



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

## **ESTUDO DAS MARÉS ATMOSFÉRICAS NA ALTA ATMOSFERA DO SUL BRASILEIRO**

**RELATÓRIO FINAL DE ATIVIDADES DE INICIAÇÃO  
CIENTÍFICA PIBIC/INPE – CNPq/MCT**

**PROCESSO N° 103553/2005-3**

**Elisa Borstmann Jensen (UFSM, Bolsista PIBIC/INPE - CNPq/MCT)**  
E-mail: [elisa@lacesm.ufsm.br](mailto:elisa@lacesm.ufsm.br)

**Dr. Barclay Robert Clemesha (DAE/CEA/INPE - MCT, Orientador)**  
E-mail: [bcllem@laser.inpe.br](mailto:bcllem@laser.inpe.br)

**Dr. Nelson Jorge Schuch (CRSPE/INPE - MCT, Co-Orientador)**  
E-mail: [njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br)

**Santa Maria, Julho de 2006.**



## **DADOS DE IDENTIFICAÇÃO**

Título do Projeto:

ESTUDO DAS MARÉS ATMOSFÉRICAS NA ALTA ATMOSFERA DO  
SUL BRASILEIRO

Bolsista:

Elisa Borstmann Jensen

Acadêmica do Curso de Física - Bacharelado da UFSM

Processo:

CNPq - 103553/2005-3

Orientador:

Dr. Barclay Robert Clemesha

Pesquisador Titular - Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE - MCT

Coordenação Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas – CEA/INPE -  
MCT

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT

Co-Orientador:

Dr. Nelson Jorge Schuch

Coordenador das Ações de Implantação e Funcionamento do Centro  
Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT

Chefe da Unidade Regional Sul de Pesquisas Espaciais – RSU/CIE/INPE -  
MCT



Colaboradores:

Dr. Paulo Prado Batista

Pesquisador Titular – DAE/CEA/INPE – MCT

Dr. Wayne Hocking

University of Western – MARDOC Inc - **Canadá**

Dr. Brenton Vanderpeer

Genesis Software Pty Ltda – **Austrália**

Engenheiro Sinval Domingues

Centro Espacial de Cachoeira Paulista – INPE/MCT

Engenheiro Fernando Morais Santos

DAE/CEA/INPE - MCT

Thiago Brum Pretto

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica da UFSM

**Locais de Trabalho/Execução do Projeto – Parceria INPE - UFSM:**

- ***Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT***  
Laboratório de Sondagem Ionosférica, da Média e Alta Atmosfera Terrestre  
Laboratório de Atmosferas Planetárias e Terrestre  
Laboratório de Eletrônica
- O presente trabalho de Pesquisa está sendo desenvolvido no âmbito da parceria INPE/MCT - UFSM, através do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM.



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que de alguma forma apoiaram e colaboraram para o desenvolvimento deste Projeto de Iniciação Científica.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e, ao Coordenador do Programa PIBIC/INPE-CNPq/MCT, Dr. José Carlos Becceneri, pelo apoio e aprovação do Projeto de Pesquisa.

Ao Dr. Barclay Robert Clemesha, Pesquisador Titular do DAE/CEA/INPE-MCT, em São José dos Campos, SP, pela preciosa atenção dedicada na orientação deste Projeto de Pesquisa.

Ao Dr. Nelson Jorge Schuch, Coordenador da Ação de Implantação do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em Santa Maria, pelas valorosas orientações prestadas, sempre visando o desenvolvimento acadêmico e profissional da Bolsista.

Aos colegas do CRSPE/INPE – MCT pela contínua colaboração e apoio, em especial ao sempre prestativo amigo e colega Thiago Brum Preto.



## RESUMO

O presente Projeto teve como objetivo o estudo da dinâmica da Mesosfera no Sul do Brasil, especificamente relacionado ao fenômeno de marés atmosféricas. Esse estudo tornou-se possível através da utilização de dados provenientes do Radar de Rastros Meteorológicos – All Sky Interferometric Radar Meteor – SKiYMET, instalado e em operação no Plano-Diretor do “campus” da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, em parceria com o Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRSPE/INPE-MCT, em Santa Maria - RS. O Radar Meteorológico fornece dados que podem ser utilizados na determinação de vários parâmetros atmosféricos e astronômicos, sendo um deles a velocidade dos ventos horizontais na região da mesosfera entre 80-100 Km de altura, através dos quais podem ser estudadas as marés. Nesta etapa do Projeto, motivada por diversos trabalhos relacionando a dinâmica da atmosfera ao fenômeno de aeroluminescência, foi realizada uma comparação das variações temporais da intensidade de emissão da hidroxila (OH(3,1)) com as componentes zonal e meridional dos ventos horizontais, utilizando dados provenientes, respectivamente, do Fotômetro Gold, instalado no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE-MCT, em São Martinho da Serra - RS, e do Radar SKiYMET. Através da análise da emissão do OH e dos ventos atmosféricos em função da hora local, foi possível observar uma certa correlação entre a intensidade medida e a velocidade dos ventos horizontais, especialmente da componente meridional. As oscilações nas velocidades dos ventos resultaram em variações nas taxas de emissão de luminescência, cujos comportamentos demonstraram-se semelhantes. Essa correlação pode ser explicada pelo fato de que o vento vertical, cuja amplitude pode ser aproximada por uma relação envolvendo as componentes horizontais do vento, tem efeito sobre as concentrações de  $O_3$  e H, cuja combinação produz o OH. A comparação entre os ventos mesosféricos e luminescência, além de ampliar os conhecimentos em Geofísica Espacial, permitiu o desenvolvimento de atividades técnico-científicas e um melhor entendimento de conceitos relacionados às marés atmosféricas estudados anteriormente.



## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>18</b>
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>20</b>
<b>DINÂMICA DA ALTA ATMOSFERA.....</b>	<b>20</b>
2.1 INTRODUÇÃO.....	20
2.2 MARÉS ATMOSFÉRICAS.....	22
2.3 REGIÃO DE INTERESSE NO ESTUDO ATUAL .....	24
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>27</b>
<b>UTILIZAÇÃO DE RADAR METEÓRICO NO ESTUDO DE .....</b>	<b>27</b>
<b>MARÉS ATMOSFÉRICAS.....</b>	<b>27</b>
3.1 RADAR METEÓRICO.....	27
3.2 RADAR SKiYMET .....	28
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>31</b>
<b>O FENÔMENO DE LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA.....</b>	<b>31</b>
4.1 INTRODUÇÃO.....	31
4.2 LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA OU AEROLUMINESCÊNCIA.....	32
4.3 A AEROLUMINESCÊNCIA E O ESTUDO DA DINÂMICA DA ATMOSFERA.....	33
4.4 EMISSÕES DE LUMINESCÊNCIA DA MOLÉCULA OH.....	34
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>37</b>
<b>OBSERVAÇÕES SIMULTÂNEAS DE VENTOS MESOSFÉRICOS E LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA DO OH.....</b>	<b>37</b>
5.1 INTRODUÇÃO.....	37
5.2 METODOLOGIA UTILIZADA .....	37
5.3 RESULTADOS .....	61
5.4 CONCLUSÕES.....	62
<b>CAPÍTULO 7 .....</b>	<b>63</b>
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>63</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>64</b>



<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>67</b>
<b>RESUMOS DOS TRABALHOS TÉCNICO-CIENTÍFICOS APRESENTADOS OU SUBMETIDOS.....</b>	<b>67</b>



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Densidades numéricas de alguns constituintes atmosféricos e perfil de temperatura entre 70 km e 110 km de altura. As setas indicam a escala a que se refere o perfil..... 26
- Figura 2 – Configuração da distribuição das antenas receptoras em relação à antena transmissora do sistema Radar SKiYMET do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, instalado no “Campus - Camobi” da UFSM no âmbito da Parceria INPE – UFSM. As antenas em forma de cruz assimétrica estão separadas por  $2,0 \lambda$  e  $2,5 \lambda$  ao longo dos eixos norte-sul e leste-oeste, onde  $\lambda$  é comprimento de onda do radar ( $\sim 8,5\text{m}$ ). A posição da antena transmissora não é crítica, podendo ser colocada em qualquer local convenientemente próximo ao arranjo receptor. .... 30
- Figura 3 – Espectro da aeroluminescência mostrando as principais linhas de emissão. ... 33
- Figura 4 – Representação entre várias transições vibro-rotacionais..... 35
- Figura 5 – Programa “Seqüencial Meteor”. Utilizado para calcular as componentes zonal e meridional do vento em intervalos de tempo e altura que podem ser determinados pelo usuário. .... 38
- Figura 6 – Dados de ventos calculados através do programa “Seqüencial Meteor” e copiados no ..... 39
- Figura 7 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila ( $\text{OH}(3,1)$ ) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 12/02/2005 e 13/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 40

- Figura 8 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila ( $OH(3,1)$ ) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 13/02/2005 e 14/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 40
- Figura 9 - Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila ( $OH(3,1)$ ) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 14/02/2005 e 15/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 41
- Figura 10 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila ( $OH(3,1)$ ) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 15/02/2005 e 16/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 41
- Figura 11 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila ( $OH(3,1)$ ) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 07/03/2005 e 08/03/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 42
- Figura 12 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila ( $OH(3,1)$ ) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 09/03/2005 e 10/03/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria,



em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 42

Figura 13 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila ( $OH(3,1)$ ) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 10/03/2005 e 11/03/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 43

Figura 14 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 2h e 2Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila ( $OH(3,1)$ ) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 12/02/2005 e 13/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 44

Figura 15 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 2h e 2Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila ( $OH(3,1)$ ) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 13/02/2005 e 14/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 44

Figura 16 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 2h e 2Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila ( $OH(3,1)$ ) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 14/02/2005 e 15/02/2005. , observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 45

- Figura 17 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 2h e 2Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 15/02/2005 e 16/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 45
- Figura 18 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 2h e 2Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 07/03/2005 e 08/03/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 46
- Figura 19 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 2h e 2Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 09/03/2005 e 10/03/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 46
- Figura 20 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 2h e 2Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 10/03/2005 e 11/03/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 47
- Figura 21 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, ajustadas por regressão harmônica em componentes de 8, 12 e 24h, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 12/02/2005 e 13/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da

Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS..... 48

Figura 22 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, ajustadas por regressão harmônica em componentes de 8, 12 e 24h, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila ( $OH(3,1)$ ) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 13/02/2005 e 14/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS..... 48

Figura 23 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, ajustadas por regressão harmônica em componentes de 8, 12 e 24h, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila ( $OH(3,1)$ ) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 14/02/2005 e 15/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS..... 49

Figura 24 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, ajustadas por regressão harmônica em componentes de 8, 12 e 24h, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila ( $OH(3,1)$ ) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 15/02/2005 e 16/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS..... 49

Figura 25 – Gráfico da soma ponderada das componentes zonal e meridional do vento, no intervalo de 81Km e 95Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila ( $OH(3,1)$ ) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 12/02/2005 e 13/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS..... 50

- Figura 26 – Gráfico da soma ponderada das componentes zonal e meridional do vento, no intervalo de 81Km e 95Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila ( $OH(3,1)$ ) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 13/02/2005 e 14/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS..... 51
- Figura 27 – Gráfico da soma ponderada das componentes zonal e meridional do vento, no intervalo de 81Km e 95Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila ( $OH(3,1)$ ) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 14/02/2005 e 15/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS..... 51
- Figura 28 – Gráfico da soma ponderada das componentes zonal e meridional do vento, no intervalo de 81Km e 95Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila ( $OH(3,1)$ ) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 15/02/2005 e 16/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS..... 52
- Figura 29 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila ( $OH(3,1)$ ) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 01/10/2005 e 02/10/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS..... 53
- Figura 30 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila ( $OH(3,1)$ ) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 02/10/2005 e 03/10/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria,

em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 53

Figura 31 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila ( $OH(3,1)$ ) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 01/11/2005 e 02/11/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 54

Figura 32 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila ( $OH(3,1)$ ) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 02/11/2005 e 03/11/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 54

Figura 33 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e da linha  $2P_1$  da hidroxila ( $OH(3,1)$ ) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 27/01/2006 e 28/01/2006, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 55

Figura 34 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e da linha  $2P_1$  da hidroxila ( $OH(3,1)$ ) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 28/01/2006 e 29/01/2006, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 55

- Figura 35 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e da linha 2P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 29/01/2006 e 30/01/2006, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 56
- Figura 36 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e da linha 2P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 22/02/2006 e 23/02/2006, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 56
- Figura 37 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e da linha 4P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 24/02/2006 e 25/02/2006, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 57
- Figura 38 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e da linha 2P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 25/02/2006 e 26/02/2006, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 57
- Figura 39 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e da linha 2P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 26/02/2006 e 27/02/2006, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria,

em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 58

Figura 40 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e da linha 2P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 27/02/2006 e 28/02/2006, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 58

Figura 41 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e da linha 2P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 28/02/2006 e 29/02/2006, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 59

Figura 42 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e da linha 2P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 03/03/2006 e 04/03/2006, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 59

Figura 43 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e das linhas 2P<sub>1</sub> e 4P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 31/03/2006 e 01/04/2006, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 60



- Figura 44 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e da linha 2P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 01/04/2006 e 02/04/2006, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 60
- Figura 45 – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e da linha 2P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 02/04/2006 e 03/04/2006, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. .... 61

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

Neste Relatório são apresentadas as atividades da Bolsista **Elisa Borstmann Jensen** desenvolvidas em uma das etapas do Projeto “**Estudo das Marés Atmosféricas na Alta Atmosfera do Sul Brasileiro**”, no período compreendido entre Agosto de 2005 a Julho de 2006.

Nesta etapa do Projeto, motivada por diversos trabalhos envolvendo a Dinâmica da Alta Atmosfera com o fenômeno de Luminescência Atmosférica, foi realizada uma comparação entre os dados de ventos mesosféricos e a intensidade de emissão da hidroxila (OH).

Os dados de ventos utilizados nesta comparação são provenientes do Radar de Rastros Meteoróicos – All-Sky Interferometric Radar Meteor – SKiYMET, adquirido pela Ação 1275, do PNAE 1998 – 2007, PPA 2000 – 2003, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT, instalado provisoriamente, em Parceria pelo INPE/MCT – UFSM, no Plano Diretor do “campus” da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, localizada atrás do Hospital Veterinário, em Santa Maria, RS.

O Radar SKiYMET vem permitindo desde 2005 o estudo de fenômenos dinâmicos da atmosfera superior na região Sul do Brasil, com ênfase aos estudos referentes às marés atmosféricas. A descrição do funcionamento do Radar, bem como a dos softwares utilizados na redução e análise de dados foram apresentadas na etapa anterior do Projeto, momento em que a Bolsista realizou estudos sobre a estrutura e dinâmica da atmosfera.

O presente Relatório vem, portanto, apresentar outras informações relevantes para entendimento e análise dos resultados obtidos na comparação de ventos mesosféricos e luminescência atmosférica.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão teórica sobre a Dinâmica da Alta Atmosfera, abordando os fenômenos ondulatórios que nela ocorrem, como as Marés Atmosféricas.



No Capítulo 3 são abordados os Radares Meteóricos e sua importância para o Estudo da Alta Atmosfera, com um item tratando especificamente do Radar de Rastros Meteóricos – SKiYMET.

No Capítulo 4 é apresentada uma revisão teórica sobre o fenômeno de Luminescência Atmosférica, de forma a descrever brevemente suas características. Neste Capítulo há um item que trata especificamente das emissões de luminescência da hidroxila (OH), cujas intensidades foram utilizadas na comparação entre ventos e luminescência.

No Capítulo 5 é descrito todo o trabalho de comparação entre ventos e luminescência atmosférica da hidroxila (OH), com apresentação da metodologia utilizada, dos resultados e conclusões.

A conclusão do Relatório de Pesquisa, com as considerações finais, é apresentada no Capítulo 7.

Por último, no Apêndices A são apresentados os resumos dos trabalhos nos quais a Bolsista é autora ou co-autora, desenvolvidos durante o período de vigência da Bolsa PIBIC/INPE – CNPq/MCT no CRSPE/INPE – MCT, em Santa Maria, RS.

## **CAPÍTULO 2**

### **DINÂMICA DA ALTA ATMOSFERA**

#### **2.1 INTRODUÇÃO**

A Atmosfera Terrestre é mantida sobre o planeta quase em equilíbrio hidrostático por ação da força gravitacional, podendo, todavia, sustentar um grande número de movimentos de natureza oscilatória. Dessa forma, podemos considerar a atmosfera como um sistema oscilante, cujas características de seus movimentos ou modos de oscilações livres podem ser determinados supondo soluções da forma oscilatória para as equações dos fluidos que descrevem o sistema oscilante.

Diferentes tipos de ondas atmosféricas surgem em decorrência das importâncias relativas que diversas forças nas equações do movimento, tais como forças compressoriais, gravitacionais e as devidas à rotação da Terra exercem em relação às escalas de tempo e comprimento consideradas. Assim, para ondas acústicas, a força compressional é a única de importância, enquanto que para ondas de períodos longos e escala planetária, as forças devidas à rotação desempenham papel preponderante.

O estudo dos possíveis modos de oscilação da atmosfera, vista como um sistema oscilante, é bastante conveniente para se conhecer as características dessas oscilações, porém não fornece informações se estes modos realmente existem ou não numa atmosfera real. Disso se conclui que qualquer estudo teórico de ondas atmosféricas deve ser complementado por diversas medidas experimentais dos parâmetros atmosféricos em diferentes longitudes, latitudes e alturas. Medidas experimentais desses parâmetros podem ser usadas para comparar com os modelos matemáticos existentes e realimentá-los, caso as previsões não concordem com as evidências experimentais. Da mesma forma, as teorias podem ser usadas para ajudar a interpretar os dados experimentais, num esquema de dependência mútua.

Idéias gerais sobre a propagação de ondas atmosféricas podem ser extraídas do estudo de “atmosfera idealizadas”, isto é, atmosferas não dissipativas, isotérmicas, bem como outras simplificações. Porém, a atmosfera real é dissipativa e ondas nela geradas cedem sua energia a outras formas de movimentos à medida que se propagam. Assim, quando se mede características da atmosfera em um determinado ponto, nem sempre ondas com determinados atributos, mesmo que possíveis de existir, podem estar presentes. Quando, porém, se trata de oscilações forçadas, isto não ocorre. Existindo uma fonte periódica de excitação, a atmosfera sempre responderá a essa excitação, pelo menos em pontos onde ela esteja presente, e essa resposta só dependerá da função forçante e do meio de propagação.

A atração gravitacional do sol e da lua sobre as partículas que constituem a atmosfera e em maior extensão o aquecimento periódico da atmosfera pela absorção da energia solar fornecem tal fonte de excitação periódica. A absorção direta da radiação solar por constituintes da atmosfera, embora representando apenas aproximadamente 20% da energia total recebida pelo planeta – o restante é absorvido pelo solo – é a principal causa da excitação de ondas internas (Chapman e Lindzen, 1970). Esta absorção direta é feita principalmente pelo vapor d’água na baixa troposfera (Siebert, 1961) e pelo ozônio na estratosfera (Butler e Small, 1963). Quando se trata de oscilações na alta atmosfera (acima de 90 Km, aproximadamente), é também importante a absorção da radiação ultravioleta (UV) e extremo ultravioleta (EUV) (Forbes e Garret, 1976).

A absorção de radiação solar por unidade de massa e por unidade de tempo, dá-se de tal maneira que é proporcional ao cosseno do ângulo zenital solar durante o dia e é nula durante a noite. Esta função cosseno truncada, tem o período fundamental de 24 horas e uma análise de Fourier desta função revela que o componente diurno é o mais importante, com amplitude 2,35 vezes maior que a do componente semidiurno. As oscilações atmosféricas excitadas por esses componentes de períodos  $24/m$  horas ( $m = 1,2,3,\dots$ ), em analogia com as oscilações na altura da superfície do mar com períodos que são sub-múltiplos do dia lunar, recebem o nome de marés atmosféricas. No entanto, existem grandes diferenças entre as marés atmosféricas e as marés do mar. As marés do

mar são excitadas principalmente por força da atração gravitacional da lua e do sol, enquanto que as marés atmosféricas, embora sejam também excitadas por forças gravitacionais (marés gravitacionais), são excitadas principalmente pela ação térmica do sol (marés solares). Embora menos importantes que as marés solares, as marés gravitacionais não são ao todo desprezíveis. Forbes, em cálculos bastante complexos das marés semidiurnas, mostrou que a amplitude da maré semidiurna lunar pode atingir até 20% da amplitude da maré semidiurna solar na alta mesosfera. Outra grande diferença entre elas é que as marés do mar, são ondas na superfície do fluido, enquanto que as marés atmosféricas se manifestam por meio de ondas no interior do fluido. Ou, para ser mais preciso as marés constituem um caso de transição entre o ramo de baixa frequência de ondas de gravidade internas e o ramo de alta frequência de ondas planetárias. Em outras palavras, são ondas de gravidade internas, afetadas também pelo efeito de rotação.

Um importante resultado que surge da teoria de ondas de gravidade internas em uma atmosfera não dissipativa, é que para manter constante a energia por unidade de volume, numa atmosfera onde a densidade diminui exponencialmente com a altura, a amplitude das ondas deve crescer com a altura. Assim os efeitos das marés que são pequenos ao nível do mar, tornam-se significativos, atingindo amplitudes de 30% ou mais na altura de 100km. Acima dessa altura, a atmosfera passa a ser dissipativa e as amplitudes tendem a diminuir. Devido a essas grandes amplitudes atingidas pelas marés, principalmente na região de altura compreendida entre 80 – 100 km, elas exercem um papel de grande importância nesta região atmosférica.

## 2.2 MARÉS ATMOSFÉRICAS

Podemos definir marés atmosféricas como sendo oscilações que ocorrem em qualquer campo atmosférico (ou seja, pressão, temperatura, densidade e ventos), cujos períodos são submúltiplos inteiros do dia lunar ou solar. No primeiro caso, a maré é excitada pela ação gravitacional e denomina-se **maré lunar**, enquanto que no último caso

a excitação é feita principalmente através da ação térmica do sol e é denominada **maré solar**.

Além da evidência direta para marés atmosféricas obtida através de medidas feitas a partir do solo, o movimento de massas de ar devido à ação de marés na atmosfera superior foi provado de várias maneiras. Por exemplo, variações geomagnéticas com períodos regulares de um dia e de meio dia foram observadas no solo. Isto se deve à presença de um campo magnético produzido pela corrente elétrica na região ionosférica *E*. Esta corrente ocorre devido à força eletromagnética induzida pelo movimento de gases ionizados no campo geomagnético, o que é explicado pela “teoria do dínamo”. Evidências de marés solares também foram encontradas na densidade de elétrons e em outros parâmetros relativos à ionosfera.

Recentes progressos nas medidas de ventos através de foguetes e de radares meteorológicos possibilitaram-nos analisar o campo de ventos na atmosfera superior. Na faixa de altura entre 80 e 100Km, os meteoros que incidem na Atmosfera, produzem ionização ao longo de seu trajeto. Os traços ionizados podem ser detectados pelos radares meteorológicos. Por efeito das Marés, os traços ionizados são deslocados e distorcidos, e através dessas características podemos estudá-las.

Uma teoria de marés oceânicas e atmosféricas foi proposta por Laplace em 1799. Ele acreditava que as marés atmosféricas são consequência do aquecimento pela radiação solar, ao contrário das marés oceânicas, que ocorrem devido à força gravitacional da Lua e do Sol. A idéia dele está próxima do que se pensa hoje. É verdade que a maré solar é dominante em relação à maré lunar, como provado em muitos experimentos, mas o problema é que apesar da variação diurna de insolação, a componente solar diurna observada tem uma amplitude menor que a da componente semidiurna.

Para superar esta dificuldade, em 1882 Lord Kelvin propôs a teoria de ressonância, na qual assumiu que a estrutura vertical de temperatura atmosférica provoca uma ressonância na oscilação semidiurna. De acordo com esta teoria, embora a própria força de excitação seja maior na componente diurna do que na semidiurna, a amplitude da maré exibe uma tendência oposta devido à amplificação da componente semidiurna.

Esta foi uma das principais teorias de marés atmosféricas até recentemente. Porém, o progresso nas técnicas de medidas na atmosfera superior revelou evidências inconsistentes com a teoria de ressonância. A atual teoria de marés atmosféricas identificou o aquecimento devido à absorção de radiação solar por ozônio na estratosfera e vapor de água na troposfera como a força de excitação principal. Esta é uma revivificação da teoria de Laplace. A atual teoria insiste que a componente diurna observada é largamente suprimida quando comparada a componente semidiurna por causa da natureza da estrutura atmosférica. Na realidade, de acordo com as variações geomagnéticas e medidas de ventos *in-situ* através de foguetes, o vento diurno é mais forte que o vento semidiurno numa dada região da alta atmosfera.

### **2.3 REGIÃO DE INTERESSE NO ESTUDO ATUAL**

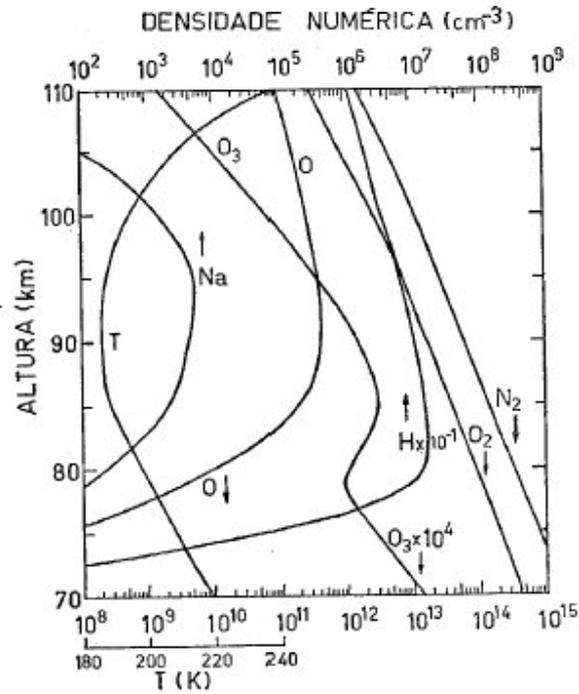
A região atmosférica de interesse para o estudo de marés atmosféricas está situada entre os limites aproximados de 80 km na parte inferior e 105 km na parte superior. Em termos da classificação das regiões atmosféricas baseada no perfil de temperatura, esta região compreende a parte superior da mesosfera, com temperaturas decrescendo com a altura; uma faixa onde a temperatura é mínima e aproximadamente constante, a mesopausa, e a parte inferior onde a temperatura aumenta com a altura. Porém, como a altura da mesopausa varia, dependendo da época do ano e da latitude, a região atmosférica de interesse pode incluir a baixa termosfera.

A densidade atmosférica nesta região é extremamente baixa. A concentração relativa dos constituintes majoritários, é a mesma que ao nível do solo até cerca de 105 km de altura, definida aqui estatisticamente, podendo variar ligeiramente em torno desse valor. Abaixo desse nível, a atmosfera é considerada estar bem misturada, ou seja, todos os constituintes principais se distribuem com a altura de acordo com a mesma dependência funcional. O mecanismo responsável pela manutenção desta mistura constante é descrito estatisticamente como difusão turbulenta. Acima desse nível de aproximadamente 105 km, que é denominado turbopausa, os constituintes majoritários

tendem a se distribuir com diferentes formas funcionais caracterizadas pela escala de altura de cada constituinte.

A existência de constituintes minoritários com distribuição em altura que diferem da distribuição dos constituintes principais da atmosfera é uma característica notável na alta mesosfera e baixa termosfera. Em que pese suas pequenas concentrações, em comparação com os constituintes majoritários, estes constituintes minoritários podem desempenhar papéis de grande importância na física e química global da atmosfera. A existência desses constituintes minoritários está relacionada a processos de produção e perda do constituinte em questão, por ação de reações químicas ou fotoquímicas e a ação de fontes externas. A fonte primária que origina estes constituintes minoritários é a ação da radiação solar dissociando moléculas de constituintes majoritários ou não. A dissociação dá origem geralmente a compostos instáveis que reagem com outros átomos ou moléculas dando origem finalmente a compostos mais estáveis.

Em geral, as reações químicas que ocorrem na região da mesopausa são exotérmicas e o excesso de energia das reações é usado, muitas vezes, para excitar os átomos ou moléculas a níveis eletrônicos acima do fundamental. Ao retornar ao estado fundamental, os átomos e moléculas emitem fótons e a essa radiação dá-se o nome de Luminescência Atmosférica (“airglow”). Fotômetros colocados no solo, a bordo de foguetes ou satélites podem medir essa radiação e fornecer preciosas informações sobre a física e a química da região. Na Figura 1 são mostrados alguns perfis de constituintes minoritários como o O, H e O<sub>3</sub> à meia-noite, tirados do modelo de Moreels et alii (1977). Estes constituintes desempenham papéis de importância fundamental nos processos de luminescência atmosférica. Outros constituintes minoritários que ocorrem na região da mesopausa são os metais alcalinos, sódio, lítio e potássio.



**Figura 1** – Densidades numéricas de alguns constituintes atmosféricos e perfil de temperatura entre 70 km e 110 km de altura. As setas indicam a escala a que se refere o perfil.

*Fonte: Moreels et al. (1977).*

## **CAPÍTULO 3**

# **UTILIZAÇÃO DE RADAR METEÓRICO NO ESTUDO DE MARÉS ATMOSFÉRICAS**

### **3.1 RADAR METEÓRICO**

Diversas técnicas têm sido empregadas para a observação do movimento das camadas de ar da Atmosfera. Estas técnicas se utilizam dos fenômenos que ocorrem na Atmosfera provocados pelos elementos dinâmicos, como o vento e as ondas, por exemplo.

Particularmente, a partir da Mesosfera, há a presença da Ionosfera, cujas camadas ionizadas podem refletir sinais de radar. Além disso, entre 70 e 110 Km de altura, há a presença dos meteoróides que se desintegram no atrito com a Atmosfera e produzem longos traços ionizados que podem também serem captados por radares meteóricos.

Segundo Muller (1974), de todas as técnicas utilizadas no estudo de ventos na Alta Atmosfera, apenas as que utilizam radares e, em particular, radares meteóricos, permitem o estudo contínuo em longos períodos, possibilitando a avaliação das variações diurnas e sazonais no regime de ventos. A técnica do radar meteórico é baseada na determinação da velocidade média dos ventos neutros, a partir da velocidade radial dos traços meteóricos, descritas a seguir.

Ao penetrar na Atmosfera em alta velocidade, entre 11 e 72 Km/s, as partículas cósmicas sofrem ablação e produzem longas colunas ionizadas, denominadas de traços ionizados, que são transladados pelos ventos neutros e podem ser detectados por técnicas visuais ou de radiofrequência.

A distribuição de meteoros se apresenta de forma desigual, com altura mínima em torno de 70Km e máxima em torno de 110Km, com concentração maior entre 90 e 100Km, o que implica que, nesta faixa, a precisão das medidas é melhor.

No intervalo entre 80 e 100Km, os efeitos do campo magnético sobre a dinâmica das partículas pode ser desprezado e, desta forma, os traços meteóricos se movimentam devido à ação dos ventos neutros. A translação dos elétrons produz um deslocamento Doppler no sinal refletido pelo traço meteórico. A partir deste deslocamento, pode-se determinar a velocidade radial da trilha meteórica. A posição é determinada a partir dos ângulos de azimute e elevação e da distância do eco. Para determinar a direção e velocidade do vento é necessário ajustar um vento “modelo” a um conjunto de medidas de diversos rastros meteóricos em diversas posições no espaço.

Os radares têm sido usados com bastante sucesso no estudo dos movimentos atmosféricos em uma faixa ampla de altitudes, desde a superfície da Terra até as alturas termosféricas.

O RADAR - *Radio Detection And Ranging*, é uma aplicação da técnica de rádio. É composto basicamente por uma antena transmissora que emite pulsos eletromagnéticos na faixa de rádio frequências e por uma antena receptora. Dependendo das características do meio de propagação, os pulsos transmitidos podem ser refletidos ou espalhados. Pulsos refletidos de forma especular são detectados como ecos.

Estas características tornam o radar um dispositivo capaz de detectar e localizar objetos em condições climáticas adversas e identificar meteoros produzidos por partículas com massas tão pequenas quanto  $10^{-6}$  g, Essa massa é bem inferior à massa das partículas que produzem meteoros identificados por outras técnicas (observação visual, fotografia, televisão, espectroscopia).

### **3.2 RADAR SKiYMET**

Desenvolvido pelas Empresas Genesis Software Pty, da Austrália e MARDOC Inc, do Canadá, o Sistema Radar de Rastros Meteóricos – “HF/VHF All-Sky Interferometric Meteor Radar – SKiYMET” é um Sistema instrumental de pesquisa científica utilizado para observar meteoros e objetos artificiais, que entram na atmosfera terrestre.

Utilizando a técnica interferométrica, o Sistema opera com uma repetição muito alta de pulsos, PRFs, acima de 2000 Hz. Esta taxa mais alta de pulsação é útil pois permite a determinação de parâmetros não acessíveis aos sistemas mais antigos, como por exemplo, a velocidade de entrada do meteoro.

O radar, instalado no solo, transmite através de uma antena Yagi de 3 elementos, cada dipolo tendo aproximadamente meio comprimento de onda (~ 4,25m), pulsos de energia de rádio em alta frequência, VHF.

Ao entrar na Atmosfera terrestre, o meteoro rapidamente vaporiza-se deixando para trás um rastro de gás ionizado ao longo de seu curto tempo de vida.

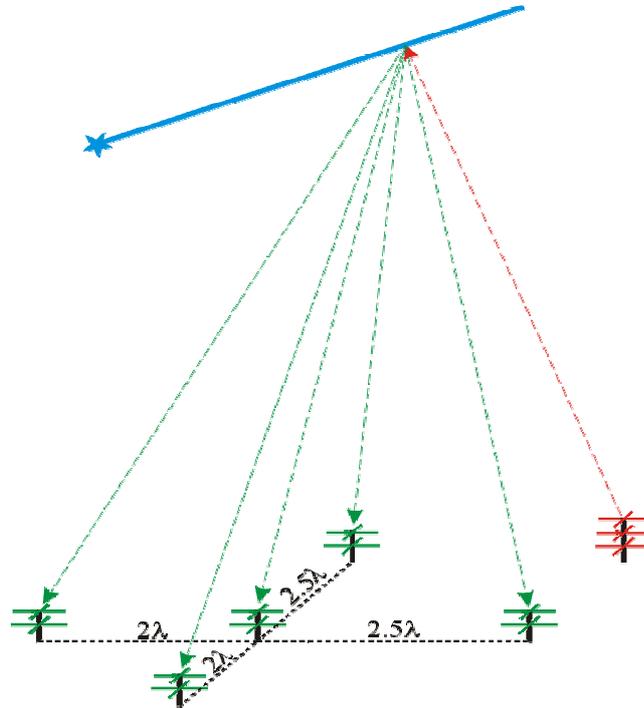
Este pequeno rastro, que permanece por alguns instantes, é detectado pelo Radar de Meteoros SKiYMET quando parte desta energia transmitida é refletida pelo rastro de meteoro, sendo detectada como eco por conjunto de antenas receptoras.

As características do sinal refletido são registradas pelo sistema do radar meteórico onde cálculos são executados com base nos ecos de meteoros detectados e seus resultados fornecem informações sobre a natureza do meteoro, como sua órbita e sua velocidade ao entrar na Atmosfera.

Observando como os ventos de rastro de meteoro se comportam com o tempo, podem ser feitas deduções sobre a velocidade e direção do vento atmosférico na altitude em que o meteoro foi observado. O instrumento detecta um número suficiente de ecos de meteoros ao longo do dia para permitir um desenho compreensivo do campo dos ventos atmosféricos.

O hardware do radar meteórico SKiYMET consiste de dois componentes principais: o sistema de antenas e cabos alimentadores e o próprio sistema de radar.

O Sistema de Antenas do Radar Meteórico – SKiYMET, é composto tipicamente de uma antena Yagi de três elementos para a transmissão e cinco, antenas Yagi de dois elementos para a recepção.



**Figura 2** – Configuração da distribuição das antenas receptoras em relação à antena transmissora do sistema Radar SKiYMET do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, instalado no “Campus - Camobi” da UFSM no âmbito da Parceria INPE – UFSM. As antenas em forma de cruz assimétrica estão separadas por  $2,0 \lambda$  e  $2,5 \lambda$  ao longo dos eixos norte-sul e leste-oeste, onde  $\lambda$  é comprimento de onda do radar ( $\sim 8,5\text{m}$ ). A posição da antena transmissora não é crítica, podendo ser colocada em qualquer local convenientemente próximo ao arranjo receptor.

(Fonte: [www.iap-kborn.de/radar/Radars/Skiymet/index\\_eng.htm](http://www.iap-kborn.de/radar/Radars/Skiymet/index_eng.htm).)

A antena transmissora opera com frequência de 35.24 MHz e as cinco antenas receptoras são arranjadas de forma a minimizar a ambigüidade na direção dos meteoros.

Este sistema é capaz de detectar uma faixa de 5000 a 6000 meteoros por dia e possibilita a determinação de ventos da média Atmosfera, 80 – 100 km de altura, de temperaturas e da velocidade de entrada dos meteoros; além do mapeamento dos radianes dos meteoros em condições de chuvas.

## CAPÍTULO 4

### O FENÔMENO DE LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA

#### 4.1 INTRODUÇÃO

A Atmosfera superior é uma fonte permanente de emissão de fótons que são liberados por átomos ou moléculas excitados acima de seu nível normal de energia. A produção desta luminescência é devida a diversos processos físico-químicos e, em geral, ocorre através da emissão de linhas espectrais discretas.

A Luminescência Atmosférica (“airglow”) é em geral muito fraca para ser visível a olho nu. Para sua detecção e medida usam-se instrumentos chamados fotômetros. Através das observações da luminescência atmosférica podem-se determinar as densidades de certos constituintes, temperatura, e efeitos dinâmicos da atmosfera. Para especificar a intensidade luminosa usa-se, por conveniência, uma unidade de medida especial chamada *Rayleigh*. Um Rayleigh corresponde à intensidade de uma fonte isotrópica que emite  $10^6$  fótons por centímetro quadrado de coluna, por segundo. Durante o dia a Luminescência Atmosférica (“dayglow”) é mais difícil de ser medida do que durante a noite (“nightglow”), por causa da presença da luz solar direta e do espalhamento (espalhamento Rayleigh, proporcional à frequência da radiação elevada à quarta potência). Devido à geometria característica durante o crepúsculo (“twilight”), o estudo da Luminescência Atmosférica neste período é também de grande interesse.

Os processos de excitação ou emissão mais comuns são a ressonância, a fluorescência, a quimiluminescência e a excitação por colisões.

Espalhamento ressonante é o processo em que fótons são absorvidos e reemitidos na frequência de ressonância do átomo ou molécula. O fóton emitido tem a mesma frequência do fóton incidente. Na emissão fluorescente ou fluorescência, o fóton emitido é de energia menor que o incidente. A quimiluminescência resulta de reações químicas que, sendo exotérmicas, podem deixar os produtos da reação em estados excitados, capazes de emitir fótons. Além disso, partículas com energia cinética elevada, ao colidir

com outras, podem excitá-las, como ocorre nas auroras. O processo inverso também pode ocorrer, isto é, a desexcitação de uma partícula por colisão (“quenching”).

#### **4.2 LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA OU AEROLUMINESCÊNCIA**

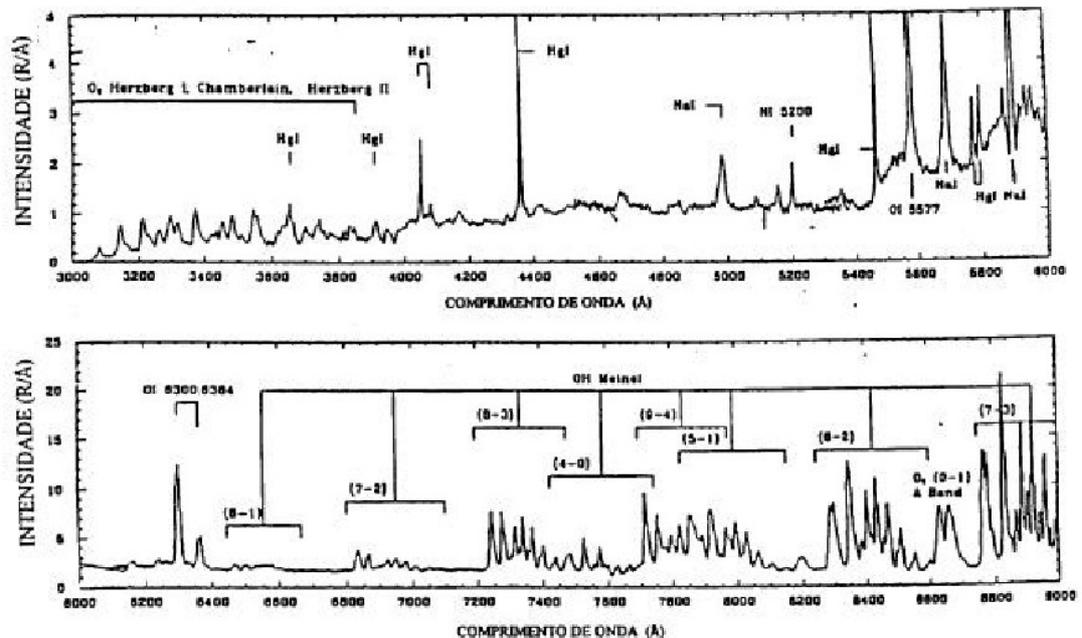
A mesopausa é caracterizada por um mínimo absoluto de temperatura atmosférica, que ocorre aproximadamente em 90 km de altitude. Também nesta região, a atmosfera apresenta um comportamento especial no que se refere à dinâmica dos constituintes. É a região que determina o limite entre uma atmosfera com massa molecular constante de outra onde predomina a difusão molecular. A ocorrência de certas reações de quimiluminescência, especialmente com o oxigênio atômico, provoca o aparecimento de espécies excitadas que, através de processos competitivos de desativação colisional (*quenching*) e de decaimento radiativo, produz o fenômeno óptico de luminescência atmosférica, também chamada aeroluminescência.

A aeroluminescência é um fenômeno óptico na atmosfera causado pela emissão de fótons pelos átomos ou moléculas excitados, associados com processos de recombinação das moléculas dissociadas que foram produzidas pela absorção da radiação ultravioleta. Caracteriza-se por ser uma radiação tênue e de extensa faixa espectral (do ultravioleta  $\sim \lambda = 250nm$  ao infravermelho  $\sim \lambda = 4\mu m$  ).

A aeroluminescência também tem uma nomenclatura de acordo com o ângulo zenital da radiação solar, podendo ser diurna, crepuscular e noturna. A utilização de medidas noturnas é a mais usada, pois a presença da radiação solar torna o espectro complexo e com uma elevada intensidade de ruído.

Os estudos sobre a aeroluminescência tiveram início no começo do século XX, a partir do reconhecimento por vários astrônomos como sendo uma componente da luz do céu noturno ou espalhada pela atmosfera. Lord Rayleigh durante a década de 30 realizou uma série de medidas em uma restrita faixa espectral, dando início à pesquisa em aeroluminescência. Além disso, o trabalho de Chapman (1931), na tentativa de explicar a

emissão da linha verde do oxigênio atômico em  $557,7 \text{ nm}$ , é um fundamento básico até os dias de hoje. A Figura 2.1 mostra o espectro da aeroluminescência noturna.



**Figura 3** – Espectro da aeroluminescência mostrando as principais linhas de emissão.

*Fonte: Johnston e Broadfoot, (1993, p. 21595).*

### 4.3 A AEROLUMINESCÊNCIA E O ESTUDO DA DINÂMICA DA ATMOSFERA

Os estudos da luminescência atmosférica têm contribuído bastante para a pesquisa sobre a dinâmica da mesosfera e baixa termosfera (Gardner e Taylor, 1998).

A luminescência atmosférica é utilizada para se estudar ondas atmosféricas devido à perturbação que estas ondas causam sobre as camadas emissoras. Parte-se do princípio que, a passagem de ondas pela região emissora pode elevar ou baixar a altura destas camadas adiabaticamente. Assim, é possível relacionar a perturbação na altura da camada também com mudanças de temperaturas através de taxa de queda adiabática. Enquanto a mudança na densidade é responsável pela mudança na intensidade, as mudanças de

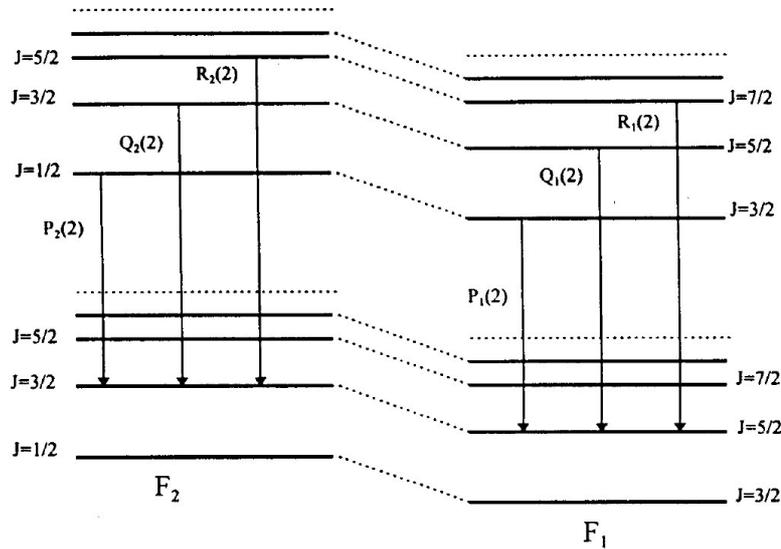
temperatura irão afetar os coeficientes de taxa de reação nos processos que produzem as camadas, e então a intensidade de luz radiada irá mudar.

Para o presente trabalho, as emissões de maior importância são as da molécula de hidroxila, já que elas é que serão usadas em nossos estudos sobre a dinâmica da atmosfera.

#### **4.4 EMISSÕES DE LUMINESCÊNCIA DA MOLÉCULA OH**

O sistema de bandas, vibracional-rotacional, do radical hidroxila excitado,  $\text{OH}^*(\nu' \leq 9)$ , na aeroluminescência noturna, tem sido observado desde sua identificação espectroscópica por Meinel (1950). Dentre os objetivos para o estudo deste radical podem ser destacados a compreensão das cadeias catalíticas do ozônio mesosférico, o cálculo da temperatura rotacional (assumindo-se que a temperatura cinética da atmosfera seja a temperatura rotacional) e a investigação dos processos de propagação e saturação de ondas de gravidade.

Estas bandas (Bandas de Meinel) surgem das transições vibracionais internas ao estado fundamental do radical da hidroxila (OH). Quanto à excitação vibracional podem ocorrer os níveis  $\nu$  de 0 a 9. Cada banda vibracional envolve uma estrutura rotacional, com as linhas agrupadas em ramos denominados P, Q e R. A Figura 4 mostra a representação entre várias transições. F1 e F2 denotam os termos de energia rotacional e J o momento angular.

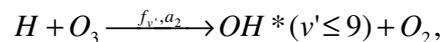


**Figura 4** – Representação entre várias transições vibro-rotacionais.

Fonte: Medeiros, 2001.

O espectro noturno do OH varia de 500 nm até 2,7  $\mu\text{m}$ , com uma intensidade integrada total de aproximadamente 1 MR (megarayleigh). As bandas mais intensas ( $\Delta v = 2$ ) aparecem no infravermelho próximo entre 1,43  $\mu\text{m}$  (banda 2-0) e 2,15  $\mu\text{m}$  (banda 9-7), as quais apresentam intensidade de 100 kR.

A reação exotérmica hidrogênio-ozônio, proposta por Bates e Nicolet (1950), é o mecanismo mais eficiente para produção do  $\text{OH}^*(v' \leq 9)$  na mesosfera superior:



onde  $f_{v'}$  representa a fração de produção de  $\text{OH}^*$  no nível  $v'$ . A energia liberada de 3,34 eV na reação é suficiente para permitir a ocupação de níveis vibracionais até  $v' \leq 9$ . Já é conhecido que a reação acima produz  $\text{OH}^*$  preferencialmente nos níveis  $v' = 7, 8, 9$  (Klenerman e Smith, 1987), e que os níveis mais baixos, que são os responsáveis por grande parte das bandas de Meinel observadas na aeroluminescência noturna, são ocupados via processos de cascata radiativa e de transferência de energia (vibracional) entre moléculas.



O perfil de altitude da emissão do  $\text{OH}^*(v' \leq 9)$  na aeroluminescência é de grande interesse, devido principalmente, a larga distribuição espectral e acentuada intensidade apresentada. Ademais, tem proporcionado informações relevantes a respeito da densidade dos constituintes minoritários da mesopausa (principalmente o oxigênio atômico) e nas interpretações dos processos de excitação. Baker e Stair (1988), catalogaram uma grande quantidade de perfis de emissão das bandas de Meinel, medidas através de instrumentação a bordo de foguetes. Os valores encontrados mostraram que a altitude máxima da emissão está entre 85 e 90 km, com uma espessura de camada média entre 6 e 10 km.

## **CAPÍTULO 5**

### **OBSERVAÇÕES SIMULTÂNEAS DE VENTOS MESOSFÉRICOS E LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA DO OH**

#### **5.1 INTRODUÇÃO**

O objetivo de se realizar observações simultâneas de ventos e luminescência e de compará-las, foi estudar a relação existente entre os ventos horizontais e os parâmetros da luminescência atmosférica, em alturas próximas à mesopausa (80-100 Km) e de baixas latitudes do hemisfério sul. As investigações realizadas foram motivadas em se saber como os movimentos das massas de ar podem interferir nas intensidades de emissão de luminescência.

As observações de ventos e luminescência foram realizadas em dois sítios, que estão aproximadamente na mesma localização geográfica, sendo um deles o Campus da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM (29°28S, 53°17W), em Santa Maria - RS, e outro o Observatório Espacial do Sul (29°43S, 53°80W) do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra - RS.

#### **5.2 METODOLOGIA UTILIZADA**

Medidas simultâneas foram realizadas das variações temporais da intensidade de emissão da hidroxila (OH) e das componentes zonal e meridional dos ventos horizontais em períodos dos meses de Fevereiro e Março de 2005, de Outubro e Novembro de 2005 e de Janeiro a Abril de 2006.

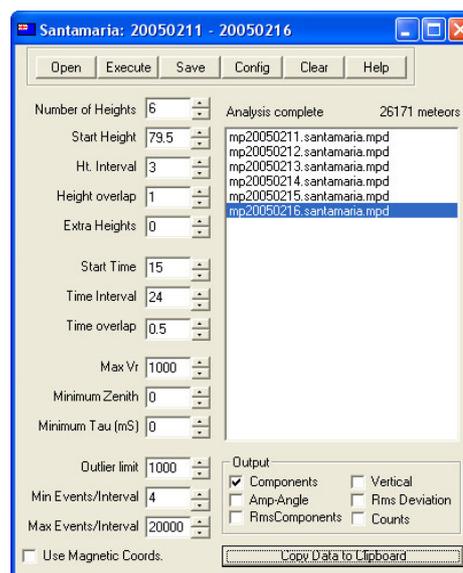
Os dados de OH utilizados são provenientes do Fotômetro Gold, localizado no Observatório Espacial do Sul, junto ao Laboratório de Óptica e Luminescência - LOLA/OES/CRSPE/INPE - MCT, e os dados de ventos horizontais são provenientes do Radar de Rastros Meteóricos - All-Sky Interferometric Radar Meteor - SKiYMET, localizado no Campus da UFSM, em Santa Maria.

O Fotômetro Gold do Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT consiste num sistema de filtros de interferência óptica capaz de detectar as intensidades das linhas 2P1 e 4P1 da banda (3,1) do OH, a intensidade do O<sub>2</sub> e a temperatura rotacional do OH, sendo as emissões do OH(3,1) utilizadas neste trabalho.

Os dados das emissões de OH provenientes do Fotômetro Gold foram fornecidos para este trabalho pelos responsáveis pelo Laboratório de Óptica e Luminescência após serem reduzidos através de programas específicos.

A descrição do Radar SKiYMET já foi apresentada anteriormente, mas vale agora considerar como foram obtidos os dados de ventos.

Para obtermos os dados de ventos, foi necessário utilizar o programa “*Sequencial Meteor*”, que calcula as componentes zonal e meridional do vento utilizando dados crus com extensão \*.mpd. Através do programa é possível estabelecer os parâmetros nos quais queremos calcular os ventos, como por exemplo, os intervalos de tempo e de altura. Os dados tratados fornecem as componentes zonal e meridional do vento em função decimal do dia e por altura, para uma seqüência de dias, e podem ser copiados e trabalhados no “*Microsoft Excel*”.



**Figura 5** – Programa “*Sequencial Meteor*”. Utilizado para calcular as componentes zonal e meridional do vento em intervalos de tempo e altura que podem ser determinados pelo usuário.

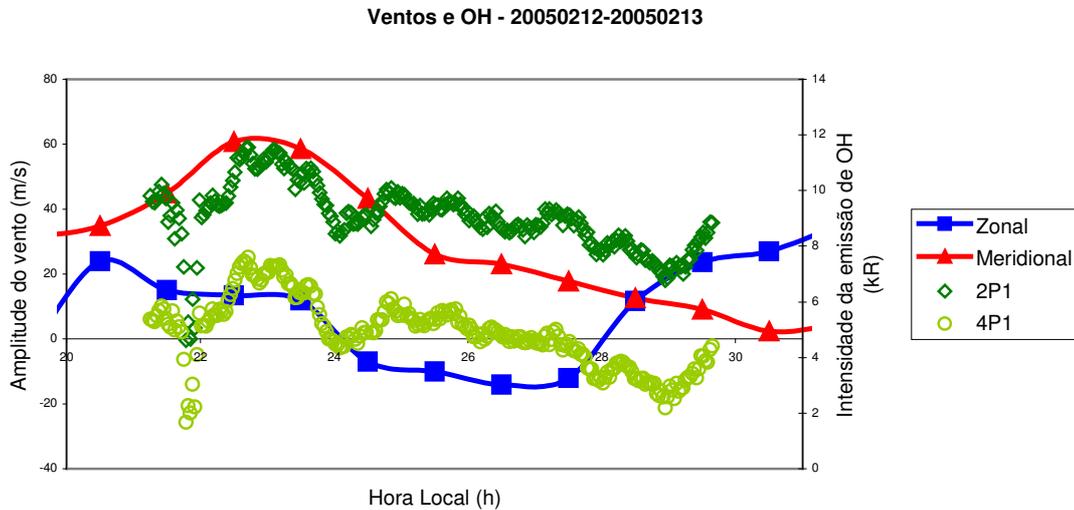
Relatório Final de Atividades

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Santamaria: 20050212 - 20050216										
2	Heights:	81	84	87	90	93	96	99	81	84	87
3	Zonal and Meridional Wind Components										
4	12/2/00 0:30	28,7	28,5	19,2	7,4	-4,9	0,1	17,4	5	21,5	49
5	12/2/00 1:30	46,4	31,3	4,6	0,2	-5	1,2	18,5	21,5	34,8	49,3
6	12/2/00 2:29	17,9	19,9	0,7	-7,2	-11	4	24,7	20,7	46,7	54,3
7	12/2/00 3:30	14,9	12,1	-5,7	-11,8	-10,2	5,5	12,2	26,9	44,8	50,1
8	12/2/00 4:30	9,6	-1	-14,7	-19,9	2,9	18,5	16,5	34	38	32,2
9	12/2/00 5:29	-6,7	-7,7	-14,2	-15,2	5,7	26,7	31,8	13,3	16,7	11,9
10	12/2/00 6:30	-0,2	-9	-16,3	-6,8	15,3	40,1	52,8	0,7	6,2	-2,8
11	12/2/00 7:30	0,7	-12,7	-23,6	-5,6	27,9	61,5	73,5	2,5	-1,1	-11,2
12	12/2/00 8:29	9,5	2,1	-9,4	8,2	42,9	71,9	74,9	-10,2	-7,9	-27,5
13	12/2/00 9:30	18,3	1,4	-4,6	21,5	48,5	67,3	73,2	-27,6	-23,3	-50,7
14	12/2/00 10:30	15,8	-28,5	-19,3	20,4	48,8	65	75,4	-26,6	-27,3	-59,6
15	12/2/00 11:29	-4,2	-26,3	-28,1	14,2	47,7	63,9	67,4	-7,6	-28,9	-57,8
16	12/2/00 12:30	-9,4	-33,5	-29,4	18,9	48,4	61,9	63,6	-17,2	-34,8	-57,7
17	12/2/00 13:30	-17,9	-41,1	-30,1	12,9	47,4	55,4	58,2	-12,5	-41,6	-63,3
18	12/2/00 14:29	-33,8	-42,2	-26,8	11,2	41,4	48,9	46	-27,7	-47	-64,4
19	12/2/00 15:30	-34,6	-31,8	-13,1	14,6	31,6	32,9	-0,3	-40,3	-39,1	-54,5
20	12/2/00 16:30	-23,7	-16,1	7,4	21,8	16,8	11,2	-16,1	-35,1	-38,4	-40,2
21	12/2/00 17:29	0,8	35,2	36,9	28,3	7,7	-8,7	-25,3	-41,8	-71,1	-21
22	12/2/00 18:30	67,2	20,1	31,6	32,8	17,2	-19,8	-16,7	-2,8	-79,4	-44,3
23	12/2/00 19:30	3,5	13,1	34	8,9	11,9	-25,8	-25,7	165,7	-47,5	-41,5
24	12/2/00 20:29		-10,1	53,2	10,8	5,8	-33,7			-13,3	-22,7
25	12/2/00 21:30				-18,7	-24,2	-71				

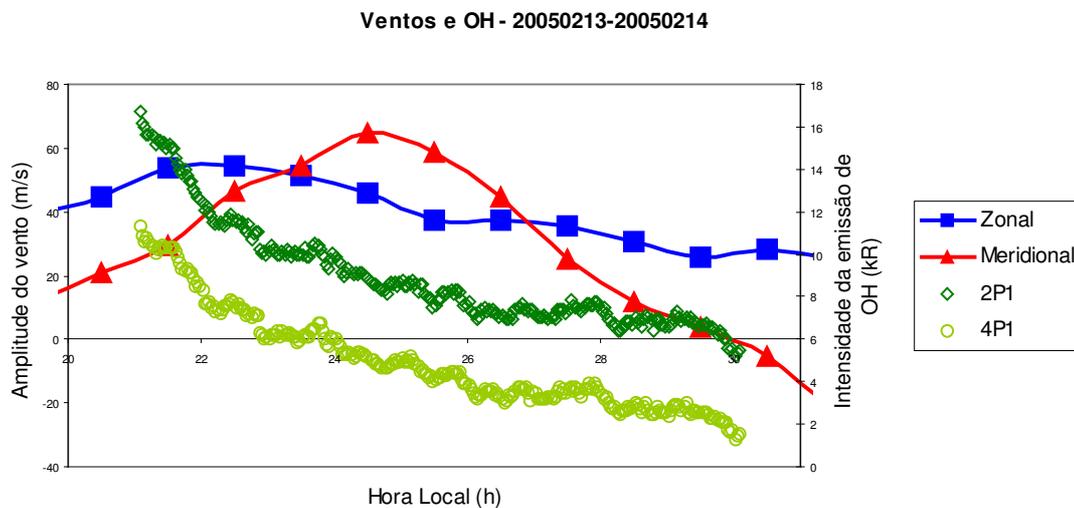
Figura 6 – Dados de ventos calculados através do programa “Sequencial Meteor” e copiados no “Microsoft Excel”.

Inicialmente, para uma comparação preliminar, foram calculadas as componentes de ventos em intervalos de 1h e de 3 Km de altura, com “overlaps” (sobreposições) de 0,5h e 1Km. A altura escolhida para a comparação foi a de 87 km, já que é nessa região que se localiza aproximadamente o centro da camada de OH.

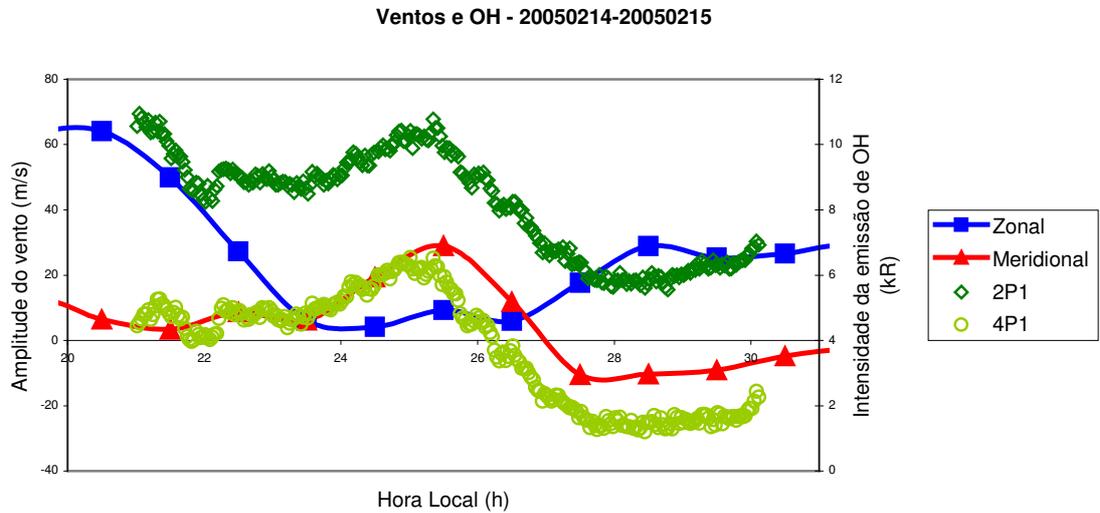
Foram utilizados dados de Fevereiro e Março de 2005, com os quais foram plotados os seguintes gráficos:



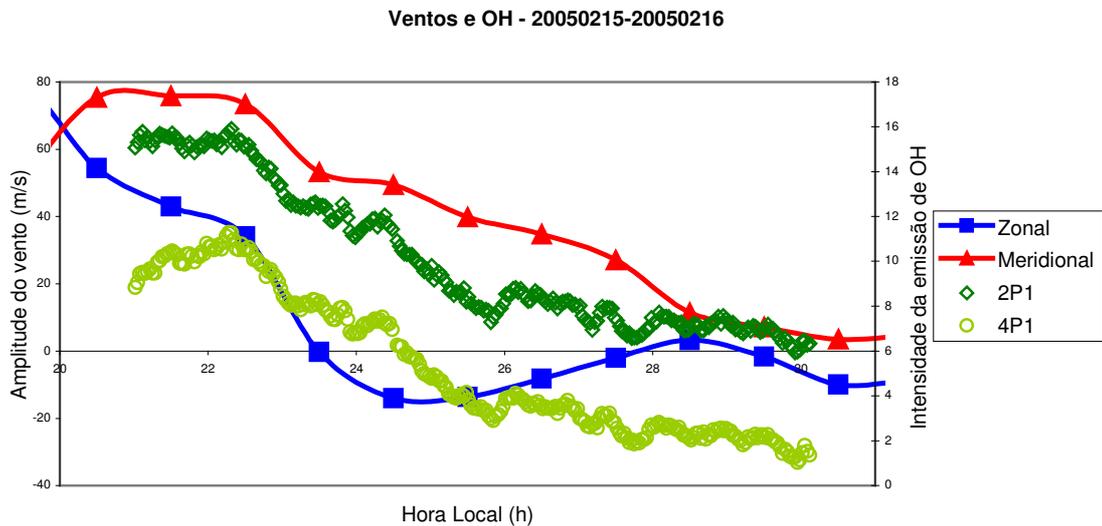
**Figura 7** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 12/02/2005 e 13/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



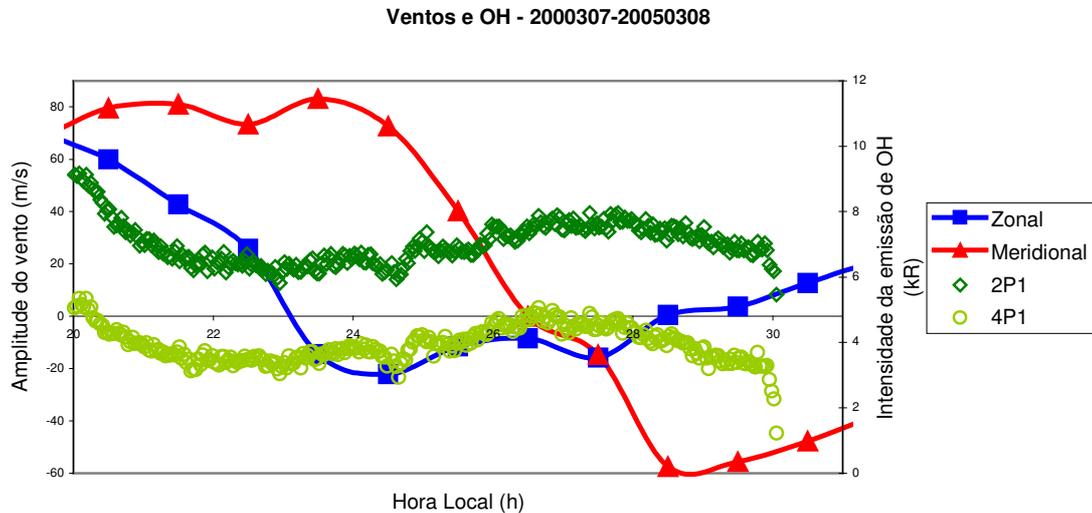
**Figura 8** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 13/02/2005 e 14/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



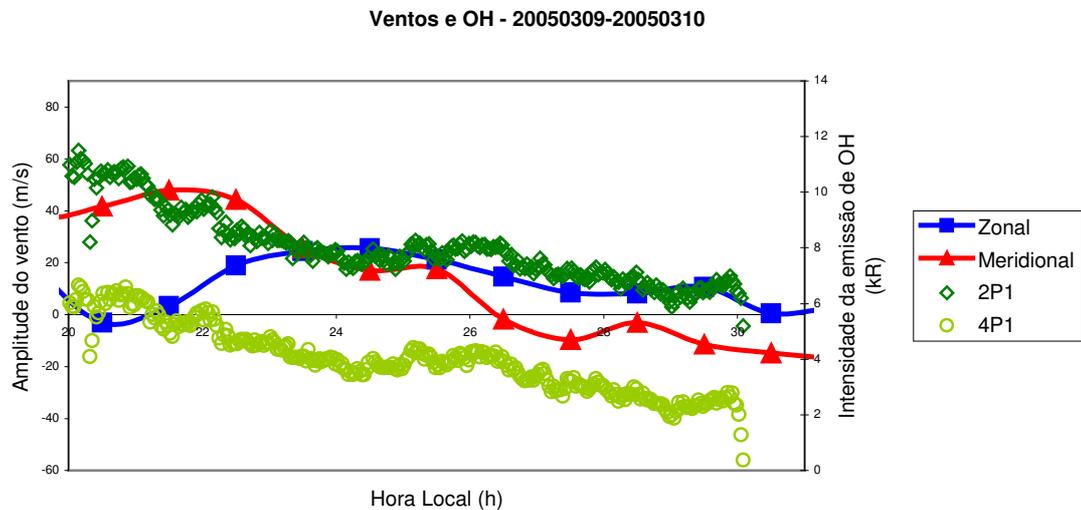
**Figura 9** - Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila ( $OH(3,1)$ ) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 14/02/2005 e 15/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



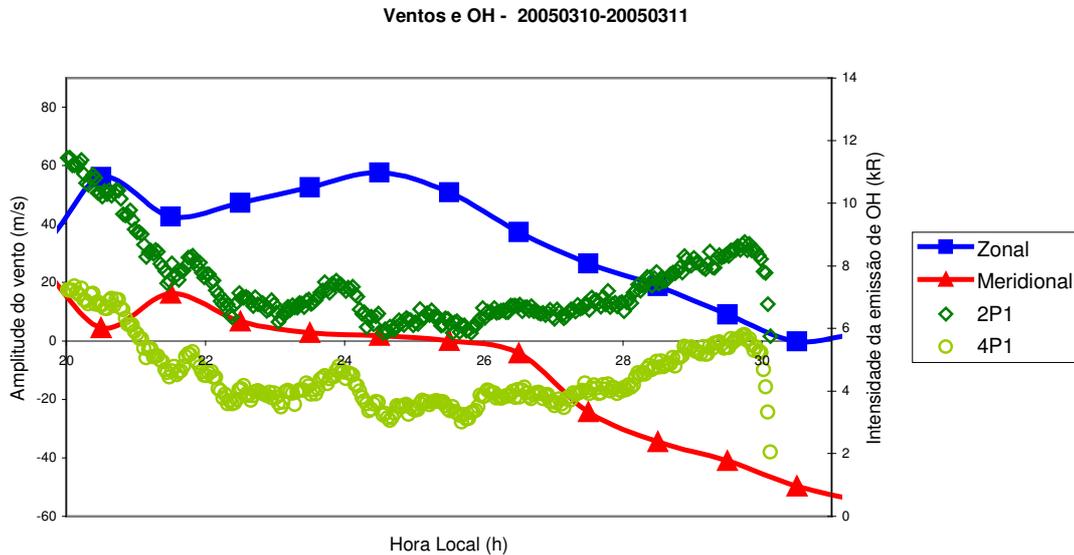
**Figura 10** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila ( $OH(3,1)$ ) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 15/02/2005 e 16/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



**Figura 11** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e das linhas 2P<sub>1</sub> e 4P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 07/03/2005 e 08/03/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



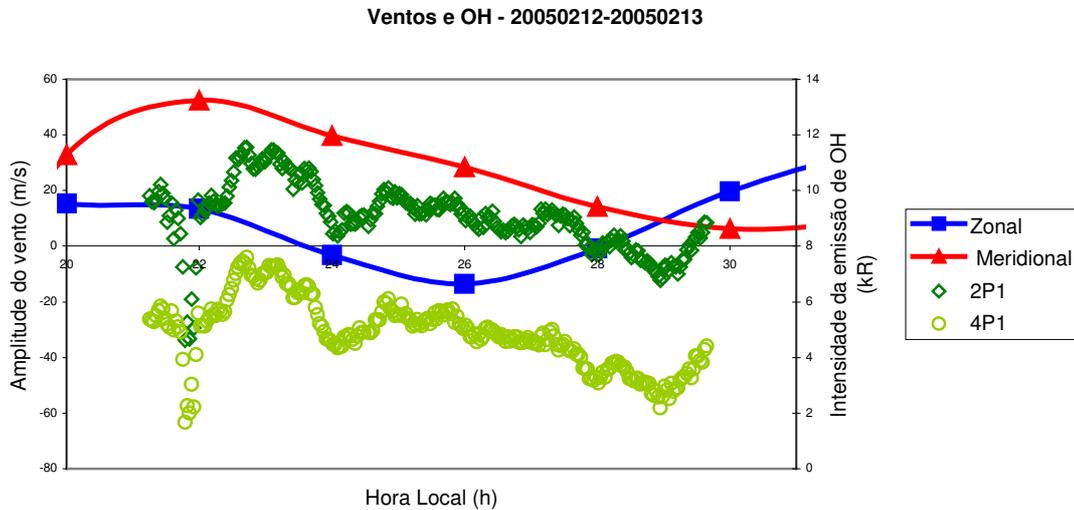
**Figura 12** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e das linhas 2P<sub>1</sub> e 4P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 09/03/2005 e 10/03/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



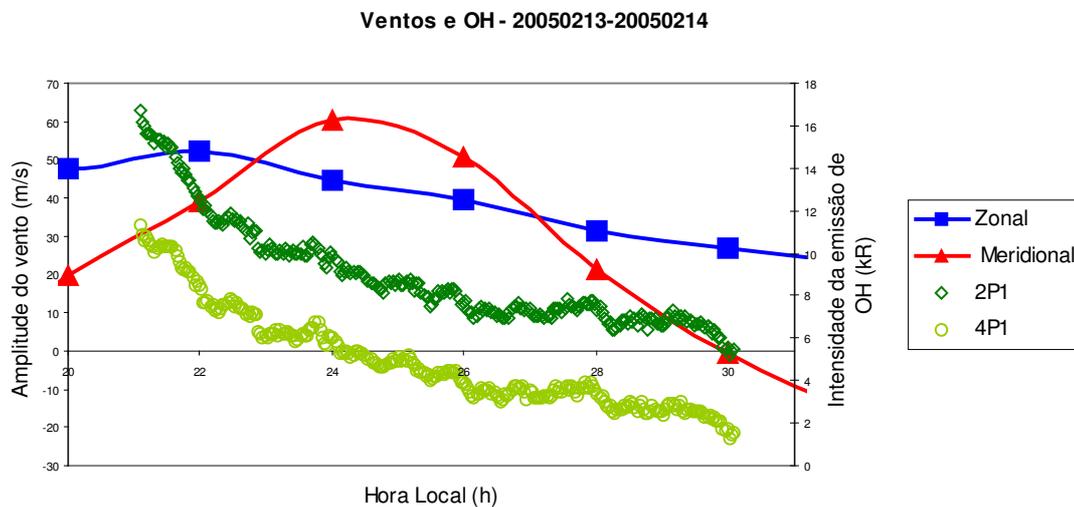
**Figura 13** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e das linhas 2P<sub>1</sub> e 4P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 10/03/2005 e 11/03/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.

Com estes dados foi encontrada uma boa correlação entre ventos e luminescência do OH, especialmente com a componente meridional, mas resolvemos investigar se o cálculo sobre intervalos diferentes de tempo e altura ou um tratamento diferente dos dados poderia apresentar uma correlação melhor ainda.

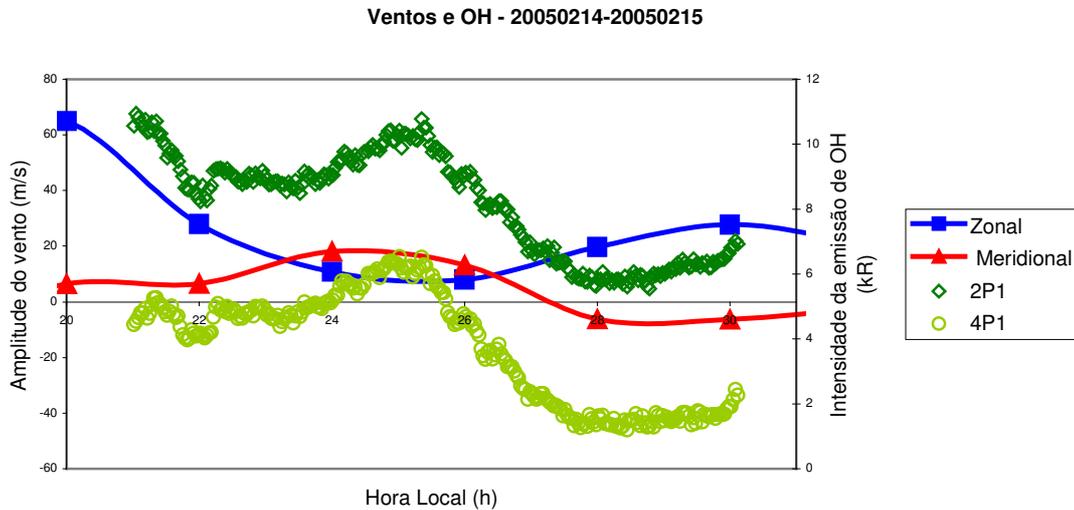
Então, para estes mesmos meses, calculamos as componentes zonal e meridional dos ventos utilizando intervalos de 2h e de 2Km, com “overlaps” de 1h e 1Km:



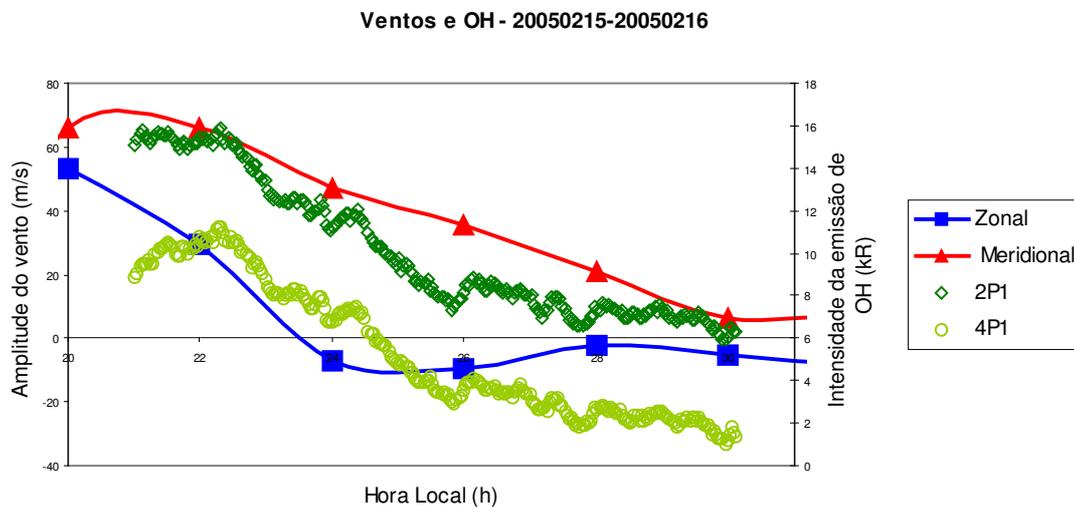
**Figura 14** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 2h e 2Km, e das linhas 2P<sub>1</sub> e 4P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 12/02/2005 e 13/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



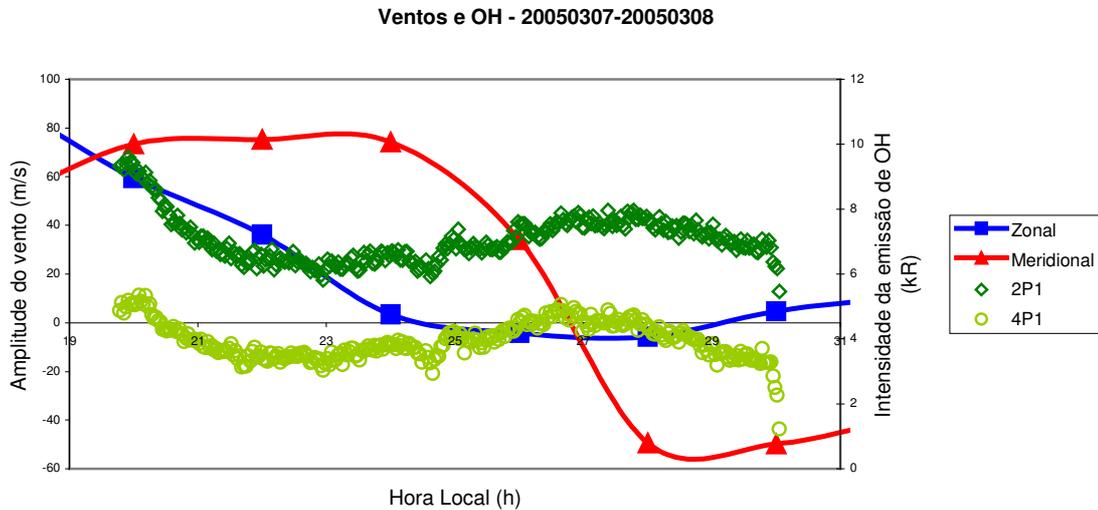
**Figura 15** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 2h e 2Km, e das linhas 2P<sub>1</sub> e 4P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 13/02/2005 e 14/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



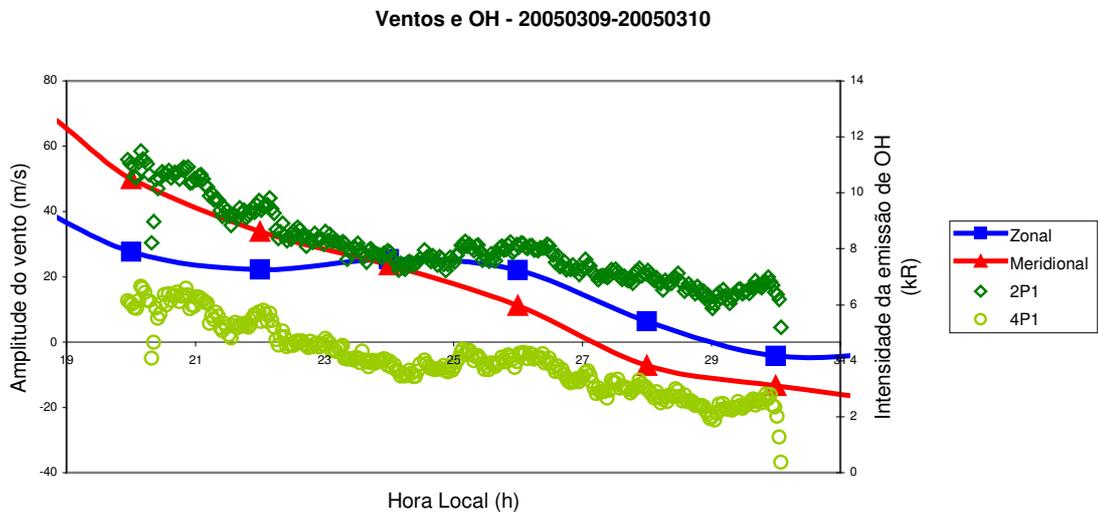
**Figura 16** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 2h e 2Km, e das linhas 2P<sub>1</sub> e 4P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 14/02/2005 e 15/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



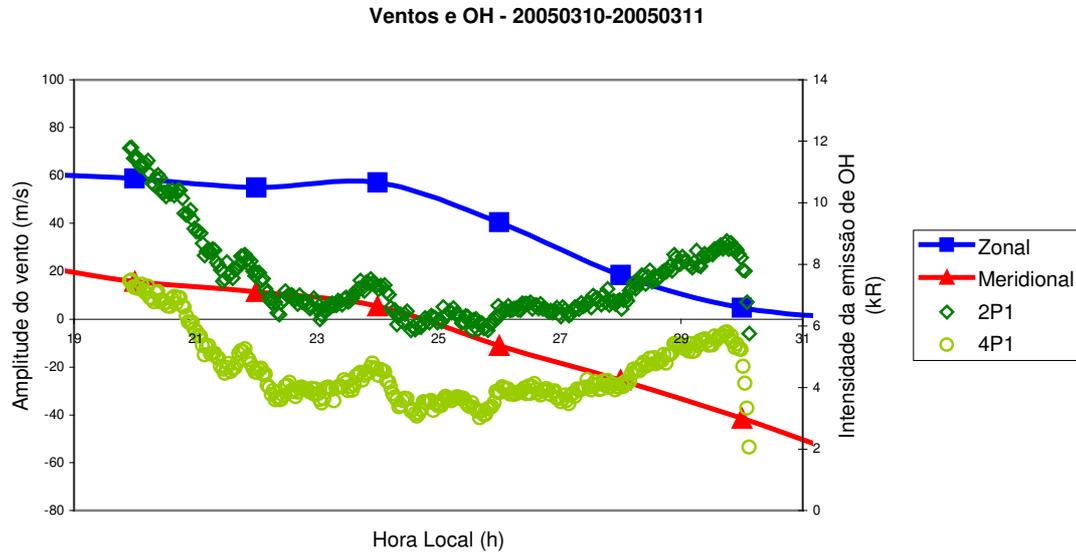
**Figura 17** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 2h e 2Km, e das linhas 2P<sub>1</sub> e 4P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 15/02/2005 e 16/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



**Figura 18** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 2h e 2Km, e das linhas 2P<sub>1</sub> e 4P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 07/03/2005 e 08/03/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.

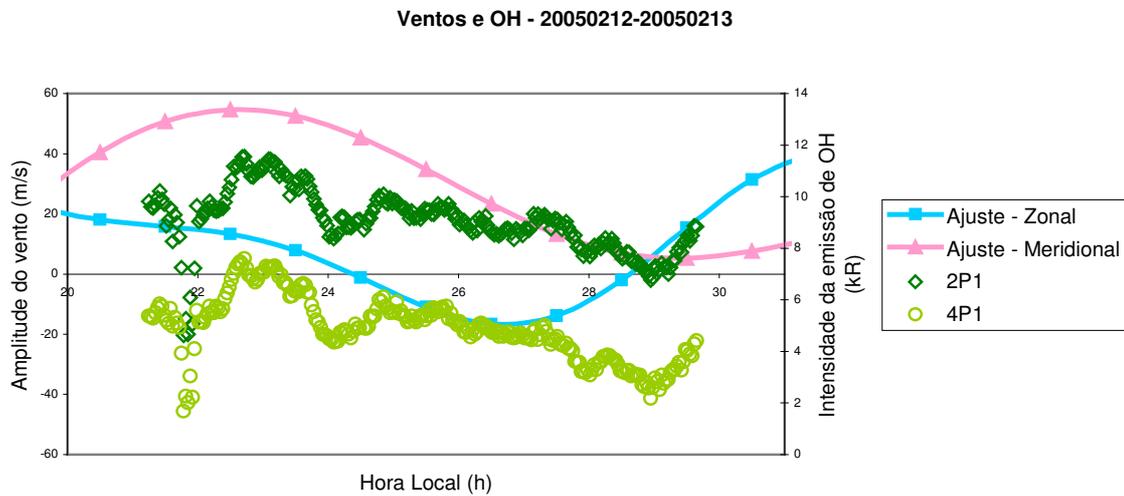


**Figura 19** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 2h e 2Km, e das linhas 2P<sub>1</sub> e 4P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 09/03/2005 e 10/03/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.

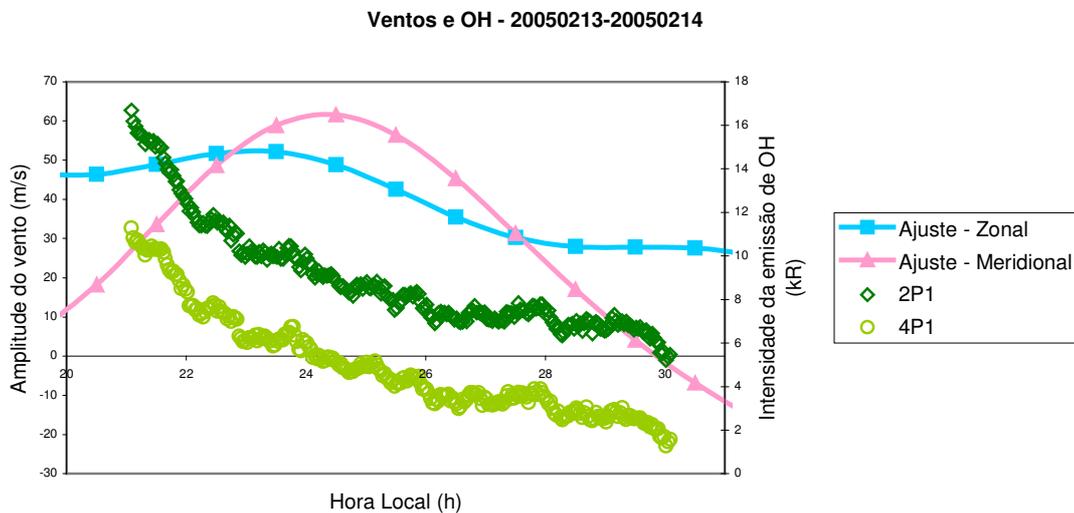


**Figura 20** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 2h e 2Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila ( $OH(3,1)$ ) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 10/03/2005 e 11/03/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.

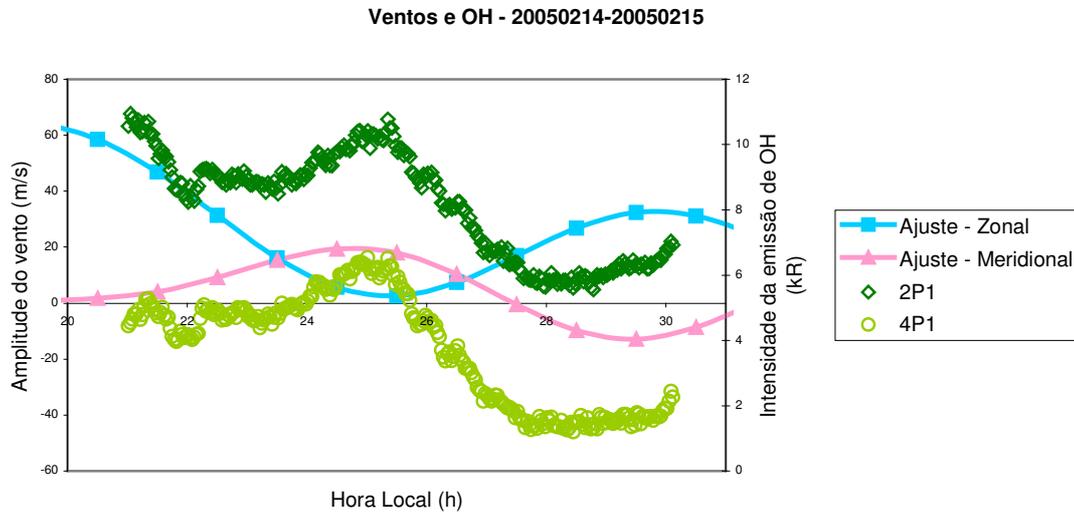
Foi feita também a regressão harmônica sobre os ventos calculados em intervalos de 1h e 3Km para o mês de Fevereiro, ajustando-os em componentes de 8, 12 e 24h, cujos gráficos resultantes estão na página seguinte.



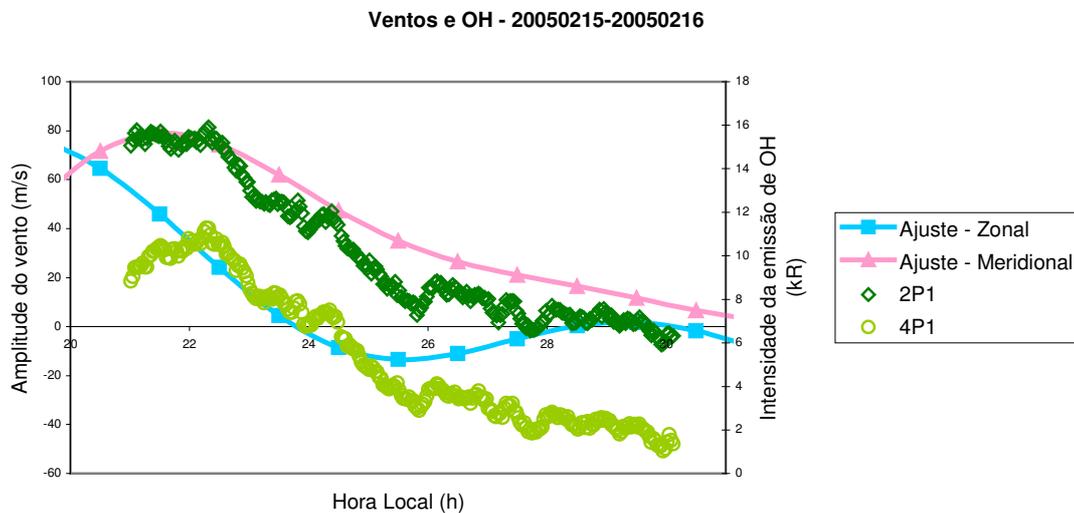
**Figura 21** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, ajustadas por regressão harmônica em componentes de 8, 12 e 24h, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila ( $OH(3,1)$ ) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 12/02/2005 e 13/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



**Figura 22** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, ajustadas por regressão harmônica em componentes de 8, 12 e 24h, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila ( $OH(3,1)$ ) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 13/02/2005 e 14/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



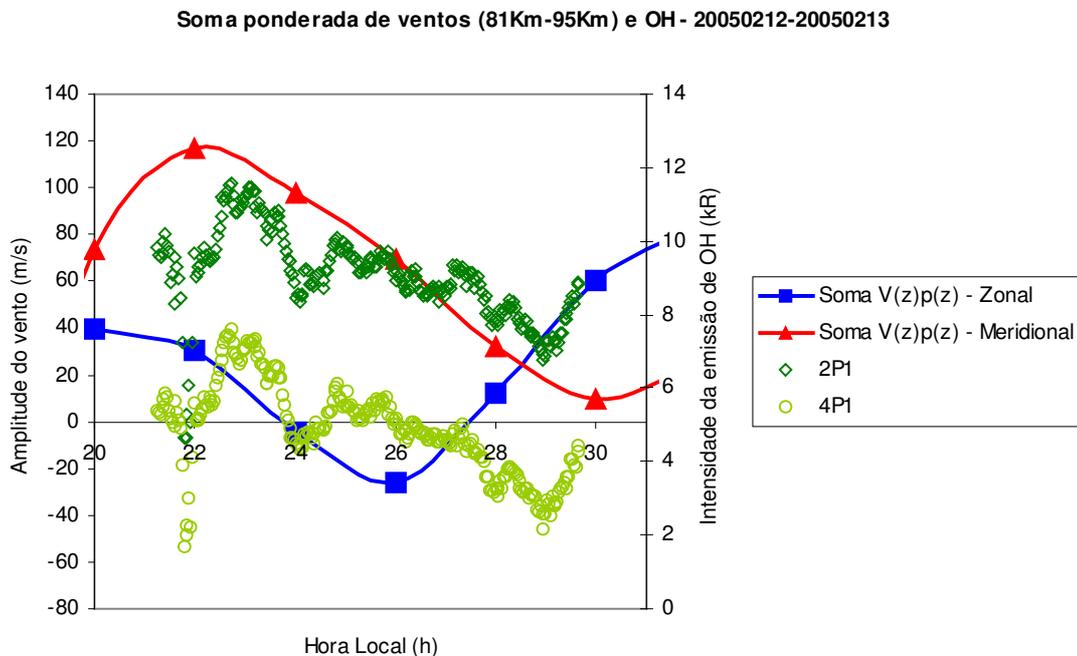
**Figura 23** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, ajustadas por regressão harmônica em componentes de 8, 12 e 24h, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 14/02/2005 e 15/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



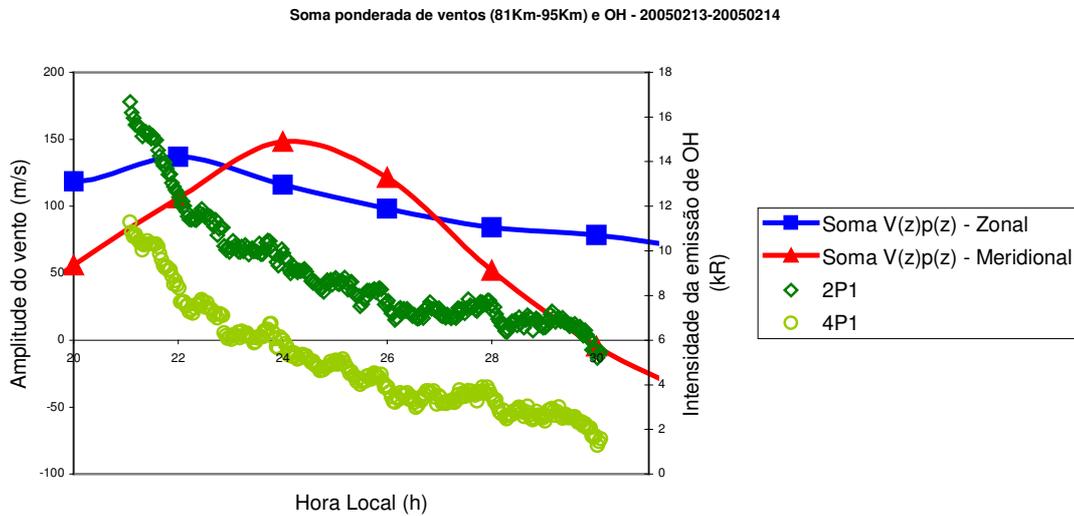
**Figura 24** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, ajustadas por regressão harmônica em componentes de 8, 12 e 24h, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 15/02/2005 e 16/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.

Calculamos, ainda, a soma ponderada dos ventos  $\sum V(z)p(z)$  onde  $V(z)$  é o vento em altura  $z$  e  $p(z) = e^{-\left[\frac{z-z_0}{H}\right]^2}$ , com  $z_0 \approx 87$  Km e  $H \approx 3$  Km. A soma ponderada pode ser útil, visto que a luminescência vem de uma banda de alturas entre aproximadamente 80 e 95 Km, de forma que podemos esperar uma contribuição dos ventos sobre toda esta faixa de altura, embora com efeito maior perto do pico da emissão em torno de 87 Km.

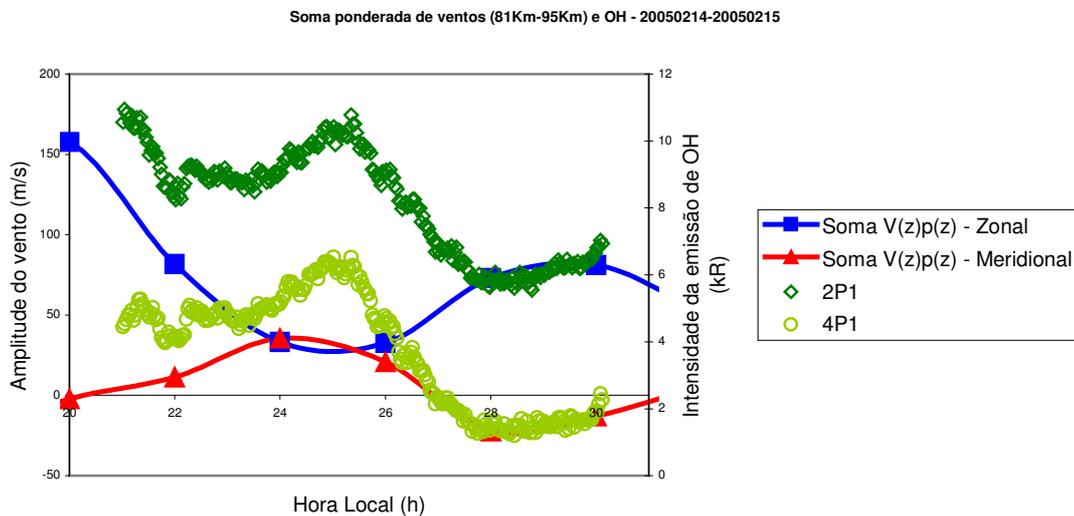
Assim, temos os gráficos para a soma ponderada das componentes dos ventos no mês de Fevereiro de 2005:



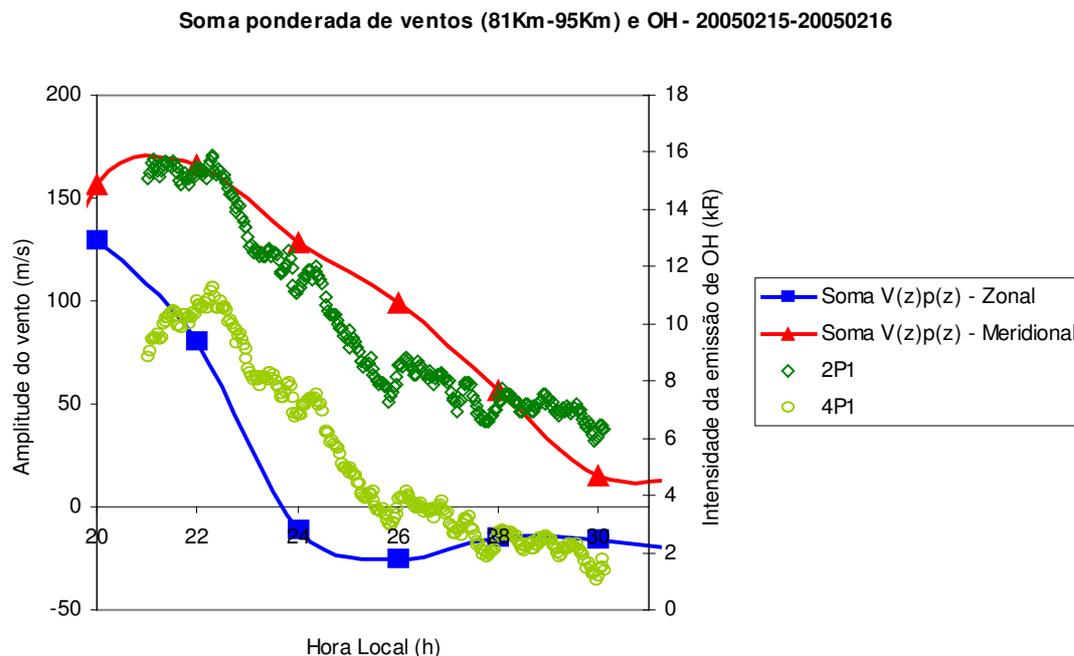
**Figura 25** – Gráfico da soma ponderada das componentes zonal e meridional do vento, no intervalo de 81Km e 95Km, e das linhas 2P<sub>1</sub> e 4P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 12/02/2005 e 13/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



**Figura 26** – Gráfico da soma ponderada das componentes zonal e meridional do vento, no intervalo de 81Km e 95Km, e das linhas 2P<sub>1</sub> e 4P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 13/02/2005 e 14/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



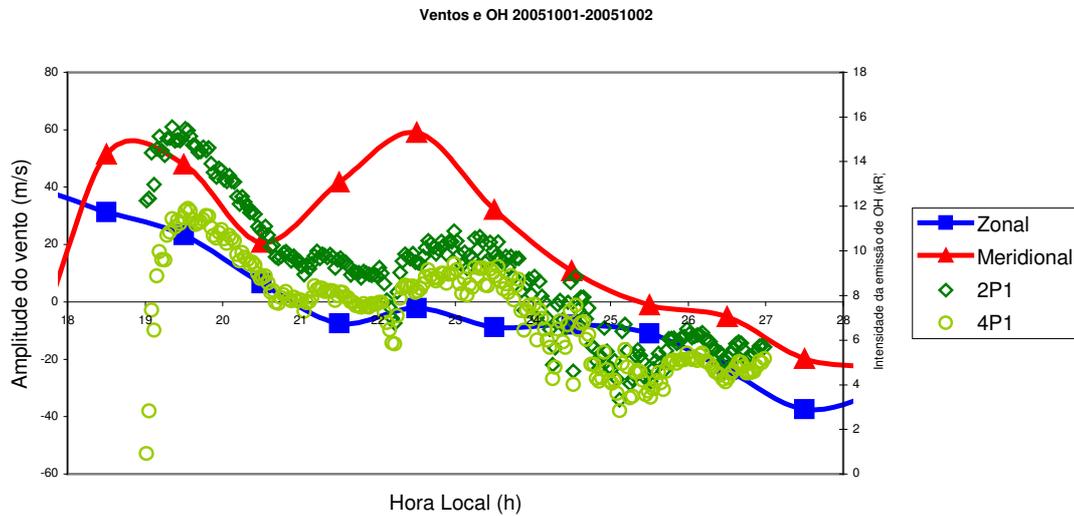
**Figura 27** – Gráfico da soma ponderada das componentes zonal e meridional do vento, no intervalo de 81Km e 95Km, e das linhas 2P<sub>1</sub> e 4P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 14/02/2005 e 15/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



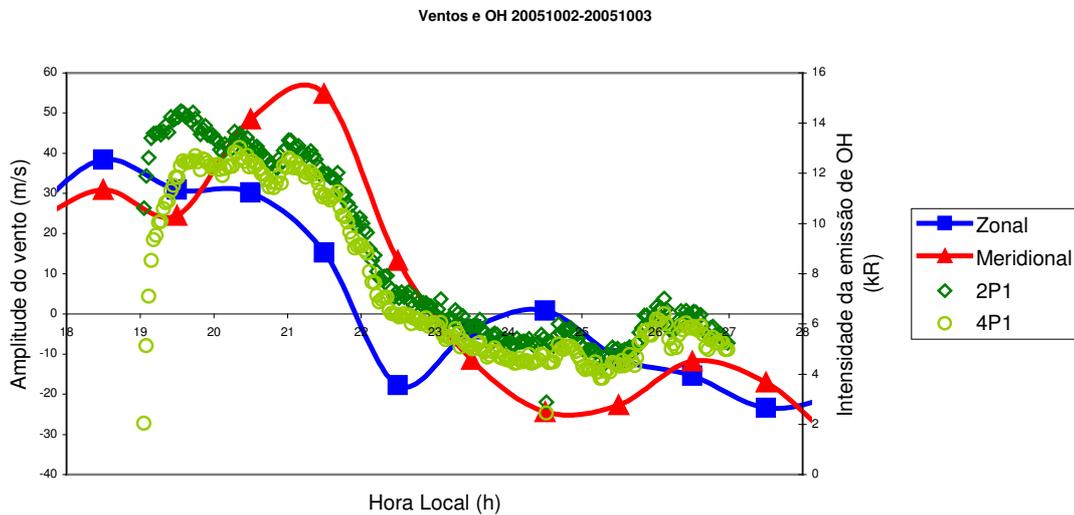
**Figura 28** – Gráfico da soma ponderada das componentes zonal e meridional do vento, no intervalo de 81Km e 95Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 15/02/2005 e 16/02/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.

Através da análise dos gráficos apresentados anteriormente, concluímos que a melhor correlação entre ventos e luminescência é mesmo a encontrada quando consideramos os ventos calculados em intervalos de 1h e 3Km para a região dos 87Km de altura. Assim, pudemos plotar os gráficos para os outros meses utilizando estes mesmos parâmetros.

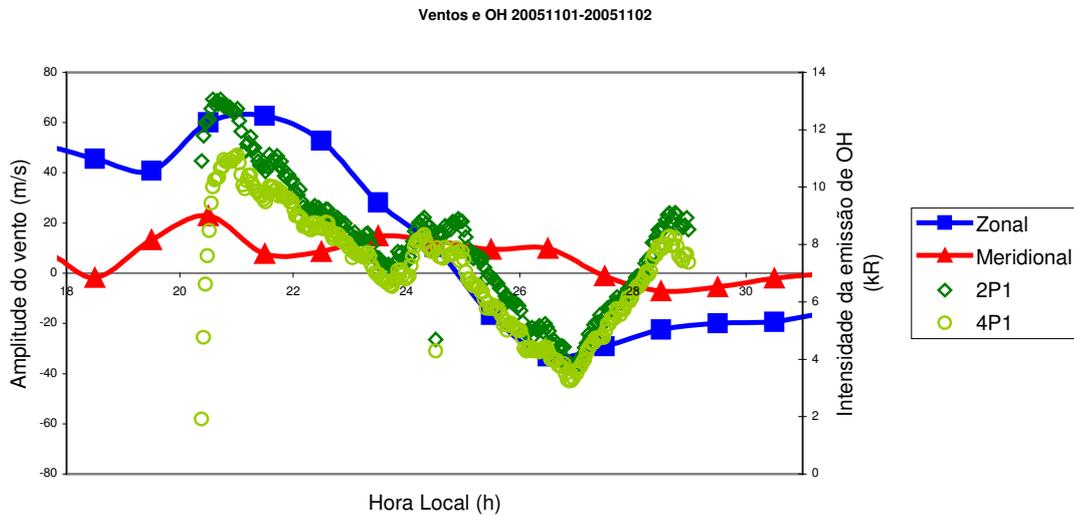
Então, para os meses de Outubro e Novembro de 2005, plotamos os seguintes gráficos:



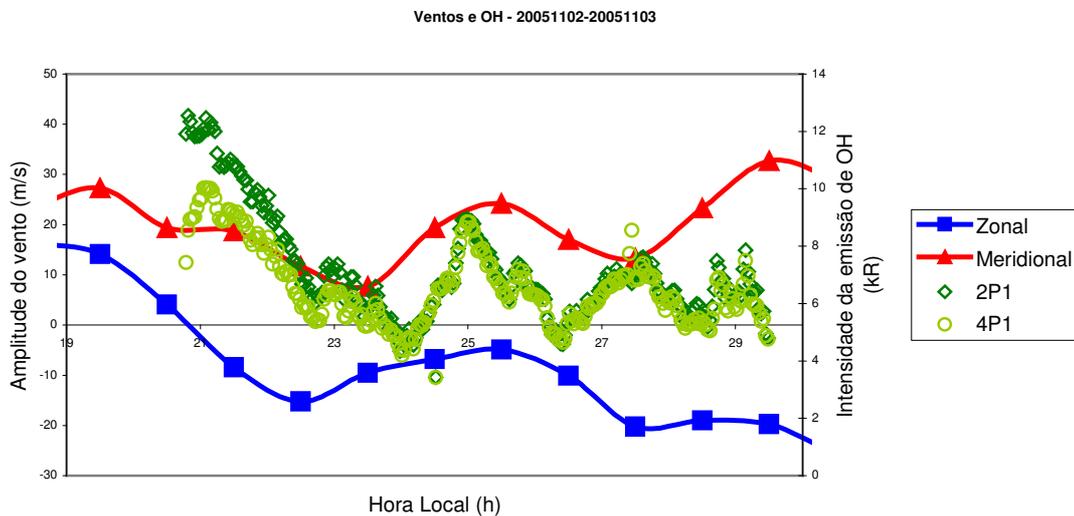
**Figura 29** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e das linhas 2P<sub>1</sub> e 4P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 01/10/2005 e 02/10/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



**Figura 30** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e das linhas 2P<sub>1</sub> e 4P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 02/10/2005 e 03/10/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.

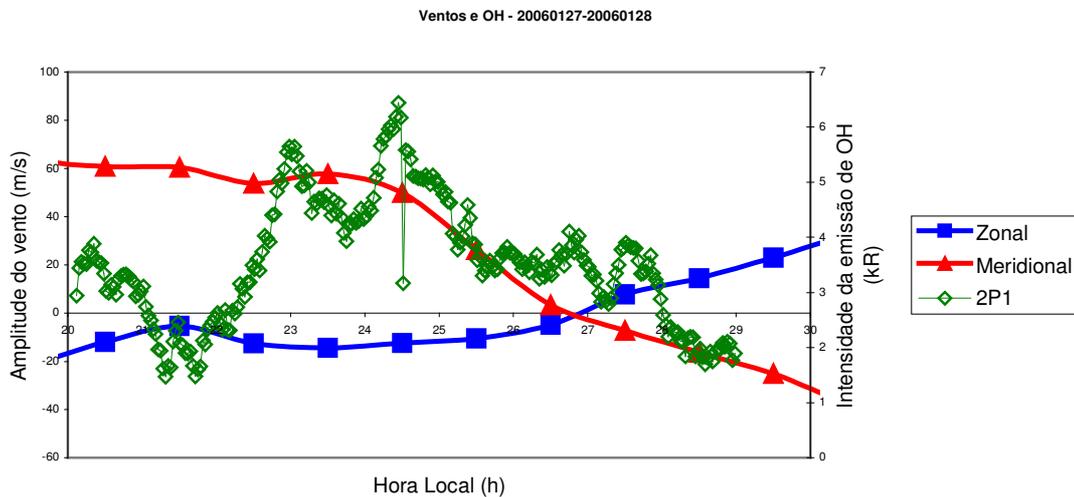


**Figura 31** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 01/11/2005 e 02/11/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.

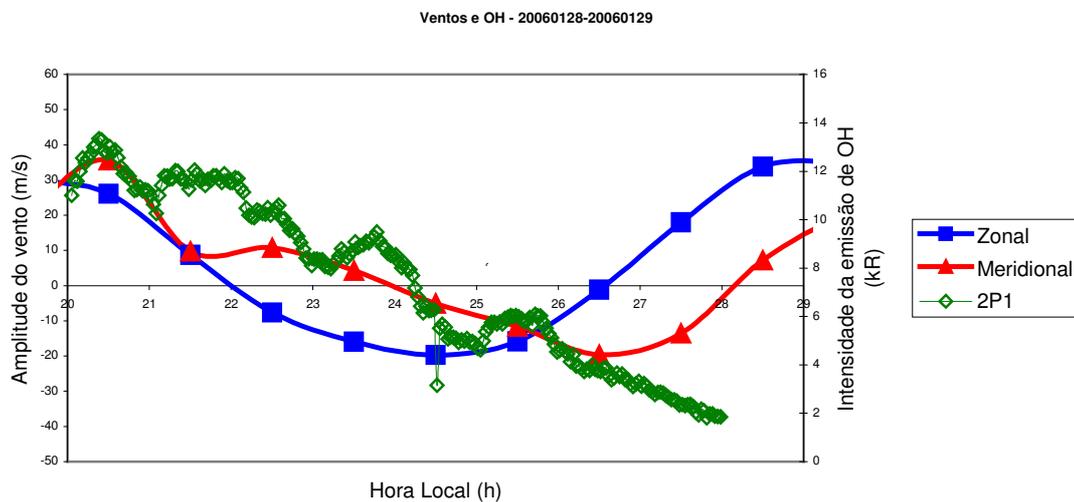


**Figura 32** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e das linhas  $2P_1$  e  $4P_1$  da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 02/11/2005 e 03/11/2005, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.

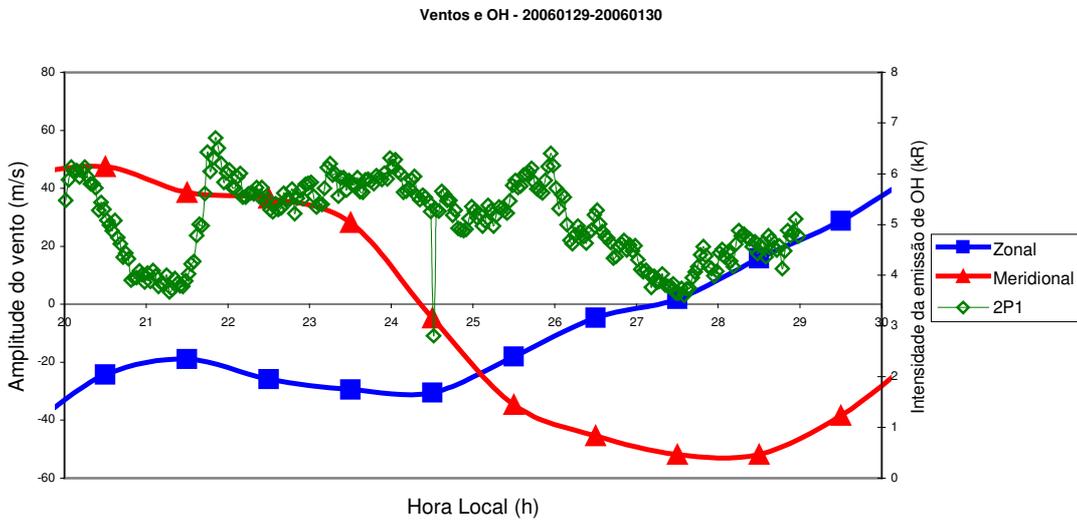
Para os meses de Janeiro a Abril de 2006, os gráficos resultantes das observações simultâneas de ventos e OH são:



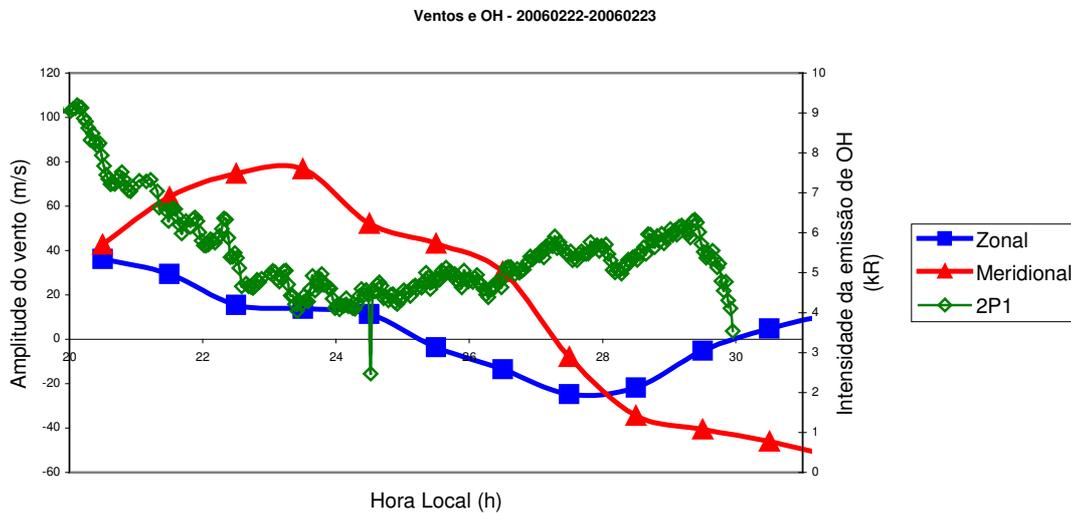
**Figura 33** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e da linha 2P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 27/01/2006 e 28/01/2006, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



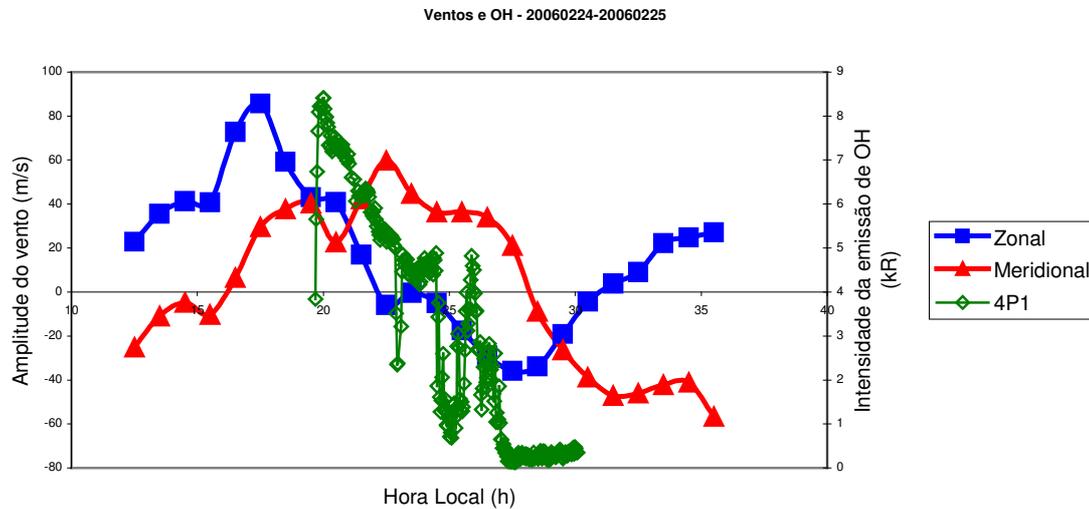
**Figura 34** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e da linha 2P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 28/01/2006 e 29/01/2006, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



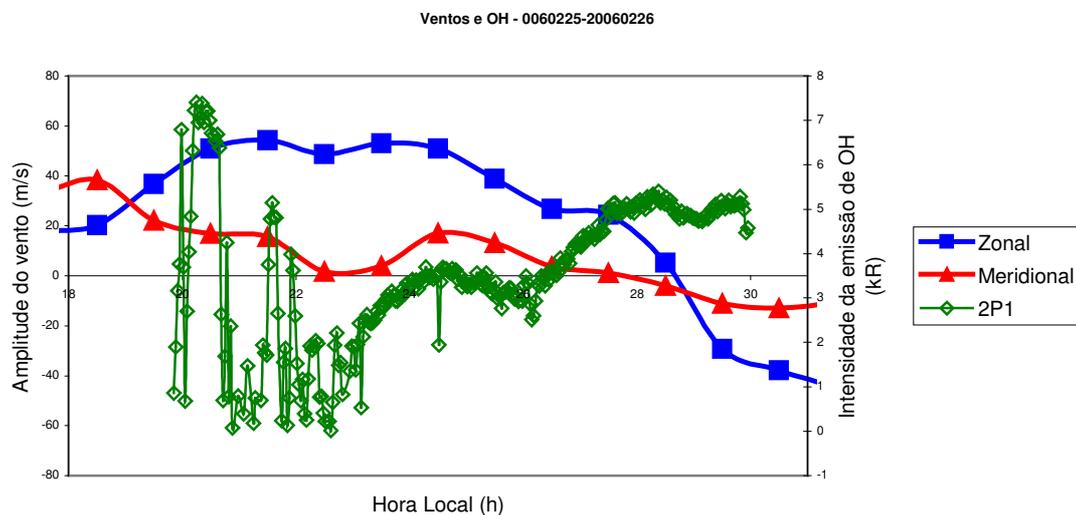
**Figura 35** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e da linha 2P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 29/01/2006 e 30/01/2006, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



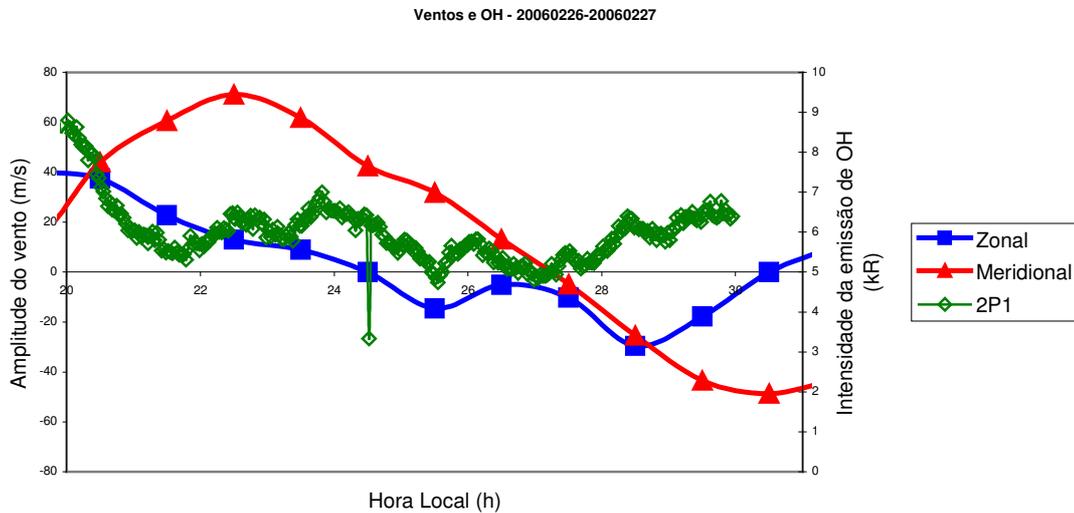
**Figura 36** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e da linha 2P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 22/02/2006 e 23/02/2006, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



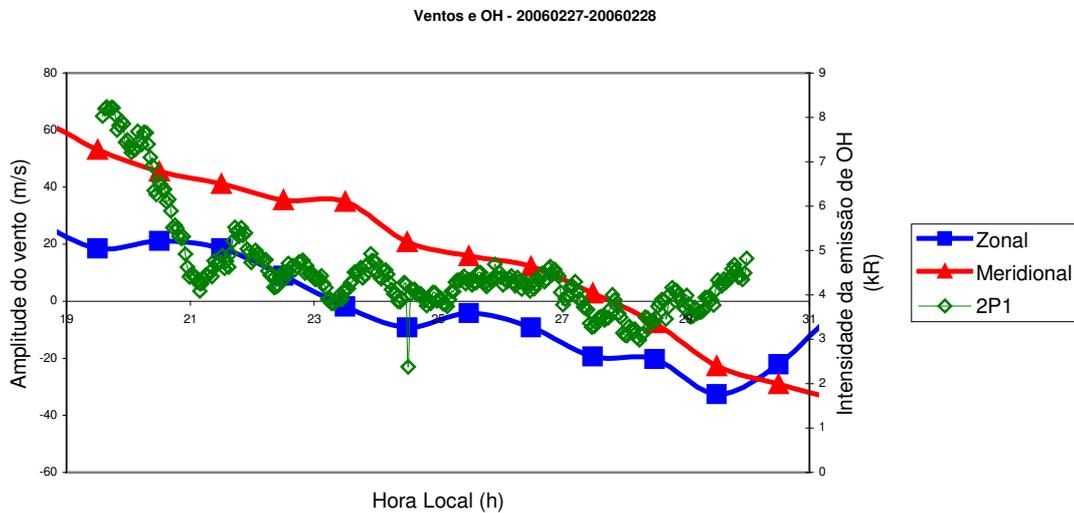
**Figura 37** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e da linha 4P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 24/02/2006 e 25/02/2006, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



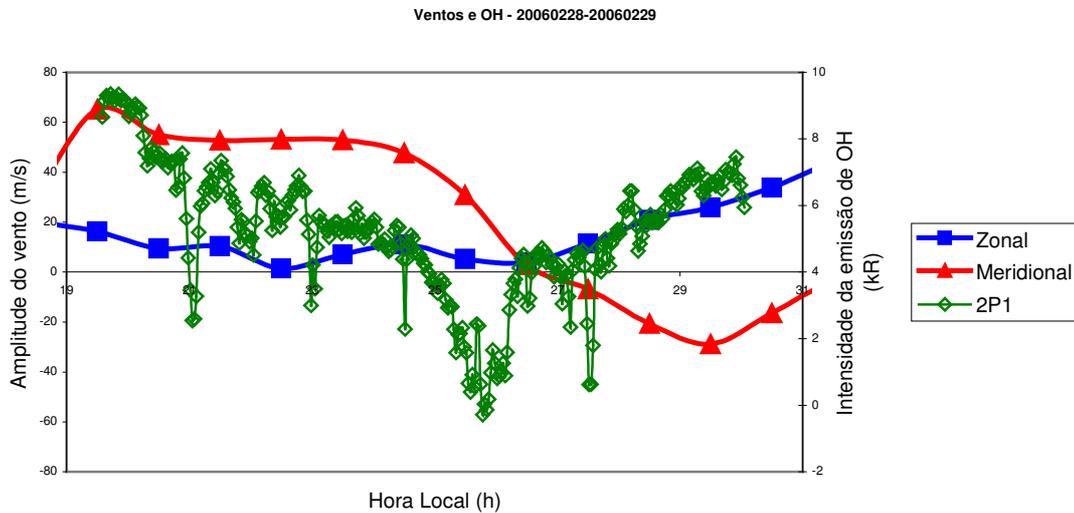
**Figura 38** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e da linha 2P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 25/02/2006 e 26/02/2006, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



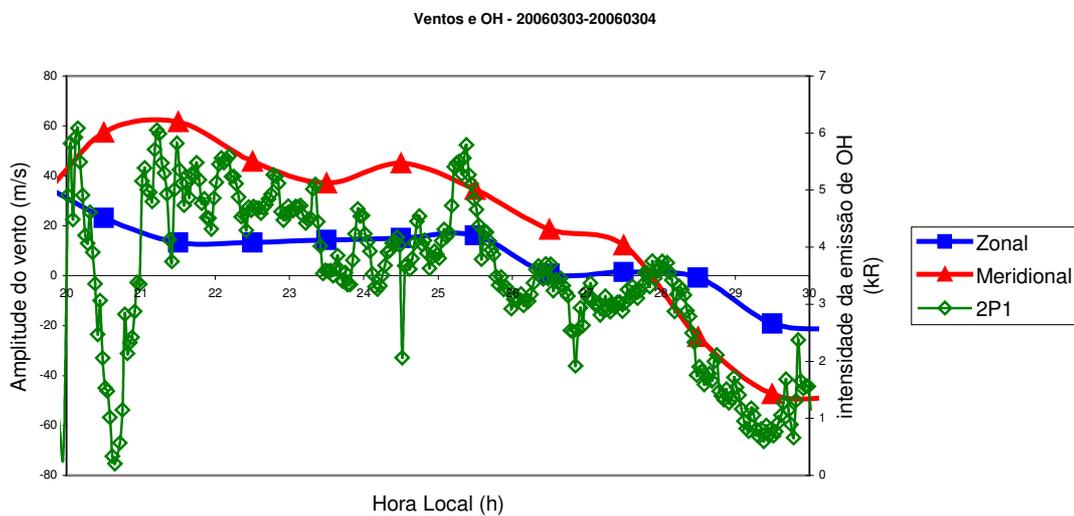
**Figura 39** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e da linha 2P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 26/02/2006 e 27/02/2006, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



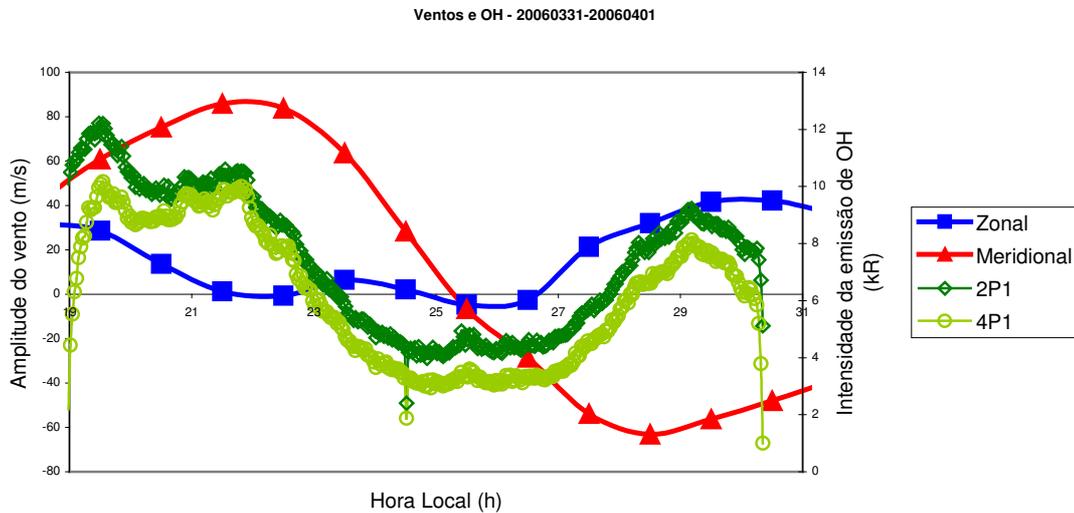
**Figura 40** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e da linha 2P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 27/02/2006 e 28/02/2006, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



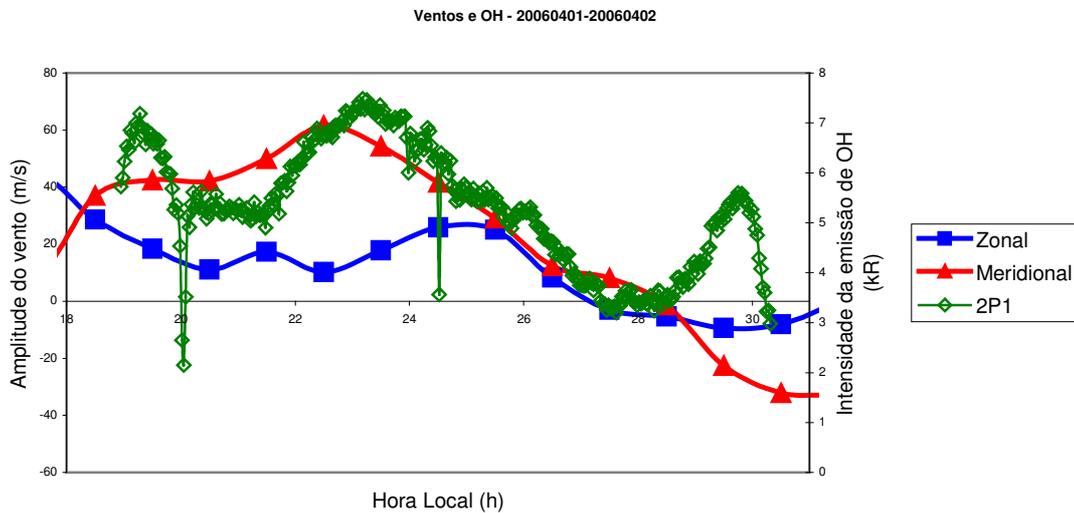
**Figura 41** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e da linha 2P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 28/02/2006 e 29/02/2006, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



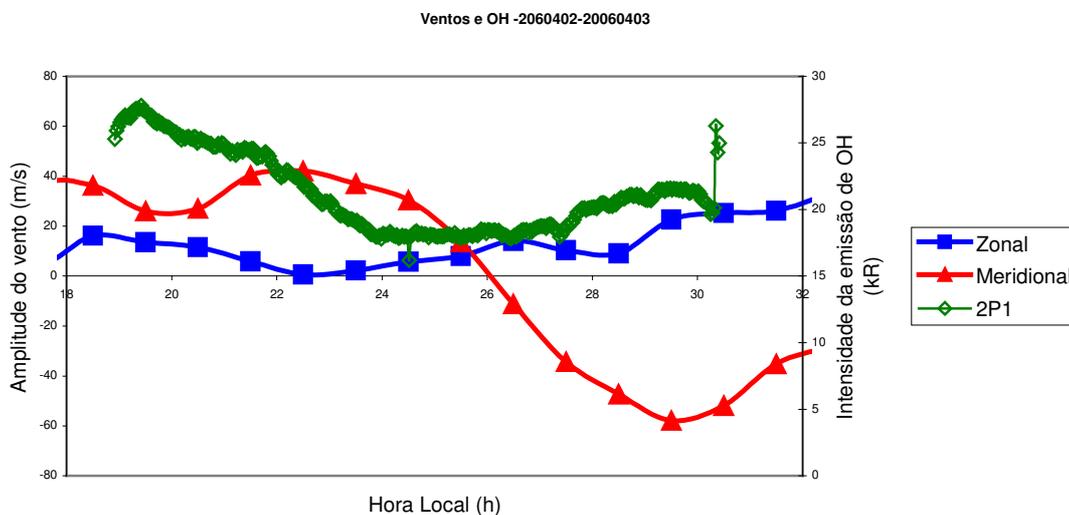
**Figura 42** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e da linha 2P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 03/03/2006 e 04/03/2006, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



**Figura 43** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e da linhas 2P<sub>1</sub> e 4P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 31/03/2006 e 01/04/2006, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



**Figura 44** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e da linha 2P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 01/04/2006 e 02/04/2006, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.



**Figura 45** – Gráfico das componentes zonal e meridional do vento, calculadas sobre intervalos de 1h e 3Km, e da linha 2P<sub>1</sub> da hidroxila (OH(3,1)) em função da hora local para a noite compreendida entre os dias 02/04/2006 e 03/04/2006, observadas, respectivamente, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.

### 5.3 RESULTADOS

Através da análise da emissão do OH e dos ventos atmosféricos em função da hora local, foi possível observar uma certa correlação entre a intensidade medida e a velocidade dos ventos horizontais, especialmente da componente meridional.

As oscilações nas velocidades dos ventos resultaram em variações nas taxas de emissão de luminescência, cujos comportamentos demonstraram-se semelhantes. Isso nos levou a crer que os movimentos das massas de ar estão intimamente relacionados à intensidade da luminescência atmosférica.

Em algumas noites de observação, no entanto, não foi possível verificar correlação alguma, fato esse que ainda precisa ser investigado.

## 5.4 CONCLUSÕES

Para entender que tipo de relação existe entre os ventos mesosféricos e a luminescência atmosférica é preciso levantar algumas considerações.

A hidroxila é formada através da reação em que o  $O_3$  combina-se com o H produzindo  $O_2$  e OH excitado no nível vibracional 9. O OH excitado emite fótons em um processo de cascata entre os níveis inferiores, dando origem à luminescência.

Os ventos podem provocar oscilações de temperatura, e como esta tem efeito sobre os coeficientes de reação, a taxa com que o OH é formado pode ser alterada. Em consequência, a intensidade de emissão da luminescência do OH pode também variar.

Outra hipótese para explicar a correlação existente entre os ventos e a intensidade de emissão da luminescência do OH, é que o vento vertical tem efeito sobre as concentrações de  $O_3$  e H. Essa hipótese é a mais provável, pois é sabido que existe um forte gradiente vertical na concentração de O, de tal maneira que um vento vertical pode mudar drasticamente a concentração em uma determinada altura. Como a componente vertical do vento é geralmente pequena e difícil de se medir, ela pode ser aproximada por uma relação envolvendo as componentes horizontais do vento. Deste modo a correlação encontrada no presente trabalho, entre ventos horizontais e luminescência, é de se esperar, confirmando nossa hipótese.



## **CAPÍTULO 7**

### **CONCLUSÃO**

Durante o período de vigência do Projeto de Pesquisa de Iniciação Científica PIBIC/INPE – CNPq/MCT no CRSPE/INPE – MCT, a Bolsista realizou estudos envolvendo a Dinâmica da Atmosfera e o fenômeno de Luminescência Atmosférica, os quais serviram de base para a elaboração de trabalhos de comparação entre ventos e luminescência.

Por sua vez, a comparação de ventos e aeroluminescência permitiu que os conhecimentos adquiridos em relação ao uso de programas de redução de dados fossem colocados em prática. Além disso, foram desenvolvidas atividades técnico-científicas de análise gráfica e interpretação de resultados.

A Bolsista, ainda, durante a participação no Projeto de Pesquisa, realizou atividades de organização do banco de dados do Radar e acompanhamento da operação rotineira do equipamento.

De modo geral, todas as atividades desenvolvidas desempenharam um importante papel, pois foram diretamente ao encontro dos objetivos do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC, que são estimular o interesse pela Ciência e desenvolver as potencialidades técnico-científicas dos alunos envolvidos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baker, D.; Stair Jr A. T. *Rocket measurements of the altitude distributions of the hydroxyl airglow*, Physica Scripta, v.37, .4, p.611, 1988.
- Bates, C. A.; Nicolet M. *The photochemistry of atmospheric water vapor*, J. Geophys. Res., v. 55, n.3, p. 301-319,1950.
- Batista P. P. *Marés solares na camada mesosférica de sódio*. São José dos Campos: INPE, 1983
- Batista, P. P.; Takahashi, H., Gobbi, D.; Medeiros, A. F. *First airglow all sky images at 23°S*, Adv. Space Res., v.26, n.6, p. 925-928, 2000.
- Butler, S. T.; Small, K. A. *The excitation of atmospheric oscillations*. Proceeding of the Royal Society of London, serie A, A274:91-121, 1963
- Cepelcha, Z.; Borovicka, J.; Elford, W. G.; Revelle, P. O.; Hawkes, R. L.; Porubcan, V.; Simek, M. *Meteor phenomena and bodies*. Space Science Reviews. v. 84, n. 3-4, 1998
- Chapman, S. *Some phenomena of the upper atmosphere*, Proc. R. Soc. London, v.64, n. 382, p. 833-844, 1951
- Chapman, S.; Lindzen, R. S. *Atmospheric tides: thermal and gravitational*. Dordrecht: D.Reidel Publishing Company, 1970
- Clemesha, B. R. *Sporadic neutral metal layers in the mesosphere and lower thermosphere*, J. Atmosf. Terr. Phys., v. 57, n. 7, p. 725-736, 1995
- Corrêa, J. A. S. *Estudo de meteoros e investigações de seus efeitos na Ionosfera com dados do Radar SKiYMET e GPS*. São José dos Campos: INPE, 2003. (INPE-9843-TDI/866)
- Forbes, J. M.; Garret, H. B. *Solar diurnal tide in the termosphere*. Journal of Atmospheric Science, 33(11):2226-2241, Nov. 1976
- Gardner, C. S.; Taylor, M. J., *Observational limits for lidar, radar, and airglow imager measurements of gravity parameters*, J. Geophys. Res., v. 103, n. 6, p. 6427-6437, 1998.
- Hargreaves, J. K. *The solar-terrestrial environment*. Cambridge: Cambridge University Press, 1992

- Hocking, T. T. a. W. K. *A long-term comparison of winds and tides measured at London, Canada (43°N,81°W) by co-located MF and meteor radars during 1994-1999.* Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics, **64**:931-946, 2002
- Hocking, W.K., Fuller, B., Vandeppeer, B. *Real time determinations of meteor related parameters utilizing modern digital technology.* Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, v. 63, p. 155-169, 2001
- Hughes, D. W Meteor. In: McDonnell, J. A. M. ed. *Cosmic Dust.* Nova York: John Wiley & Sons, 1978.
- Kirchoff, V.W. *Introdução à Geofísica Espacial*, São Paulo: Editora da USP, 1991
- Klenerman, D.; Smith, I. *Infrared chemiluminescence studies using a sisam spectrometer reactions producing vibrationally excited OH*, Journal of the Chemical Society-Faraday Transactions II, v. 83, p.229-241, 1987
- McKinley, D. W. R. *Meteor science and engineering.* Nova York: McGraw-Hill, 1961
- Medeiros, A. F. *Observações de ondas de gravidade através do imageamento da aeroluminescência.* São José dos Campos: INPE, 2001
- Meinel, A. B. *OH emissions bands in the spectrum of the night sky*, Astrophys. J., v. 112, n. 1, p. 120-130, 1950.
- Moreels, G.; Megie, G.; Vallance Jones, A.; Gattinger, R. L. *An oxygen-hydrogen atmosphere model and its application to the OH emission problem.* Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, **39**(5):551-570, May 1977
- Muller, H.G. Winds and turbulence in the meteor zone. In: Verniani, F. ed. *Structure and dynamics of the upper atmosphere*, ed. Verniani, F. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1974
- Radar Systems- Operating System User Manual, Material técnico fornecido pela Gênese Software Pty Ltde Mardoc Inc., Versão 1.0, 2002
- Siebert, M. *Atmospheric tides.* In: Advances in Geophysics. New York, NY, Academic, 1961. v. 7, p. 105-182
- SkiYmet Meteor Radar Reference Manual, Material técnico fornecido pela Gênese Software Pty Ltde Mardoc Inc., Versão 1.5, 2003
- Takahashi, H., P. P. Batista, R. A. Buriti, D. Gobbi, T. Nakamura, T. Tsuda and S. Fukao, *Simultaneous measurements of airglow OH emission and meteor wind by a sky*



*scanning photometer and the MU radar*, Journal of Atmospheric Solar-Terrestrial Physics, 60(17), 1649-1668, 1998.

Takahashi, H., D. Gobbi, P. P. Batista, S. M. L. Melo, N. R. Teixeira and R. A. Buriti, *Dynamical influence on the equatorial airglow observed from the South American sector*, Adv. Space Res., 21, 817-825, 1998

Takahashi, H., R. A. Buriti, D. Gobbi and P. P. Batista, *Equatorial planetary wave signatures observed in mesospheric airglow emissions*, J. Atmos. Terr. Phys., 64, 1263-1272, 2002.

Takahashi, H., Y. Sahai and P. P. Batista, *Tidal and solar cycle effects on the OI 5577 Å, NaD and OH(8,3) airglow emissions observed at 23 S*, Planet. Space Sci., 32, 897-902, 1984.

Tohmatsu, T.; *Compendium of Aeronomy*, Terra Scientific Publishing Company, Kluwer Academic Publishers, Tokyo, 1990

Tokumoto, A. S. *Ventos na Região de 80-100 Km de altura sobre Cachoeira Paulista (22,7° W) medidos por Radar Meteorológico*. São José dos Campos: INPE, 2002. (INPE-9126-TDI/815)



## APÊNDICE A

### RESUMOS DOS TRABALHOS TÉCNICO-CIENTÍFICOS APRESENTADOS OU SUBMETIDOS

**EVENTO: Seminário de Iniciação Científica do INPE - SICINPE 2005 -**  
Realizado de 03 a 04 de agosto de 2005, no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais –  
INPE – São José dos Campos, São Paulo, Brasil.

**1 - ESTUDO DAS MARÉS ATMOSFÉRICAS NA ALTA ATMOSFERA DO  
SUL DO BRASILEIRO III; Elisa Borstmann Jensen, Barclay Robert Clemesha, Paulo  
Prado Batista, Nelson Jorge Schuch.**

**EVENTO: XIX Jornada Acadêmica Integrada - JAI 2005 –** Realizado de 8 a 10  
de março de 2006, na Universidade Federal de Santa Maria – UFSM - Santa Maria, Rio  
Grande do Sul, Brasil.

**2 - SICINPE 2005 - ESTUDO DAS MARÉS ATMOSFÉRICAS NA ALTA  
ATMOSFERA DO SUL DO BRASILEIRO III; Elisa Borstmann Jensen, Barclay  
Robert Clemesha, Paulo Prado Batista, Nelson Jorge Schuch.**



**EVENTO: 58ª Reunião Anual da SBPC**, a ser realizado entre os dias 16 e 21 de Julho de 2006, na Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, em Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

**3 - OBSERVAÇÕES SIMULTÂNEAS DE VENTOS MESOSFÉRICOS E EMISSÕES DE LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA NO SUL DO BRASIL**, Elisa **Borstmann Jensen**, Elói Alberto Grellmann, Thiago Brum Pretto, Henrique Orlandi Goulart, Barclay Robert Clemesha, Nelson Jorge Schuch.



## **ESTUDO DAS MARÉS ATMOSFÉRICAS NA ALTA ATMOSFERA DO SUL BRASILEIRO – III**

**Elisa Borstmann Jensen**<sup>1</sup> (UFSM, Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT)

Dr. Barclay Robert Clemesha<sup>2</sup> (Orientador, DAE/CEA/INPE - MCT)

Dr. Paulo Prado Batista<sup>3</sup> (Co-Orientador, DAE/CEA/INPE - MCT)

Dr. Nelson Jorge Schuch<sup>4</sup> (Co-Orientador, CRSPE /INPE - MCT)

### **RESUMO**

O estudo das Marés Atmosféricas na Alta Atmosfera do Sul Brasileiro torna-se possível através da instalação e operação contínua do Radar de Rastros Meteoricos - All-Sky Interferometric Radar Meteor – SKiYMET, adquirido pela Ação1275, do PNAE1998 – 2007, PPA2000 – 2003, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT, no âmbito da Parceria INPE – UFSM, em Santa Maria-RS. O Radar detecta, na faixa de altura entre 80 e 100 Km, o rastro de partículas ionizadas deixado por meteoros quando da sua entrada na Atmosfera Terrestre. Esse rastro de partículas ionizadas reflete os pulsos eletromagnéticos emitidos pelo sistema. A geração de dados é feita com base no ângulo de chegada do eco, no atraso do retorno, proporcional à distância entre o radar e o rastro, e no desvio Doppler do sinal retornado. A partir desses dados, vários parâmetros atmosféricos e astronômicos – como os ventos horizontais, o fluxo de entrada dos meteoros, velocidade de entrada dos meteoros e o radiante das chuvas meteóricas – podem ser determinados. Observando como os rastros de meteoros se comportam com o tempo, podem ser feitas deduções sobre a velocidade e direção do vento atmosférico na altitude em que o meteoro foi observado. O Radar detecta um número suficiente de ecos de meteoros ao longo do dia para permitir um desenho compreensivo do campo dos ventos atmosféricos. Os dados obtidos, em conjunto com os dados coletados por satélites, imageadores e outros instrumentos de medidas de ventos, possibilitam a elaboração do mapeamento climatológico das regiões mais altas da Atmosfera.

---

<sup>1</sup> Aluna do Curso de Física – Bacharelado, UFSM. **E-mail: elisa@lacsom.ufsm.br**

<sup>2</sup> Pesquisador da Divisão de Aeronomia, Coordenação Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas, DAE/CEA/INPE – MCT. **E-mail: bclem@laser.inpe.br**

<sup>3</sup> Pesquisador da Divisão de Aeronomia, Coordenação Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas, DAE/CEA/INPE – MCT. **E-mail: ppbatista@laser.inpe.br**

<sup>4</sup> Coordenador da Ação de Implantação do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, CRSPE/INPE – MCT. **E-mail: njschuch@lacsom.ufsm.br**



## **SICINPE 2005 - ESTUDO DAS MARÉS ATMOSFÉRICAS NA ALTA ATMOSFERA DO SUL BRASILEIRO - III<sup>1</sup>**

**Elisa Borstmann Jensen<sup>2</sup>, Barclay Robert Clemesha<sup>3</sup>, Paulo Prado Batista<sup>4</sup>  
Nelson Jorge Schuch<sup>5</sup>**

O estudo das Marés Atmosféricas na Alta Atmosfera do Sul Brasileiro torna-se possível através da instalação e operação contínua do Radar de Rastros Meteoróicos - All-Sky Interferometric Radar Meteor – SKiYMET, adquirido pela Ação 1275, do PNAE 1998 – 2007, PPA 2000 – 2003, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT, no âmbito da Parceria INPE – UFSM, em Santa Maria-RS. O Radar detecta, na faixa de altura entre 80 e 100 Km, o rastro de partículas ionizadas deixado por meteoros quando da sua entrada na Atmosfera Terrestre. Esse rastro de partículas ionizadas reflete os pulsos eletromagnéticos emitidos pelo sistema. A geração de dados é feita com base no ângulo de chegada do eco, no atraso do retorno, proporcional à distância entre o radar e o rastro, e no desvio Doppler do sinal retornado. A partir desses dados, vários parâmetros atmosféricos e astronômicos – como os ventos horizontais, o fluxo de entrada dos meteoros, velocidade de entrada dos meteoros e o radiante das chuvas meteoróicas – podem ser determinados. Observando como os rastros de meteoros se comportam com o tempo, podem ser feitas deduções sobre a velocidade e direção do vento atmosférico na altitude em que o meteoro foi observado. O Radar detecta um número suficiente de ecos de meteoros ao longo do dia para permitir um desenho compreensivo do campo dos ventos atmosféricos. Os dados obtidos, em conjunto com os dados coletados por satélites, imageadores e outros instrumentos de medidas de ventos, possibilitam a elaboração do mapeamento climatológico das regiões mais altas da Atmosfera.

1 - Trabalho desenvolvido no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT, em parceria com o LACESM/CT – UFSM

2 - Apresentador: Acadêmica do Curso de Física – Bacharelado, UFSM, Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT

3 - Orientador: Dr. Pesquisador da Divisão de Aeronomia, Coordenação Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas, DAE/CEA/INPE – MCT

4 - Co-Orientador: Dr. Pesquisador da Divisão de Aeronomia, Coordenação Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas, DAE/CEA/INPE – MCT

5 - Co-Orientador: Coordenador da Ação 1275 do PNAE, de Implantação do CRSPE/INPE – MCT

---

**XX Jornada Acadêmica Integrada, UFSM, 19, 20 e 21 de outubro de 2005.**

## **OBSERVAÇÕES SIMULTÂNEAS DE VENTOS MESOSFÉRICOS E EMISSÕES DE LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA NO SUL DO BRASIL**

<b>Elisa Borstmann Jensen</b>	(1,3)	elisa@lacesm.ufsm.br
Elói Alberto Grellmann	(1,3)	
Thiago Brum Pretto	(1,3)	
Henrique Orlandi Goulart	(1,3)	
Barclay Robert Clemesha	(2)	
Nelson Jorge Schuch	(3)	

- (1) Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria(LACESM/UFSM);  
(2) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais(INPE – MCT);  
(3) Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais(CRSPE/INPE – MCT).

### **INTRODUÇÃO:**

O presente trabalho tem por objetivo estudar a relação existente entre os ventos horizontais e os parâmetros da luminescência atmosférica, em alturas próximas à mesopausa (80-100 Km) e de baixas latitudes do hemisfério sul. Nossas investigações foram motivadas em se saber como os movimentos das massas de ar podem interferir nas intensidades de emissão de luminescência. As observações de ventos e luminescência foram realizadas em dois sítios, que estão aproximadamente na mesma localização geográfica, sendo um deles o Campus da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM (29°28S, 53°17W), em Santa Maria - RS, e outro o Observatório Espacial do Sul - OES (29°43S, 53°80W), junto ao Laboratório de Óptica e Luminescência - LOLA/OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra - RS.

### **METODOLOGIA:**

Medidas simultâneas foram realizadas das variações temporais da intensidade de emissão da hidroxila (OH) e das componentes zonal e meridional dos ventos horizontais em períodos dos meses de Fevereiro e Março de 2005, de Outubro e Novembro de 2005 e de Janeiro a Março de 2006. Os dados de OH utilizados são provenientes do Fotômetro Gold, localizado no OES, e os dados de ventos horizontais são provenientes do Radar de Rastros Meteoróicos - All-Sky Interferometric Radar Meteor - SKiYMET, localizado no Campus da UFSM. O Fotômetro Gold consiste num sistema de filtros de interferência óptica capaz de detectar as intensidades das linhas 2P1 e 4P1 da banda (3,1) do OH, a intensidade do O<sub>2</sub> e a temperatura rotacional do OH, sendo as emissões do OH(3,1) utilizadas neste trabalho. O Radar de Rastros Meteoróicos SKiYMET consiste de uma antena transmissora e de um conjunto de cinco antenas receptoras capazes de detectar os rastros deixados pelos meteoróides quando da sua entrada na atmosfera terrestre. Observando como esses rastros se comportam com o tempo podem ser feitas deduções sobre a velocidade do vento atmosférico na altitude em que o meteoro foi observado. Para o presente trabalho foram analisados os dados resultantes de aproximadamente 20 noites de observação. A altitude escolhida para análise dos ventos foi de 87 Km, pois é nesta região que se localiza o centro da camada de emissão da luminescência atmosférica do OH, que tem uma espessura aproximada de 8 Km.

**RESULTADOS:**

Através da análise da emissão do OH e dos ventos atmosféricos em função da hora local, foi possível observar uma certa correlação entre a intensidade medida e a velocidade dos ventos horizontais, especialmente da componente meridional. As oscilações nas velocidades dos ventos resultaram em variações nas taxas de emissão de luminescência, cujos comportamentos demonstraram-se semelhantes. Isso nos levou a crer que os movimentos das massas de ar estão intimamente relacionados à intensidade da luminescência atmosférica. Em algumas noites de observação, no entanto, não foi possível verificar correlação alguma, fato esse que ainda precisa ser investigado.

**CONCLUSÕES:**

Para entender que tipo de relação existe entre os ventos mesosféricos e a luminescência atmosférica é preciso levantar algumas considerações. A hidroxila é formada através da reação em que o  $O_3$  combina-se com o H produzindo  $O_2$  e OH excitado no nível vibracional 9. O OH excitado emite fótons em um processo de cascata entre os níveis inferiores, dando origem à luminescência. Os ventos podem provocar oscilações de temperatura, e como esta tem efeito sobre os coeficientes de reação, a taxa com que o OH é formado pode ser alterada. Em consequência, a intensidade de emissão da luminescência do OH pode também variar. Outra hipótese para explicar a correlação existente entre os ventos e a intensidade de emissão da luminescência do OH, é que o vento vertical tem efeito sobre as concentrações de  $O_3$  e H. Essa hipótese é a mais provável, pois é sabido que existe um forte gradiente vertical na concentração de O, de tal maneira que um vento vertical pode mudar drasticamente a concentração em uma determinada altura. Como a componente vertical do vento é geralmente pequena e difícil de se medir, ela pode ser aproximada por uma relação envolvendo as componentes horizontais do vento. Deste modo a correlação encontrada no presente trabalho, entre ventos horizontais e luminescência, é de se esperar, confirmando nossa hipótese.

Fomento: PIBIC/CNPq.

Trabalho de Iniciação Científica.

Palavras-chave: Aeronomia, Ventos Mesosféricos, Luminescência Atmosférica