



AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**Estudo do perfil atmosférico com as técnicas lidar e análise de filtros de
impactação no período de queimadas e relação com interações por
doenças respiratórias em Porto Nacional e estado do Tocantins (2008-
2016)**

Ana Paula Faria Moraes

**Dissertação apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de Mestre em
Ciências na Área de Tecnologia Nuclear –
Materiais.**

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Landulfo

**São Paulo
2017**

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
Autarquia Associada à Universidade de São Paulo

**Estudo do perfil atmosférico com as técnicas lidar e análise de filtros de
impactação no período de queimadas e relação com internações por
doenças respiratórias em Porto Nacional e estado do Tocantins (2008-
2016)**

Ana Paula Faria Moraes

**Dissertação apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de Mestre em
Ciências na Área de Tecnologia Nuclear –
Materiais.**

Orientador: Prof Dr Eduardo Landulfo

Versão Corrigida

**São Paulo
2017**

A Vivi, que me inspirou a preocupação com as queimadas. E a todas as Vidas que são afetadas em sua decorrência.

Agradecimentos

Ao Criador da Vida e de tudo o que há no Universo.

A meus pais que sempre me incentivaram e apoiaram.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Eduardo Landulfo pela confiança, paciência e por compartilhar seus conhecimentos.

A Profa. Dra. Maria de Fátima Andrade, pela disponibilidade de ajuda e pela utilização do Laboratório LAPAt-IAG, e Dra Rosana Altolfo também do LAPAt.

Ao Dr. Fábio Juliano Lopes pelo treinamento em lidar.

Ao Dr. Ronyere Olegário de Araújo, Dr. Raul Wuo e ao Thompson de Oliveira Turíbio pela ajuda com as análises estatísticas.

Ao ITPAC-PORTO pela disponibilização do convênio junto ao IPEN e a todos do IPEN pela oportunidade de integrar sua equipe, e em especial aos professores, pelo conhecimento transmitido.

Aos colegas do Hospital Regional de Porto Nacional e do ITPAC, pelo auxílio sempre que necessário e por compartilhar aprendizados, em especial Cléber, Márcio, Paulo Jordão, Weslany e Iêdella, pelo apoio com o armazenamento e manejo do lidar e Vandeleide com o fornecimento das planilhas de dados do HRPN.

Aos acadêmicos do ITPAC-Porto Nacional e aos meus pacientes que me inspiram a buscar e a transmitir o meu melhor e a tentar ser mais forte e humana.

Aos amigos especiais que tornam minha vida mais divertida e leve: Glennya, Morgana, Solane, Flavia, e outros.

A quem me proporcionou o amor em sua forma mais incondicional: Stella, Rakelli, Minnie, Mickey Júnior, Blanche, Julie, Leka, Dolly, Fefê, Tilili, Mel e outros que já estão no céu, e especialmente Mickey, fonte de esperança e perseverança.

Estudo do perfil atmosférico com as técnicas lidar e análise de filtros de impactação no período de queimadas e relação com internações por doenças respiratórias em Porto Nacional e estado do Tocantins (2008-2016).

ANA PAULA FARIA MORAES

RESUMO

A relação entre a poluição atmosférica e a saúde vem sendo estudada há muitos anos em grandes cidades ao redor de todo o mundo e recentemente em regiões de intensa queima de biomassa.

Porto Nacional é um município do estado do Tocantins que vem sofrendo expressivo crescimento em decorrência da expansão da cultura de grãos. Está incluso no bioma cerrado, onde é costume o uso do fogo para limpeza dos campos de agricultura.

O lidar é uma ferramenta que vem sendo usada para estudo do perfil óptico atmosférico mundialmente, não havendo registros de sua utilização no cerrado. Junto com o lidar, costuma-se também utilizar a análise de filtros de impactação de aerossóis para determinação da composição e concentração de material particulado, o qual está relacionado ao desenvolvimento de doenças respiratórias. Também não havia sido investigada a correlação das queimadas no Tocantins com a saúde respiratória da população.

Esse estudo visa analisar o perfil óptico e químico dos aerossóis provenientes das queimadas na região e correlacionar as internações por doenças respiratórias com o número de focos de incêndio no município de Porto Nacional e no estado do Tocantins.

Para isso, foram utilizados um sistema lidar móvel, dados dos sistemas MODIS e CALIPSO e filtros de impactação de aerossóis instalados em Porto Nacional, dados de queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e de saúde do banco de dados do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde.

Foram registradas com o uso do lidar camadas de aerossóis em agosto de 2015 a uma altitude de 2 a 3,5 km, com predomínio de poeira contaminada, resultado da mistura de poeira da crosta e produto de queimadas. A análise química dos aerossóis mostrou aumento de *black carbon* e óxidos de alumínio e silício em setembro/2013 e aumento de óxido de enxofre em dezembro de 2015.

Através das análises de modelos lineares generalizados e correlação de Pearson, não foi encontrada relação entre o número de focos de incêndio e as internações por doenças respiratórias, apesar da significância estatística dos dados colhidos ter sido confirmada pelo *stepwise*.

Sugere-se aprofundamento do estudo através da coleta direta de dados de saúde respiratória diários e de atendimento em pronto socorro.

Palavras-chave: lidar, queimadas, material particulado, cerrado, doenças respiratórias.

Study of atmospheric profile with lidar and analysis of impactation filters on the burning season and relation with hospitalizations for respiratory diseases in Porto Nacional and Tocantins State (2008-2016).

ANA PAULA FARIA MORAES

ABSTRACT

The relationship between air pollution and health has been studied for many years in big cities worldwide and in biomass burning regions more recently.

Porto Nacional is a city from Tocantins' state where the grain culture is promoting an expressive development. It is included in the *cerrado* biome (Brazilian savanna), where the use of fire to clean the agriculture fields is a custom.

Lidar is a tool that has been worldwide used to study the optical atmosphere profile, but there wasn't found registers of its use at *cerrado*. Along with lidar, it has also been used the analysis of aerosol impactation filters to determine the composition and concentration of particulate material, which is related to the development of respiratory diseases. The correlation between burnings and respiratory health also had not been investigated in Tocantins.

This study aims to analyse the optical and chemical profile of the burning aerosols at the region and to co-relate the respiratory diseases hospitalizations to the burning spots at Porto Nacional and Tocantins state.

For this, a mobile lidar system and aerosol impactation filters were installed in Porto Nacional. Data from MODIS and CALIPSO were also used. The burning data were extracted from the National Institute of Space Researches and the health data from the database of Unic System of Health TI.

Aerosol layers were registered by lidar at an altitude of 2-3.5 km, predominating polluted dust, resulting from a mix of crust dust and burning aerosol. The aerosol chemical analysis showed an increase of black carbon and aluminum and silicon oxides in September 2013 and an increase of sulfur oxide in December 2015.

It wasn't found relation between the burning spots and respiratory diseases hospitalizations, using generalized linear models, despite of the statistical significance of collected data be assured by stepwise analysis.

It is suggested the study deepening through of the daily and direct respiratory health data collection and from admissions instead of hospitalizations.

Key-words: lidar, particulate material, biomass burning, Brazilian savanna, respiratory diseases.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO.....	16
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1 Relação da Poluição Atmosférica com a Saúde Respiratória.....	18
2.2 A Queima de Biomassa e a Saúde Respiratória.....	19
2.3 As Queimadas no Cerrado e a Saúde na Região.....	22
2.4 Perfil Óptico Atmosférico em Regiões de Queimadas.....	22
2.5 A Utilização do Lidar no Estudo da Fumaça de Queimadas.....	24
3 REGIÃO DO ESTUDO.....	26
3.1 O Cerrado Brasileiro.....	26
3.2 O Estado do Tocantins.....	28
3.3 O Município de Porto Nacional.....	28
4 JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA.....	30
5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	32
5.1 A Técnica Lidar.....	32
5.1.1 Histórico da Descoberta e Uso do Lidar.....	33
5.1.2 Conformação Básica de um Sistema Lidar.....	35
5.1.2.1 Transmissor.....	36
5.1.2.2 Receptor.....	37
5.1.2.3 Detector.....	37
5.1.3 Princípios Físicos Básicos da Técnica Lidar.....	38
5.1.3.1 Espalhamento.....	38
5.1.3.1.1 Espalhamento Elástico.....	38

5.1.3.1.2 Espalhamento Raman.....	40
5.2 O Material Particulado Fino e sua Relação com a Saúde.....	43
6. OBJETIVOS.....	46
6.1 Geral.....	46
6.2 Específicos.....	46
7. METODOLOGIA.....	47
7.1 O Local da Pesquisa.....	47
7.2 Sistema Lidar Utilizado.....	47
7.3 Análise dos Dados Obtidos com o Lidar.....	50
7.3.1 LabVIEW.....	50
7.3.2 CALIPSO.....	51
7.3.3 MODIS.....	52
7.3.4 Giovanni.....	53
7.4 Instrumentos Utilizados para a Análise Química dos Aerossóis.....	55
7.4.1 Amostrador de Ar.....	55
7.4.2 Análise dos Filtros de Material Particulado.....	57
7.4.2.1 Análise Gravimétrica.....	58
7.4.2.2 Análise de Refletância.....	58
7.4.2.3 Análise Elementar por Fluorescência de Raio-X.....	59
7.4.2.4 Cromatografia Iônica.....	60
7.5 Dados de saúde.....	60
8. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
8.1 Análise do Perfil Óptico Atmosférico.....	62
8.2 Análise dos Filtros de Impactação de Aerossóis.....	72
8.3 Análise da Relação dos Focos de Queimada com a Internação por	76

Doenças Respiratórias.....	
8.3.1 Caracterização da População Estudada.....	76
8.3.1.1 Hospital Regional de Porto Nacional.....	76
8.3.1.2 Estado do Tocantins.....	80
8.3.2 Análise dos Dados de Internações.....	81
9. CONCLUSÕES.....	90
10. APÊNDICE A - Fisiopatologia das Alterações Respiratórias Provocadas por MP.....	92
11. APÊNDICE B - Imagens do CALIPSO para os dias de maior AOD em setembro de 2015.....	95
12. APÊNDICE C – Análise de Klett para os dias 06 e 12 de agosto de 2015.....	100
13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1 - Estrutura do Índice de Qualidade do Ar.....	45
TABELA 2 - Qualidade do Ar e Efeitos à Saúde.....	45
TABELA 3 - Especificações do Lidar Utilizado.....	49
TABELA 4 - Valores de MP _{2,5} e de BC para seis capitais brasileiras (µg/m ³).....	73
TABELA 5 - Sumário da Regressão de Stepwise para o estado do TO.....	87
TABELA 6- Agrupamento das Variáveis em Classes para a Análise dos Modelos Lineares Generalizados.....	88
TABELA 7- Coeficiente de Correlação de Pearson.....	88
TABELA 8- Sumário da Seleção de Stepwise para a cidade de PN.....	89

LISTA DE FIGURAS

		Página
FIGURA 1 -	Fumaça de queimada visualizada da zona urbana durante o pôr do sol em agosto de 2015.....	17
FIGURA 2 -	Espessura Óptica de Aerossóis para Porto Nacional em 1994.....	23
FIGURA 3 –	Localização do sistema lidar utilizado em Manaus..	24
FIGURA 4 –	O bioma cerrado.....	26
FIGURA 5 –	Formação típica da vegetação do cerrado.....	27
FIGURA 6-	Localização do Tocantins no Brasil.....	28
FIGURA 7 –	Localização de Porto Nacional.....	29
FIGURA 8 –	Campo de agricultura seco às margens da TO – 050, que liga Porto Nacional a Palmas.....	30
FIGURA 9 –	Esquema de configurações dos sistemas lidar.....	34
FIGURA 10 –	Diagrama ilustrativo de um sistema lidar genérico..	36
FIGURA 11 –	Representação esquemática do espalhamento Raman.....	41
FIGURA 12 –	ITPAC Porto Nacional.....	47
FIGURA 13 –	Sistema Lidar-Raman da Raymetrics utilizado na pesquisa.....	48
FIGURA 14 –	Foto do Lidar MSP II do IPEN durante realização de medidas no campus do ITPAC-Porto Nacional...	49
FIGURA 15 –	Componentes do gráfico cortina ou <i>quick view</i>	51
FIGURA 16 –	Plataforma Giovanni.....	53
FIGURA 17 –	Constelação de satélites observadores da NASA...	54
FIGURA 18 –	Demonstrativo de possibilidades do Giovanni.....	54

FIGURA 19 –	MiniVol TAS utilizado para coleta das amostras de material particulado fino.....	56
FIGURA 20 –	Componentes do MiniVol TAS.....	56
FIGURA 21 –	Balança METTLER (à esquerda) e deseletrizador dos filtros (à direita).....	58
FIGURA 22 –	Refletômetro “Smoke Stain Reflectometer – Model 43”, marca “Diffusion Sistem Ltda”.....	59
FIGURA 23 –	(a) Aparelho utilizado para quantificação elementar das amostras (Shimatzu Modelo Espectrômetro Rigaku, RIX 300); (b) disco onde as amostras são colocadas para quantificação elementar.....	59
FIGURA 24 –	Espectro típico obtido após dados serem lançado no programa específico WinQXAS (<i>Windows Quantitative X-ray Analysis</i>).....	60
FIGURA 25 –	Hospital Regional de Porto Nacional.....	61
FIGURA 26 –	Comparativo dos dados do ano corrente com os máximos, médios e mínimos de 2008 a 2015. Número de focos de queimadas no estado do TO. Fonte: INPE.....	62
FIGURA 27 –	Fumaça avistada da Avenida Beira Rio, próximo ao centro de Porto Nacional.....	62
FIGURA 28 –	Perfil óptico de aerossóis atmosféricos para o dia 06/08/2015.....	63
FIGURA 29 –	Perfil óptico de aerossóis atmosféricos para o dia 12/08/2015.....	63
FIGURA 30 –	Perfil óptico de aerossóis atmosféricos para o dia 13/08/2015.....	64
FIGURA 31 –	Perfil óptico de aerossóis atmosféricos para o dia 18/08/2015.....	64
FIGURA 32 –	Perfil óptico de aerossóis atmosféricos para o dia 19/08/2015.....	65
FIGURA 33 –	Trajeto do CALIPSO no dia 06/08/2016.....	65
FIGURA 34 –	Focos de queimadas detectados em Porto Nacional de 01 a 19/08/2015.....	66
FIGURA 35 –	Atenuação do retroespalhamento de acordo com a altitude x latitude e longitude (CALIPSO) para o dia 06/08/2015. No retângulo, região correspondente a Porto Nacional.....	66

FIGURA 36 –	Característica vertical do material espalhador (CALIPSO) para o dia 06/08/2015. No retângulo amarelo, região correspondente a Porto Nacional...	67
FIGURA 37–	Subtipo de aerossol (CALIPSO) para o dia 06/08/2015. No retângulo amarelo, região correspondente a Porto Nacional.....	67
FIGURA 38–	Trajeto do CALIPSO no dia 13/08/2016.....	68
FIGURA 39–	Atenuação do retroespalhamento de acordo com a altitude x latitude e longitude (CALIPSO) para o dia 13/08/2015. No retângulo, região correspondente a Porto Nacional.....	68
FIGURA 40-	Característica vertical do material espalhador (CALIPSO) para o dia 13/08/2015. No retângulo amarelo, região correspondente a Porto Nacional...	69
FIGURA 41-	Subtipo de aerossol (CALIPSO) para o dia 13/08/2015. No retângulo amarelo, região correspondente a Porto Nacional.....	69
FIGURA 42-	Espessura óptica de aerossóis (GIOVANNI).....	70
FIGURA 43-	AOD mensal para a região de Porto Nacional (GIOVANNI).....	70
FIGURA 44-	AOD diária para a região de Porto Nacional em agosto de 2015.....	71
FIGURA 45-	AOD diária para os meses de agosto e setembro de 2015.....	72
FIGURA 46-	Concentração de Material Particulado e Black Carbon para os meses de Setembro/2013 (a) e Dezembro/2015 (b).....	72
FIGURA 47-	Focos de queimadas em TO (azul), MP _{2,5} (vermelho) e BC (verde) para Setembro/2013.....	74
FIGURA 48-	Focos de queimadas em PN (azul), MP _{2,5} (vermelho) e BC (verde) para Setembro/2013.....	75
FIGURA 49-	Composição das principais formas oxidadas encontradas na análise do material particulado para os meses de setembro/2013 (a) e dezembro/2015 (b) (médias para os períodos).....	75

FIGURA 50-	Distribuição da população estudada por sexo em Porto Nacional de 2008 a 2016.....	76
FIGURA 51-	Distribuição da população estudada por raça em Porto Nacional de 2008 a 2016.....	77
FIGURA 52-	Distribuição da população estudada por faixa etária em Porto Nacional de 2008 a 2016.....	77
FIGURA 53-	Distribuição da população estudada por diagnóstico em Porto Nacional de 2008 a 2016.....	78
FIGURA 54-	Regionais de saúde do Estado do Tocantins.....	79
FIGURA 55-	Distribuição da população estudada por região em Porto Nacional de 2008 a 2016.....	79
FIGURA 56-	Distribuição da população estudada em Porto Nacional por município de proveniência de 2008 a 2016.....	80
FIGURA 57-	Distribuição da população estudada em Tocantins por sexo de 2008 a 2016.....	81
FIGURA 58-	Distribuição da população estudada em Tocantins por raça de 2008 a 2016.....	81
FIGURA 59-	Distribuição da população estudada em Tocantins por faixa etária de 2008 a 2016.....	82
FIGURA 60-	Distribuição da população estudada por diagnóstico em Tocantins de 2008 a 2016.....	83
FIGURA 61-	Distribuição da população estudada por região em Tocantins de 2008 a 2016.....	83
FIGURA 62-	Distribuição da população estudada por município da região Amor Perfeito em Tocantins de 2008 a 2016.....	84
FIGURA 63-	Curvas de: umidade relativa do ar (verde), número de queimadas em PN (azul) e internações por doenças respiratórias (vermelho) em Porto Nacional de 2008 a 2016.....	84
FIGURA 64-	Curvas de: umidade relativa do ar (laranja), número de queimadas (azul) e internações por doenças respiratórias (vermelho) em Tocantins de 2008 a 2016.....	85
FIGURA 65-	Curvas de: umidade relativa do ar (laranja), número de queimadas (azul) e óbitos por doenças	86

respiratórias (verde) em Tocantins de 2008 a 2016...

FIGURA 66-	Curvas de: umidade relativa do ar (laranja), número de queimadas (azul) e taxa de mortalidade em maiores de 65 anos por doenças respiratórias (rosa) em Tocantins de 2008 a 2016.....	86
FIGURA 67-	Internações anuais por doenças respiratórias e número de focos anuais no Tocantins de 2008 a 2015.....	87
FIGURA 1A-	Alvéolos normais.....	92
FIGURA 2A-	Alvéolos com infiltrado inflamatório. As setas mostram células inflamatórias, ausentes no pulmão normal.....	93
FIGURA 1B-	Trajeto do CALIPSO no dia 14/09/2015.....	95
FIGURA 2B-	Atenuação do retroespalhamento de acordo com a altitude x latitude e longitude (CALIPSO) para o dia 14/09/2015. No retângulo amarelo, região correspondente a Porto Nacional.....	95
FIGURA 3B-	Característica vertical do material espalhador (CALIPSO) para o dia 14/09/2015. No retângulo amarelo, região correspondente a Porto Nacional.....	96
FIGURA 4B-	Subtipo de aerossol (CALIPSO) para o dia 14/09//2015. No retângulo amarelo, região correspondente a Porto Nacional.....	96
FIGURA 5B-	Trajeto do CALIPSO no dia 21/09/2015.....	96
FIGURA 6B-	Atenuação do retroespalhamento de acordo com a altitude x latitude e longitude (CALIPSO) para o dia 21/09/2015. No retângulo amarelo, região correspondente a Porto Nacional.....	97
FIGURA 7B-	Característica vertical do material espalhador (CALIPSO) para o dia 21/09/2015. No retângulo amarelo, região correspondente a Porto Nacional.....	97
FIGURA 8B-	Subtipo de aerossol (CALIPSO) para o dia 21/09//2015. No retângulo amarelo, região correspondente a Porto Nacional.....	97
FIGURA 9B-	Trajeto do CALIPSO no dia 28/09/2015.....	98

FIGURA 10B-	Atenuação do retroespalhamento de acordo com a altitude x latitude e longitude (CALIPSO) para o dia 28/09/2015. No retângulo amarelo, região correspondente a Porto Nacional.....	98
FIGURA 11B-	Característica vertical do material espalhador (CALIPSO) para o dia 28/09/2015. No retângulo amarelo, região correspondente a Porto Nacional.....	98
FIGURA 12B-	Subtipo de aerossol (CALIPSO) para o dia 28/09//2015. No retângulo amarelo, região correspondente a Porto Nacional.....	99
FIGURA 1C	Perfis médios de retroespalhamento, extinção e perfil total de retroespalhamento para 06 de agosto de 2015, 19:13 a 19:43 UTC.....	100
FIGURA 2C	Perfis médios de retroespalhamento, extinção e perfil total de retroespalhamento para 06 de agosto de 2015, 19:45 a 20:25 UTC.....	101
FIGURA 3C	Perfis médios de retroespalhamento, extinção e perfil total de retroespalhamento para 12 de agosto de 2015, 18:35 a 19:05 UTC.....	102
FIGURA 4C	Perfis médios de retroespalhamento, extinção e perfil total de retroespalhamento para 12 de agosto de 2015, 19:06 a 19:36 UTC.....	103
FIGURA 5C	Perfis médios de retroespalhamento, extinção e perfil total de retroespalhamento para 12 de agosto de 2015, 19:37 a 20:16 UTC.....	104

1. INTRODUÇÃO

Há muito tempo é observado que a poluição atmosférica proveniente de diversas fontes, naturais ou antropogênicas, interfere na qualidade de vida e saúde da população (RIBEIRO e ASSUNÇÃO, 2012).

A investigação sobre o impacto da poluição atmosférica na saúde tem sido objeto de estudo na literatura em várias regiões do Brasil e internacionalmente (FRANCINE *et al*, 2000; MARTINS *et al*, 2002; GAUDERMAN *et al*, 2004; POPE III, 2004; POPE *et al*, 2009; DING *et al*, 2015; ARBEX *et al*, 2004; MASCARENHAS *et al*, 2005; ARBEX *et al*, 2006; LOPES e RIBEIRO, 2006; CASTRO *et al*, 2009; CARMO *et al*, 2010; IGNOTTI *et al*, 2010; OLIVEIRA *et al*, 2011; ANDRADE FILHO *et al*, 2013; SILVA *et al*, 2013; PARAISO e GOUVEIA, 2015).

Porto Nacional encontra-se na última grande fronteira agrícola brasileira, o Matopiba (acrônimo formado pela união das iniciais dos estados que a compõem: Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia). Esta região que vem passando por intenso crescimento econômico, devido a expansão da atividade agrícola de grãos e fibras, com destaque para a soja. Nos últimos anos, a área de plantio de soja cresceu anualmente em torno de 25% no Tocantins, intensificando os processos de queimadas e trazendo a fumaça para mais próximo dos habitantes das cidades, podendo interferir em sua saúde (PORTAL BRASIL, GOVERNO FEDERAL, 2015).

É comum ouvir-se queixas de tosse, falta de ar e aumento da procura de atendimentos de saúde no período de seca e queimadas, principalmente durante o mês de setembro. Nesta época, é possível em alguns dias ser observada de diversos pontos da cidade uma espessa camada de fumaça, que chama a atenção por contrastar com o céu claro e sem nuvens de outros dias (figura 1).



Figura 1: Fumaça de queimada visualizada da zona urbana durante o pôr do sol em agosto de 2015 (Eduardo Landulfo).

O lidar (*light detection and ranging*), desde sua criação, tem como principal aplicação os estudos atmosféricos, sendo utilizado ao redor de todo o planeta. No Brasil, os estudos das propriedades atmosféricas com a utilização desta ferramenta concentram-se na região metropolitana e interior de São Paulo, em regiões de plantio de cana-de-açúcar (MARIANO *et al*, 2008; LANDULFO *et al*, 2010; STEFFENS *et al*, 2011; HELD *et al*, 2011; MARIANO *et al*, 2011; LOPES *et al*, 2011). Mais recentemente, o lidar tem sido utilizado também em outros estados graças a sistemas móveis, que podem ser transportados para regiões remotas durante campanhas de coleta de dados (LANDULFO *et al*, 2016).

Em Tocantins, a monitorização atmosférica com o uso local do lidar ainda não havia sido executada até a realização deste trabalho.

O estudo do perfil atmosférico da região e a relação com doenças respiratórias pode contribuir para a melhoria da qualidade de vida dos habitantes bem como servir de base para o planejamento de ações de prevenção em saúde e de desenvolvimento sustentável.

Associado ao estudo do perfil óptico com o uso do lidar, é importante a análise química de amostras de ar, para quantificação e caracterização dos componentes dos aerossóis, especialmente devido a investigação do impacto na saúde.

2. REVISÃO DE LITERATURA.

2.1 - Relação da Poluição Atmosférica com a Saúde Respiratória

A influência da poluição atmosférica na saúde respiratória foi investigada em diversos estudos.

Nos Estados Unidos, FRANCINE e colaboradores (2000) encontraram associação entre a quantidade em massa de material particulado fino (partículas menores que 2,5 nm de diâmetro- $MP_{2,5}$), proveniente de combustão, e a mortalidade diária em seis regiões urbanas. Também foi observado que o aumento de matéria fina proveniente da crosta não se relacionava aos índices de mortalidade e pareciam mesmo ter um efeito protetor, embora o mesmo não fosse significativo. Através da análise combinada para os diversos elementos químicos, foi encontrado que o aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $MP_{2,5}$ de fontes automotivas ocasionava o aumento de 3,4% na mortalidade diária, com um intervalo de confiança de 95% entre 1,7 a 5,2%.

No Brasil, os efeitos causados pela poluição atmosférica no número de atendimentos diários por pneumonia e por gripe em idosos foi investigado em um hospital-escola de referência na cidade de São Paulo, entre 1996 e 1998. Verificou-se que O_3 e SO_2 , mesmo quando dentro dos padrões permitidos para a qualidade do ar de acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) na época, estavam diretamente relacionados aos atendimentos, independente das variáveis de controle. O acréscimo foi de 8,07% e 14,51%, respectivamente, para as concentrações das duas substâncias (MARTINS *et al*, 2002).

Na Califórnia, dados de 1759 crianças até dez anos recrutadas em escolas foram utilizados em estudo prospectivo com o objetivo de identificar os efeitos da poluição do ar no desenvolvimento pulmonar dos 10 aos 18 anos de idade. Encontrou-se um déficit no crescimento dos valores de FEV_1 (volume expiratório forçado no primeiro segundo) e de outros parâmetros expirométricos associado à exposição ao dióxido de nitrogênio, ao vapor ácido, ao $MP_{2,5}$ e ao carbono elementar. Os déficits observados aos 18 anos de idade foram clinicamente e estatisticamente maiores nas crianças mais expostas aos

poluentes, sendo a relação diretamente proporcional ao tempo de exposição (GAUDERMAN *et al*, 2004).

Em 2004, Pope III, nos Estados Unidos, fez uma análise sobre as evidências que haviam sido encontradas até aquele momento sobre o prejuízo à saúde causado pela poluição atmosférica. Foi enfatizado que, apesar de haver outros vários fatores responsáveis pelas doenças respiratórias e de os resultados a respeito da poluição não serem conclusivos, a poluição é um fator controlável, sugerindo que mais atenção deveria ser dada ao assunto pela comunidade científica e pelas autoridades, através do reajuste dos padrões aceitáveis de poluição para níveis mais baixos.

Em 2009, Pope III fez outra análise, na qual demonstra o impacto da redução dos níveis de poluição na expectativa de vida nos Estados Unidos. Cinquenta e uma áreas metropolitanas tiveram seus dados compilados e, após ajuste para variações de padrões socioeconômicos, demográficos e prevalência de fumo, a redução da poluição contribuiu em 15% para o aumento na expectativa de vida observada nestas áreas (em torno de $0,61 \pm 0,20$ anos, $p= 0,004$).

2.2 - A Queima de Biomassa e a Saúde Respiratória.

Estudos mais recentes, em âmbito nacional e internacional, foram realizados até o momento com o intuito de verificar a relação entre a composição do ar e a saúde respiratória da população em regiões de queima de biomassa. Anteriormente, estes estudos estavam concentrados em regiões urbanas, relacionando-se ao produto da queima de combustíveis fósseis e componentes industriais.

Em seu artigo de revisão “Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde”, Arbex e colaboradores (2004) introduziram a problemática da grande fonte de poluição não-urbana, que acomete mais os países em desenvolvimento, expondo principalmente mulheres e crianças, que passam mais tempo dentro de casa, discutindo também as consequências da queima da palha da cana-de-açúcar.

Na China, um artigo de revisão foi escrito alertando para a necessidade de melhorar as condições de vida domésticas e laborativas da população que utilizam carvão como combustível, em países em desenvolvimento, devido a maior incidência de cânceres do trato respiratório em pessoas expostas à fumaça proveniente da queima de carvão e outros combustíveis sólidos, novamente alertando para a maior susceptibilidade de mulheres e crianças (DING *et al*, 2015).

Em relação à exposição fora do ambiente doméstico, um estudo ecológico relata a influência da poluição atmosférica oriunda da queima de biomassa nos atendimentos por doença respiratória em Rio Branco, AC, no mês de setembro, quando se observou uma elevada concentração de fumaça na cidade e mostrou-se uma maior incidência de crises de asma em crianças menores de 10 anos de idade no período, proporcionalmente ao aumento da concentração do MP_{2,5} na região (MASCARENHAS *et al*, 2005).

Arbex e colaboradores (2006) preocuparam-se novamente com a poluição originada pelas queimadas, desta vez procurando estabelecer relação entre as admissões por asma em uma área de plantação de cana de açúcar em Araraquara, SP, durante o período entre março de 2003 e julho de 2004. Foi encontrado aumento do número de admissões por asma iniciando um dia após o aumento das partículas suspensas, e perdurando até o quinto dia, numa porcentagem de 11,6%, com intervalo de confiança de 95% para 5,4 a 17,7.

Executou-se também o mapeamento das internações hospitalares por problemas respiratórios associados a queima da palha de cana-de-açúcar no estado de São Paulo, observando maior incidência de doenças respiratórias em regiões de queimadas (LOPES e RIBEIRO, 2006).

No estado de Rondônia, usando-se taxas de mortalidade registradas no Sistema Único de Saúde (SUS) entre os anos de 1998 e 2005, e registros sobre focos de queimadas do banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), demonstrou-se o impacto das queimadas sobre a mortalidade de idosos (CASTRO *et al*, 2009).

Também foi encontrada relação entre o MP proveniente das queimadas na região sul da Amazônia, no município de Alta Floresta, MT, e efeitos adversos à saúde respiratória de crianças, obtendo-se resultados de que um aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ estava associado ao incremento de 2,9 e 2,6% nos atendimentos de crianças no sexto e sétimo dia após a exposição, respectivamente (CARMO *et al*, 2010).

Na análise do impacto na saúde humana pela exposição ao MP das queimadas na região amazônica, incluindo dados do Tocantins, foi encontrada associação entre a percentagem anual de horas de $\text{MP}_{2,5}$ acima de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e as taxas de hospitalização por doenças respiratórias em crianças, idosos e grupos etários intermediários, não interferindo nas taxas de hospitalização por parto. Porém neste artigo não foi especificada a origem da coleta dos dados das hospitalizações (IGNOTTI *et al*, 2010).

Através de revisão sistemática sobre as características físicas e químicas dos poluentes atmosféricos de queimadas e combustíveis fósseis e efeitos na saúde no Brasil encontrou-se que o $\text{MP}_{2,5}$ era formado predominantemente por material orgânico, sendo apenas 20% inorgânicos e que os efeitos na saúde de crianças foram mais importantes que no restante da população (OLIVEIRA *et al*, 2011).

Em outra análise de dados do SUS em Manaus entre os anos de 2002 e 2009 e níveis de $\text{MP}_{2,5}$ estimados pelo MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), verificou-se que condições climáticas, em especial a umidade, estiveram mais relacionadas às hospitalizações por doenças respiratórias em crianças do que o MP, embora a participação deste ainda fosse considerável (ANDRADE FILHO *et al*, 2013).

Em Cuiabá-MT, dados de estimativas do INPE sobre material particulado de 2005 submetidos a Regressão de Poisson por modelos aditivos generalizados levaram ao achado de que um aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração de $\text{MP}_{2,5}$ aumentava em 9,1, 9,2 e 12,1% nas internações de crianças menores de 5 anos nos dias 1, 2 e 5 seguintes a exposição (SILVA *et al*, 2013).

E finalmente, em análise de dados relativos ao estado de São Paulo em 2010 observou-se o aumento das internações por doenças respiratórias em crianças abaixo de 5 anos relacionado ao aumento do número de focos de queima prévia da palha de cana-de-açúcar (PARAISO e GOUVEIA, 2015).

Outros trabalhos, incluindo Europa (HASSANI *et al*, 2014, OSTRO *et al*, 2015), Nepal (KURMI *et al*, 2014), México (SCHILMANN *et al*, 2015) e Estados Unidos (SIGSGAARD *et al*, 2015), mostram que o impacto das queimadas, apesar de maior dos países em desenvolvimento, atinge também regiões de países desenvolvidos.

Assim, é indiscutível que o assunto tem gerado grande repercussão científica e merece mais investigação também em outras regiões sujeitas a queimadas.

2.3 - As Queimadas no Cerrado e a Saúde na Região

As pesquisas envolvendo o impacto na saúde da fumaça oriunda da queima de biomassa foram principalmente realizadas em países em desenvolvimento, onde há mais regiões rurais, em que é importante a queimada de florestas, do que regiões industrializadas, em que chama a atenção a queima de combustíveis fósseis. No Brasil, eles concentram-se na região da Floresta Amazônica (MASCARENHAS *et al* 2005; CASTRO *et al*, 2009; CARMO *et al*, 2010; IGNOTTI *et al*, 2010; ANDRADE FILHO *et al*, 2013).

Assim, verificamos que no Brasil investigações a respeito do impacto da composição do ar na saúde respiratória da população, concentram-se em dois tipos de regiões. Primeiro, as grandes cidades, devido a poluição do ar em grandes centros, e segundo, a região Amazônica, desde que esta passou a ser valorizada mundialmente devido a sua rica biodiversidade. Porém, encontra-se na literatura poucas citações sobre áreas de cerrado, além de nesta região não haver registro de análise do perfil atmosférico utilizando o lidar.

2.4 - Perfil Óptico Atmosférico em Regiões de Queimadas

Algumas investigações foram conduzidas na Região Amazônica a respeito do perfil atmosférico, tanto localmente como parte de projetos maiores.

Cento e setenta amostras de ar colhidas de Rondônia e Brasília, durante agosto e setembro de 1992, foram submetidas a cromatografia iônica para caracterização dos componentes iônicos de aerossóis oriundos da queima de biomassa. Os íons dominantes na fração fina foram potássio, cloreto e sulfato. Para a fração grossa foram cálcio e acetato (ALLEN E MIGUEL, 1995).

Nos anos 90, um grande projeto da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), denominado TRACE A (*Transport and Atmospheric Chemistry Near the Equator-Atlantic*), foi conduzido, constituindo em sobrevoo a região equatorial atlântica com uma aeronave a bordo da qual situava-se um radiômetro. Foi observado o aumento da espessura da camada de aerossóis nos meses em que ocorre o pico de queimadas, agosto e setembro. Um dos pontos de medida foi Porto Nacional - TO. Também foi verificado que o predomínio das queimadas se deu em Mato Grosso, Pará e Tocantins, sendo para este último o mês de setembro o de maior ocorrência (PEREIRA *et al*, 1996).

Ainda como parte do TRACE A, a equipe brasileira do projeto publicou um artigo utilizando dados de 1992 a 1994, no qual foi analisada a espessura óptica da camada de aerossóis (*AOD-aerosol optical depth*) versus tempo nos vários locais estudados. Em Porto Nacional, verificou-se um aumento considerável da AOD no mês de setembro de 1994 (figura 2) (HOLBEN *et al*, 1996).

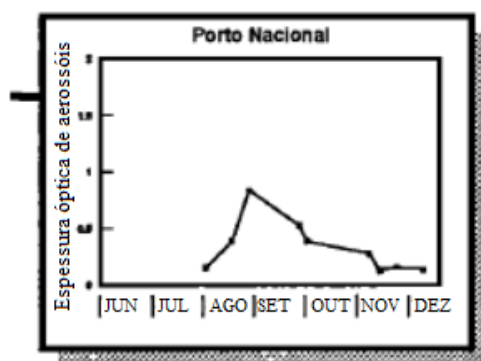


Figura 2: Espessura Óptica de Aerossóis para Porto Nacional em 1994 (HOLDEN *et al*, 1996). No eixo horizontal tem-se os meses para o ano de 1994 e no eixo vertical a espessura óptica de aerossóis. O gráfico mostra o pico de espessura óptica coincidindo com o mês em que ocorre o maior número de queimadas.

Um sistema lidar foi utilizado para medir os componentes aerossóis nas épocas úmida e seca em uma região 60 km acima de Manaus e que difere amplamente das condições meteorológicas do cerrado (figura 3) (BAARS *et al*, 2012).



Figura 3: Localização do Sistema lidar utilizado em Manaus (BAARS *et al*, 2012).

Este foi o ponto mais próximo a Porto Nacional encontrado na literatura em que o lidar foi utilizado.

2.5 - A Utilização do Lidar no Estudo da Fumaça de Queimadas

Os sistemas lidar constituem uma ferramenta fundamental para o estudo de aerossóis e dos fenômenos atmosféricos nos quais estão envolvidos, sendo usados mundialmente com esta finalidade (PAPPALARDO, 2010).

No Brasil, a equipe de estudos em lidar do CLA-IPEN (Centro de Laser e Aplicações – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares) tem sido responsável pela investigação de efeitos das queimadas na atmosfera no estado de São Paulo desde 2000, concluindo investigações em Cubatão, São Paulo e Rio Claro (STEFFENS *et al*, 2009; HELD *et al* 2011; MARIANO *et al*, 2011; DE MIRANDA *et al*, 2017).

Em Cubatão, em 2008, o uso de técnicas baseadas em lidar foi avaliado para a possível utilização na avaliação da qualidade do ar, identificando as potenciais espécies químicas emitidas por um site de refinaria de petróleo e

verificando que técnicas seriam mais eficientes na detecção e quantificação das emissões atmosféricas específicas (STEFFENS *et al*, 2009).

Em julho de 2008, o lidar de Retroespalhamento Elástico localizado no IPEN identificou camadas de aerossóis em diversas alturas e intensidade sobre a cidade de São Paulo. Através do uso de ferramentas de radar situadas em regiões interioranas de queima de cana-de-açúcar e estudo de trajetórias foi possível relacionar a fumaça visualizada na cidade àquela proveniente da região das queimadas (HELD *et al* 2011).

O lidar foi utilizado na região da queima de palha de cana-de-açúcar em Rio Claro, em 2009. O principal objetivo daquela campanha era observar a carga de aerossóis devido à fumaça proveniente das queimadas nas regiões de plantações de cana de açúcar. E também estudar as condições de dispersão dos poluentes e a evolução diária da camada limite planetária e camada mista. (MARIANO *et al*, 2011).

Em 2012, o lidar foi uma das ferramentas utilizadas para verificar a contribuição da queima de biomassa para a concentração de partículas finas na cidade de São Paulo, após já ter verificado que além da poluição produzida localmente há o transporte de aerossóis vindo do norte e centro-oeste do Brasil (DE MIRANDA *et al*, 2017).

Assim, esta dissertação de mestrado faz parte do início das investigações atmosféricas do cerrado brasileiro pela equipe de lidar do CLA-IPEN, expandindo sua área de atuação, que primeiro se concentrou na cidade de São Paulo, depois no estado e na fase atual abrange outras unidades federativas. Estes projetos têm ocorrido em parceria com o LAPAt - IAG – USP (Laboratório de Análise de Processos Atmosféricos do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo), para complementação dos dados atmosféricos através da análise química da composição de amostras do ar.

3. REGIÃO DO ESTUDO

3.1 - O Cerrado Brasileiro

O cerrado é o segundo maior bioma brasileiro e da América do Sul, atrás apenas da Floresta Amazônica. Abrangia originalmente uma área de pouco mais de 2 milhões de quilômetros quadrados e cobre 22% do território do país, constituindo ainda 87% do estado do Tocantins. Sua extensão inclui os estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná, São Paulo e Distrito Federal. Há pequenas parcelas ainda no Amapá, Roraima, Amazonas e Pará. Atualmente estima-se que sua área original tenha sido reduzida a aproximadamente a metade, devido a atividades como queimadas e abertura de pastos (MMA, 2015).



Figura 4: O bioma cerrado (WWF, 2015). Área em laranja.

O cerrado é um tipo de floresta de savanas, as quais estão espalhadas por outros continentes, a maior parte na África. Savanas possuem como característica a presença de uma camada contínua de vegetação herbácea, com arbustos e árvores de alturas variadas e descontínuas, com galhos retorcidos (figura 5) (FALEIRO e FARIAS NETO, 2008).



Figura 5: Formação típica da vegetação do cerrado (UnB, 2015).

Por isso, em publicações internacionais é comum encontrarmos a denominação de *brazilian savanna* (savana brasileira) para o cerrado.

O relevo da região do cerrado tocantinense possui pouca variabilidade, constituindo-se de amplos planaltos e chapadões. O clima é classificado como tropical semiúmido, havendo duas estações bem definidas: a chuvosa, que vai de outubro a abril, e a seca, de maio a setembro. Nos últimos anos, os períodos de ocorrência de chuvas vem se alterando, fazendo com que esta definição precisa das estações venha se perdendo (GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS, 2015).

As nascentes de água do cerrado englobam as de três das principais bacias hidrográficas da América do Sul: Amazônica/Tocantins, do São Francisco e Prata. Seu potencial hidrográfico influencia todo o território nacional, como o regime de cheias e vazantes do Pantanal e o abastecimento de água na região Sul e Sudeste (MMA, 2015)

Por ser constituído de arbustos e árvores baixas e retorcidas, sem a densidade e exuberância de biomas como a Amazônia, provocou-se a propagação da ideia de a formação vegetal do cerrado ser uma flora pobre e sem importância. No entanto, tal conceito é errôneo, já que o cerrado brasileiro é a savana mais rica do mundo em termos de biodiversidade e possui abundância de espécies endêmicas com mais de 11 mil plantas nativas

catalogadas. Em relação a fauna, estão catalogadas perto de duzentas espécies de mamíferos e mais de oitocentas espécies de aves, além de 1200 espécies de peixes, 180 de répteis e 150 de anfíbios. Abriga ainda 13% das borboletas, 35% das abelhas e 23% dos cupins da região entre os trópicos. Vários destes animais existem apenas neste bioma (MMA, 2015).

3.2 - O Estado do Tocantins

O estado do Tocantins é o mais novo estado brasileiro, criado pela Assembleia Nacional Constituinte, em 1988, pela separação do Norte de Goiás. Pertencendo à Região Norte, abriga o centro geográfico do Brasil e possui limites com as regiões Norte (Pará), Nordeste (Bahia e Piauí), e Centro-Oeste (Mato Grosso e Goiás) (GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS, 2015).

Possui uma área de aproximadamente 277mil km², ultrapassando recentemente os 1,5 milhões de habitantes, distribuídos em 139 municípios. Sua área representa 3,3% do território nacional e 7,2% da Região Norte (IBGE, 2015).

A maior parte de sua área situa-se na região do cerrado brasileiro (87%), sendo o restante coberto pela floresta de transição amazônica (MMA, 2015).



Figura 6: Localização do Tocantins no Brasil (Wikimedia Commons, 2016).

3.3- O Município de Porto Nacional

Porto Nacional é um município tocantinense, localizado na mesorregião ocidental do Estado do Tocantins situado a sessenta e quatro quilômetros da

capital Palmas. A cidade possui 4.449,9 km² em extensão territorial e 52 mil habitantes (IBGE, 2015).

Sua fundação ocorreu no início do século XIX, antes do estado do Tocantins, ainda como parte do antigo norte de Goiás. Seu desenvolvimento ocorreu atrelado ao rio Tocantins. Todo o transporte de mercadorias de Porto Nacional a Belém do Pará foi realizado ao longo do rio até a construção na década de 1970 do Distrito Federal e da BR-153, a Belém-Brasília. Após isso, o transporte foi transferido para via terrestre (GODINHO, 1988).



Figura 7: Localização de Porto Nacional (Raphael Lorenzeto de Abreu, 2006).

A atividade econômica predominante no estado do Tocantins e em Porto Nacional é a agropecuária, com a pecuária intensiva e as culturas de ciclo curto e longo, principalmente a soja (PREFEITURA DE PORTO NACIONAL, 2015).

A cidade, como já citado, é parte da última fronteira agrícola do Brasil, o Matopiba. Esta vem sofrendo aumento expressivo na produção de algodão em pluma, arroz, soja e milho, nos últimos anos (GOVERNO FEDERAL, 2015).

4. JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA

Em decorrência do aumento da produção agrícola, Porto Nacional foi classificada pelo IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada), em 2015, entre as 10 melhores cidades brasileiras na geração de emprego, sendo a primeira quando consideradas as de pequeno porte.

No entanto, para a expansão da atividade agrícola na região, grandes áreas de cerrado foram desmatadas e limpas (figura 8). As queimadas são ocorrência comum no cerrado e podem ser naturais ou provocadas pelo homem. Elas são utilizadas como uma maneira barata e eficiente de eliminação da palha seca e renovação dos pastos. Não há como se eliminar a “cultura das queimadas” da região do cerrado. O fogo pode ser até útil para a germinação de algumas sementes que apenas têm sua dormência quebrada através da exposição a altas temperaturas (FRANÇA, 2007).



Figura 8: Campo de agricultura seco às margens da TO – 050, que liga Porto Nacional a Palmas.

Mas, a inexistência de um manejo adequado das queimadas, gera impacto ambiental importante, alterando a biodiversidade e causando a extinção de espécies endêmicas do cerrado e impacto na qualidade de vida e saúde da população.

Relata-se um aumento da procura dos serviços de saúde locais durante a estação de queimadas, principalmente setembro, por causas respiratórias. Moradores de Porto Nacional queixam-se de irritações oculares e respiratórias durante o período de maior ocorrência de queimadas, que também é o período de seca, quando a umidade relativa do ar chega a menos de 30% (INMET, 2016).

Assim, faz-se necessária a análise dos dados de saúde para a confirmação desta relação, ainda pouco estudada na região.

É provável que o esquecimento da comunidade científica em relação a região do cerrado esteja ligado à localização geográfica mais interiorana e às raízes históricas. As lutas separatistas do norte de Goiás para se tornar o estado independente do Tocantins foram motivadas pela desatenção a que o local era submetido, principalmente por se encontrar a uma grande distância do centro administrativo daquele estado, Goiânia, que ficava ao Sul. O Tocantins tornou-se independente em 1988, porém ainda há muito o que desenvolver e é um dos territórios pouco estudados e explorados, quando comparado ao restante do país (GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS, 2015).

Com a recente abertura de faculdade de medicina na cidade de Porto Nacional, em 2008, houve o aumento do interesse na realização de pesquisas sobre a saúde da região.

5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

5.1 - A Técnica Lidar

Para a determinação do perfil atmosférico foi utilizada a técnica lidar, (*light detection and ranging*, que em uma tradução livre seria detecção de luz e medidas de distância) (MEASURES, 1984; LIOU, 2002; WEITKAMP, 2005).

O lidar é uma técnica de sensoriamento remoto baseada na emissão de um feixe de radiação eletromagnética com a finalidade de obter medidas a distância através da captação do sinal espalhado que retorna em direção ao sistema, a radiação retroespalhada. A técnica é a mesma utilizada pelo radar, porém com a utilização de diferentes comprimentos de onda. Enquanto o radar opera com comprimentos de onda na faixa sonora, o lidar utiliza radiação luminosa. Nos sistemas modernos, a luz polarizada ou laser é a utilizada (COSTA, 2011).

O comprimento de onda utilizado é definido pelas medidas que se deseja obter e pode variar dentro de toda a faixa espectral eletromagnética. Aparelhos de lidar e radar com diferentes comprimentos de onda formam a gama disponível de aparelhos.

Apesar de poder ser utilizado para inúmeras finalidades científicas, como medidas de profundidade oceânicas, aplicações militares, na engenharia, no mapeamento de florestas e na biologia, como para localização de ninhos de aranhas ou tartarugas, entre outras que estão continuamente sendo descobertas, seu uso principal tem sido a medida dos perfis de propriedades atmosféricas.

Para que isso possa ser feito, conta-se com as propriedades de interação, espalhamento e absorção da luz com os constituintes da atmosfera e aerossóis em suspensão. Aerossóis são partículas líquidas ou sólidas que encontram-se em suspensão num meio gasoso, no caso o ar. De acordo com as especificidades do lidar, pode-se ter medidas indiretas de propriedades de aerossóis e nuvens, temperatura, deslocamento de parcelas de ar e concentração de substâncias.

5.1.1 - Histórico da Descoberta e Uso do Lidar

Synge (1930), matemático e físico irlandês de personalidade incomum, propôs a utilização de um sistema de emissão e captação do espalhamento da luz para a determinação da densidade atmosférica. Em seu projeto, ele sugeriu a utilização de um holofote como transmissor e um grande telescópio como receptor, em uma conformação biestática, em que a fonte e o receptor estão separados. No caso de Synge esta distância seria de vários quilômetros. Através do escaneamento do campo de visão do receptor ao longo do feixe do holofote e da utilização de princípios geométricos, poderia ser obtido o perfil de espalhamento nas diferentes alturas. Para o aumento da sensibilidade do sistema, Synge sugeriu o uso de centenas de holofotes iluminando a mesma região do céu. A luz seria detectada usando um sistema fotoelétrico.

Porém, o primeiro a obter resultados com a técnica sugerida por Synge foi Duclaux, que, em 1936, fez o registro fotográfico da luz espalhada proveniente de um holofote. O registro foi feito a 2,4 km de distância da fonte usando uma lente $f/1,5$ com um tempo de exposição de uma hora e meia. A altura de visão do feixe na fotografia foi de 3,4 km (TUVE *et al*, 1935).

Hulbert (1937), conseguiu ampliar a altitude atingida, obtendo um registro fotográfico a 28 km de altura. Ele também obteve o perfil de densidade atmosférica através de cálculos com as medidas obtidas.

Os lidars modernos são monostáticos, ou seja, têm o transmissor e o receptor no mesmo local. Os lidars monostáticos podem ainda ser subdivididos em coaxiais e biaxiais. Nos coaxiais, a fonte de laser e o campo de visão do receptor estão dispostos no mesmo eixo. Nos biaxiais, eles estão dispostos em eixos paralelos e adjacentes (figura 9).

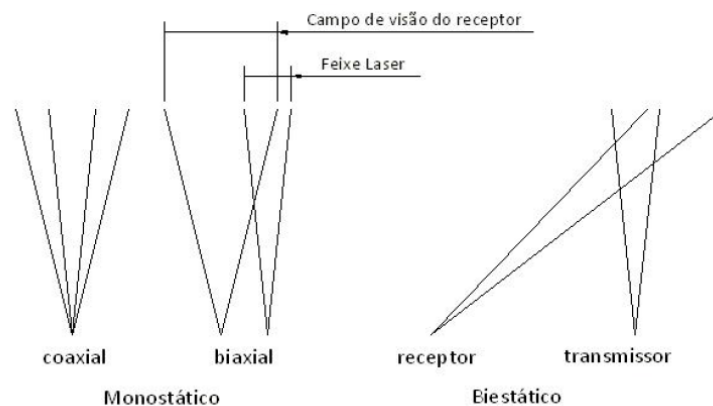


Figura 9: Esquema de configurações dos sistemas lidar (Costa, 2011).

Um sistema lidar monostático foi usado pela primeira vez por Bureau, em 1938, para determinação da altura da base de nuvens, já utilizando a luz pulsada. Esta é necessária nos sistemas monostáticos, com os quais é possível calcular a distância, através do tempo que o pulso leva para ir e voltar, após interagir com as partículas atmosféricas (JOHNSON, 1939).

Elterman (1953) foi capaz de calcular perfis de densidade a 67,6 km de altura, através de refinamento da técnica e utilizando registro elétrico do sinal retroespalhado. Foi utilizado um sistema biestático com distância de 20,5 km entre o transmissor e o receptor. Com os dados de perfil de densidades e utilizando a técnica Rayleigh, ele calculou perfis de temperatura.

Friedland (1956), usou pela primeira vez um esquema monostático pulsado para medida da densidade atmosférica. Com um lidar monostático pulsátil, para cada pulso emitido pode-se obter um perfil completo do espalhamento em toda a altitude. Mesmo assim, em geral, são necessários vários perfis para se obter medidas com uma razão sinal/ruído útil. Com o lidar biestático, somente uma pequena camada da atmosfera pode ser analisada ao mesmo tempo, necessitando-se realinhar o detector diversas vezes, o que se torna trabalhoso, pela dificuldade de alinhamento sucessivo.

Outras descobertas que tornaram possível a utilização de transmissores potentes foram a descoberta do laser em 1960 e do laser *Q-switched* ou pulso gigante em 1962. Com isso, Smullins e Fiocco (1962) iniciaram o uso do laser nos sistemas lidar, usando-o para detectar luz refletida pela superfície da lua. E

no ano seguinte (1963) utilizaram o mesmo sistema para detectar espalhamento atmosférico.

Desde então o lidar vem sendo usado como uma das ferramentas mais importantes no estudo dos fenômenos atmosféricos.

As vantagens do lidar constituem-se em possuir alta resolução vertical e temporal e, não interferir diretamente no objeto de estudo. Além disso, tem uma alta sensibilidade podendo detectar moléculas em uma concentração de até 0,1 ppb, em altitudes de 0 a 30 km, no caso do aparelho que foi utilizado nesta pesquisa, ou até 100 km em outros aparelhos. Como a camada de pluma proveniente de queimadas em geral situa-se até 4 km de altitude, a sensibilidade do equipamento adotado foi suficiente. Ainda, pode-se observar ao longo do tempo em que são efetuadas as medidas, uma previsão do comportamento das partículas em relação a dispersão ou depósito local. Conjuntamente com dados de satélites e de programas específicos, pode-se ainda estudar a trajetória das plumas. Isto ajudou a compreender porque aerossóis originados no continente africano atingem o continente americano (BAARS *et al*, 2011).

5.1.2 - Conformação Básica de um Sistema Lidar

O retroespalhamento ocorre quando a energia emitida pela fonte do lidar interage com as partículas que encontra no caminho e as mesmas irradiam a energia transformada em um ângulo tal que possa ser captado em seu caminho de volta. Isto ocorre porque a partícula e o meio possuem índices de refração diferentes. A energia que interage com as partículas pode gerar vários fenômenos, como absorção, transmissão, refração, fluorescência, mas apenas a energia retroespalhada é relevante no caso do lidar, pois é ela que será captada e amplificada produzindo dados (MEASURES, 1984).

O espalhamento pode ser dividido em elástico ou Espalhamento Rayleigh e inelástico ou Raman. É elástico quando a energia do fóton espalhado é igual à do fóton incidente. É inelástico quando a energia do fóton espalhado é diferente da energia do fóton incidente, devido a uma modificação de seu estado energético, durante a interação com a partícula.

Os componentes de um sistema de sensoriamento remoto são basicamente um transmissor, um receptor e um detector (figura 10).

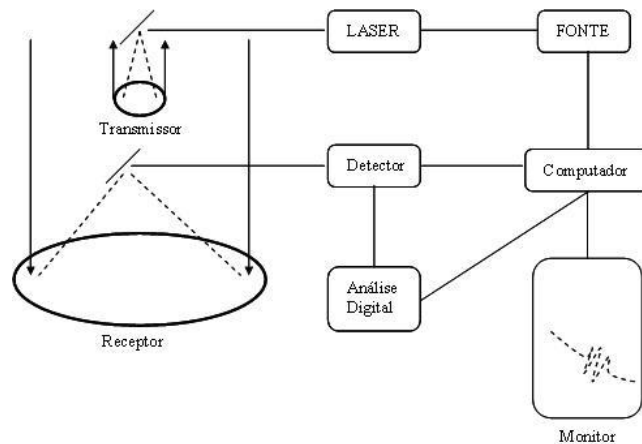


Figura 10: Diagrama ilustrativo de um sistema lidar genérico (Costa, 2011).

Um sistema lidar ideal basicamente deve possuir alta sensibilidade (captar uma quantidade alta de sinal), sem diminuir sua especificidade (captar muito mais sinal retroespalhado do que ruído).

5.1.2.1 - Transmissor

O transmissor é composto pelos instrumentos cuja utilidade é a geração dos pulsos de radiação polarizada e de determinado comprimento de onda, no caso os pulsos de laser, direcionando-os para a atmosfera. Três características do laser tornaram-no vantajoso em relação a luz branca e ideal para utilização no sistema: baixa divergência do feixe de luz, monocromaticidade e alta potência (ARGAAL e SICA, 2002).

Para diminuição da interferência de outros sinais ou ruídos, é importante que o campo de visão do sistema de detecção seja razoavelmente pequeno. Os ruídos ou *background* são provenientes de luz de outras fontes, como estrelas, satélites e fontes antropogênicas. Expansores de feixe são usados para aumentar o diâmetro do feixe, ao mesmo tempo em que diminuem a divergência do feixe.

A monocromaticidade é fundamental para a diminuição da captação de ruídos. Os fótons espalhados com o comprimento de onda utilizado serão captados, utilizando-se filtros para os outros comprimentos, os filtros de

interferência de banda estreita, assim a ordem de grandeza entre a quantidade de sinal captado pelo comprimento de onda utilizado e a luz branca torna-se muito ampla, permitindo a separação do ruído.

A alta potência do laser permite o uso de pulsos intensos e emitidos em curto intervalo de tempo. A duração deste pulso determina a resolução espacial do sistema. Quanto menor a duração do pulso, maior sua resolução espacial. Como é conhecida a velocidade da luz, a possibilidade do aparelho medir o tempo de ida e volta de cada pulso, permite o cálculo da distância em que os fótons foram retroespalhados. Para que o aparelho possa captar o sinal antes que o próximo pulso seja disparado, é necessário limitar a taxa de repetição do laser (TRL), o que também reduz o tempo de observação e conseqüentemente o ruído (SPINHIRNE, 1993).

De acordo com o tipo de medida que se tem interesse, há diversos tipos de lidar que variam quanto ao tipo de laser, amplitude da faixa de comprimento de onda utilizado, potência e taxa de repetição do laser (ARGAAL e SICA, 2002).

5.1.2.2 - Receptor

O sinal retroespalhado é captado por um receptor, que o processa e transmite para o fotodetector. O fotodetector, por sua vez, converte os fótons detectados em sinal elétrico.

Os fótons retroespalhados são focalizados em um *spot* através do espelho primário do telescópio, cujo tamanho varia proporcionalmente às distâncias as quais o aparelho é capaz de medir, já que espelhos maiores captam mais sinal, porém também captam mais ruído (SICA *et al*, 1995; GARDNER *et al*, 1998).

O espelho transmite o sinal para uma caixa de detecção, que separa os comprimentos de onda, a polarização e as altitudes.

5.1.2.3 - Detector

O detector recebe o sinal captado e processado pelo receptor e o transforma em sinal elétrico, que é então convertido em dados. Estes dados são visualizados na tela de um computador em gráficos com as diversas variáveis envolvidas no processo, como altura, intensidade, potência, etc.

As fotomultiplicadoras são usadas como detectores. Elas convertem um fóton em um pulso de corrente elétrica, que é detectado por sistemas elétricos (PEDROTTI e PEDROTTI, 1993).

5.1.3 - Princípios Físicos Básicos da Técnica Lidar

5.1.3.1 - Espalhamento

O sistema lidar consiste basicamente em técnicas que fazem uso de interações específicas da radiação emitida com os constituintes atmosféricos, tais como o Lidar de espalhamento elástico, Lidar Raman, Polarização Lidar, Lidar Ressonante, Lidar Doppler (MEASURES, 1984; EICHINGER; KOVALEV, 2004; WEITKAMP, 2005).

Para a compreensão do funcionamento do equipamento utilizado durante a coleta de dados deste trabalho, é necessário entender o espalhamento elástico e o espalhamento Raman.

5.1.3.1.1 - Espalhamento Elástico

O retroespalhamento elástico é a forma mais clássica da técnica lidar. Um feixe com único comprimento de onda é emitido por uma fonte de laser e um detector capta a radiação retroespalhada de forma elástica por partículas ou moléculas. O retroespalhamento é dito elástico porque o comprimento de onda irradiado permanece o mesmo após espalhado.

O retroespalhamento elástico é classificado em dois tipos, segundo a relação entre o tamanho das partículas responsáveis pelo espalhamento e o comprimento de onda do feixe de luz utilizado. No espalhamento Rayleigh, o espalhamento elástico ocorre devido, principalmente, a partículas muito menores comparadas ao comprimento de onda da radiação. No espalhamento Mie, o espalhamento elástico ocorre devido a partículas com tamanho

comparável ou maiores que o comprimento de onda da radiação (EICHINGER; KOVALEV, 2004).

Quando se estuda o retroespalhamento da luz causado pelos componentes atmosféricos, duas importantes variáveis são: o coeficiente de retroespalhamento β e o coeficiente de atenuação (ou extinção) α (MEASURES, 1984; EICHINGER; KOVALEV, 2004).

Estes dois fatores, α e β , compõem a equação de lidar para o retroespalhamento, equação que envolve parâmetros ópticos da atmosfera (α e β) e parâmetros geométricos do sistema:

$$P(r) = P_0 \frac{c\tau}{2} A_r \frac{\beta(r)}{r^2} \exp\left[-2\int_0^r \alpha(r')dr'\right]$$

na qual,

$P(r)$ é a potência do sinal detectado a uma distância r num tempo t ,

r é a distância do volume atmosférico investigado,

P_0 é a potência do sinal transmitido,

c a velocidade da luz,

τ a duração do pulso emitido pelo laser,

$A(r)$ a área efetiva do receptor.

Desta forma, nas medidas efetuadas com lidar, obtêm-se informações sobre as características de espalhamento e atenuação da atmosfera, observando-se que esses dois efeitos relacionados possam ser de alguma maneira separados (KLETT, 1983; 1985;1986).

Quando há interesse em saber o número de partículas ou concentração em massa a partir das propriedades ópticas da atmosfera, é necessário ter disponível um modelo atmosférico, através do qual pode-se extrair uma relação entre α e β .

Em primeiro lugar, é necessário realizar a separação das características ópticas das interações com gases e material particulado, e posteriormente, o

conhecimento apropriado das razões entre esses parâmetros, por exemplo: razão lidar (LR), que é a razão entre os coeficientes de extinção e de retroespalhamento, entre outras.

Utilizando a inversão de Klett e uma equação diferencial de Bernoulli, a equação lidar é solucionada (MEASURES, 1984; KLETT, 1983; 1985; 1986; EICHINGER; KOVALEV, 2004; WHITEMAN, 2006).

Assim, obtém-se o coeficiente de extinção α , dado por:

$$\alpha = \frac{\exp\left[\frac{S - S_0}{\kappa}\right]}{\alpha_0^{-1} - \frac{2}{\kappa} \int_r^{r_0} \exp\left[\frac{S - S_0}{\kappa}\right] dr'}$$

na qual,

S é o sinal lidar.

Através desta última equação e de valores para a razão lidar, pode-se obter valores para o coeficiente de extinção dos aerossóis.

5.1.3.1.2 - Espalhamento Raman

No espalhamento inelástico, ou espalhamento Raman, ocorre uma mudança do estado energético (quântico) da molécula e a frequência do fóton espalhado é deslocada de uma quantidade $|\Delta\nu|$.

A molécula atingida pode absorver ou transferir energia para o fóton. O espalhamento Raman Stokes ocorre quando a molécula absorve energia. Quando isto ocorre, um de seus níveis mais altos de energia é excitado e a frequência do fóton espalhado diminui de um fator $|\Delta\nu|$. Assim, seu comprimento de onda é espalhado em direção ao vermelho (*red shift*). Se, ao contrário, a molécula transfere energia ao fóton espalhado, a frequência de fóton espalhado aumenta de um fator $|\Delta\nu|$, ocorrendo um deslocamento do feixe em direção ao comprimento de onda do azul (*blue shift*). Este processo é chamado de espalhamento Raman anti-Stokes (figura 11).

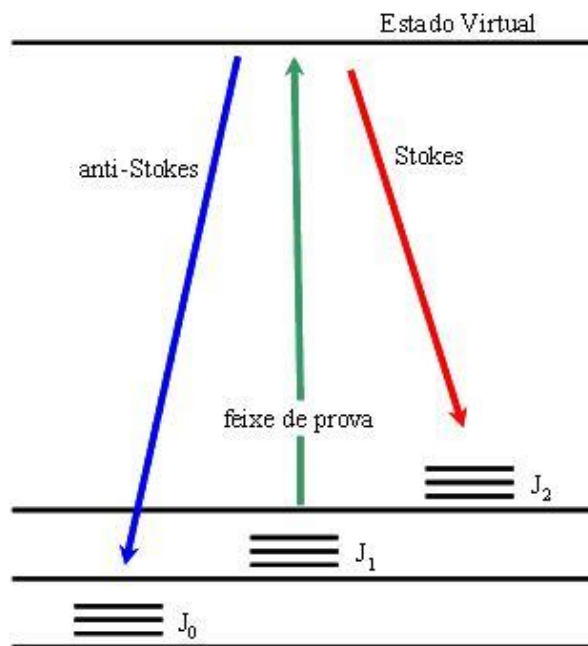


Figura 11: Representação esquemática do espalhamento Raman (COSTA, 2011).

Considerando-se λ o comprimento de onda do laser, no espalhamento Raman, a seção de choque é proporcional a λ^{-4} . Por isso, curtos comprimentos de onda são preferidos nesse tipo de medida. O laser mais utilizado neste caso é o laser de Nd:YAG (GOLDSMITH *et al*, 1998; ALTHAUSEN, 2000) que possui freqüência de 1064nm e pode ser convertido em 532nm e 355nm, seu segundo e terceiro harmônico respectivamente (BOYD, 2012). Estes harmônicos são utilizados amplamente na detecção de sinais de moléculas de nitrogênio e vapor d'água.

A técnica de Lidar Raman é frequentemente empregada na medida de perfis de extinção de aerossóis atmosféricos. O sinal de retroespalhamento inelástico é afetado unicamente pela extinção do aerossol, e não pelo retroespalhamento, o que constitui uma vantagem em relação às medidas de retroespalhamento elástico, onde duas variáveis são desconhecidas, o coeficiente de extinção e o coeficiente de retroespalhamento, utilizando-se por isso a razão lidar. Aqui, a análise única do sinal Lidar Raman permite a determinação do perfil de extinção para os aerossóis. Neste caso a reação lidar é:

$$P(r, \lambda_{Ra}) = P_0 \frac{c\tau}{2} \frac{A(r, \lambda_{Ra})}{r^2} \beta_{Ra}(r, \lambda) \exp \left\{ - \int_0^r [\alpha(r', \lambda) + \alpha(r', \lambda_{Ra})] dr' \right\}$$

na qual,

β_{Ra} representa o espalhamento Raman de moléculas,

$\alpha(r', \lambda)$ é o coeficiente de extinção no caminho de ida do laser com um comprimento de onda de λ ,

$\alpha(r', \lambda_{Ra})$ é o coeficiente de extinção no caminho de volta do laser com um comprimento de onda Raman λ_{Ra} .

A partir da equação acima, obtém-se o coeficiente de extinção de aerossóis para o sistema Lidar Raman.

$$\alpha_{aer}(r, \lambda) = \frac{\frac{d}{dr} \ln \left[\frac{N_{Ra}(r)}{X(r, \lambda_{Ra})} \right] - \alpha_{mol}(r, \lambda) - \alpha_{mol}(r, \lambda_{Ra})}{\left[1 + \left(\frac{\lambda}{\lambda_{Ra}} \right)^{\alpha(r)} \right] \alpha_{aer}(r, \lambda)}$$

Portanto, em contraste com a técnica Lidar de retroespalhamento elástico, não é preciso ser feita nenhuma suposição acerca dos parâmetros físicos do sistema como por exemplo, o coeficiente de extinção. Além disso, o valor do coeficiente de retroespalhamento dos aerossóis, $\beta_{aer}(r, \lambda)$, podem ser calculados utilizando os sinais de retroespalhamento inelásticos e clássico (WEITKAMP, 2005; SHERLOCK *et al*, 1999a e 1999b; ANSMANN; WANDINGER, 2002).

Esse coeficiente é dado por:

$$\beta_{aer}(r, \lambda) = -\beta_{mol}(r, \lambda) + [\beta_{aer}(r_0, \lambda) + \beta_{mol}(r_0, \lambda)] \frac{P(r_0, \lambda_{Ra})P(r, \lambda)N_{Ra}(r)}{P(r_0, \lambda)P(r, \lambda_{Ra})N_{Ra}(r_0)} \times \frac{\exp \left\{ - \int_0^r [\alpha_{aer}(r', \lambda_{Ra}) + \alpha_{mol}(r', \lambda_{Ra})] dr' \right\}}{\exp \left\{ - \int_0^r [\alpha_{aer}(r', \lambda) + \alpha_{mol}(r', \lambda)] dr' \right\}}$$

Assim, com os valores dos coeficientes de extinção e espalhamento Raman, representados por suas equações, determina-se valores da razão lidar, que nada mais é do que a razão entre o coeficiente de extinção e espalhamento por aerossóis.

A técnica de Lidar Raman também pode ser aplicada nas medidas de concentração de gases e poluentes na atmosfera. Apesar das seções de choque para o processo Raman serem consideravelmente menores que para outros processos de espalhamento, tais como, espalhamento Rayleigh e Mie, a sua utilização apresenta várias vantagens na monitoração de poluentes e estudo das concentrações dos gases que compõem a atmosfera, como por exemplo, o deslocamento em comprimento de onda da radiação Raman retroespalhada é específico de cada molécula; a intensidade de um dado sinal Raman é diretamente proporcional à densidade de uma molécula espalhadora e independente das outras moléculas (MEASURES, 1984; WEITKAMP, 2005).

Desta forma, uma medida indireta da concentração de um poluente em relação ao nitrogênio pode ser obtida e a estreita largura espectral e o deslocamento Raman conduzem a uma fácil exclusão das radiações de fundo solares e da componente elástica do espalhamento. Adicionalmente apenas uma única frequência de emissão é necessária para produzir os espectros Raman de todos os poluentes e constituintes atmosféricos dentro de uma região espectral pré-selecionada.

A técnica de espalhamento Raman permite ainda a determinação do perfil de temperatura atmosférica (ARSHINOV *et al*, 1983; WANDINGER, 1998; ARSHINOV *et al*, 1999; BEHRENDT *et al*, 2002; MATTIS *et al*, 2002; WHITEMAN, 2003; SAKAI *et al*, 2004), uma vez que a banda Raman rotacional de gases como nitrogênio e oxigênio, componentes da atmosfera, possuem níveis de energia populacional que são descritos pela lei de distribuição de Boltzmann (WEITKAMP, 2005).

5.2- O Material Particulado Fino e sua Relação com a Saúde.

Estudos epidemiológicos e patológicos têm demonstrado que a maioria das doenças pulmonares estão associadas com a exposição ambiental e

ocupacional a aerossóis poluentes (SCHWARTZ, 1993; SEATON *et al*, 1995; POPE *et al*, 2006; GOLDBERG, 2008; GEISER; KREYLING, 2010).

O material particulado suspenso na atmosfera na forma de aerossóis pode ser dividido de acordo com seu tamanho em particulado fino ($\leq 2,5 \mu\text{m}$ - $\text{MP}_{2,5}$) e particulado grosso (acima de 2,5 até 10 μm de diâmetro - MP_{10}). Esta divisão é importante porque dependendo do tamanho e composição dos aerossóis, a probabilidade das partículas atingirem as unidades respiratórias distais ocasionando reações locais e contribuindo para o desenvolvimento de doenças são diferentes (SEINFELD; PANDIS, 2006).

Desde 1987 é conhecido que o material particulado fino está mais envolvido nos processos inflamatórios que desencadeiam o adoecimento das vias respiratórias do que o particulado grosso (JACOBSON, 2002).

Uma breve explicação das alterações respiratórias provocadas pelo material particulado no tecido pulmonar encontra-se no Apêndice A.

Os padrões de qualidade do ar (PQAr) segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2005), variam de acordo com fatores técnicos, econômicos, políticos, sociais, saúde, nível de desenvolvimento e capacidade de gerenciar a qualidade do ar. Os padrões brasileiros foram estabelecidos pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) na Resolução nº 3 de 1990, segundo a qual: “São padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral”. Tal resolução estabelece padrões primários (concentrações que ultrapassadas podem afetar a saúde) e secundários (valores abaixo dos quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como mínimo dano a fauna, flora materiais e meio ambiente) de qualidade do ar para diversos componentes: I) Partículas Totais em Suspensão, II) Fumaça, III) Partículas Inaláveis, IV) Dióxido de Enxofre, V) Monóxido de Carbono, VI) Ozônio e VII) Dióxido de Nitrogênio. O $\text{MP}_{2,5}$ está incluso em Partículas Inaláveis, que são subdivididas de acordo com o tamanho.

O índice de qualidade do ar é um valor calculado com base em padrões internacionais e da OMS que também contempla os componentes citados e que está diretamente relacionado a saúde (tabelas 1 e 2).

TABELA 1: Estrutura do Índice de Qualidade do Ar.

Estrutura do índice de qualidade do ar							
Qualidade	Índice	MP ₁₀ (µg/m ³) 24h	MP _{2.5} (µg/m ³) 24h	O ₃ (µg/m ³) 8h	CO (ppm) 8h	NO ₂ (µg/m ³) 1h	SO ₂ (µg/m ³) 24h
N1 – Boa	0 – 40	0 – 50	0 – 25	0 – 100	0 – 9	0 – 200	0 – 20
N2 – Moderada	41 – 80	>50 – 100	>25 – 50	>100 – 130	>9 – 11	>200 – 240	>20 – 40
N3 – Ruim	81 – 120	>100 – 150	>50 – 75	>130 – 160	>11 – 13	>240 – 320	>40 – 365
N4 – Muito Ruim	121 – 200	>150 – 250	>75 – 125	>160 – 200	>13 – 15	>320 – 1130	>365 – 800
N5 – Péssima	>200	>250	>125	>200	>15	>1130	>800

Fonte: CETESB, 2017.

TABELA 2: Qualidade do Ar e Efeitos à Saúde.

Qualidade do ar e efeitos à saúde		
Qualidade	Índice	Significado
N1 – Boa	0 – 40	
N2 – Moderada	41 – 80	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
N3 – Ruim	81 – 120	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
N4 – Muito Ruim	121 – 200	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
N5 – Péssima	>200	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: CETESB, 2017.

6. OBJETIVOS

6.1 - Geral

Correlacionar a ocorrência de queimadas com as internações por doenças respiratórias no Hospital Regional de Porto Nacional, traçando o perfil óptico e químico dos aerossóis na atmosfera de Porto Nacional, usando as técnicas lidar e análise de filtros de impactação de aerossóis

6.2 - Específicos

- Obter características físicas da fumaça das queimadas, através da técnica lidar, como altura e intensidade do sinal, e espessura da camada de aerossóis.

- Entender a dinâmica espacial e temporal dos aerossóis.

- Caracterizar a composição química destes aerossóis através da análise de filtros de impactação por aerossóis.

- Obter dados de saúde respiratória ao longo do tempo no Hospital Regional de Porto Nacional e no estado do Tocantins.

- Relacionar os números de focos de queimadas aos números de internações por doenças respiratórias.

7. METODOLOGIA

A pesquisa de campo constituiu-se em três etapas:

- caracterização óptica da atmosfera local, com o uso de um sistema lidar e de dados de satélites (MODIS e CALIPSO);

- caracterização química da atmosfera local, com o uso de amostrador de ar e análise laboratorial dos filtros de impactação com material particulado obtidos em dois períodos: setembro de 2013 e dezembro de 2015;

- análise dos dados de internações por doenças respiratórias em conjunto com o número de focos de queimadas de 2008 a 2016.

7.1 – O Local da Pesquisa

O lidar e o aparelho de filtragem foram instalados no campus do ITPAC (Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos), em Porto Nacional, localizado a latitude Sul de 10° 43' e longitude 48° 25' Oeste, altitude de 234 metros (figura 12).



Figura 12: ITPAC Porto Nacional (ITPAC Porto, 2015).

7.2 - Sistema Lidar Utilizado

O aparelho de lidar utilizado para a obtenção dos dados desta pesquisa foi o MSP-Lidar II, o Sistema Lidar transportável do IPEN. Este constitui-se num Sistema Lidar-Raman da Raymetrics (Commercial Raymetrics LR-101-V-D200) (figura 13).



Figura 13: Sistema Lidar-Raman da Raymetrics utilizado na pesquisa.

Este consiste em um sistema comercial biaxial de retroespalhamento de um único comprimento de onda. Possui como fonte de luz um laser pulsado de Nd:YAG, que emite pulsos curtos nos comprimentos de onda 532nm, com taxa de repetição de pulso de 20 Hz. A duração do pulso de 6,7 ns. O feixe de laser é emitido verticalmente através de um telescópio Cassegrain com 100 mm de diâmetro, 800 de comprimento focal e 1 mrad de campo de visão. A unidade de aquisição de sinal consiste de uma fotomultiplicadora Hamamatsu R7400 e filtros de interferência de banda estreita para o retroespalhamento elástico e Raman, em 532 e 608 nm, respectivamente. O sinal de saída da fotomultiplicadora (PMT) é digitalizado e armazenado em um registrador Lidar Transient Recorder TR-20-150 (LICEL) com um canal analógico de aquisição com resolução de 12 bits em 20 MHz (tabela 3).

A unidade de aquisição possui dois modos de detecção: analógica e de contagem de fótons. As fotomultiplicadoras (PMT) são operadas em geral em 660V para 532 nm e 800 V para 607nm. Neste último comprimento de onda só existe a possibilidade de contagem de fótons. Foi utilizado o valor de 2000 pulsos de laser para cada medida.

A configuração ótica permite um *overlap* (região em que o feixe de emissão e o campo de visão se interseccionam) completo acima de 180 m do sistema lidar e uma resolução espacial de 7,5 m.

TABELA 3: Especificações do Lidar Utilizado.

Especificação	LR-101-U-D200
<i>Fonte de Laser</i>	Nd:YAG, tipo CFR
<i>Comprimento de Onda</i>	532 nm e 607 nm
<i>Taxa de Repetição</i>	20 Hz
<i>Detecção Elástica</i>	532 nm
<i>Energia</i>	120 mJ para 532 nm
<i>Duração do Pulso</i>	6,7 ns
<i>Diâmetro do Feixe de Laser</i>	21 mm
<i>Divergência</i>	< 0,17 mrad
<i>Detecção Raman</i>	607 nm (N ₂)



Figura 14: Foto do Lidar MSP II do IPEN durante realização de medidas no campus do ITPAC-Porto Nacional.

O Lidar MSP-II foi enviado para Porto Nacional no início de agosto de 2015, sendo o objetivo sua permanência durante um período mínimo de 90 (noventa) dias ou até o final do mês de dezembro, para incluir a estação de queimadas e o começo das chuvas. Infortunadamente, o sistema necessitou de manutenção duas semanas após o início das medidas e o reparo não foi possível dentro do tempo necessário.

Assim, os dados foram colhidos de 6 a 19 de agosto, de segunda a sexta-feiras. Durante o período em que permaneceu em funcionamento no local, medidas foram realizadas durante cinco dias da semana, de segundas a sextas-feiras, no final da tarde (devido às altas temperaturas que chegavam a 40 graus Celsius e para detecção do sinal Raman, obtido a noite), por um período aproximado de duas horas (figura 14).

7.3 - Análise dos Dados Obtidos com o Lidar

7.3.1 - LabVIEW

Os dados foram posteriormente analisados com o uso da ferramenta LabVIEW. O LabVIEW é um ambiente virtual criado para utilização por engenheiros e cientistas e que converte o conjunto de dados obtidos durante um período de coleta em gráficos, denominados gráficos-cortina ou *quick view* (figura 15). Cada arquivo salvo corresponde a uma medida que é a média das medidas do número de *shots* escolhidos. No caso, utilizamos 2000. A cada 2000 pulsos, então, é registrado um arquivo. Ao copiar estes arquivos para o ambiente do LabVIEW, obtemos o gráfico cortina. Neste pode-se visualizar a altura (eixo y) e intensidade do sinal (eixo z) ao longo do tempo (eixo x), em que os dados foram colhidos. Assim, é visualizada a correspondente gráfica à camada de aerossóis detectada pelo sistema lidar.

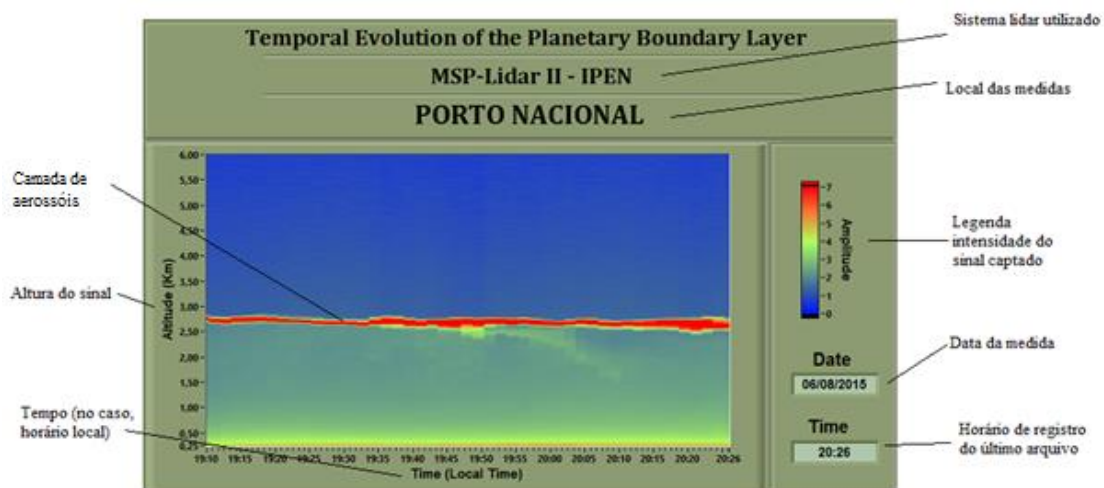


Figura 15: Componentes do gráfico cortina ou *quick view*.

No exemplo, observa-se um sinal mais intenso vindo de uma camada de partículas situadas a aproximadamente 2,75 km de altura.

Esta técnica foi a mesma utilizada por outros experimentos do grupo de estudos em Lidar do IPEN (STEFFENS *et al*, 2011; MACHADO *et al*, 2014).

Para complementar o estudo óptico da região foram usados dados de dois sistemas de satélites da NASA: CALIPSO e MODIS, com o auxílio da plataforma Giovanni.

7.3.2 - CALIPSO

O CALIPSO (*Cloud- Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations*) é um satélite artificial que foi lançado pela agência espacial americana NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) em parceria com a agência espacial francesa CNES (*Centre National d'Etudes Spatiales*), em 08 de abril de 2006.

O satélite carrega três instrumentos de coleta de dados: um aparelho de lidar passivo (*Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization - CALIOP Lidar*), um radiômetro (*Imaging Infrared Radiometer - IIR*) e uma câmera para obtenção de imagens de campo (*Wide Field Camera – WFC*).

O objetivo de seu lançamento é estudar a função que nuvens e aerossóis desempenham na regulação das condições meteorológicas, do clima e da qualidade do ar no planeta. Ele faz parte da constelação “*A-Train*”, composta ainda pelos satélites: Aqua, Aura, CloudSat e PARASOL e aos quais outros serão somados nos próximos anos. Estes satélites carregam diferentes instrumentos de coleta de dados, o que permite a análise de diversas variáveis durante a mesma missão (<http://www-calipso.larc.nasa.gov>).

O CALIPSO coleta dados da atmosfera terrestre durante 24 horas, orbitando ao redor da Terra. Estes dados são disponibilizados através da internet no site da NASA correspondente à missão https://www-calipso.larc.nasa.gov/tools/data_avail/. A utilização de ferramentas disponíveis on-line permite o uso de suas informações em outras pesquisas.

Assim, os dados colhidos através da utilização do lidar situado em Porto Nacional puderam ser analisados em conjunto e comparados com os dados colhidos pelo CALIPSO quando o satélite situa-se próximo a região deste estudo, sendo este importante instrumento de análise e validação dos dados obtidos deste experimento.

7.3.3 MODIS

MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) são radiômetros que orbitam ao redor do planeta em duas unidades, a bordo de dois satélites: o Terra e o Aqua. Os satélites Terra e Aqua são sincronizados de maneira que o Terra passa do norte para o sul através do equador durante a manhã, e o Aqua do sul para o norte, pelo equador, durante a tarde. Assim, os dois monitoram totalmente a superfície do planeta no mínimo a cada dois dias, obtendo dados em 36 grupos de comprimentos de onda. Os dados auxiliam na compreensão da dinâmica e processos globais que ocorrem em terra, nos oceanos e na atmosfera baixa. Além de ser capaz de medir a cobertura completa da distribuição das nuvens sobre o planeta a cada um ou dois dias, o MODIS mede propriedades dos aerossóis presentes na atmosfera. As bandas utilizadas pelo espectro do sistema de monitoramento do MODIS são particularmente sensíveis aos incêndios podendo localizar focos de queimadas

e estimar quantidades de aerossóis e gases que as queimadas liberam na atmosfera. O MODIS é uma das fontes de informações para o monitoramento de queimadas realizado pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). (<http://terra.nasa.gov/about/terra-instruments/modis>; <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/>)

Devido às características aqui enumeradas, o MODIS constitui também importante ferramenta de auxílio na análise e validação dos dados obtidos neste estudo.

7.3.4- Giovanni

O Giovanni [*GES-DISC (Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center) Interactive Online Visualization and Analysis Infrastructure*] é um ambiente virtual de livre acesso disponível via internet (<http://giovanni.gsfc.nasa.gov/>) (figura 16), através da qual é possível conectar-se à ampla gama de dados geocientíficos colhidos pelas diversas ferramentas a bordo de uma constelação de satélites da NASA, que orbitam ao redor de todo o planeta (figura 17).

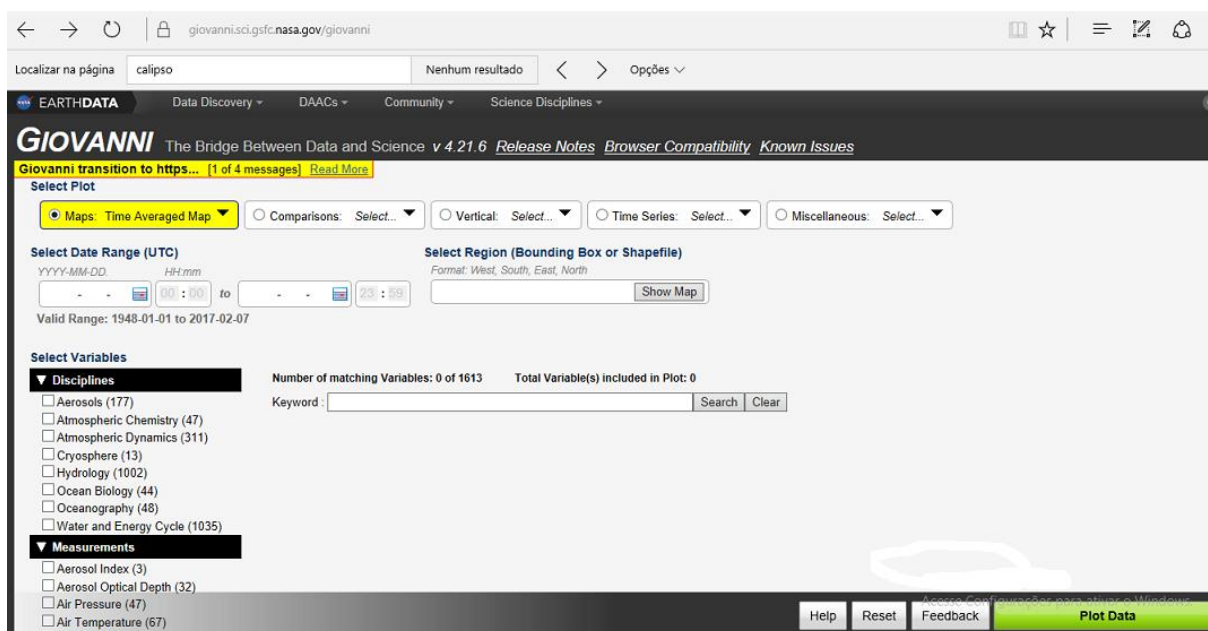


Figura 16: Plataforma GIOVANNI.

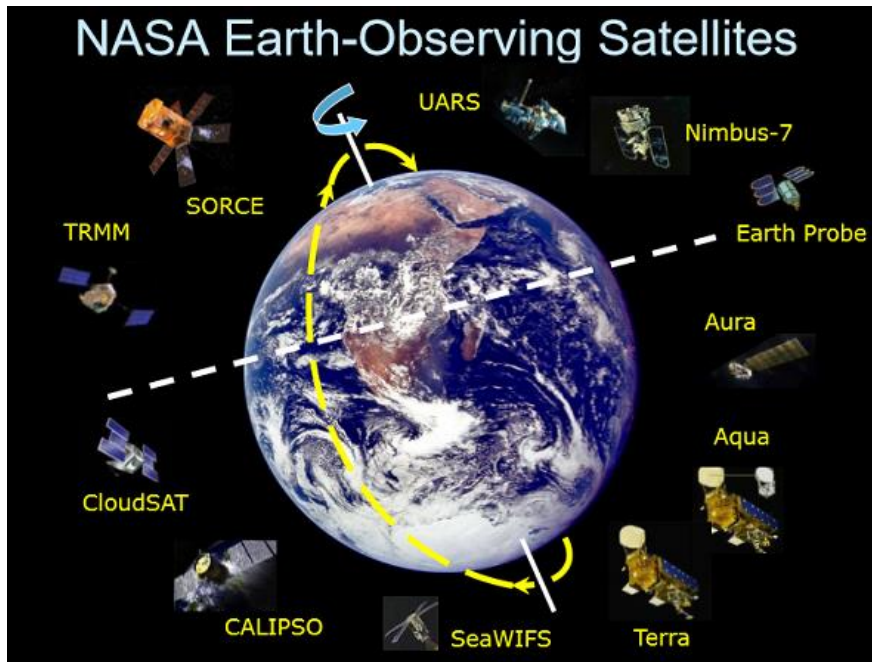


Figura 17: Constelação de Satélites Observadores da NASA. NASA, 2008.

Através da plataforma, pode-se tentar várias combinações de parâmetros medidos pelos diferentes instrumentos, os quais incluem os sistemas MODIS e CALIPSO, dentre outros (figura 18).

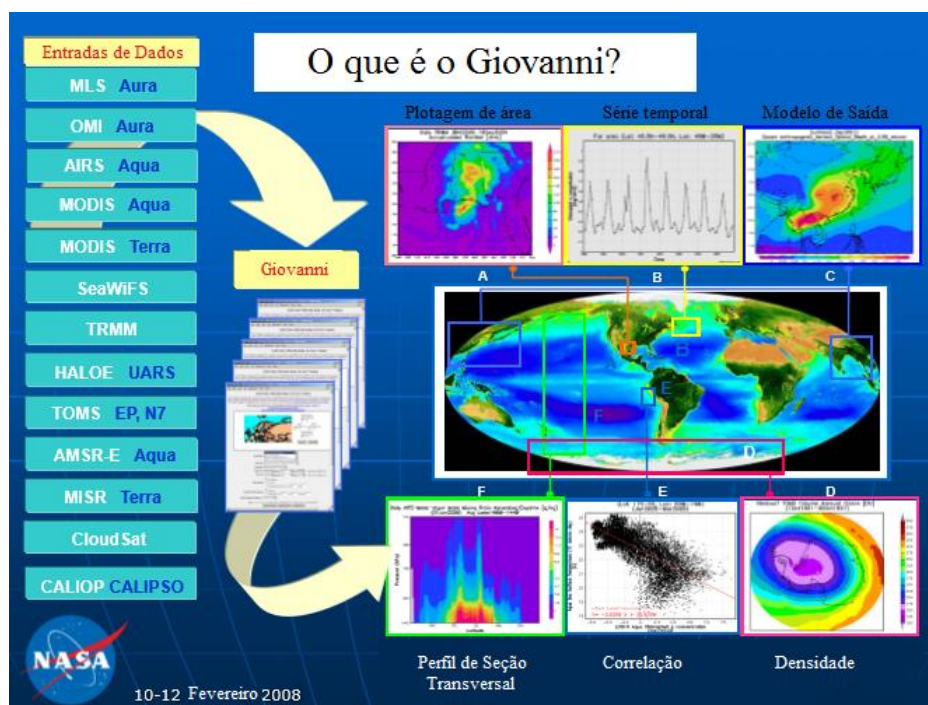


Figura 18: Demonstrativo de possibilidades do GIOVANNI.

Assim, pode-se gerar a plotagem de dados médios ou acumulados para áreas retangulares, séries temporais, seções transverso-temporais para latitude

ou longitude, imagens animadas, perfis verticais, seções transversais verticais e médias zonais, além de combinações entre estas.

Neste estudo o Giovanni foi utilizado para a obtenção da AOD temporalmente em áreas retangulares que incluíam a região de interesse.

7.4 - Instrumentos Utilizados para a Análise Química dos Aerossóis

Adicionalmente, tem-se a importância de caracterizar quimicamente a concentração e composição dos aerossóis, principalmente devido ao objetivo de relacionar características atmosféricas com dados de saúde. Desta forma também pode-se determinar as prováveis fontes dos aerossóis encontrados, de acordo com as características de sua composição.

Para a análise química foi utilizado um amostrador de ar e posteriormente os filtros de impactação com material particulado obtidos foram submetidos a análise laboratorial.

7.4.1 - Amostrador de Ar

O MiniVol TAS (*Tactical Air Sampler*), da AirMetrics, é um aparelho portátil de filtragem do ar, para material particulado, que também pode ser configurado para amostrar poluentes. A tecnologia de baixo fluxo usada no MiniVol TAS foi desenvolvida conjuntamente com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, com o intuito de criar uma tecnologia portátil para amostradores de ar. É operado por bateria e possui baixo peso, o que permite seu uso em áreas remotas (figura 19).

As concentrações de massa no MiniVol TAS tem resultados concordantes com outros métodos de referência (Airmetrics, 2002).



Figura 19: MiniVol TAS utilizado para coleta das amostras de material particulado fino (Airmetrics, 2002).

Ele é composto por um temporizador programável, um sistema de controle de fluxo contínuo, um totalizador de tempo decorrido, baterias recarregáveis e um sistema que pode ser usado em qualquer condição metereológica (figura 20).



Figura 20: Componentes do MiniVol TAS (Airmetrics, 2002).

O MiniVol TAS é basicamente uma bomba controlada por um temporizador programável. Quando usado em ambiente aberto, é usado fixado por um suporte em uma estrutura como árvore, poste, etc.

No modo amostrador de material particulado, o ar é direcionado através de um fluxo à vácuo, através de um separador por tamanho de partícula e então por um meio filtrante. A separação das partículas por tamanho é atingida por impactação. A taxa correta de fluxo de ar através do impactador é crítica para a coleta do tamanho correto de partículas. Por isso, o mesmo deve ser regulado para cinco litros por minuto em condições ambientes. Para assegurar a constância deste valor em diferentes condições de temperatura e pressão o amostrador precisa ser ajustado para cada experimento (Airmetrics, 2002).

Os impactadores são disponíveis para o ponto de corte de 10 e 2,5 μm . (MP₁₀ e MP_{2,5}). Se for operado sem um impactador, será coletado o material particulado total em suspensão.

O tubo de entrada a jusante do filtro direciona o ar para a bomba através de dois diafragmas cilíndricos. Da bomba, o ar é forçado através de um medidor de fluxo padrão terminando na atmosfera interior do corpo do amostrador.

Se programado, o temporizador automaticamente desliga a bomba ao final do período. Ou pode-se deixá-lo funcionando sem programação e desligar manualmente. O amostrador precisa então ser preparado para a próxima medida. É necessário remover o filtro utilizado e colocar um novo filtro, além de trocar a bateria por outra carregada.

Os filtros são armazenados em embalagens específicas individuais e manipulados com cautela, com o auxílio de pinça, para que não sejam danificados mecanicamente ou contaminados por sujeira.

7.4.2 - Análise dos Filtros de Material Particulado

A análise da composição química do MP_{2,5} impactado nos filtros foi realizada no LAPAt (Laboratório de Análises dos Processos Atmosféricos), no IAG (Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas).

As seguintes etapas foram realizadas: análise gravimétrica (quantificação da concentração de $MP_{2,5}$), refletância (quantificação da concentração de Black Carbon), fluorescência de raios-X (quantificação elemental) e cromatografia de íons (quantificação de ânions e cátions).

7.4.2.1 - Análise Gravimétrica

Após armazenados e transportados até o laboratório onde seriam analisados, os filtros permaneciam expostos ao ambiente da sala de pesagem por pelo menos 24 horas, semiabertos e em repouso.

Na análise gravimétrica, a primeira etapa, os filtros foram pesados em balanças de precisão nominal de $1\mu\text{g}$, após serem utilizados nas medidas. Antes de cada pesagem os filtros são passados por um sistema de deseletrização. O local onde são feitas as medidas têm temperatura e umidade relativa do ar controlados (figura 21).



Figura 21: Balança METTLER (à esquerda) e deseletrizador dos filtros (à direita) (Oyama, 2010).

Antes de os filtros serem utilizados no MiniVol, os mesmo já haviam passado por um primeiro processo de pesagem. A pesagem é executada duas vezes em cada etapa, a anterior e a posterior a coleta e é utilizado o valor da média entre as duas pesagens em cada etapa. A diferença entre o peso médio anterior e o peso médio posterior a coleta dá o valor da quantidade de material particulado colhido. Após, divide-se o peso pelo volume total de ar filtrado no período em que aquele filtro foi utilizado (volume obtido através da multiplicação do fluxo pelo tempo de filtragem) chegando-se a concentração média do material particulado fino no período.

7.4.2.2 - Análise de Refletância

A análise de refletância é utilizada para a determinação do Black Carbon (BC). O equipamento utiliza como informação a absorção de luz pelo particulado depositado no filtro. A fração que absorve a radiação é classificada como BC, no qual predomina o carbono elementar.

O equipamento é um refletômetro, no qual uma lâmpada de tungstênio ilumina o filtro e a luz refletida, que é inversamente proporcional à quantidade de BC, é detectada por um fotosensor (figura 22).



Figura 22: Refletômetro “Smoke Stain Reflectometer – Model 43”, marca “Diffusion Sistem Ltda” (Oyama, 2010)

7.4.2.3 - Análise Elementar por Fluorescência de Raio-X

Avalia qualitativa e quantitativamente a composição química da amostra, sendo útil para obtenção de dados de vários elementos simultaneamente.

Cada elemento tem uma faixa de energia emitida característica, quando submetidos a fluorescência por raio X, no caso, emitidos por um tubo de Ródio. O aparelho é capaz de medir a intensidade da emissão de cada um, quantificando sua concentração na amostra (figuras 23 e 24).

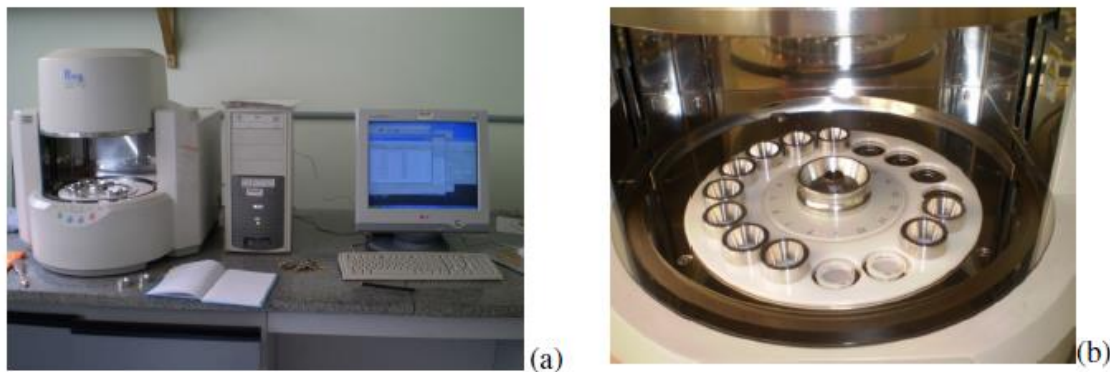


Figura 23: (a) Aparelho utilizado para quantificação elementar das amostras (Shimatzu Modelo Espectrômetro Rigaku, RIX 300); (b) disco onde as amostras são colocadas para quantificação elementar (Oyama, 2010).

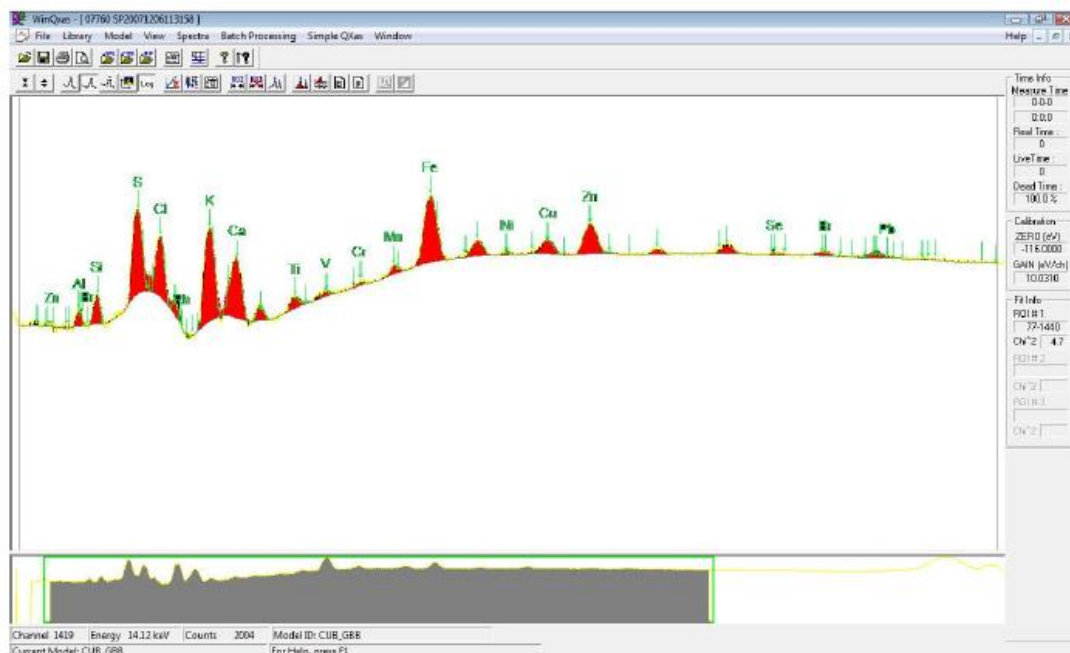


Figura 24: Espectro típico obtido após dados serem lançados no programa específico WinQXAS (*Windows Quantitative X-ray Analysis*) (Oyama, 2010).

7.4.2.4 - Cromatografia Iônica

Os três quartos restantes dos filtros (um quarto foi usado para análise por fluorescência de raio-X) são colocados em tubos de ensaio com água pura e agitados por uma mesa giratória, formando uma solução. A solução é filtrada para a retenção de partículas sólidas grandes e então analisada no cromatógrafo, que, baseado em mecanismos de troca e supressão de íons com detecção condumétrica, separa e determina os cátions e ânions presentes na amostra.

7.5 - Dados de Saúde

Os atendimentos no sistema de saúde em Porto Nacional são concentrados nos postos de saúde e em dois hospitais. O Hospital Tia Dedé atende gestantes e crianças até doze anos incompletos. O Hospital Regional Público de Porto Nacional HRPN atende adultos a partir de doze anos de idade.

A população infantil possui o organismo mais sensível às variações atmosféricas, porém não houve autorização do comitê de ética para a realização da pesquisa no Hospital Tia Dedé, sem ter sido emitida justificativa.

Desta forma, os dados de doenças respiratórias foram obtidos do Hospital Regional De Porto Nacional (HRPN).

O HRPN foi fundado nos anos 60, como parte da Organização de Saúde do Estado de Goiás (OSEGO) e é responsável pelo atendimento de uma região de catorze municípios, com aproximadamente 180.000 habitantes, oficialmente denominado "Amor Perfeito" e administrado pela Secretaria de Saúde de Tocantins (SESAU-TO). A maioria das populações vive na zona rural e até mesmo os habitantes urbanos atendem a ambientes selvagens, como bancos de rios e florestas. É o quinto hospital em importância, com 77 leitos, atendendo urgência e emergência nas áreas de medicina geral, cardiologia, psiquiatria, ortopedia e cirurgia geral (figura) (SESAU-TO, 2016).



Figura 25: Hospital Regional de Porto Nacional (SESAU – TO, 2015).

O HRPN possui uma base de dados onde são elencadas as internações e classificadas de acordo com seu diagnóstico. O acesso a essas informações pôde ser feito com autorização da direção do hospital e comitê de ética. Após o processamento dos dados pelo setor de informática, o que demora alguns meses, as informações estão disponíveis para livre acesso através do site do DATASUS/Ministério da Saúde.

O número mensal de internações para todo o estado do Tocantins de 2008 a 2016 foram colhidos diretamente do site do DATASUS/Ministério da Saúde.

O trabalho foi aprovado pelo CEP CEULP/ULBRA com o parecer 861.550.

8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

8.1 – Análise do Perfil Óptico Atmosférico

Embora agosto ainda não seja o mês mais crítico para a ocorrência de queimadas na região, e sim setembro, já ocorre início do aumento do número de focos (figura 26), sendo possível observar-se a existência de diversas nuvens de fumaça espessa, que pode ser vista de diversos ângulos da cidade de Porto Nacional (figura 27).

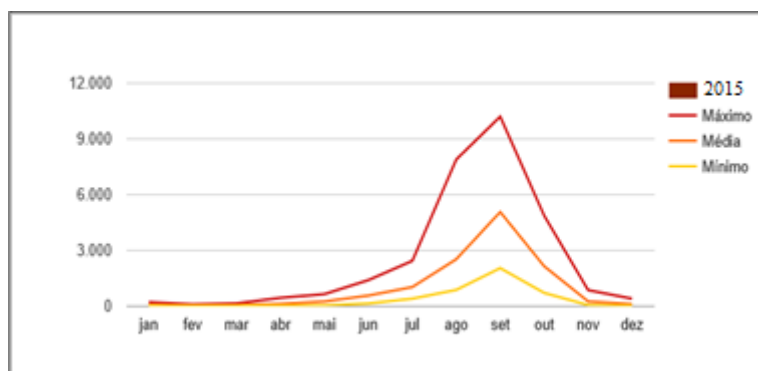


Figura 26: Comparativo dos dados do ano corrente com os máximos, médios e mínimos de 2008 a 2015. Número de focos de queimadas no estado do TO. Fonte: INPE.



Figura 27: Fumaça avistada da Avenida Beira Rio, próximo ao centro de Porto Nacional.

Através da análise dos gráficos cortina obtidos, foi possível observar a presença em alguns dias de sinal de espalhamento mais intenso na região entre 2,0 e 3,5 km de altitude. Estão relacionadas as figuras cujos resultados serão apresentados (figuras 28-32).

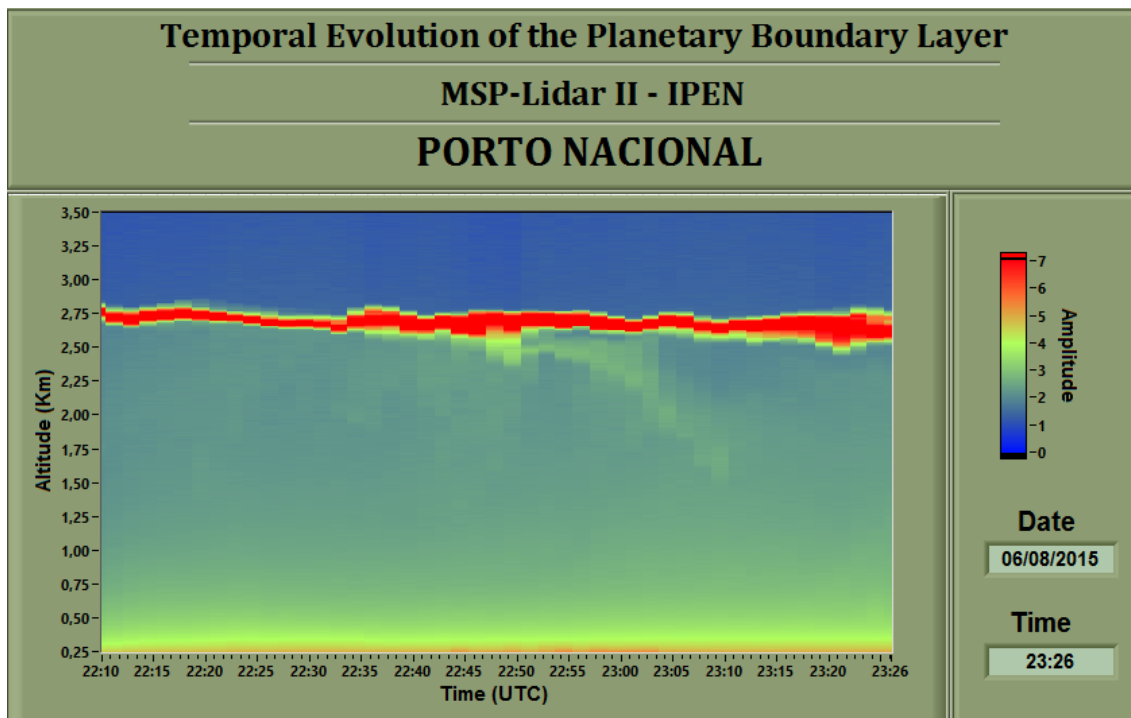


Figura 28: Perfil óptico de aerossóis atmosféricos para o dia 06/08/2015

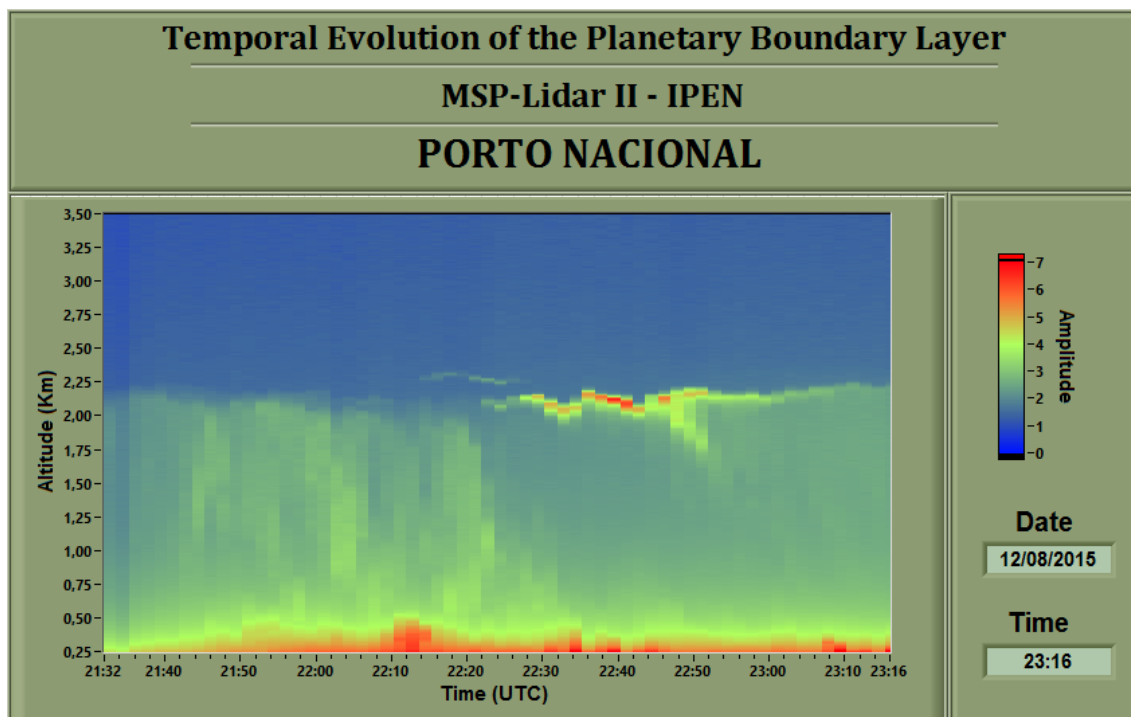


Figura 29: Perfil óptico de aerossóis atmosféricos para o dia 12/08/2015.

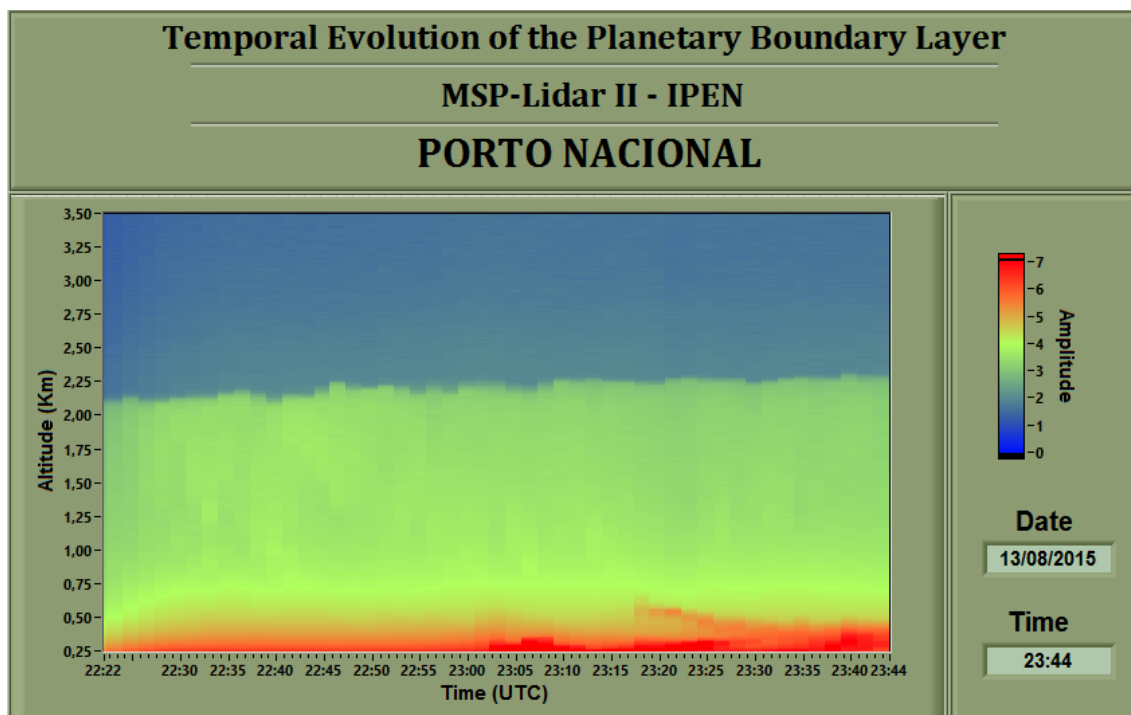


Figura 30: Perfil óptico de aerossóis atmosféricos para o dia 13/08/2015.

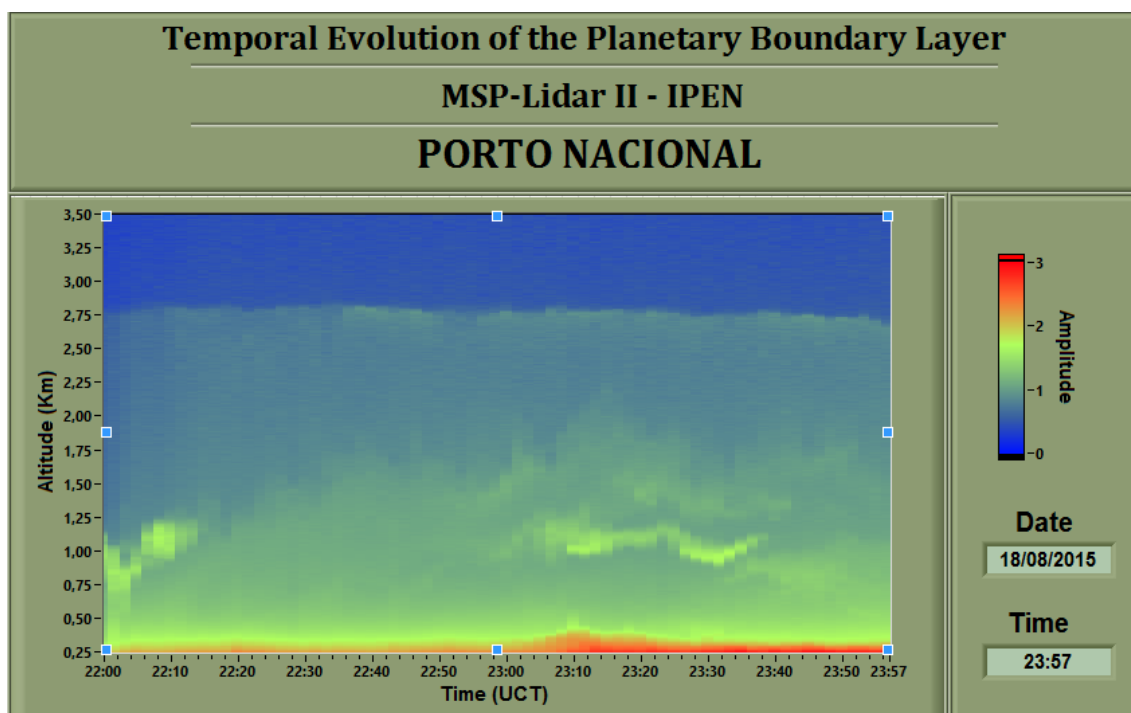


Figura 31: Perfil óptico de aerossóis atmosféricos para o dia 18/08/2015.

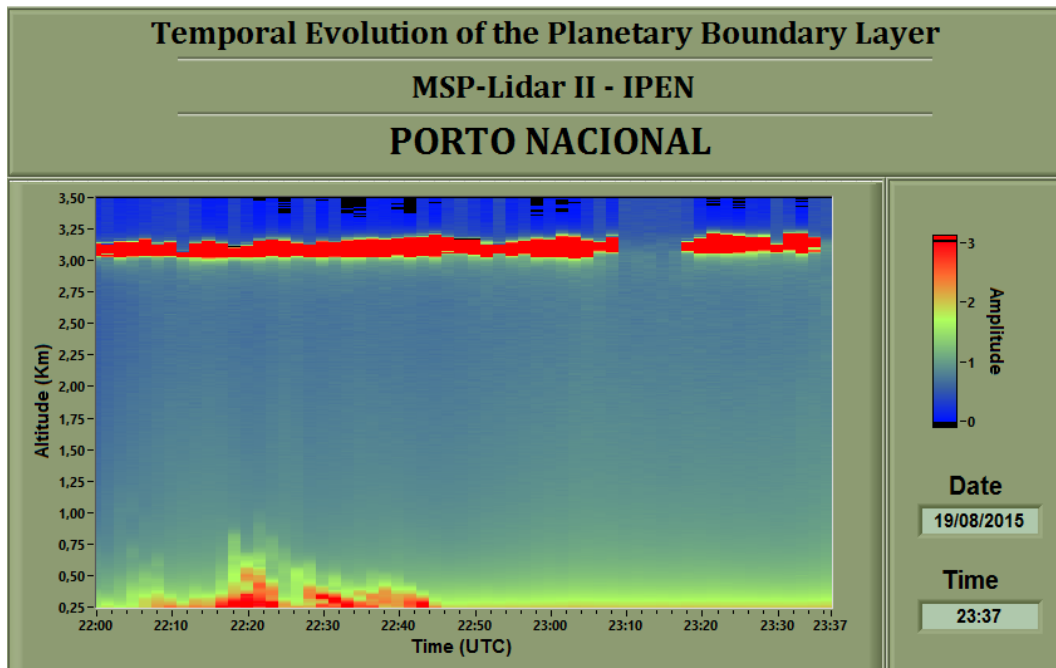


Figura 32: Perfil óptico de aerossóis atmosféricos para o dia 19/08/2015.

Nas figuras 28 e 29 são observadas curvas descendentes (entre 22:35 e 23:10 UTC na figura 28 e entre as 22:30 e as 23:00 UTC na figura 29), em verde, o que pode ser explicado pelo depósito da substância espalhadora, indicando precipitação de parte dos aerossóis. O sinal mais intenso, em vermelho, na região próxima ao solo em todas as figuras, corresponde a poeira da crosta em suspensão.

Os dias 06 e 13/08/2015 foram escolhidos para análise mais detalhada dos dados, porque nestas datas houve passagem do CALIPSO próximo à região (figuras 33 e 38, respectivamente).

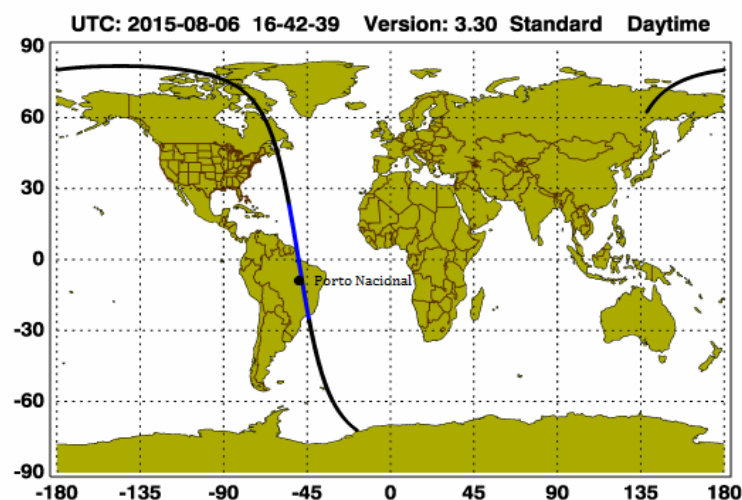


Figura 33: Trajeto do CALIPSO no dia 06/08/2015.

Adicionalmente, 06/08/2015 foi, no período de medidas, o dia em que houve maior detecção de focos de queimada (41 focos) no município de Porto Nacional (figura 34).

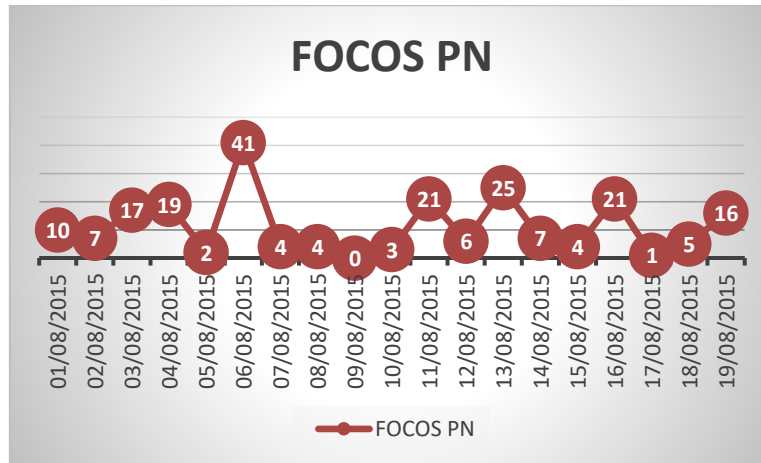


Figura 34: Focos de queimadas detectados em Porto Nacional de 01 a 19/08/2015.

Para obtenção da figura 34 foram utilizados os números do site do INPE que, por sua vez, utiliza dados de um conjunto de ferramentas, incluindo satélites como o Terra e Acqua (MODIS).

Assim, no trecho em azul da figura 33 pode ser observada a passagem próxima à cidade. Para este trecho, o retroespalhamento encontrado pelo CALIPSO mostra um sinal mais intenso por volta de 3 km de altitude, em amarelo, o que confirma os dados do lidar (figura 35).

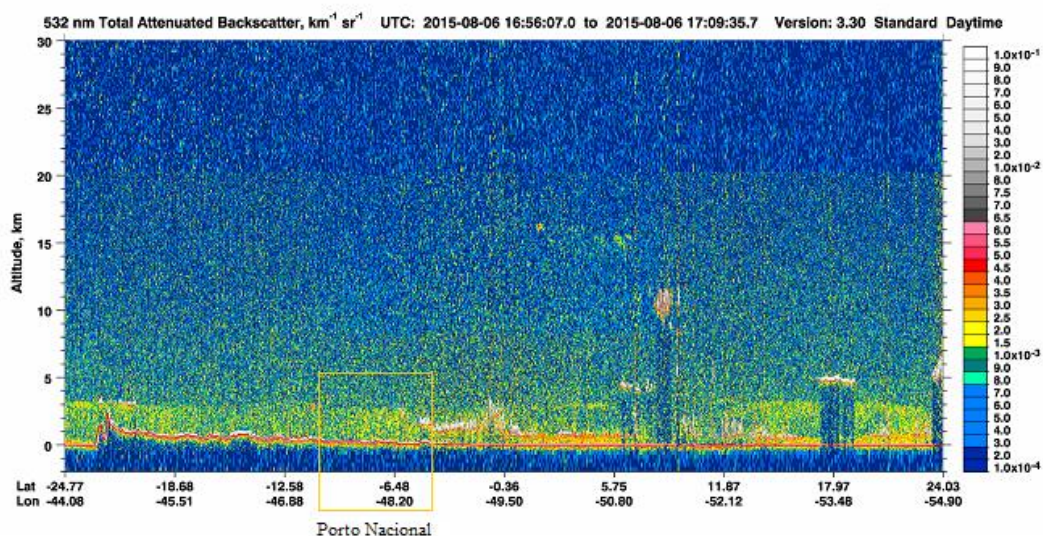


Figura 35: Atenuação do retroespalhamento de acordo com a altitude x latitude e longitude (CALIPSO) para o dia 06/08/2015. No retângulo, região correspondente a Porto Nacional.

Observa-se também a presença de aerossóis na região (figura 36) do tipo “poeira contaminada” (*polluted dust*), resultado da soma da suspensão de poeira da crosta, devido ao tempo seco e com altas temperaturas, mais o produto de queima de biomassa (figura 37).

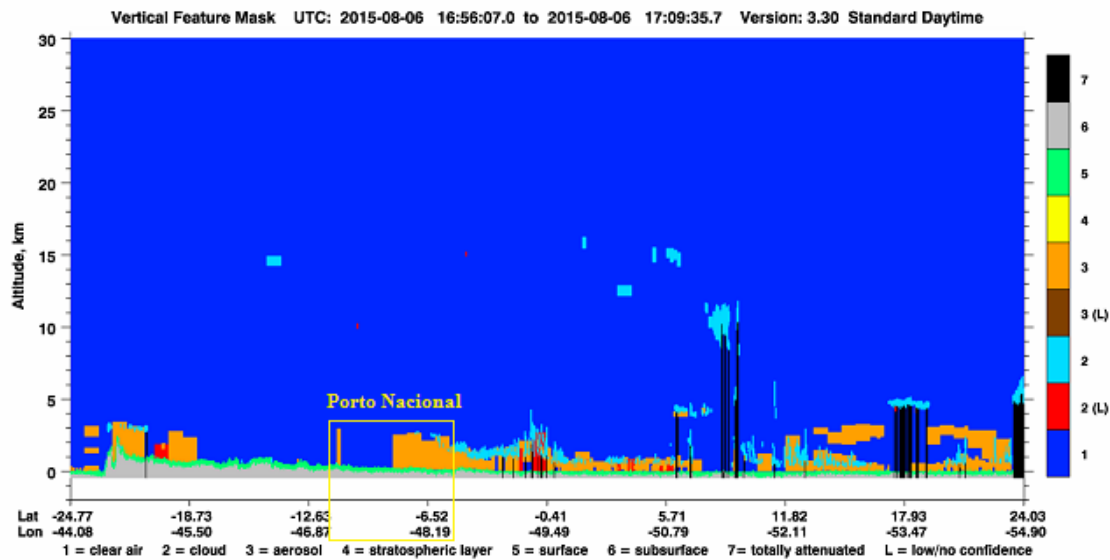


Figura 36: Característica vertical do material espalhador (CALIPSO) para o dia 06/08/2015
No retângulo amarelo, região correspondente a Porto Nacional.

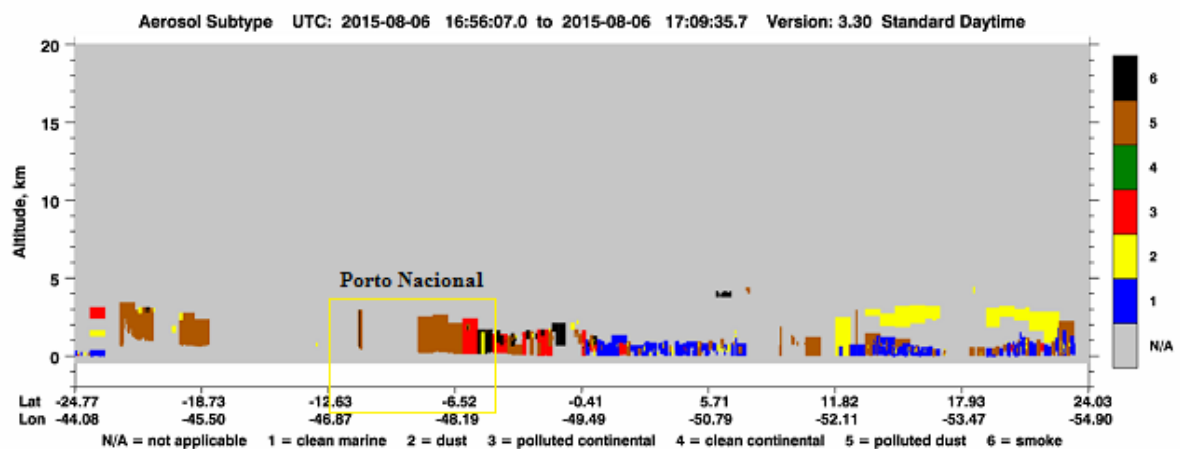


Figura 37: Subtipo de aerossol (CALIPSO) para o dia 06/08/2015. No retângulo amarelo, região correspondente a Porto Nacional.

Assim, para o dia 06/08/2015, os dados encontrados com a utilização do sistema lidar foram corroborados pelos dados obtidos com o CALIOP.

Para o dia 13/08/2015, temos o trajeto do CALIPSO na figura 38.

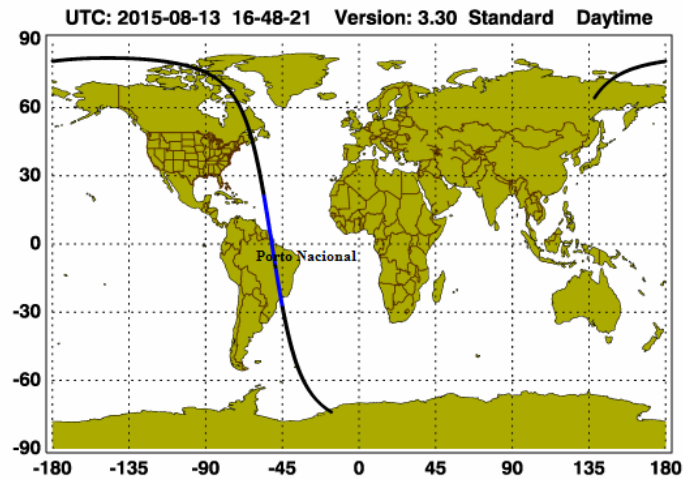


Figura 38: Trajeto do CALIPSO no dia 13/08/2016.

No trecho em azul, da passagem do CALIPSO próximo a Porto Nacional, tem-se a figura 39, onde se observa o retroespalhamento em uma altitude de aproximadamente 2,0 km de altitude. No gráfico cortina para o dia 13/08/2015 (figura 30), observa-se que não há uma camada mais intensa no topo deste limite, como é observado no gráfico cortina do dia 06/08/2015. No entanto, há a presença de aerossóis desde o solo até a altitude observada.

Assim, no dia 13/08/15, ao contrário do dia 06/08/15, não foi detectado o acúmulo de aerossóis numa altitude correspondente a atingida pela fumaça das queimadas, embora houvesse em intensidade mais baixa.

Nas figuras obtidas com o CALIPSO pode-se observar a atenuação do retroespalhamento em altitude correspondente ao sinal detectado pelo lidar (Figura 39).

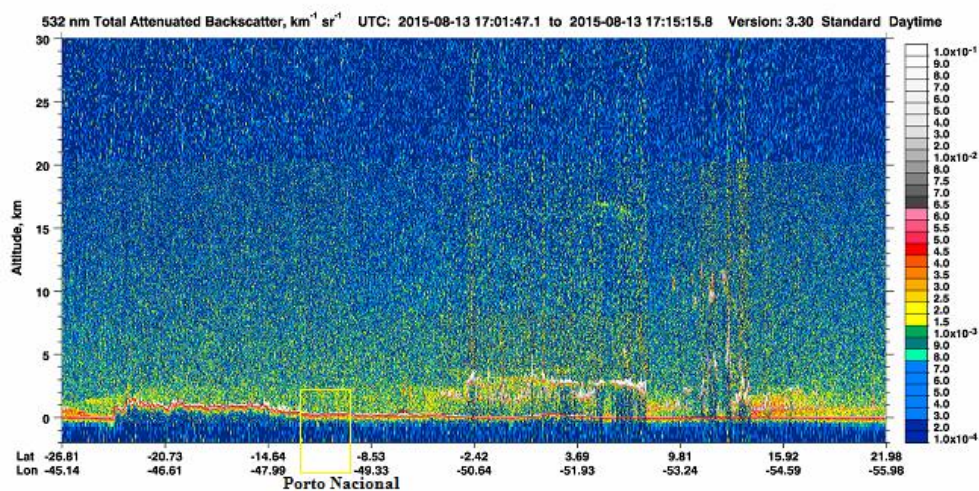


Figura 39: Atenuação do retroespalhamento de acordo com a altitude x latitude e longitude (CALIPSO) para o dia 13/08/2015. No retângulo, região correspondente a Porto Nacional.

Nas figuras 40 e 41 observa-se que o CALIPSO não detectou a presença de aerossóis.

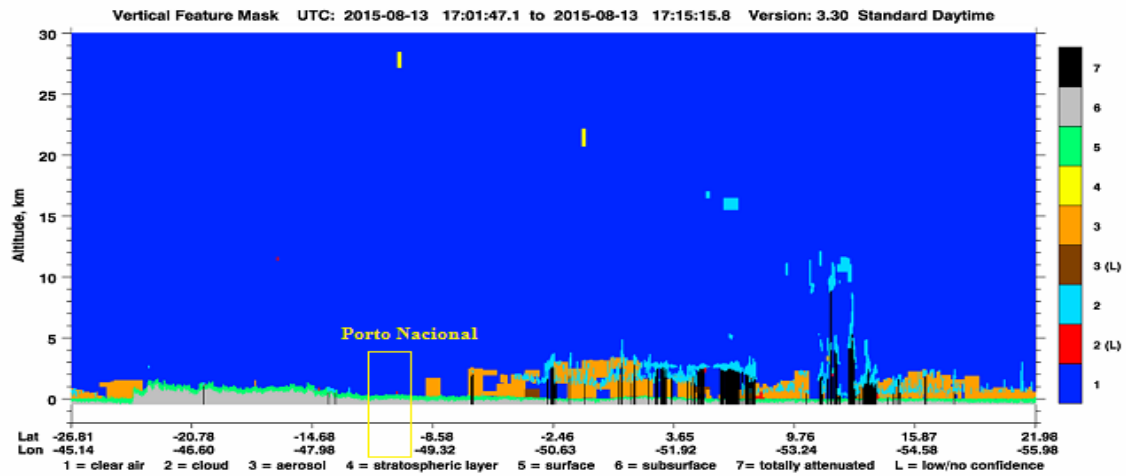


Figura 40: Característica vertical do material espalhador (CALIPSO) para o dia 13/08/2015. No retângulo amarelo, região correspondente a Porto Nacional

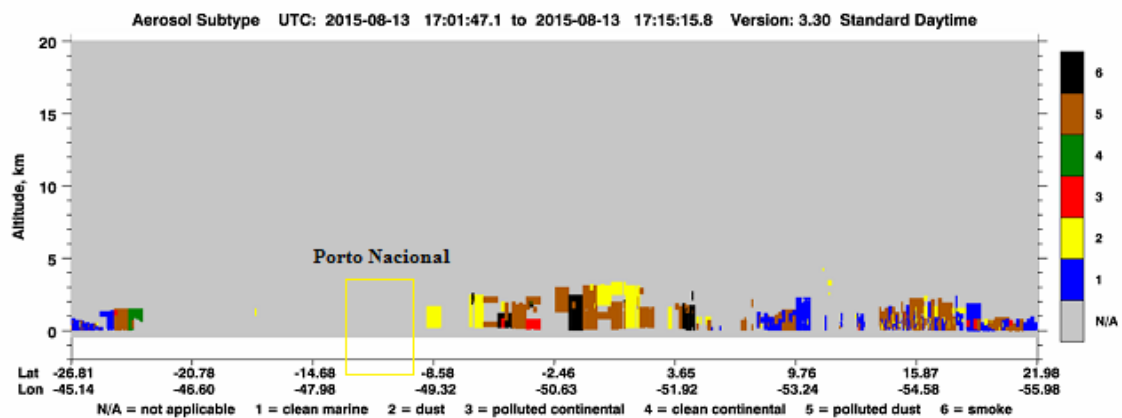


Figura 41: Subtipo de aerossol (CALIPSO) para o dia 13/08/2015. No retângulo amarelo, região correspondente a Porto Nacional.

Algumas hipóteses que podem explicar esta ausência da detecção são a diferença de horário de coleta das informações, já que se observa que a figura 39 foi desenhada a partir de dados coletados de 17:01:47,1 às 17:15:15,8 UTC, enquanto o lidar esteve ligado entre 22:22 e 23:44 UTC. Nesta hipótese, as queimadas poderiam ter liberado alta quantidade de aerossóis entre estes períodos. Outra hipótese é que a intensidade do sinal em 13/08/2015 não chegou a ultrapassar um ponto de detecção a partir do qual o CALIPSO registraria as informações, já que o número de focos foi menor que no dia 06/08/2015 (figura 34).

Quanto à AOD, os dados obtidos através da plataforma on-line GIOVANNI para os meses de 2015, mostram um aumento em seus valores durante o período de maior ocorrência de queimadas, com a intensidade maior nos meses posteriores a setembro, provavelmente devido a um efeito cumulativo (figura 42).

Hovmoller, Longitude-Averaged of Aerosol Optical Thickness at 0.55 microns for both Ocean (best) and Land (corrected): Mean of Daily Mean monthly 1 deg. [MODIS-Terra MOD08_M3 v6] over 2015-Mar - 2015-Dec, Region 49.9658W, 11.9714S, 46.0327W, 8.0164S

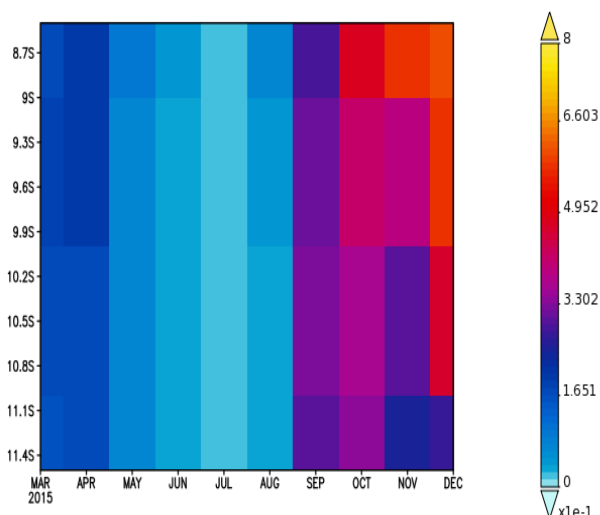


Figura 42: Espessura óptica de aerossóis (GIOVANNI).

Observa-se na plotagem de AOD para os diferentes meses do ano durante um período maior, de 2012 a 2015, que ocorre um aumento da AOD anualmente a partir do mês de julho, atingindo o pico em setembro, seguindo o comportamento da ocorrência de queimadas na região (figura 43).

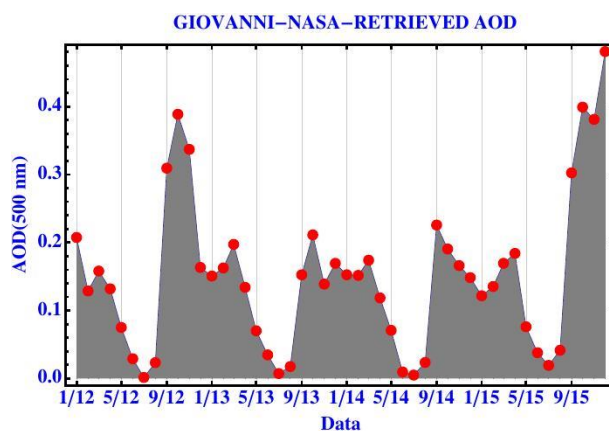


Figura 43: AOD mensal para a região de Porto Nacional (GIOVANNI).

O aumento da AOD no mês de setembro condiz ainda com o encontrado por PEREIRA *et al* (1996) e HOLBEN *et al* (1996) durante o experimento TRACE-A, com a utilização de radiômetro a bordo de satélite, como foi citado na introdução deste trabalho.

Agosto, em relação aos outros meses do ano já apresenta altos valores para número de focos de queimada e AOD, porém os mesmos aumentam mais ainda em setembro. Nos meses seguintes, os valores de AOD tendem a um declínio em quase todos os anos, ainda com manutenção de queimadas nos meses seguintes, embora em número menor.

Na extremidade final da curva da figura 43, observa-se que a AOD manteve-se alta após setembro de 2015 e na figura 42 corrobora-se o fato através da observação de um sinal mais intenso nos meses posteriores. Assim, além do possível efeito cumulativo, parece ter ocorrido mais queimadas, nos meses posteriores a setembro de 2015, do que nos outros anos.

Os valores de AOD diários para o mês de agosto mostram que o dia 06 foi um dos dias de maior intensidade dentre os quais as medidas com o lidar foram efetuadas (figura 44).

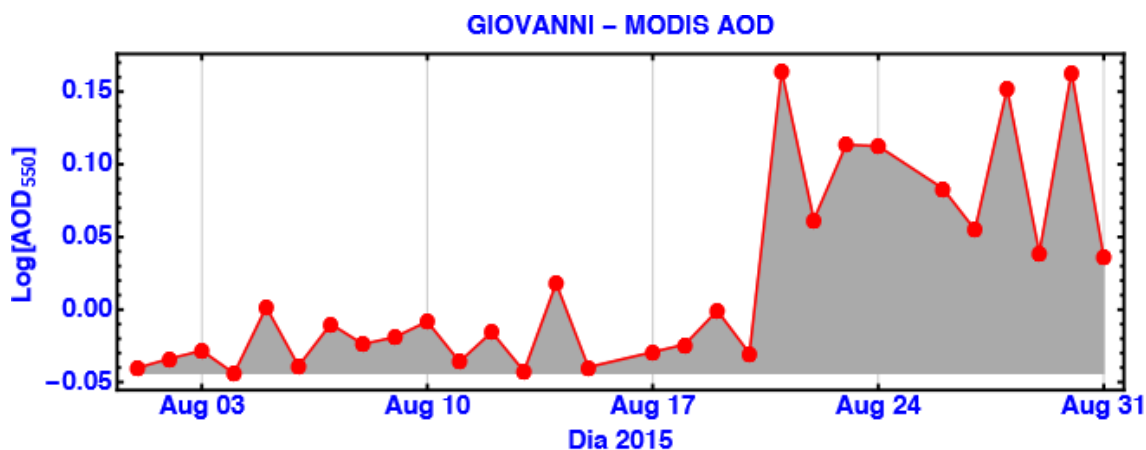


Figura 44: AOD diária para a região de Porto Nacional em agosto de 2015.

Novamente, observa-se a divergência entre a AOD encontrada para o dia 13/08/2015 na figura 44 e a observação da ausência de aerossóis na medida com o CALIPSO o que poderia ser explicada pelos mesmos fatores citados: diferentes horários de visualização da atmosfera pelos diferentes instrumentos ou capacidades diversas de detecção de sinais, com um sinal menos intenso do que um determinado ponto de corte não sendo detectado.

Na figura 45, onde foram plotadas as medidas das médias diárias de AOD de agosto e setembro de 2015, observa-se a intensificação dos valores em setembro, com picos de até vinte vezes maiores que os mostrados na figura 44 para os dias estudados, tendo sido um infortúnio a impossibilidade de utilização do lidar em setembro. Uma análise dos dados do CALIPSO para os dias de maior AOD em setembro encontra-se no Apêndice B.

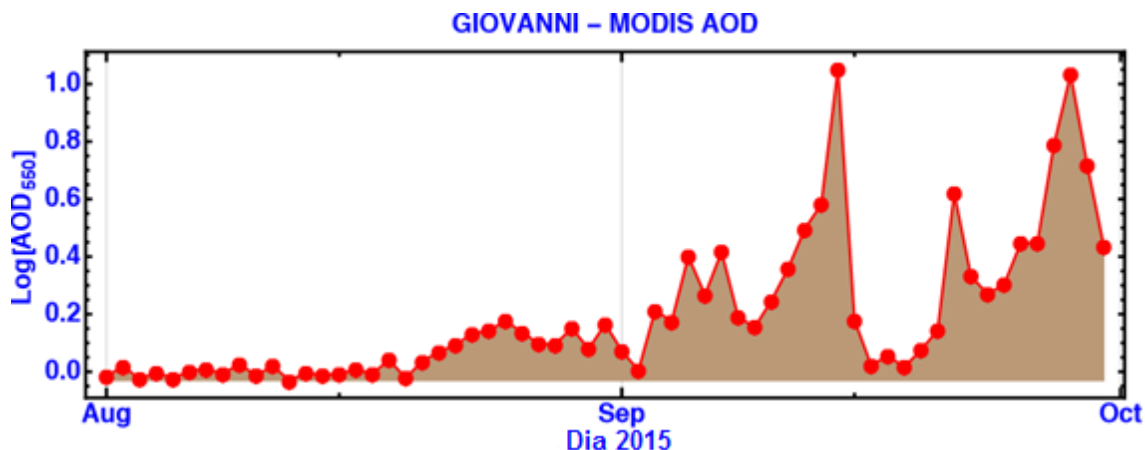


Figura 45: AOD diária para os meses de agosto e setembro de 2015.

A análise de Klett encontra-se no Apêndice C.

8.2 - Análise dos Filtros de Impactação de Aerossóis

A concentração de $MP_{2,5}$ para os períodos nos quais foram colhidas as amostras em Porto Nacional variaram sem demonstrar diferença ampla entre os valores médios de setembro/13 ($30,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e dezembro/15 ($33,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), embora com comportamento diverso entre os meses (figuras 46a e b).

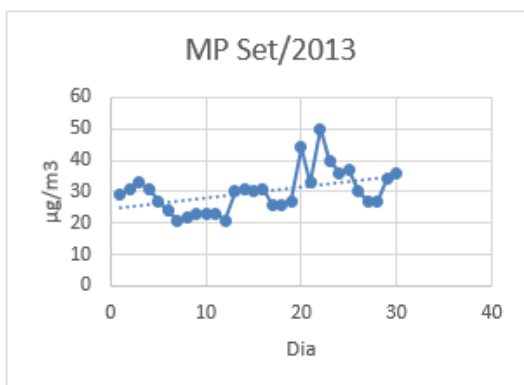


Fig 46a

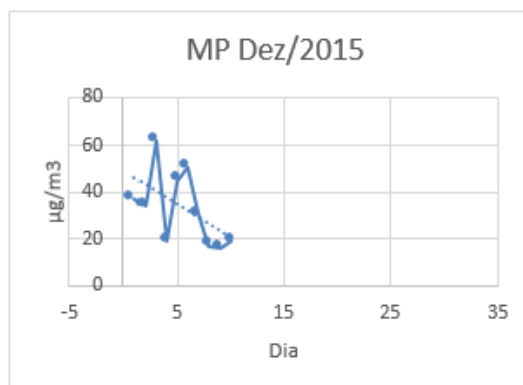


Fig 46b

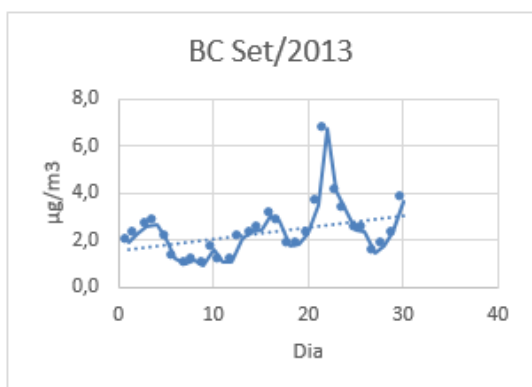


Fig 46c

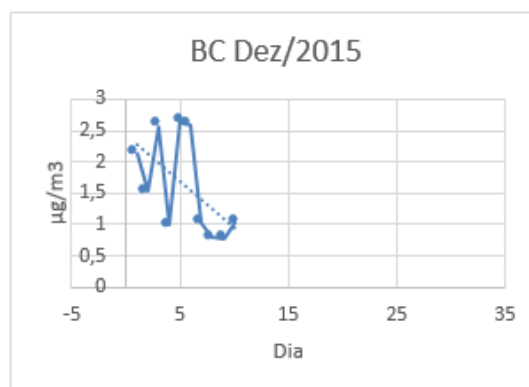


Fig 46d

Figura 46: Concentração de Material Particulado e Black Carbon para os meses de Setembro/2013 e Dezembro/2015.

Estes valores médios situaram-se dentro da faixa considerada qualidade do ar N2-moderada pela CETESB, porém em ambos períodos houve picos considerados na faixa N3-ruim, em que grupos sensíveis podem apresentar sintomas respiratórios (tabelas 1 e 2).

Comparando-se os valores de $MP_{2,5}$ com os valores para seis capitais nacionais, obtidos por Miranda *et al* (2010), pode-se observar que Porto Nacional possui médias semelhantes às da cidade de São Paulo, e maior que todas as outras cinco capitais investigadas, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Porto Alegre, Curitiba e Recife (tabela 4).

Tabela 4: Valores de $MP_{2,5}$ e de BC para seis capitais brasileiras ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

	<u>São Paulo</u>				<u>Rio de Janeiro</u>				<u>Belo Horizonte</u>			
	<u>Verão</u>		<u>Inverno</u>		<u>Verão</u>		<u>Inverno</u>		<u>Verão</u>		<u>Inverno</u>	
	<u>Média</u>	<u>DP</u>	<u>Média</u>	<u>DP</u>	<u>Média</u>	<u>DP</u>	<u>Média</u>	<u>DP</u>	<u>Média</u>	<u>DP</u>	<u>Média</u>	<u>DP</u>
<u>$MP_{2,5}$</u>	23,1	9,5	35,5	14,5	15,8	5,5	23	13	14,5	6,5	18,5	7,5
<u>BC</u>	7,1	3,4	13,1	7,3	2,3	1,2	4	2,5	3,4	1,7	5,8	4,4

	<u>Porto Alegre</u>				<u>Curitiba</u>				<u>Recife</u>			
	<u>Verão</u>		<u>Inverno</u>		<u>Verão</u>		<u>Inverno</u>		<u>Verão</u>		<u>Inverno</u>	
	<u>Média</u>	<u>DP</u>	<u>Média</u>	<u>DP</u>	<u>Média</u>	<u>DP</u>	<u>Média</u>	<u>DP</u>	<u>Média</u>	<u>DP</u>	<u>Média</u>	<u>DP</u>
<u>$MP_{2,5}$</u>	13,9	6,7	19,3	14,3	13,3	5,1	18,1	9,2	10,5	2,8	12,5	4,6
<u>BC</u>	2,6	2,4	4,9	5	2,7	1,4	5	4,1	1,3	0,6	2,7	1,1

Fonte: Miranda *et al*, 2010.

Levantou-se a hipótese de que as altas concentrações de $MP_{2,5}$ em dezembro poderiam ser devido a queima de diesel, proveniente de maquinário utilizado na agropecuária. No entanto, agrônomos¹ que trabalham na região informaram que o maquinário atual teria uma tecnologia de proteção ao meio ambiente, com muito baixa emissão de gases poluentes. Além disso, dezembro não seria um mês de intensificação da utilização destas máquinas, já que, mesmo quando há colheitas precoces, o início é a partir do mês de janeiro (informação verbal). Assim, não foi possível supor que a queima de diesel por máquinas agrícolas pudesse explicar estes altos valores de $MP_{2,5}$ em dezembro.

A concentração média de BC apresentou-se maior em setembro ($2,32 \mu\text{g}/\text{m}^3$) que em dezembro ($1,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (figuras 46c e d), possivelmente devido a ocorrência das queimadas em setembro e à ausência de chuvas, que promove uma atmosfera mais estável em setembro. Estes valores muito menores do que os encontrados para São Paulo, mas semelhantes a Rio de Janeiro e Recife no verão (2,3 e 1,3, respectivamente). O comportamento das curvas de $MP_{2,5}$ e BC foi semelhante.

Plotando-se conjuntamente número de focos de queimadas, $MP_{2,5}$ e BC, observa-se o maior pico de queimadas do período (22/09/2013) coincidindo com o pico de concentração de $MP_{2,5}$ e BC. Em outras datas de picos de queimadas (14 e 17/09/2013) há um aumento mais discreto de $MP_{2,5}$, o que pode ser devido aos focos estarem presentes em outras regiões, já que os focos considerados foram para todo o estado do Tocantins (figura 47).

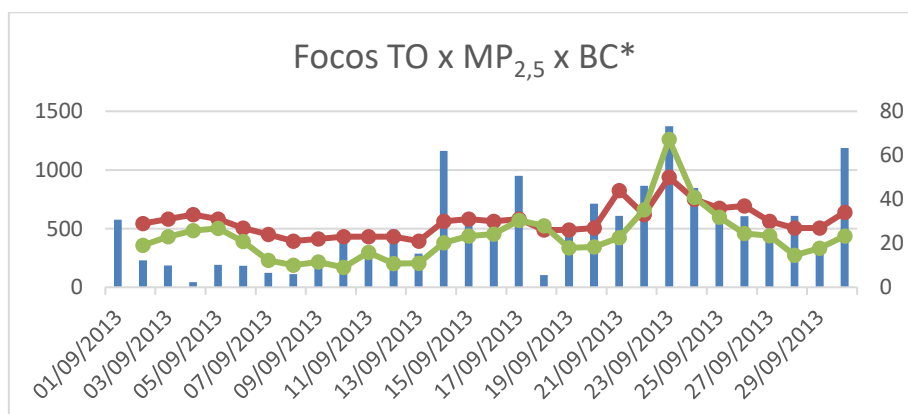


Figura 47: Focos de queimadas em TO (azul), $MP_{2,5}$ (vermelho) e BC (verde) para Setembro/2013.
*BC teve seu valor multiplicado pelo fator 10 para melhor visualização da curva.

¹ MILLER, G; LAITARTE R. Colheita de grãos no Tocantins. Entrevista em 21 dez. 2016.

Quando considerado o número de focos em Porto Nacional não é possível observar relação das medidas com o pico de queimadas (figura 48).

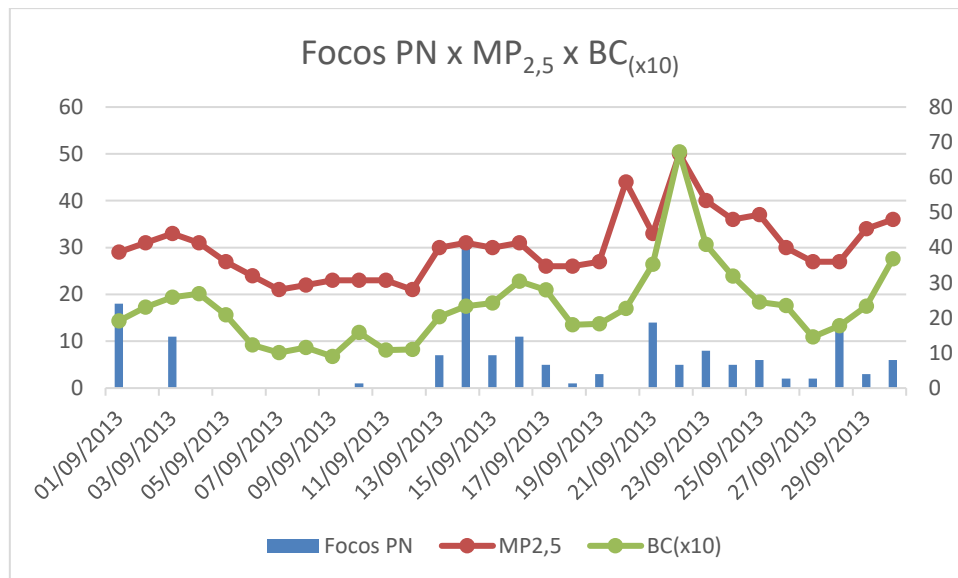


Figura 48: Focos de queimadas em PN (azul), MP_{2,5} (vermelho) e BC (verde) para Setembro/2013.
*BC teve seu valor multiplicado pelo fator 10 para melhor visualização da curva.

Inferese-se que a origem do material particulado em dezembro seja proveniente da queima de diesel, através da análise da composição das formas oxidadas. Em setembro é maior que em dezembro a concentração dos óxidos de alumínio (7%) e de silício (12%), relacionados a poeira proveniente do solo, enquanto em dezembro aumenta a composição do óxido de enxofre (50%), proveniente da queima de combustível fóssil, em relação a setembro (32%) caindo as porcentagens dos óxidos de alumínio (2%) e silício (4%) (figura 49).

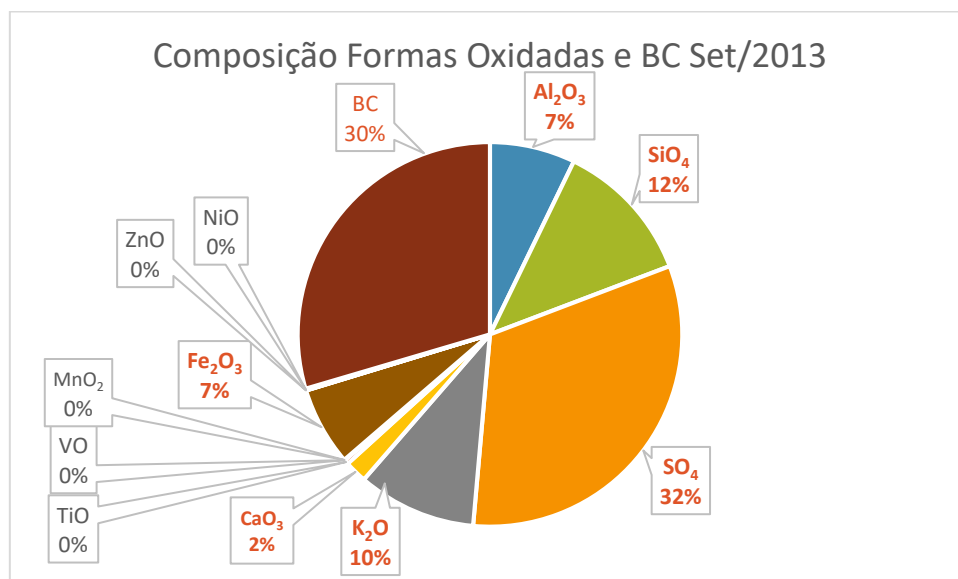


Figura 49a

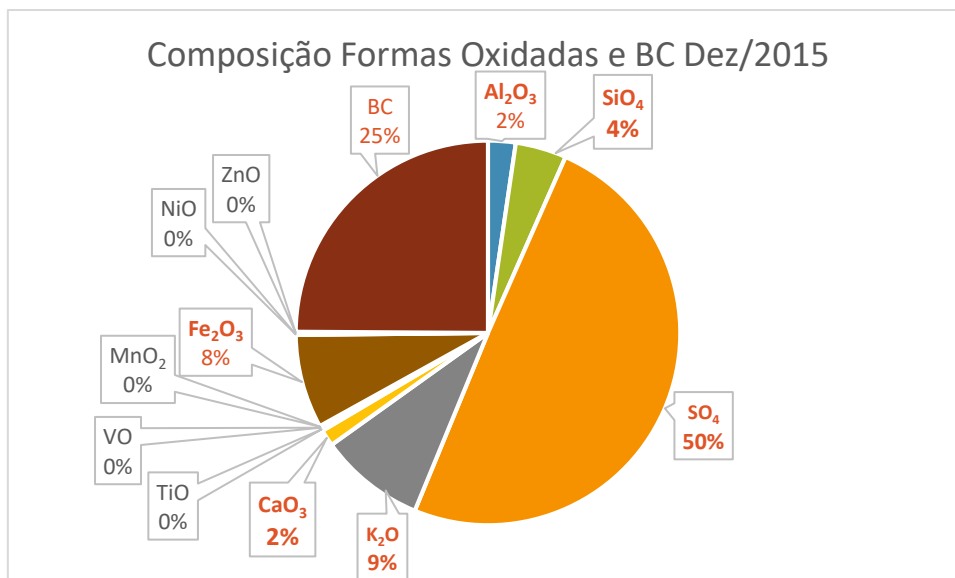


Figura 49b

Figuras 49: Composição das principais formas oxidadas encontradas na análise do material particulado para os meses de setembro/2013 (a) e dezembro/2015 (b) (médias para os períodos).

8.3 – Análise da Relação dos Focos de Queimada com a Internação por Doenças Respiratórias.

8.3.1- Caracterização da População Estudada.

8.3.1.1- Hospital Regional de Porto Nacional.

Segundo o DATASUS, de janeiro de 2008 a novembro de 2016, foram internadas no HRPN por doenças respiratórias um total de 2766 pessoas, 1512 (54,66%) do sexo masculino e 1254 (45,33%) do sexo feminino (figura 50).

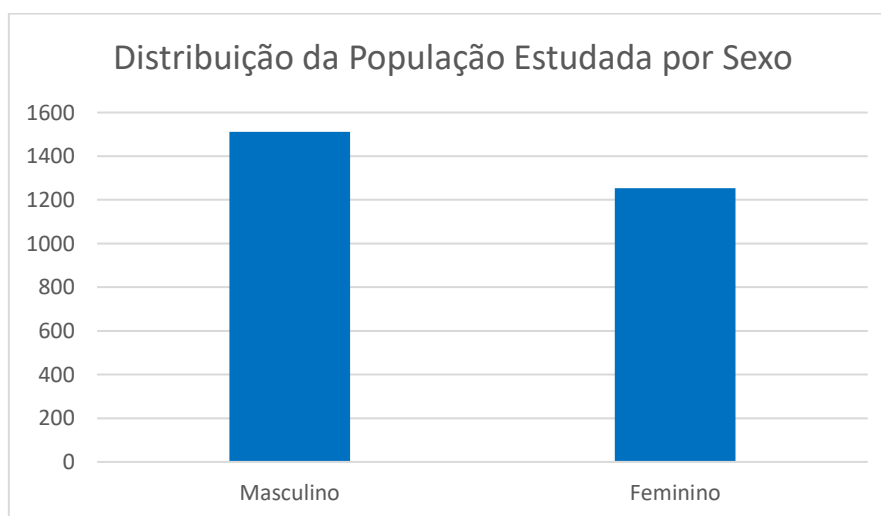


Figura 50: Distribuição da população estudada por sexo em Porto Nacional de 2008 a 2016.

Quanto à raça, houve um predomínio de pardos, 2187 (79,06%); seguidos por brancos, 50 (1,80%); pretos, 40 (1,44%); amarelos, 11 (0,39%); 0 indígenas; e 478 (17,28%) sem informação (figura 51).

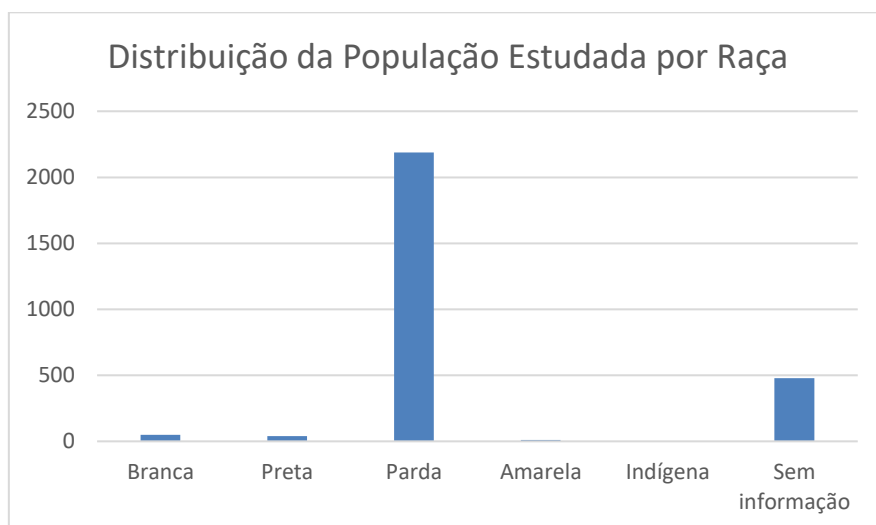


Figura 51: Distribuição da população estudada por raça em Porto Nacional de 2008 a 2016.

Em relação a faixa etária, nota-se um aumento proporcional a idade, a partir da faixa de 5 a 9 anos: 3 (0,11%) eram menores que 1 ano; 3 (0,11%) tinham de 1 a 4 anos, 2 (0,07%) de 5 a 9 anos; 53 (1,91%) de 10 a 14 anos; 80 (2,89%) de 15 a 19 anos; 159 (5,75%) de 20 a 29 anos; 193 (6,98%) de 30 a 39 anos; 205 (7,41%) de 40 a 49 anos; 248 (8,97%) de 50 a 59 anos; 350 (12,65%) de 60 a 69 anos; 589 (21,29%) de 70 a 79 anos; e 881 (31,85%) com 80 anos e mais (figura 52).

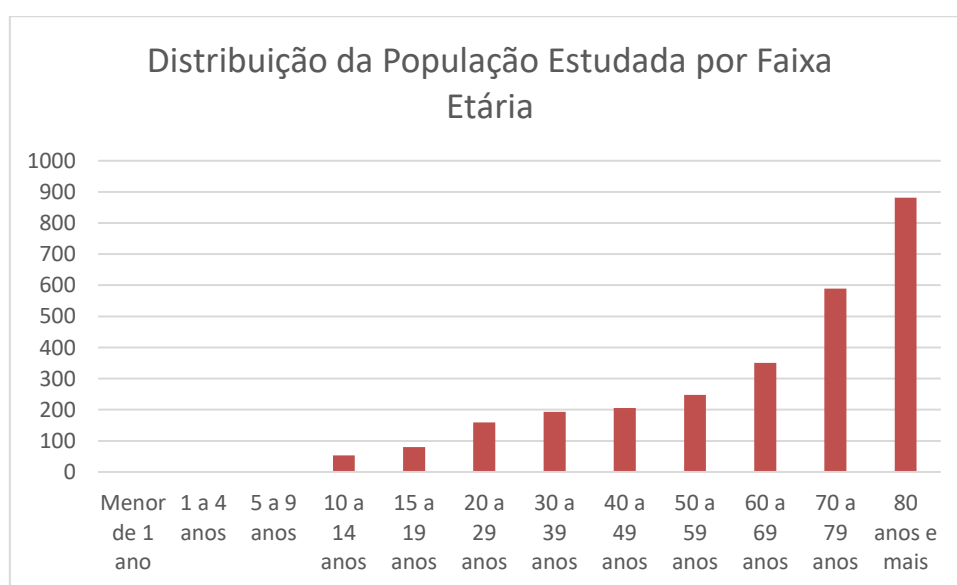


Figura 52: Distribuição da população estudada por faixa etária em Porto Nacional de 2008 a 2016.

Os diagnósticos foram: faringite aguda e amigdalite aguda em 16 casos (0,58%); laringite e traqueíte agudas em 1 caso (0,04%); outras infecções agudas das vias aéreas superiores em 9 casos (0,32%); influenza (gripe) em 8 casos (0,29%); pneumonia em 1334 casos (48,22%); bronquite aguda e bronquiolite aguda em 4 casos (0,14%); sinusite crônica em 2 casos (0,07%); outras doenças do nariz e dos seios paranasais em 8 casos (0,29%); outras doenças do trato respiratórios superior em 17 casos (0,61%); bronquite, enfisema e outras doenças pulmonares obstrutivas crônicas em 1061 casos (38,36%), asma em 178 casos (6,43%), bronquiectasia em 1 caso (0,04%), pneumoconiose em 5 casos (0,18%); e outras doenças do aparelho respiratório em 122 casos (4,41%) (figura 53).

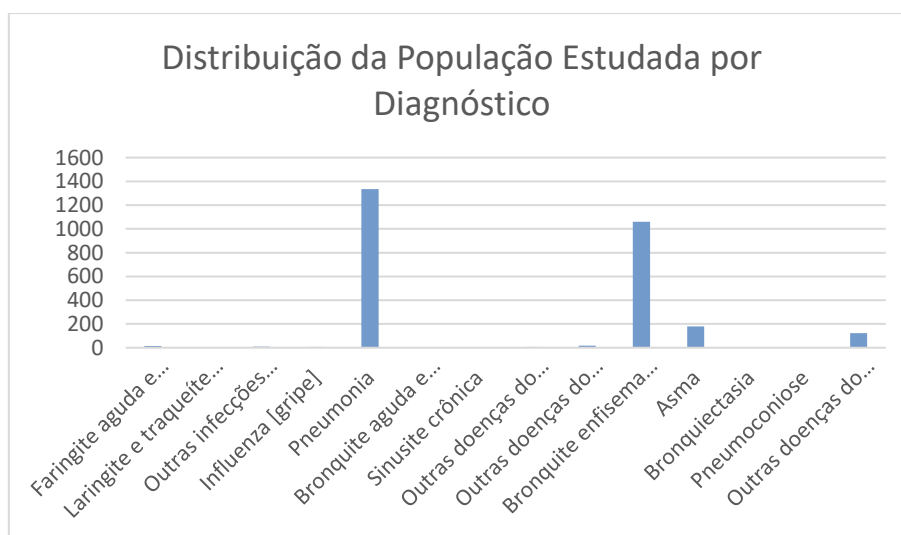


Figura 53: Distribuição da população estudada por diagnóstico em Porto Nacional de 2008 a 2016.

Quanto às regiões de saúde definidas pela SESAU/TO (figura 54), os casos estavam assim distribuídos: Médio Norte Araguaia 1 (0,04%), Bico do Papagaio 1 (0,04%), Sudeste 40 (1,44%), Cerrado Tocantins Araguaia 4 (0,14%), Ilha do Bananal 18 (0,68%), Capim Dourado 53 (1,91%), Cantão 14 (0,51%), e Amor Perfeito 2635 (95,26%) (figura 55).

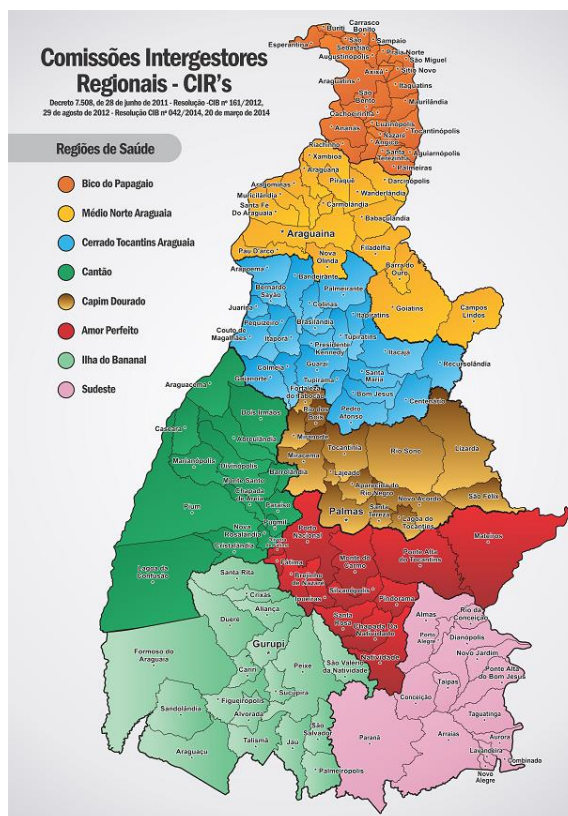


Figura 54: Regionais de saúde do Estado do Tocantins (SESAU TO, 2015)

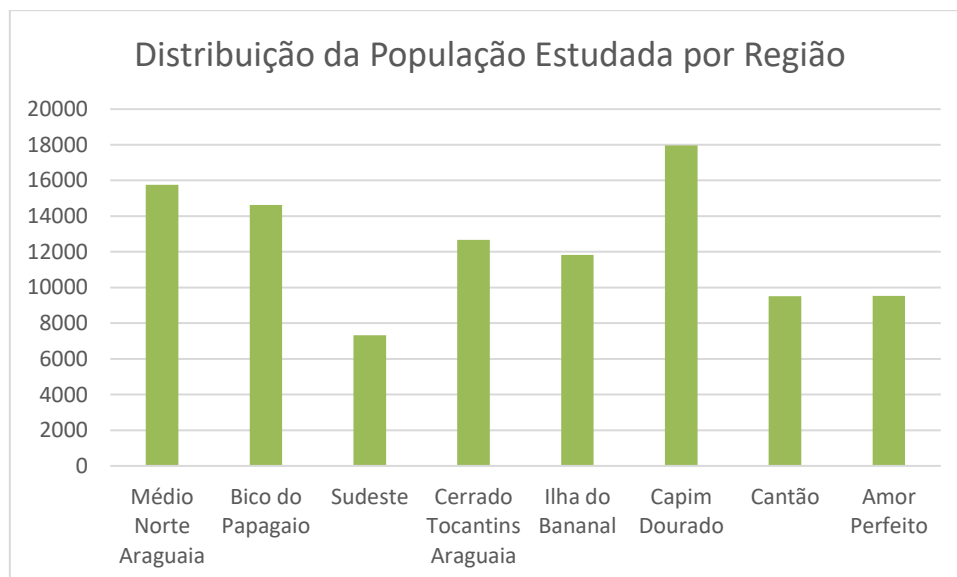


Figura 55: Distribuição da população estudada por região em Porto Nacional de 2008 a 2016.

Dentro desta última, que inclui Porto Nacional eram provenientes dos municípios: Brejinho de Nazaré, 72 (2,73%); Chapada da Natividade, 22 (0,83%); Fátima, 61 (2,31%); Ipueiras, 48 (1,82%); Mateiros, 24 (0,91%); Monte do Carmo, 103 (3,90%); Natividade, 109 (4,14%); Oliveira de Fátima, 11

(0,42%); Pindorama do Tocantins, 47 (1,78%); Ponte Alta do Tocantins, 65 (2,47%); Porto Nacional, 1907 (72,37%); Santa Rosa do Tocantins, 82 (3,11%); e Silvanópolis, 84 (3,19%), sendo as porcentagens nestes municípios relativas ao total da região Amor Perfeito (figura 56).

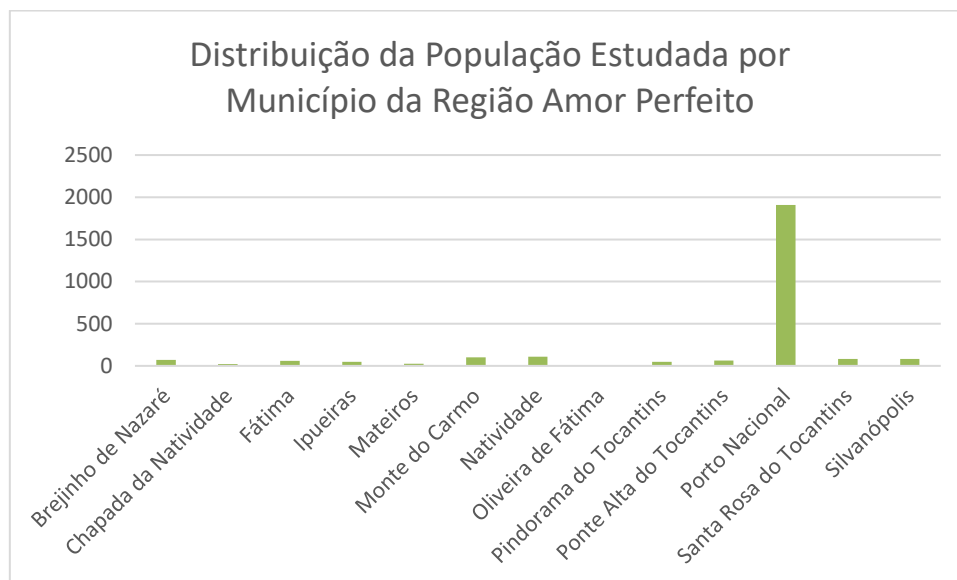


Figura 56: Distribuição da população estudada em Porto Nacional por município de proveniência de 2008 a 2016.

8.3.1.2- Estado do Tocantins

Para todo o estado do Tocantins, segundo a mesma base de dados e para o mesmo período, de janeiro de 2008 a novembro de 2016, foram internadas no HRPN por doenças respiratórias um total de 99.199 pessoas, 54.202 (54,64%) do sexo masculino e 44.997 (45,36%) do sexo feminino (figura 57).

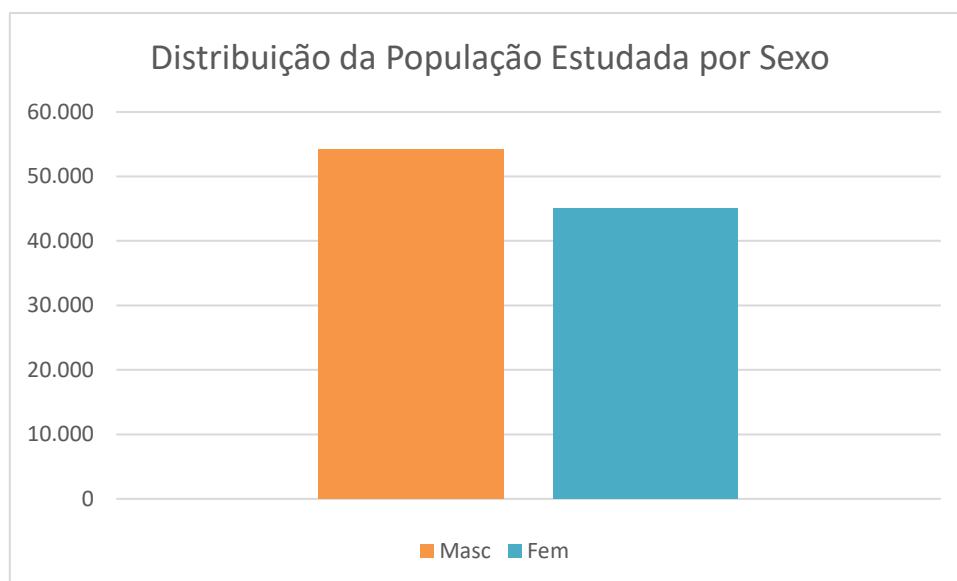


Figura 57: Distribuição da população estudada em Tocantins por sexo de 2008 a 2016.

Dos pacientes internados por doenças respiratórias, 7.373 (7,43%) eram brancos; 1.700 (1,71%) pretos; 60.344 (60,83%) pardos; 515 (0,52%) amarelos; 3.258 (3,28%) indígenas, e 26.009 (26,22%) sem informação (figura 58).

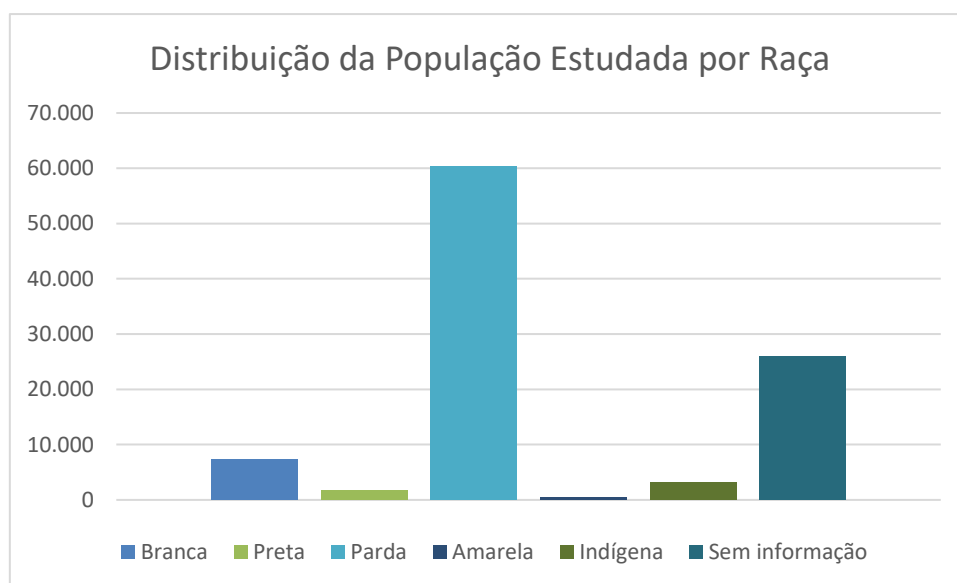


Figura 58: Distribuição da população estudada em Tocantins por raça de 2008 a 2016.

Em relação a faixa etária, 16.866 (17%) eram menores que 1 ano; 25.660 (25,87%) tinham de 1 a 4 anos; 8.201 (8,27%) de 5 a 9 anos; 3.583 (3,61%) de 10 a 14 anos; 2.415 (2,43%) de 15 a 19 anos; 4.453 (4,49%) de 20 a 29 anos; 4.225 (4,26%) de 30 a 39 anos; 4.307 (4,34%) de 40 a 49 anos; 5.317 (5,36%) de 50 a 59 anos; 6.854 (6,91%) de 60 a 69 anos; 8.528 (8,59%) de 70 a 79 anos; e 8.790 (8,86%) com 80 anos e mais (figura 59).

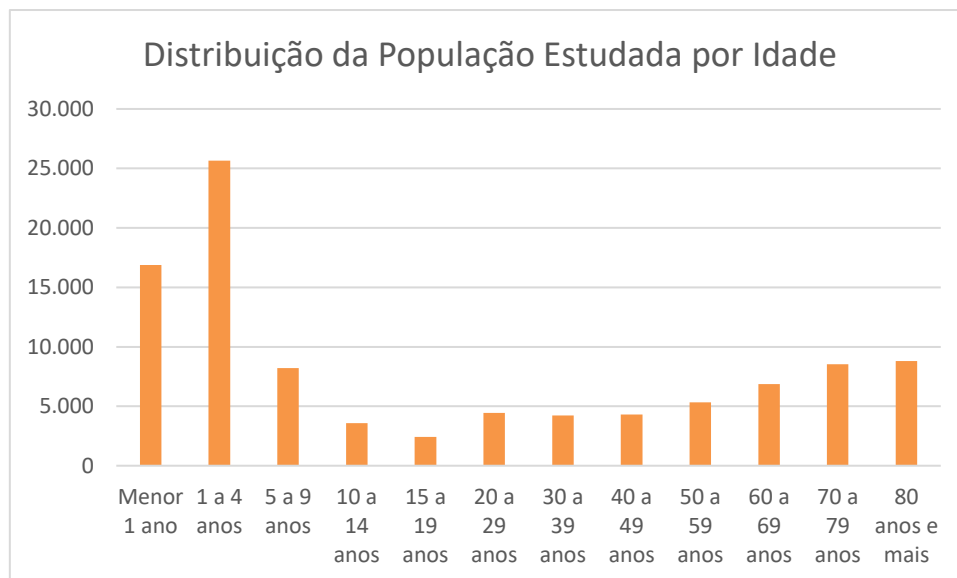


Figura 59: Distribuição da população estudada em Tocantins por faixa etária de 2008 a 2016.

Cabe a observação de que quando se considera as internações para todo o Estado, incluem-se os hospitais infantis, observando assim o alto número de internações em crianças. No HRPN, os atendimentos e internações são para maiores de 12 anos. Há alguns casos de menores internados quando são necessários procedimentos ou avaliações por especialistas que não podem ser realizadas nos hospitais infantis de origem.

Os diagnósticos ficaram assim distribuídos para o estado: faringite aguda e amigdalite aguda em 1.095 casos (1,10%); laringite e traqueíte agudas em 929 casos (0,94%); outras infecções agudas das vias aéreas superiores em 2.816 casos (2,84%); influenza (gripe) em 1.461 casos (1,47%); pneumonia em 65.789 casos (66,32%); bronquite aguda e bronquiolite aguda em 1.880 casos (1,89%); sinusite crônica em 29 casos (0,03%); outras doenças do nariz e dos seios paranasais em 222 casos (0,22%); doenças crônicas das amígdalas e das adenóides 1.178 casos (1,18%); outras doenças do trato respiratório superior em 1.368 casos (1,38%); bronquite, enfisema e outras doenças pulmonares obstrutivas crônicas em 6.226 casos (6,27%); asma em 8.750 casos (8,82%); bronquiectasia em 79 casos (0,08%); pneumoconiose em 60 casos (0,06%); e outras doenças do aparelho respiratório em 7.317 casos (7,37%) (figura 60).

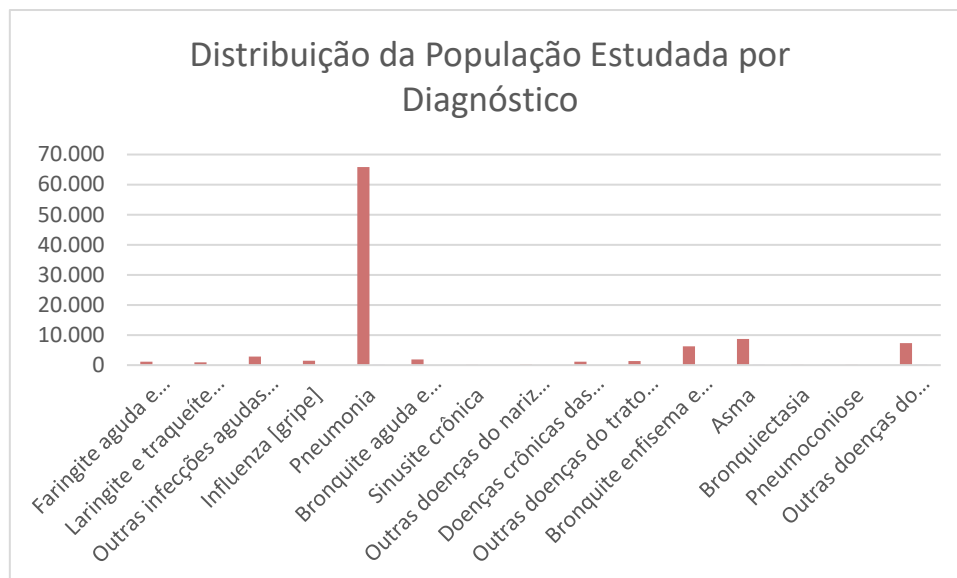


Figura 60: Distribuição da população estudada por diagnóstico em Tocantins de 2008 a 2016.

Quanto a região de saúde/município de proveniência: Médio Norte Araguaia 15.761 (15,89%); Bico do Papagaio 14.621 (14,74%); Sudeste 7.315 (7,37%); Cerrado Tocantins Araguaia 12.676 (12,78%); Ilha do Bananal 11.824 (11,92%); Capim Dourado 17.967 (18,11%); Cantão 9.508 (9,58%); e Amor Perfeito 9.527 (9,60%) (figura 61).

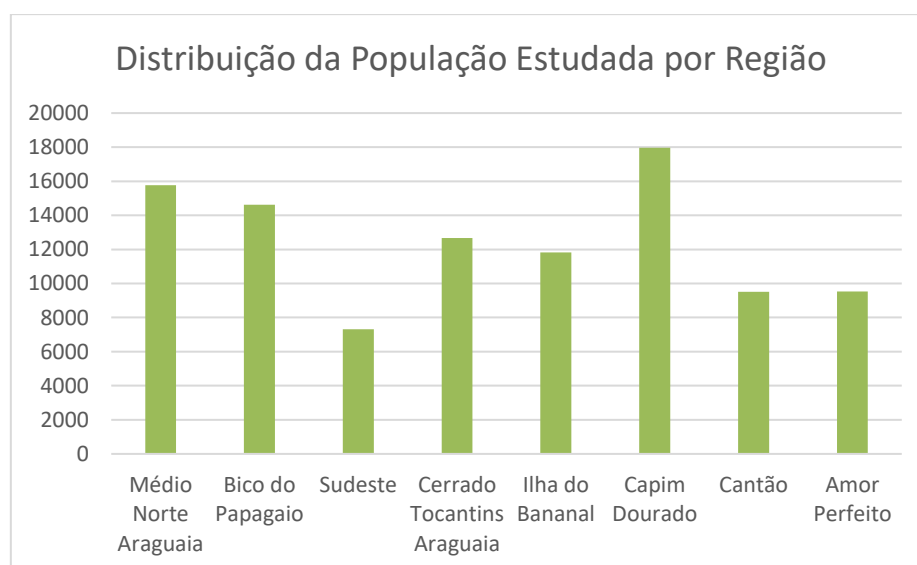


Figura 61: Distribuição da população estudada por região em Tocantins de 2008 a 2016.

Dentro desta última, que inclui Porto Nacional eram provenientes dos municípios: Brejinho de Nazaré 350 (3,67%); Chapada da Natividade 151 (1,58%); Fátima 187 (1,96%); Ipueiras 144 (1,51%); Mateiros 72 (0,75%);

Monte do Carmo 384 (4,03%); Natividade 434 (4,55%); Oliveira de Fátima 78 (0,82%); Pindorama do Tocantins 177 (1,86%); Ponte Alta do Tocantins 743 (7,79%); Porto Nacional 6.112 (64,15%); Santa Rosa do Tocantins 232 (2,43%); e Silvanópolis 463 (4,86%) (figura 62).

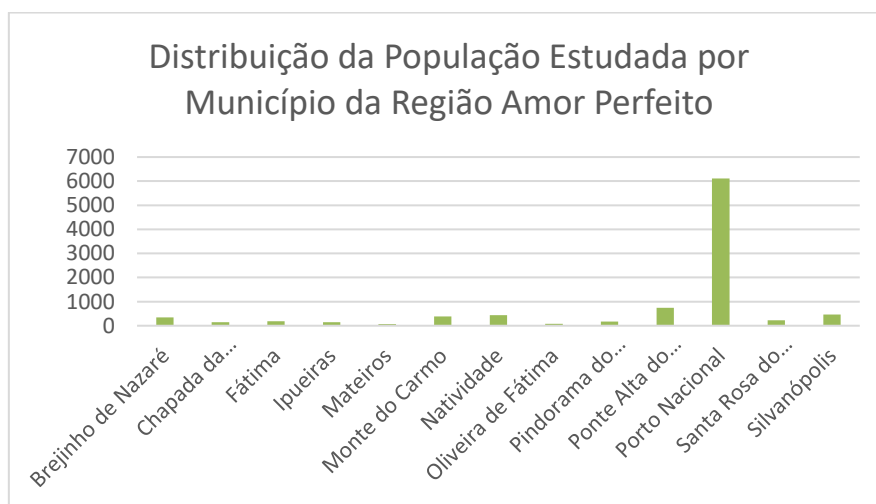


Figura 62: Distribuição da população estudada por município da região Amor Perfeito em Tocantins de 2008 a 2016.

8.3.2- Análise dos Dados de Internações.

Na análise gráfica dos dados sobre o número de internações por doenças respiratórias realizadas no HRPN ao longo do tempo, não se observa relação entre esta e o número de focos de queimadas na região (figura 63).

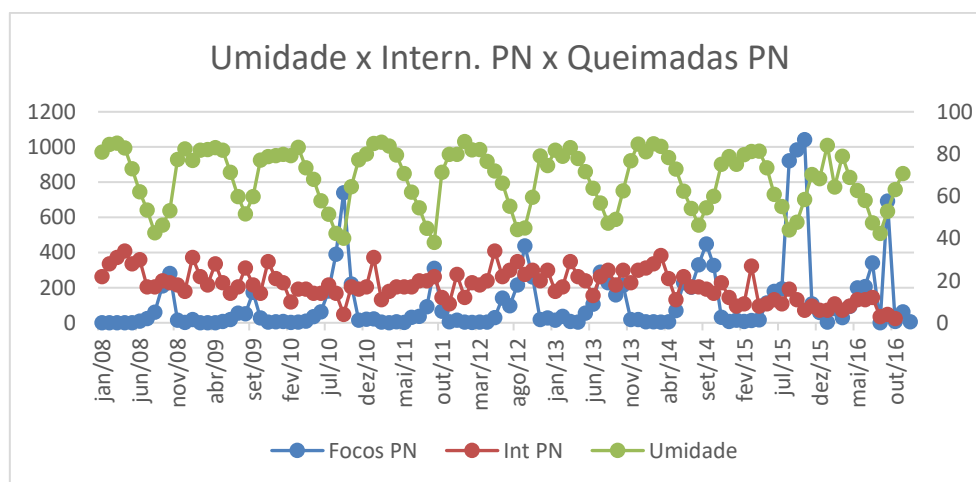


Figura 63: Curvas de: umidade relativa do ar (verde), número de queimadas em PN (azul) e internações por doenças respiratórias (vermelho) em Porto Nacional de 2008 a 2016.

Poderia-se especular que a intensa seca que acomete a região no período das queimadas seria um fator de viés em direção oposta a relação

procurada, se a hipótese levantada por FRANCINE e colaboradores (2000) de que a poeira da crosta teria um efeito protetor contra a mortalidade por doenças respiratórias fosse confirmada.

No entanto, para o estado do Tocantins, observa-se que, além de não se evidenciar aumento do número de internações nos meses de maior número de queimadas, uma relação oposta pode ser visualizada, ou seja, nos meses de maior umidade, quando há menos focos de queimadas, é quando ocorre o maior número de internações por doenças respiratórias, anualmente (figura 64).

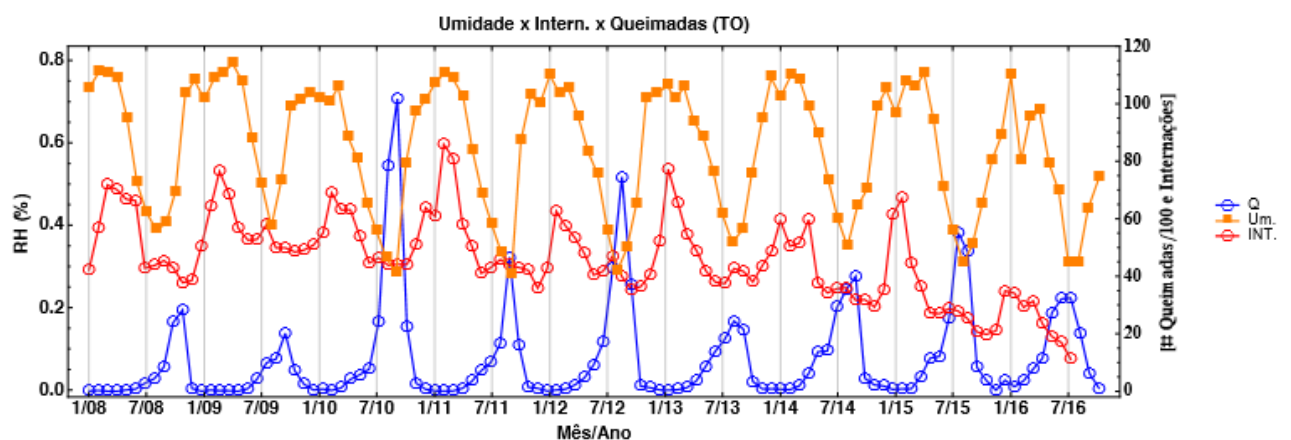


Figura 64: Curvas de: umidade relativa do ar (laranja), número de queimadas (azul) e internações por doenças respiratórias (vermelho) em Tocantins de 2008 a 2016.

Isso mostra que, ou a ocorrência de queimadas não interfere na ocorrência de internações, ou há um outro fator na estação oposta que interfere numa intensidade muito maior, tornando impossível observar a interferência das queimadas sem conhecer e poder desvincular este outro fator que ocorre na estação úmida.

Quando se analisa o número de óbitos por doenças respiratórias através da plotagem em gráficos também não se observa influencia das queimadas (figura 65).

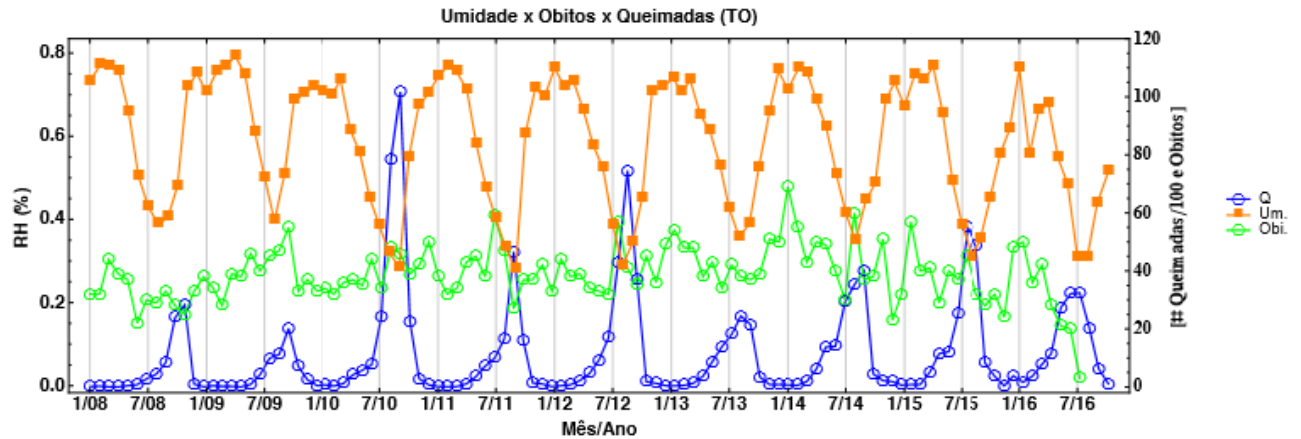


Figura 65: Curvas de: umidade relativa do ar (laranja), número de queimadas (azul) e óbitos por doenças respiratórias (verde) em Tocantins de 2008 a 2016.

Também foi procurada a relação das queimadas com a taxa de mortalidade em maiores de 65 anos, por ser um indicador utilizado por CASTRO *et al* (2009) em Rondônia, em estudo citado na revisão de literatura deste trabalho, que encontrou a relação positiva entre ambos, e novamente, a mesma não foi encontrada (figura 66).

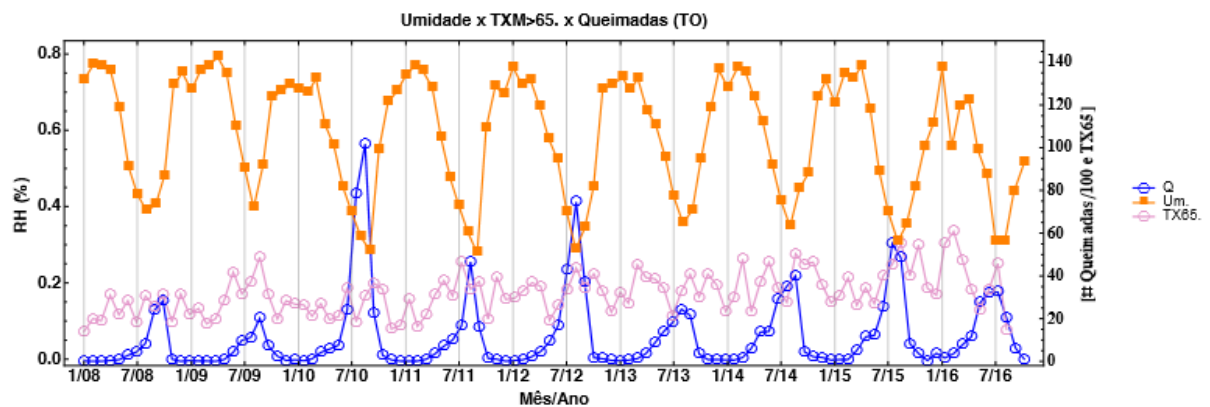


Figura 66: Curvas de: umidade relativa do ar (laranja), número de queimadas (azul) e taxa de mortalidade em maiores de 65 anos por doenças respiratórias (rosa) em Tocantins de 2008 a 2016.

Foi investigada a relação procurada também através da comparação de dados anuais de internações e focos de queimadas no estado, porém novamente não foi encontrada (figura 67).

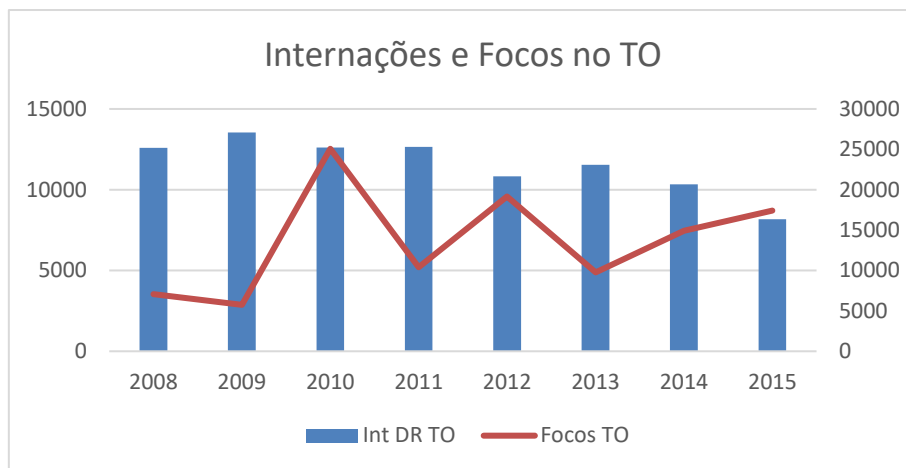


Figura 67: Internações anuais por doenças respiratórias e número de focos anuais no Tocantins de 2008 a 2015.

A análise estatística foi realizada com o uso do *software SAS® (Statistical Analysis System) University Edition*, sendo dividida em dois conjuntos de dados por área: TO e PN.

A Regressão de Stepwise foi utilizada para verificar a significância dos dados (tabela 5).

Tabela 5: Sumário da Regressão de Stepwise para o estado do TO

Sumário da Seleção de Stepwise TO								
Passo	Variável Inserida	Variável Removida	N Var Inclusas	R quadrado Parcial	R quadrado Modelo	C(p)	Valor F	Pr > F
1	Ano		1	0.3175	0.3175	167.013	48.38	<.0001
2	Est		2	0.2060	0.5235	87.8009	44.54	<.0001
3	Um		3	0.1684	0.6919	23.4216	55.76	<.0001
4	Mes		4	0.0405	0.7325	9.4565	15.29	0.0002
5	FogoTO		5	0.0189	0.7513	4.0264	7.58	0.0070

Para TO, apresentaram significância para o modelo as cinco variáveis inseridas: ano, estação do ano, umidade, mês e focos de queimadas no TO. O R-quadrado para o modelo indica que é um modelo que explica 75,13% dos eventos dependentes, no caso, as internações no estado do Tocantins. O R-quadrado parcial para FogoTO, como foi chamado o número de focos de queimada no estado, indica que 1,89% das internações no estado poderiam ser explicadas pelas queimadas, com uma confiabilidade na informação de 99,3%.

Foi então utilizada análise para modelos lineares generalizados (MLG), agrupando em classes as variáveis em que havia grande número de dados, como umidade e número de focos de incêndio (tabela 6).

Tabela 6: Agrupamento das Variáveis em Classes para a análise dos Modelos Lineares Generalizados.

Informação dos Níveis de Classe TO		
Classe	Níveis	Valores
Ano	9	2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016
Est	4	1 2 3 4
SUM	5	1 2 3 4 5
Mes	12	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
FTO	4	1 2 3 4

O R quadrado para o modelo completo mostrou que este era capaz de explicar 0,899346 (valor de R quadrado para o modelo completo) da variável dependente, interações para o TO, enquanto quando se considerava apenas o número de focos de queimadas, excetuando ano, estação, umidade e mês, o modelo era capaz de explicar apenas 0,176899 (valor de R quadrado para o modelo simples). No entanto o valor de p para os focos de queimadas para o modelo completo foi de 0,6997, mostrando uma probabilidade muito alta de erro ao se afirmar algo em relação a influência dos focos de incêndio nos valores de interações.

Foi então utilizada a análise dos coeficientes de correlação de Pearson, que indicou correlação forte negativa (-0,75357) apenas entre umidade e focos de queimadas, sendo as correlações para as outras variáveis moderadas (0,5 a 0,7), fracas (0,3 a 0,5) e desprezíveis (0 a 0,3) (tabela 7).

Tabela 7: Coeficiente de Correlação de Pearson.

Coeficiente de Correlação de Pearson						
	TO	Ano	Est	Um	Mes	FogoTO
TO	1					
Ano	-0.56347 <.0001	1				
Est	-0.43853 <.0001	0.00000 1.0000	1			
Um	0.41906 <.0001	-0.11825 0.2251	0.12325 0.2060	1		
Mes	-0.41214 <.0001	0.00000 1.0000	0.19433 0.0439	-0.40499 <.0001	1	
FogoTO	-0.30846 0.0013	0.09205 0.3434	0.02481 0.7988	-0.75357 <.0001	0.35550 0.0002	1

Para PN, a regressão de stepwise mostrou significância para apenas duas variáveis: ano e focos de incêndio, explicando 21,97% dos eventos e com o número de focos de incêndio influenciando 2,25% das internações no município com uma confiabilidade de 91,19% ($p= 0,0891$) (tabela 8).

Tabela 8: Sumário da Seleção de Stepwise para a cidade de PN.

Sumário da Seleção de Stepwise PN								
Passo	Variável Inserida	Variável Removida	N Var Incluídas	R quadrado Parcial	R quadrado Modelo	C(p)	Valor F	Pr > F
1	Ano		1	0.1972	0.1972	1.5977	25.30	<.0001
2	FogoPN		2	0.0225	0.2197	0.7175	2.95	0.0891

As análises de modelos lineares generalizados e correlação de Pearson para PN mostraram valores desprezíveis, portanto não apresentados.

Foram levantadas algumas hipóteses para o fato de que o resultado esperado não tenha sido encontrado. As principais foram a faixa etária da população estudada e o tipo de atendimento médico que foi investigado.

Os autores que encontraram correlação positiva entre queimadas e saúde respiratória em geral estudaram as populações mais sensíveis, como crianças e idosos (ARBEX et al, 2006; CASTRO, GONÇALVES e HACON, 2009; CARMO et al, 2010; OLIVEIRA, IGNOTTI e HACON, 2011; PARAÍSO e GOUVEIA, 2015), o que não foi possível neste estudo devido a não aprovação do comitê de ética do pedido de alteração da idade da população estudada.

Além disso, o número da amostra daqueles estudos foi maior e incluía os atendimentos de todas as admissões em pronto socorro e não apenas aquelas que foram graves o suficiente para serem encaminhadas para internação. Porém, não há banco de dados suficiente sobre os atendimentos de pronto socorro no Tocantins. Há apenas alguns dados pontuais em alguns meses em poucos hospitais, sem uma continuidade da coleta de dados. A análise de todas as fichas por um período foi cogitada, porém, além do número de fichas ser grande demais para apenas um pesquisador, não há um protocolo de atendimento ou sistema informatizado, sendo várias das fichas incompletas ou ilegíveis.

Outros fatores importantes que não puderam ser considerados foram a necessidade de dados diários, já que dados mensais não consideram sazonalidade, tendência temporal (segundas-feiras interna-se mais que em sextas-feiras) e impossibilitam a contagem do *lag* necessário para o desenvolvimento de doença após a exposição à fumaça, que pode variar de dois a sete dias.

Também as faixas médias de concentração de $MP_{2,5}$ não diferiram entre as amostras obtidas durante os períodos de setembro/2013 e dezembro/2015, enquanto estudos em que a concentração de material particulado fino foi relacionada à saúde respiratória, observaram o aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ causando impacto, e ainda assim, em índices diários (FRANCINE *et al*, 2000; CARMO *et al*, 2010; Silva *et al*, 2013). Na região amazônica IGNOTTI e colaboradores (2010) encontraram associação em níveis de material particulado de $80\mu\text{g}/\text{m}^3$.

9. CONCLUSÕES

Com base na análise dos perfis atmosféricos de Porto Nacional em agosto de 2015 pode-se concluir que, no período, ocorreu a concentração de uma camada de aerossóis na altitude aproximada de 2 a 3,5 km, com característica de mistura de poeira da crosta e poluição. Nestes períodos também foram registrados os maiores valores de AOD para a região.

Os aerossóis encontrados na seca, em setembro/2013, foram formados predominantemente de BC e óxidos de alumínio e silício, enquanto na época de chuvas, em dezembro/2015, encontrou-se acréscimo da concentração de óxido de enxofre.

As concentrações médias de $MP_{2,5}$ encontradas para PN são semelhantes às da cidade de São Paulo, e maior que outras capitais brasileiras: Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Porto Alegre, Curitiba e Recife.

Já as concentrações médias de BC em Porto Nacional foram menores que em São Paulo porém semelhantes a capitais como Rio de Janeiro e Recife.

A relação encontrada entre número de focos de queimadas e internações por doenças respiratórias em TO e PN foi muito baixa (1,89%, $p=0,0070$; 2,25%, $p=0,0891$) e presente apenas em uma das análises utilizada. Para verificação mais acurada de uma possível correlação dos dados seria necessária a implantação de um sistema refinado de coleta dos dados de saúde respiratória, com dados diários de pronto-atendimento.

10. APÊNDICE A - Fisiopatologia das Alterações Respiratórias Provocadas por MP

A unidade respiratória fundamental onde ocorrem as trocas gasosas no pulmão é chamada alvéolo. Os alvéolos são pequenos sacos de ar, envoltos por uma fina camada de células especializadas em trocas gasosas (figura 1A).

O material particulado age nos alvéolos aumentando o número de células inflamatórias, às quais encaminham-se para o local a fim de protegê-lo contra a agressão que aqueles representam.

Tamagawa e colaboradores (2008) expuseram cobaias a dois tipos de soluções, um contendo material particulado proveniente de poluição atmosférica e outro apenas solução salina pura, injetando-as diretamente no trato respiratório. Encontraram, na análise patológica, um aumento do número de macrófagos e neutrófilos nos alvéolos dos animais expostos ao MP em relação ao segundo grupo (figura 2A), além do aumento dos níveis de marcadores inflamatórios sistêmicos (interleucinas) no sangue periférico.

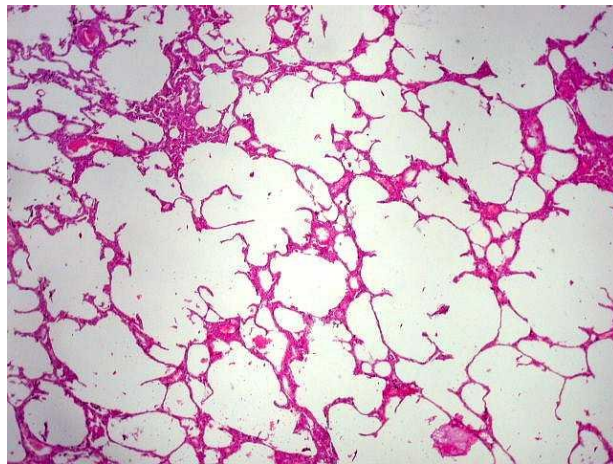


Figura 1A: Alvéolos normais (Tamagawa *et al*, 2008).

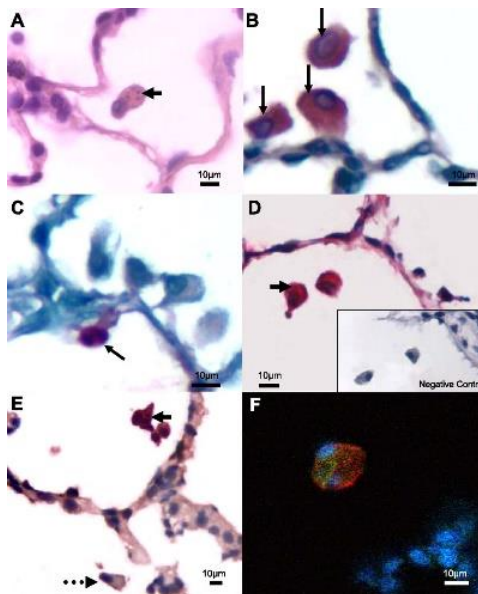


Figura 2A: Alvéolos com infiltrado inflamatório. As setas mostram células inflamatórias, ausentes no pulmão normal (Tamagawa *et al*, 2008).

Experimento semelhante foi realizado em 2015, na UNICAMP, porém com material particulado específico de queimadas, onde foi encontrado o mesmo tipo de alteração patológica nas peças analisadas: aumento do infiltrado de células inflamatórias, e aumento de leucinas no sangue periférico.

Foram utilizados filtros com material particulado proveniente de queimadas da cana-de-açúcar, os quais foram diluídos em solução salina, e determinada a sua composição, encontrando-se diversas substâncias tóxicas. Posteriormente, esta solução foi injetada nas narinas de ratos, sendo o grupo controle formado por ratos que recebiam injeção endonasal apenas de solução salina.

Após a eutanásia, realizou-se análise microscópica de tecidos cardíacos, pulmonares e traqueais. Mediadores inflamatórios também foram medidos nos tecidos pulmonares através de ELISA (*Enzyme Linked Immuno Sorbent Assay*). Especificamente no tecido pulmonar, observou-se formação de infiltrado inflamatório e redução dos espaços alveolares – onde ocorrem as trocas gasosas da respiração. Houve, paralelamente, um aumento significativo na liberação de interleucinas no grupo de ratos que recebeu o tratamento com esta solução, quando comparado ao grupo controle. Isto mostra que importantes alterações fisiopatológicas podem ser induzidas no sistema

respiratório de pessoas expostas ao material particulado proveniente de queimadas, aumentando a resposta inflamatória e os sintomas respiratório.

O aumento das células inflamatórias nos pulmões causa um espessamento das estruturas dificultando as trocas gasosas e assim causando a sensação de falta de ar como sintoma principal, dentre outros secundários, como cansaço, dores de cabeça e aumento de secreção respiratória. Isto pode acontecer em qualquer ser humano. Nas pessoas que possuem maior sensibilidade, como em portadores de asma e alérgicos, crianças e idosos, as reações são exacerbadas, causando sintomas mais graves e predispondo a outras doenças, como infecções secundárias.

11. APÊNDICE B - Imagens do CALIPSO para os dias de maior AOD em setembro de 2015

Do gráfico de AOD para os meses de agosto e setembro de 2015, observa-se que os dias 14, 21 e 28 de setembro apresentaram picos em relação aos outros dias. Assim, as figuras correspondentes ao trajeto do CALIPSO, atenuação do retroespalhamento de acordo com a altitude x latitude e longitude, característica vertical do material espalhador e subtipo de aerossol foram plotadas para estas datas e são apresentadas abaixo.

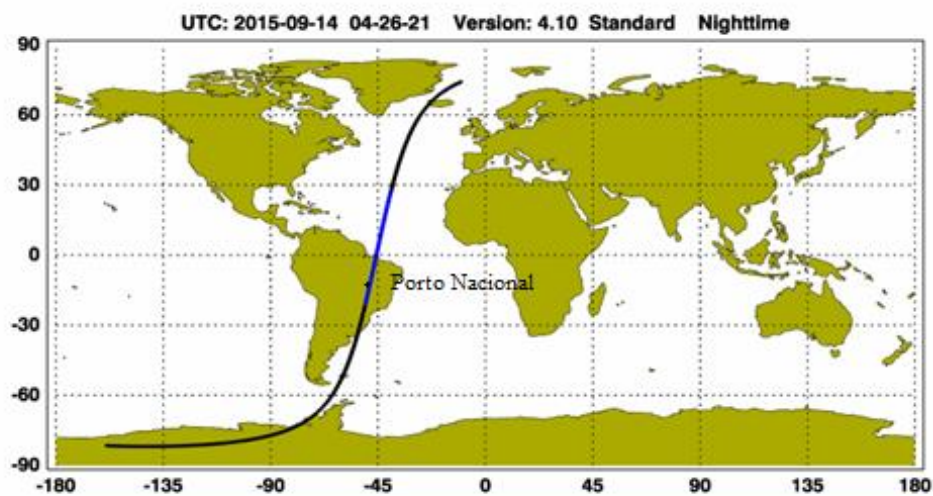


Figura 1B: Trajeto do CALIPSO no dia 14/09/2015.

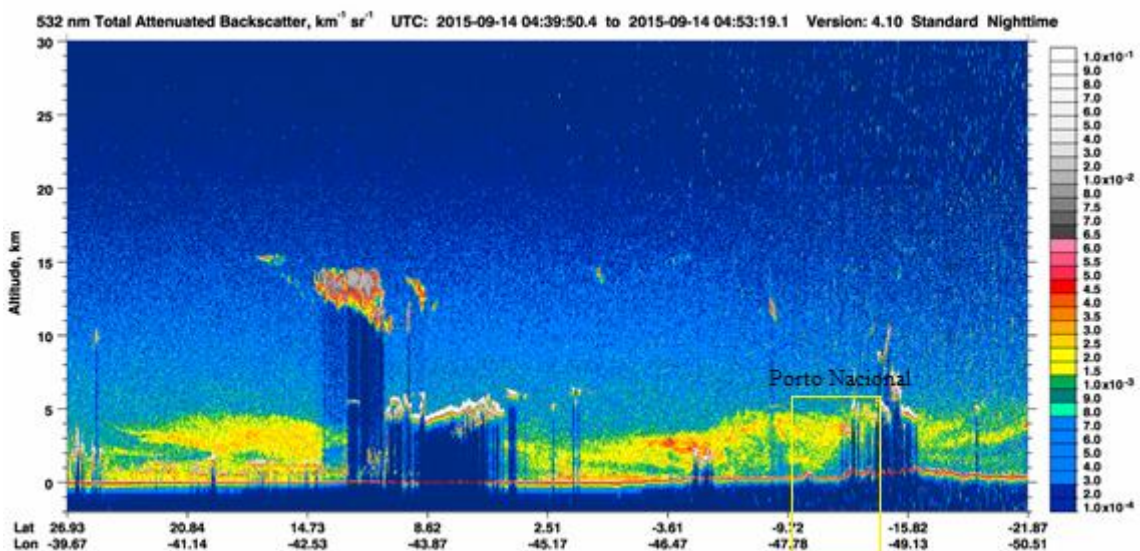


Figura 2B: Atenuação do retroespalhamento de acordo com a altitude x latitude e longitude (CALIPSO) para o dia 14/09/2015. No retângulo amarelo, região correspondente a Porto Nacional.

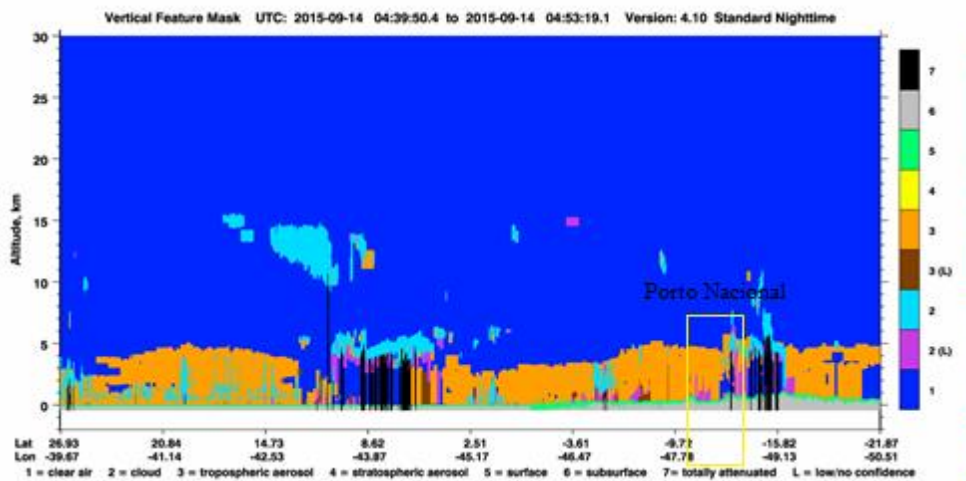


Figura 3B: Característica vertical do material espalhador (CALIPSO) para o dia 14/09/2015. No retângulo amarelo, região correspondente a Porto Nacional.

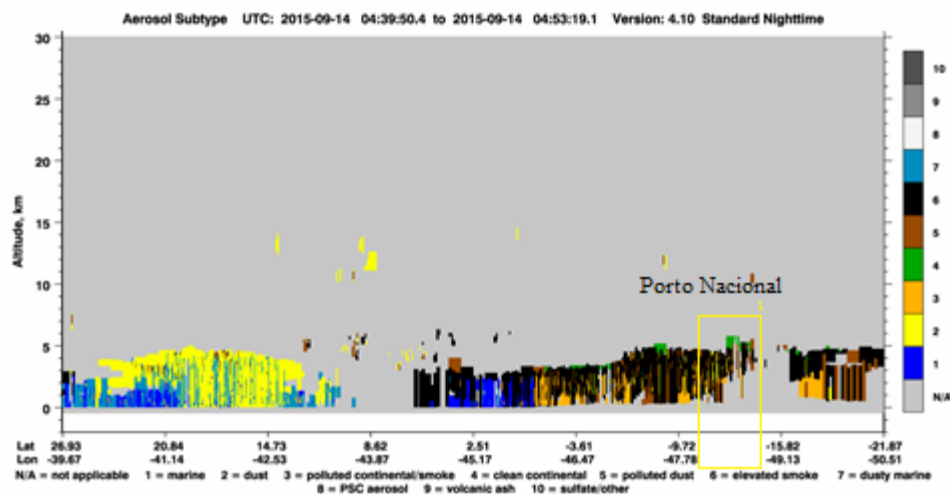


Figura 4B: Subtipo de aerossol (CALIPSO) para o dia 14/09/2015. No retângulo amarelo, região correspondente a Porto Nacional.

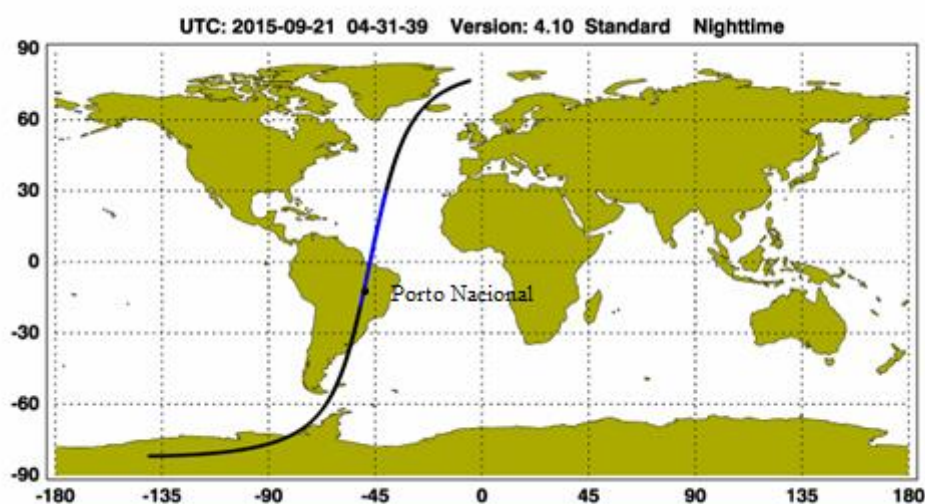


Figura 5B: Trajeto do CALIPSO no dia 21/09/2015.

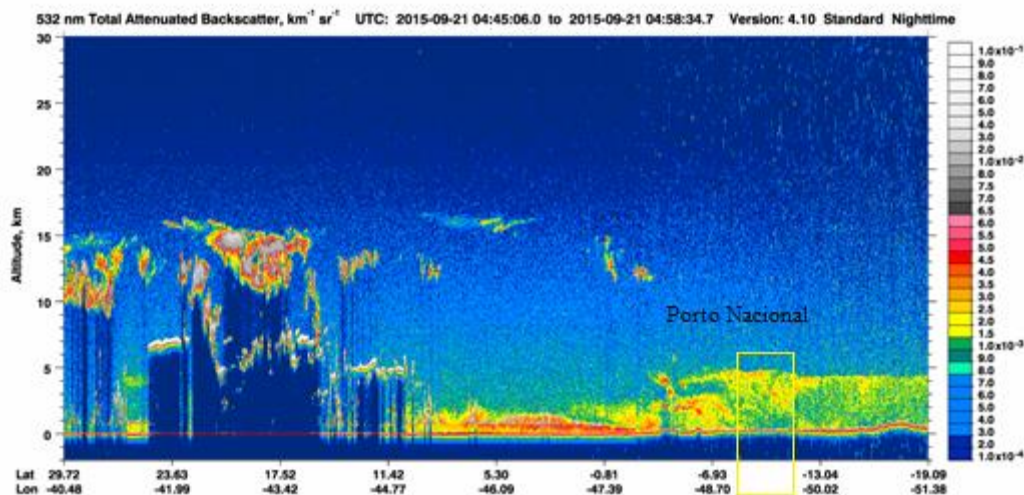


Figura 6B: Atenuação do retroespalhamento de acordo com a altitude x latitude e longitude (CALIPSO) para o dia 21/09/2015. No retângulo amarelo, região correspondente a Porto Nacional.

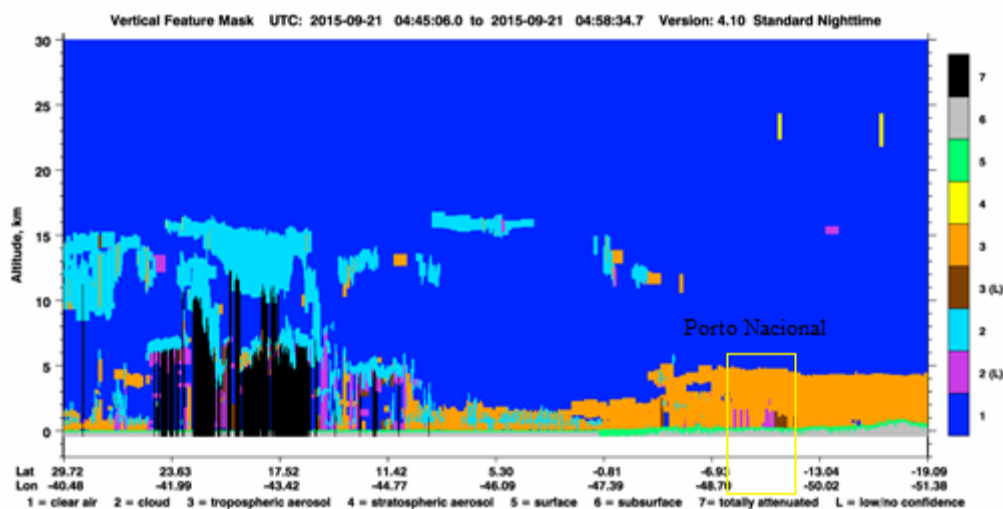


Figura 7B: Característica vertical do material espalhador (CALIPSO) para o dia 21/09/2015. No retângulo amarelo, região correspondente a Porto Nacional.

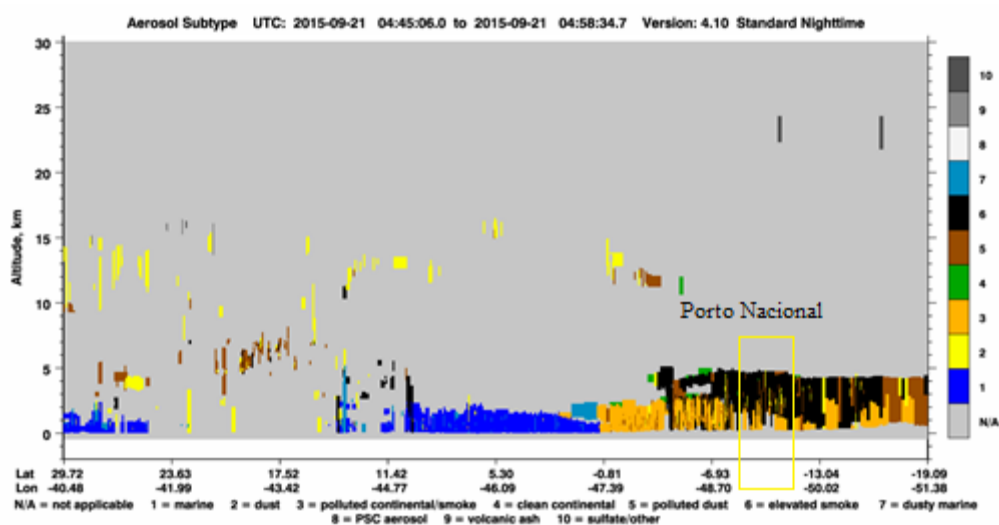


Figura 8B: Subtipo de aerossol (CALIPSO) para o dia 21/09/2015. No retângulo amarelo, região correspondente a Porto Nacional.

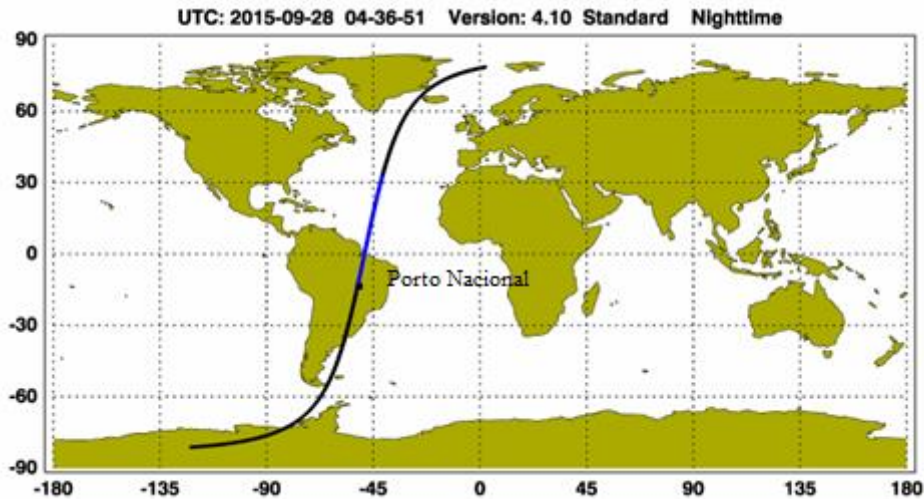


Figura 9B: Trajeto do CALIPSO no dia 28/09/2015.

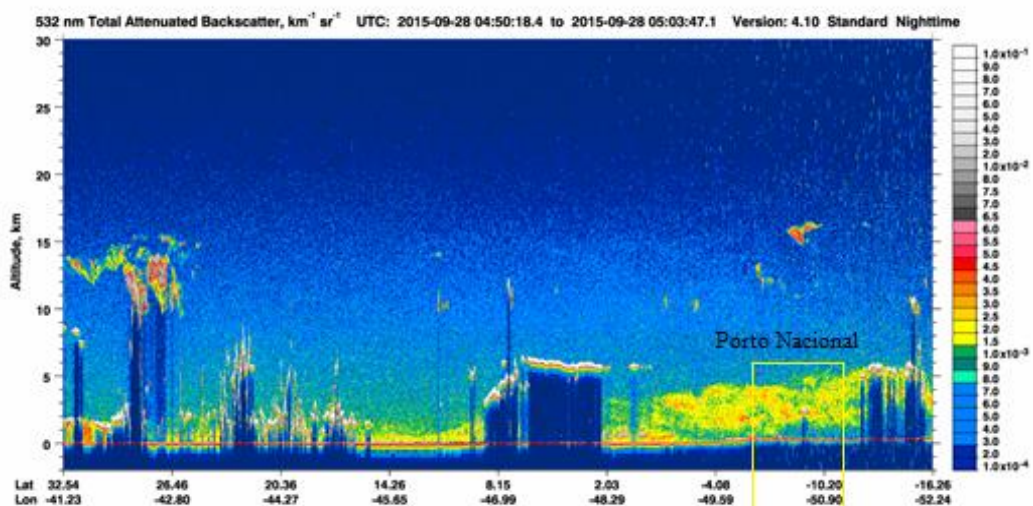


Figura 10B: Atenuação do retroespalhamento de acordo com a altitude x latitude e longitude (CALIPSO) para o dia 28/09/2015. No retângulo amarelo, região correspondente a Porto Nacional.

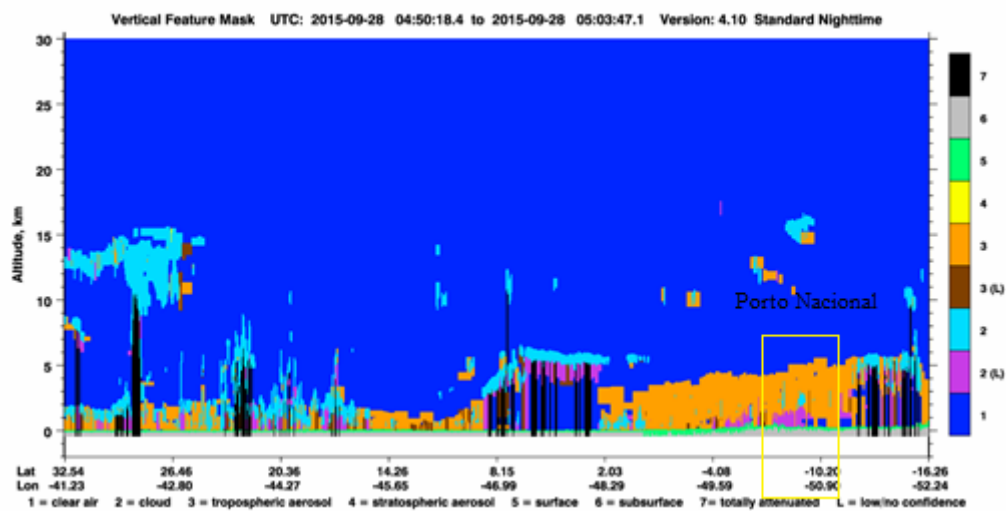


Figura 11B: Característica vertical do material espalhador (CALIPSO) para o dia 28/09/2015. No retângulo amarelo, região correspondente a Porto Nacional.

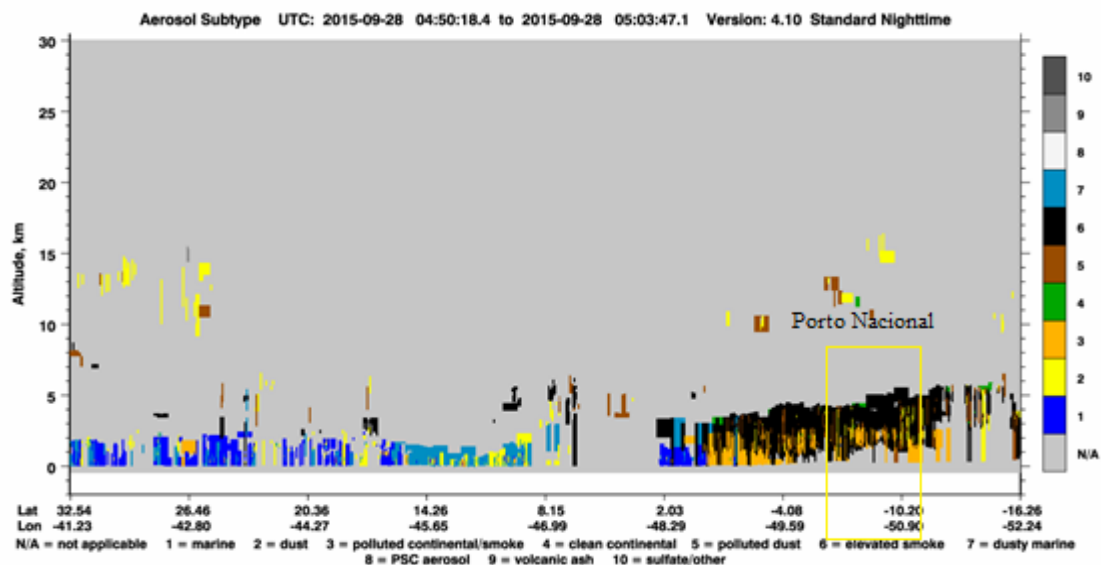


Figura 12B: Subtipo de aerossol (CALIPSO) para o dia 21/09/2015. No retângulo amarelo, região correspondente a Porto Nacional.

Em relação aos dias estudados com o lidar, pode-se notar nestas datas de intensificação das queimadas, o aumento da camada de aerossóis para aproximadamente 5 km de altitude (figuras 2B, 6B e 10B, alta concentração de aerossóis troposféricos (figuras 3B, 7B e 11B), compostos especialmente por fumaça (4B, 8B e 12B).

12. APÊNDICE C – Análise de Klett para os dias 06 e 12 de agosto de 2015.

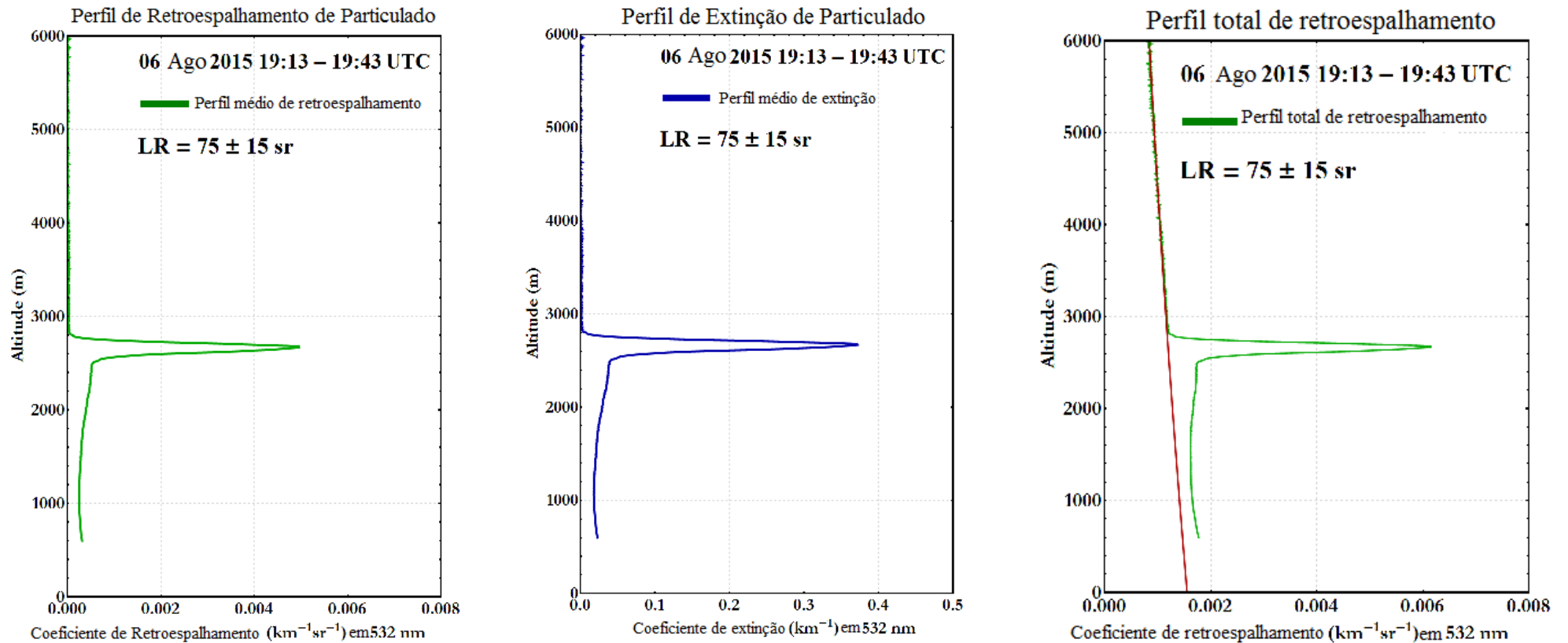


Figura 1C: Perfis médios de retroespalhamento, extinção e perfil total de retroespalhamento para 06 de agosto de 2015, 19:13 a 19:43 UTC.

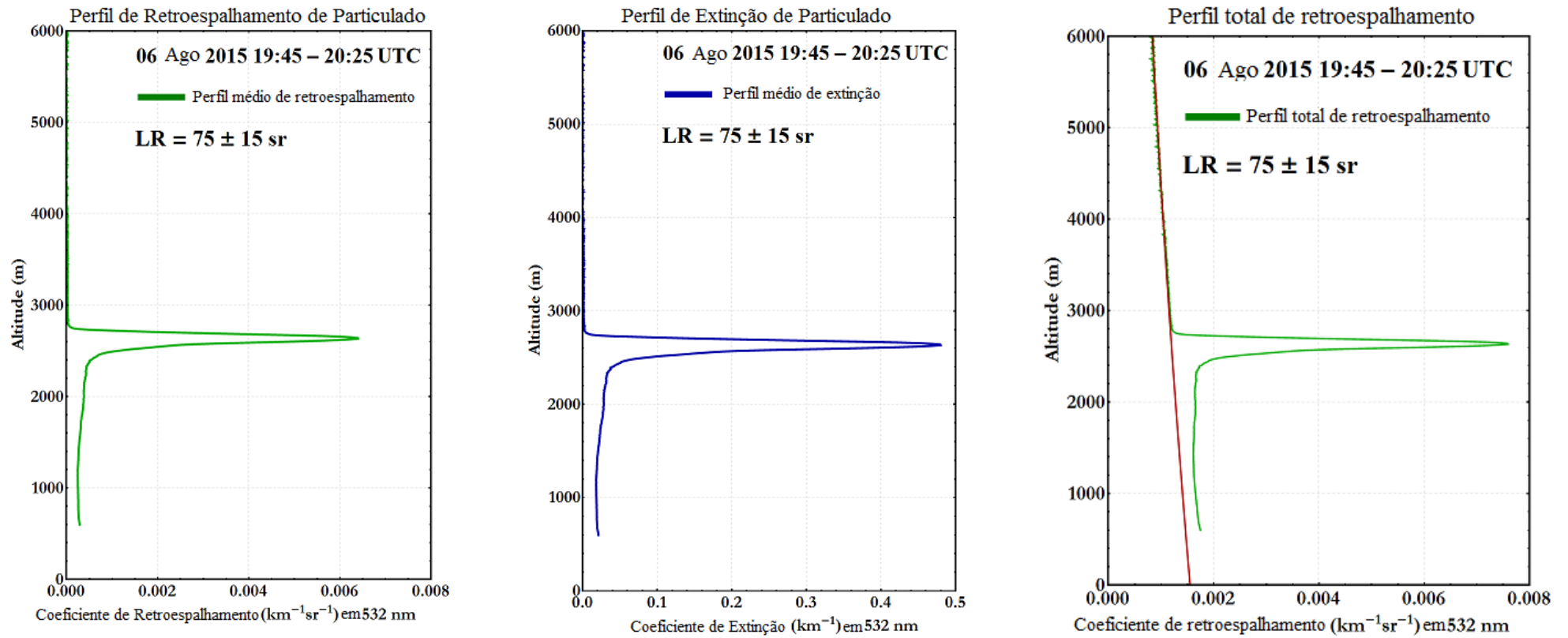


Figura 2C: Perfis médios de retroespalhamento, extinção e perfil total de retroespalhamento para 06 de agosto de 2015, 19:45 a 20:25 UTC.

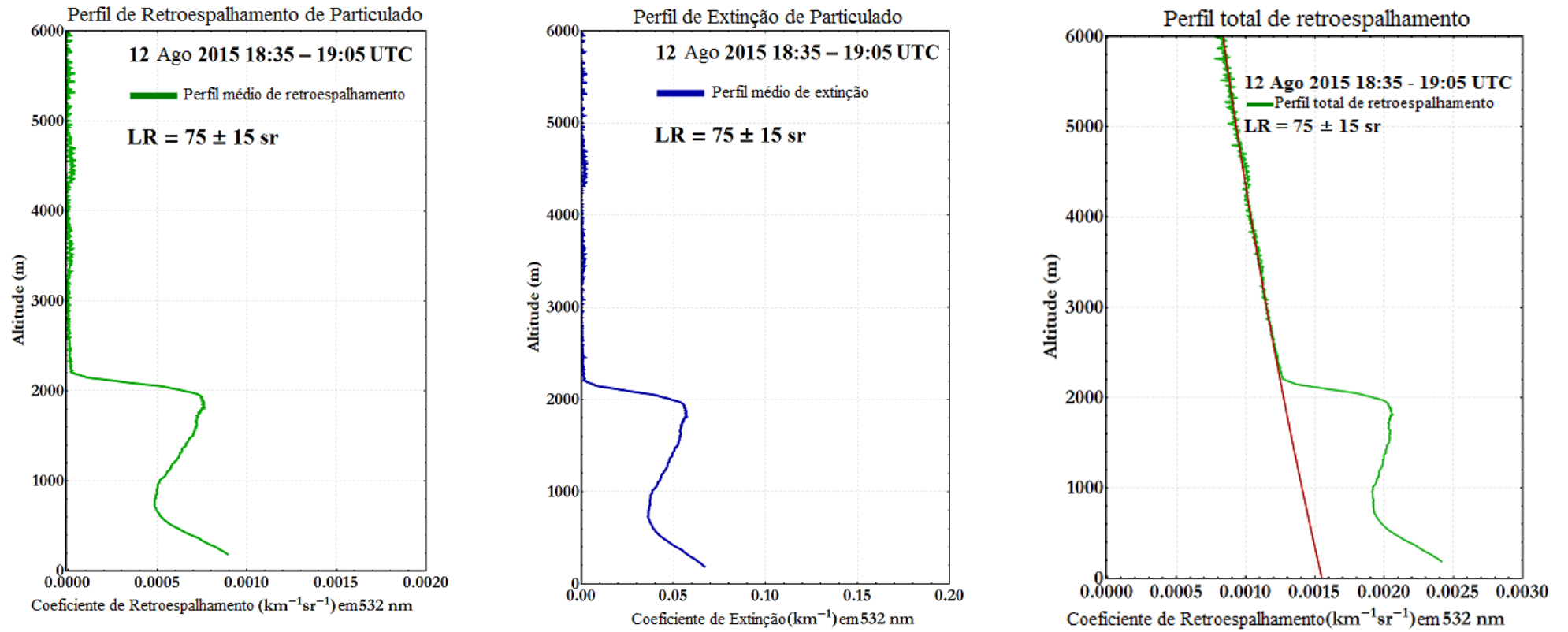


Figura 3C: Perfis médios de retroespalhamento, extinção e perfil total de retroespalhamento para 12 de agosto de 2015, 18:35 a 19:05 UTC.

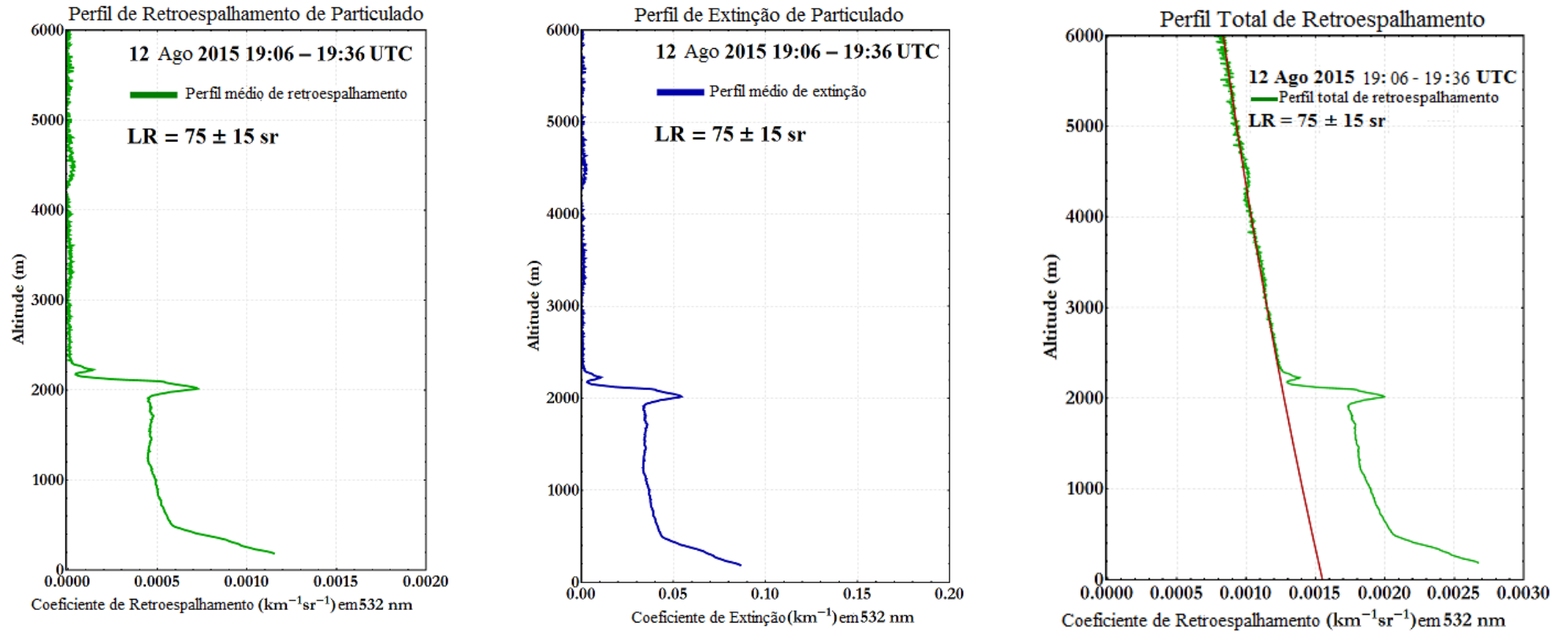


Figura 4C: Perfis médios de retroespalhamento, extinção e perfil total de retroespalhamento para 12 de agosto de 2015, 19:06 a 19:36 UTC.

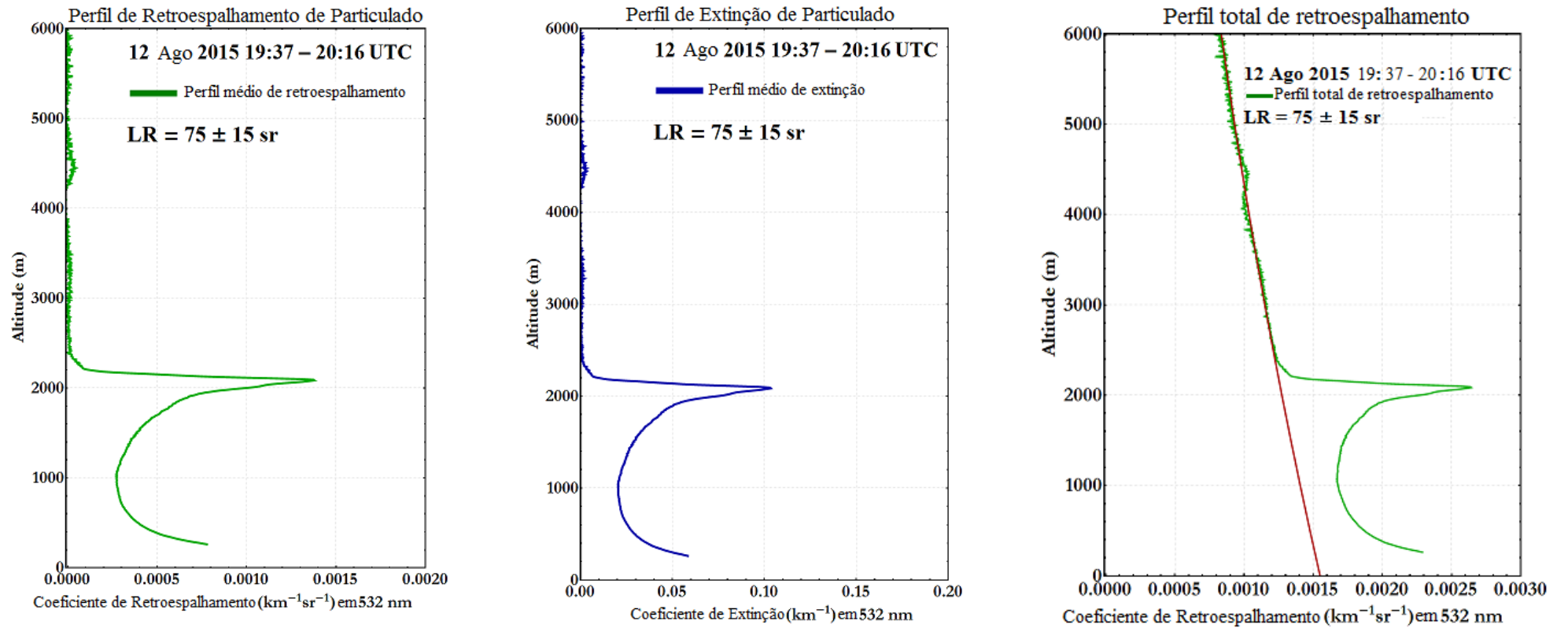


Figura 5C: Perfis médios de retroespalhamento, extinção e perfil total de retroespalhamento para 12 de agosto de 2015, 19:37 a 20:16 UTC.

13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIRMETRICS. **Airmetrics MiniVol Users Guide**. Eugene, 2007. Disponível em: <<http://file.yizimg.com/362947/2012080217290548.pdf>> Acesso em: 28 janeiro 2017.
- ALLEN, A. G.; MIGUEL, A. H. Biomass Burning in the Amazon: Characterization of the Ionic Component of Aerosols Generated from Flaming and Smouldering Rainforest and Savannah. ***Environmental Science and Technology***, v. 29, n. 2, p. 486-493, 1995.
- ALTHAUSEN, D.; MÜLLER, D.; ANSMANN, A.; WANDINGER, U.; HUBE, H.; CLAUDER, E.; ZÖRNER, S. Scanning 6-Wavelength 11-Channel Aerosol Lidar. ***Journal of Atmospheric and Oceanic Technology***, v. 17, n. 11, p. 1469-1482, 2000.
- ANDRADE FILHO, V. S.; ARTAXO, P.; HACON, S.; CARMO, C. N.; CIRINO, G. Aerosóis de queimadas e doenças respiratórias em crianças, Manaus, Brasil (Aerosols from biomass burning and respiratory diseases in children, Manaus, Northern Brazil). ***Revista de Saúde Pública***, v. 47, n. 2, p. 239-247, 2013.
- ARBEX, M. A.; CANÇADO, J. E. D.; PEREIRA, L. A. A.; BRAGA, A. L. F.; SALDIVA, P. H. N. Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. (Artigo de Revisão). ***Jornal Brasileiro de Pneumologia***, v. 30, n. 2, p. 158-175, 2004.
- ARBEX, M. A.; MARTINS, L. C.; OLIVEIRA, R. C.; PEREIRA, L. A. A.; ARBEX, F. F.; CANÇADO, J. E. D.; SALDIVA, P. H. N.; BRAGA, A. L. F. Air pollution from biomass burning and asthma hospital admissions in a sugar cane plantation area in Brazil. ***Journal of Epidemiology and Community Health***, v. 61, p. 395-400, 2006.
- ARGALL, P. S.; SICA, R. J. ***Encyclopedia of Atmospheric Sciences***. [S.l.]: Elsevier Science, p. 869-889, 2002.
- ARSHINOV, Y. F.; BOBROVNIKOR, S. M.; ZUEV, V. E.; MITEV, V. M. Atmospheric temperature measurement using a pure rotational Raman lidar. ***Applied Optics***, v. 22, n. 19, p. 2984-2990, 1983.
- ARSHINOV, Y.; BOBROVNIKOV, S. Use of Fabry-Perot interferometer to isolate pure rotational raman spectra of diatomic molecules. ***Applied Optics***, v. 38, n. 21, p. 4635-4638, 1999.
- BAARS, H.; ANSMANN, A.; ALTHAUSEN, D.; ENGELMANN, R.; ARTAXO, P.; PAULIQUEVIS, T.; SOUZA, R. Further evidence for significant smoke transport from Africa to Amazonia. ***Geophysical Research Letters***, v. 38, L20802, p. 1-6, 2011.
- BAARS, H.; ANSMANN, A.; ALTHAUSEN, D.; ENGERMANN, R.; HEESE, B.; MÜLLER, D.; ARTAXO, P.; PAIXAO, M.; PAULIQUEVIS, T.; SOUZA, R. Aerosol profiling with lidar in the Amazon Basin during the wet and dry season. ***Journal of Geophysical Research***, v. 117, n. D21201, p. 1-16, 2012.

BEHRENDT, A.; NAKAMURA, T.; ONISHI, M.; BAUMGART, R.; TSUDA, R. Combined Raman lidar for the measurement of atmospheric temperature, water vapor, particle extinction coefficient, and particle backscatter coefficient. ***Applied Optics***, v. 41, n. 36, p. 7657-7666, 2002.

BOYD, R. W. ***Nonlinear Optics***. 2nd ed. Academic Press, 2003.

CARMO, C. N.; HACON, S.; LONGO, K. M.; FREITAS, S.; IGNOTTI, E.; LEON, A. P.; ARTAXO, P. Associação entre material particulado de queimadas e doenças respiratórias na região sul da Amazônia brasileira. ***Revista Panamericana de Salud Pública***, v. 27, n.1, p. 10-16, 2010.

CASTRO, H. A.; GONÇALVES, K. S.; HACON, S. S. Tendência da mortalidade por doenças respiratórias em idosos e as queimadas no Estado de Rondônia/Brasil – período entre 1998 e 2005. ***Ciência e Saúde Coletiva***, v. 14, n. 6, p. 2083-2090, 2009.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Padrões de Qualidade do Ar**. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/padroes-de-qualidade-do-ar/>> Acesso em: 02 fevereiro 2017.

COSTA, R. F. ***Estudo das Propriedades Ópticas dos Aerossóis no Estado de São Paulo Com a Técnica de LIDAR Raman***. 2011. 90 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, São Paulo.

DATASUS. Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde. Disponível em: <<http://datasus.saude.gov.br/>> Acesso em: 18 fevereiro 2017.

DING, N.; ZHOU, N.; ZHOU, M; REN, G.-M. Respiratory cancers and pollution. ***European Review for Medical and Pharmacological Sciences***, v. 19, p. 31-37, 2015.

EICHINGER, W. E.; KOVALEV, V. A. ***Elastic Lidar: Theory, Practice, and Analysis Methods***. [S.l.]: Wiley Publishers, 2004.

ELTERMAN, L. A series of stratospheric temperature profiles obtained with the searchlight technique. ***Journal of Geophysical Research***, v. 58, n. 4, p. 519-530, 1953.

EMBRAPA CERRADOS. FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. editores técnicos. ***Savanas: Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais***. 1. ed. Brasília - DF, 2008.

FERREIRA, L. E. N.; MUNIZ, B. V.; BITTAR, T. O.; BERTO, L. A.; FIGUEROBA, S. R.; GROppo, F. C.; PEREIRA, A. C. Effect of particles of ashes produced from sugarcane burning on the respiratory system of rats. ***Environmental Research***, v. 135, p. 304-310, 2014.

FIOCCO, G.; SMULLIN, L. D. Detection of Scattering Layers in the Upper Atmosphere (60-140 km) by Optical Radar. *Nature*, v. 199, n. 4900, p. 1275-1276, 1963.

FRANÇA, H.; RAMOS NETO, M. B.; SETZER, A. **O fogo no Parque Nacional das Emas**. Série Biodiversidade, v. 27. 140p. Ministério do Meio Ambiente: Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Brasília, DF, 2007.

FRIEDLAND, S. S.; KATZENSTEIN, J.; ZATZICK, M. R. Pulsed searchlighting the atmosphere. *Journal of Geophysical Research*, v. 61, n. 3, p. 415-434, 1956.

GARDNER, C. S.; FRANKE, S. J.; YANG, W.; TAO, X.; YU, J. R. Interpretation of gravity waves observed in the mesopause region at starfire optical range, New Mexico: Strong evidence for nonseparable intrinsic (m , ω) spectra. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 103, n. D8, p. 8699-8713, 1998.

GAUDERMAN, W. J.; AVOL, E.; GILLILAND, M.D.; VORA, H.; THOMAS, D.; BERHANE, K.; MCCONNELL, R.; KUENZLI, N.; LURMANN, F.; RAPPAPORT, E.; MARGOLIS, H.; BATES, D.; PETERS, J. The Effect of Air Pollution on Lung Development from 10 to 18 Years of Age. *The New England Journal of Medicine*, v. 351, n. 11, p. 1057-1067, 2004.

GEISER, M.; Kreyling, W. G. Deposition and biokinetics of inhaled nanoparticles. *Particle and Fibre Toxicology*, v. 7, n. 2, p. 1-17, 2010.

GODINHO, D. C. **História de Porto Nacional**. S/Ed. Porto Nacional, 1988.

GOLDBERG, M. A systematic review of the relation between long-term exposure to ambient air pollution and chronic diseases. *Reviews on Environmental Health*, v. 23, n. 4, p. 243-298, 2008.

GOLDSMITH, J. E. M.; FOREST, B. H.; BISSON, S. E.; TURNER, D. D. Turn-key Raman lidar for profiling atmospheric water vapor, clouds, and aerosols. *Applied Optics*, v. 37, n. 21, p. 4979-4990, 1998.

GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS. **Tocantins: Características**. Disponível em: <<http://portal.to.gov.br/tocantins/2>> Acesso em 23 dezembro 2015.

HASSANI, Y.; LIOUSSE, C.; ROBLOU, L.; ASSAMOI, E-M.; SALONEN, R. O.; MAESANO, C.; BANERJEE, S.; ANNESI-MAESANO, I. Non-Accidental Health Impacts of Wildfire Smoke. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 11, p. 11772-11804. ISSN 1660-4601. 2014.

HELD, G.; LANDULFO, E.; LOPES, F. J. S.; ARTETA, J.; MARECAL, V.; BASSAN, J. M. Emissions from sugar cane fires in the Central & Western State of São Paulo and aerosol layers over metropolitan São Paulo observed by IPEN's lidar: Is there a connection?. *Optica Pura y Aplicada*, v. 44, p. 83-91, 2011.

HOLBEN, B. N.; SETZER, A.; ECK, T. F.; PEREIRA, A.; SLUTSKER, I. Effect of dry-season biomass burning on Amazon basin aerosol concentrations and optical properties, 1992-1994. *Journal of Geophysical Research*, v. 101, n. D14, p. 19465-19481, 1996.

HULBURT, E. O. Observations of a searchlight beam to an altitude of 28 kilometers. *Journal of the Optical Society of America*, v. 27, n. 11, p. 377-382, 1937.

IGNOTTI, E.; VALENTE, J. G.; LONGO, K. M.; FREITAS, S. R.; HACON, S. S.; NETTO, P. A. Impact on human health of particulate matter emitted from burnings in the Brazilian Amazon region (Impactos na saúde humana de partículas emitidas por queimadas na Amazônia brasileira). *Revista de Saúde Pública*, v. 44, n. 1, p. 121-130, 2010.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 21 fevereiro 2016.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Programa Queimadas. Disponível em: <<https://prodwww-queimadas.dgi.inpe.br/bdqueimadas>>. Acesso em: 21 fevereiro 2016.

JACOBSON, M. Z. *Atmospheric Pollution. History, Science and Regulation*, California: Cambridge University Press, 2002.

JOHNSON, E. A.; MEYER, R. C.; HOPKINS, R. E.; MOCK, W.H. The Measurement of Light Scattered by the Upper Atmosphere from a Search-Light Beam. *Journal of the Optical Society of America*, v. 29, n. 12, p. 512-517, 1939.

KLETT, J. D. Extinction boundary value algorithms for lidar inversion. *Applied Optics*, v. 25, n. 15, p. 2462-2464, 1986.

KLETT, J. D. Lidar calibration and extinction coefficients. *Applied Optics*, v. 22, n. 4, p. 514-515, 1983.

KLETT, J. D. Lidar inversion with variable backscatter/extinction ratios. *Applied Optics*, v. 24, n. 11, p. 1638-1643, 1985.

KURMI, O. P.; SEMPLE, S.; DEVEREUX, G. S.; GAIHRE, S.; LAM, K. B. H.; SADHRA, S.; STEINER, M. F. C.; SIMKHADA, P.; SMITH, W. C. S.; AYRES, J. G. The effect of exposure to biomass smoke on respiratory symptoms in adult rural and urban Nepalese populations. *Environmental Health*, v. 13, n. 92, p. 1-8, 2014.

LADEN, F.; NEAS, L. M.; DOCKERY, D. W.; SCHWARTZ, J. Association of Fine Particulate Matter from Different Sources with Daily Mortality in Six U.S. Cities. *Environmental Health Perspectives*, v. 108, n. 10, p. 941-947, 2000.

LANDULFO, E.; JORGE, M.P.P.M.; HELD, G.; GUARDANI, R.; STEFFENS, J.; PINTO, S. A. F.; ANDRÉ, I. R. N.; GARCIA, G. J.; LOPES, F. J. S.; MARIANO, G. L.; COSTA, R. F.; Rodrigues, P. F. Lidar observation campaign of sugar cane fires and industrial emissions in the State of São Paulo, Brazil. **Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering**, v. 7832, p. 78320I-1-78320I-8, 2010.

LANDULFO, E.; LOPES, F. J. S.; MONTILLA, E.; GUEDES, A. G.; HOELZEMANN, J. J.; FERNANDEZ, J. H.; ALADOS-ARBOLEDAS, L.; GUERRERO-RASCADO, J. L. DUSTER lidar: Transatlantic transport of aerosol particles from the Sahara and other sources: first results from the recently installed lidar and sunphotometer in Natal/Brazil. **SPIE Remote Sensing**, v. 10006, p. 1000607-9, 2016.

LIU, K. N. **An Introduction to Atmospheric Radiation**. 2nd. ed. USA: Academic Press, 2002.

LOPES, F. J. S.; HELD, G.; NAKAEMA, W. M.; RODRIGUES, P. F.; BASSAN, J. M.; LANDULFO, E. Initial analysis from a lidar observation campaign of sugar cane fires in the central and western portion of the São Paulo State, Brazil. **Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering**, v. 8182, p. 818214-1-818214-10, 2011.

LOPES, F. S.; RIBEIRO, H. Mapeamento de internações hospitalares por problemas respiratórios e possíveis associações à exposição humana aos produtos da queima da palha de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 9, n. 2, p. 215-225, 2006.

MARIANO, G. L.; LOPES, F. J. S.; LANDULFO, E.; JORGE, M. P. M. P. Medidas das propriedades ópticas dos aerossóis sobre São Paulo por LIDAR e fotômetro solar durante um episódio de queima de biomassa. **Ciência e Natura**, v. xx, p. 197-200, 2009.

MARIANO, G. L.; LOPES, F. J. S.; STEFFENS, J.; JORGE, M. P. P. M. ; LANDULFO, E. ; HELD, G.; PINTO, S. A. F. Aerosols Monitoring in Rio Claro, Brazil: Using lidar and air pollution analyzers. **Optica Pura y Aplicada**, v. 44, p. 55-64, 2011.

MARTINS, L. C.; LATORRE, M. R. D. O.; CARDOSO, M. R. A.; GONÇALVES, F. L. T.; SALDIVA, P. H. N.; BRAGA, A. L. F. Poluição atmosférica e atendimentos por pneumonia e gripe em São Paulo, Brasil. **Revista de Saúde Pública**, v. 36, n. 1, p. 88-94, 2002.

MASCARENHAS, M. D. M.; VIEIRA, L. C.; LANZIERI, T. M.; LEAL, A. P. P. R.; DUARTE, A. F.; HATCH, D. L. Poluição atmosférica devida à queima de biomassa florestal e atendimentos de emergência por doença respiratória em Rio Branco, Brasil – Setembro, 2005. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 34, n. 1, p. 42-46, 2008.

MATTIS, I.; ANSMANN, A.; ALTHAUSEN, D.; JAENISCH, V.; WANDINGER, U.; MÜLLER, D.; ARSHINOV, Y. F.; BOBROVNIKOV, S. M.; SERIKOV, I. B.

Relative-humidity profiling in the troposphere with a Raman lidar. *Applied Optics*, v. 41, n. 30, p. 6451-6462, 2002.

MEASURES, R. M. *Laser Remote Sensing Fundamentals and Applications*. [S.l.]: Krieger Publishing Company, 1984.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *O Bioma Cerrado*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado#content>> Acesso em: 23 dezembro 2015.

OLIVEIRA, B. F. A.; IGNOTTI, E.; HACON, S. S. A systematic review of the physical and chemical characteristics of pollutants from biomass burning and combustion of fossil fuels and health effects in Brazil (Revisão sistemática das características físico-químicas dos poluentes atmosféricos provenientes das queimadas e combustíveis fósseis e efeitos na saúde no Brasil). *Caderno de Saúde Pública*, v. 27, n. 9, p. 1678-1698, 2011.

OSTRO, B.; TOBIAS, A.; KARANASIOU, A.; SAMOLI, E.; QUEROL, X.; RODOPOULOU, S.; BASAGAÑA, S.; ELEFThERIADIS, K.; DIAPOULI, E.; VRATOLIS, S.; JACQUEMIM, B.; KATSOUYANNI, K.; SUNYER, J.; FORASTIERE, F.; STAFOGGIA, M.; and the MED-PARTICLES STUDY GROUP. The risks of acute exposure to black carbon in Southern Europe: results from the MED-PARTICLES project. *Occupational and Environmental Medicine*, v. 72, p. 123-129, 2015.

OYAMA, B. S. *Identificação de Fontes de Partículas Finas na Atmosfera Urbana de São Paulo*. 2010. 107p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas, IAG-USP, São Paulo.

PAPPALARDO, G. EARLINET: The European Lidar network for aerosol study at continental scale. *European Association on Remote Sensing Laboratory Newsletter*, n. 82, p. 13–18, 2010.

PARAISO, M. L. S.; GOUVEIA, N. Riscos à saúde devido à queima prévia da palha de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, Brasil (Health risks due to pre-harvesting sugarcane burning in São Paulo State, Brazil). *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 18, n. 3, p. 691-701, 2015.

PEDROTTI, F. L.; PEDROTTI, L. S. *Introduction to Optics*. [S.l.]: 2nd ed. Prentice-Hall Englewood Cliffs, p. 24-25, 1993.

PEREIRA, E. B.; SETZER, A. W.; GERAB, F.; ARTAXO, P. E.; PEREIRA, M. C.; MONROE, G. Airborne measurements of aerosols from burning biomass in Brazil related to the TRACE A experiment. *Journal of Geophysical Research*, v. 101, n. D19, p. 23983-23992, 1996.

POPE III, C. A., Air Pollution and Health – Good News and Bad. *The New England Journal of Medicine*, v. 351, n. 11, p. 1132-1134, 2004.

POPE III, C. A.; EZZATI, M.; DOCKERY, D. W. Fine-Particulate Air Pollution and Life Expectancy in the United States. *The New England Journal of Medicine*, v. 306, n. 4, p. 376-386, 2009.

POPE, C. A.; MUHLESTEIN, J.B.; MAY, H.T.; RENLUND, D.G.; ANDERSON, J.L.; B.D. HORNE. Ischemic heart disease events triggered by short-term exposure to fine particulate air pollution. *Circulation*, v. 114, n. 23, p. 2443–2448, 2006.

PORTAL BRASIL, GOVERNO FEDERAL. **Economia e Emprego: MATOPIBA se consolida como a nova fronteira agrícola do Brasil**. Publicado em 13/10/2015. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2015/10/matopiba-se-consolida-como-nova-fronteira-agricola-do-pais>> Acesso em 23 dezembro 2015.

PREFEITURA DE PORTO NACIONAL. **Perfil Econômico de Porto Nacional**. Disponível em: <<http://www.youblisher.com/p/633014-Perfil-Economico-de-Porto-Nacional/>> Acesso em: 23 dezembro 2015.

RIBEIRO, H.; ASSUNCAO, J. V. Efeitos das queimadas na saúde humana. *Estudos Avançados*, v. 16, n. 44, p. 125-148. ISSN 0103-4014. 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142002000100008&lng=en&nrm=iso> Acesso em: 27 janeiro 2017.

SAKAI, T.; NAGAI, T.; NAKASATO, M.; MATSUMURA, T. Raman lidar measurement of water vapor and ice clouds associated with Asian dust layer over Tsukuba, Japan. *Geophysical Research Letters*, v. 3, n. 6, L06128, p. 1-4, 2004.

SCHILMANN, A.; RIOJAS-RODRÍGUEZ, H.; RAMÍREZ-SEDEÑO, K.; BERRUETA, V. M.; PÉREZ-PADILLA, R. ROMIEU, I. Children's Respiratory Health After an Efficient Biomass Stove (Patsari) Intervention. *EcoHealth*, v. 12, p. 68-76, 2015.

SCHWARTZ, J. Particulate air pollution and chronic respiratory disease. *Environmental Research*, v. 62, n. 1, p. 7–13, 1993.

SEATON, A.; GODDEN, D.; MACNEE, W.; DONALDSON, K. Particulate air pollution and acute health effects. *Lancet*, v. 345, n. 8943, p. 176–178, 1995.

SHERLOCK, V.; GARNIER, A.; HAUCHECORNE, A.; KECKHUT, P. Implementation and validation of a Raman lidar measurement of middle and upper tropospheric water vapor. *Applied Optics*, v. 38, n. 27, p. 5838-5850, 1999.

SHERLOCK, V.; HAUCHECORNE, A.; LENOBLE, J. Methodology for the independent calibration of Raman backscatter water vapor lidar systems. *Applied Optics*, v. 38, n. 27, p. 5816-5837, 1999.

SICA, R. J.; SARGOYTCHEV, S.; ARGALL, P. S.; BORRA, E. F.; GIRARD, L.; SPARROW, C. T.; FLATT, S. Lidar measurements taken with a large-aperture

liquid mirror. 1. Rayleigh-scatter system. *Applied Optics*, v. 34, n. 30, p. 6925-6936, 1995.

SIGSGAARD, T.; FORSBERG, B.; ANNESI-MAESANO, I.; BLOMBERG, A.; BOLLING, A.; BOMAN, C.; BONLOKKE, J.; BRAUER, M.; BRUCE, N.; HÉROUX, M-E.; HIRVONEN, M-R.; KELLY, F.; KÜNZLI, N.; LUNDBÄCK, B.; MOSHAMMER, H.; NOONAN, C.; PAGELS, J.; SALLSTEN, G.; SCULIER, J-P.; BRUNEKREEF, B. Health impacts of anthropogenic biomass burning in the developed world. *European Respiratory Journal*, v. 46, n. 6., p. 1577-1588, 2015.

SILVA, A. M. C.; MATTOS, I. E.; IGNOTTI, E.; HACON, S. S. Material particulado originário de queimadas e doenças respiratórias (Particulate matter originating from biomass burning and respiratory diseases). *Revista de Saúde Pública*, v. 47, n. 2, p. 345-352, 2013.

SMULLIN, L. D.; FIOCCO, G. Optical echoes from the moon. *Nature*, v. 194, p. 1267, 1962.

SPINHIRNE, J. Micro pulse lidar. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 31, n. 1, p. 48-55, 1993.

STEFFENS, J. ; GUARDANI, R.; LANDULFO, E.; LOPES, F. J. S.; MOREIRA, P. F.; MOREIRA, A. Capability of atmospheric air monitoring in the urban area of Cubatão using Lidar technique. *Optica Pura y Aplicada*, v. 44, p. 65-70, 2011.

STEFFENS, J; GUARDANI, R.; LANDULFO, E.; MOREIRA JR, P. F.; COSTA, R. F. Study on correlations between Lidar scattered light signal and air quality data in an industrial area. *Procedia Environmental Sciences*, v. 4, p. 95-102, 2011.

STEFFENS, J.; LANDULFO, E.; GUARDANI, R.; MOREIRA, A. Using Lidar To Assess The Impacts Of Oil Refining And Petrochemical Facilities At Cubatão, Brazil. In: A&WMA'S 102 ND CONFERENCE AND EXHIBITION, 2009, Detroit. A&WMA'S 102 ND CONFERENCE AND EXHIBITION, 2009, Detroit. A&WMA'S 102 ND CONFERENCE AND EXHIBITION, 2009, Detroit. *A&WMA'S 102 nd Conference and Exhibition*, v. 1., p. 000-000, 2009.

SYNGE, E. H. A method of investigating the higher atmosphere. *Philosophical Magazine*, v. 9, n. 60, p. 1014-1020, 1930.

TAMAGAWA, E.; BAI, N.; MORIMOTO, K.; GRAY, C.; MUI, T.; YATERA, K.; ZHANG, X.; XING, L.; LI, Y.; LAHER, I.; SIN, D. D.; MAN, S. F. P.; EEDEN, S. F. Particulate matter exposure induces persistent lung inflammation and endothelial dysfunction. *American Journal of Physiology: Lung Cellular and Molecular Physiology*, v. 295, p. L79-L85, 2008.

TUVE, M. A.; JOHNSON, E. A.; WULF, O. R. A new experimental method for study of the upper atmosphere. *Physical Review*, v. 48, n. 11, p. 917, 1935.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, FACULDADE DE CIÊNCIAS DA SAÚDE, 2015. Disponível em: <<http://fs.unb.br/>> Acesso em: 25 novembro 2015.

WANDINGER, U. Multiple-scattering influence on extinction-and-backscatter-coefficient measurements with Raman and high-spectral-resolution lidars. *Applied Optics*, v. 37, n. 3, p. 417-427, 1998.

WANDINGER, U.; ANSMANN, A. Experimental determination of the lidar overlap profile with Raman lidar. *Applied Optics*, v. 41, n. 3, p. 511-514, 2002.

WEITKAMP, C. *Lidar Range-Resolved Optical Remote Sensing of the Atmosphere*. [S.l.]: Springer, 2005.

WHITEMAN D. Examination of the traditional Raman lidar technique. I. Evaluating the temperature-dependent lidar equations. *Applied Optics*, v. 42; n. 15, p. 2571-2592, 2003.

WHITEMAN, D. N. *Aerosol backscatter and extinction measurements by lidar Spring*. Howard University, NASA-GSFC, 2006.

WIKIMEDIA COMMONS. By TUBS [CC BY-SA 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>)], via Wikimedia Commons. TUBS - Obra do próprio. Este desenho vetorial foi criado com Adobe Illustrator. Este ficheiro foi carregado pela ferramenta **Commonist**. Este desenho vetorial inclui elementos que foram usados ou adaptados de: Brazil location map.svg (por NordNordWest). Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Tocantins#/media/File:Tocantins_in_Brazil.svg> Acesso em: 23 dezembro 2016.

WWF - WORLD WIDE FUND FOR NATURE, 2015. Disponível em <http://www.wwf.org.br/_core/general.cfc?method=getOriginalImage&ulmgID=%25%2AB%24%2D%22NH%20%0A> Acesso em: 23 janeiro 2015.