

Análise termodinâmica através de índices de instabilidade: um estudo de caso sobre linha de instabilidade ocorrida em Boa Vista (RR)

A linha de Instabilidade (LI) é uma linha de nebulosidade contendo regiões de convecção profunda, que pode ser contínua ou não, que se propagam em mesoescala. Essa pesquisa analisa a termodinâmica da atmosfera utilizando alguns índices de instabilidade como: total totals (TT), K, showalter (SWI), índice levantamento (LI) e a energia potencial convectiva disponível (CAPE), antes, durante e após a passagem de uma LI na cidade de Boa Vista-RR, no dia 01/07/2022. Os dados utilizados foram de radiossondagens realizadas em horários sinóticos e a análise da estrutura termodinâmica da atmosfera foi feita por meio de diagramas Skew T log P. Os resultados mostram diferenças nos perfis termodinâmicos da atmosfera, entre os horários estudados, o diagrama termodinâmico mostrou que, desde o início do dia, a atmosfera já se apresentava úmida e instável, isto é, em estado favorável para a formação de convecção intensa. Portanto, os índices de instabilidade apresentaram bons resultados referentes a estabilidade e instabilidade da atmosfera, nos respectivos horários estudados.

Palavras-chave: Convecção; Índices de instabilidade; Radiossondagens.

Thermodynamic analysis through instability indices: a case study on the instability line occurred in Boa Vista (RR)

The squall line (LI) is a line of cloudiness containing regions of deep convection, which may or may not be continuous, that propagate in mesoscale. This research analyzes the thermodynamics of the atmosphere using some instability indices such as: total totals (TT), K, showalter (SWI), lift index (LI) and available convective potential energy (CAPE), before, during and after the passage of an LI in the city of Boa Vista-RR, on 07/01/2022. The data used came from radio soundings carried out at synoptic times and the analysis of the thermodynamic structure of the atmosphere was performed using Skew T log P diagrams. The results show differences in the thermodynamic profiles of the atmosphere, between the times studied, the thermodynamic diagram showed that, since the beginning of the day, the atmosphere was already humid, in a favorable state for the formation of intense convection. The conclusion of this work was that the instability indices presented excellent results regarding the stability and instability of the atmosphere, in the respective studied times.


Keywords: Convection; Instability Indices; Radio soundings.


Topic: **Meteorologia e Climatologia**


Received: **04/09/2022**


Approved: **10/09/2022**


Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Raimundo Vitor Santos Pereira 
Universidade Federal do Pará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3013680497229778>
<https://orcid.org/0000-0003-3745-1617>
vitorspereira2010@gmail.com

Augusto Gabriel da Costa Pereira 
Universidade Federal do Pará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7826106711351161>
<https://orcid.org/0000-0002-3188-9741>
costapereira620@gmail.com

Reinaldo Matheus Reis Ribeiro 
Universidade Federal do Pará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0053931753015466>
<https://orcid.org/0000-0001-5778-4350>
fatimasouzagrupalambiental@gmail.com

Ludmila Monteiro da Silva 
Universidade Federal do Pará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1565865589398547>
<https://orcid.org/0000-0003-0584-511X>
ludmila@ufpa.br

Willie Nelson Farias do Nascimento 
Universidade Federal do Pará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9785409877368256>
willienelsonfarias@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2318-2881.2022.004.0004

Referencing this:

PEREIRA, R. V. S.; PEREIRA, A. G. C.; RIBEIRO, R. M. R.; SILVA, L. M.; NASCIMENTO, W. N. F.. Análise termodinâmica através de índices de instabilidade: um estudo de caso sobre linha de instabilidade ocorrida em Boa Vista (RR). **Nature and Conservation**, v.15, n.4, p.29-39, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-2881.2022.004.0004>

INTRODUÇÃO

Em todas as regiões do Brasil ocorrem fenômenos de mesoescala, sendo caracterizados e identificados como tempestades organizadas em sistemas que atuam por diversas horas, provocando rajadas fortes de vento, chuvas intensas e, muitas vezes queda de granizo (DIAS, 2009). Dentro desse contexto, encontramos a linha de instabilidade (LI), a qual é uma linha de nebulosidade contendo regiões de convecção profunda, que pode ser contínua ou não, e apresenta-se bem configurada no fim da tarde ou início da noite (COHEN, 1989).

A LI é a porção dianteira de um distúrbio que se propagam em mesoescala, aqui referido como squall system, ela consiste basicamente em nuvens cumulonimbus e cumulus, e apresenta na sua retaguarda uma nuvem do tipo bigorna que em geral possui bastante precipitação (HOUZE, 1993). As pesquisas propõem que as LI's estão associadas ao aquecimento solar e circulação de brisa, os quais surgem como mecanismos de formação (KOUSKY, 1980). O período do dia preferencial para sua formação é durante a tarde, justamente em resposta à penetração da brisa marítima na região costeira, e maior atividade convectiva que ocorre no fim da tarde ou início da noite, sendo assim formadas as LI's (CAVALCANTI et al., 1982).

Nas regiões tropicais as LI's se destacam como grandes sistemas de mesoescala presente na localidade (LOUREIRO, 2005). Essa região é identificada por ser muito quente e úmida durante o ano todo, o que favorece as atividades convectivas para grandes tempestades. Dentre os sistemas de mesoescala atuantes, as LI's são responsáveis por aproximadamente 45% do total de chuvas de regiões tropicais (GRECO, 1990). A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é um dos mecanismos que modulam e contribuem para o elevado regime pluviométrico na Amazônia (COHEN et al., 1995). Segundo Cavalcanti (1982), existe uma relação entre o deslocamento da ZCIT e a posição da formação de uma LI. Na qual foi observado, que as LI's se formam mais ao sul, justamente no mês de março quando a ZCIT se encontra deslocada ao sul abaixo da linha do equador, e no mês de agosto as LI's se formam mais ao norte, quando a ZCIT está acima da linha do equador, mais ao norte (SANTOS NETO, 2004).

Segundo Garstang (1994), as LI's durante seu ciclo de vida passam por diversos estágios, desde a sua formação até a dissipação, que são classificados como: gênese, intensificação, maturação e dissipação. No estágio da gênese, surgem as primeiras células de tempestades, de forma isolada, que começam a unir-se e aumentar com o tempo, a convecção dessas células está associada ao mecanismo de brisa durante a tarde. No estágio da intensificação é notado quando os movimentos de ar no interior do sistema ganham força no final da tarde e início da noite. O estágio de maturação é identificado pelo seu tamanho máximo do sistema de quase 3000 km de comprimento, com os aglomerados de CB's organizados em forma de linha. No último estágio, na dissipação, os aglomerados convectivos perdem sua estrutura de mesoescala, se espalhando e, logo perdendo intensidade.

Cohen (1989) classificou as LI, que ocorrem nas costas norte e nordeste do Brasil, conforme a sua penetração no continente. As LI podem ser denominadas como: Linhas de Instabilidade Costeira (LIC) e Linhas de Instabilidade com Propagação (LIP), as quais se subdividem em 2 grupos: LIP do tipo 1 (quando a LI se

desloca entre 170 e 400 km adentro do continente) e LIP do tipo 2 (quando a LI se desloca mais que 400 km adentro do continente). Quanto a sua intensidade, as LI podem ser classificadas como: fraca, moderada ou forte. Conforme mostrado por Santos Neto (2004), as LI com intensidade moderada ocorreram entre abril e setembro, as LI mais fracas ocorreram nos meses de outubro a dezembro, e as LI mais fortes ocorreram de janeiro a março.

O objetivo deste trabalho é analisar o comportamento termodinâmico da atmosfera, antes, durante e após a passagem de uma linha de instabilidade, utilizando alguns índices de instabilidade como: total totals (TT), K, showalter (SWI), índice levantamento (LI) e a energia potencial convectiva disponível (CAPE). Com isso, se pontuará e classificará a intensidade da instabilidade da atmosfera durante a passagem da LI, ocorrida na cidade de Boa Vista, capital de Roraima, no dia primeiro de julho de 2022.

METODOLOGIA

Para analisar a termodinâmica da atmosfera durante a passagem da LI, se adquiriu elementos meteorológicos coletados através de radiossondagens, realizadas na cidade de Boa Vista. Então, nessa sessão será explanada a área de estudo, os dados utilizados para essa pesquisa e os métodos para atingir o objetivo do estudo.

Área de estudo

Boa Vista é um município brasileiro e capital do estado de Roraima, Região Norte do país. A cidade está a 76 metros de altitude, com coordenadas geográficas: latitude 2° 49' 10', longitude 60° 40' 17'' oeste. O clima de Boa Vista é considerado tropical úmido, com o inverno seco e o verão chuvoso. A temperatura varia de 22 a 35°C, dada sua localização relativamente próxima à linha do equador. Sua temperatura média compensada é de 28 °C anuais, sendo de 76% sua média da umidade relativa do ar. A precipitação média anual é superior a 1700 milímetros (mm).

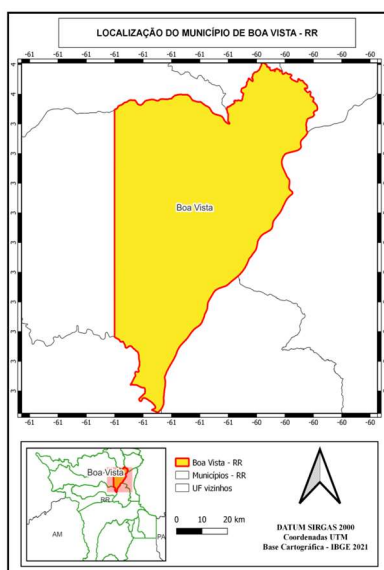


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.

Dados

Para análise termodinâmica desse trabalho, serão utilizadas radiossondagens realizadas nos seguintes horários sinóticos: 0000, 0600, 1200 e 1800 UTC. A análise da estrutura termodinâmica da atmosfera será feita por meio de diagramas Skew T log P disponibilizados em página de internet¹. A partir disso, foi possível verificar o grau de instabilidade indicado pelos índices termodinâmicos e, também os perfis verticais de temperatura e umidade da atmosfera.

Para identificação e descrição da LI, que ocorreu no dia 01/07/2022, foram utilizadas imagens de satélites junto a Divisão de Satélites do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE). As imagens foram adquiridas pelo canal 13 (infravermelho) do satélite GOES-16, nos seguintes horários: 1700, 1830, 2000, 2100, 2300 e 0100 UTC, sendo que a última imagem foi analisada no dia 02/07/2022.

Foram utilizados dados de precipitação da Nacional Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), do produto Climate Prediction Center Morphing Method (CMORPH), que consiste em estimativa de precipitação por satélite de alta resolução, coletada num intervalo de tempo de 30 minutos. Após essa coleta, os dados de precipitação foram compilados de uma em uma hora para serem analisados.

Índices termodinâmicos

Para a análise da estrutura termodinâmica da atmosfera, os índices de instabilidades utilizados foram: total totals (TT), K, showalter (SWI), índice de levantamento (LI) e energia potencial convectiva disponível (CAPE).

Total Totals

Este índice de instabilidade também pode ser utilizado para determinar a possibilidade de ocorrência de tempestades em uma determinada região, utilizando os dados obtidos de radiossondagens (Miller, 1972). É obtido pela equação:

$$TT = T(850) + Td(850) - 2.T(500) \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Onde:

T850 = temperatura do ar no nível de 850 hPa;

T500 = temperatura do ar no nível de 500 hPa;

Td 850 = temperatura do ponto de orvalho no nível de 850 hPa.

Tabela 1: Valores de Total Totals e as condições de tempo esperadas.

< 43	Tempestades improváveis
43 – 44	Tempestades isoladas
45 – 46	Tempestades dispersas
47 – 48	Tempestades dispersas e severas isoladas
49 – 50	Tempestades dispersas e tornados isolados
51 – 52	Tempestades dispersas numerosas e tornados isolados
53 – 55	Tempestades numerosas e tornados dispersos
>56	Tornados

Fonte: Miller (1972).

¹ <https://meteorologia.unifei.edu.br/produtos/skewt/>

Índice K

Segundo Whiting, este é mais um índice utilizado para investigar a possibilidade de formação de tempestades na atmosfera. Whiting utilizou os três primeiros parâmetros como índice de modificação do potencial de tempestades, através da seguinte equação:

$$K = T(850) - T(500) + Td(850) - T(700) - Td(700) [^{\circ}\text{C}]$$

Onde:

T850: temperatura do ar em 850 hpa;

T500: temperatura do ar em 500 hpa;

Td850: temperatura do ponto de orvalho em 850 hpa;

Td700: temperatura do ponto de orvalho em 700 hpa.

Tabela 2: Valores de K e as condições de tempo esperadas.

De 20 a 25	Formação de CB'S isolados
De 25 a 30	Formação de CB'S muito esparsos
De 30 a 35	Formação de CB'S esparsos
Acima de 35	Formação de CB'S numerosos

Fonte: George (1960).

Índice de Showalter (SWI)

Através da diferença entre a temperatura da parcela de ar e do ambiente em 500 hpa, se pode medir a estabilidade atmosférica da atmosfera local (SHOWALTER, 1947).

$$SWI = T500 - TP500 [^{\circ}\text{C}]$$

Tabela 3: Valores de showalter e as condições de tempo esperadas.

3 a 1	Possíveis tormentas
0 a -3	Instável (prováveis tormentas)
-4 a -6	Muito instável
Menor que -6	Extremamente instável

Fonte: National Weather Service.

Índice levantamento (LI)

O LI é importante para analisar o grau de instabilidade atmosférica, especialmente quando combinado com o CAPE (NASCIMENTO, 2005).

$$LI = T500 - TP500 [^{\circ}\text{C}]$$

Onde:

T500: temperatura do ar em 500 hpa.

TP500: temperatura de uma parcela de ar em 500 hPa após ascender.

Tabela 4: Valores de índice de levantamento e as condições de tempo esperadas.

Menor que 6	Ambiente muito estável (sem possibilidade de tempestade)
6 a 1	Ambiente estável (pouca possibilidade de tempestade)
1 a -2	Ambiente pouco instável (possibilidade de tempestade favorecendo a ascensão de ar)
-2 a -6	Ambiente instável (possibilidade de tempestade severas)
Menor que -6	Ambiente muito instável (grande possibilidade de tempestades severas)

Fonte: National Weather Service.

Energia Potencial Convectiva Disponível (CAPE)

É a quantificação da energia potencial disponível para a formação da convecção. Em geral, quanto

maior é o CAPE [J.kg⁻¹][J/kg], maior é a força das correntes ascendentes da tempestade. Ele é a área positiva de um diagrama termodinâmico (Skew T- LogP) (HOUZE, 1993).

$$CAPE = \int_{z=NCE}^{z=NE} g \frac{\Delta\theta_e}{\theta_{es}} dz$$

g = aceleração da gravidade;

NE = nível de equilíbrio;

NCE = nível de convecção espontânea;

$\Delta\theta_e$ = diferença entre a temperatura potencial equivalente da parcela em superfície e a temperatura potencial equivalente saturada, para cada nível da radiossondagem;

θ_{es} = temperatura potencial equivalente saturada, de cada nível da radiossondagem.

Tabela 5: Valores de CAPE e as condições de tempo esperadas.

Valor da CAPE (J.kg ⁻¹)	Condição de tempo
Abaixo de 0	Estável
0 a 1000	Marginalmente instável
1000 a 2500	Moderadamente instável
2500 a 3500	Muito instável
Acima de 3500-4000	Extremamente instável

Fonte: National Weather Service.

RESULTADOS

Nesta sessão serão utilizadas imagens de satélite e os perfis verticais de temperatura do ar (T) e de temperatura do ponto de orvalho (Td) para analisar os resultados a seguir.

Análise das imagens de satélite

Nas imagens de satélite (Figura 2), é notável a presença de nebulosidade com intensa atividade convectiva, aglomerados de nuvens que foram se formando ao longo da Guiana até o norte do Amazonas, em uma disposição nordeste-sudoeste, caracterizando uma LI. Às 1700 UTC já se observava a formação de células convectivas sobre a região estudada, e às 1830 UTC as células convectivas em desenvolvimento se destacavam sobre toda região de Roraima, uma parte do Amazonas e Guiana.

Às 2000 UTC essas células se intensificaram e já possuíam um alinhamento quase sólido, devido ao forte aquecimento da superfície e a atuação do sistema de brisa. Já entre 2100 UTC e 2300 UTC se observa a máxima intensidade do sistema convectivo, caracterizado por nuvens de grande desenvolvimento vertical. A imagem de 01:00 UTC corresponde ao dia 02/01/2022, onde já se observa o fenômeno perdendo força, e se dissipando.

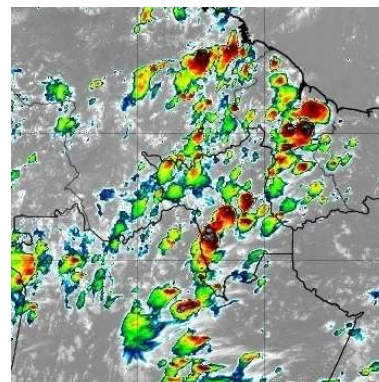
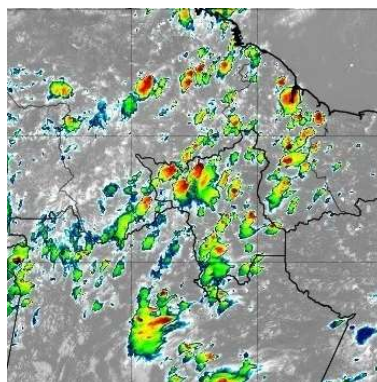
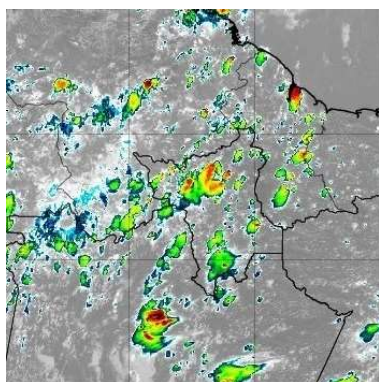




Figura 2: Imagens de satélites no canal infravermelho, pertencentes ao GOES-16. O fenômeno ocorreu no período da tarde, no dia 01/07/2022. As imagens abaixo correspondem às 1700, 1830, 2000, 2100, 2300 e 0100 UTC, sendo que a última imagem foi analisada no dia 02/07/2022, respectivamente.

Precipitação

A figura 3 representa a precipitação horária observada no dia primeiro de julho de 22, nota-se que a precipitação acumulada durante o dia foi de em torno de quase 10 mm, pode-se observar que os valores horários foram concentrados no final da tarde entre 17 e 18h local, e também durante a noite em torno das 21 até 23h local. A precipitação ocorrida nesses horários está associada ao evento de LI que está acontecendo na cidade de Boa Vista-RR, como é possível visualizar de acordo com as imagens satélite disponíveis, que se tem a presença de aglomerados de nuvens convectivas em forma de linha.

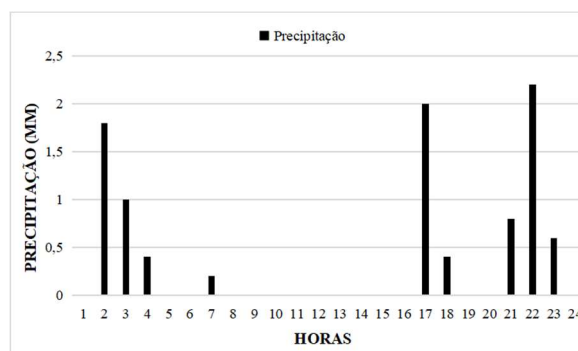


Figura 3: precipitação Horária acumulada no dia 01/07/2022.

Análise de diagramas Skew T log P

As Figuras 4, 5, 6 e 7 apresentam diagramas Skew T Log P que representam os dados observados pelas sondagens atmosféricas nos horários 1200, 1800, 0000 e 0600 UTC, que correspondem às 8, 14, 20 e 2h, no horário local de Boa Vista, realizadas no dia 01/07/2022 e 02/7/2022.

O diagrama termodinâmico (Figura 4) mostra que a temperatura do ar e do ponto de orvalho estão próximas em quase toda radiossonda, desde os baixos níveis, próximo à superfície até em torno de 250 hpa, com umidade relativa variando entre 70% a 89%. Ou seja, desde cedo a atmosfera já se apresentava úmida, e em estado favorável para a formação de convecção intensa, ou de possíveis sistemas convectivos. Porém, é notável a presença de CINE, a qual representa a energia negativa disponível para que haja convecção, isto é, é um inibidor de convecção, para esse horário no período do dia, pois a CINE dificulta o trabalho que o ambiente deve realizar na parcela, para elevá-la ao seu nível de condensação por levantamento (NCL)

(CLIMATOLOGY, 2019).

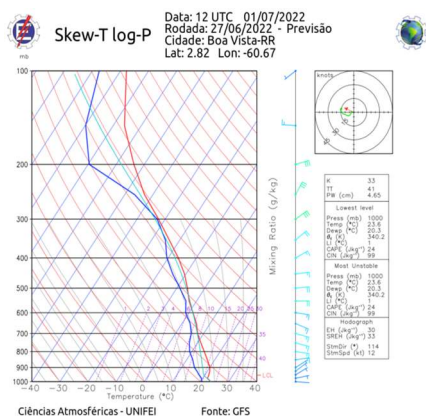


Figura 4: Diagrama termodinâmico referente às 12:00 UTC. Fonte: Unifei (2022).

Através da Figura 5 se observa que as primeiras camadas próximas à superfície se encontram úmidas, e com a temperatura do ar mais intensa com exatamente 29°C, devido ao aquecimento diurno. Vale ressaltar, que na figura 5 o NCL se encontra a uma altura próxima a superfície (em torno de 990 hPa), indicando uma certa facilidade para a parcela atingir a saturação por levantamento forçado. Esse diagrama termodinâmico é marcado por um CAPE mais intenso, e pelo desaparecimento do CINE, mostrando que o ambiente já se encontrava bastante instável durante a radiossondagem, ou seja, estava ocorrendo a intensa ascensão de ar, para o desenvolvimento de nuvens cumulonimbus.

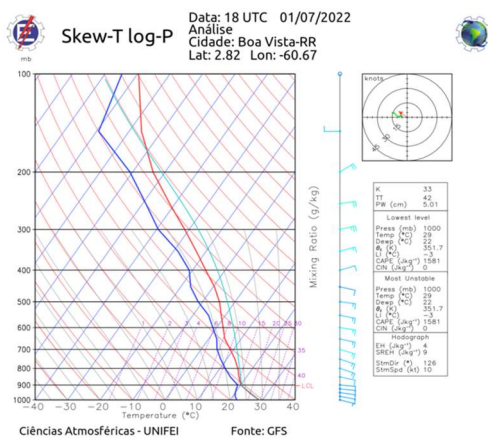


Figura 5: Diagrama termodinâmico referente às 18:00 UTC. Fonte: Unifei (2022).

Nota-se na Figura 6, próximo a superfície, que há uma diferença de quase 10°C entre as curvas de T e de T_d, indicando que a instabilidade foi reduzida. Em níveis médios, o perfil da atmosfera apresenta algumas camadas úmidas, e observa-se que o NCE vai de 890 hPa até em torno de 180 hPa, que indica o nível de equilíbrio, ou seja, o topo da uma nuvem. O CAPE mesmo se apresentando com uma menor intensidade, ainda possui um valor considerável, indicando convecção. Devido a esse valor menor de CAPE, pode-se deduzir que a atmosfera consumiu uma boa parte da energia disponível na formação de convecção úmida, e conseqüentemente houve precipitação como é visualmente visto na figura 3, mas ainda assim a atmosfera se encontra ligeiramente instável (SILVA, 2001).

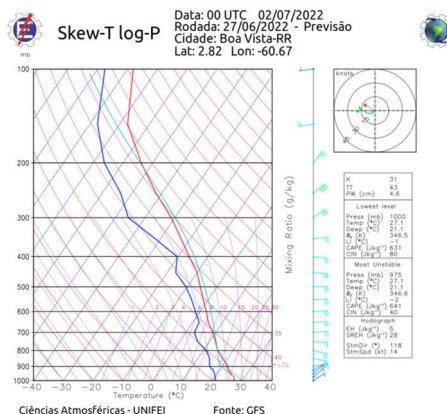


Figura 6: Diagrama termodinâmico referente às 00:00 UTC. Fonte: UNIFEI (2022).

A Figura 7 representa uma sondagem logo após a passagem da LI sobre Boa vista, é visível que a atmosfera se encontra instável apenas em baixos níveis, próximo à superfície, em níveis médios e níveis altos a atmosfera se encontra estável, mas ainda com o alto teor de umidade até o nível de 350 hPa. Nesta sondagem, os valores de CAPE se apresentam baixos, indicando que ela foi consumida durante a chuva que ocorreu entre às 17 a 18h30m e 21 a 23h em horário local. E observa-se que os valores de CINE são bem mais altos e inibe completamente a parcela de subir de forma espontânea para que haja convecção, é visível que a parcela sobe em um nível bem mais acima em relação às outras sondagem, ou seja, quanto mais alto for o NCE, mais difícil será nova convecção úmida (FOSS, 2011).

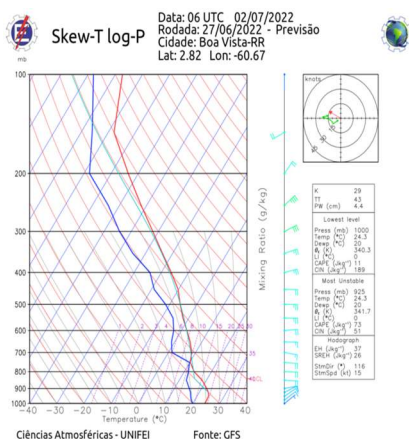


Figura 7: Diagrama termodinâmico referente às 00:06 UTC. Fonte: Unifei (2022)

Índices de Instabilidade

Na Tabela 6 são apresentados os valores dos índices de instabilidade antes da formação, durante a ocorrência da LI e depois que ela se dissipou. Os índices que correspondem à tabela abaixo são: total totals (TT), K, showalter (SWI), índice de levantamento (LI) e a energia potencial convectiva disponível (CAPE).

Tabela 6: Valores dos índices termodinâmicos.

Índice	12 UTC	18 UTC	00 UTC	06 UTC
TT(°C)	41	42	43	43
K(°C)	33	33	31	29
SWI	-3	-2	-2	-2
LI	1	-3	-2	0
CAPE(J kg ⁻¹)	24	1581	641	73

Note que na radiossonda de 12 UTC, horário que antecede a passagem da LI, a atmosfera é caracterizada por estar estável de acordo com o valor do índice de levantamento, e o CAPE apesar de apresentar um valor baixo, mostra que a região já se encontra com um pequeno valor de convecção. Já os valores do índice TT condiz com uma atmosfera com tempestades improváveis, com formação de CB's esparsas, de acordo com o índice K. Devido a esses valores, esse horário corresponde respectivamente a uma atmosfera de ambiente estável com pouca possibilidade de tempestade, e havendo pouca instabilidade para esse período do dia. Além disso, 12 UTC equivale a 8h da manhã em horário local, logo, o dia só estava começando a receber seus primeiros raios solares, que são fundamentais para poder haver uma convecção mais intensa devido ao aquecimento diurno.

Às 18 UTC a radiossonda apresenta uma atmosfera com condições diferentes, com alguns valores um pouco mais elevados. O CAPE apresenta valores entre 1000 e 2000 J.kg⁻¹, que permite classificar a atmosfera como moderadamente instável. O valor do índice de levantamento foi de -3 que representa um ambiente instável com possibilidade de tempestades severas. O valor do índice TT representa uma atmosfera com tempestades improváveis para essa radiossonda, que não é condizente com as condições de tempo indicadas pelos outros índices. O índice K indica formação de nuvens do tipo CB's esparsas. O índice de Showalter indica tempo instável (prováveis tormentas).

Em relação às 00 UTC os resultados mostram que o evento ainda estava atuando, porém com uma menor intensidade, sendo que a CAPE assume um valor de 641 J.kg⁻¹, ainda apresentando uma atmosfera marginalmente instável, combinado com o valor do índice de levantamento temos um tempo pouco instável, o que ainda favorece a ascensão do ar. Os valores de TT, K, e SWI mostram a atmosfera com tempestades isoladas, com formação de nuvens CB's esparsas e ambiente ainda instável.

Às 06 UTC é quando o fenômeno se dissipou, obtendo um valor baixo de CAPE, ou seja, a atmosfera se encontrava ligeiramente instável. O valor do índice de LI coincide com o ambiente muito estável. Nesse momento, a região convectiva desapareceu.

CONCLUSÃO

Nesse estudo de caso averiguou-se as condições termodinâmicas da atmosfera associadas a presença de uma linha de instabilidade ocorrida na cidade de Boa Vista-RR, no dia 01/07/2022. Procurou-se entender o perfil atmosférico antes, durante e depois da passagem do sistema convectivo, que se formou na costa e adentrou o continente. Na descrição do caso estudado, a LI se forma mais ao norte, o que pode ser visualizado nas imagens de satélites. E conforme descrito por Santos Neto (2004), essa localização mais ao norte (acima da linha do Equador) da LI está relacionada à presença da ZCIT.

Os resultados mostram diferenças nos perfis termodinâmicos da atmosfera entre os horários estudados, se observando que logo no início do período diurno a atmosfera se apresenta úmida, e tem grande potencial para convecção profunda úmida no decorrer do dia, sendo que os índices de instabilidade indicam condições de instabilidade equivalentes ao perfil termodinâmico, com destaque para o CAPE e o índice de levantamento, que mostraram condições de instabilidade semelhantes em todas as

radiossondagem do dia. E durante a formação e atuação da LI ocorreu aumento da instabilidade da atmosfera, quando os valores de CAPE (CINE) se mostram elevados (baixos). Os índices TT, K e SWI apresentaram bons resultados referente a estabilidade e instabilidade da atmosfera nos respectivos horários estudados. Desta forma, verifica-se que as ferramentas utilizadas nesta pesquisa, para a identificação e avaliação da instabilidade atmosférica, associada a ocorrência de um caso LI, são de grande importância em uma rotina operacional de previsão de tempo a curto prazo.

REFERÊNCIAS

CAVALCANTI, I. F. A.. **Um estudo sobre interações entre sistemas de circulação de escala sinótica e circulações locais**. 1982. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1982.

AMS. Climatology. In: **GLOSSARY of Meteorology**. American Meteorological Society, 2019.

COHEN, J. C. P.. **Um estudo observacional de linhas de instabilidade na Amazônia**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1989.

COHEN, J. C. P.; DIAS, M. A. F. S.; NOBRE, C. A.. Environmental conditions associated with amazonian squall line: A case study. **Monthly Weather Review**, v.123, n.11, p. 3163–3174, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1995\)123<3163:ECAWAS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1995)123<3163:ECAWAS>2.0.CO;2)

FOSS, M.. **Condições atmosféricas conducentes à ocorrência de tempestades convectivas severas na América do Sul**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

GARSTANG, M.; MASSIE, H.L.; HALVERSON, J.; GRECO, S.; SCALA, J.. Amazon coastal squall lines. Part I: Structure and kinematics. **Monthly Weather Review**, v.122, n.4, p.608-622, 1994.

GEORGE, J. J.. Weather Forecasting for Aeronautics. Academic Press. **Royal Meteorological Society**, v.87, n.371, p.120-120, 1961. DOI: <https://doi.org/10.1002/qj.49708737120>

GRECO, S.; SWAP, R. J.; GARSTANG, M.. Rainfall and surface kinematic conditions over central Amazonia during ABLE 2B. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v. 95, n. 10, 1990.

HOUZE, R. A.. **Cloud Dynamics**. San Diego: Academic Press, 1993.

KOUSKY, V. E.. Diurnal rainfall variation in the Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v.108, n.4, 1980.

LOUREIRO, R. S. M. S.. **Análise de uma Linha de Instabilidade Costeira na Região Leste do Estado do Pará**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2005.

MILLER, R. C.. **Notes on analysis and severe storm forecasting procedures of the Air Force Global Weather Central**. Washington D. C.: The Service, 1972.

NASCIMENTO, E. L.. Previsão de tempestades severas utilizando-se parâmetros convectivos e modelos de mesoescala: uma estratégia operacional adotável no Brasil?. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.1, p.121-140, 2005.

SANTOS NETO, L. A. S.. **Análise Observacional das Linhas de Instabilidade Formadas na Costa Norte-Nordeste da América do Sul**. Monografia (Graduação em Meteorologia) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2004.

SILVA, E. M.. **Impactos da implementação da parametrização de convecção rasa em um modelo de mesoescala**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2001.

SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S.; FERREIRA, N. J.; ALBUQUERQUE, C. I. F.. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

SHOWALTER, A. K.. A Stability Index for Thunderstorm Forecasting. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.34, n.6, p.250-252, 1947.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.