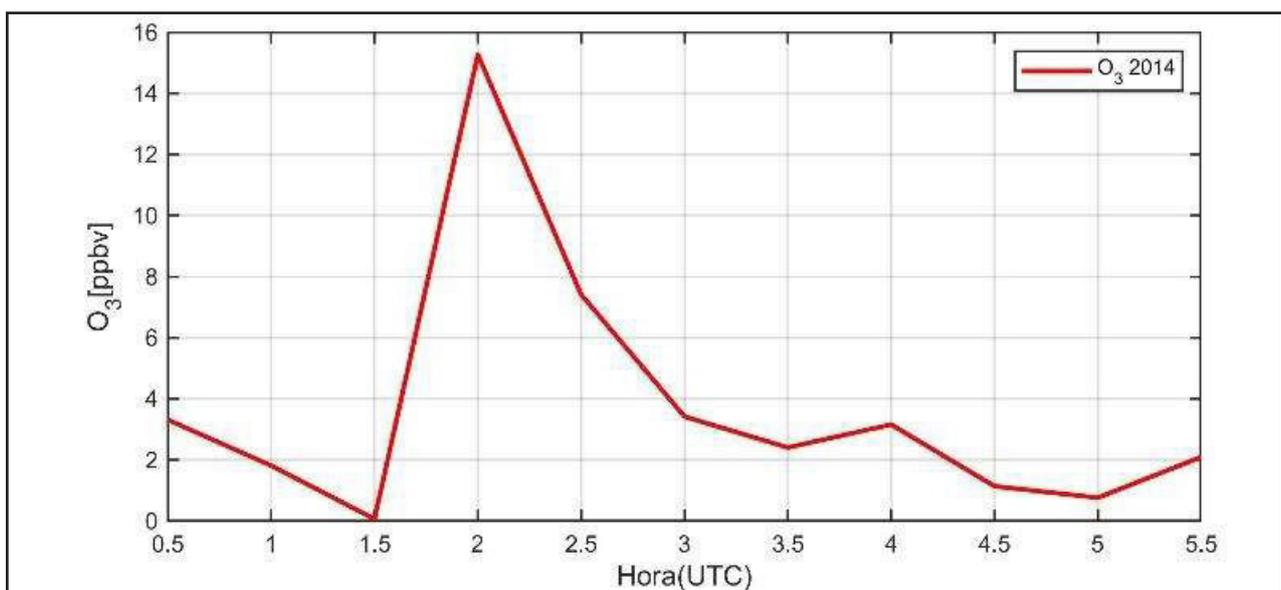
Fonte: Autores

Figura 4 – Ciclo diário médio do O₃ para o ano de 2015 acima do sítio ATTO. A linha tracejada corresponde ao período seco (Julho a dezembro) e a linha contínua corresponde ao período chuvoso (Janeiro a Junho)



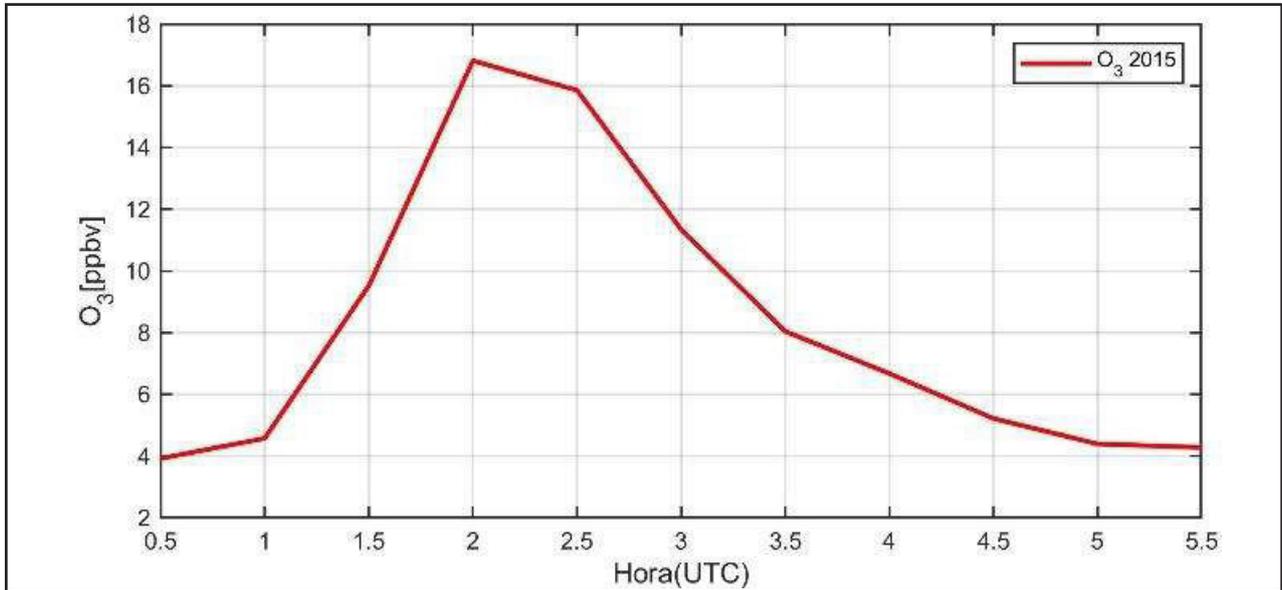
Fonte: Autores

Figura 5 – Variância média de O₃ durante a ocorrências das linhas de instabilidade, acima do sítio ATTO. O time = 2 indica o horário da passagem da Linha



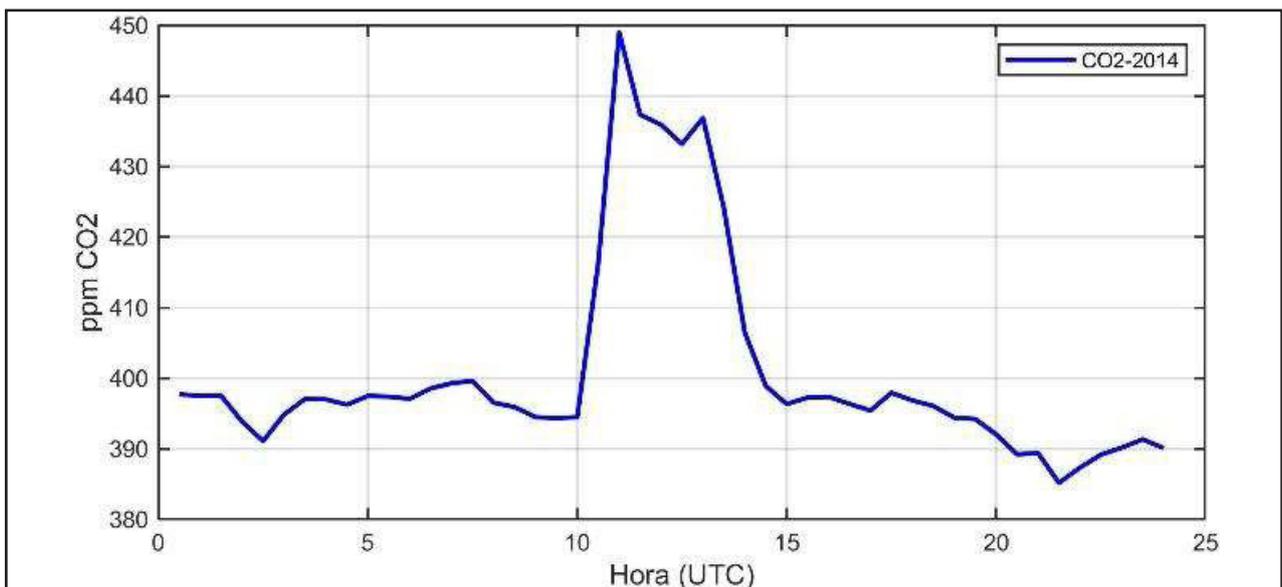
Fonte: Autores

Figura 6 – Variância média de O₃ durante a ocorrência das linhas de instabilidade de 2015 mostradas na Tabela II, acima do sítio ATTO. O time = 2 indica o horário da passagem da Linha



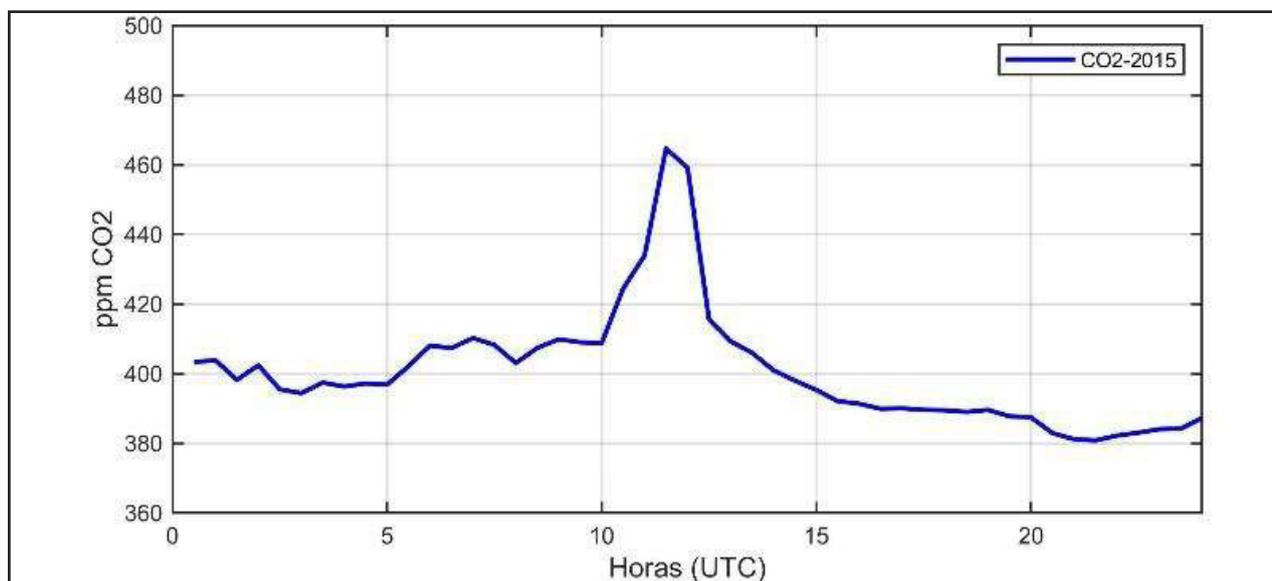
Fonte: Autores

Figura 7 – Concentração do gás CO₂ durante o dia 18/01/2014. A LI esteve a acima do ATTO às 11:00h



Fonte: Autores

Figura 8 – Concentração do gás CO₂ durante o dia 16/04/2015. A LI Esteve acima do ATTO às 11:30h



Fonte: Autores

4 CONCLUSÃO

Observou-se que a concentração de CO₂ esteve abaixo de 400 ppm. Acredita-se que esses menores valores estiveram associados ao período mais seco (*El Niño*). Acredita-se que as concentrações de CO₂ para o ano de 2014 foram maiores do que o ano de 2015 devido este último ser um período em que se tem menor formação de nuvens e, por consequência, maior radiação solar próximo à superfície, intensificando o processo de fotossíntese na floresta, logo, diminuindo essa concentração do gás para o ano de 2015 em comparação a 2014 (Figuras 1 e 2).

Observou-se também, que as concentrações de O₃ durante os anos de 2014 e 2015 estiveram maiores no período seco do que no período chuvoso (Figuras 3 e 4). Além disso, nota-se também que durante o ano de 2015 a concentração de O₃ foi maior do que em 2014. Acredita-se que essas maiores concentrações de O₃ estão relacionadas com a quantidade de radiação solar que chega à superfície, ou seja,

radiação solar produz O₃ (fotólise). Portanto, em anos de *El Niño* e em períodos secos há menores formações de nuvens e maior radiação solar na superfície.

REFERÊNCIAS

Alfaro, D.A. Low-tropospheric shear in the structure of squall lines: Impacts on latent heating under layer-lifting ascent. **J. Atmos. Sci.** 2017, 74, 229–248. [CrossRef]

Betts AK, and Gatti LV, and Cordova AM, and Dias, Maria AF Silva and Fuentes JD. Transport of ozone to the surface by convective downdrafts at night. **J. Geophys. Res.** 2002; 107:LBA-13.

Cohen, J.C.P.; Dias, M.A.F.S.; Nobre, C.A. Environmental Conditions Associated with Amazonian Squall Lines: A Case Study. **Mon. Weather Rev.** 1995, 123, 3163–3174.

Garstang, M.; Massie, H.L., Jr.; Halverson, J.; Greco, S.; Scala, J. Amazon Coastal Squall Lines. Part I: Structure and Kinematics. **Mon. Weather Rev.** 1994, 122, 608–622.

Garstang, M.; White, S.; Shugart, H.H.; Halverson, J. Convective cloud downdrafts as the cause of large blowdowns in the Amazon rainforest. **Meteorol. Atmos. Phys.** 1998, 67, 199–212.

Gerken, T.; Wei, D.; Chase, R.J.; Fuentes, J.D.; Schumacher, C.; Machado, L.A.; Andreoli, R.V.; Chamecki, M.; de Souza, R.A.F.; Freire, L.S.; *et al.* Downward transport of ozone rich air and implications for atmospheric chemistry in the Amazon rainforest. **Atmos. Environ.** 2016, 124 Pt A, 64–76. [CrossRef]

Houze, R.A., Jr. Observed structure of mesoscale convective systems and implications for large-scale heating. **Q. J. R. Meteorol. Soc.** 1989, 115, 425–461.

Meischner, P.; Baumann, R.; Höller, H.; Jank, T. Eddy dissipation rates in thunderstorms estimated by Doppler radar in relation to aircraft in situ measurements. **J. Atmos. Ocean. Technol.** 2001, 18, 1609–1627. [CrossRef]

Nesbitt, S.W.; Cifelli, R.; Rutledge, S.A. Storm Morphology and Rainfall Characteristics of TRMM Precipitation Features. **Mon. Weather Rev.** 2006, 134, 2702–2721.

Peters, O.; Neelin, J.D.; Nesbitt, S.W. Mesoscale convective systems and critical clusters. **J. Atmos. Sci.** 2009, 66, 2913–2924.

Silva Dias, M.A.F.; Rutledge, S.; Kabat, P.; Silva Dias, P.L.; Nobre, C.; Fisch, G.; Dolman, A.J.; Zipser, E.; Garstang, M.; Manzi, A.O.; *et al.* Cloud and rain processes in a biosphere-atmosphere interaction context in the Amazon Region. **J. Geophys. Res. Atmos.** 2002, 107, LBA 39-1–LBA 39- 18.

Skamarock, W.C.; Weisman, M.L.; Klemp, J.B. Three-dimensional evolution of simulated long-lived squall lines. **J. Atmos. Sci.** 1994, 51, 2563–2584.

Verrelle, A.; Ricard, D.; Lac, C. Evaluation and improvement of turbulence parameterization inside deep convective clouds at kilometer-scale resolution. **Mon. Weather Rev.** 2017, 145, 3947–3967. [CrossRef]

Contribuições de Autoria

1 – Gilmar Henrique Santana da Silva

Universidade Federal do Pará - UFPA, Mestrando do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais - PPGCA, UFPA

<https://orcid.org/0009-0001-5973-2260> • gilmar123henrique123@gmail.com

Contribuição: Investigação, Visualização de dados, Escrita – Primeira Redação, Revisão e Edição

2 – Cléo Quaresma Dias Junior

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - IFPA, PhD em Clima e Ambiente pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

<https://orcid.org/0000-0003-4783-4689> • cleo.quaresma@ifpa.edu.br

Contribuição: Metodologia, Supervisão, Escrita – Revisão e Edição

3 – Júlia Clarinda Paiva Cohen

Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - PPGCA, PhD em Ciências Atmosféricas pela Universidade de São Paulo

<https://orcid.org/0000-0003-2048-8915> • jpc Cohen@ufpa.br

Contribuição: Metodologia, Supervisão

4 – Stefan Aiko Wolff

Max Planck Institute for Chemistry, Mestre em meteorologia - Leibniz Universitat Hannover

<https://orcid.org/0000-0003-0103-4889> • stefan.wolff@mpic.de

Contribuição: Metodologia, Supervisão

Como citar este artigo

SILVA, G. H. S. da; DIAS JUNIOR, C. Q.; COHEN, J. C. P.; WOLFF, S. A. Linhas de instabilidade na região amazônica e o transporte de gases próximo à superfície durante a ocorrência de Downdraft. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 45, n. esp. 2, e81657, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5902/2179460x81657>. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/81657>. Acesso em: dia mês abreviado ano.