

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS LONDRINA  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**MÁRCIA RAMALHO RODRIGUES**

**ANÁLISE DA SUCESSÃO TEMPORAL DOS DESASTRES NATURAIS  
DE ORIGEM METEOROLÓGICA (VENDAÍAS) OCORRIDOS NA  
CIDADE DE LONDRINA-PR, NO PERÍODO DE 2006 A 2016.**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LONDRINA  
2017**

MÁRCIA RAMALHO RODRIGUES

**ANÁLISE DA SUCESSÃO TEMPORAL DOS DESASTRES NATURAIS  
DE ORIGEM METEOROLÓGICA (VENDAÍAS) OCORRIDOS NA  
CIDADE DE LONDRINA-PR, NO PERÍODO DE 2006 A 2016.**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial, para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Marcelo Eduardo Freres Stipp

**LONDRINA**

**2017**



## TERMO DE APROVAÇÃO

### Título da Monografia

ANÁLISE DA SUCESSÃO TEMPORAL DOS DESASTRES NATURAIS DE ORIGEM METEOROLÓGICA (VENDAÍAS) OCORRIDOS NA CIDADE DE LONDRINA-PR, NO PERÍODO DE 2006 À 2016

por

MÁRCIA RAMALHO RODRIGUES

Monografia apresentada no dia 22 de junho de 2017 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Edson Fontes de Oliveira  
(UTFPR)

---

Prof. Dr. Maurício Moreira dos Santos  
(UTFPR)

---

Prof. Dr. Marcelo Eduardo Freres Stipp  
(UTFPR)  
Orientador

---

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira  
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.”

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que proporcionaram alguma contribuição nesta etapa da minha formação acadêmica. Agradeço à Universidade Tecnológica Federal do Paraná – campus Londrina, seu corpo docente, diretivo, administrativo e terceirizado por oportunizar a conclusão do curso de Engenharia Ambiental, profissão que terei com muito orgulho e exercerei com ética, responsabilidade, amor e dedicação.

Agradeço em especial ao Prof. Dr. Marcelo Eduardo Freres Stipp, por toda confiança, orientação, paciência e amizade durante a realização deste trabalho.

Agradeço à Prof. Dra. Sueli Tavares de Melo Souza, pela dedicação e recomendações durante o curso de graduação, sempre se mostrando disponível.

Agradeço a todos os professores da graduação que, de alguma forma, colaboraram para a realização deste trabalho, e, em especial à banca examinadora: Prof. Dr. Edson Fontes de Oliveira e Prof. Dr. Maurício Moreira dos Santos, muito obrigado pela contribuição na avaliação deste trabalho.

Agradeço ao Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, e à Folha de Londrina pela concessão dos dados necessários para a realização deste estudo.

Agradeço igualmente a todos os meus queridos amigos que fizeram e fazem parte desta caminhada, e que sempre estarão em meu coração, em especial, à: Mayra Curti, Lucas Figueiredo, Khamila Tondinelli, Lívia Bueno, Erika Ivanagava, Priscila e Dirce Campos, Lucas, Maria e Wilson Negro Andrade, e tantos outros que encontrei no caminho e deixaram marcas e ensinamentos em minha trajetória.

Agradeço à minha família, não apenas pela conclusão deste trabalho, mas por sempre estarem ao meu lado nos momentos de alegrias e principalmente nos momentos de adversidades. Meus avós maternos, Maria e Jair; aos meus irmãos amados, Sônia e Márcio. E, aos meus pais, Luiz Inácio, em memória, e à minha mãe, Hamilta Rodrigues, pela dedicação, força, por sua fé, por seu amor e por todos os ensinamentos que me abençoam e que me orientam a ser sempre uma pessoa melhor. Mãe muito obrigado.

Por fim agradeço a todos que colaboraram direta ou indiretamente com a conclusão de mais uma etapa e no mais fica meu agradecimento a todos que torcem pelo meu crescimento.



*“The environment and the economy are really both two sides of the same coin. If we cannot sustain the environment, we cannot sustain ourselves.”*

(Wangari Maathai)

RODRIGUES, Marcia Ramalho. **ANÁLISE DA SUCESSÃO TEMPORAL DOS DESASTRES NATURAIS DE ORIGEM METEOROLÓGICA (VENDAVALS) OCORRIDOS NA CIDADE DE LONDRINA-PR, NO PERÍODO DE 2006 À 2016.** 2017. 112 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental). – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Londrina, 2017.

## RESUMO

A cidade de Londrina está posicionada nas proximidades do Trópico de Capricórnio, por isso em uma zona de forte transição climática. Na estação quente prevalecem os sistemas de baixa pressão, e, os de alta pressão na fria. Nas estações intermediárias ora dominam sistemas de baixa, ora os de alta. Dado que as massas de ar atuantes nesta área possuam sua origem fora da região; ao se deslocarem, provocam mudanças bruscas no tempo, o que desencadeia episódios de ventos intensos ou chuvas que podem ser acompanhados de descargas atmosféricas e de graxino. Foram analisados, através da metodologia de análise rítmica, os sistemas atmosféricos para 5 dias anteriores aos episódios de ventos, dentre os ocorridos no período de 2006 a 2016. Os resultados mostraram que a massa Tropical continental e sistemas frontais são os sistemas gênese dos picos de ventos que atingiram a área. Foi constatado ainda que nos meses de fevereiro, setembro e outubro foi registrada a maior frequência de vendavais, fato que pode estar relacionado com o intenso aquecimento continental durante a transição primavera-verão, o qual provoca uma maior atuação da massa Equatorial continental. Nestes meses foram registrados ventos com picos de 108 e 116 Km/h. Foi ainda identificado um padrão na direção dos ventos, com orientações à SW, NW, NE, N, W e E. Através da compreensão dos sistemas atmosféricos, assim como do resgate histórico sobre a evolução urbana da cidade, foi possível evidenciar a sistematização global dos problemas causados por vendavais sobre a área de Londrina e, assim, elaborar uma proposta para a minimização de tais impactos, através do planejamento arbóreo da cidade.

**Palavras-chave:** Vendaval. Sistemas atmosféricos. Climatologia sinótica. Desastres naturais. Londrina.

RODRIGUES, Marcia Ramalho. **TEMPORAL SEQUENCE ANALYSIS OF METEOROLOGICAL NATURAL DISASTERS (WINDSTORMS) OCCURRED IN THE CITY OF LONDRINA-PR, FROM 2006 TO 2016**. 2017. 112 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental). – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Londrina, 2015.

### **ABSTRACT**

The city of Londrina is positioned in close proximity to the Tropic of Capricorn, thus in a strong climate transition zone. In the warm season prevails the low-pressure systems, and the high-pressure during the cold. Intermediate seasons sometimes present low systems, other times, the high ones. Whereas the air masses that operate in that area have their origin outside that region, by moving, they can provoke abrupt changes in the weather, which triggers episodes of intense winds and rains, that may occur altogether with lightning and hail. Using the rhythmic analysis methodology, atmospheric systems for 5 days prior to the wind episodes occurred from 2006 to 2016 were analyzed. The results showed that the continental Tropical mass and frontal systems are the major origin systems of the winds that reached the area. It was further noted that in the months of February, September and October, the highest frequency of gales was registered, such fact may be related to the continental intense warming during spring-summer transition, which may cause a higher performance of the continental Equatorial mass. In the months previously stated, the wind peaks registered were around 108 and 116 Km/h, and a direction pattern of the winds was also identified, with prevailing directions to SW, NW, NE, N, W, and E. Along with the comprehension of the weather systems, as well with the history of the urban evolution, the systematization of the problems caused by windstorms over the area of Londrina was possible to be acknowledged, and, hence, drafting a proposal to minimize such impacts, by adopting a trees' planning as wind barriers.

**Key-words:** Windstorm. Atmospheric systems. Synoptic Climatology. Natural disasters. Londrina.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - A estrutura da atmosfera, de acordo com mudanças de temperatura, pressão e altitude.....	14
Figura 2 - Isotermas com a temperatura média anual na superfície do globo (em °F)...	16
Figura 3 - Exemplo de nuvem do tipo Cumulonimbus.....	18
Figura 4 - Carta sinótica do Brasil, em evidencia os campos de alta pressão (A) e de baixa pressão (B) e as linhas de mesma pressão (isóbaras).....	24
Figura 5 - Relação entre padrões divergentes, movimentos verticais e pressão superficial.....	26
Figura 6 - Modelo conceitual da circulação geral atmosférica. A célula de Hadley, Ferrel e os jatos subtropical e polar em uma Terra estacionária.....	30
Figura 7 - Massas de ar da América do Sul, com seus centros de ação e deslocamentos.....	39
Figura 8 - Modelo de uma superfície frontal fria, com o conjunto de nuvens associadas.....	42
Figura 9 - Modelo de uma superfície frontal quente, com o conjunto típico de nuvens associadas.....	43
Figura 10 - Classificação dos desastres naturais quanto à origem.....	45
Figura 11 - Classificação da velocidade dos ventos de acordo com a escala Beaufort.....	48
Figura 12 - Centros de ação atuantes na América do Sul.....	52
Figura 13 - Registro de Vendavais no Estado do Paraná de 1991 à 2012.....	55
Figura 14 - Mapa de Localização da cidade de Londrina no estado do Paraná.....	60
Figura 15 - Mapa da expansão urbana de Londrina-PR.....	63
Figura 16 - Variação dos elementos climáticos Fev e Set/2006.....	68
Figura 17 - Variação dos elementos climáticos Set/2006 e Out/2007.....	70
Figura 18 - Variação dos elementos climáticos Nov/2007 e Abr/2008.....	72
Figura 19 - Variação dos elementos climáticos Out/2008 e Fev/2009.....	74
Figura 20 - Variação dos elementos climáticos Set/2009.....	76
Figura 21 - Variação dos elementos climáticos Out/2009 e Out/2010.....	78
Figura 22 - Variação dos elementos climáticos Jan/Fev e Out/2011.....	80
Figura 23- Variação dos elementos climáticos Março e Set/2008.....	82
Figura 24- Variação dos elementos climáticos Jan e Fev/2013.....	84
Figura 25- Variação dos elementos climáticos Set/2013 e Abr/2014.....	86
Figura 26- Variação dos elementos climáticos Ago/2014 e Jan/2015.....	88
Figura 27 - Variação dos elementos climáticos Out/2015 e Abr/2016.....	90
Figura 28- Variação dos elementos climáticos Out/Nov/2016.....	92
Figura 29 - Quebra ventos implantados em fileiras.....	101
Figura 30 - Quebra ventos arbóreos.....	101

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação básica das massas de ar.....	38
Tabela 2 - Condições de tempos provocadas por massas de ar.....	40
Tabela 3 - Datas dos vendavais ocorridos em Londrina no período de 2006 à 2016.....	67

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Ocorrência de vendavais associada à sazonalidade, em Londrina-PR de 2006 à 2016. ....	94
Gráfico 2 – Velocidade máxima do vento associada à sazonalidade, em Londrina-PR, de 2006 à 2016. ....	96
Gráfico 3. Variação da velocidade do vento associada à sazonalidade, em Londrina-PR, de 2006 à 2016. ....	97
Gráfico 4. Direção dos ventos de Londrina-PR nos diferentes meses, de 2006 a 2016.	98

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>13</b>
2.1. ELEMENTOS DO TEMPO ATMOSFÉRICO .....	13
2.2. A MOVIMENTAÇÃO DO AR .....	21
2.3. PRINCÍPIOS DA CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA.....	26
2.4. SISTEMAS PRODUTORES DE TEMPO .....	32
2.4.1. <i>Centros de Ação</i> .....	32
2.4.2. <i>Massas de Ar</i> .....	36
2.4.3. <i>Frentes</i> .....	40
2.5. EVENTOS SEVEROS E DESASTRES NATURAIS .....	44
2.5.1. <i>Vendavais</i> .....	46
2.6. A CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA DA AMÉRICA DO SUL.....	50
2.6.1. <i>Características Climáticas do Paraná</i> .....	53
2.6.2. <i>Características dos Ventos em Londrina</i> .....	56
2.6.3. <i>Vendavais em Londrina</i> .....	57
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>59</b>
3.1. ÁREA DE ESTUDO .....	59
3.1.1. <i>Caracterização e Localização</i> .....	59
3.1.2. <i>Nota Histórica do Norte Paranaense</i> .....	61
3.1. MÉTODOS PARA A OBTENÇÃO DOS DADOS.....	64
3.2. ANÁLISE DOS DADOS .....	65
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>67</b>
4.1. ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DOS TIPOS DE TEMPO.....	67
4.2. SAZONALIDADE ASSOCIADA À OCORRÊNCIA DOS VENDAVAIS.....	94
4.3. IMPACTOS PROVOCADOS PELOS VENDAVAIS E PROPOSTA PARA SUA PREVENÇÃO .....	99
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>102</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>104</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>108</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os fenômenos atmosféricos sempre influenciaram as atividades humanas, forçando o ser humano a se adaptar às condições atmosféricas adversas. Os processos atmosféricos influenciam também o meio ambiente - biosfera, hidrosfera e litosfera - da mesma forma que tais domínios interagem continuamente entre si e com a atmosfera do planeta.

Compreender a dinâmica dos fenômenos naturais, entre eles, os componentes da atmosfera, foi necessário para que os grupos sociais superassem a condição de meros sujeitos às intempéries naturais e atingissem não somente a compreensão de alguns fenômenos, mas também a condição de utilitários e de manipuladores dos mesmos em diferentes escalas (MENDONÇA, 2007).

A maior parte da ocorrência de desastres climáticos está associada às instabilidades severas que causam entre outros, inundações, escorregamentos, vendavais, tornados e períodos de déficit hídrico, os quais provocam inúmeros problemas à população em geral (PERETTI, 2015). Além dos fatores sócio-econômicos, acredita-se que o aumento no registro do número de desastres naturais, também pode estar diretamente vinculado às alterações do clima por decorrência das mudanças globais (MARCELINO, 2003).

Nimer (1989), apresenta o conceito da Climatologia definindo-a como o estudo da espacialização e da evolução dos elementos e fenômenos atmosféricos, abrangendo as frentes, os ciclones e anticiclones móveis, as massas e demais fenômenos dinâmicos, ou seja, o estudo dos padrões de comportamento da atmosfera.

Os vendavais muito intensos surgem quando há uma exacerbação das condições climáticas, responsáveis pela gênese do fenômeno, ampliando sua magnitude. A ocorrência de tais episódios geralmente está relacionada a eventos como árvores derrubadas, danos às plantações e fiações, interrupções no fornecimento de energia elétrica e nas comunicações telefônicas; enxurradas e alagamentos; danos em habitações mal construídas; destelhamento em edificações e até mesmo traumatismos pelo impacto de objetos transportados pelo vento (SILVA, 2012).

Assim, o conhecimento sobre os elementos e os fenômenos que regem a dinâmica da atmosfera é um aspecto fundamental para o progresso da sociedade. As séries históricas fornecem importantes elementos para a análise e investigação dos elementos e fenômenos atmosféricos. A existência de dados referentes a esses desastres constitui-se como uma das maneiras de se conhecer a gênese e o desenvolvimento dos desastres naturais para assim, estabelecer medidas preventivas de redução dos danos (SAITO, 2009).

A ocorrência de desastres naturais na região de Londrina, no Paraná, objeto de estudo desta pesquisa, tem exigido permanente atenção dos órgãos de Defesa Civil nos últimos anos (NEDEL, 2012). A área em estudo, por se situar numa área de convergência de massas de ar, tem sofrido severamente com a intensidade desses fenômenos naturais, trazendo grandes prejuízos quando atingem áreas urbanas, torres de transmissão de energia elétrica e áreas cultivadas (PERETTI, 2015).

Assim, este trabalho tem por objetivo a construção de um banco de dados com os registros da ocorrência dos vendavais em uma sucessão histórica (de 2006 à 2016) da região de Londrina-PR, bem como a identificação dos sistemas atmosféricos atuantes na gênese de tais fenômenos e os danos por eles provocados, propondo assim, medidas de ação preventiva para ocorrência de tais eventos.

Tal estudo se justifica uma vez que a área de interesse é considerada um pólo econômico na região, portanto, faz-se necessários estudos que identifiquem as regiões mais suscetíveis a eventos meteorológicos e suas prováveis causas. Tais estudos são de fundamental importância para a previsão de acidentes, além de auxiliar na definição de prioridades e tomadas de decisões ligadas a trabalhos de prevenção de desastres e de direcionamento de recursos para os locais mais afetados (PERETTI, 2015).



## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. ELEMENTOS DO TEMPO ATMOSFÉRICO

O tempo atmosférico é o estado momentâneo da atmosfera em um dado instante e lugar. Entende-se por estado da atmosfera o conjunto de atributos que a caracterizam naquele momento, tais como radiação (insolação), temperatura, umidade (precipitação, nebulosidade, etc.), e pressão (ventos, etc.) (MENDONÇA, 2007).

O clima, por sua vez, constitui-se da síntese do tempo num dado lugar, inferido de observações contínuas durante um longo período, normalmente durante cerca de 30 à 35 anos (AYOADE, 1996).

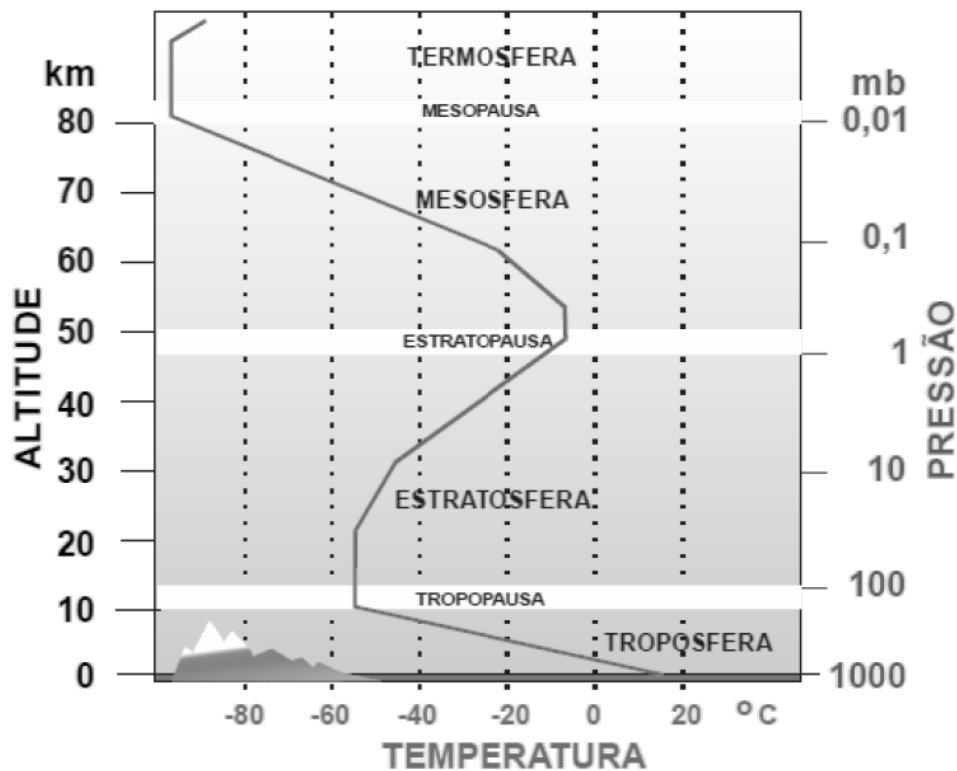
O clima abrange um maior número de dados em relação ao tempo atmosférico, pois inclui considerações dos desvios em relação às médias (variabilidade), condições extremas, e as probabilidades de frequência de ocorrência de determinadas condições de tempo. Assim, o tempo e o clima podem, juntos, ser considerados como uma consequência e uma demonstração da ação dos processos complexos na atmosfera (AYOADE, 1996).

A atmosfera terrestre é uma camada fina de gases presa à Terra devido a ação gravitacional. Por ser uma mistura mecânica de gases, a atmosfera possui alta compressibilidade e suas camadas inferiores são muito mais densas. A pressão na atmosfera pode ser definida como o peso vertical do ar sobre a unidade de área horizontal centralizada naquele ponto, a qual diminui com o aumento da altitude, e, conseqüentemente, o ar torna-se mais rarefeito (Figura 1) (AYOADE, 1996).

Sua camada mais baixa é denominada Troposfera que se estende por cerca de 10 quilômetros acima da superfície (MENDONÇA, 2007). Acima da troposfera existe a tropopausa, uma zona de transição caracterizada pelas condições de inversão térmica que limitam a convecção e outras atividades do tempo atmosférico. Ela varia espacialmente, sendo mais elevada no Equador – onde existe aquecimento e turbulência convectiva vertical - e mais baixa nos pólos (AYOADE, 1996).

As camadas mais elevadas da atmosfera terrestre são a estratosfera, a mesosfera e a termosfera. A primeira estende-se por 50 quilômetros acima a partir da tropopausa e sua temperatura aumenta com a altitude (AYOADE, 1996). As duas últimas camadas constituem a atmosfera superior, caracterizadas por baixíssimas temperatura e pressão, com a diminuição progressiva da densidade do ar até atingir o espaço exterior (MENDONÇA, 2007).

**Figura 1 - A estrutura da atmosfera, de acordo com mudanças de temperatura, pressão e altitude.**  
 Fonte: FIGUEIREDO, 2013.



Na troposfera onde são definidas as condições de tempo e onde os fenômenos climáticos afetam diretamente a humanidade (AYOADE, 1996). Este autor a classifica em três estratos: a camada laminar, a camada de atrito e a atmosfera livre. Na camada laminar - a interface entre o solo e atmosfera - a transferência de energia acontece por condução e as trocas verticais de umidade e calor são bem lentas. Acima da camada de superfície, encontra-se sua camada de atrito, que se estende por cerca de 1000 metros de espessura e onde a transferência de calor ocorre por convecção, através da turbulência dos ventos.

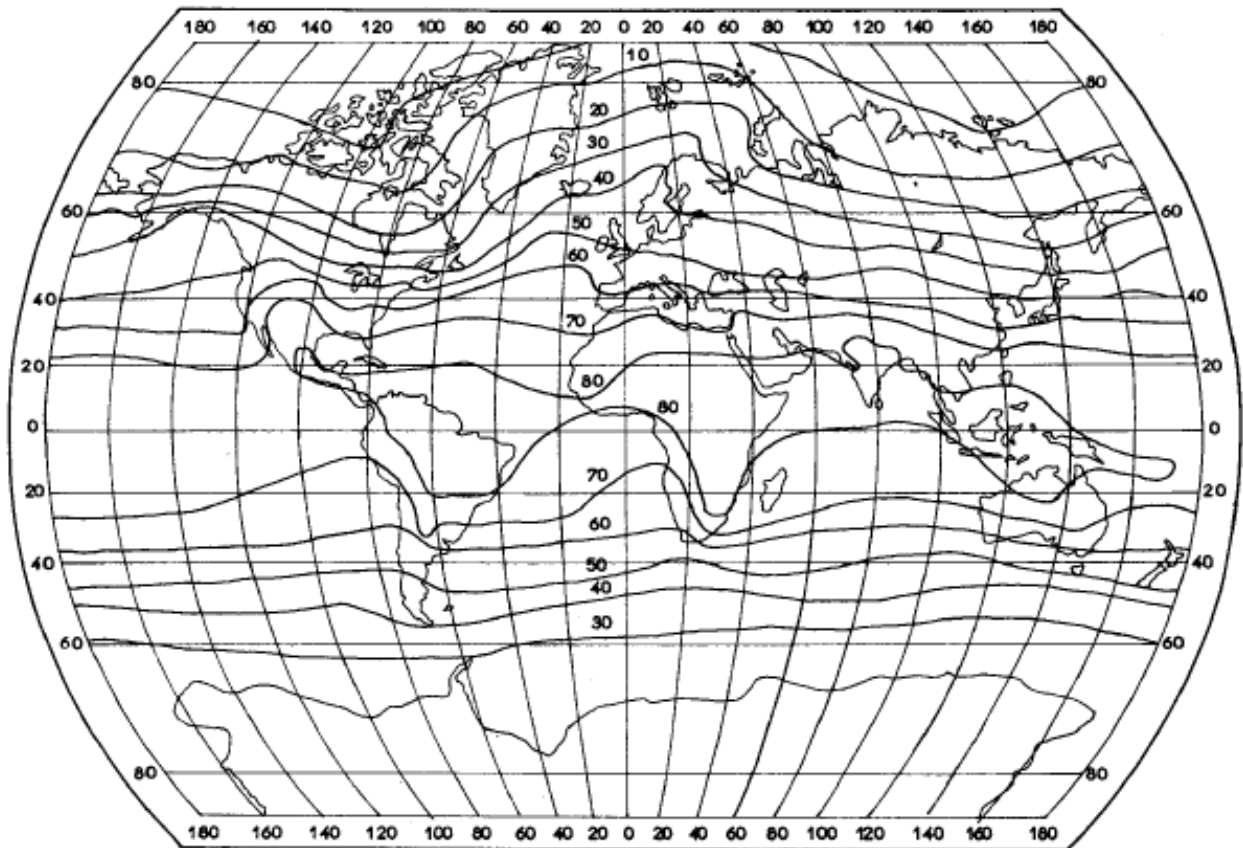
Mendonça (2007) afirma que para compreender as características e a dinâmica da atmosfera terrestre, é necessário o conhecimento dos elementos do clima e dos fatores geográficos que os condicionam em sua constante interação com superfície. Os elementos climáticos retratados por este autor consistem nos atributos físicos que representam as propriedades da atmosfera geográfica de um dado local, os quais são a temperatura, a umidade e a pressão atmosférica, que interagem-se integradamente e manifestam-se por meio de precipitação, vento, nebulosidade, ondas de calor e frio, entre outros.

A temperatura atmosférica varia de lugar e no decorrer do tempo em uma determinada localidade. Vários fatores influenciam a distribuição térmica sobre a superfície da Terra, os quais incluem a quantidade de insolação recebida, a natureza da superfície, a distância de corpos hídricos, o relevo, os ventos predominantes e as correntes oceânicas (AYOADE, 1996).

A distribuição da temperatura numa área é representada por linhas isotérmicas, linhas traçadas em um mapa que unem pontos com iguais valores de temperatura (AYOADE, 1996). No hemisfério Norte, as isotermas mostram amplas deflexões ao passarem das superfícies oceânicas para a continental, uma vez que o ar sobre os continentes se aquece e se resfria de forma mais rápida do que sobre os oceanos. Já no hemisfério Sul, onde existe uma superfície mais homogênea, as isotermas são, de modo geral, paralelas e amplamente espaçadas (AYOADE, 1996).

A uniformidade térmica é mais forte em torno do Equador e diminui em direção dos pólos, com o aumento da latitude (Figura 2). Esse declínio é influenciado pela localização das superfícies oceânicas e hídricas e pelas mudanças sazonais da posição do Sol (AYOADE, 1996). A temperatura também exhibe um gradiente vertical na atmosfera, onde seu resfriamento é influenciado pelo aumento da altitude (MENDONÇA, 2007).

**Figura 2 - Isotermas com a temperatura média anual na superfície do globo (em °F).  
Fonte: AYOADE, 1996.**



O componente de umidade presente na atmosfera é espacial e temporalmente variável, uma vez que depende da superfície fornecedora de água (solo, vegetação e superfícies líquidas) e das características diárias da atmosfera, como temperatura e grau de saturação. (MENDONÇA, 2007)

A presença do vapor no ar torna-o mais leve que o ar seco, visto que o vapor não é agregado a um dado volume de ar já existente, de modo que as moléculas de vapor d'água substituem as moléculas de ar. Desta forma, o vapor d'água possui menor densidade que o ar seco, e assim possui a tendência de ascender na Troposfera. (MENDONÇA, 2007)

O movimento de ascensão do ar envolve alterações na densidade da coluna de ar considerada, que levam a mudanças de temperatura sem que haja perda ou ganho de energia para o ar circundante. Esta circunstância se caracteriza por uma alteração térmica adiabática (MENDONÇA, 2007).

Mendonça (2007) explica o resfriamento adiabático, o qual ocorre devido à ascensão de uma coluna de ar por conta da expansão de suas moléculas, o que resulta na diminuição de sua densidade em relação ao ambiente de seu entorno. Assim, as moléculas passam a ter menos contato entre si, pois há o decréscimo do número de choques entre elas, e, conseqüentemente, a temperatura da coluna de ar tem seu valor rebaixado. Nesse processo, ocorre a diminuição da temperatura do ar sem que tenha ocorrido perda de calor para o meio circundante.

Inversamente, quando o ar descende para camadas inferiores, sua densidade aumenta e há possibilidade de contato entre suas moléculas. Ao ocorrer o aumento do número de colisões, ocorre a elevação da temperatura da coluna de ar. Desta forma, sem que tenha ocorrido o fornecimento de energia para a coluna, sua temperatura terá sido elevada pelo processo de aquecimento adiabático (MENDONÇA, 2007).

Tais processos são determinantes no aquecimento e resfriamento dos movimentos verticais das grandes massas de ar e na formação de nuvens (AYOADE, 1996). As nuvens resultam de movimentos verticais do ar úmido, que, ao ascender, resfria-se adiabaticamente, ocorrendo também o aumento da sua umidade relativa e o decaimento da temperatura de seu ponto de saturação. Uma vez atingida a temperatura do ponto de saturação pelo ar ascendente, ocorre a condensação do vapor d'água na coluna de ar e a formação de nuvens (MENDONÇA, 2007).

As nuvens são constituídas de gotículas d'água e cristais de gelo em suspensão, cujas proporções e formas caracterizam o tipo da nuvem (MENDONÇA, 2006). O autor aponta que o sistema de nuvens associado com tempestades, granizo, vendavais e descargas elétricas são as nuvens do tipo Cumulus. Essas nuvens são geradas a partir do rápido movimento de ascensão do ar pelo processo de convecção (intenso aquecimentos em contato com superfícies quentes), cuja extensão nos trópicos pode ultrapassar 18 quilômetros.

Quando pequenas e isoladas, tais nuvens indicam um tempo bom. Contudo, caso evoluam para nuvens mais crescidas e encorpadas do tipo Cumulonimbus (Figura 3), podem ocorrer chuvas pesadas, com presença de granizo, vendavais, relâmpagos e, em algumas regiões dos Trópicos, há a formação de tornados (TOMINAGA et al., 2009).

**Figura 3 - Exemplo de nuvem do tipo Cumulonimbus.**  
**Fonte: GEERE, 2014.**



No entanto, a formação de nuvens não é suficiente para que ocorra a precipitação. As gotas d'água e cristais de gelo produzidos no processo de condensação, devem atingir um tamanho suficiente para vencer a barreira vertical das correntes ascendentes e precipitarem-se além delas (AYOADE, 1996). As chuvas são classificadas segundo sua gênese, a qual é determinada conforme o tipo de processo que controla os movimentos ascensoriais geradores das nuvens das quais precipitam, compreendendo as chuvas convectivas, chuva orográfica e chuva frontal (MENDONÇA, 2007).

O aquecimento do ar ao longo do dia desencadeia o processo convectivo no qual as nuvens são formadas. Os movimentos verticais que caracterizam a célula de convecção resultam do acentuado aquecimento da coluna de ar úmido, que é forçada a se expandir, ascendendo vigorosamente para níveis superiores da Troposfera, onde resfria-se. Uma vez resfriada, a parcela de ar condensa-se e retorna à superfície em movimentos turbilhonares, completando a célula convectiva. As nuvens produzidas pelo desenvolvimento vertical de vigorosos movimentos ascendentes são as nuvens do tipo Cumulos, que tendem a se transformar em Cumulonimbus, geralmente responsáveis pelas tempestades tropicais (MENDONÇA, 2007).

As chuvas orográficas ocorrem pela ação do relevo, que atua como uma barreira à advecção livre do ar, forçando-o a ascender. O ar úmido e quente, ao elevar-se próximo às encostas, resfria-se adiabaticamente devido à descompressão promovida pela menor densidade do ar nos níveis mais elevados. O resfriamento do ar conduz à saturação do vapor, promovendo à formação de nuvens, e posteriormente, chuvas. Desta forma, as vertentes e barlaventos são comumente mais chuvosas do que a sotavento, onde o ar úmido é forçado a descer e não a ascender (MENDONÇA, 2007).

As chuvas frontais estão associadas ao movimento vertical do ar em grande escala, associado com sistemas de baixa pressão. A precipitação não é tão intensa como a precipitação convectiva, porém, devido ao fato de estar associado às frentes de ar, tem uma duração mais prolongada e afeta áreas muito extensas à medida que a frente se desloca (AYOADE, 1996). Mendonça (2007) destaca que o padrão de distribuição espacial das chuvas em escala planetária mantém uma forte inter-relação com as correntes marítimas, as zonas de temperatura, os ventos oceânicos e a dinâmica da baixa atmosfera.

Os campos de pressão na superfície regem a distribuição espacial do ar que, ao movimentar-se, carrega as características climáticas de sua área de origem para as extensas áreas do planeta. O ar tem sua densidade alterada com a altitude, já a pressão atmosférica se dá em decorrência da distribuição de energia e umidade no globo, bem como a dinâmica de seus movimentos (MENDONÇA, 2007). Tal elemento climático e sua atuação na atmosfera é retratado com mais detalhes no item 2.2. neste estudo.

Mendonça (2007) afirma que, embora os elementos do clima sejam tratados como grandezas individuais, não se deve considerá-los independentes, uma vez que os mesmos agem entre si de forma significativa, onde um elemento pode ser ativo no controle de outro. Por exemplo, a temperatura condiciona a umidade relativa e influencia os campos barométricos. Além ainda de estarem estreitamente relacionados, os elementos climáticos variam espacial e temporalmente em decorrência da ação dos fatores geográficos do clima.

Tais fatores geográficos correspondem às características geográficas estáticas diversificadoras da paisagem, como a latitude, a altitude, o relevo, a continentalidade/maritimidade, a vegetação e as atividades humanas (MENDONÇA,

2007). A interação dinâmica entre elementos climáticos influenciada pelos fatores geográficos qualifica a formação dos distintos climas da Terra (AYOADE, 1996).

A latitude influencia na duração dos dias e noites e nas estações climáticas do planeta, influenciando na distribuição sazonal de energia solar sobre a Terra (MENDONÇA, 2007). Este autor verifica que a recepção de energia é simultaneamente maior em um hemisfério do que em outro. Consequentemente, a latitude determina como a radiação solar incide sobre a superfície terrestre.

O relevo, em decorrência de sua variação de altitude e formas, diversifica os padrões climáticos nos diferentes lugares do planeta. Considerando dois lugares de mesma latitude, porém, altitudes diferentes, aquele que estiver mais elevado terá sua temperatura diminuída (MENDONÇA, 2007).

A posição, a orientação das vertentes e a declividade são atributos do relevo influenciadores dos climas. A posição do relevo favorece ou dificulta os fluxos de calor e umidade entre áreas contíguas, por exemplo, a Cordilheira dos Andes inibe a penetração de umidade proveniente do Pacífico para o interior do continente, onde encontra-se o deserto do Atacama (MENDONÇA, 2017). Já nas zonas mais carentes de energia solar (latitudes extra-tropicais), a orientação do relevo em relação ao Sol e a declividade da paisagem definem as vertentes mais aquecidas e mais secas, daquelas mais frias e úmidas (MENDONÇA, 2017).

Os mares e oceanos são fundamentais na ação de regulação da temperatura e da umidade nos climas. Além de servirem como principais fornecedores de água para a Troposfera, a maritimidade controla a distribuição de energia entre os oceanos (MENDONÇA, 2007). Ao contribuírem para a troca de energia entre os pontos distantes da Terra, as correntes oceânicas interagem com a dinâmica das massas de ar, definindo áreas secas e áreas chuvosas (AYOADE, 1996).

Mendonça (2007) estabelece que águas frias superficiais induzem o ar a se resfriar, inibindo a formação de nuvens e, consequentemente, a ocorrência de chuvas; desta forma, locais costeiros banhados por correntes frias apresentam uma tendência à possuírem climas secos. Já águas quentes, aquecem o ar e possibilitam a ocorrência de correntes ascendentes, o que permite a formação de nuvens e um clima úmido.

Da mesma forma que a maritimidade, a continentalidade provoca efeitos na



temperatura e na umidade relativa, influenciando os climas do globo. Este fator decorre do distanciamento de superfícies terrestres dos mares e oceanos, que deixam de exercer de forma direta os efeitos da maritimidade. Na ausência dos efeitos amenizadores dos oceanos sobre as temperaturas, o aquecimento e o resfriamento das superfícies continentais ocorre de forma mais rápida e com menor participação da umidade do ar, de forma que, além de serem mais secos, tais locais apresentam amplitudes térmicas diárias acentuadas (MENDONÇA, 2007).

A temperatura e a umidade são ainda reguladas pela presença da cobertura vegetal em uma área. A vegetação contribui como controle térmico diminuindo o aquecimento do ar, uma vez que os galhos e troncos atuam como barreira à radiação solar direta. Além disso, a matéria orgânica aliada à ação das raízes permite que a infiltração d'água no solo seja mais eficiente e, com isso, o escoamento superficial é reduzido e o processo de evapotranspiração é intensificado, tornando o ar mais úmido e frio (MENDONÇA, 2007).

Os processos de troca de energia e umidade entre o solo e o ar são mais diretos e efetivos em superfícies com ausência de vegetação, como desertos e rochas afloradas (MENDONÇA, 2007). Em áreas urbanizadas, principalmente naquelas com intensa atividade industrial, é característico o surgimento de microclimas, os quais geram processos com intensidades distintas de aquecimento da camada de ar, identificadas como ilhas térmicas – frescas e de calor (MENDONÇA, 2007).

## 2.2. A MOVIMENTAÇÃO DO AR

Para se entender os movimentos do ar, uma vez que a atmosfera encontra-se em circulação permanente, é necessário conhecer os princípios que regem a distribuição espacial do ar na superfície. Os mecanismos atuantes na circulação geral da atmosfera que controlam o movimento horizontal do ar são: a força do gradiente de pressão, a força de Coriolis, a aceleração centrípeta e a força de fricção (AYOADE, 1996).

A movimentação do ar é desenvolvida através da manutenção de um gradiente

de pressão, que funciona como a força motivadora para o ar se movimentar das áreas de baixa pressão para as áreas de alta pressão (AYOADE, 1996). Cartograficamente, o ar se movimenta pelas isóbaras, que são linhas que conectam lugares com igual pressão. As isóbaras normalmente são expressas como linhas suavemente curvadas, exceto em torno de centros de alta pressão ou de baixa pressão, onde formam padrões fechados (MENDONÇA, 2007).

A pressão atmosférica, definida como o peso resultante da força que as moléculas de ar exercem sobre uma superfície, sofre influência da variação da altitude, da temperatura e da umidade presente no ar, bem como da dinâmica de seus movimentos (MENDONÇA, 2007).

A pressão do ar diminui verticalmente com uma razão de 1 milibar para cada 10 metros de altitude, devido à ação gravitacional da Terra. Na superfície, a variação da pressão do ar é controlada pela distribuição de energia e de umidade na atmosfera. O aquecimento do ar conduz ao aumento da energia cinética das moléculas, o que produz um maior número de choques entre elas. Com isso, as moléculas passam a se distanciar umas das outras, ocasionando uma expansão do ar e, conseqüentemente, a formação de uma área de baixa pressão (MENDONÇA, 2007).

Contrariamente, o resfriamento da atmosfera provoca a redução do movimento cinético das moléculas de ar, diminuindo assim, os choques entre elas. Em consequência, a densidade do ar eleva-se, desenvolvendo-se uma área de alta pressão. A umidade presente no ar também interage com a variação espacial da pressão atmosférica. Comparando-se volumes iguais de ar seco e úmido, o ar seco apresentará menor peso e menor pressão, em decorrência da menor densidade da água em relação ao ar seco. (MENDONÇA, 2007).

Outro agente determinante na circulação atmosférica é a força de Coriolis, que se deve à rotação da Terra. Esta força expressa o desvio sofrido por objetos presentes na atmosfera da Terra devido ao seu movimento de rotação. Tais objetos, inclusive o ar, sofrem um desvio para a direita de sua trajetória de movimentação se localizados no Hemisfério Norte, e à esquerda, no Hemisfério Sul, observando-se por um ponto de referência na superfície terrestre (AYOADE, 1996). Para uma dada velocidade, a força Coriolis é máxima nos polos e diminui com o seno de latitude, tornando-se zero no

Equador (MENDONÇA, 2007).

Se um corpo, durante o movimento, segue uma trajetória curva, deve haver uma aceleração em direção ao centro da rotação, denominada aceleração centrípeta. Esta força, atuante no sistema de circulação atmosférica, somente se torna importante onde os ventos em alta velocidade de movem em trajetórias muito curvas, como em centros de pressão intensamente baixa (AYOADE, 1996).

Já próximo à superfície, a velocidade e a direção da movimentação do ar é controlada pela força de fricção. Tal grandeza se deve aos obstáculos presentes na superfície da Terra, e atua contra o vento reduzindo sua velocidade (AYOADE, 1996). Assim, os oceanos favorecem a formação de ventos velozes, enquanto os continentes, devido a heterogeneidade da cobertura superficial e às características geomorfológicas, tendem a reduzi-la (MENDONÇA, 2007).

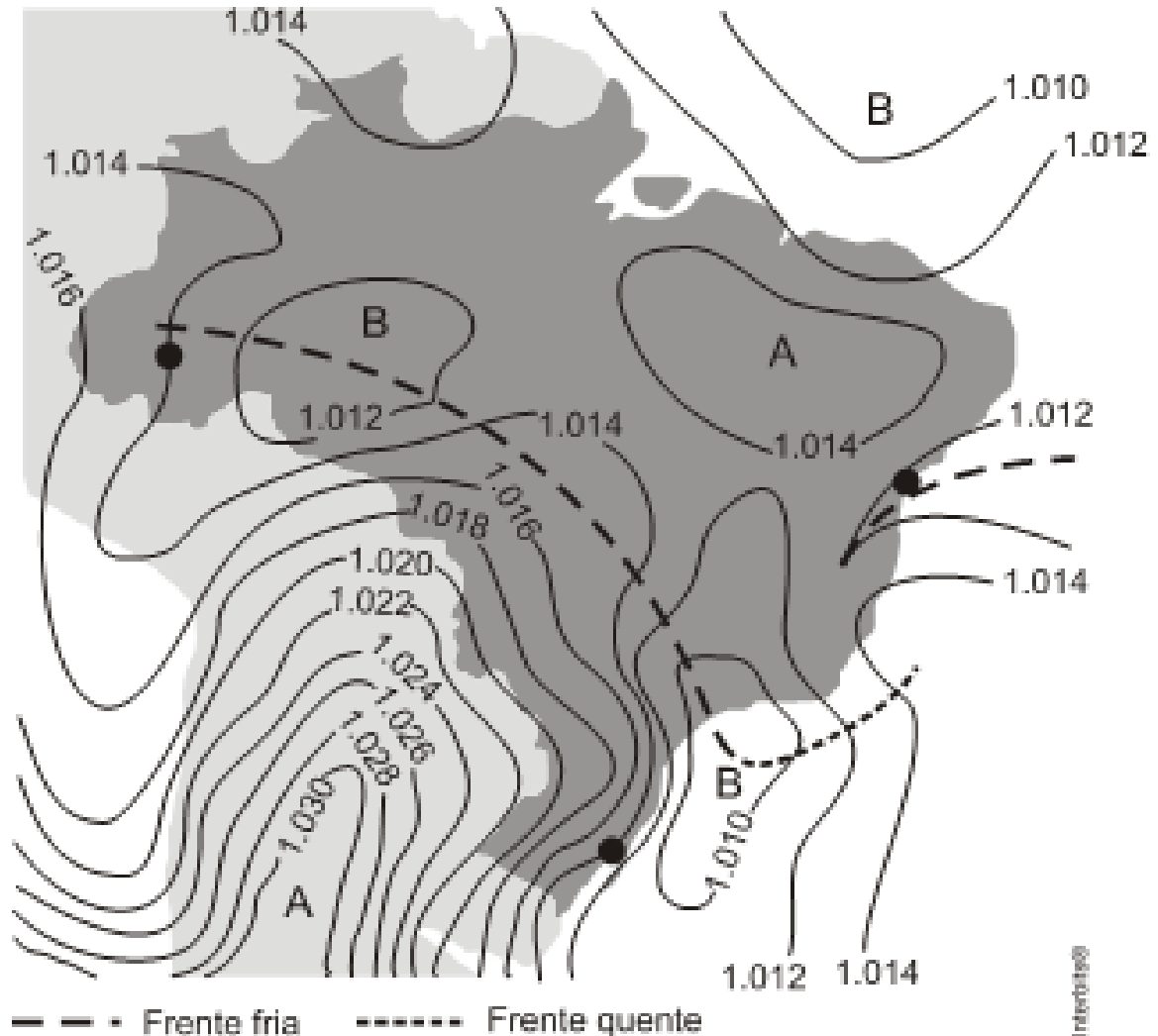
A atuação da força de fricção provoca a diminuição da força de Coriolis, uma vez que esta depende diretamente da velocidade do vento. Contudo, Ayoade (1996) exemplifica o equilíbrio das forças atuantes na circulação atmosférica acerca das isóbaras. Quando a força Coriolis é aplicada de tal forma que é de mesma intensidade, porém, em direção oposta à força do gradiente de pressão, o vento resultante é paralelo às isóbaras, denominado como vento geostrófico. A velocidade desse vento será proporcional à distância entre as isóbaras, quanto mais próximas mais veloz será o vento.

Da superfície da Terra até aproximadamente 1000 metros de altitude, a força de fricção é operativa e o vento sopra através das isóbaras na direção do gradiente de pressão. O ângulo no qual o vento se movimenta através das isóbaras cresce com o aumento do efeito de fricção, sendo cerca de 10-20 ° na superfície marítima e 25-35° sobre o continente. Com o aumento da altura, seja sobre terra ou mar, a força de fricção diminui (AYOADE, 1996).

Em termos médios, a pressão atmosférica corresponde à 1.013 milibar a partir do nível do mar, e é representada em cartas sinóticas por linhas que unem pontos de mesma pressão do ar, denominadas isóbaras. Quanto menor o espaçamento das isóbaras, mais intenso é o gradiente de pressão e maior será a velocidade do vento (Figura 4) (AYOADE, 1996).

Figura 4 - Carta sinótica do Brasil, em evidência os campos de alta pressão (A) e de baixa pressão (B) e as linhas de mesma pressão (isóbaras).

Fonte: MENDONÇA, 2007.



Existem dois movimentos verticais do ar de extrema atuação nos campos de pressão e na dinâmica da atmosfera (MENDONÇA, 2007). O autor destaca o primeiro como o movimento de ascensão do ar, o qual ocorre em áreas de baixa pressão geradas pelo aquecimento do ar, que, expandindo-se, torna-se mais leve que o ambiente ao redor, provocando a sua ascensão. Tal movimento é favorecido em ambientes de ar úmido, o que permite o deslocamento vertical de umidade para níveis mais elevados da Troposfera, onde, por resfriamento adiabático, dá-se o processo de condensação e de formação de nuvens, podendo vir a caracterizar climas chuvosos.

O segundo, destacado ainda por Mendonça (2007), corresponde à subsidência

do ar, que, adensando-se por resfriamento, torna-se mais pesado que o ar circundante, e por ação da gravidade, o ar é trazido daqueles níveis mais elevados da Troposfera para a superfície. Uma vez que esse processo não implica resfriamento do ar, o processo de condensação e formação de nuvens também não é favorecido.

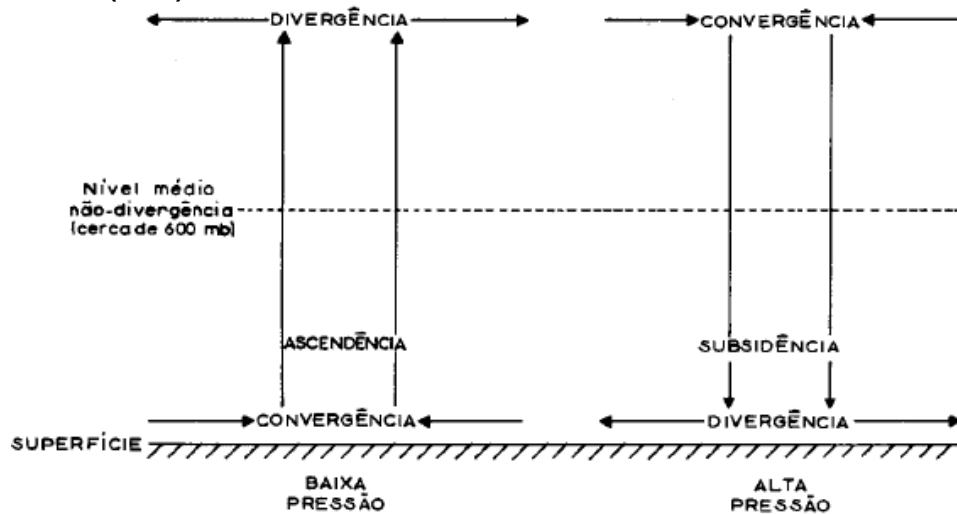
A partir das leis da dinâmica dos fluidos, verifica-se que o ar mais denso irá fluir em direção à área de menor pressão, até que se estabeleça um equilíbrio barométrico entre elas (MENDONÇA, 2007). Tal processo de deslocamento do ar de uma área de alta pressão para uma área de baixa pressão denomina-se advecção, que tem como resultado a geração de vento. A velocidade de deslocamento do vento é controlada pelo gradiente de pressão, de modo que quanto maior for o gradiente, mais veloz será o vento (AYOADE, 1996).

Em virtude desse gradiente, o ar converge nas áreas de baixa pressão e diverge nas de alta, conforme a Figura 5 (MENDONÇA, 2007). A velocidade do vento muitas vezes desvia do valor geostrófico devido a acelerações locais no fluxo horizontal. Se, numa unidade de volume de ar, sair mais ar do que entrar, devido à aceleração local, ocorre então a perda de massa naquele volume, e tal sistema caracteriza-se como uma divergência (AYOADE, 1996).

Se, por outro lado, ocorre a desaceleração do ar no fluxo horizontal, o ar se acumula no volume e ocorre uma convergência. Tais configurações estão interligadas; no caso de a divergência sobrepor a convergência, ocorre a elevação do ar. Mas, se a convergência sobrepõe-se à divergência, ocorre a subsidência (AYOADE, 1996).

Assim, em consequência, os ventos carregam consigo as características térmicas e de umidade da área onde se originaram, recebendo o nome da direção do local de onde procedem. Tal denominação é representada pela rosa dos ventos, a qual consiste em uma representação das principais possibilidades de direção do vento, a partir de um dado observador (MENDONÇA, 2007).

**Figura 5 - Relação entre padrões divergentes, movimentos verticais e pressão superficial.**  
 Fonte: AYOADE (1996).



O padrão médio da circulação da atmosfera está submetido ainda aos ciclos sazonais do planeta. Mudanças sazonais na circulação atmosférica tropical são muito pequenas sobre os grandes oceanos, mas grande sobre os continentes e mares adjacentes. Isso porque, devido as suas características térmicas, os continentes produzem variações térmicas sazonais muito maiores que os oceanos (AYOADE, 1996).

No verão, os continentes aquecem-se mais rapidamente que os oceanos, formando vários centros de baixa pressão, o qual favorecem o deslocamento do ar marítimo para seu interior, gerando monções de verão, caracterizadas como quentes e úmidas. No período do inverno, quando os oceanos estão mais quentes que os continentes, o gradiente de pressão inverte-se, e o ar passa a movimentar-se do continente para o litoral, configurando as monções de invernos, características por suas baixas temperaturas e estiagem (MENDONÇA, 2007).

### 2.3. PRINCÍPIOS DA CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA

Mendonça (2007) apresenta três escalas de área e de tempo meteorológico que classificam a circulação atmosférica. A circulação primária diz respeito à circulação geral da atmosfera global, de vento e pressão que se mantêm sazonalmente e que determina

os padrões de climas do mundo. Em seguida, existe o sistema circulatório secundário, como as depressões e os anticiclones, de existência breve e que se que se movem rapidamente. Por fim, e a circulação terciária consiste de ventos locais, como as brisas terrestres e marítimas, os quais são precisamente localizados com um curto período de existência.

A circulação primária, caracterizada como a circulação geral da atmosfera é um resultado direto da interação dos diferentes campos de pressão do planeta, da repartição desigual da radiação solar no sistema superfície- atmosfera, do desequilíbrio na umidade e do momentum angular da Terra (AYOADE, 1996).

De acordo com os padrões globais de radiação, nota-se que existe excesso de energia em baixas latitudes e deficiência em outras partes do planeta (MENDONÇA, 2007). A atmosfera terrestre é, de maneira uniforme, uma depressão radiativa em todas as latitudes, enquanto a superfície é uniformemente uma fonte de calor, exceto próximo aos pólos. Assim, o sistema superfície-atmosfera (SSA) obedece a segunda lei da termodinâmica sobre equilíbrio térmico, e a energia excedente na superfície é transferida para a atmosfera a fim de que o déficit dessa seja repostado (AYOADE, 1996).

Essa troca vertical de energia ocorre principalmente através da evaporação da água da superfície terrestre e da condensação do vapor na atmosfera para liberar o calor latente, além por meio da convecção – através da turbulência dos ventos, o calor é transferido da superfície para a atmosfera (AYOADE, 1996).

Ayoade (1996) faz também uma comparação sobre o balanço de radiação nas diferentes latitudes. O Autor afirma que acima de 40° de latitude, o déficit radiativo da atmosfera ultrapassa o excedente da superfície, de modo que o balanço radiativo do SSA é negativo nessas áreas. De maneira oposta, nas baixas latitudes, próximo ao Equador, o balanço radiativo é positivo. Assim, para que não ocorra o desequilíbrio térmico entre os polos e os trópicos, existe ainda uma transferência meridional de energia das latitudes mais baixas para as médias e altas.

A troca horizontal de calor sobre a superfície é provocada essencialmente pelo diferencial de aquecimento nos continentes e oceanos. Ela ocorre pelos movimentos das correntes oceânicas das baixas latitudes que transferem o calor sensível em direção aos pólos e, também, pela liberação do calor latente devido a condensação do vapor d'água

na atmosfera, que é levado das latitudes mais baixas para as mais altas (AYOADE, 1996). Há, assim, um equilíbrio no balanço de energia do Planeta, pois o excesso de energia recebido na zona intertropical é transferido pelas correntes atmosféricas e oceânicas para as zonas temperadas (MENDONÇA, 2007).

A umidade também exerce grande influência na dinâmica geral da atmosfera. Considerando que a evaporação é o resultado do suprimento de energia e da disponibilidade de superfícies líquidas, logo, sua taxa é mais elevada sobre os oceanos que sobre a terra, e maior, também, nas latitudes mais baixas que nas médias e altas (AYOADE, 1996). Contudo, Ayoade (1996) afirma que as perdas máximas por evaporação sobre os oceanos ocorrem próximas às latitudes 20°N e 15°S do que nas regiões equatoriais em decorrência de alguns fatores.

O fato da evaporação sobre os oceanos ser máxima nos trópicos em relação como o Equador, se deve ao fato da atuação dos ventos na região equatorial, que possuem menor velocidade que os alísios, ventos das regiões subtropicais. Isso faz com que a cobertura de nuvens seja maior próxima ao Equador, o que conseqüentemente ocorra a diminuição da insolação em torno dessa área. Outro fator relevante se deve à pressão vaporífica do ar equatorial, muita próxima ao ponto de saturação, de modo que a umidade relativa é alta nesta área do globo (AYOADE, 1996).

Contrariamente, os valores máximos de evaporação sobre os continentes ocorrem, no entanto, em torno do Equador, em virtude dos valores relativamente elevados de insolação e devido também, às grandes perdas de água por evapotranspiração da vegetação, desta forma, o excesso de umidade das baixas latitudes é transportado em forma de vapor d'água em direção as latitudes mais elevadas para nelas compensar a sua deficiência (MENDONÇA, 2007).

Há ainda um dos fatores mais importantes na circulação da atmosfera do planeta, denominado momentum. Tal movimento é descrito como a movimentação da atmosfera juntamente com a rotação da Terra e em volta dela. É com a Terra e sua atmosfera girando uniformemente, há a conservação do momento angular, o qual permanece constante (AYOADE, 1996). O momento angular de um corpo que gira em torno de um eixo fixo é proporcional a sua velocidade e a sua distância do eixo de rotação. Em outras palavras, se uma massa de ar muda sua posição na superfície da Terra, de modo que



sua distância do eixo de rotação seja afetada, sua velocidade angular deve mudar para o do momento angular a fim de permanecer constante (MENDONÇA, 2007).

Na zona equatorial, o momento angular é máximo e diminui em direção aos pólos até se tornar zero. Assim, as baixas latitudes são geralmente dominadas por ventos predominantemente de leste, os alísios, enquanto as latitudes médias são dominadas pelos ventos de oeste (AYOADE, 1996). Segundo este autor, o momento angular é transferido das áreas de baixa latitude para as altas através das seguintes formas: pelo deslocamento das perturbações atmosféricas na atmosfera superior da zona subtropical; pelas ondas de pressão de alto nível e as perturbações que as acompanham e, através dos movimentos da célula de Hadley, nas baixas latitudes.

A distribuição das zonas de altas e baixas pressões atmosféricas sobre a superfície da Terra não se apresenta de maneira uniforme e regular. Existe a formação de células específicas da movimentação atmosférica, geradas pela repartição diferencial das fontes de energia e associadas aos movimentos verticais (ascendência/subsidência) e horizontais (advecção) da alta e baixa atmosfera (MENDONÇA, 2007).

Tais células de circulação, associadas à distribuição energética e de pressão da atmosfera, destacadas por Mendonça (2007) são:

- Células de circulação na faixa tropical, cujo ramo ascendente estaria nas proximidades do equador e o ramo descendente a cerca de 30° de latitude, denominada de Célula de Hadley;
- Célula na zona de latitudes médias, conhecida como Célula de Ferrel, com ramo subsidente a cerca de 30° e ramo ascendente em torno de 60° de latitude;
- Célula na Região Polar, dita Célula Polar.

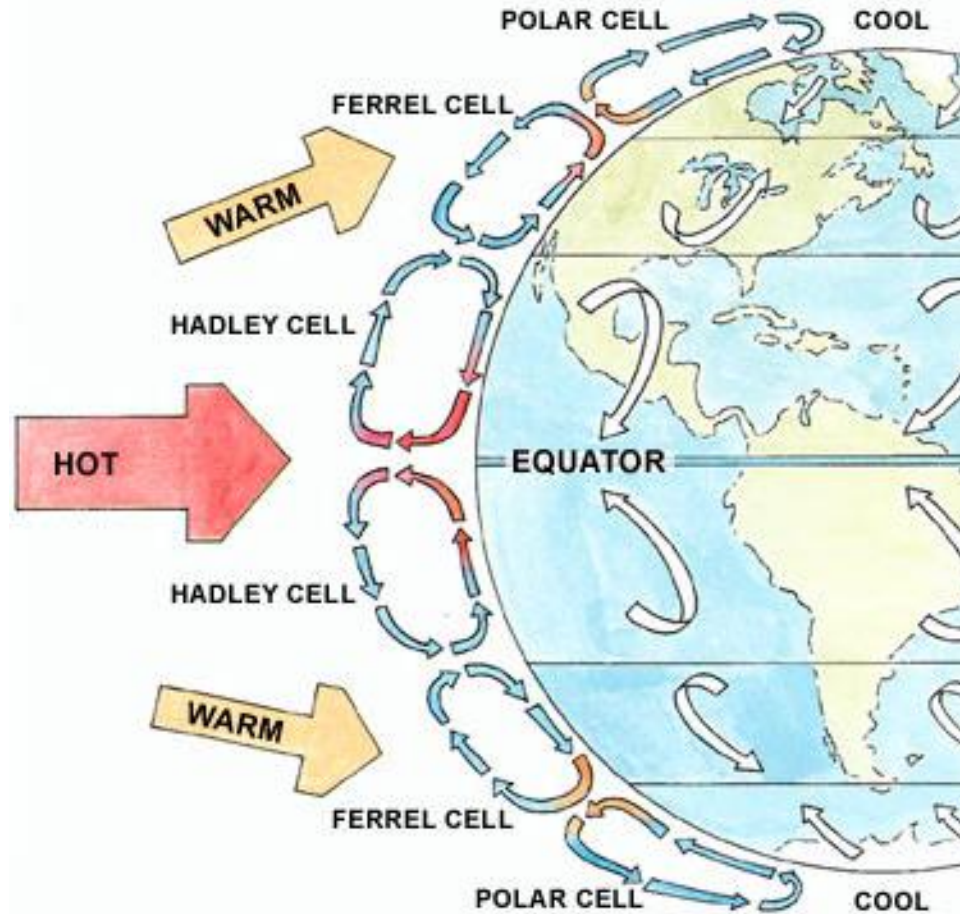
Essas células atuam na camada da troposfera e na tropopausa. De acordo com esse modelo de circulação, para a zona equatorial de baixa pressão devem convergir ventos provenientes das faixas subtropicais de alta pressão, impulsionados pela força do gradiente de pressão e defletidos pela força de Coriolis, segundo a Figura 6 (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Os ramos inferiores das células de Hadley justificam a existência dos ventos alíseos de nordeste do Hemisfério Norte e dos alíseos de sudeste do Hemisfério Sul, observados principalmente sobre os oceanos, onde a influência devida à rugosidade da

superfície é muito pequena (VAREJÃO-SILVA, 2006).

**Figura 6 - Modelo conceitual da circulação geral atmosférica. A célula de Hadley, Ferrel e os jatos subtropical e polar em uma Terra estacionária.**

Fonte: VAREJÃO-SILVA, 2006.



Nas zonas de altas pressões subtropicais (áreas de convergência), próximo às células de Hadley e de Ferrel, situa-se a corrente de jatos, ou *jet streams* (MENDONÇA, 2007). Tais jatos são faixas de ar de alguns quilômetros de comprimento com uma velocidade mínima de cerca de 120 Km/h, e são responsáveis pela rápida movimentação das massas de ar na atmosfera carregando as características climáticas do seu local de origem. São os jatos subtropicais e os jatos polares, os quais podem ser secos quando se formam no continente, mas adquirem considerável umidade ao se deslocarem sobre os oceanos (AYOADE, 1996 e MENDONÇA, 2007).

As pressões, predominantemente mais baixas, observadas nas vizinhanças do equador, são atribuídas à maior incidência de radiação solar nesta região, assim, na zona

equatorial, há uma faixa de baixas pressões à superfície. Para o meio da zona equatorial de baixa pressão convergem os alísios dos dois hemisférios, provenientes do sudeste e nordeste, o que cria ascendência das massas de ar (MENDONÇA, 2007).

Esta zona que limita a circulação atmosférica entre o hemisfério Norte e Sul é conhecida como Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), cuja posição coincide aproximadamente com a do equador térmico (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Esta região também é chamada de Descontinuidade Tropical ou Equador Meteorológico devido à uma perspectiva implícita de divisão de atmosfera entre dois hemisférios. Também denomina-se Frente Intertropical por estabelecer ali o encontro de massas de ar e na mudança rápida do ponto de orvalho que ocorre. Já o conceito de Zona de Convergência Intertropical vincula-se mais à descrição da ascendência do ar e à decorrente formação de expressiva massa de nuvens (MENDONÇA, 2007).

De acordo com Varejão-Silva (2006), a ZCIT se caracteriza por uma acentuada instabilidade atmosférica que favorece o desenvolvimento de intensas correntes ascendentes, com formação de grandes nuvens convectivas, geradoras de precipitação abundante. Fortes precipitações, acompanhados de relâmpagos e trovões são comuns em toda a ZCIT e, como sua posição oscila muito com o tempo, a precipitação gerada vai sendo distribuída sobre uma faixa de considerável largura.

Na altura da ZCIT, duas células de Hadley individualizam-se em cada hemisfério. As células de Ferrel, ao contrário, são associadas às frentes polares, sendo que ambas tornam-se mais evidentes na situação de inverno de cada hemisfério devido à maior variação térmica latitudinal observada nesta estação (MENDONÇA, 2007).

Já a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), caracteriza-se pela faixa de encontro entre ventos direcionados do equador (alísios) aos pólos com ventos oriundos das cercanias dos pólos (ventos polares). Varejão-Silva (2006), explica que as áreas de alta pressão subtropicais são os ramos descendentes das células de Hadley e de Ferrel de cada hemisfério. A subsidência que nestas áreas se observa provoca divergência à superfície, gerando ventos direcionados tanto ao equador (alísios) como aos pólos. Os ventos que são direcionados ao pólos encontram com ventos convergentes advindo do mar antártico (ventos polares), aproximadamente na latitude de 60°. Esta faixa de encontro entre tais ventos, situada ao sul do Oceano Atlântico, é conhecida como Zona

de Convergência do Atlântico Sul.

Mendonça (2007) afirma que a ZCAS resulta da intensificação do calor e da umidade provenientes do encontro de massas de ar quente e úmidas da Amazônia e do Atlântico Sul na porção central do Brasil, entendendo-se desde o sul da Amazônia até a área central do Atlântico Sul.

## 2.4. SISTEMAS PRODUTORES DE TEMPO

Os sistemas produtores de tempo, definidos por Ayoade (1996), são aqueles que causam as variações diárias e semanais no tempo e são muitas vezes mencionados como perturbações meteorológicas. Tais perturbações são extensas ondas, turbilhões ou vórtices de ar inseridos na circulação da atmosfera.

A circulação geral da atmosfera pode ser observada em três grandes zonas (Mendonça, 2007): nas latitudes baixas – ou zona intertropical; nas latitudes médias – ou zona temperada; e nas altas latitudes – ou zona polar.

### 2.4.1. Centros de Ação

Os centros atmosféricos, ou centros de ação, exercem o controle climático e movimentam o ar no planeta; eles são reconhecidos como campos de alta pressão (anticiclônicos) ou de baixa pressão (ciclônicos ou depressões). Tais campos de pressão organizam-se em faixas zonais paralelas à linha do Equador, por onde também os ventos dominantes na superfície sopram (MENDONÇA, 2007).

Mendonça (2007), apresenta os ciclones e anticiclones como os sistemas mais importantes que determinam o tempo nas médias e altas latitudes.

Onde observa-se uma alta pressão, dá-se o nome de anticiclone (AYOADE, 1996). Estes centros de ação, denominados positivos, caracterizam-se por apresentar

pressão atmosférica mais elevada que seu entorno. São áreas que em superfície ocorre divergência do ar a partir no núcleo (fluxo de saída do ar), sendo este subsidiente, e onde não ocorre a formação de nuvens (MENDONÇA, 2007). Os centros de ação positivos geram as massas de ar, cujos ventos de natureza divergente asseguram a estabilidade com tempo ensolarado (AYOADE, 1996).

Segundo Ayoade (1996), os anticiclones coexistem em duas formas: os anticiclones relativamente estacionários e os anticiclones móveis. Os primeiros possuem um centro aquecido, na qual a temperatura em toda a troposfera é excepcionalmente elevada e o calor é mantido através da subsidência atmosférica, intensificando-se com a altitude.

Em contrapartida, um anticiclone frio se enfraquece com o aumento em elevação e é substituído nas altas altitudes por baixa pressão, caracterizando-se como um anticiclone móvel. Os anticiclones móveis formam-se em zonas de alta latitude, no ar polar ou ártico, e possuem rápida movimentação. Já os anticiclones estacionários formam-se na zona subtropical, especialmente sobre os oceanos, são estáveis e de movimentação lenta (AYOADE, 1996).

Os anticiclones são caracterizados, no geral, como sendo maiores que as depressões, e que possuem uma região central de ventos leves e de subsidência. Não há movimento ascendente pronunciado necessário à formação de nuvens e, conseqüentemente, não causam tempestades como as depressões (AYOADE, 1996).

Segundo Mendonça (2007), no hemisfério Sul, atuam cinco centros de alta pressão:

- o anticiclone dos Açores: atua na faixa das altas pressões subtropicais (próximo à 30° N) sobre o oceano Atlântico. Sua influência se faz sentir na primavera no Hemisfério Sul, pois o avanço da frente polar do hemisfério Norte em direção ao Sul provoca o seu deslocamento nessa direção. Desta forma, interagindo com os ventos alíseos, sua ação é mais observada na porção norte e nordeste no continente Sul-Americano.

- o Anticiclone da Amazônia ou Doldrums: atua como uma área de baixa pressão em relação ao oceano Atlântico e, dessa forma, atrai umidade dali. Entretanto, também atua como produtor e exportador de massa de ar. Sua denominação, doldrum (calmaria), diz respeito à predominância da circulação convectiva do ar na região.

- o Anticiclone Semifixo do Atlântico: também denominado anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, sua característica de mobilidade é decorrente do deslocamento sazonal do centro de altas pressões. Durante o verão, se posiciona mais próximo ao continente, durante o inverno mais afastado. Este centro apresenta um deslocamento no sentido leste-oeste, na faixa das pressões subtropicais, tendo uma considerável influência na porção sudeste e sul do Brasil, com maior destaque nas estações quentes.

- o Anticiclone Semifixo do Pacífico: ou Subtropical do Pacífico Sul, apresenta características semelhantes ao Anticiclone Semifixo do Atlântico, contudo difere na área de atuação, sofrendo influência direta da cordilheira dos Andes que impede a passagem do ar quente e úmido proveniente do oceano.

- o anticiclone Migratório Polar: forma-se no extremo sul da América do Sul, devido ao acúmulo do ar polar oriundo dos turbilhões polares sobre os oceanos. Este campo posiciona-se, no inverno, sobre latitudes mais baixas (Uruguai e Argentina) e, no verão, recua para latitudes mais elevadas devido à elevação do fluxo de energia no hemisfério austral.

Por outro lado, Ayoade (1996) destaca a existência de centros de baixa pressão, denominados ciclonais, onde a distribuição de pressão atmosférica em relação às áreas circundantes é caracterizada por uma baixa pressão central. Tal área, também denominada depressão ou centro de ação negativo, atrai o ar produzido nas áreas de altas pressões (AYOADE, 1996). São áreas que estão associadas a processos de convergência em superfície e de ascensão das massas de ar, onde geralmente o vapor d'água se condensa, formando nuvens e dando origem a precipitações (MENDONÇA, 2007).

As zonas ciclonais têm, principalmente, uma origem dinâmica, entretanto, possuem seus valores barométricos reduzidos na base por efeito térmico quando passam acima das correntes marítimas quentes (MENDONÇA, 2007).

Segundo Ayoade (1996), os ciclones móveis são de três tipos: ciclones extratropicais – típicos de médias e altas latitudes; ciclones tropicais – encontrados em baixas latitudes sobre áreas oceânicas e continentais adjacentes; e os tufões – trombas quando ocorrem sobre o mar e redemoinhos quando ocorrem nas regiões áridas quentes.

Os ciclones extratropicais das latitudes médias são geralmente de origem frontal,

desenvolvendo-se somente onde as massas de ar de propriedades diferentes existem para estimular a frontogênese – a formação ou intensificação das frentes (AYOADE, 1996).

Um ciclone tropical se caracteriza como um centro circular, com pressão extremamente baixa, no qual os ventos giram em espiral em alta velocidade, acima de 120 km/h (AYOADE, 1996). A formação de um ciclone tropical é decorrente da liberação de calor latente para o ar no momento de condensação em condições de convecção, processo de expressiva intensidade nas regiões tropicais (MENDONÇA, 2007).

Ayoade (1996) destaca que, embora sua formação não seja clara, os ciclones tropicais nunca se originam em superfícies terrestres, se formando sobre todos os oceanos tropicais, exceto no Atlântico Sul. Adicionalmente, Mendonça (2007), destaca que devido à localidade de sua gênese, os ciclones das regiões tropicais apresentam movimentos turbilhonares do ar em larga escala, especialmente em torno de um centro de baixa pressão, geralmente acompanhados de ventos muito velozes e de fortes chuvas, que se formam sobre os oceanos.

As isóbaras num ciclone tropical são quase circulantes e os gradientes de pressão do colime são bastante reduzidos. A maioria deles se formam nas latitudes 20° ao sul e norte e se caracterizam por apresentarem ventos violentos e chuvas pesadas (AYOADE, 1996). De acordo com este autor, o ciclone tropical, em sua estrutura, consiste em dois vórtices separados por uma área central de calmaria conhecida como 'olho'. Por esta razão, o tempo ciclônico é experimentado duas vezes, intercalados por uma calmaria.

A circulação em torno do centro de um ciclone se dá no sentido anti-horário no hemisfério Norte e no sentido horário no hemisfério Sul, e o tempo nestes locais é geralmente é tempestuoso. Contrariamente, a circulação ao redor desses centros se dá no sentido horário no hemisfério Norte, e anti-horário no hemisfério Sul, e o tempo é estável e sereno (AYOADE, 1996).

Segundo Ayoade (1996), de forma geral, os anticiclones e as depressões permanentes ou semipermanentes, no hemisfério Sul, recuam em direção sul durante a primavera e o verão, ocorrendo o inverso no hemisfério Norte. Os centros de ação negativos, são áreas que atraem o ar produzido nas áreas de altas pressões e em torno

dos quais o movimento do ar se desenvolve para a direita no hemisfério Sul, e para a esquerda no hemisfério Norte.

De acordo com Mendonça (2007), a rugosidade do relevo e a redução do fluxo de calor latente constituem os principais fatores para produzir a dissipação de um ciclone, uma vez que a ascendência das massas de ar provoca o enfraquecimento da velocidade dos ventos; nessas condições, seu deslocamento é dificultado e a precipitação é intensificada.

No hemisfério Sul, ocorrem dois centros negativos, ou ciclonais, que exercem influência na circulação atmosférica, destacados por Mendonça (2007):

- Depressão do Chaco: esta depressão tem sua gênese na elevação sazonal da temperatura, durante o verão, na latitude da faixa subtropical no hemisfério Sul. Nestas condições, a região atrai para o interior do continente o ar quente e úmido dos centros anticlonais que o circundam, quais sejam o Anticiclone Semifixo do Atlântico, ou o centro de ação da Amazônia. No inverno, ocorre o inverso, e a depressão do Chaco atrai o anticiclone migratório polar em direção ao norte, facilitando a propagação do ar polar até as baixas latitudes sul-americanas.

- Depressão dos 60° de Latitude Sul: situa-se na faixa subpolar das baixas pressões do globo e localiza-se sobre os mares da Península Antártica, distante do continente Sul-americano. Entretanto, quando estes centros de baixas pressões subpolares são reforçados pela propagação de ciclones, eles exercem uma atração dos sistemas intertropicais em direção ao sul.

#### 2.4.2. Massas de Ar

Ayoade (1996 apud Hare, 1963), define uma massa de ar como um grande corpo de ar horizontal e homogêneo deslocando-se como uma entidade reconhecível e tendo origem tropical quanto polar. Já Mendonça (2007), a define como uma porção da atmosfera, de extensão considerável, que possui características térmicas e higrométricas homogêneas, possuindo de centenas à milhares de quilômetros.



As massas de ar originam-se em áreas onde existem condições que favoreçam o desenvolvimento de vastos corpos de ar horizontal e uniformes. Tais áreas são geralmente extensas e fisicamente homogêneas (AYOADE, 1996). Segundo Varejão-Silva (2006), as principais áreas produtoras de massa de ar são os oceanos, os desertos, as grandes áreas cobertas de gelo e as extensas florestas face à uniformidade que apresentam.

Para sua formação deve haver três condições básicas, segundo Mendonça (2007): superfícies com considerável planura e extensão, baixa altitude e homogeneidade quanto às características superficiais. De acordo com Ayoade (1996), nas áreas de formação de massas deve haver também espaço suficiente para estagnação da circulação atmosférica para permitir que a massa de ar adquira a umidade e as propriedades térmicas da superfície subjacente. Mendonça (2007) aponta que as principais áreas produtoras de massa de ar no globo, deve ter, sobretudo, circulação anticiclônica, a qual favorece o desenvolvimento de umidade térmica horizontal.

Mendonça (2007) afirma que ao se deslocarem de suas regiões de origem, das quais adquirem as características de temperatura e umidade principais, as massas de ar influenciam as regiões onde passam, trazendo para essas áreas, novas condições de tempo, e da mesma forma, é por elas influenciada. Ayoade (1996) aponta que se uma superfície é mais fria que o ar sobre ela, a massa de ar será esfriada; porém se a superfície for mais quente, sua temperatura aumentará e a massa de ar ficará relativamente instável. Elas são também fortemente influenciadas pelas quantidades de radiação e umidade que recebem.

Desta forma, as massa de ar somente se formam sobre os oceanos, mares e planícies continentais, onde, na maioria das vezes, elas originam-se nos lugares onde as circulações são mais lentas e as situações atmosféricas, mais estáveis, como nas regiões das altas pressões subtropicais e polares (MENDONÇA, 2007).

De conformidade com a região da Terra em que se originam, as massas de ar podem ser classificadas segundo a Tabela 1:

**Tabela 1 - Classificação básica das massas de ar.**

<i>Grupo Principal</i>	<i>Subgrupo</i>	<i>Sigla</i>	<i>Região de Origem</i>	<i>Propriedades originais</i>
<i>Polar (P)</i>	Marítima	mP	Oceanos em altas latitudes, em ambos os hemisférios	Fria, úmida e instável
	Continental	cP	Sobre o oceano Glacial Ártico e Antártico	Fria, seca e muito estável
<i>Tropical (T)</i>	Equatorial	E	Ao longo da linha equatorial, em baixas latitudes	Quente e úmida
	Marítima	mT	Oceanos dos trópicos e subtópicos	Quente e úmida, e instável
	Continental	cT	Planaltos subtropicais e desertos	Quente, muito seca e bastante estável

Fonte: AYOADE (1996).

A posição zonal da área de origem de uma massa de ar define sua condição térmica; desta forma, as massas originadas nas baixas latitudes são quentes; nas médias são frias e, nas altas latitudes, glaciais (AYOADE, 1996). A massa de ar polar atlântica (MPA), por exemplo, é fria e seca na Patagônia, sua região de origem; porém, ao atingir o litoral brasileiro, encontra-se bem mais aquecida e torna-se úmida. Ao mesmo tempo que provoca queda nas temperaturas, no Brasil ela se aquece devido à maior radiação das baixas latitudes, conforme a Figura 7 (MENDONÇA, 2007).

Figura 7 - Massas de ar da América do Sul, com seus centros de ação e deslocamentos.  
 Fonte: MENDONÇA, 2007



O teor de umidade de uma massa de ar está também relacionado à natureza da superfície onde ela se origina, desta forma, uma massa será úmida quando se formar sobre regiões marítimas e seca sobre regiões continentais (MENDONÇA, 2007). Ayoade (1996), entretanto, aponta um caso particular, que é a Massa Continental Equatorial (MEC), que se origina na região Amazônica e é úmida, pois recebe elevadíssimo teor de umidade da evaporação e da atuação dos ventos de leste que carregam umidade oceânica.

Mendonça (2007) ressalta que as massas de ar possibilitam importantes trocas de energia entre as regiões do mundo. Ao percorrerem longos trajetos, o ar tropical tende a escoar em direção aos pólos atingindo a zona temperada, enquanto o ar frio tende a escoar em direção ao Equador.

O continente sul-americano é influenciado principalmente por massas de ar polares, procedentes da Antártica. Tais massas frias normalmente atingem os estados do Sul e Sudeste do Brasil no inverno, contribuindo para aumentar a precipitação média das áreas que atravessam (VAREJÃO-SILVA, 2006). Já massas de ar tropicais, de origem continental ou marítima, movendo-se para o sul, alcançam a Argentina, o Chile e áreas oceânicas situadas ao sul do Atlântico (AYOADE, 1996).

Varejão-Silva (2006) apresenta na Tabela 2, as condições de tempos provocadas por invasão de massas de ar.

**Tabela 2 - Condições de tempos provocadas por massas de ar.**

Massa de ar	Condição de equilíbrio	Caráter da chuva	Condição do vento	Visibilidade Horizontal
<i>Fria</i>	Instável	Aguaceiro	Turbulentos e rajadas	Boa
<i>Quente</i>	Estável	Continua	Constante	Má, com nevoeiro

Fonte: VAREJÃO-SILVA (2006)

O deslocamento das massas de ar no sentido Equador-pólo permitem o contato de massas de ar de características diferentes, o que gera as descontinuidades atmosféricas ou frentes, fenômeno atmosférico que marca os climas das regiões subtropicais e temperadas.

#### 2.4.3. Frentes

Quando duas massas de ar de densidade diferentes tornam-se vizinhas, tendem a se manter individualizadas, como fluidos não miscíveis e, portanto, a conservar suas características particulares. Há, no entanto, uma camada de transição com vários quilômetros de espessura aonde se verifica a mistura de ar das duas massas presentes, genericamente denominada de frente (VAREJÃO-SILVA, 2006). Esta superfície de descontinuidade produzida pelo encontro das duas massas de ar é estreita e inclinada, sendo que nela os elementos climáticos apresentam variação abrupta. Denomina-se frontogênese o processo de origem das frentes, e frontólise sua dissipação

(MENDONÇA, 2007).

Ayoade (1996), afirma que, para ocorrer o processo de frontogênese, três condições devem ocorrer: a primeira é a existência de duas massas de ar distintas e adjacentes; em segundo deve haver uma circulação atmosférica com um forte fluxo convergente para transportar as massas de ar; e em terceiro, deve haver uma suficiente força de Coriolis para garantir que o ar quente não permaneça sobre o ar frio.

Segundo Mendonça (2007), com base nas condições atmosféricas das médias e altas latitudes, existem dois tipos de frentes, as frentes ártica/antártica e as frentes polares. Segundo este autor, a frente ártica/antártica é ativa sobretudo no inverno e corresponde ao contato de massas de ar glacial dos pólos e das massas de ar polares (relativamente menos frias) provenientes do oceano.

Já a frente polar, que predomina nas médias e baixas latitudes, separa o ar polar do ar tropical. Dois tipos de frente polar são conhecidos: a frente fria, na qual o ar frio polar avança sobre a região do ar quente tropical; e a frente quente, na qual o ar quente avança sobre a região do ar frio (MENDONÇA, 2007).

Segundo Mendonça (2007), as frentes polares marcam o dinamismo da atmosfera, levando consigo instabilidade térmica, alternância dos tipos de tempo e a ocorrência de precipitações para as regiões onde atuam. Elas se formam sobre áreas nas quais as massas de ar que se encontram apresentam consideráveis contrastes térmicos, desta forma a frente polar é fortemente ativa.

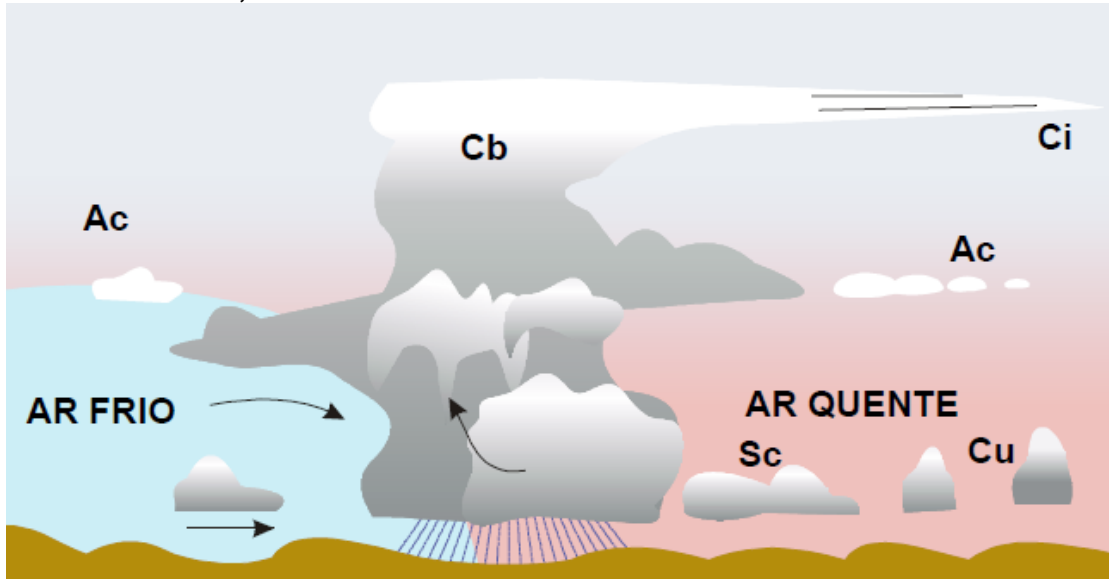
Uma frente fria ocorre quando o ar frio mais denso e mais pesado, empurra o ar quente para cima e para frente, fazendo-o se retirar tanto por elevação quanto por advecção (Figura 8). Segundo Mendonça (2007), as frentes frias podem apresentar:

- Rápido deslocamento e instabilidade: quando as diferenças de temperatura e pressão são das massas de ar e se seus centros de ação são muito acentuadas, as nuvens dispõem de uma faixa estreita ao longo da linha de descontinuidade. Neste caso, nuvens do tipo Cumulus anunciam a chegada da frente, cuja precipitação e ocorrência de trovoadas é de grande intensidade devido às expressivas correntes convectivas. Após a passagem dessa faixa de instabilidade, há o predomínio do céu limpo e de baixas temperaturas.

- Lento deslocamento e estabilidade: como os centros de ação das massas de ar

que apresentam baixa diferença barométrica, as nuvens acumulam-se ao longo na linha de descontinuidade e o céu pode apresentar-se coberto por nuvens altas que dão origem a precipitações intensas. Após sua passagem, a pressão atmosférica eleva-se e predominam as baixas temperaturas.

**Figura 8 - Modelo de uma superfície frontal fria, com o conjunto de nuvens associadas.**  
 Fonte: VAREJÃO-SILVA, 2006.



Frentes frias de deslocamento rápido ocorrem, principalmente, entre as regiões polares e as regiões subtropicais, enquanto aquelas de deslocamento lento predominam na faixa intertropical (AYOADE 1996).

Por outro lado, quando o ar quente consegue empurrar o ar frio para uma determinada localidade ocorre uma frente quente. A menor densidade do ar quente e o atrito com a superfície fazem com que o ar quente tenha, em relação à frente fria, mais dificuldade de empurrar o ar frio adjacente (MENDONÇA, 2007). Simultaneamente, a presença de um centro ciclônico desencadeia movimentos ascendentes e, sendo o ar quente menos denso, tende a elevar-se ao longo da superfície frontal quente, movendo-se por cima do ar frio (VAREJÃO-SILVA, 2006).

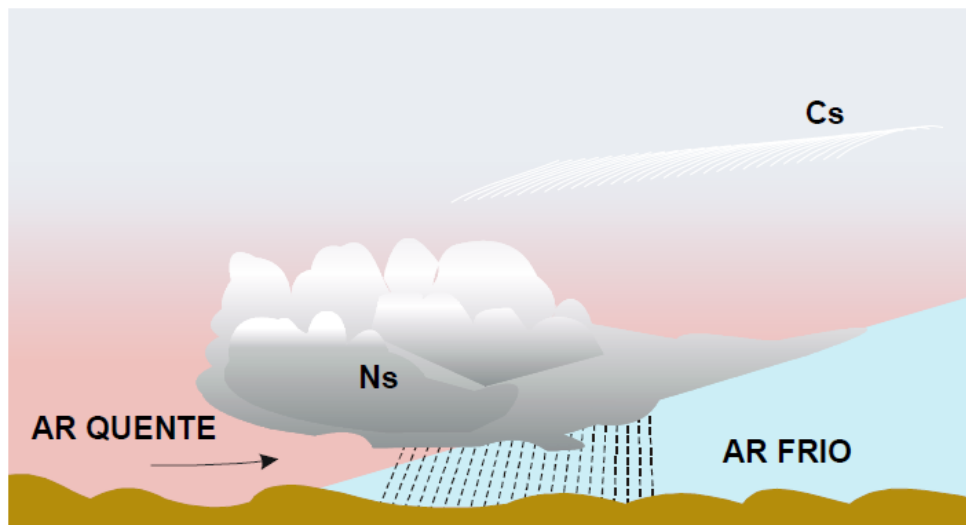
A ocorrência de frentes quentes é geralmente marcada por uma massa de nuvens de considerável extensão, e as chuvas que caracterizam sua passagem são contínuas e de pequena intensidade, acompanhadas pela formação de nevoeiros na

superfície, conforme a Figura 9. Segundo Mendonça (2007), elas podem ocorrer em duas formas:

- Frente quente de deslocamento lento: ocorre a cobertura do céu por nuvens altas antes da chegada da frente e chuva contínua com rotação dos ventos. Após a passagem da chuva, a temperatura apresenta um leve aquecimento.
- Frente quente de deslocamento rápido: de maneira geral, o céu apresenta-se bem menos coberto do que na frente de deslocamento lento e há a ocorrência de chuvas rápidas.

**Figura 9 - Modelo de uma superfície frontal quente, com o conjunto típico de nuvens associadas.**

Fonte: VAREJÃO-SILVA, 2006.



A passagem de um sistema frontal sobre uma determinada região é geralmente marcada por uma expulsão progressiva em altitude do ar quente, com posterior desaparecimento do mesmo. Este processo trata-se de uma oclusão, quando a frente fria encontra-se com a frente quente (pois a fria avança mais rápido que a quente), gerando o processo de frontólise

Ayoade (1996) aponta que as zonas frontais no mundo situam-se entre os paralelos de 30° e 60° em ambos os hemisférios. Nessas zonas há fortes gradientes térmicos na direção dos pólos, durante todo o ano, porém tem sua intensidade aumentada na estação do inverno.

## 2.5. EVENTOS SEVEROS E DESASTRES NATURAIS

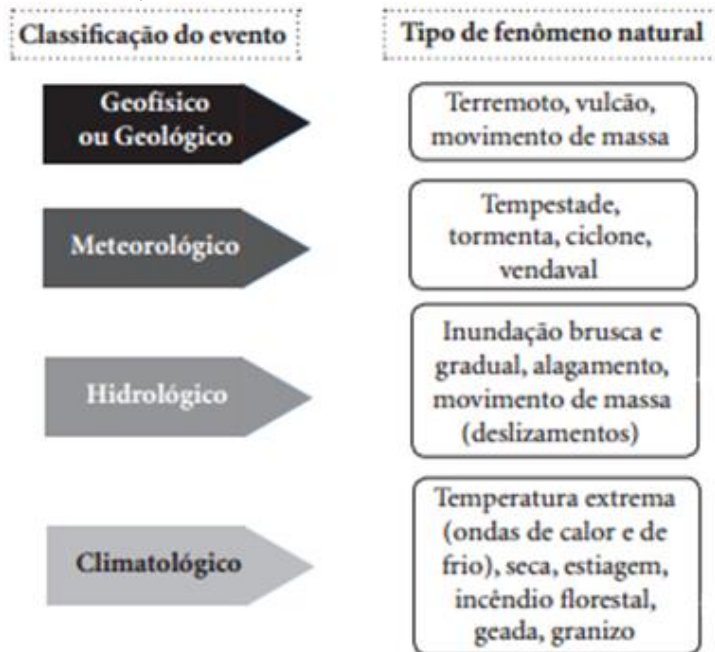
Quando um fenômeno meteorológico causa graves danos e prejuízos à população e aos bens de uma comunidade, configura-se assim, um cenário típico de desastre natural (MARCELINO, 2008). Várias áreas do globo são seriamente impactadas por fenômenos atmosféricos extremos, como por exemplo a costa leste do Estados Unidos impactada pelo El Niño e pelo Furação Katrina em 2005, as Filipinas pelo tufão Haiyan em 2013 e Miamar devastada pelo ciclone Nargis, em 2008, com ventos de 190 quilômetros por hora (MASSUELLA, 2014)

Os desastres, como um todo, são distinguidos principalmente em função de sua origem, isto é, da natureza do fenômeno que os desencadearam (MARCELINO, 2008 - INPE). Na literatura especializada, são apresentadas diversas propostas de classificação de desastres naturais, quanto ao agente causador – natural, antropogênico ou misto; quanto a evolução – súbito, gradual ou de somação; quanto a intensidade – médio, grande e muito grande (MARCELINO et al.,2006).

Tendo como premissa o evento geofísico que desencadeou o desastre, a classificação apresentada por Freitas et al. (2014) classifica os desastres naturais em geológicos, meteorológicos, hidrológicos e climatológicos, expressos na Figura 10.



**Figura 10 - Classificação dos desastres naturais quanto à origem.**  
 Fonte: adaptada FREITAS et al., 2014.



A ocorrência dos desastres naturais está vinculada não somente à suscetibilidade dos mesmos – às suas características geoambientais – mas também à vulnerabilidade do sistema social sob impacto (ALCANTARA-AYALA, 2002). Saito (2011) destaca que a mensuração do impacto de eventos severos expressa-se além da quantidade de vezes em que ocorrem, mas, sobretudo, pelo número de pessoas afetadas. Este autor salienta que a vulnerabilidade não se relaciona somente com os danos de infraestrutura, mas especialmente com as características da população que pode estar em diferentes graus de preparo para lidar com os desastres.

Marcelino et al. (2006) afirma que os principais fatores responsáveis pelo agravamento dos efeitos dos desastres naturais são o crescimento populacional, a segregação sócio-espacial, a acumulação de capital em áreas de risco, o avanço do registro e disseminação de informações, e as mudanças climáticas globais.

O território brasileiro, especialmente, tem sofrido uma intensificação dos prejuízos causados por estes fenômenos devido ao mau planejamento urbano (KOBAYAMA, 2006). Segundo o Anuário Brasileiro de Desastres Naturais (BRASIL, 2012), no ano de 2012 os desastres naturais tiveram um impacto significativo em todo o território, onde, oficialmente foram verificadas a ocorrência de 376 desastres naturais, os

quais afetaram cerca de 17.000 pessoas em 3.781 municípios. Marcelino (2008) cita que no Paraná, de 1980 a 2006, foram registrados 2.553 desastres.

Segundo Marcelino et al. (2006), a Secretaria Nacional de Defesa Civil contém os dados de desastres ocorridos em todo território nacional. O autor ressalta, no entanto, que nesse banco de dados são computados somente as Situações de Emergência ou os Estados de Calamidade Pública decretadas pelos municípios, nas quais os desastres são considerados de grande severidade, resultando em dezenas de mortos e centenas de desabrigados. Assim, Marcelino (2008) afirma que o número de desastres ocorridos no Brasil é bem mais elevado do que os contabilizados no banco da Defesa Civil.

#### 2.5.1. Vendavais

Vendavais podem ser definidos como deslocamentos intensos de ar na superfície terrestre devido, principalmente, às altas diferenças no gradiente de pressão atmosférica, aos movimentos descendentes e ascendentes do ar e à rugosidade do terreno (FINOTTI, 2010).

A maioria dos eventos de vendavais não se formam isoladamente, e sim associados a outros parâmetros geográficos que contribuem para a formação e/ou intensificação desses fenômenos. Um dos principais agentes para a formação de vendavais são as condições atmosféricas principalmente em escala sinótica (FINOTTI, 2010).

As condições agravantes podem ainda estar associadas a parâmetros na superfície terrestre que participam na intensificação dos vendavais, como por exemplo, a configuração do relevo, a cobertura vegetal, entre outros (FINOTTI, 2010).

A direção do vento exprime a posição do horizonte aparente do observador a partir da qual o vento parece provir, e não para onde o vento está indo (VAREJÃO-SILVA, 2006). O autor esclarece que a direção é expressa em termos do azimute, em outras palavras, do ângulo que o vetor velocidade do vento forma com o norte geográfico local

(0°). Assim, o vento que vem de leste tem direção de 90°, aquele que procede do sul tem direção de 180°.

A direção também é estimada a partir da rosa dos ventos, relatada como aquela que mais se aproxima de um dos pontos cardeais (N, S, E, O) ou colaterais (NE, SE, SW e NW) (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Além da direção, os ventos também se caracterizam por sua velocidade. Considera-se uma tempestade quando os ventos alcançam de 89 a 102 km/h, já os vendavais são assim chamados quando os ventos ficam entre 75 a 88 km/h. A Tabela Beaufort – Figura 11 – apresenta a classificação do vento a partir de sua velocidade e os impactos causados na paisagem, assim, se torna possível inferir a velocidade do vento a partir dos danos provocados (MENDONÇA, 2007).

**Figura 11 - Classificação da velocidade dos ventos de acordo com a escala Beaufort.**  
**Fonte: MENDONÇA, 2007.**

Grau	Designação	nós	km/h	m/s	Aspecto do mar	Efeitos em terra
0	<i>Calmaria</i>	<1	<2	<1	Espelhado	Fumaça sobe na vertical
1	<i>Bafagem</i>	1 a 3	2 a 6	1 a 2	Pequenas rugas na superfície do mar	Fumaça indica direcção do vento
2	<i>Aragem</i>	4 a 6	7 a 11	2 a 3	Ligeira ondulação sem rebentação	As folhas das árvores movem; os moinhos começam a trabalhar
3	<i>Fraço</i>	7 a 10	13 a 19	4 a 5	Ondulação até 60 cm, com alguns <i>carneiros</i>	As folhas agitam-se e as bandeiras desfraldam ao vento
4	<i>Moderado</i>	11 a 16	20 a 30	6 a 8	Ondulação até 1.5 m, <i>carneiros</i> frequentes	Poeira e pequenos papéis levantados; movem-se os galhos das árvores
5	<i>Fresco</i>	17 a 21	31 a 39	9 a 11	Ondulação até 2.5 m, muitos <i>carneiros</i>	Movimentação de árvores pequenas; superfície dos lagos ondula
6	<i>Muito Fresco</i>	22 a 27	41 a 50	11 a 14	Ondas grandes até 3.5 m; borrifos	Movem-se os ramos das árvores; dificuldade em manter um guarda chuva aberto
7	<i>Forte</i>	28 a 33	52 a 61	14 a 17	Mar revolto até 4.5 m com espuma e borrifos	Movem-se as árvores grandes; dificuldade em andar contra o vento
8	<i>Muito Forte</i>	34 a 40	63 a 74	17 a 21	Mar revolto até 7.5 m com rebentação e faixas de espuma	Quebram-se galhos de árvores; circulação de pessoas difícil
9	<i>Duro</i>	41 a 47	76 a 87	21 a 24	Mar revolto até 9 m; borrifos afectam visibilidade	Danos em árvores; impossível andar contra o vento
10	<i>Muito Duro</i>	48 a 55	89 a 102	25 a 28	Mar revolto até 12 m; superfície do mar branca	Árvores arrancadas; danos na estrutura de construções
11	<i>Tempestade</i>	56 a 63	104 a 117	29 a 32	Mar revolto até 14 m; pequenos navios sobem nas vagas	Estragos abundantes em telhados e árvores
12	<i>Furacão</i>	>64	>119	>33	Mar todo de espuma; visibilidade nula	Grandes estragos

As rajadas de vento são definidas como as variações na intensidade de ventos em alta velocidade, geralmente acompanhadas por mudanças bruscas de direcção. Tais eventos causam danos a estruturas e perdas materiais, danificando pontes, telhados de edificações, linhas aéreas de energia, antenas transmissoras (antenas de rádio, televisão, etc.), turbinas eólicas, podendo ainda terem resultados mais agravantes como danos a vida (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Muitos autores investigaram a ocorrência de desastres naturais em áreas urbanas. PERETTI (2015) retratou os vendavais e vendavais acompanhados de granizo ocorridos durante 25 anos na região do Alto Uruguiaia no Rio Grande do Sul e conclui que

a sazonalidade exerce influência na ocorrência de vendavais, observando uma predominância de 48,4% de ocorrência durante a primavera.

Rossetto (2010) analisou a relação de sistemas atmosféricos de mesoescala com a ocorrência de eventos extremos como inundações, vendavais e granizo na porção Centro-Oeste no estado Paraná. A partir dessa investigação, concluiu que a ocorrência de 11 dos 14 episódios caracterizados foram decorrentes da atuação do Jato Subtropical, tornando-se um indicador da intensidade de tais fenômenos. Outra observação feita pelo autor foi a associação entre a sazonalidade e a incidência de tais desastres naturais, os quais se apresentaram em maior concentração durante a transição inverno-primavera.

Esses fenômenos são praticamente impossíveis de serem erradicados. Pode-se até mesmo afirmar que, por mais que a sociedade se desenvolva, os desastres naturais sempre irão ocorrer. Os fenômenos naturais extremos fazem parte da geodinâmica terrestre e são imprescindíveis para a existência humana, sendo diretamente responsáveis pela formação do relevo, manutenção de ecossistemas, abastecimento das fontes hídricas, entre outros (MARCELINO, 2008).

Os esforços humanos devem ser direcionados para a elaboração e adoção de medidas preventivas e mitigadoras que possam amenizar o impacto causado pelos desastres naturais (MARCELINO, 2008). Saito (2009) destaca que as séries históricas fornecem importantes elementos para análise, possibilitando relacionar as ocorrências dos desastres naturais com os fenômenos atmosféricos frequentes, tais como El Niño ou La Niña. A existência de dados referentes a esses desastres constitui-se como uma das maneiras de se conhecer a gênese e o desenvolvimento desses fenômenos para assim, estabelecer medidas preventivas de redução dos danos

## 2.6. A CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA DA AMÉRICA DO SUL

A América do Sul é atingida pelos anticiclones tropicais do Atlântico e do Pacífico, além dos anticiclones polares migratórios. No interior do continente, a configuração geral do relevo estimula a formação de células de alta e baixa pressão regional, além de linhas de instabilidade tropical (FONZAR, 1994).

As células anticiclônicas estão localizadas entre 20° e 40° da latitude sul. Correspondem às áreas de climas tropicais e são células de alta pressão distintas que se desenvolvem sobre os oceanos. Fonzar (1994), discute as origens destes anticiclones, cuja posição está nos limites da circulação polar e intertropical. Assim, tem-se uma origem ao mesmo tempo equatorial e polar e uma origem essencialmente polar. Também estas altas pressões reforçam-se ou enfraquecessem em determinadas estações ou lugares e constituem o mecanismo destes anticiclones subtropicais.

A faixa de anticiclones subtropicais não constitui um anel contínuo sobre o globo terrestre, mas uma cadeia de células anticiclônicas, individuais, separadas umas das outras por colos isobáricos profundos, que permitem as trocas meridianas entre faixas intertropicais e as regiões temperadas. As áreas de alta pressão colocam-se preferencialmente, sobre os oceanos do que sobre os continentes. No Hemisfério Sul, as células de alta pressão formam uma sequência em todas as estações (FONZAR, 1994).

O anticiclone semifixo tropical do Atlântico Sul, tem seu centro de ação no Atlântico. Este sistema penetra pelo interior do Brasil, tomando-o em determinadas situações, na sua totalidade, desde o Rio Grande do Sul, até o Nordeste e Norte. Deste centro de pressão divergem os alísios que atingem a costa leste continental; tomando as direções noroeste e nordeste entre os paralelos 10° e 40°S. Sua atuação no interior do continente é mais forte no verão. No inverno, durante a penetração dos anticiclones polares, ele desaparece (FONZAR, 1994).

O anticiclone tropical do Pacífico Sul, que margeia a costa oeste da América, divergem ventos que ao sul são de sudoeste, e e mais ao norte, ventos de oeste. Durante o verão, todo o anticiclone do Pacífico invade o continente e sofrem um deslocamento para o norte. No Brasil, eles anticiclone se movimentam para leste, transpõem os Andes em

vários locais e tem um papel muito importante na movimentação atmosférica brasileira (FONZAR, 1994).

As massas de ar topicais marítimas estão associadas às áreas de alta pressão que formam sobre os oceanos, sendo as de maior atuação na América do Sul (Figura 12). A massa topical Atlântica, associada em primeiro grau ao anticiclone do Atlântico Sul, possui características subsidentes, possuindo uma camada de inversão, onde o ar quente e seco se sobrepondo ao ar úmido e menos aquecido, caracteriza, então, como uma massa de ar quente e úmida.

Já a massa tropical do Pacífico, durante o verão transpassa o Cordilheira das Andes e se associa à massa continental tropical, alimentando a depressão do Chaco. Esta massa, devido à presença da cordilheira quando move-se para leste, perde parte de sua umidade, porém mantém características frias, devido às altas latitudes em que se forma.

A América do Sul é ainda atingida por anticiclones polares móveis, que advém das altas latitudes e são caracterizados pelo ar frio na troposfera inferior. Tais anticiclones migratórios, são células de alta pressão que movem-se rapidamente e tem curta duração, porém, enfraquecem-se com a altitude e são substituídos por baixa pressão (FONZAR, 1994). À eles está associada a massa polar Atlântica, originária do extremo sul da Argentina, de característica fria e úmida, atingindo boa parte do Brasil no inverno, com ênfase na região sul

As células de baixa pressão formadas sobre o continente são: a célula de baixa pressão ao norte da Argentina (na região do Chaco), baixa pressão da região Amazônica, situada entre Rondônia e Bolívia e baixa pressão do Nordeste (FONZAR, 1994).

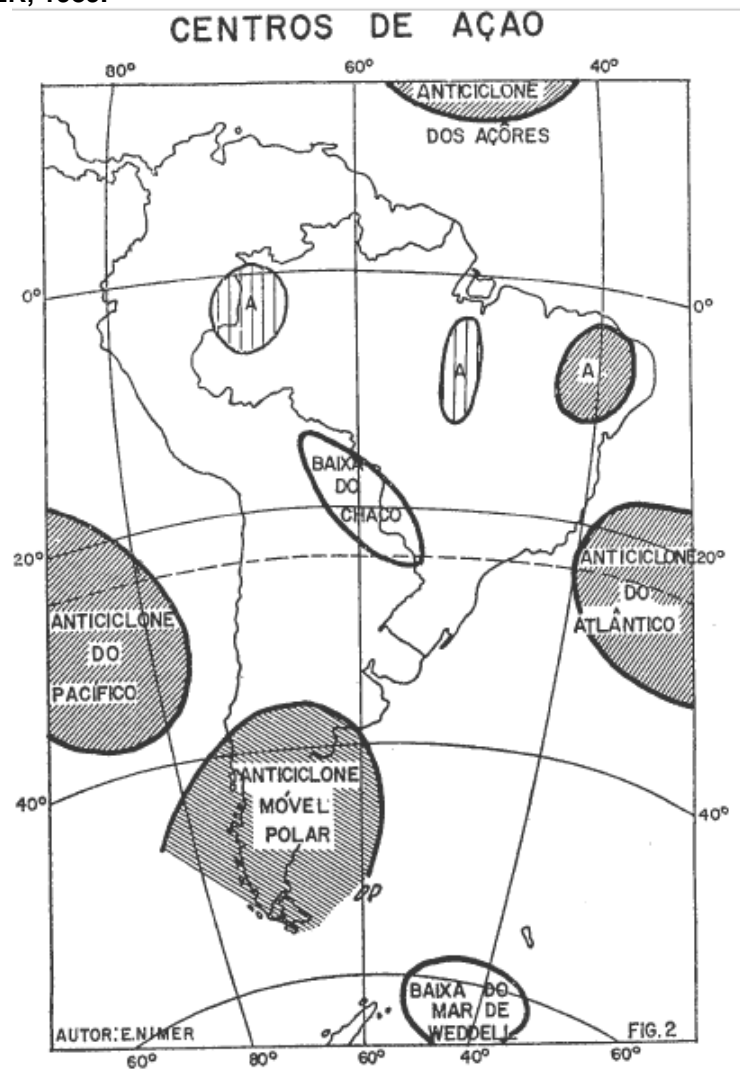
A área de baixa pressão associada ao norte da Argentina e do Paraguai se configura-se a partir do movimento descendente do ar a partir dos Andes. O movimento geral para leste faz com que haja uma expansão no interior do continente, chegando ao Mato Grosso do Sul e ao sul do Brasil. No inverno, devido à penetração do ar frio pelo interior, ela desaparece ou surge com tamanho reduzido (FONZAR, 1994).

À célula de baixa pressão do Chaco associa-se a massa tropical continental, a qual resulta do grande aquecimento do continente durante o verão. Possui característica quente e seca, de tempo instável e alta atividade convectiva. Sua atuação ocorre

principalmente na região centro-oeste, embora possa atingir também partes das regiões sul e sudeste do Brasil (FONZAR, 1994).

Outro sistema de baixa pressão de grande atuação na América do Sul e, sobretudo, no Brasil, é a célula baixa pressão da região Amazônica. Este centro está relacionado à massa Equatorial continental, devido à sua origem de formação, próxima ao Equador e ao interior do continente. Nesta área dominam movimentos convectivos, intensificados pela convergência dos alísios, e, devido à presença da floresta, ela caracteriza-se como uma massa quente e úmida. Sua atuação estende-se bastante ao sul do país durante o verão, e se retrai quase completamente no inverno, devido à entrada das frentes polares (FONZAR, 1994).

**Figura 12 - Centros de ação atuantes na América do Sul.**  
**Fonte: NIMER, 1989.**





### 2.6.1. Características Climáticas do Paraná

O território do estado do Paraná localiza-se na região sul-brasileira, com uma área de superfície, de 201.203 Km<sup>2</sup>. São seus divisores geopolíticos os estados de São Paulo e Santa Catarina. Em sua extensão, o relevo paranaense distingue-se, segundo Maack (2002), em cinco grandes regiões de paisagens naturais: a planície litorânea, a Serra do Mar, o primeiro Planalto ou planalto Cristalino, na região de Curitiba; o segundo Planalto ou Campos Gerais e o terceiro Planalto, ou planalto de Guarapuava.

Esta região se distingue como uma unidade fisiografia através das seguintes características: por sua estrutura geológica, constituída por uma zona cristalina; pelo relevo ondulado, delimitado pela planície litorânea, por suas vertentes hidrográficas, pelo clima temperado e pela Mata das Araucárias (CAMARGO, 2001).

A posição do território paranaense nas latitudes médias na borda do Oceano Atlântico confere à região um papel importante no seu condicionamento climático. Em virtude de situar-se em torno e abaixo do trópico de Capricórnio e, em seu limite meridional, os paralelos de 30° e 34° Sul, essa região brasileira está situada no interior da zona temperada, sem se afastar muito da costa marítima (NIMER, 1989).

A topografia, responsável pelo componente zonal do gradiente de temperatura nas estações do ano, e a advecção do ar quente do norte durante o ano todo são fatores influenciadores na variação da temperatura. O conteúdo de umidade trazido pelas correntes marítimas da costa brasileira norte para a sul, contribui paralelamente para diminuir a amplitude do ciclo anual de temperatura nessa região, principalmente em sua fração norte (CAVALCANTI, 2009).

No entanto, a umidade relativa do ar está sob influência da corrente marítima quente do Brasil e da massa de ar do Atlântico Sul, atingindo índices de 85% no litoral e 80% nos planaltos, quando da atuação dessas massas. A umidade atmosférica em junção com o relevo do Estado, ocasionam chuvas orográficas determinando um índice pluviométrico entre 1200 e 1350 mm anuais de chuva em todo o território (CAMARGO, 2001).

Maack (2002) afirma ainda que, em quase todo o território regional existe pelo menos um mês com temperatura média inferior a 15°C e, em quase 50% dele, o mês mais frio desce abaixo da média de 13°C. Somente o norte do Paraná e a baixada litorânea não estão, normalmente, sujeitos a temperaturas negativas no inverno.

Segundo a Classificação de Maack (2002 apud Koeppen, 1939), os tipos de climas que compreendem os planaltos do Paraná são o Cfa temperado-quente e húmido e o Cfb temperado-fresco e húmido, e na zona litorânea, o Cwa - clima temperado húmido com Inverno seco e verão quente.

Devido à sua localização, acerca do trópico de Capricórnio, a região Paranaense é atingida por dois centros de alta pressão localizados sobre os oceanos, que tangenciam o continente. Pela sua constância e fraco deslocamento, tais altas são definidas como anticiclones permanentes e semifixos oceânicos, situando-se na zona subtropical do hemisfério sul (NIMER, 1989). Tais sistemas são denominados como Anticiclone do Pacífico e Anticiclone do Atlântico Sul.

A circulação geral da atmosfera está sob a influência da migração das massas de ar da zona Atlântica Equatorial e Tropical de pressão baixa e da infiltração de massas de ar frio da Frente Polar. A interferência dos ventos alísios de sudeste, na intensidade do deslocamento das massas de ar da zona Atlântica para o sul, e do avanço dos anticiclones do Atlântico Sul para o norte, tem influência direta na formação das precipitações orográficas na serra (CAMARGO, 2001).

Na estação quente, no mês de janeiro, a região equatorial das baixas pressões e suas respectivas massas de ar quente e úmidas – massa de ar equatorial continental, localiza-se sobre a área do Paraná, como consequência do afastamento do sol do Trópico de Capricórnio rumo ao Equador. Este fenômeno corresponde, ao fato de que, sendo o interior do Paraná mais aquecido do que a orla marítima, dá-se uma baixa pressão. Trata-se, esta, da região em que migram os ciclones condutores de chuva com ventos de norte e noroeste (MAACK, 2002).

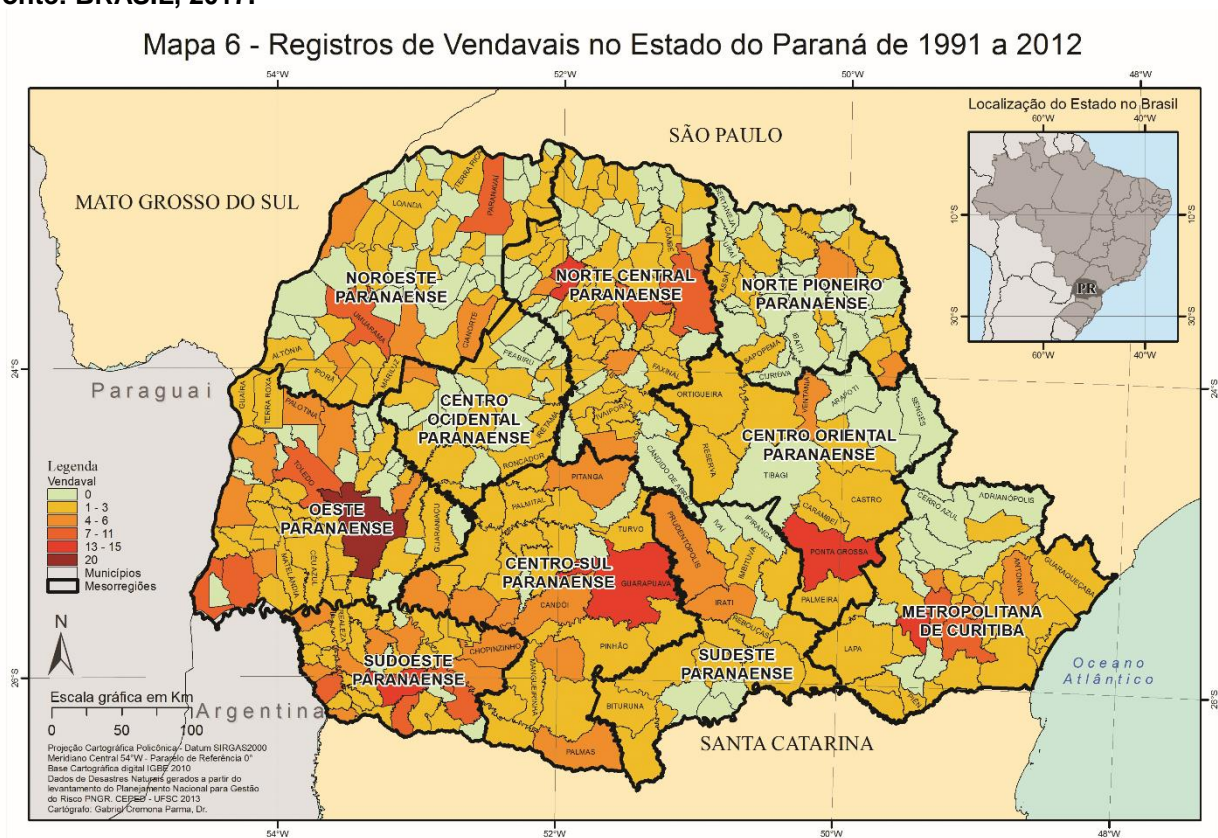
A aproximação das massas subtropicais do sistema de alta pressão do Atlântico Sul já é bem pronunciada em março, graças aos ventos predominantes dos quadrantes sul e sudeste. A influência desta massa no estado faz com que a pressão atmosférica

média atinja seu ponto máximo no mês de julho, e o mínimo em janeiro, com a migração do Sol na direção Sul (MAACK, 2002).

Tais circunstâncias tornam o Paraná uma região sujeita às sucessivas invasões de massas de ar, caracterizando-se uma área de descontinuidade, na qual ocorre o embate destas massas e para onde convergem os ventos das áreas de alta pressão (NIMER, 1989). Tais correntes de ar perturbadas, por serem típicas da circulação atmosférica tropical, não afetam igualmente toda a região paranaense que, como sabe-se, está quase inteiramente localizada na zona temperada.

Por este motivo, enquanto a porção oeste e norte são, durante o verão, frequentemente invadidas por tais correntes, na parte sudeste suas invasões são raras (NIMER, 1989). A Figura 13 seguinte apresenta o registro de vendavais ocorridos no Paraná de 1991 à 2012, percebendo-se que as áreas mais escuras apresentaram o maior número de casos registrados.

**Figura 13 - Registro de Vendavais no Estado do Paraná de 1991 à 2012.**  
Fonte: BRASIL, 2017.



## 2.6.2. Características dos Ventos em Londrina

Segundo a classificação climática de Maack (2002 apud Koeppen, 1939), o clima predominante no norte do Paraná apresenta-se como um clima mesotérmico úmido com verões brandos (Cfb), onde a média do mês mais quente é inferior a 22° C e do mês mais frio inferior a 18° C, sem estação seca com verão brando e, geadas severas demasiadamente frequentes.

Em direção à porção centro-norte do Estado, área onde está localizada a região metropolitana de Londrina, Maack (2002) afirma que ocorre a transição entre o tipo climático Cfb para o Cfa – clima subtropical úmido, com chuvas em todas as estações onde a média do mês mais quente é superior a 22° C e a do mês mais frio inferior a 18° C, sem estação seca definida, verão quente e geadas menos frequentes.

De acordo com Monteiro (1969), Londrina apresenta um clima controlado por massas de ar tropicais e polares, sendo do tipo subtropical úmido dominado largamente por massas tropicais marinhas. Nimer (1989), dá destaque para o regime de chuvas do norte do Paraná, em virtude da sua localização no estado, possui um regime anual de precipitação muito semelhante ao que caracteriza o Brasil tropical (regiões Centro-Oeste e Sudeste). Nessa região o máximo pluviométrico se dá no verão e o mínimo ocorre em fins de outono ou no inverno.

De acordo com Stipp (2011 apud WAGNER. et al., 1989), a predominância da direção dos ventos na região paranaense é de nordeste - leste - sudeste; fato que relaciona-se com os centros de alta pressão do Atlântico e Pacífico, que originam ventos em tais orientações.

Stipp (2001), afirma ainda que, nos dias propícios a ocorrência de geadas os ventos apresentam direção sudoeste; desta forma as direções predominantes dos ventos que acompanham as entradas de massas de ar frio se concentram nas direções sudoeste-oeste-sul-noroeste, tal fato evidencia uma correlação entre a entrada de massas de ar polares, que são acompanhadas de ventos do quadrante sul, e a ocorrência de picos máximos extremos.

As massas de ar associadas às frentes frias, em virtude de seu rápido deslocamento, estão relacionadas à alta intensidade na velocidade dos ventos bem como à forte intensidade convectiva que pode ocorrer na linha de instabilidade frontal (STIPP, 2001). O Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR, localizado na cidade de Londrina, tem registrado a ocorrência de ventos superiores à 80 Km/h.

### 2.6.3. Vendavais em Londrina

Assim como afirmado por Finotti (2010), a região de Londrina sofre com a ocorrência de vendavais, pois em torno desta área existe o anticiclone semi-permanente do Atlântico Sul, centro de ação da massa Tropical Atlântica (mTa), que ocasiona, associado à outros aspectos, vendavais e tempestades.

Em relação aos impactos dos vendavais na área urbana de Londrina, Moriya (1986) relata que, em 1983 ventos de 142 Km/h de direção oeste atingiram a cidade, causando grandes impactos a infraestrutura; registrou-se outras ocorrências em 1984 e 1986. Este autor afirma que uma das consequências dos impactos é a inexpressiva barreira natural associada à vegetação, pois os ventos não encontrando atrito natural, ocasionado pelos desmatamentos, causam danos às edificações que não resistem e são abaladas.

Silva et al. (2012) afirma que, devido ao fato de Londrina se encontrar sob baixas cotas altimétricas e sob o Trópico de Capricórnio, ocorre um intenso fluxo de trocas de temperatura, aumentando a velocidade dos ventos. Em tais condições, as quais ocorrem principalmente na primavera e no verão. Este autor investigou os vendavais na área urbana de Londrina no período de 2000 a 2010 e constatou a ocorrência de 35 eventos de vendavais com magnitude média das rajadas de 77.4 Km/h.

Por se localizar em uma área de embate de massas de ar frias (MPa) e quentes (MTa, MEc e MTc), a variação térmica e barométrica na região de Londrina é bastante acentuada, o que acarreta uma considerável movimentação do ar e, não raro, a ocorrência de fortes vendavais (acima de 80 Km/h) (STIPP, 2001).

O periódico Folha de Londrina, de circulação no Estado do Paraná, destacou os impactos dos vendavais que ocorreram na região de Londrina em 1991 e 1994. Estes ventos com direção predominante de S e SW causaram grandes impactos na porção sudoeste da área urbana da cidade (STIPP, 2001).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais e métodos utilizados para a obtenção e a análise dos dados, bem como a localização e a caracterização da área objeto deste estudo.

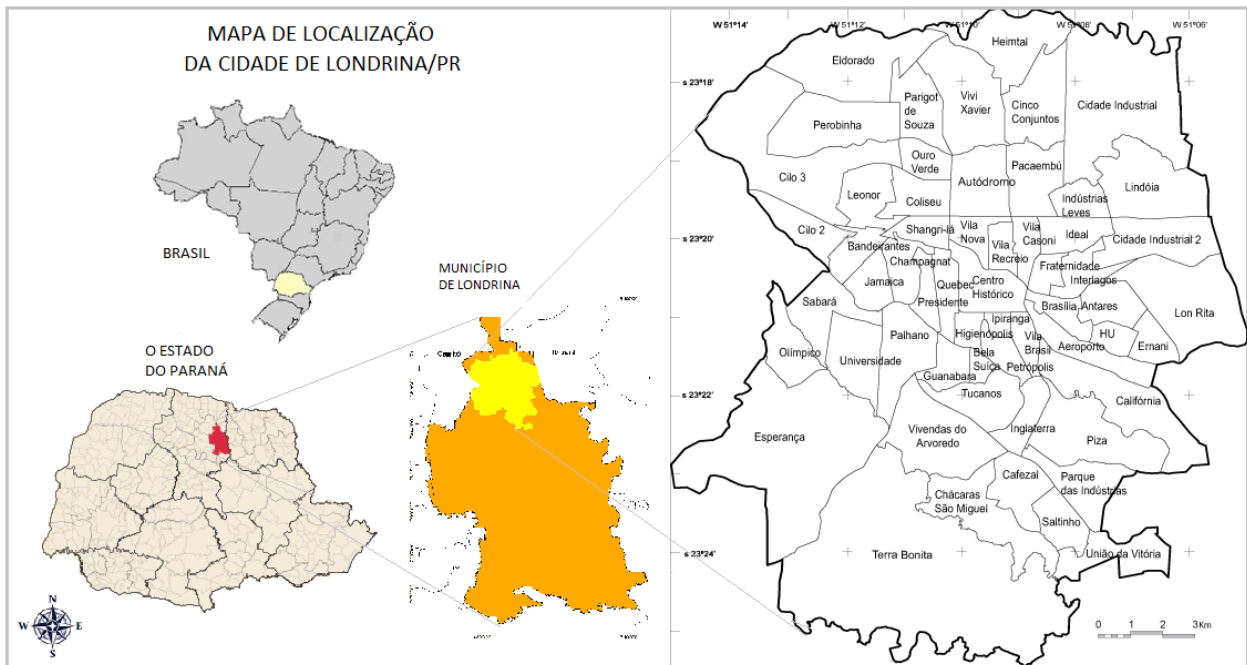
#### 3.1. ÁREA DE ESTUDO

##### 3.1.1. Caracterização e Localização

A área contemplada neste estudo faz parte da região sul do Brasil, situando-se na mesorregião norte-central do estado do Paraná. O município de Londrina – área objeto deste estudo – encontra-se nas coordenadas 23°08'47"S e 50°52'23"O, ocupando, segundo o IBGE (2015), uma área de 1.652,569 Km<sup>2</sup>, equivalente à cerca de 1% de todo o estado (Figura 14).

Londrina é sede da região metropolitana da porção norte do Paraná. Com cerca de 506.700 habitantes, é considerada um centro regional integrando atividades comerciais, serviços, agroindústrias e uma densa qualidade na educação pública, sendo a segunda cidade mais populosa do estado e a terceira mais populosa da região Sul do Brasil (IBGE, 2015).

A região em que Londrina se encontra possui uma altitude que varia de 800 m (leste) à 300 m (oeste). Caracteriza por um relevo ondulado e aplainado, os topos na parte oeste vão diminuindo sua altitude em direção à leste devido à queda do relevo em direção ao rio Tibagi. Este curso d'água corre no sentido sul-norte e desagua no rio Paranapanema, dividindo a região norte do Paraná e dispondo Londrina em sua margem oeste.



**Figura 14 - Mapa de Localização da cidade de Londrina no estado do Paraná.**  
**Fonte: adaptado Barros et al., 2008.**

O clima em que a área de estudo está localizada se apresenta como subtropical úmido mesotérmico, com temperaturas razoavelmente elevadas, em torno de 24°C na estação quente e 16°C na fria. Com chuvas durante todo o ano, porém mais intensas durante o verão, apresenta índices de umidade relativa do ar em torno de 76% no verão e 72% no inverno. Sua área de localização está situada, em totalidade, no Terceiro Planalto Paranaense (STIPP, 2001).

Segundo Maack (2002), o Terceiro Planalto Paranaense é constituído por derrames basálticos e desenvolve-se como um conjunto de relevos planálticos, onde a conformação de sua paisagem é bastante uniforme. Abrange cerca de 2/3 do território paranaense e tem suas terras delimitadas a oeste pela Serra da Esperança, até encontrar a calha do rio Paraná e, a calha do rio Paranapanema nas direções norte e nordeste. Atinge altitudes médias de 1100 a 1250 metros, na Serra da Esperança, a qual o delimita do Segundo Planalto.

O solo da região de Londrina é de origem basáltica, entretanto, conforme a sua localização, em topografia mais plana e acidentada, apresenta tipos de solos diferentes. A camada de solo é de profundidade alternada, indo de várias dezenas de metros, nos espigões, até menos de um metro, próximo aos ribeirões, onde, na maioria das vezes, a



água flui sobre a superfície compacta do basalto (BARROS et al., 2008).

No município, são poucas as áreas remanescentes da formação vegetal natural (mata pluvial tropical e subtropical) que recobria a região. A mata dos Godoy e a Reserva Indígena do Apucarantina são formações florestais que demonstram a variedade de gêneros e espécies de vegetação que se encontravam na região (BARROS et al., 2008).

As áreas de mata nativa deram espaço aos cafezais, às lavouras de algodão, soja e milho, entre outras culturas, fato que, ao mesmo tempo que ocasionou o intenso desmatamento das florestas nativas, também impulsionou o extenso desenvolvimento da agricultura e a acelerada urbanização no município (STIPP, 2001).

### 3.1.2. Nota Histórica do Norte Paranaense

Os primeiros povos que habitavam a região norte do Paraná eram grupos indígenas – os Kaingang, hoje uma população pouco expressiva. A partir de 1930, com o interesse econômico de países imperialistas e com o incentivo fiscal de colonizadores ingleses, foi iniciada a colonização da região por grupos imigratórios juntamente com a supressão da população nativa.

Este processo de ocupação, visava a expansão da fronteira agrícola para atender interesses do mercado de exportação, refletiu no planejamento urbano da área, fato observado com a criação, pelos ingleses, das Companhias de Terras Norte do Paraná e sua política de implantação de sítios urbanos próximos aos divisores de águas e nas áreas mais elevadas do relevo. A cidade de Jataizinho, às margens do rio Tibagi, é considerada como o primeiro núcleo urbano desta região (STIPP, 2001)..

A especulação planejada da terra resultou também no desenvolvimento logístico da área. Com a criação da Companhia Ferroviária de São Paulo, houve, então, a criação de uma rota a partir das zonas de loteamento do norte do Paraná aos centros consumidores de São Paulo e exportadores de Santos. A estrada de ferro acompanhou os loteamentos de Jataizinho (1931), Londrina (1934), Apucarana (1937) e Maringá (1944) (STIPP, 2001).

A implantação de um sistema fundiário e a viabilização do câmbio de produtos e serviços, resultou no repovoamento da região, que por sua vez estimulou a produção agrícola, a expansão de núcleos urbanos e o aparecimento de classes médias rurais, consideradas como pioneiras na colonização do Norte.

Com a era Getúlio Vargas, na década de 40, a empresa inglesa de loteamento vendeu sua Companhia à capitalistas brasileiros, que transferiram a sede da empresa da cidade de Londrina para a cidade de Maringá. Este motivo faz com que ambas as cidades sejam consideradas pólos econômicos na região, sendo Londrina o primeiro grande pólo do norte pioneiro (STIPP, 2001).

A expansão agrícola e comercial, sobretudo das lavouras de café, propiciou a acumulação regional de capital, fomentando o aparecimento de outros setores, como o industrial e serviços. A indústria e a urbanização, dentro deste processo, promoveram a diferenciação na produção agrícola e uma demanda crescente de produtos industrializados, originando um setor agrícola mercantil (STIPP, 2001).

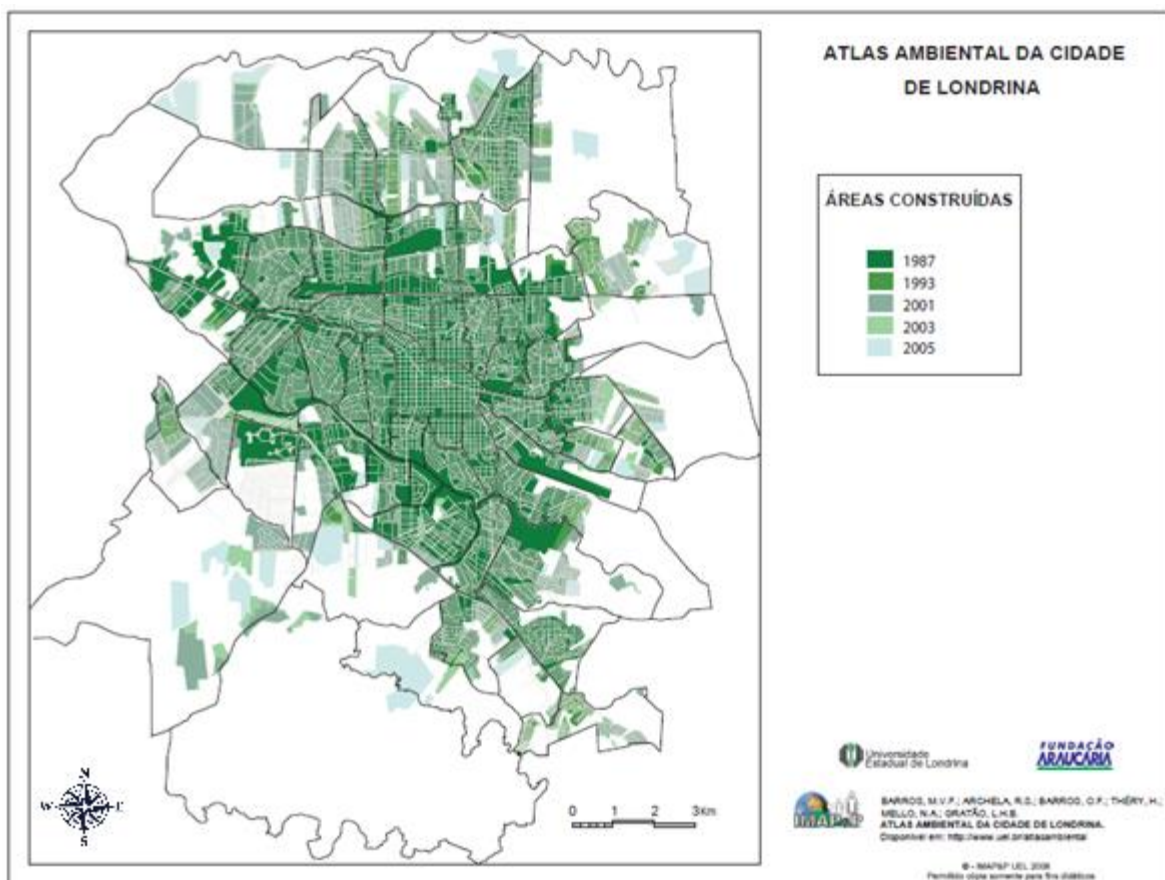
No início dos anos 70, diante da crescente mudança no comportamento econômico do Paraná, sobretudo na agricultura com a intensa modernização da base produtiva, a população rural do norte paranaense decresceu a um ritmo expressivo. O êxodo rural, advindo da mecanização da produção agrícola, acarretou no crescimento das cidades e da urbanização que saltou de 40% para 65% em 1980, prosseguindo incrementando-se aceleradamente, alcançando 88% no ano de 2000 (STIPP, 2001).

Londrina, como as demais cidades estabelecidas pela Companhia de Terras Norte do Paraná, foi configurada levando em consideração sua topografia (acima do espigão), a circulação de mercadorias e de pessoas. Nota-se, pela Figura 15, que sua configuração inicial em formato quadrangular não acompanha a direção do planalto em que se localiza, que vai de leste à sudoeste/noroeste, o que explica a existência de inúmeras ladeiras (STIPP, 2001).

Até a década de 40, a cidade se restringia à uma pequena área central, porém, a partir de 1960 esta área dobrou e então foi determinada a divisão das áreas urbana e rural do município. Por volta de 1980 as áreas urbanas se expandiram rapidamente, com crescimento norte-sul, onde surgem os conjuntos residenciais populares, conforme a

Figura 15 (STIPP, 2001). O perímetro urbano de Londrina atualmente possui uma área de cerca de 245,50 Km<sup>2</sup> (BARROS et al., 2008).

O desmatamento sofrido pela vegetação nativa, aliado a rápida expansão urbana, e a consolidação da agricultura no entorno da região, são os principais fatores que influenciam a atenuação dos impactos provocados pelos vendavais na área, uma vez que os ventos não encontram barreiras naturais que poderiam diminuir sua velocidade e assim, os danos provocados por eles (STPPIP, 2001).



**Figura 15 - Mapa da expansão urbana de Londrina-PR.**  
Fonte: BARROS et al., 2008.

### 3.1. MÉTODOS PARA A OBTENÇÃO DOS DADOS

A primeira parte deste estudo consistiu no levantamento bibliográfico desenvolvido a partir da consulta a livros e pesquisas científicas de diversos autores, sobretudo Nimer (1989), Ayoade (1996), Cavalcanti (2006), Mendonça (2007) e Stipp (2001). Também foram consultados informes de Instituições de Meteorologia do Brasil, acervos de jornais e dados meteorológicos referentes à área de estudo.

Para a obtenção dos dados referentes aos dias em que ocorreram as perturbações atmosféricas na área de interesse, foi realizada uma consulta a periódicos do jornal Folha de Londrina e do acervo da Biblioteca Pública Municipal. Tais periódicos continham os jornais diários de circulação local e regional do período de 2006 a 2016. Os desastres de ordem meteorológica, como os vendavais e vendavais acompanhados de granizo foram os eventos atmosféricos de maior relevância catalogados para esta pesquisa.

Ao término desta coleta, foi feita a sistematização das informações de cada um dos registros de vendavais por meio do preenchimento de uma planilha contendo campos com os principais aspectos dos eventos, tais como data, região mais afetada, características atmosféricas, danos e uma breve descrição.

Os dados atmosféricos utilizados para a análise em questão, tais como temperaturas diárias, pressão, umidade do ar, direção e velocidade do vento, foram fornecidos pelo Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, através de sua estação automática meteorológica principal, localizada na área sul da cidade.

Cartas sinóticas diárias também foram necessárias para a análise da dinâmica atmosférica das datas registradas. Tais documentos foram cedidos pela Marinha do Brasil, obtidas através do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo.

### 3.2. ANÁLISE DOS DADOS

Para a análise do estudo de caso dos vendavais ocorridos na região foco deste estudo, optou-se pela abordagem dinâmica do clima com destaque à análise episódica, metodologia abordada por Monteiro (1969):

*“A abordagem dinâmica fornece a análise de tempo em sequência contínua, uma que vez que é por meio das sucessões que se percebe as diferentes combinações dos elementos climáticos “  
“Ainda, a diminuição da escala de abordagem para a escala episódica, necessariamente acompanhada por um desdobramento da análise, se faz pela análise da sequência diária do tempo, desdobrada em suas quatro cartas sinóticas, do mesmo modo que os elementos são considerados em unidades horárias de observação (MONTEIRO, 1969) ”.*

Mendonça (2007), também utiliza a abordagem episódica, ressaltando que:

*“Para caracterizar o ritmo climático de uma localidade, há que se fazer uma decomposição cronológica dos estados atmosféricos em sua contínua sucessão, pois estes somente podem ser observados e analisados com precisão na durabilidade diária. Os estados atmosféricos tomados como tipos de tempos revelam-se claramente na escala do dia, sendo que sua sucessão pode ser observada a partir da variação dos elementos do clima em interação com a circulação atmosférica terciária e regional (MENDONÇA, 2007).*

Enquanto fenômenos episódicos, os vendavais podem apenas ser trabalhados a partir da análise de tipos de tempos específicos; devido a isso não aparecem nas médias normais do clima da área (STIPP, 2001). Assim, este estudo procurou voltar-se para a análise dos tipos de tempo enquanto derivados do clima, pois o objetivo principal do mesmo é a análise da ocorrência de vendavais na região de Londrina e seus impactos urbanos.

Por se tratar de um estudo de fenômenos episódicos, foram determinadas, primeiramente, datas de vendavais já ocorridos na área, conforme a Tabela 3, acima. Foram selecionados os dias em que se noticiou danos ao município e à população a partir de rajadas de ventos. A partir das datas selecionadas, e dos dados atmosféricos fornecidos pelo IAPAR, foi realizada a análise rítmica dos cinco dias que antecederam os

vendavais.

Mendonça (2007), traz o conceito de análise rítmica do tempo, elaborada primeiramente por Monteiro (1969), definindo-a como uma abordagem da atmosfera a partir da análise do ritmo dos tipos de tempos, ou sucessão dos estados atmosféricos, sobre um determinado lugar. Assim, destaca-se aquilo que ocorre de habitual na atmosfera dos diferentes lugares, o que permite evidenciar tanto os fenômenos e estados mais repetitivos quanto aqueles que ocorrem de modo mais raro ou mais extremo.

Para a análise do ritmo do clima de uma localidade, é necessário de considerar os seguintes elementos climáticos: temperatura, pressão atmosférica, umidade relativa, precipitação, direção e velocidade do vento, entre outros. Esta abordagem permite a análise genética dos tipos de tempo, pois os identifica conforme a interação dos atributos geográficos locais com a circulação terciária da atmosfera. Ela revela-se bastante importante para a identificação dos tipos de tempos, particularmente dos desastres naturais, ou de episódios climáticos que fogem do estado normal do clima de um lugar. (MENDONÇA, 2007).

A leitura da sequência sobreposta dos dados atmosféricos foi feita pelo *software* RítmicoAnálise desenvolvido por Borsato (2006), o qual gerou os gráficos com uma representação contínua e simultânea dos dados meteorológicos de episódios dos vendavais.

As cartas sinópticas dos cinco dias anteriores aos picos de ventos possibilitaram, então, a observação e a análise da circulação atmosférica regional do norte do Paraná, através da confrontação entre as mesmas com os dados atmosféricos levantados e com as figuras dos elementos climáticos gerados pelo software.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos dados obtidos sobre a evolução dos tipos de tempo em Londrina, nos períodos de ocorrência dos vendavais – de janeiro de 2006 à dezembro de 2016, pode-se fazer as seguintes discussões a partir das cartas sinóticas, dos dados meteorológicos e dos registros jornalísticos:

Desta forma, foram estipuladas as seguintes datas de ocorrência, de acordo com a Tabela 3:

**Tabela 3 - Datas dos vendavais ocorridos em Londrina no período de 2006 à 2016.**

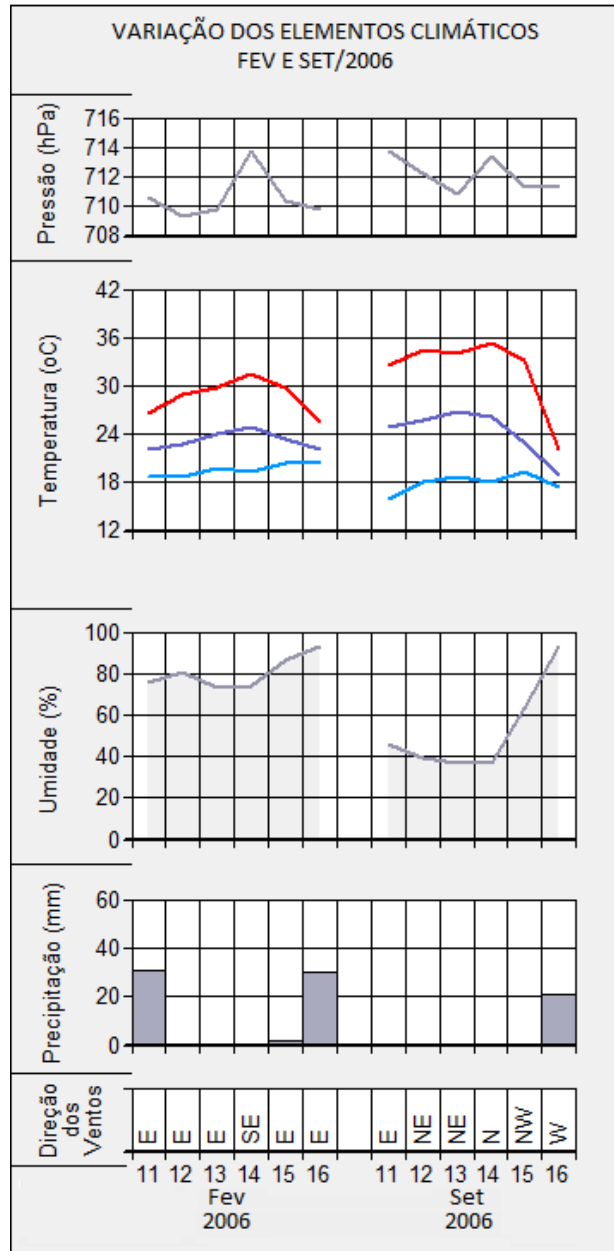
	16/02		2011	01/02
<b>2006</b>	16/09			30/10
	24/09		<b>2012</b>	15/03
	02/11			20/09
<b>2007</b>	10/11			03/02
	20/04		<b>2013</b>	13/02
<b>2008</b>	05/10			23/09
	25/02		<b>2014</b>	20/04
	09/09			13/08
<b>2009</b>	28/09		<b>2015</b>	15/01
	15/10			09/10
	30/10		<b>2016</b>	26/04
				03/11

##### 4.1. ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DOS TIPOS DE TEMPO

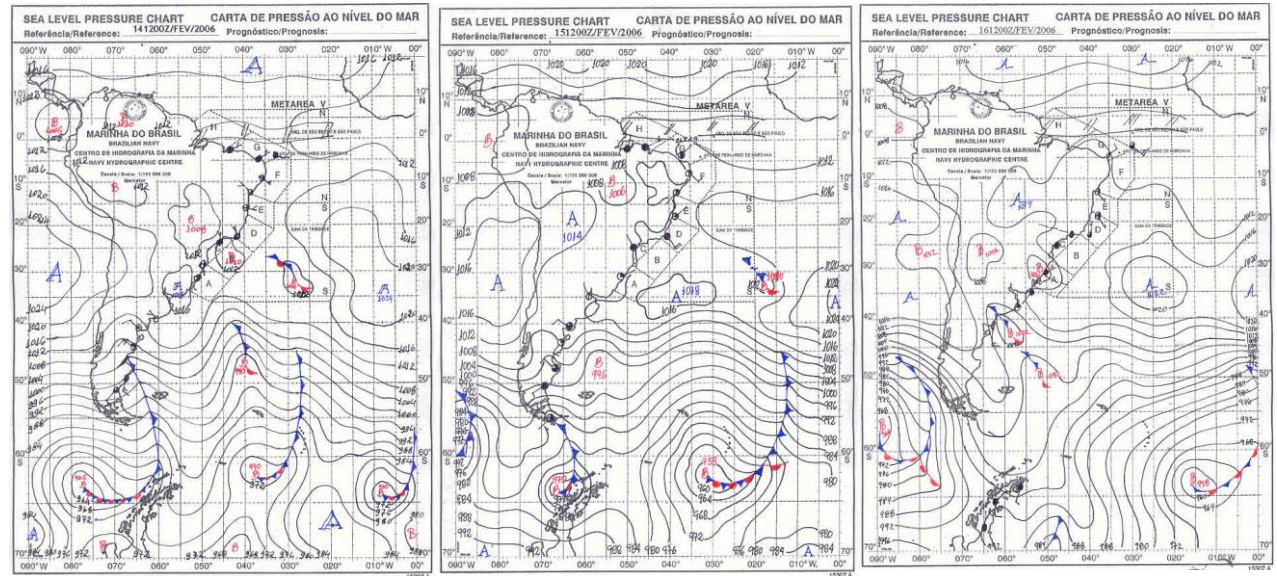
A partir dos dados meteorológicos, como a pressão atmosférica, a umidade relativa do ar, as temperaturas (média, máxima e mínima), a direção e a velocidade dos ventos, e, ainda, com o auxílio do software RitmoAnálise, foi possível traçar os gráficos seguintes. Em união às cartas sinóticas, foi feita a análise da dinâmica atmosférica que antecedeu os vendavais, utilizando dados atmosféricos de cinco dias anteriores aos picos de vento, e cartas sinóticas de três dias anteriores.



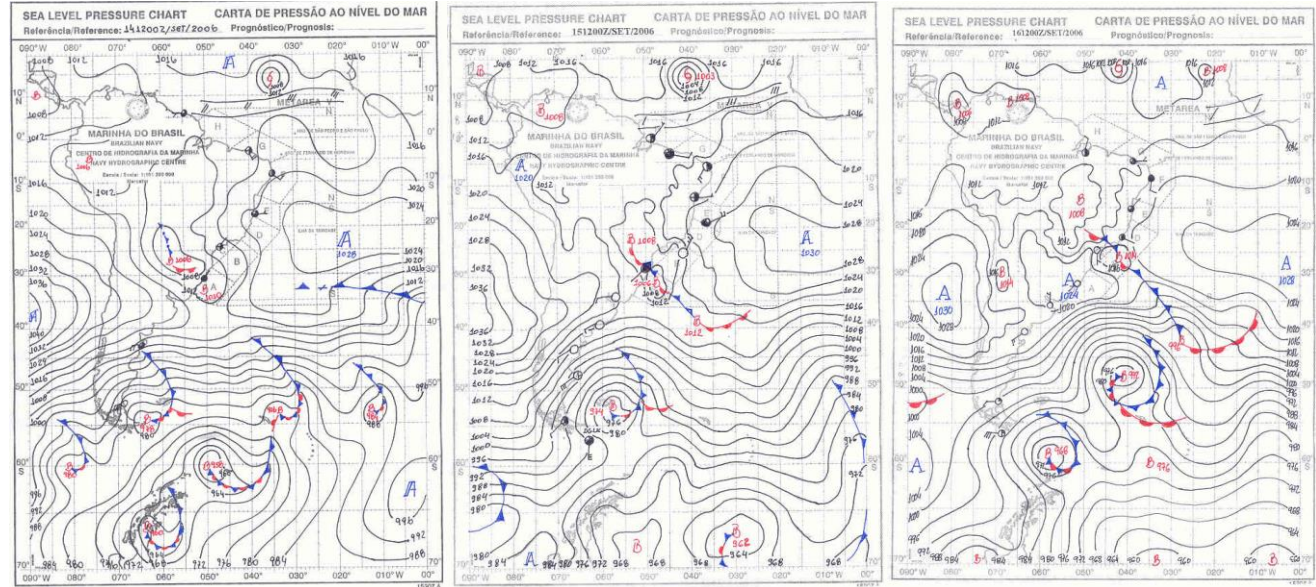
Figura 16 - Variação dos elementos climáticos  
Fev e Set/2006.



- Cartas sinóticas do período de 14 à 16/02/2006:



- Cartas sinóticas do período de 14 à 16/09/2006:





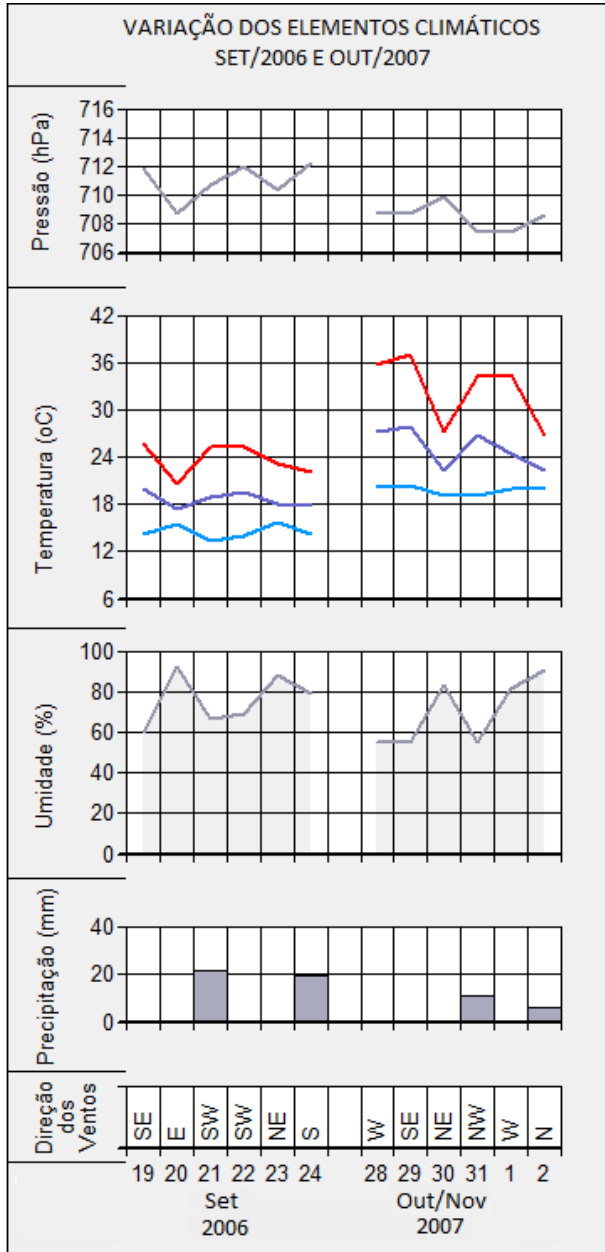
- Período de 14 à 16/02/2006:

Os dias que antecederam o episódio de ventos do dia 16/02, observa-se a influência de uma área de alta pressão associada à uma baixa em seu entorno. Esta alta teve sua origem na costa oeste do continente, com o deslocamento de uma massa de ar empurrada pelo sistema de alta pressão do Pacífico que conseguiu atravessar o Andes. O sistema de baixa, por sua vez, adveio da zona equatorial do continente, próximo aos limites da floresta Amazônica. No dia do vendaval, nota-se o sistema de alta mover-se rumo ao Atlântico, consequenciando o desenvolvimento da área de baixa pressão no local. Esta baixa, por ter suas origens na região da floresta, trouxe umidade, com um volume de 30 mm, e uma redução na temperatura.

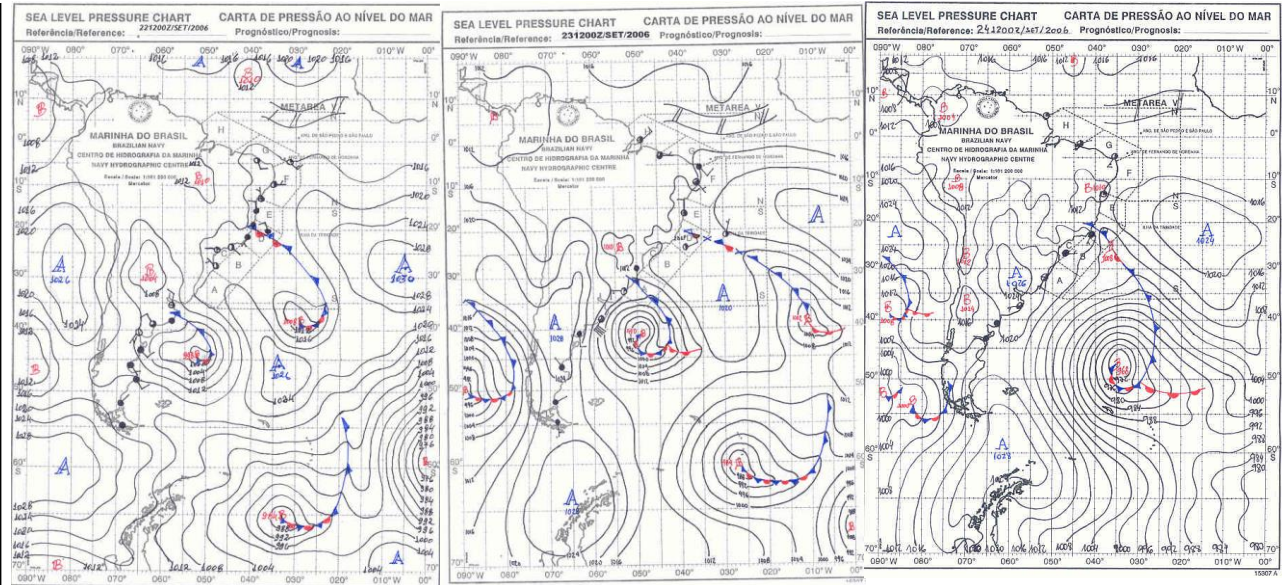
- Período de 14 à 16/09/2006:

A partir das cartas sinóticas, percebe-se que nos primeiros dias, um centro de baixa pressão atua sobre a região. Com sua origem associada à massa tropical continental, levou uma frente quente e seca, mantendo as temperaturas elevadas com máxima de 35°C. Observa-se, no entanto, a atuação de ventos de oeste e sudoeste que carregam uma massa de ar com origem no Pacífico. Devido ao seu rápido desenvolvimento, esta massa levou umidade e temperaturas frias, advindas do oceano, provocando o surgimento de uma área de alta sobre a área e queda acentuada na temperatura associada a um episódio de precipitação, porém com um volume pouco expressivo. A orientação dos ventos variou entre NW, W com velocidade pico de 75.6 Km/h.

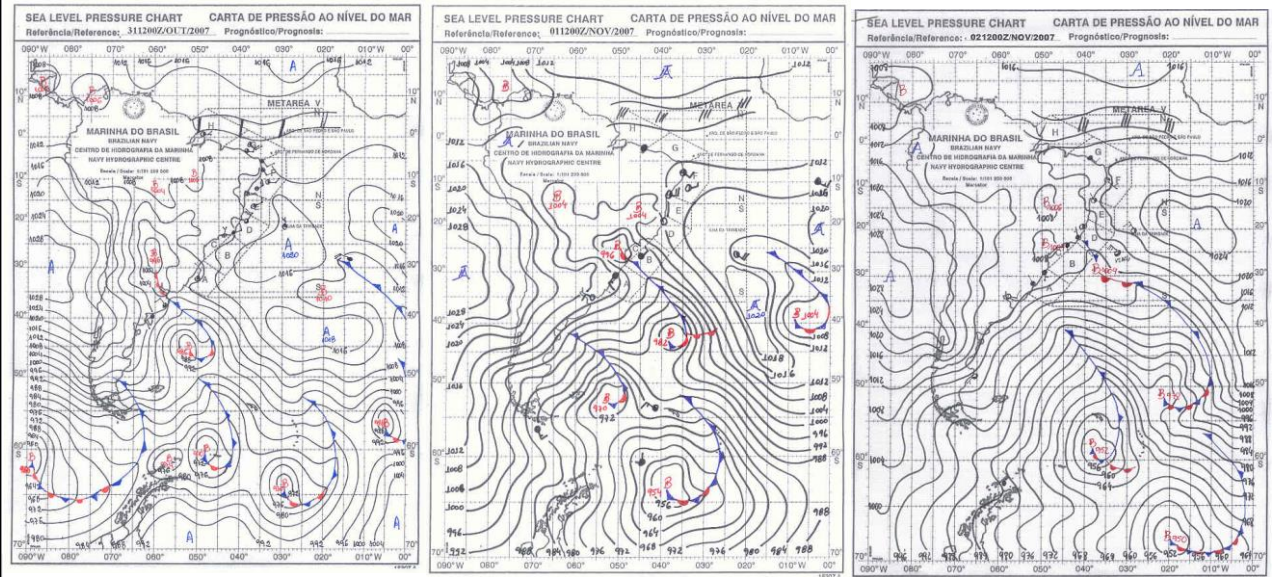
Figura 17 - Variação dos elementos climáticos Set/2006 e Out/2007.



- Cartas sinóticas do período de 22 à 24/09/2006:



- Cartas sinóticas do período de 31/10 à 02/11/2007:



- Período de 22 à 24/09/2006:

Nos dias anteriores ao vendaval, nota-se, através das cartas, a manutenção de áreas de baixa pressão na região de estudo. Por estarem associadas a uma frente fria e às massas de ar secas, diminuem a umidade e a temperatura local, fato observado no gráfico. No dia de pico dos ventos, observa-se a movimentação de um sistema de alta em direção à região, por ter origem no Pacífico, este anticiclone carregou umidade e temperatura amena, provocando ventos de orientação sul à 60 Km/h.

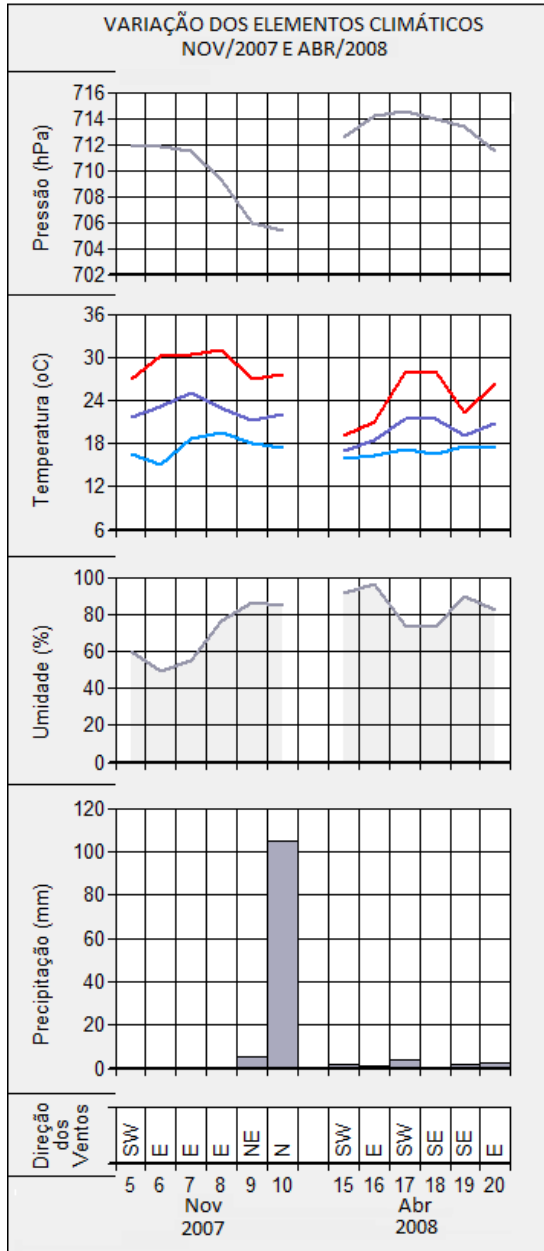
- Período de 31/10 à 02/11/2007:

Na carta sinótica do dia 31/10/07, pode-se verificar a evolução de dois sistemas de baixa pressão, um no interior do continente à noroeste e outro na costa. Com o decorrer dos dias, percebe-se o avanço das áreas de baixa pressão, associadas à uma massa de ar tropical continental, devido à sua formação no continente abaixo do trópico. Essa massa de ar, associada à depressão do Chaco, possui características de tempo seco, com uma atividade convectiva intensa, favorecendo um incremento na temperatura, observada nos dias 31 e 01/10.

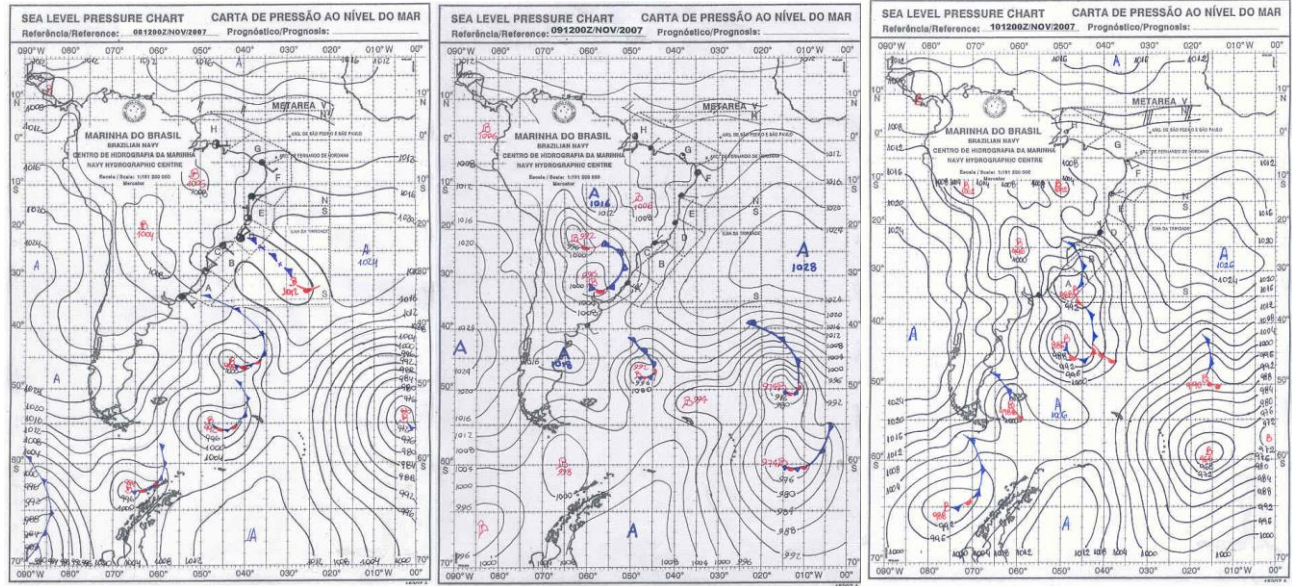
Com o avanço dessas zonas ciclônicas, a frente estacionária a elas associada vai rumo ao oceano, e ocorre uma queda nos valores de pressão atmosférica nos dias de perturbação. Além disso, é possível perceber, a partir do gráfico um período de baixo volume de chuvas, devido a características de tempo seco associada às baixas. No dia das rajadas de vento, percebe-se os sistemas de baixa pressão se desenvolvendo em direção à área afetada levando tempo encoberto e rajadas de vento com velocidade moderada nas direções norte e noroeste, e então seguindo caminho rumo ao oceano.



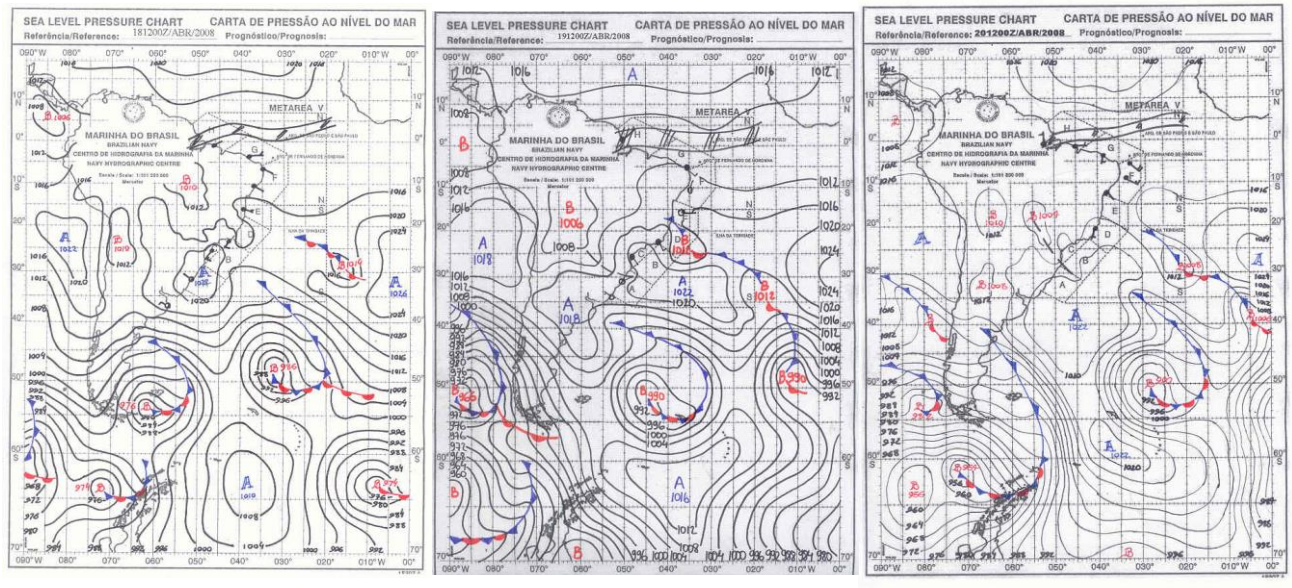
Figura 18 - Variação dos elementos climáticos Nov/2007 e Abr/2008.



- Cartas sinóticas do período de 8 à 10/11/2007:



- Cartas sinóticas do período de 18 à 20/04/2008:



- Período de 8 à 10/11/2007:

Verifica-se, neste período, a influência de um sistema de baixa pressão originado na faixa tropical advindo de oeste. Com o passar dos dias, observa-se o deslocamento deste sistema em direção à região sul brasileira, simultaneamente com o deslocamento, à oeste, de uma área de baixa que estava localizada sobre o oceano. Essa configuração ocasiona uma queda acentuada na pressão atmosférica juntamente com a manutenção de uma temperatura média amena, em torno de 23°C, considerando a estação de verão.

O encontro dos dois sistemas de baixa pressão, um com características secas, e outro com umidade e temperatura amena, produz uma frente estacionária sobre a região, que acarreta tempo instável, com céu coberto e fortes ventos e precipitação.

- Período de 18 à 20/04/2008:

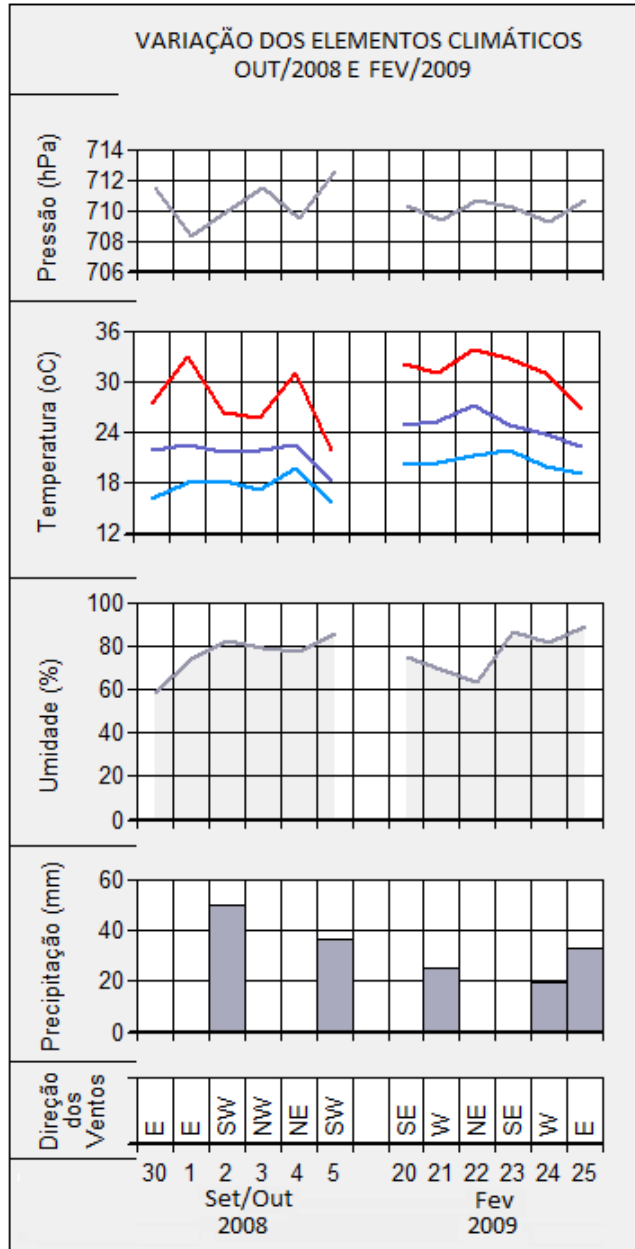
Nos dias que antecederam o vendaval do dia 20/04, nota-se o desenvolvimento de uma área de alta pressão na costa leste do continente, deslocando-se com ventos de direção sudoeste. Ao se deslocar para o interior do continente, encontra outra área de alta, formando um grande sistema anticlinal acima da região sul do Brasil.

Este sistema, está associado à massa tropical atlântica, por ser originado no oceano na linha tropical. De forma geral, esta massa é associada à tempo quente e úmido devido ao ar subsidente quente e seco que se superpõe ao ar úmido e menos aquecido. Porém, na estação de inverno, com menor taxa de evaporação, essa massa passa a ser subsidente continental, sendo incapaz de provocar a formação de nuvens, levando céu aberto sem chuvas. Observa-se no gráfico, que nos dias que essa área anticlinal atual na região, ocorre a elevação da temperatura e decaimento na porção de umidade no ar.

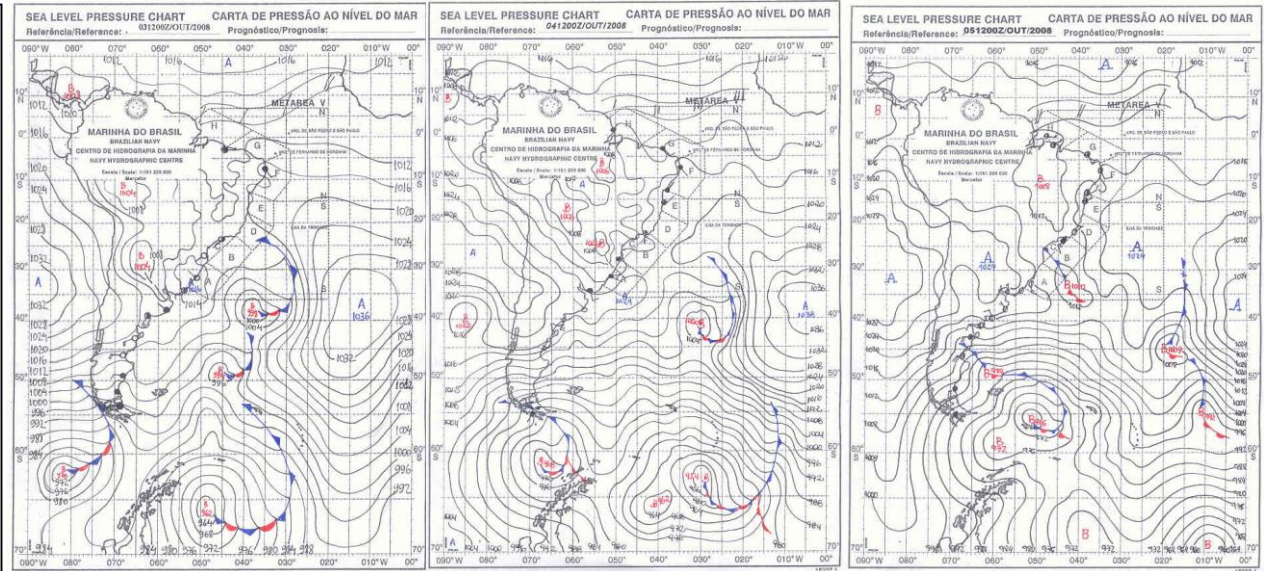
No dia perturbação é notável o recuo da área de alta pressão, ocorrendo um choque com o avanço de áreas de baixa advindas do continente. Com isso, observa-se que os ventos advindos da área de alta divergem para os sistemas depressivos no entorno, com orientação predominante oeste.



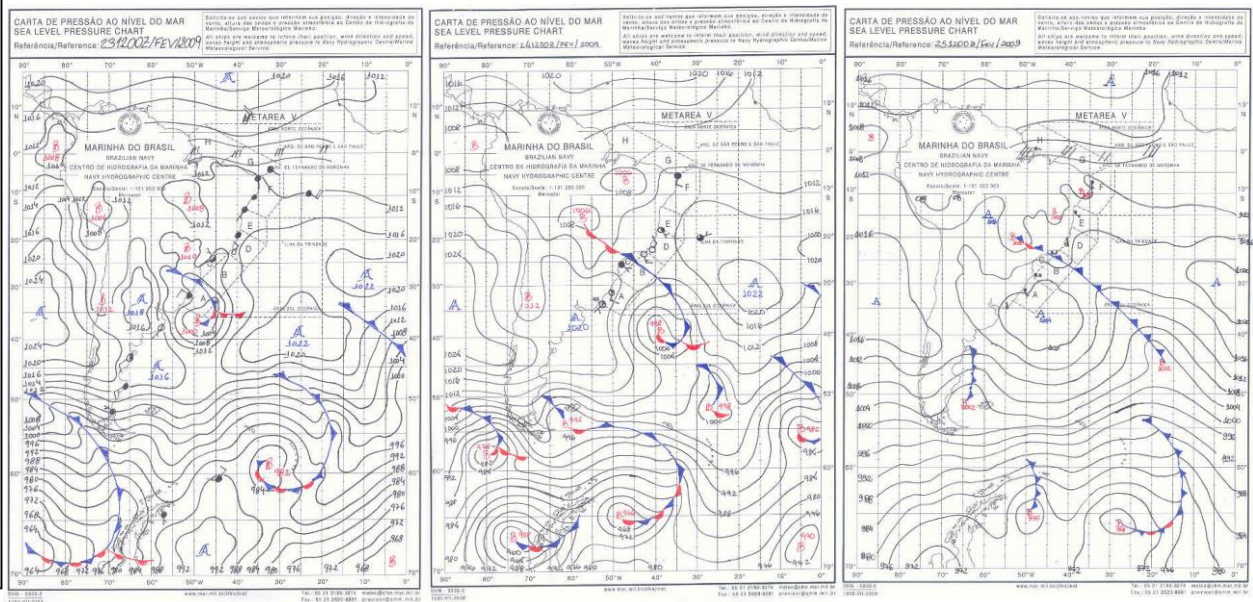
Figura 19 - Variação dos elementos climáticos Out/2008 e Fev/2009.



- Cartas sinóticas do período de 3 à 5/10/2008



- Cartas sinóticas do período de 23 à 25/02/2009:



- Período de 3 à 5/10/2008:

Na carta sinótica do dia 03/10, é possível observar o desenvolvimento de uma área de alta pressão na costa sul brasileira, adjacente à uma área de baixa, ao norte da Argentina. No dia seguinte, a Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASAS), ganha força empurrando as áreas ciclônicas do seu entorno, fazendo com que a baixa do Chaco ao norte da Argentina se desloque rumo à leste/sudeste. Este centro ciclônico está associado à massa tropical continental, sendo sua origem nas imediações do trópico de capricórnio.

A medida que o centro de ação do Pacífico se projeta em direção ao continente, os sistemas de baixa partem rumo ao oceano. Este centro associado carrega uma massa de ar úmida provocando chuvas, e rajadas fortes de ventos na direção oeste e sudoeste, causando oscilação na temperatura.

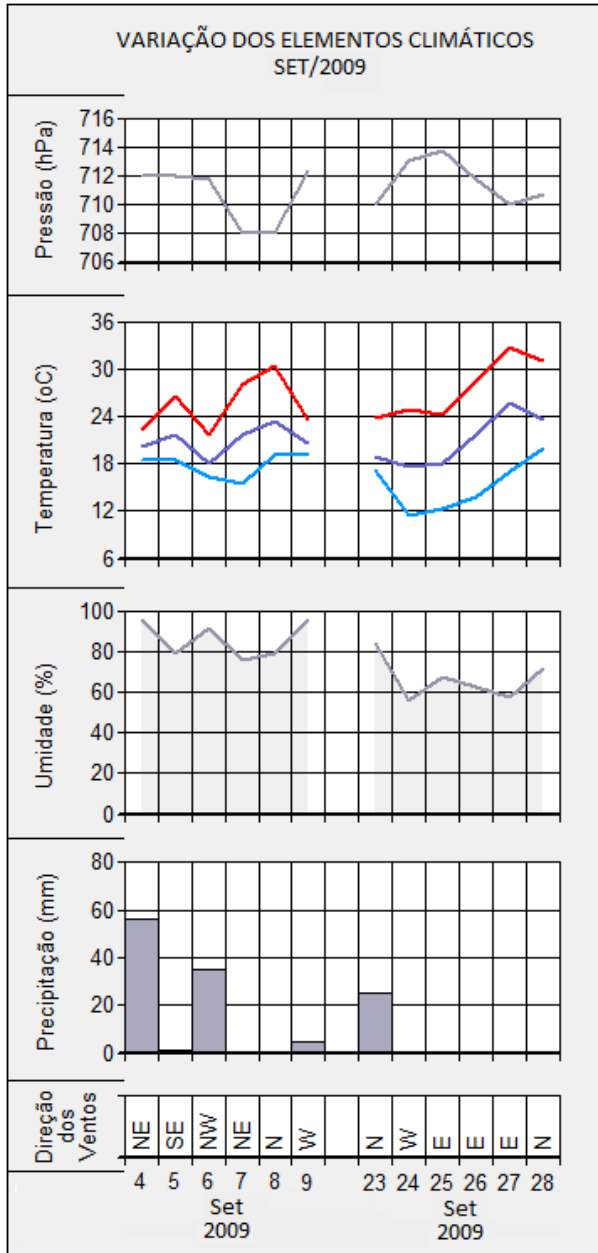
- Período de 23 à 25/02/2009:

Nos dias anteriores a este episódio de ventos, observa-se a partir da carta sinótica do dia 23/02, a influência de uma área de alta pressão na região, formada no oceano ao sul do continente. No segundo dia, percebe-se a evolução desta área de alta, advinda do sul. Este centro de ação do Atlântico Sul está associado à massa tropical atlântica, devido ao seu local de origem e que leva umidade para as áreas que em atua.

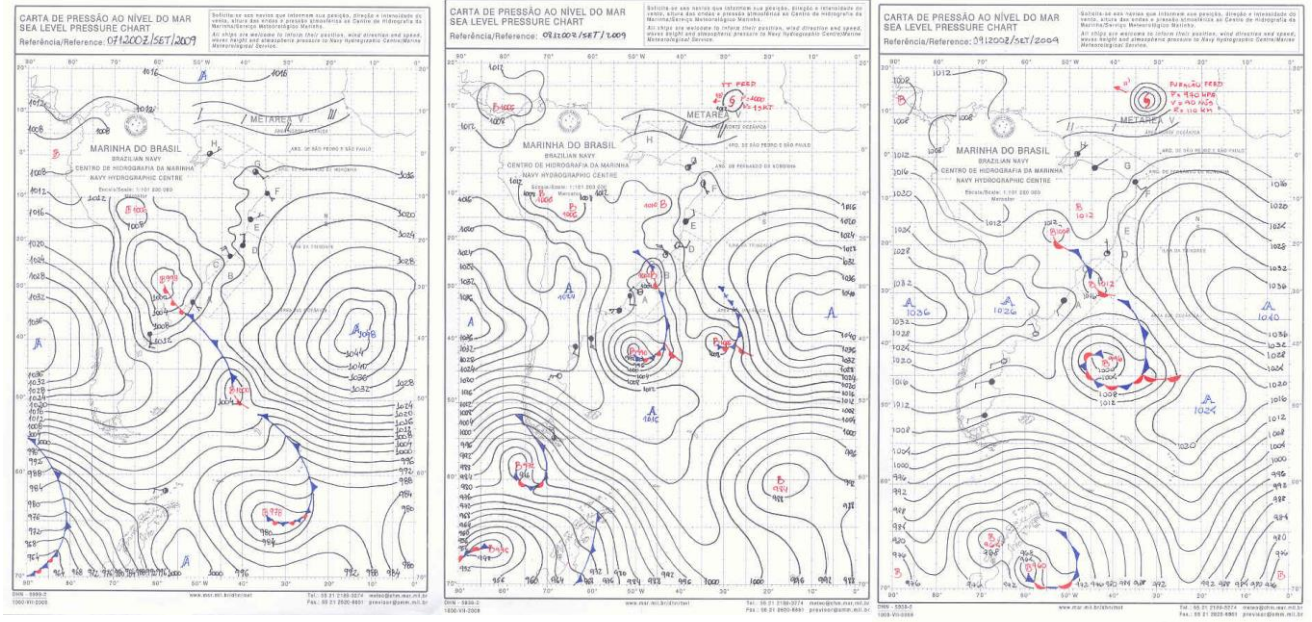
Nota-se isso a partir dos dados atmosféricos, observando-se volume de chuvas, aumento do conteúdo de umidade no ar, oscilação positiva na pressão associada à uma baixa na temperatura.



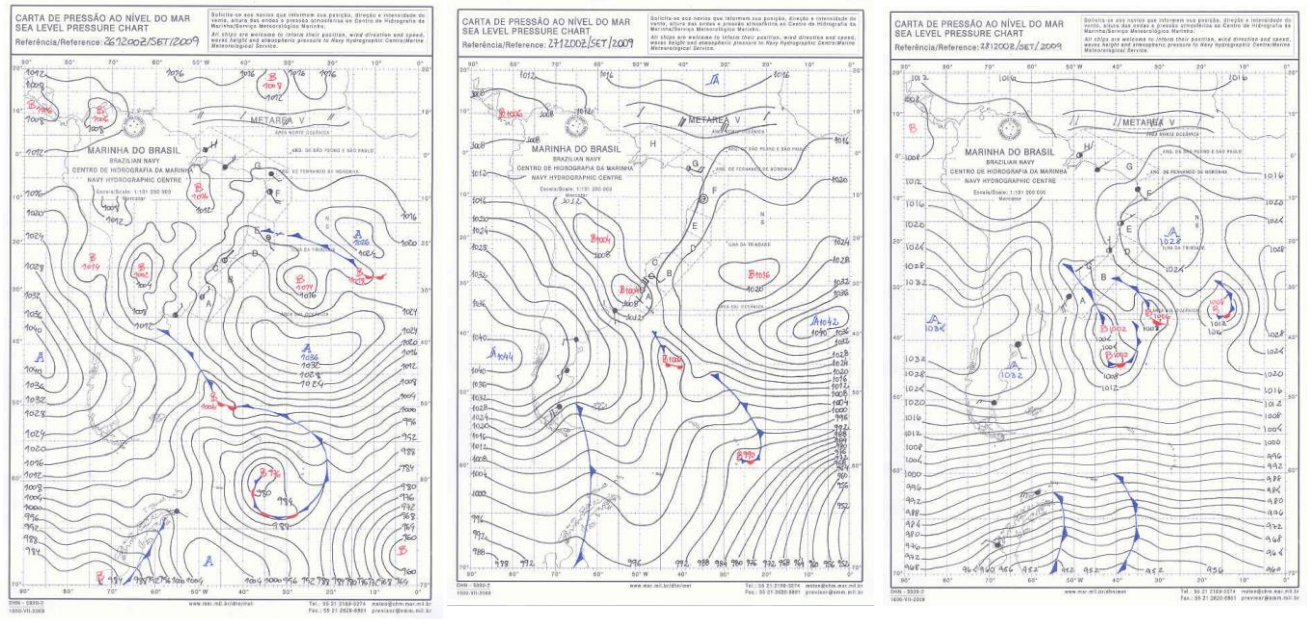
Figura 20 - Variação dos elementos climáticos Set/2009.



- Cartas sinóticas do período de 07 à 09/09/2009



- Cartas sinóticas do período de 26 à 28/09/2009





- Período de 07 à 09/09/2009:

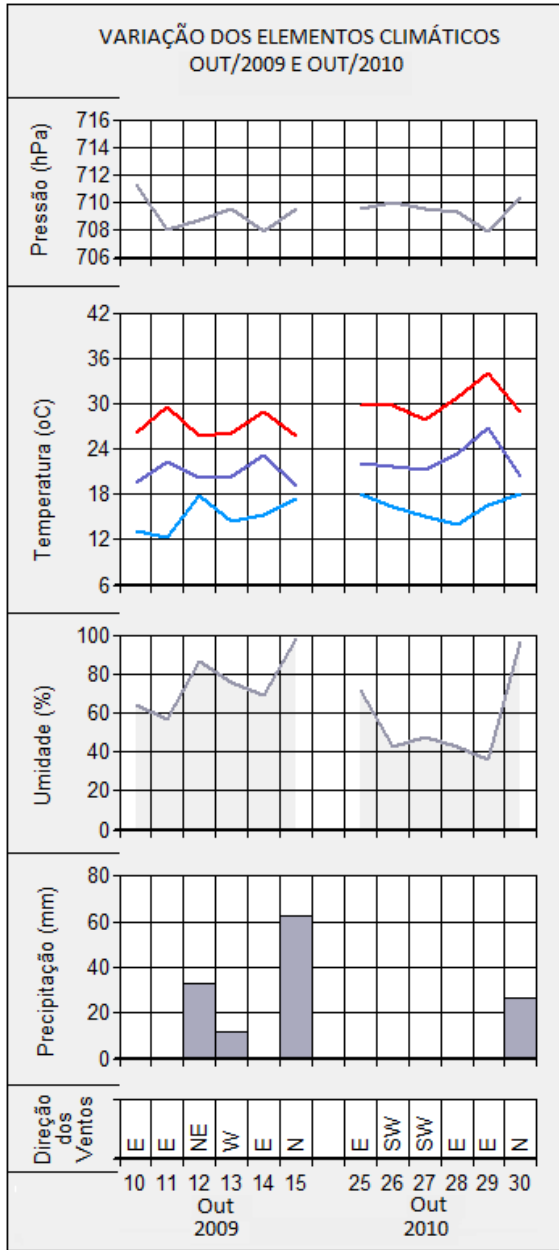
A carta sinótica do dia 07/09 mostra a atuação de um sistema de baixa pressão no centro do continente, próxima à região do Chaco. Com o fortalecimento de um centro de ação positivo localizado à oeste da Argentina, o centro de baixa é obrigado a deslocar-se para o oceano. Uma vez que a origem desta área de baixa pressão está no interior, ela associa-se à massa tropical continental, que carrega tempo quente e instabilidade com atividades convectivas de vento. Não leva umidade consigo, uma vez que tem suas origens próximo ao Atacama.

Pode-se verificar no gráfico, uma queda acentuada na pressão do ar, associada a um aumento brusco na temperatura, pouco volume de chuvas e diminuição da umidade atmosférica após a passagem do ciclone

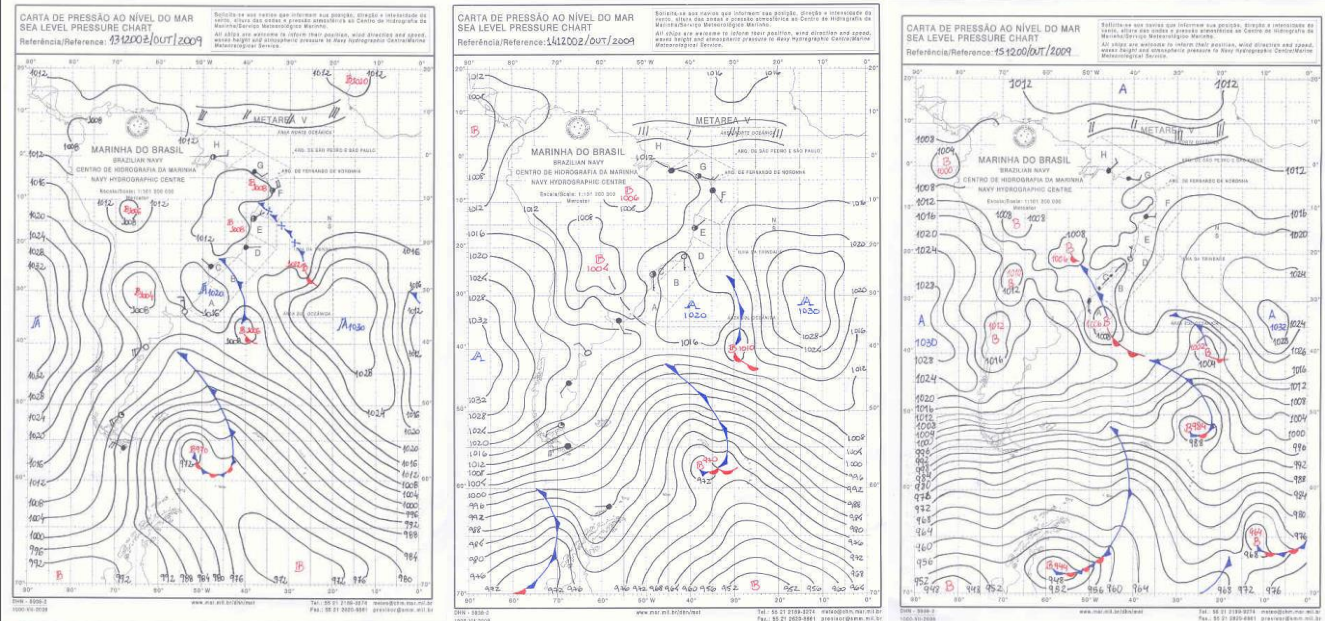
- Período de 26 à 28/09/2009:

Nestes dias observa-se, pelas cartas, a influência de um centro de ação negativo sobre a área de estudo, advindo do sul do continente, logo associado à massa tropical continental. Esta massa, ao passar pela região norte paraense, leva ar quente e seco, minimizando a pressão atmosférica e aumentando a temperatura em torno de 6°C, também ocasionando a diminuição do vapor d'água presente no ar. Devido ao seu rápido deslocamento, este ciclone provocou ventos moderados, de 67 Km/h com deslocamento para o norte.

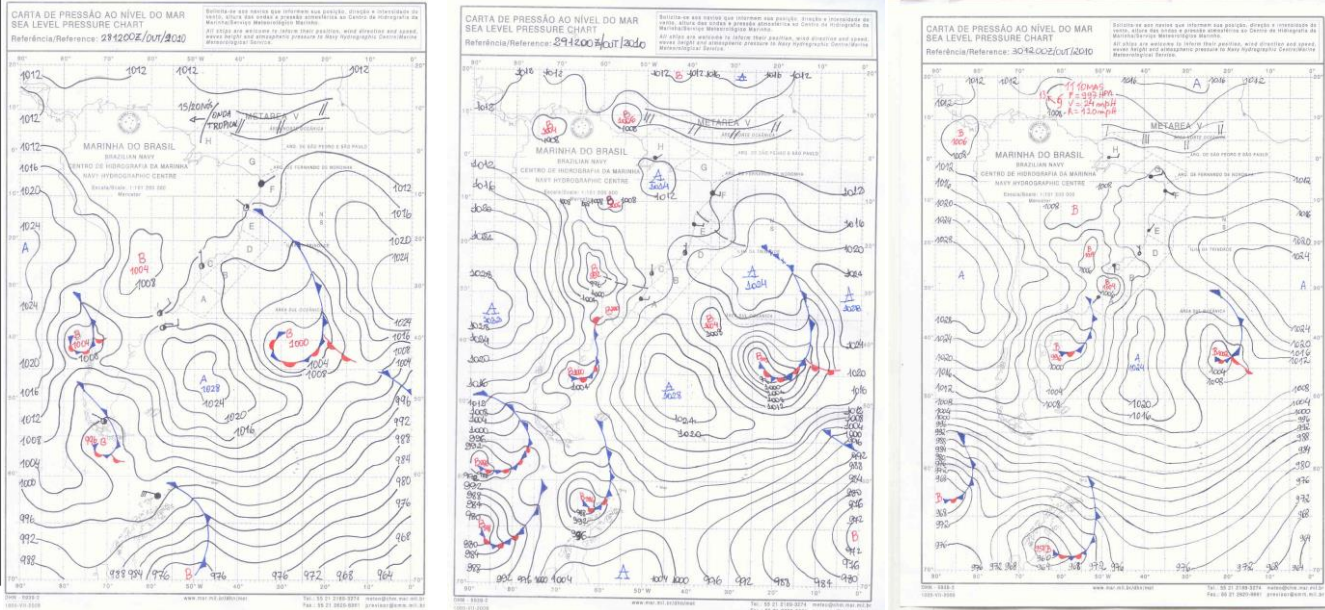
Figura 21 - Variação dos elementos climáticos Out/2009 e Out/2010.



- Cartas sinóticas do período de 13 à 15/10/2009



- Cartas sinóticas do período de 28 à 30/10/2010



- Período de 13 à 15/10/2009:

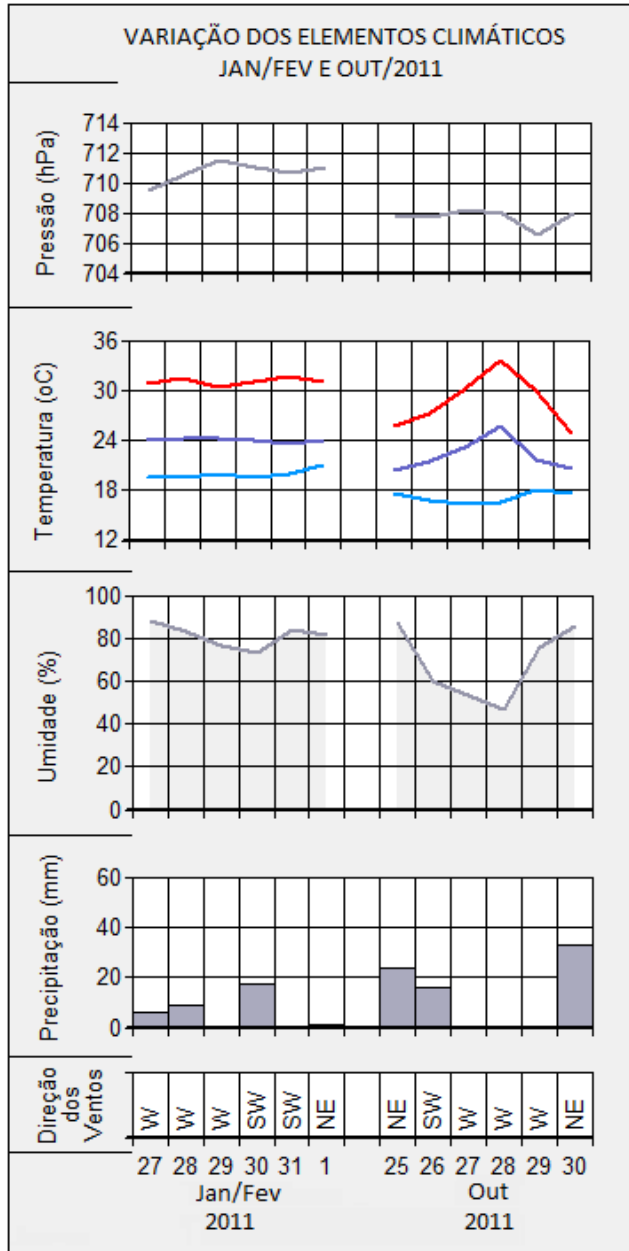
Os dias anteriores aos picos de ventos do dia 15/10 demonstram a atuação de um sistema alta que impede que as massas de ar vindas do continente penetrem na área. Com o decorrer do tempo, este sistema perde força, deslocando-se para o oceano, e então observa-se a aproximação de áreas de baixa pressão advindas do norte e noroeste. Estes sistemas, por serem formados próximo à região amazônica, estão associados à massa equatorial continental e carregam consigo umidade e mal tempo, provocando um volume de 60 mm de precipitação e mantendo as temperaturas elevadas.

- Período de 28 à 30/10/2010:

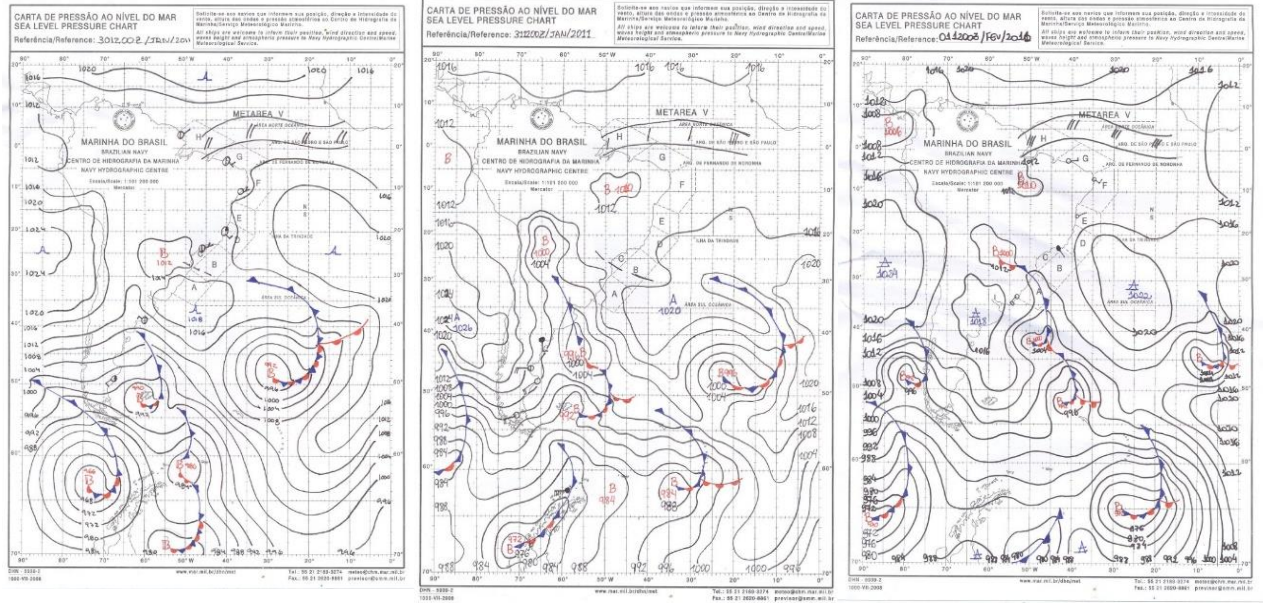
Este episódio de vendaval caracterizou-se pela atuação da massa equatorial continental associada ao sistema ciclônico – de baixa pressão – que avança para o sul do Brasil. Observa-se a intensificação dos sistemas depressivos à medida que eles se aproximam, ocorrendo uma diminuição da pressão de 710 para 707.8 mm/Hg no dia 29/10. Por serem formados no interior do continente, ocasionam uma elevação na temperatura, no entanto, verifica-se a ocorrência de chuvas na dada das rajadas de vento, devido à um sistema de frontal estacionário associado ao ciclone, que levou umidade para a área.



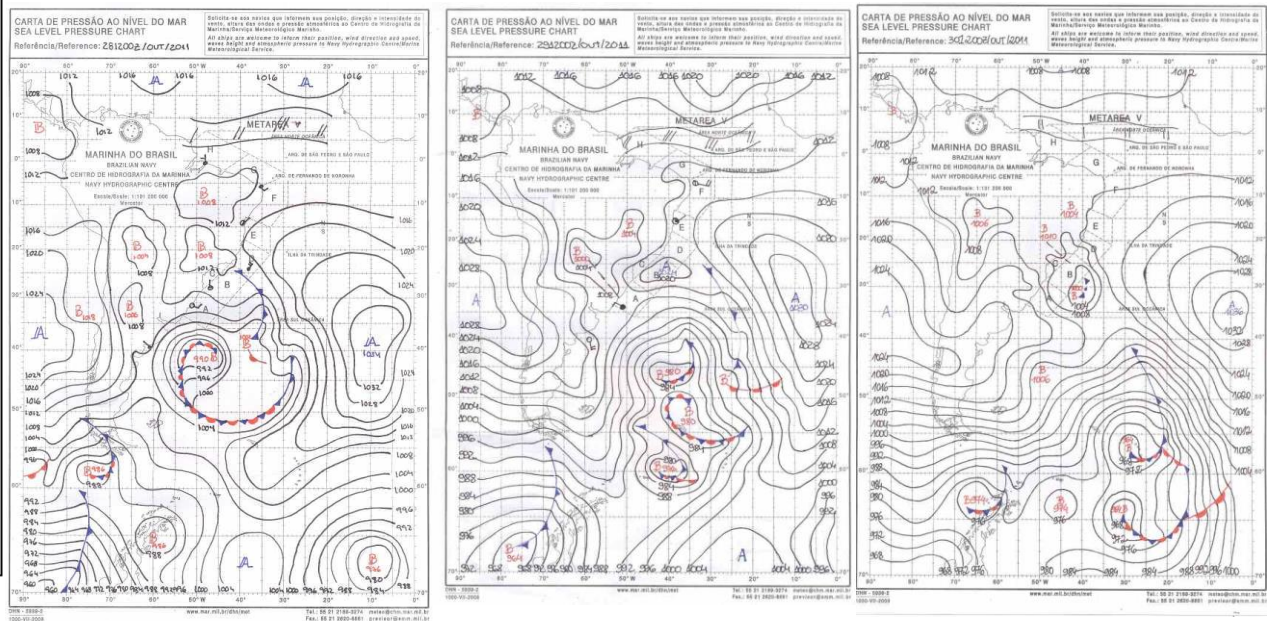
Figura 22 - Variação dos elementos climáticos Jan/Fev e Out/2011.



- Cartas sinóticas do período de 30/01 à 01/02/2011:



- Cartas sinóticas do período de 28 à 30/11/2011:



- Período de 30/01 à 01/02/2011:

Neste período de tempo, verifica-se a associação de dois centros de baixa pressão, um deles originado no continente – nos limites entre a Bolívia e Paraguai, e o outro advindo do sul do Atlântico, associado à um sistema frontal estacionário.

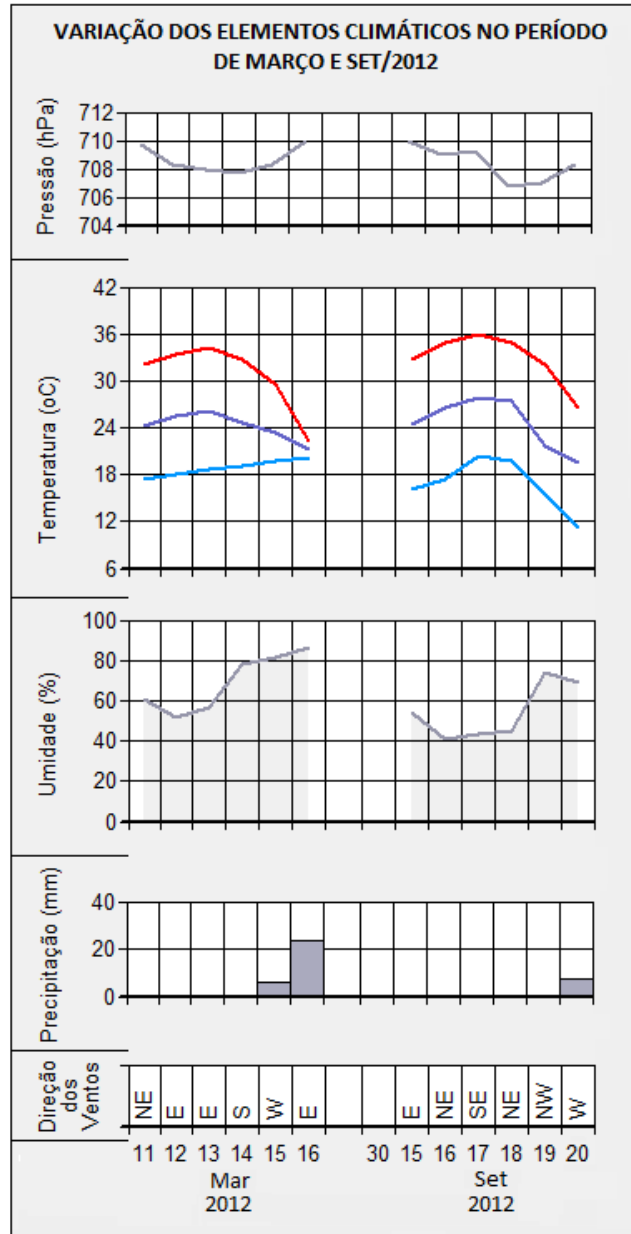
À medida que a área de alta pressão ali inserida desloca-se para o oceano, os sistemas de baixa avançam rumo ao norte, para a região sul do Brasil, levando umidade advinda do oceano e temperaturas amenas. A chegada do sistema de alta na data do episódio, marca a presença de céu limpo, porém com rajadas de vento velozes, de 74 Km/h com orientação à sudoeste.

- Período de 28 à 30/11/2011:

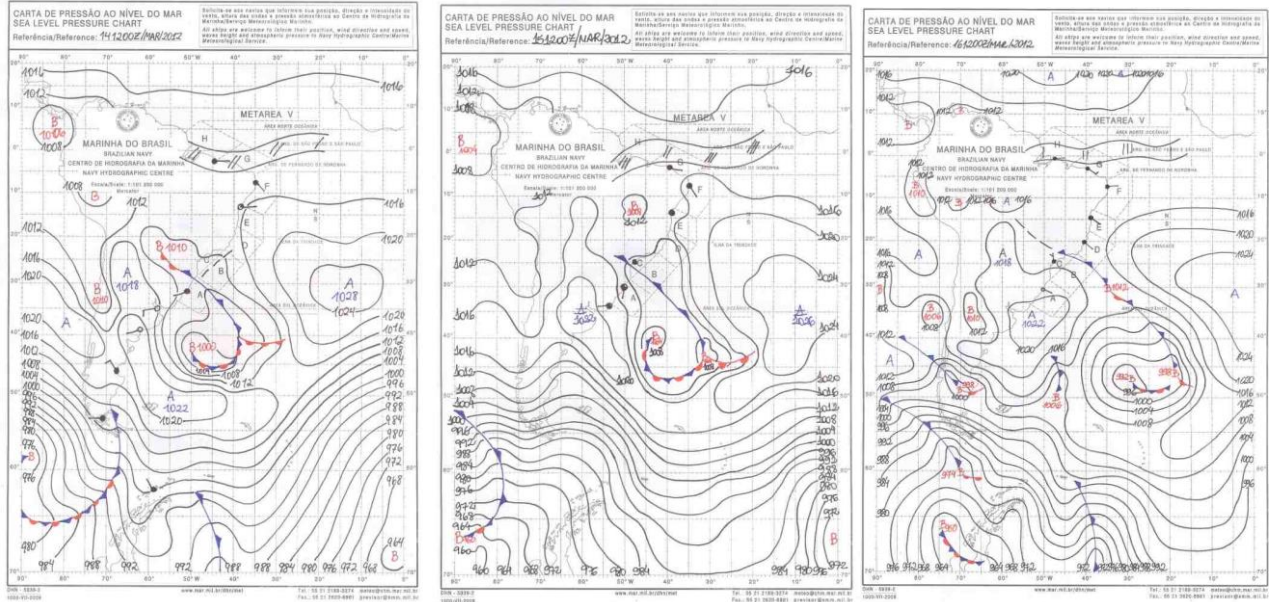
A partir da carta sinótica do dia 28/11, é possível observar a atuação de vários sistemas de baixa pressão na região da Argentina e sul do Brasil. Estes sistemas projetam-se em direção à costa sul brasileira, associados a massas de ar tropical e equatorial, ambas originadas ao interior do continente. Esses sistemas levam tempo quente e seco, devido à sua origem, elevando a temperatura e diminuindo a umidade da área. Os ventos associados à este sistema apresentaram velocidade de 92 Km/h com direção predominante à nordeste.



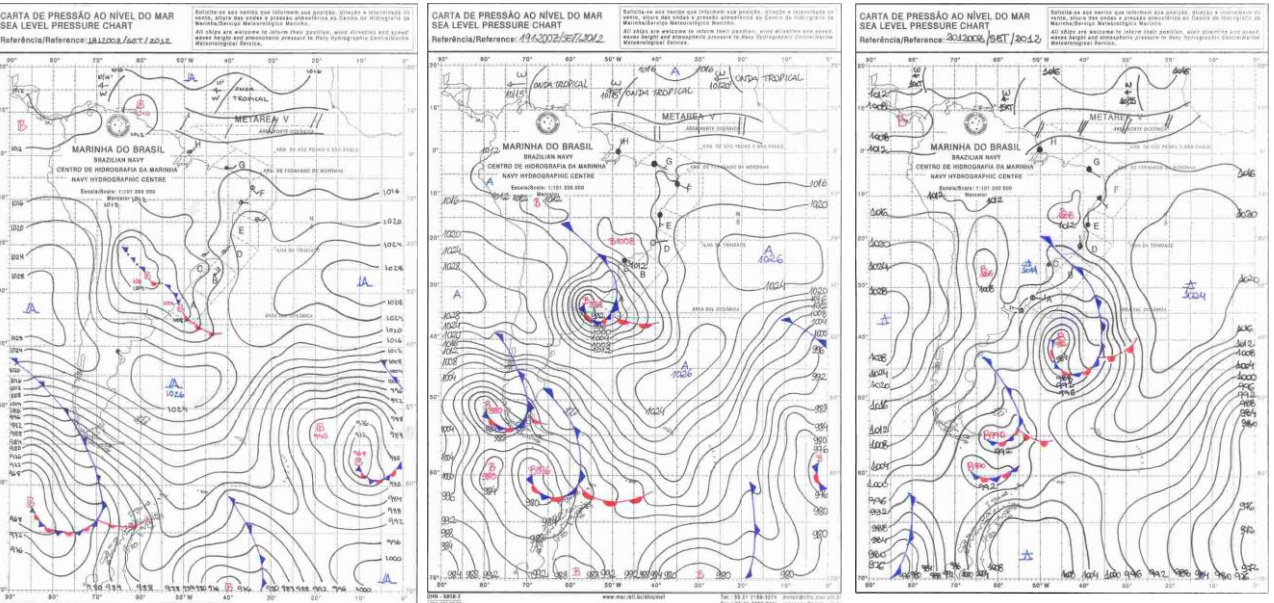
Figura 23- Variação dos elementos climáticos Março e Set/2008



- Cartas sinóticas do período de 14 à 16/03/2012:



- Cartas sinóticas do período de 18 à 20/09/2012:



- Período de 14 à 16/03/2012:

A partir das cartas sinóticas é possível verificar a atuação de áreas de alta pressão sobre a região com origem no Atlântico Sul. Ao associarem-se, fato observado na carta do dia 16/03, esses centros ganham força fazendo com que a pressão atmosférica aumente. Por advirem do oceano, estes anticiclones estão associados à massa tropical atlântica que leva umidade à região. Apresentam atuação em todo o litoral sul brasileiro e uruguaio, levaram ventos de 70Km/h com orientação leste para o norte paranaense, com 25mm de volume de chuvas.

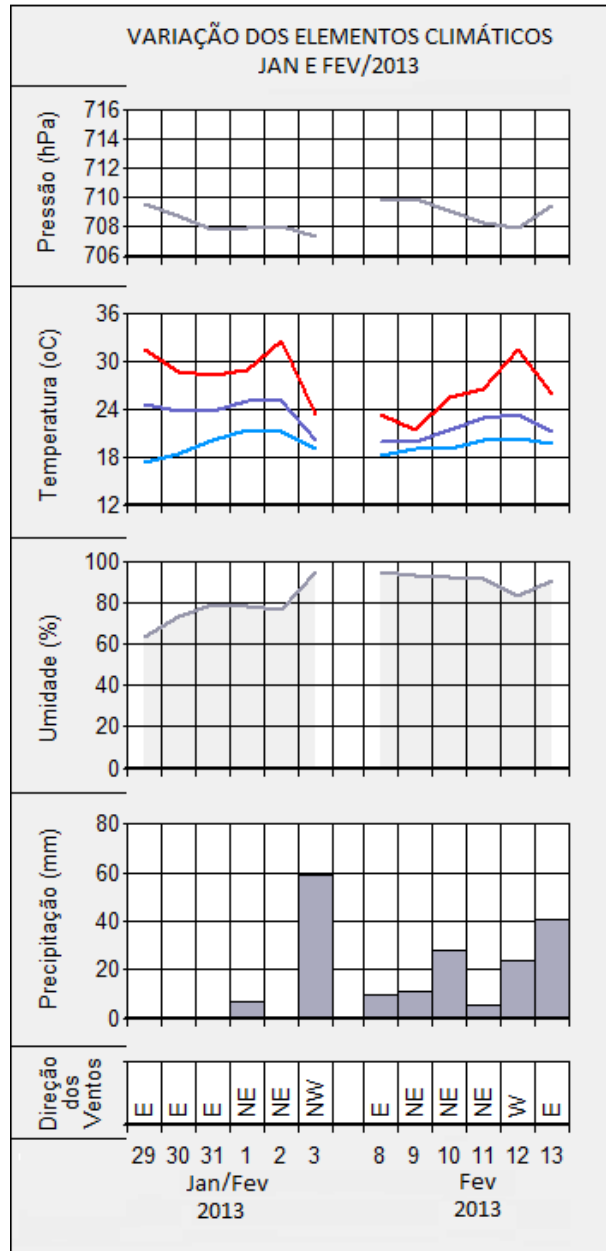
- Período de 18 à 20/09/2012:

Neste período, é possível observar a atuação de áreas de baixa pressão associadas ao desenvolvimento de uma frente estacionária. Estes centros de ação têm sua origem ao interior da área meridional continental, estando, dessa forma, relacionados à massa tropical continental. Na carta do dia 19/09, observa-se a formação de um ciclone tropical acima da área deste estudo. Geralmente, este fenômeno está associado com grandes áreas de chuva intensa, porém como a formação do seu centro de ação se deu ao interior do continente, essa porção atmosférica carregou condições de tempo seco, diminuindo a umidade do ar.

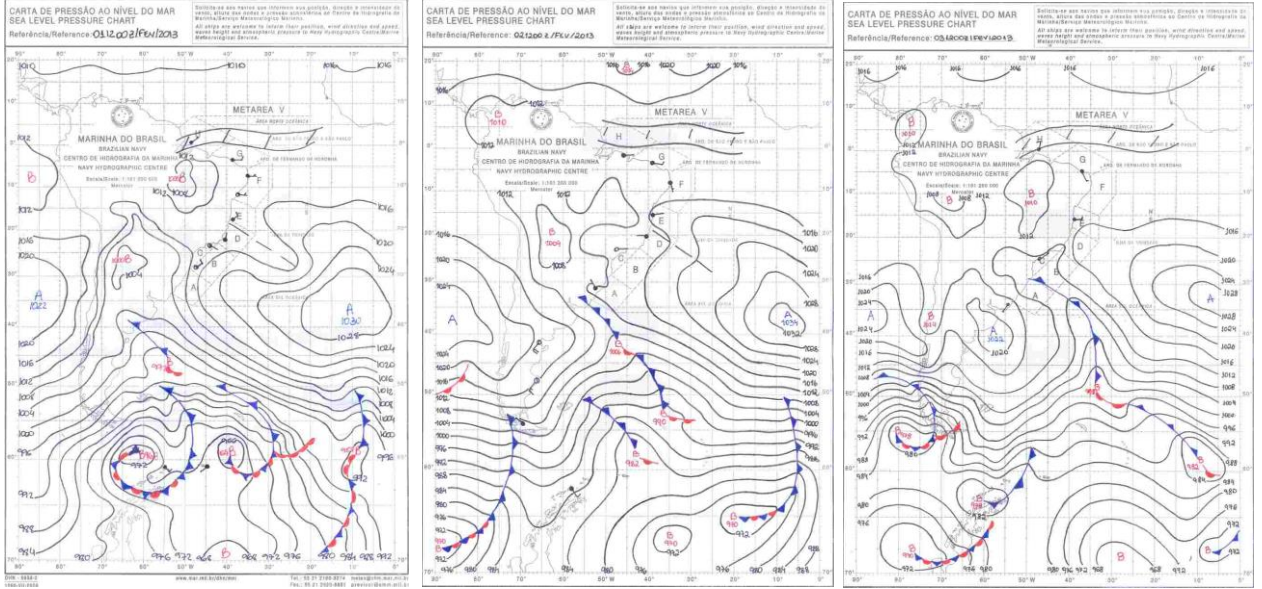
A diferença de pressão atmosférica entre o centro deste sistema cicloneal e a porção mais externa aumenta a velocidade do vento, que soprou rajadas de 75 Km/h para a direção oeste. Após seu pico de atuação, nota-se seu deslocamento rumo ao oceano, ganhando umidade e perdendo força.



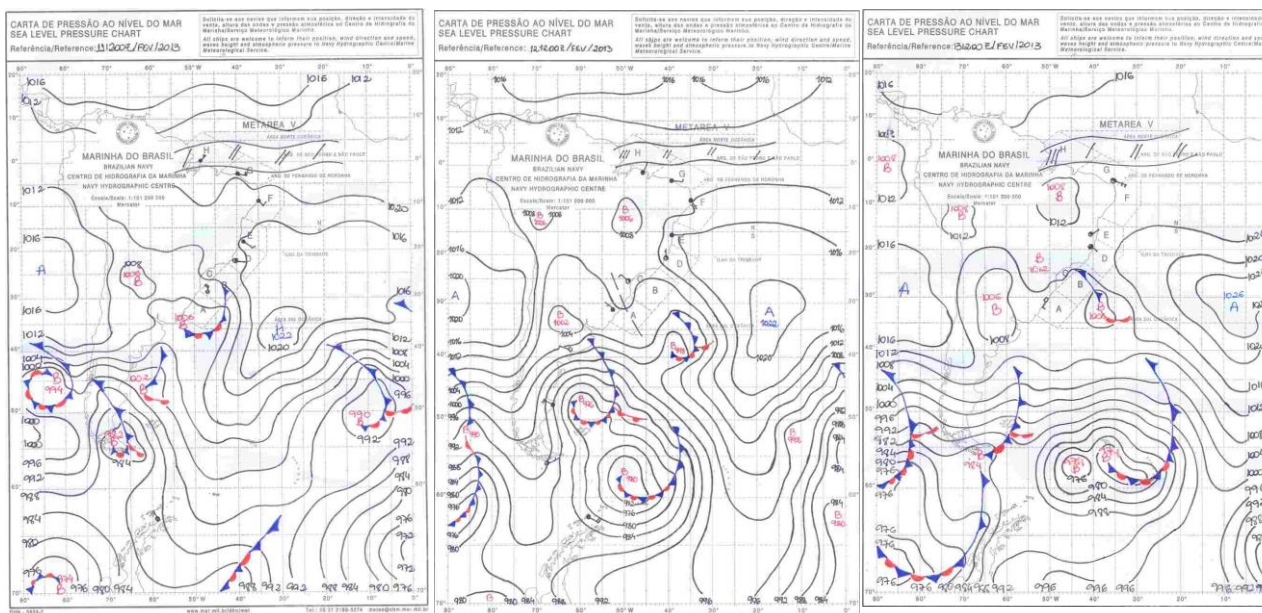
Figura 24- Variação dos elementos climáticos Jan e Fev/2013.



- Cartas sinóticas do período de 01 à 03/02/2013:



- Cartas sinóticas do período de 11 à 13/02/2013:





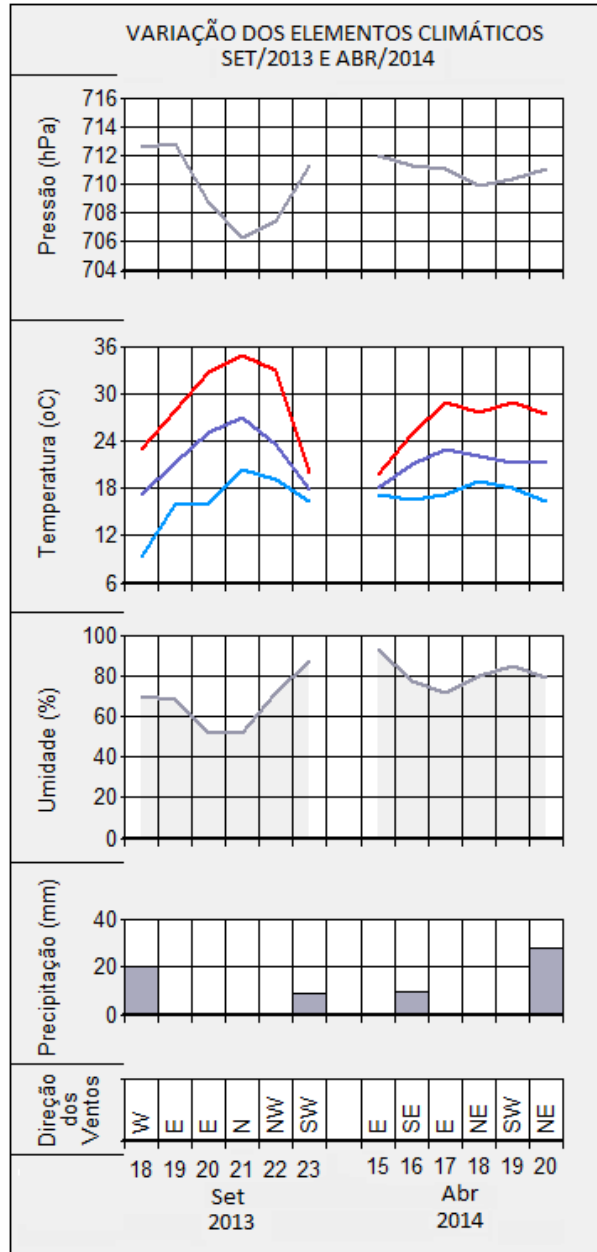
- Período de 01 à 03/02/2013:

A partir da carta sinótica do dia 01/02, observa-se a influência de uma área de baixa pressão originada próxima a depressão do Chaco, ao norte da Argentina. Com os dias, esse centro desloca-se rumo a noroeste com aproximação de um centro de ação positivo que chega à região, advindo do Atlântico Sul. Este centro de alta traz umidade para a área, provocando um volume de 60 mm de precipitação, e um aumento na temperatura, pelo fato de estar associado à massa tropical atlântica, com características subsidentes, quentes e úmidas nesta estação. Pela carta do dia das rajadas, observa-se que os ventos deste episódio apresentaram orientação nordeste com uma velocidade de até 83 Km/h.

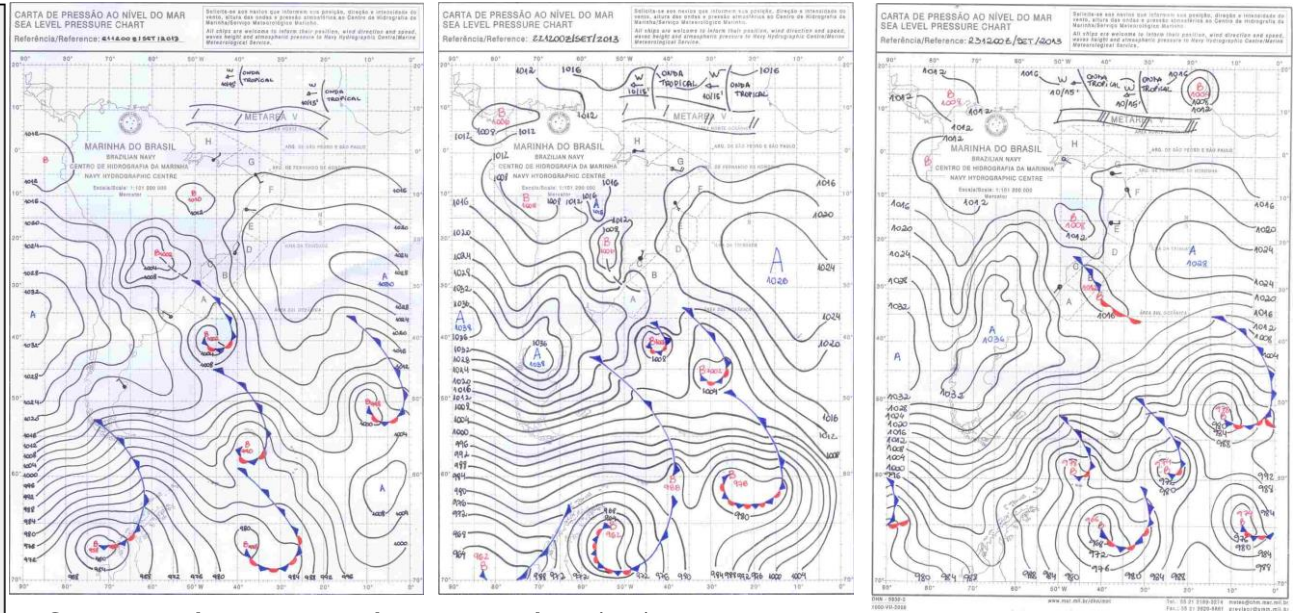
- Período de 11 à 13/02/2013:

Nos dois dias que antecederam o vendaval, observa-se a crescente influência de um sistema de baixa pressão sobre a região sul do país. Este centro cresce em extensão, movendo-se para sul e sudeste. Por ter se originado na região equatorial, este centro associa-se à massa equatorial continental, levando tempo quente e úmido, devido à presença da floresta amazônica. Observa-se isso através dos picos de temperatura, apresentando um salto de 5°C na temperatura média, e com a presença de volumes de chuva durante os dias de influência desta massa.

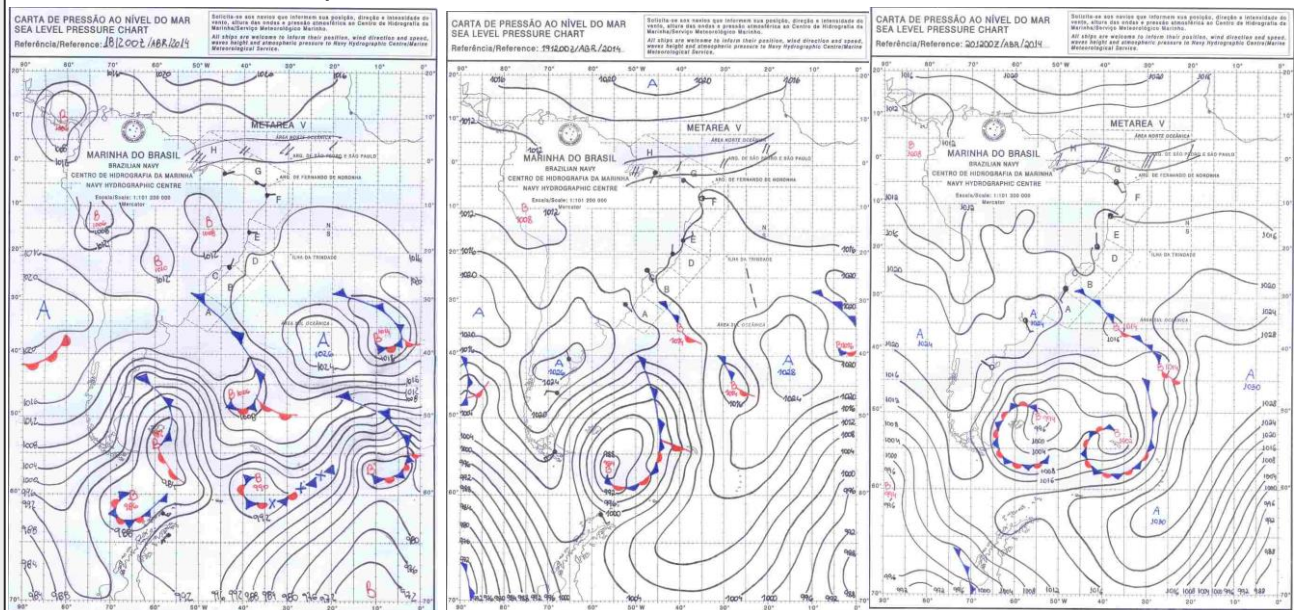
Figura 25- Variação dos elementos climáticos Set/2013 e Abr/2014.



- Cartas sinóticas do período de 21 à 23/09/2013:



- Cartas sinóticas do período de 18 à 20/04/2014:



- Período de 21 à 23/09/2013:

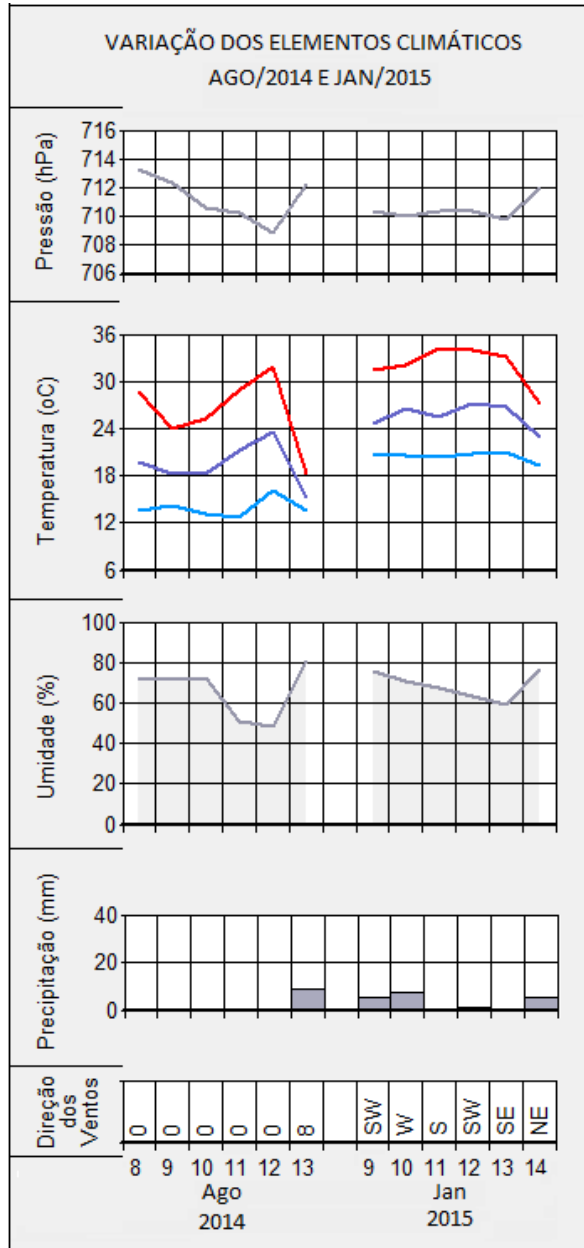
Na carta sinótica do de 21/09 é possível verificar o desenvolvimento de uma área de baixa pressão à noroeste da área de estudo, na parte setentrional da Argentina. Com o avanço do tempo, observa-se que esta área de baixa move-se para o norte, empurrada devido ao deslocamento de uma área de alta pressão advinda do sul do continente. Este centro de alta originou-se no sul do Pacífico, com características frias e úmidas, porém perdeu sua umidade ao deslocar-se sobre a porção sul-americana continental, mantendo, entretendo, temperaturas baixas. Fatos observados no gráfico, com a acentuado aumento da pressão e queda da temperatura da data em que a área de alta chega na região trazendo rajadas de 108.7 Km/h de vento para sudoeste.

- Período de 18 à 20/04/2014:

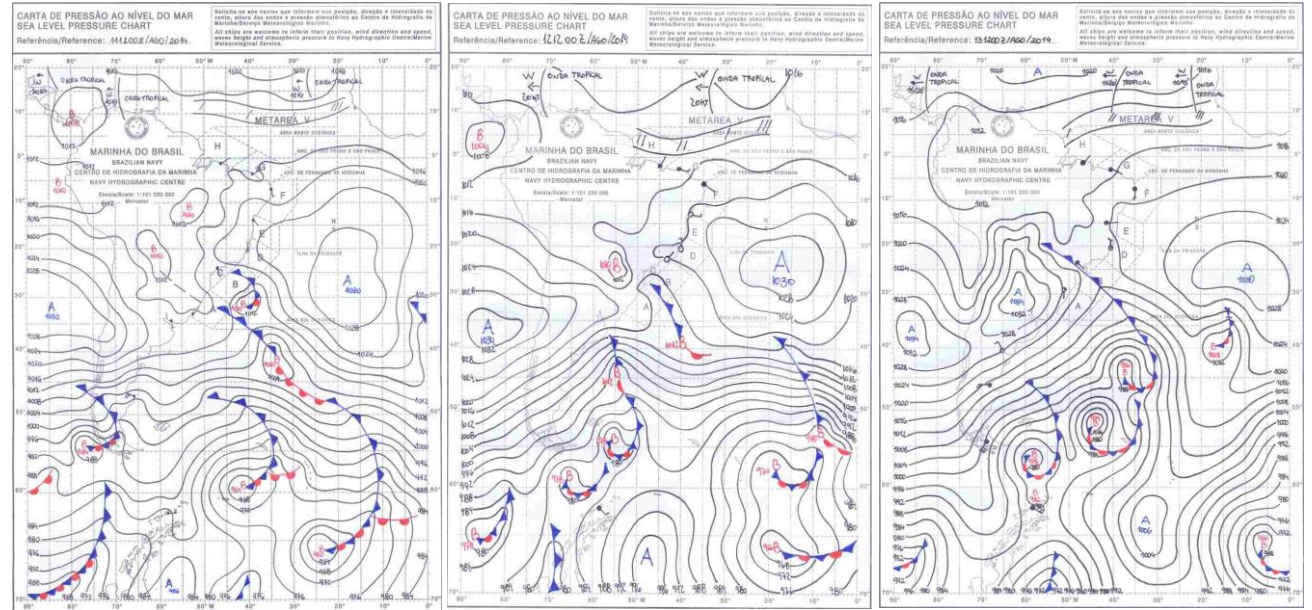
A partir do desenvolvimento do tempo nas cartas sinóticas, nota-se o crescimento de um centro de alta pressão à oeste, no Pacífico, com sua isóbara de 1016 hPa se aproximando do sul do Brasil. Com o decorrer dos dias, esta área de alta ganha força, associando-se à outra alta que se desenvolveu próximo à costa leste, ao sul do Uruguai. Este anticiclone formado na costa está associado à massa polar atlântica, possuindo características de tempo frio e úmido. Este sistema adentra a região brasileira mantendo as temperaturas amenas, carregando umidade e provocando um episódio de chuvas, com ventos de 70 Km/h de direção sudeste.



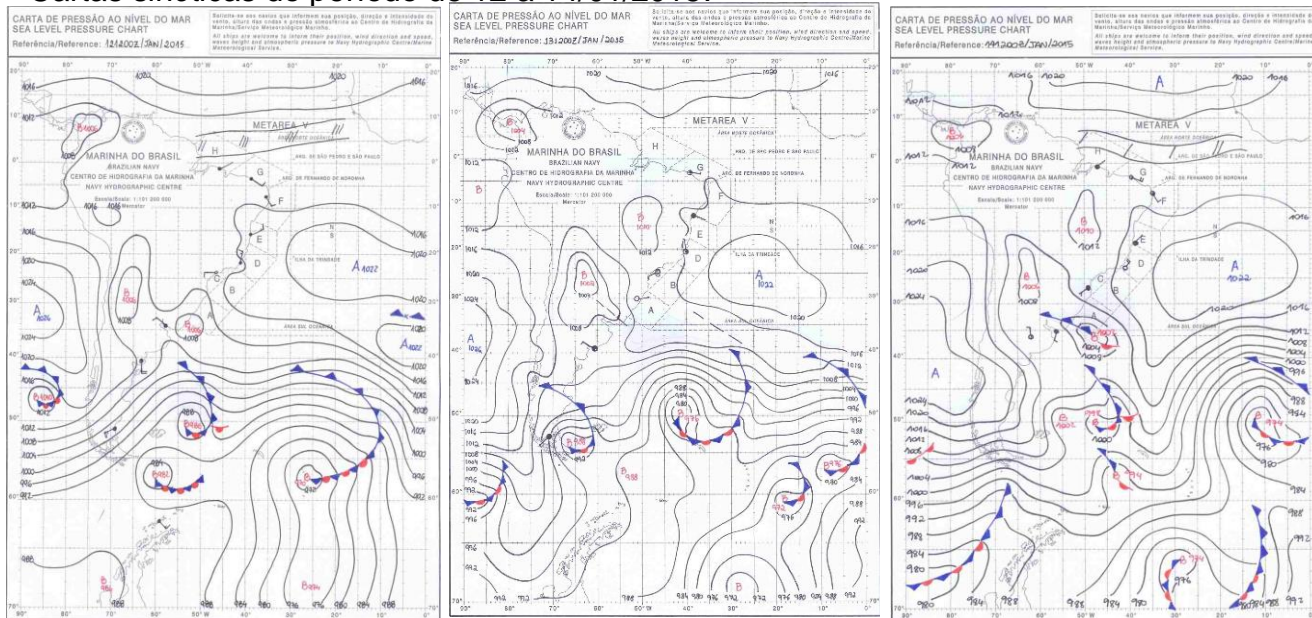
Figura 26- Variação dos elementos climáticos Ago/2014 e Jan/2015.



- Cartas sinóticas do período de 11 à 13/08/2014:



- Cartas sinóticas do período de 12 a 14/01/2015:



- Período de 11 à 13/08/2014:

Na carta do 11/08, nota-se a influência de um sistema de baixa pressão, na parte central do continente, simultaneamente ao desenvolvimento de uma área de alta na costa do Chile, adentrando o continente. No outro dia, é possível observar que o centro de alta pressão, formado no Pacífico, ganha força, passando pelo Andes e indo em direção ao Uruguai. Esta movimentação, faz a massa associada a este anticiclone móvel perder parte de sua umidade devido à passagem pelas montanhas. Ao associar-se à uma frente fria, atinge a região norte paranaense causando um decaimento acentuado na temperatura, de 8°C, com precipitação e rajadas de ventos.

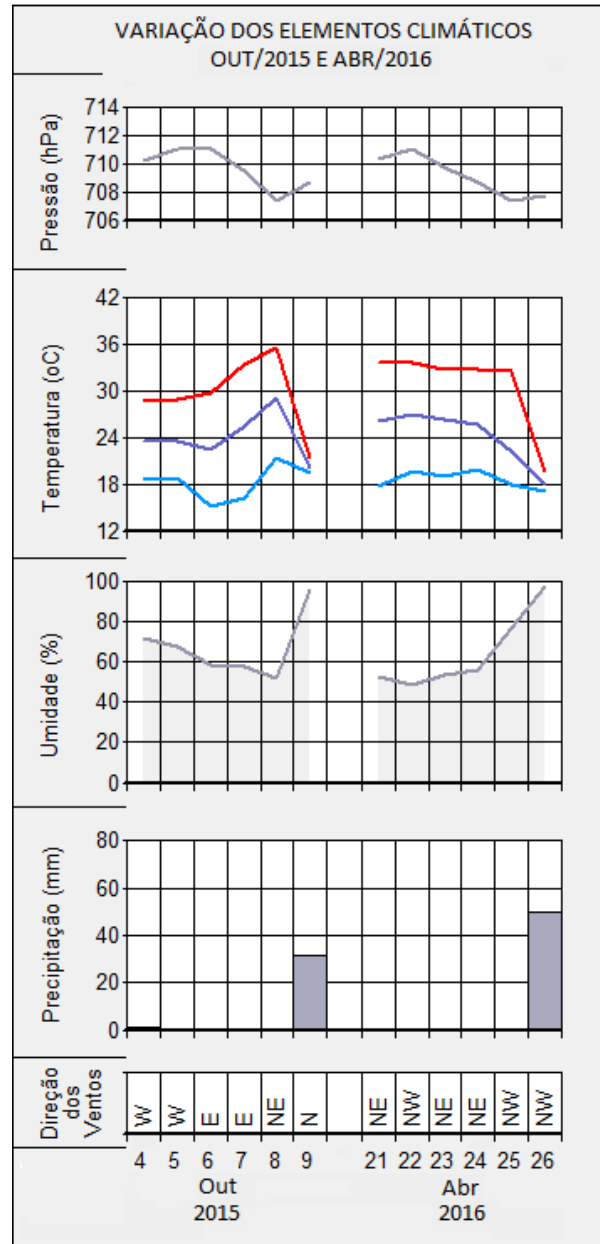
- Período de 12 a 14/01/2015:

Nos dias antecedentes ao vendaval, observa-se, a partir das cartas sinóticas, o desenvolvimento de áreas de baixa pressão no entorno da região deste estudo. Uma destes centros está situado no continente, e o outro na sua costa leste. Com os dias, o centro de baixa continental, associado, por sua vez, à massa tropical continental, avança em direção à área de estudo, levando características de tempo seco e quente. Fato observado a partir da elevação nos valores de temperatura e decaimento da porção de umidade na atmosfera nos dias anteriores às rajadas de ventos.

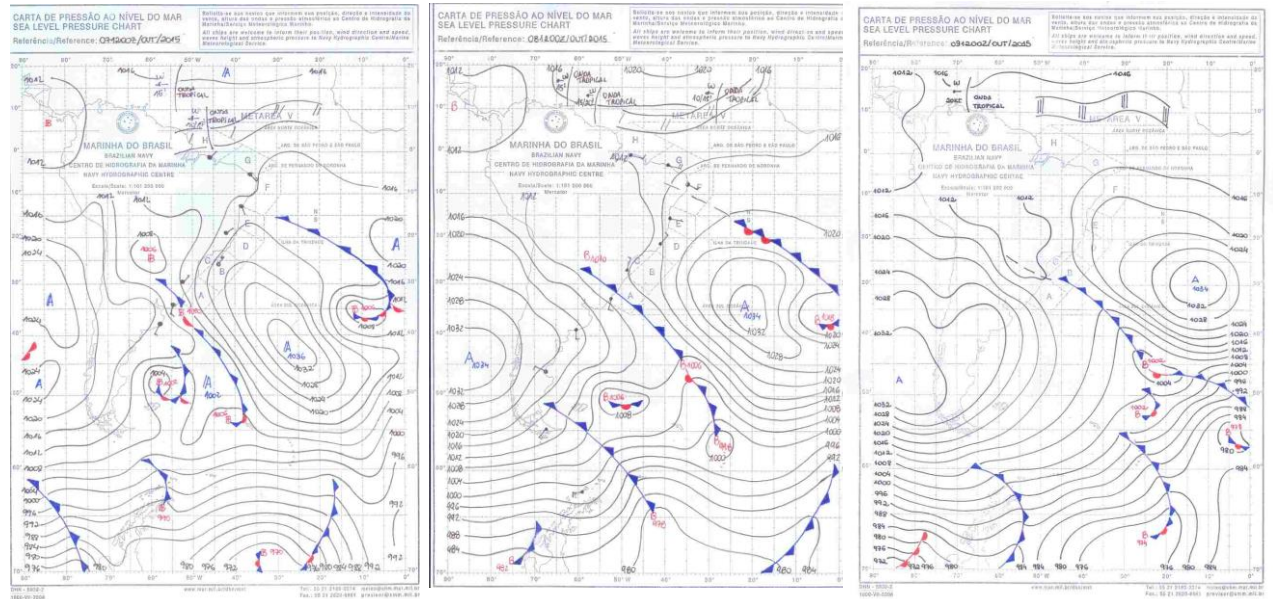
Ao atingir à área norte do Paraná, associa-se à um sistema frontal de baixas temperaturas que foi empurrado por uma área de alta que se localizava no atlântico, provocando assim uma queda repentina na temperatura média de aproximadamente 5°C e ventos de orientação nordeste.



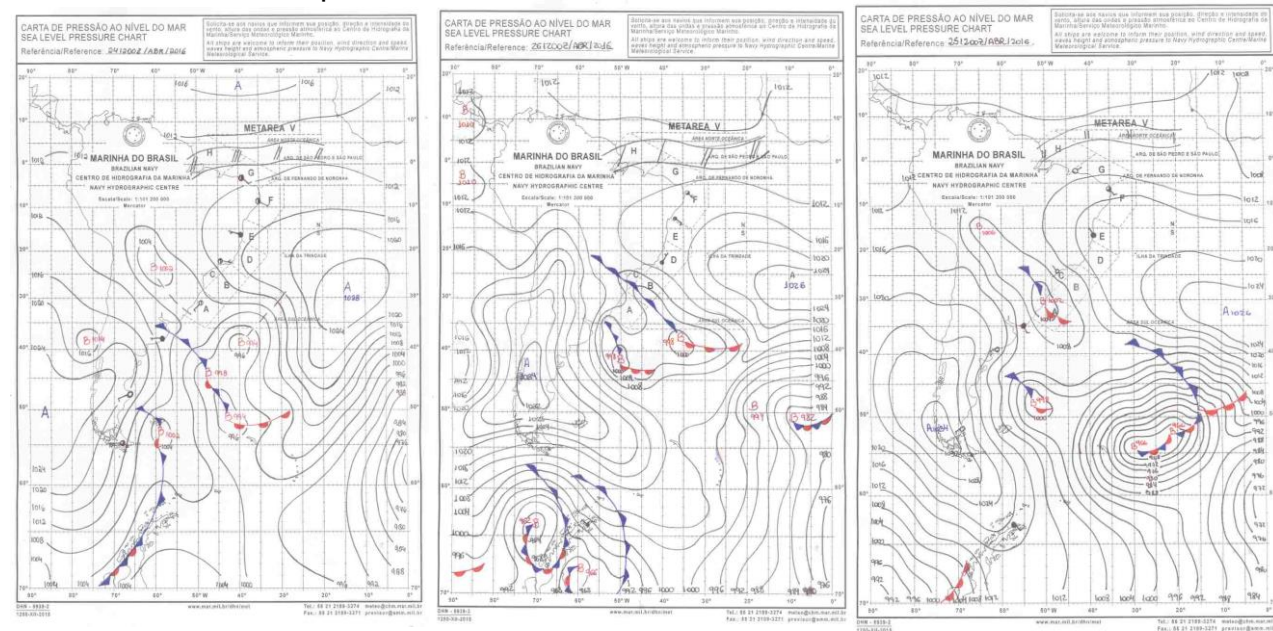
Figura 27 - Variação dos elementos climáticos Out/2015 e Abr/2016.



- Cartas sinóticas do período de 07 a 09/10/2015:



- Cartas sinóticas do período de 24 à 26/04/2016



- Período de 07 a 09/10/2015:

Observa-se, a partir da carta sinótica do dia 07/10, a influência de uma grande área de baixa pressão sobre a região central do continente. No dia seguinte, esta área se expande, deslocando seu centro para o sul do país. Este centro depressivo está associado à massa equatorial continental, com características de tempo quente e úmido, por ser originada da floresta amazônica. Ao deslocar-se rumo à sudeste, este centro associa-se à passagem de uma frente fria. Esta configuração faz que haja uma oscilação na temperatura, com seu aumento conforme a aproximação da área de baixa, seguido de uma acentuada redução com a passagem da frente fria. No dia das rajadas de vento, há ocorrência de precipitação seguido do enfraquecimento da frente que segue para o Atlântico.

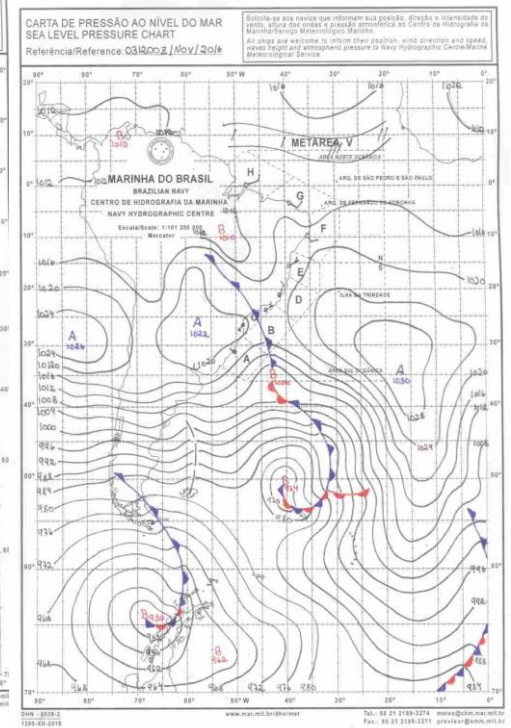
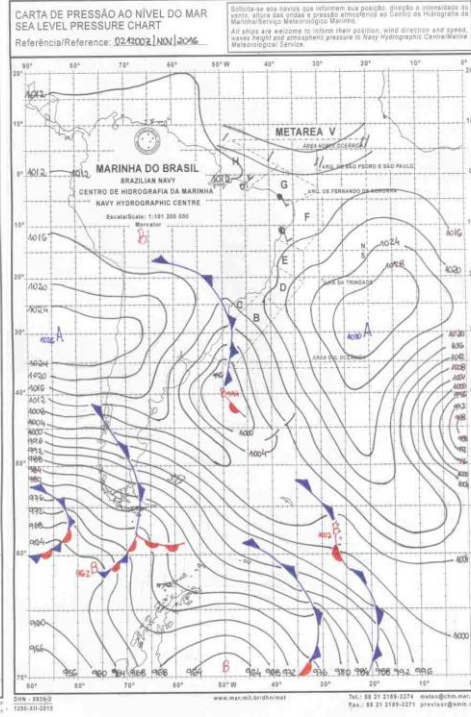
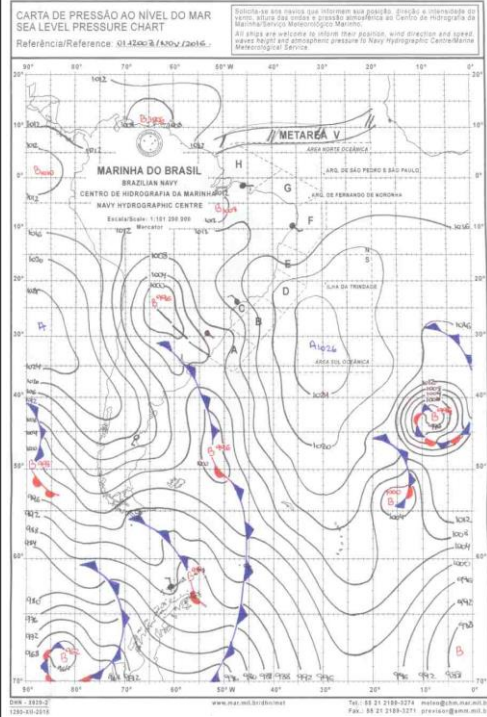
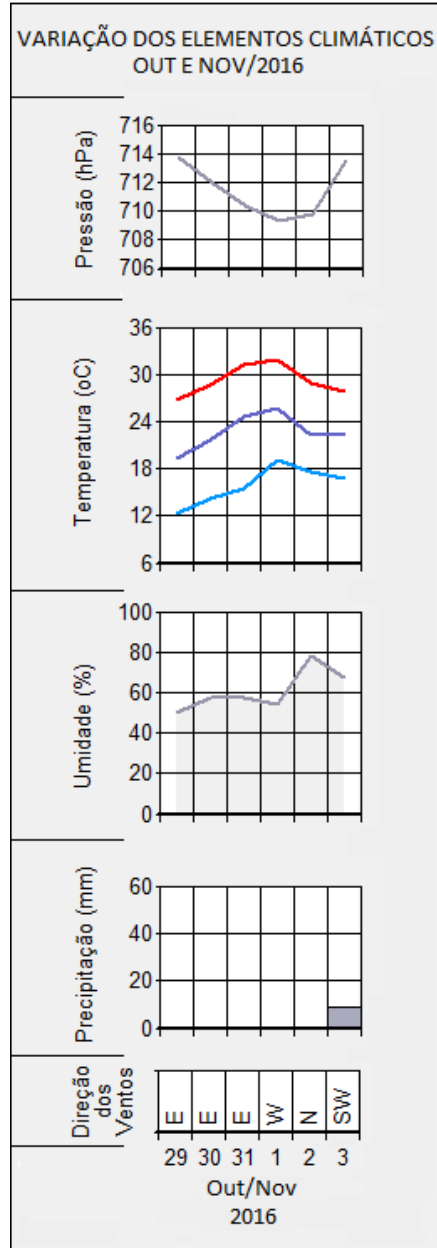
- Período de 24 à 26/04/2016

Os dias 24 e 25/04 são caracterizados pela atuação de dois centros de baixa pressão na região foco do estudo. Nessas 24 horas de ocorrência, percebe-se que a área de baixa pressão localizada na costa e a baixa ao continente são empurradas por uma área de alta pressão que vem se desenvolvendo no extremo sul do continente. Ao migrar para o noroeste, as baixas associam-se à uma frente fria do oceano, diminuindo as temperaturas locais.

O anticiclone móvel, vindo do Pacífico, carregou umidade e temperaturas baixas da sua região de origem, provocando uma queda acentuada de 8°C e um volume de 50 mm de precipitação. No dia dos vendavais, o sistema anticiclônico – de alta pressão, se estende mais ainda ao norte, com ventos à 76 Km/h de orientação à noroeste.

Figura 28- Variação dos elementos climáticos Out/Nov/2016.

- Cartas sinóticas do período de 01 à 03/11/2016





- Período de 01 à 03/11/2016

Na carta sinótica do dia 01/04, é possível observar a atividade de um sistema de baixa pressão, associado à região do Chaco, norte da Argentina. Com o desenvolver dos dias, percebe-se que este centro de baixa perde força, sendo impelido para o norte devido a atuação de um sistema de alta pressão que se formou no Pacífico. Este anticiclone avança, sentido leste, para além dos Andes, atingindo o sul do Brasil, onde divide-se devido à influência da cordilheira. Este anticiclone móvel, vindo do Pacífico, adquire uma massa de ar seca com temperaturas amenas, devido à sua passagem pelo continente, provocando pouco volume de chuva, e queda de 5°C na temperatura, porém com ventos de 85 Km/h soprando para sudoeste.

Assim, a partir da análise dos sistemas atmosféricos que antecederam as datas de vendavais, verificou-se que os centros de baixa pressão presentes na América do Sul são os que mais frequentemente influenciaram a ocorrência de vendavais. Tais centros mais frequentemente associados à mTc (massa Tropical continental), com maior atuação no inverno e à mEc (massa Equatorial continental), com maior atuação no verão.

Entretanto, os sistemas de alta pressão associados às massas de ar advindas do Pacífico, à massa Polar (mPa) e à massa Tropical do Atlântico Sul (mTa), são os sistemas que provocam os eventos mais desastrosos, estando relacionados com os dois eventos de maior velocidade do vento observado nesta análise.

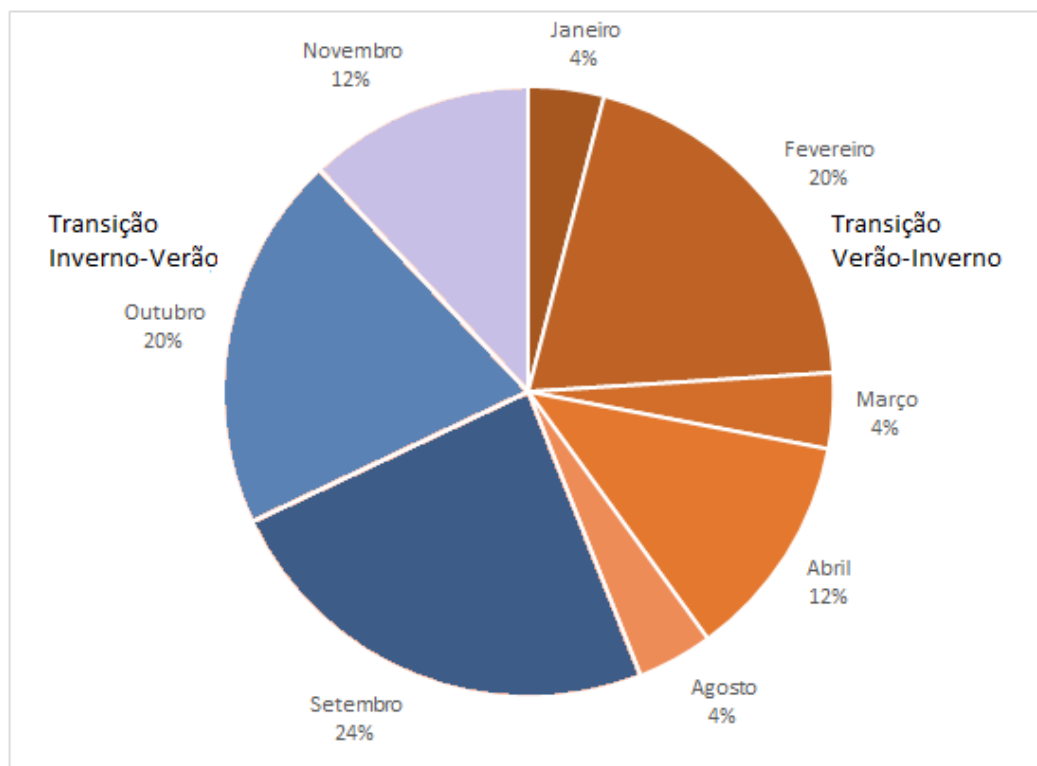
#### 4.2. SAZONALIDADE ASSOCIADA À OCORRÊNCIA DOS VENDAVAIS

Através da análise dos tipos de tempo que antecederam os vendavais registrados durante o período de análise, e por meio nos dados atmosféricos levantados pelo IAPAR, foi possível averiguar a influência da sazonalidade na ocorrência de vendavais em Londrina-PR, em termos de sua frequência, velocidade e direção predominante.

A partir do Gráfico 1 seguinte, observa-se a frequência associada aos meses de maior ocorrência, conseqüentemente, às estações do ano:

**Gráfico 1 - Ocorrência de vendavais associada à sazonalidade, em Londrina-PR de 2006 à 2016.**

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados do IAPAR (2017).



A partir deste gráfico, observa-se que a frequência dos vendavais em Londrina, se apresentou maior nas estações de transição – primavera e outono. Os meses que não estão destacados no gráfico – maio, junho, julho e dezembro, não apresentaram nenhum evento durante o período investigado.

A partir dos valores, temos que dos 25 casos de vendavais registrados durante janeiro de 2006 a dezembro de 2016, 36% deles ocorreram na transição verão-inverno – fevereiro, março e abril, e 56% na transição inverno-verão – setembro, outubro e novembro. Os meses que apresentaram picos de ocorrência foram os meses de fevereiro com 20% dos eventos, ou 5 episódios, setembro, com 24%, ou 6 vendavais, e outubro com 20% dos casos.

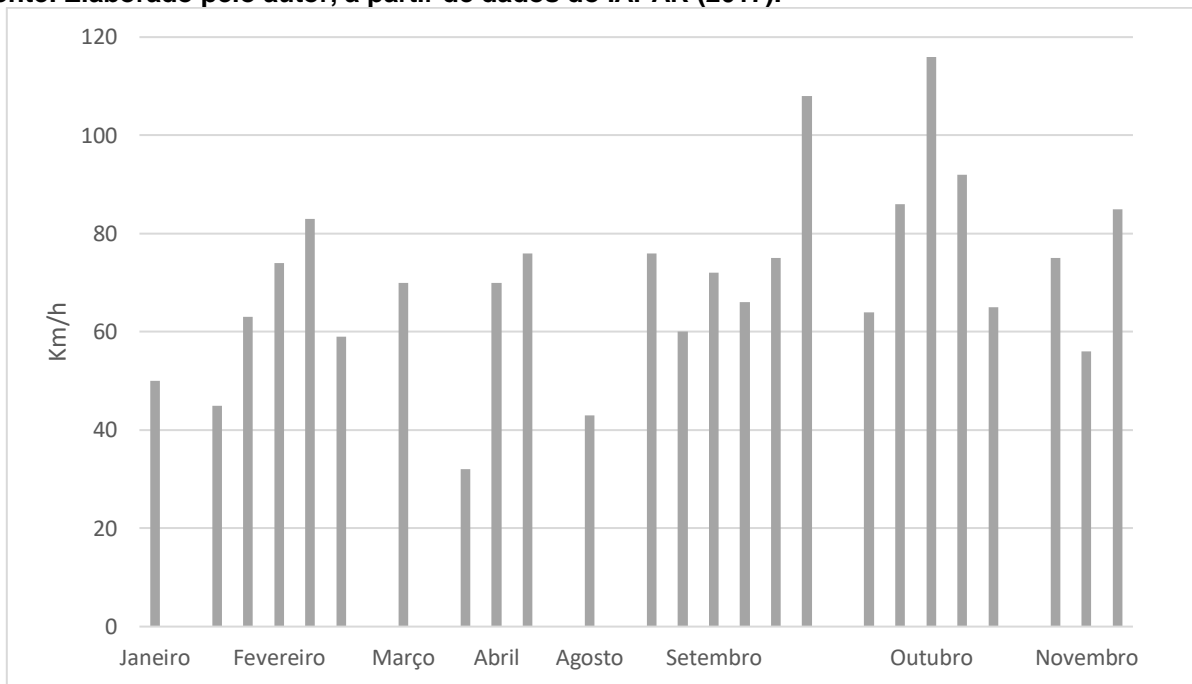
Em ambos os períodos de maiores picos de ocorrência de vendavais, observa-se a compatibilidade com o período de equinócio do planeta, em que a Terra está com a iluminação diária em equilíbrio, onde a duração do dia é idêntica à da noite e os hemisférios Norte e Sul recebem a mesma quantidade de luz.

A massa Equatorial continental (mEc) é um sistema de baixa pressão origina-se no interior da Amazônia. Como é um sistema gerado pelo intenso aquecimento continental, durante o inverno se retrai e a sua atuação se limita ao centro oeste da Amazônia. Com o aumento do fotoperiodismo – os efeitos e adaptações de plantas aos dias mais longos – a partir do equinócio da primavera, a temperatura gradativamente se eleva em todo o centro-sul do Brasil e a mEc se amplia sobre essa grande região a partir do noroeste (BORSATO, 2014). Caracterizando, então, este período como mais susceptível à ocorrência de desastres meteorológicos, como vendavais.

Outra análise verificada a partir dos dados atmosféricos refere-se à velocidade apresentada pelos ventos no dia de ocorrência dos vendavais, demonstrada pelos gráficos 2 e 3 seguintes:

**Gráfico 2 – Velocidade máxima do vento associada à sazonalidade, em Londrina-PR, de 2006 à 2016.**

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados do IAPAR (2017).



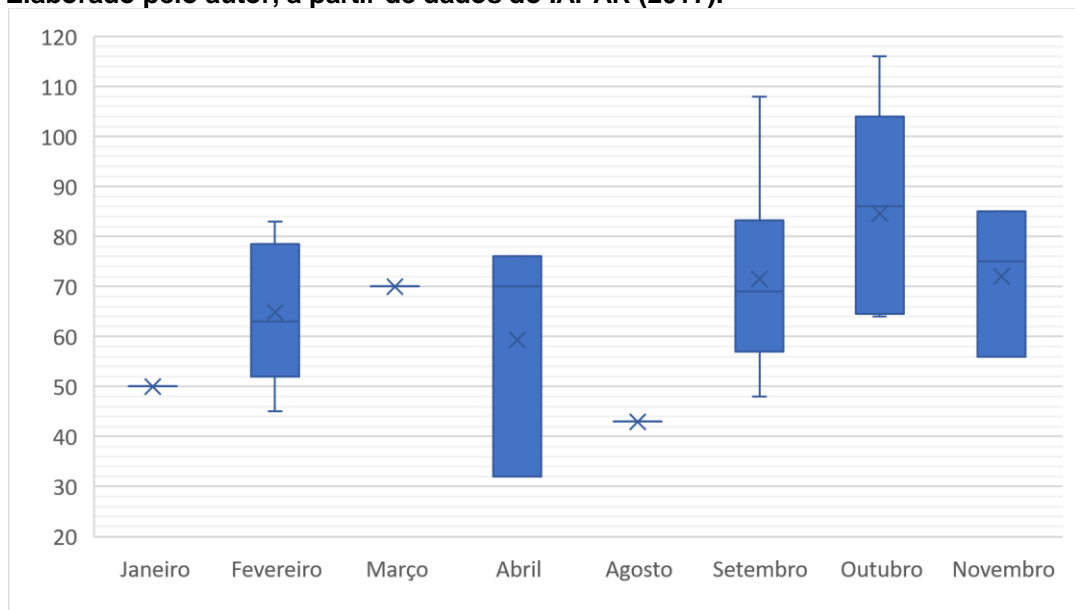
O gráfico 3 apresenta a velocidade aferida dos ventos em todos os episódios registrados, segundo a sua distribuição mensal. Observa-se que os meses de setembro e outubro apresentaram ventos de maiores velocidades, com picos de 108 e 116 Km/h, respectivamente. Já os meses de fevereiro, março, abril e novembro apresentaram velocidades aproximadamente entre 40 à 80 Km/h.

Também é possível perceber que os meses que apresentaram um padrão semelhante de velocidades foram os de transição verão-inverno – fevereiro, março e abril; da mesma forma que os meses de setembro, outubro e novembro apresentaram e um padrão similar de valores, com maiores velocidades.

O gráfico 3 seguinte, demonstra a variação das velocidades segundo sua distribuição:

**Gráfico 3. Variação da velocidade do vento associada à sazonalidade, em Londrina-PR, de 2006 à 2016.**

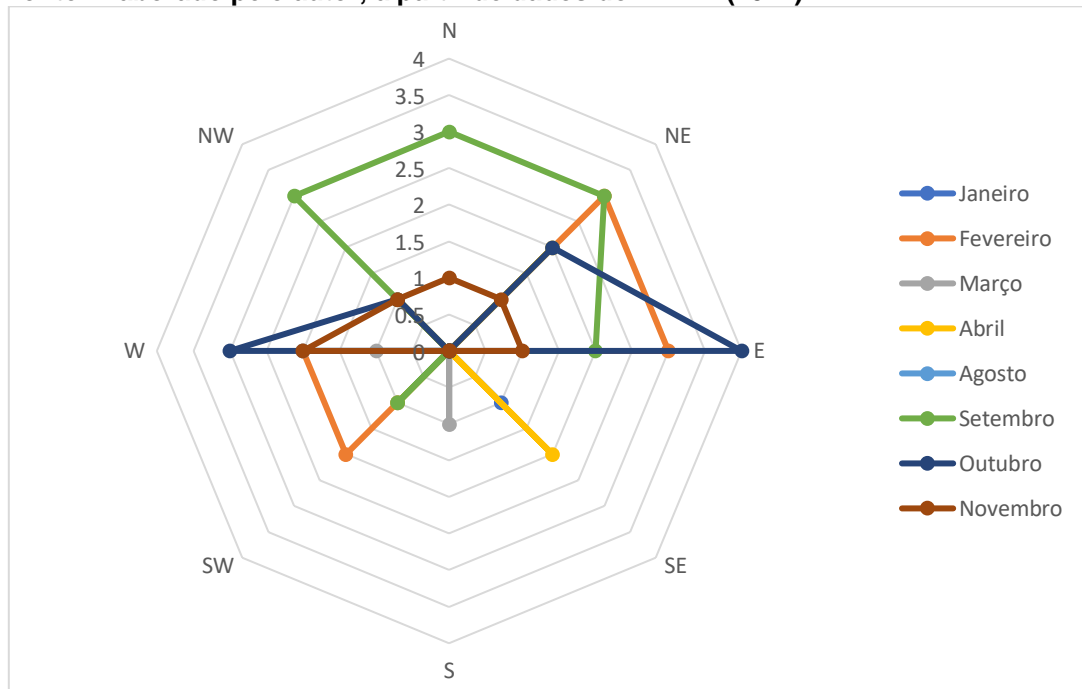
Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados do IAPAR (2017).



Os meses que obtiveram um padrão com menor dispersão foram fevereiro, setembro e novembro, apresentando um padrão mais homogêneo; os dois primeiros, entretanto, apresentaram um maior número de eventos, sendo, desta forma, os de maior homogeneidade tanto na frequência quanto na velocidade das rajadas de vento.

Em relação à direção manifestada a pelos ventos em Londrina, no período de 2006 à 2016, foi possível desenvolver a seguinte análise, apresentada no Gráfico 4:

**Gráfico 4. Direção dos ventos de Londrina-PR nos diferentes meses, de 2006 a 2016.**  
**Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados do IAPAR (2017).**



O Gráfico 4, acima apresenta a direção dos ventos associadas aos meses de ocorrência de vendavais, ressaltando-se que a direção se refere à origem de onde os ventos sopram.

Observa-se que os meses de janeiro e fevereiro, apresentam orientações similares à sudeste, sudoeste e nordeste. Entretanto em fevereiro começam a soprar ventos de leste e oeste, os quais também se estabelecem em março. A partir desta análise, verifica-se um relativo padrão na orientação de ventos nos três primeiros meses do ano, mantendo direções predominantes à SE, SW, NW, E e W.

Nota-se também que no mês de agosto predominam ventos à oeste e noroeste. Tais direções se mantêm nos meses subsequentes, simultaneamente à aparição de novas orientações: à sudoeste, noroeste, nordeste, oeste, leste e norte.

Assim, é possível perceber que os meses transição inverno-verão, também apresentam um padrão na orientação dos ventos, apresentando também uma maior número de orientações. As direções predominantes neste período são à SW, NW, NE, W, E e N.

Ventos de direção norte passaram a estar presentes na atmosfera durante a ocorrência dos vendavais nos meses de setembro, outubro e novembro. Isso pode estar relacionado com a atuação da massa continental equatorial, originada na faixa amazônica. Este sistema ganha força com o aquecimento do planeta expandindo-se para a parte meridional do continente, e, ao descer, é empurrada pela alta do pacífico, adentrando o território brasileiro e assimilando a orientação sul e sudeste, justificando os ventos de norte e noroeste.

#### 4.3. IMPACTOS PROVOCADOS PELOS VENDAVAIS E PROPOSTA PARA SUA PREVENÇÃO

A partir da análise das cartas sinóticas, pode-se observar que os dias que antecederam os vendavais foram de grande movimentação atmosférica. Tais perturbações provocaram danos e destruição por onde passaram, especialmente na área foco deste estudo. Os registros jornalísticos forneceram informações quanto aos danos causados pelos vendavais, observando-se que os maiores estragos ocorreram nas datas de maior velocidade de vento.

O vendaval ocorrido em 5 de outubro 2008, por exemplo, com ventos de 72 Km/h provocou quedas do fornecimento de energia em 94 bairros da cidade, queda de 15 árvores, 10 residências destelhadas pelos ventos, e a destruição de uma residência com danos físicos à família – (ANEXO I).

Os ventos sucedidos no dia 28 de setembro de 2009, com velocidade de 70 Km/h provocou destelhamento de casas e empreendimentos (ANEXO II). Em 15 de outubro do mesmo ano, a prefeitura de Londrina decretou estado de energia, com destelhamento de 300 casas e desalojamento de 40 famílias; as rajadas atingiram 86 Km/h (ANEXO III).

Em outubro de 2010, ventos de 116 Km/h provocaram destruição na cidade, derrubando cerca de 200 árvores, desabamento de um barracão, soterramento de veículos e danos ao patrimônio histórico da cidade (ANEXO IV). Em 2 fevereiro do ano

seguinte, rajadas de vento de 65 Km/h destelhou casas, derrubou placas em áreas comerciais e destelhou casas (ANEXO V).

O episódio de ventos em 23 de setembro de 2013, marcando o início da primavera, provocou quedas de árvores, destelhamentos, interrupção do fornecimento de energia, bloqueio de ruas e estragos em residências, shoppings e estabelecimentos comerciais por toda a cidade de Londrina. O município solicitou apoio da Defesa Civil para atender as ocorrências provocadas pelos ventos de 108 Km/h (ANEXO VI).

Em 15 de janeiro de 2015, um vendaval com ventos de 50 Km/h provocou quedas de árvores pela cidade, bloqueando vias e causando danos materiais à população (ANEXO VII). O último vendaval registrado, em 3 de novembro de 2016, rajadas de 85 Km/h arrancaram mais de 20 árvores pelas raízes, as quais caíram sobre carros e sobre as fiações elétricas (ANEXO VIII).

A posição do município de Londrina, em meio à área agrícola, aliada a inexpressiva extensão de mata nativa e poucas áreas verdes, favorece o impacto dos vendavais na área urbana (STIPP, 2001). Os desastres meteorológicos, com destaque para os vendavais, são fatores naturais não passíveis à controle, desta forma a população tem que buscar mecanismos de prevenção aos danos causados por estes.

Os florestamentos lineares ou em faixas, conhecidos genericamente como quebra-ventos arbóreos ou cortinas florestais, se destacam como uma prática que atende tanto as necessidades de proteção do meio ambiente, como produção de matéria prima florestal e no presente estudo como controlador dos fortes ventos atuantes no município de Londrina/PR.

Estas barreiras de ventos são feitas geralmente por meios de faixas compridas e estreitas orientadas perpendicularmente à direção dos ventos dominantes. Os materiais utilizados são os mais variados, desde barreiras mortas como cercas, paliçadas, esteiras, muretas, até barreiras vivas formadas por fileiras de árvores e arbustos (Figuras 29 e 30). Tais estruturas devem ser implantadas nas áreas mais altas para um melhor desempenho na redução da velocidade dos vendavais (STIPP, 2001).



**Figura 29 - Quebra ventos implantados em fileiras.**  
**Fonte: CARVALHO, 2015.**



**Figura 30 - Quebra ventos arbóreos.**  
**Fonte: CARVALHO, 2015.**



No Brasil, entretanto, muito pouco se tem feito para avaliar a potencialidade desta prática, não havendo dados disponíveis sobre como agiriam os quebra-ventos nas diversas situações de clima e topografia, devendo por isso ser objeto de experimentação científica para que possa recomendá-los com segurança. Como estas barreiras naturais se constituem numa técnica importante de controle microclimático, e uma vez que a variabilidade é uma característica do clima do Estado do Paraná, acredita-se que possam ser de grande utilidade para a agropecuária paranaense, pela capacidade que tem de diminuir os efeitos dessa variação climática (STIPP, 2001).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados levantados possibilitaram a identificação dos principais sistemas atmosféricos atuantes na manutenção dos episódios de vendavais ocorridos em Londrina-PR, e a sua relação à sazonalidade em que se apresentam.

Verificou-se que os centros de baixa pressão presentes na América do Sul, sobretudo a depressão do Chaco e baixa na faixa Amazônica, são os que mais frequentemente influenciaram a ocorrência de vendavais no norte paranaense. Entretanto, quando os sistemas de alta pressão atuam na região, associados sobretudo às massas de ar advindas do Pacífico, massa Polar e à massa tropical do Atlântico Sul, eles provocam os eventos mais desastrosos, estando relacionados com os dois eventos de maior velocidade do vento observado nesta análise.

Os ciclones – centros de baixa - associados à massa de equatorial continental e à massa tropical continental são os sistemas mais influentes na região de estudo, sendo o primeiro de grande atuação na estação do verão e o segundo em todas as estações do ano.

Foi possível também observar que os meses transição são os que apresentam maior frequência nos casos de vendavais na cidade de Londrina. Dos 25 casos de vendavais registrados durante o período de investigação, 36% deles ocorreram na transição verão-inverno – fevereiro, março e abril, e 56% na transição inverno-verão – setembro, outubro e novembro, onde setembro e outubro apresentaram os ventos de maior velocidade, com picos de 108 e 116 Km/h.

Os vendavais ocorridos em Londrina-PR, provocaram danos e destruição por toda a cidade, causando quedas do fornecimento de energia e de árvores, destruição de residências, desalojamento de famílias, danos ao patrimônio público, e danos à saúde de moradores. Nos eventos de maiores estragos, o município solicitou apoio da Defesa Civil para atender as ocorrências.

Uma vez que os desastres meteorológicos, com destaque para os vendavais, são fatores naturais não passíveis à controle, medidas preventivas foram propostas no sentido de evitar prejuízos materiais e danos à população. Foi sugerida a técnica de

florestamentos lineares, conhecida como cortinas florestais. Tais estruturas devem ser implantadas nas áreas mais altas para um melhor desempenho na redução da velocidade dos vendavais.

## REFERÊNCIAS

ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. **Geomorphology**, v. 47, n. 2-4, p. 107–124, Out. 2002.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. 4 ed. Rio de Janeiro, Brasil, 1996.

BARROS, M. V. F.; ARCHELA, R. S.; BARROS, O. N. F.; GRATÃO, L. H.; THERY, H.; MELLO, N. A. **Atlas Ambiental da Cidade de Londrina**. Londrina: IMAP&P, 2008. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/atlasambiental/>>. Acesso em: 22 mai. 2017.

BORSATO, V. A., **A Participação dos sistemas atmosféricos atuantes na bacia do rio Paraná no período de 1980 a 2003**. Tese (parcial), (Doutorado) Nupélia, Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2006.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. **Anuário brasileiro de desastres naturais: 2012**. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. Brasília, 2012.

\_\_\_\_\_. IBGE. **Censo Demográfico**, 2015. Disponível em:< [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2015/estimativa\\_dou.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2015/estimativa_dou.shtm) >. Acesso em: 21 mai. 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério da Integração Nacional. **Sistema Integrado de Informações sobre desastres**. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. 2017. Disponível em:< <https://s2id.mi.gov.br/>>. Acesso em: 13 mai. 2017.

CAMARGO, J. B. **Geografia Física, Humana e Econômica do Paraná**. Ideal Indústria Gráfica, 2001. v. 4, 181p.

CARVALHO, J. P. F. **Cortinas quebra-ventos - Funções, Tipos e Constituição**. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro: Dep. Ciências Florestais e Arquitetura, 2015. Disponível em:< <http://www.agronegocios.eu/noticias/cortinas-quebra-ventos-funcoes-tipos-e-constituicao/>>. Acesso em: 25 mai. 2017.

FIGUEIREDO, M. A. G. A história do CO2 nos processos de mudanças climáticas globais. **Brazilian Geographical Journal: Geoscience and Humanities Research Medium**. 2013. Disponível em: <<https://fakeclimate.wordpress.com/2013/01/10/a-historia-do-co2-nos-processos-de-mudancas-climaticas-globais/>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

FINOTTI, E. **Análise de ocorrência de vendavais na região sul do Brasil**: Relatório final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/ INPE). Santa Maria: INPE, 2010.

FONZAR, B. C. A circulação atmosférica na América do Sul: os grandes sistemas planetários e subsistemas regionais que atingem o continente: localização e trajetórias. Rio de Janeiro, **Cadernos de Geociências**, 1994. v.11, p.11-33.

FREITAS, C. M. et al. Desastres naturais e saúde: uma análise da situação do Brasil. **Ciência e Saúde Coletiva**, v.19, n.9, p. 3645-3656, 2014.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 3 ed. – Curitiba: Imprensa Oficial, 2002.

MARCELINO, E. V. Desastres naturais e geotecnologias – Conceitos Básicos. **Caderno Didático n. 1**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Santa Maria, 2008.

MARCELINO, E. V. NUNES, L. H., KOBAYAMA, M. Banco de dados de desastres naturais: análise de dados globais e regionais. **Revista Caminhos da Geografia**. Uberlândia, 2006. v. 6, n. 19, p. 130-149.

MARCELINO, I. P. O. **Análise de episódios de tornados em Santa Catarina: caracterização sinótica e mineração de dados**. 2004, 223 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Programa de Pós-Graduação do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Ministério da Ciência e Tecnologia, São José dos Campos, 2003.

MASSUELLA, L. Os maiores desastres naturais da última década. **Revista eletrônica Veja**. 2014. Disponível em:< <http://veja.abril.com.br/mundo/os-maiores-desastres-naturais-da-ultima-decada/>>. Acesso em: 22 mai. 2017.

MONTEIRO, C. A. F. **A frente polar atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul-oriental do Brasil**. IGEO/USP, São Paulo, 1969. 68 p.

MORIYA, R. K. **Ventos fortes ocorridos no período de 1983 a 1986 na área urbana de Londrina**. Monografia (bacharelado em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, 1986. 66p

KOBIYAMA, M. et al. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Ed. Organic Trading. Curitiba, 2006. v. 1, 109 f.

MENDONÇA, F. DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Texto, 2007.

NEDEL, A., SAUSEN, T. M., SAITO, S. M. Zoneamento dos desastres naturais ocorridos no estado do Rio Grande do Sul no período 1989 – 2009: granizo e vendaval. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.2, p. 119 - 126, 2012.

GEERE, D. **Cloud Index: Cumulonimbus – thunder, hail and lightning**. 2014. Disponível em: < <https://medium.com/looking-up/cloud-index-cumulonimbus-37e5c63eaf5c>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2. ed. Rio de Janeiro, 1989. 422 p.

PERETTI, V. A.; NUMMER, A. V.; WOLLMANN, C. A. Análise espaço-temporal dos desastres naturais de origem meteorológica e climatológica no município de Erechim (RS), no período de 1986 a 2011. **Boletim Gaúcho de Geografia**. v. 42. p. 255-275, 2015.

ROSSETTO, I. L. **Uso de geotecnologias para análise de eventos extremos no Estado do Paraná – período de 2000 a 2008**. Iniciação Científica; (Graduando em Meteorologia). Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Santa Maria, 2010.

SAITO, S. M., Desastres Naturais e Geotecnologias – Vulnerabilidade. **Caderno Didático n. 6**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.

SILVA, M. A. ; STIPP, M. E. F. ; BERTACHI, M. H. . Análise de Impactos ambientais Urbanos: Estudo de caso dos vendavais no Município de Londrina/PR no Período de 1967 a 2012. In: **XVII SICITE**, 2012, Curitiba. XVII SICITE. Curitiba: Editora UTFPR, 2012.

STIPP, M. E. F. **Análise dos vendavais em sobreposição à carta de direção de velocidade dos ventos de superfície da cidade de Londrina/Paraná.** Dissertação de Mestrado. USP, São Paulo, 2001.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres Naturais: Conhecer para prevenir.** São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

VAREJÃO-SILVA, M. A.; **Meteorologia e Climatologia.** v. 2, Recife, 2006.

ANEXOS

ANEXO I – Reportagem referente ao vendaval de 5 de outubro 2008.

**FOLHA** Paraná/Geral FOLHA DE LONDRINA, segunda-feira, 6 de outubro de 2008

4

# Chuva de granizo destrói casa e fere moradores

No final da tarde de sábado, 94 bairros tiveram o fornecimento de energia interrompido devido à queda de árvores

**Capotamento deixa família ferida**  
Londrina - O capotamento de uma caminhonete D-20, placa APU-8132, de Guaratã, deixou um casal e outras duas crianças feridas. O acidente ocorreu ontem, por volta das 16 horas, no centro de Paquetá, bairro Guaratã. Segundo o Sítio, Cláudio Assis de Souza, 36 anos, teve traumatismo craniano leve e Maria Daiva Ferreira de Souza, 30, sofreu traumatismo cranio-encefálico moderado. Ambos foram encaminhados ao Hospital Evangélico. Duas crianças, de quatro e oito anos, com ferimentos leves, foram socorridas pelo Samu e encaminhadas ao Hospital Infantil.

**Rapaz é assassinado**  
Cambé - Um rapaz de 17 anos foi assassinado com um tiro no peito ontem de manhã, no Jardim Rosa Bundebrant, em Cambé (13 quilômetros a oeste de Londrina). Rafael Alberto Mesquita morreu dentro da ambulância do Sítio, caminho do hospital mais perto. O crime ocorreu por volta de 10h30, na Rua Bento Mussurunga 168. Segundo a Polícia Civil, a vítima tinha passagem por homicídio e até o final da manhã não havia qualquer pista sobre autor ou testemunhas do fato. O corpo de Mesquita foi encaminhado ao IML de Londrina.

**Incêndio destrói casa**  
Ibiporã - Um incêndio destruiu uma residência de alvenaria em Vila Kennedy, próxima à divisa Jataizinho, por volta de 18h ontem. O imóvel, instalado à São Cristóvão, 5m², funcionava como escritório de uma indústria calçadista e, por isso, estava recheado. Conforme o soldado Celso Cardoso Gaspar, do C-2 de Bombeiros, o alerta foi dado por vizinhos que nada sobre o fogo foi desabado rapidamente consumiu móveis e eletrodomésticos existentes no local.

**SERVIÇO**  
Para quem quiser ajudar, Valdriene precisa de material de construção para reconstruir a casa. Doações de tijolos, areia, telhas, cimento, cal podem ser feitas pelo telefone (43) 3341-9505.

**Capotamento**  
Londrina - O capotamento de uma caminhonete D-20, placa APU-8132, de Guaratã, deixou um casal e outras duas crianças feridas. O acidente ocorreu ontem, por volta das 16 horas, no centro de Paquetá, bairro Guaratã. Segundo o Sítio, Cláudio Assis de Souza, 36 anos, teve traumatismo craniano leve e Maria Daiva Ferreira de Souza, 30, sofreu traumatismo cranio-encefálico moderado. Ambos foram encaminhados ao Hospital Evangélico. Duas crianças, de quatro e oito anos, com ferimentos leves, foram socorridas pelo Samu e encaminhadas ao Hospital Infantil.

**Rapaz é assassinado**  
Cambé - Um rapaz de 17 anos foi assassinado com um tiro no peito ontem de manhã, no Jardim Rosa Bundebrant, em Cambé (13 quilômetros a oeste de Londrina). Rafael Alberto Mesquita morreu dentro da ambulância do Sítio, caminho do hospital mais perto. O crime ocorreu por volta de 10h30, na Rua Bento Mussurunga 168. Segundo a Polícia Civil, a vítima tinha passagem por homicídio e até o final da manhã não havia qualquer pista sobre autor ou testemunhas do fato. O corpo de Mesquita foi encaminhado ao IML de Londrina.

**Incêndio destrói casa**  
Ibiporã - Um incêndio destruiu uma residência de alvenaria em Vila Kennedy, próxima à divisa Jataizinho, por volta de 18h ontem. O imóvel, instalado à São Cristóvão, 5m², funcionava como escritório de uma indústria calçadista e, por isso, estava recheado. Conforme o soldado Celso Cardoso Gaspar, do C-2 de Bombeiros, o alerta foi dado por vizinhos que nada sobre o fogo foi desabado rapidamente consumiu móveis e eletrodomésticos existentes no local.

**SERVIÇO**  
Para quem quiser ajudar, Valdriene precisa de material de construção para reconstruir a casa. Doações de tijolos, areia, telhas, cimento, cal podem ser feitas pelo telefone (43) 3341-9505.

**Estava colocando um cobertor na janela e, de repente, o vento ergueu o telhado da minha casa. Assim que consegui pegar o João Vitor no colo, o guarda-roupa caiu sobre a cama", lembra Valdriene**

**Caroline Vicentini**  
Reportagem Local

Queda de árvores, corte de eletricidade, semáforos apagados e danos em residências. Esse foi o saldo da forte chuva acompanhada de rajadas de vento e granizo que atingiu Londrina por volta das 16 horas de antontem. O Corpo de Bombeiros atendeu a cerca de 15 ocorrências de queda de árvores nos primeiros minutos do temporal. Segundo o sargento Xavier, outros oito pedidos de apoio foram solicitados à Secretaria Municipal do Meio Ambiente (Sema). Pelo menos 10 casas foram atingidas por árvores ou destelhadas pelo vento.

A assessora de imprensa da Copel informou que 70 mil consumidores de Londrina ficaram sem energia por períodos que variaram de alguns minutos a até quatro horas. Noventa e quatro bairros — principalmente da Zona Oeste — tiveram o fornecimento interrompido durante a tarde, devido à queda de árvores sobre a rede elétrica, cabos rompidos e descargas atmosféricas.

A Copel mobilizou 130 equipes para atender a quase 500 ocorrências em todo o Norte do Estado. O sistema elétrico voltou à normalidade na manhã de domingo.

A rigidez sul foi a mais atingida pelo granizo. A casa de alvenaria da dona de casa Valdriene Luciano, moradora do Jardim Atlântida, foi destruída em poucos minutos. No momento da chuva, oito pessoas estavam no local: além de Valdriene, três de seus quatro filhos, dois sobrinhos, uma prima e o marido dela. "Foi tudo muito rápido. Estava colocando um cobertor na janela e, de repente, o vento ergueu o telhado da minha casa. Assim que consegui pegar o João Vitor no colo (o bebê de quatro meses), o guarda-roupa caiu sobre a cama. Ainda nos escondemos no banheiro e escapamos em segurança. Só pensei nos meus filhos", relembra emocionada.

Valdriene e outros dois filhos tiveram ferimentos leves. Gravada de oito meses, a prima de Valdriene, Glauce Aparecida Ferreira Luciano, teve ferimentos na barriga e no pé. "Senti o muro cair sobre as minhas costas", conta. O marido, Wesley Henrique de Oliveira, foi atingido por pedaços de tijolo e levou cinco pontos na cabeça.

Valdriene, que possui como única renda os R\$ 80,00 do Bolsa Família, está morando provisoriamente com os filhos na casa da irmã.

Segundo o meteorologista Samuel Braun, do Sistema Meteorológico do Paraná (Simepar), o encontro de uma frente fria com um ambiente quente (no momento da chuva os termômetros registravam 31° em Londrina) favoreceu a formação de granizo. "Entre 16 e 17 horas não choveu muito — cinco milímetros — mas as rajadas de vento chegaram a 72 km/h", afirma. De acordo com Braun, a previsão é de tempo estável para os próximos dias em Londrina.

ANEXO II – Reportagem referente ao vendaval de 28 de setembro de 2009.

**FOLHA DE LONDRINA**  
www.folhadelondrina.com.br  
segunda-feira, 28 de setembro de 2009

**O JORNAL DO PARANÁ** 60 ANOS R\$ 1,25

TEMPO EM FÚRIA

# Vendaval deixa rastro de caos

Árvores derrubadas, casas destelhadas, pessoas desoladas. A tempestade que atingiu o Norte do Paraná foi rápida, mas causou destruição em Londrina e região. Em Ibiporã, mau tempo prejudicou 30 mil pessoas. PÁG. 6

**Ventos fortes destelharam posto de gasolina e o Hospital Cristo Rei, o maior de Ibiporã; 70% da cidade ficaram sem energia**



ANEXO III – Reportagem referente ao vendaval de 15 de outubro de 2009.

16 de outubro de 2009

# FOLHA DE LONDRINA

O JORNAL DO PARANÁ

60 ANOS

RS 1,25

**EFEITOS DO CLIMA**

## Há risco de novos temporais no Paraná

Meteorologistas explicam o vendaval que causou estragos em vários pontos do Estado ontem; um tornado atingiu a região sudoeste. A tempestade afetou quase 25 mil pessoas, houve pelo menos duas mortes. Cascavel (ao lado) foi a cidade mais afetada.

■ Em Londrina, prefeitura decreta estado de emergência, o que não ocorria desde 1997. ■ Hora do consumidor ficar atento: preço das hortaliças deve subir até 50%.

CIDADES E ECONOMIA




ANEXO IV – Reportagem referente ao vendaval de 31 de outubro de 2010.

FOLHA Paraná/Geral 9

31 de outubro de 2010

## Vendaval causa prejuízo em Londrina

**Pelo menos 200 árvores foram derrubadas; na AFML, um barracão de 350 metros quadrados ficou destruído**

Carolina Avarani  
Reportagem Local

Frente de mais de 100 km por hora atingiram Londrina na madrugada de ontem, deixando um rastro de destruição nas regiões Leste-Sul e Área Central. Conforme informações da Companhia Municipal de Utilização e Manutenção (CMUL), pelo menos 200 árvores foram derrubadas pelo vendaval. Levantamento inicial do Corpo de Bombeiros aponta que foram danificadas dez casas e destruído outro edifício em área. Na Região Metropolitana, 52 mil domicílios ficaram sem energia elétrica.

Na sede da Associação dos Funcionários Municipais de Londrina (AFML), na Zona Sul, uma árvore tombada pelo vento provocou a destruição total de um barracão de 350 metros quadrados. Um veículo Fompla que estava guardado no local foi soterrado pelas telhas e escombros da construção. Contribui o diretor presidente do Rubé, Roberto Sérgio Avila, o

Barracão usado para festa na AFML, acabou e destruiu um carro, mesas e cadeiras

Na rua Souza Neves árvores caíram e até móveis foram arremessados das sacadas dos prédios

plantas, mas não foram atingidas. Há e Yushari Monsanto foram surpreendidos pelo desmatamento de árvores da casa vinda dentro do jardim. Também vários protocolos pedindo o corte, mas ninguém fez nada. Agora, a árvore já caiu", lamentavam.

O vento também causou prejuízo ao patrimônio histórico municipal. A Igreja de São Pedro Santo, localizada no patrimônio rural de mesmo nome, teve aproximadamente 800 telhas arremessadas. O dono maior, porém, foi ao forte de construção que teve sido restaurado recentemente e ficou totalmente danificado.

"Vários ter que pedir uma ajuda de emergência à prefeitura, variando entre 11°C e 20°C. Serviço Por causa da chuva, o Mega Show Fiat que seria realizado na Praça Sulbom-ia, neste final de semana, foi transferido para amanhã. O evento tem início às 20h e é aberto ao público. (Com informações da Prata Branca)

lg: "Nosso objetivo agora é desmontar esta estrutura, para evitar que caia sobre a residência", afirmou o engenheiro Altair Ferreira Novais. O irmão do engenheiro responsável pelo prédio em obras esteve no local público e se comprometeu a tomar as providências necessárias.

Os bombeiros informaram que muitos pedidos de lutas para proteção de móveis e eletrodomésticos foram feitos à corporação, mas ainda não há levantamento de quantos móveis foram atingidos pelo vendaval. Em Apucarana (Centro-Norte), os bombeiros continuavam a atender os pedidos da população até o início da tarde. "Até as 5 horas foram registrados 10 casos de desastres e danos materiais. Mas as equipes estão nas ruas até agora e não temos o balança fechado", informou o capitão André Ricardo Facci Martins.

Em Itaipó (Norte), um dos bairros mais atingidos foi o São Rafael. A reportagem encontrou vários moradores consentando os trabalhos durante a manhã.

"Acordei para receber as notícias que estavam no jornal e não sabia se era verdade ou não. Quando eu acordei, estava tudo", contou a dona de casa Adriana Soares dos Reis. Várias telhas caíram e a casa foi danificada. Ela e sua família foram levadas para a residência. (Silvana Leão/Reportagem Local)

**Mau tempo atrapalha campanha**

Curitiba - A chuva forte que caiu entre a madrugada e a manhã de sábado atrapalhou os últimos encontros de militantes pelistas e lucenses na capital. A liderança local de campanha da candidatura Dilma Rousseff (PT) havia marcado uma manifestação às 10 horas, na Praça Rui Barbosa, porém o evento foi cancelado logo cedo. Planos mais ambiciosos tinham os líderes do PSDB Curitiba, que programaram uma "Campanha Pel Paz e Democracia", em prol do candidato José Serra, com a presença do governador eleito Beto Richi e o deputado federal Gustavo Frust, entre outros representantes locais do partido. Mas a previsão que deveria sair da Praça Sérgio Andrade, às 11 horas, foi cancelada quando já havia um grupo de milhares no local.

ANEXO V – Reportagem referente ao vendaval de 2 fevereiro de 2011.



ANEXO VI – Reportagem referente ao vendaval de 23 de setembro de 2013.





ANEXO VII – Reportagem referente ao vendaval de 15 de janeiro de 2015.

134 - JORNAL DE LONDRINA, quinta-feira, 15 de janeiro de 2015

# Temporal causa estragos em Londrina

Foram registradas 14 quedas de árvores; uma das ocorrências foi na casa da mãe do prefeito

**Wivani Costa**  
Reportagem Local

Londrina - A Defesa Civil registrou 14 ocorrências de quedas de árvores entre a noite de terça-feira e a tarde desta manhã em Londrina. O temporal danificou casas e deixou galhos espalhados por ruas e avenidas da cidade. Voluntários ajudaram na remoção dos resíduos. Segundo o coordenador adjunto da Defesa Civil, Deivaldo Anderson, o órgão público recebeu cinco chamadas durante a tarde. Uma das ocorrências foi registrada na casa da mãe do prefeito Alexandre Kireeff (PSD), onde uma árvore caiu em frente à residência. O telhado e algumas telhas foram danificados.

A queda foi registrada por volta das 13h30. A equipe da Defesa Civil chegou duas horas depois com todos os equipamentos necessários para fazer a retirada. "Enquanto isso, a Defesa Civil analisou todas. Eu empresa atua como voluntária junto à Defesa Civil. "A empresa é voluntária já há um tempo, mas é a primeira vez que estamos utilizando essa estrutura de forma efetiva. Eles também nos deram apoio para a retirada de uma outra árvore aqui perto", justificou. A equipe formada por, pelo menos, seis pessoas permaneceu no local até o final da tarde. O coordenador dos Distritos Rurais de Londrina, José Luiz Vicente da Silva, também foi até a casa da mãe do prefeito e atuou como voluntário. "Estou ajudando aqui. Não sei por que o espanto", comentou rapidamente.

Além da Defesa Civil, bombeiros e funcionários da Secretaria Municipal do Ambiente (Sema) também atenderam as ocorrências. Algumas árvores serão removidas durante a manhã de hoje. Segundo Anderson, elas não oferecem riscos aos moradores e não atrapalham motoristas e pedestres.



Seis pessoas trabalharam na remoção em frente à residência da mãe de Kireeff