



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DOS
RECURSOS DA AMAZÔNIA

AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE NITROGÊNIO NO
ENTORNO DE UMA USINA TERMELÉTRICA EM MANAUS-AM

MÁRCIA PASSOS DA COSTA

MANAUS

2013



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DOS
RECURSOS DA AMAZÔNIA

MÁRCIA PASSOS DA COSTA

AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE NITROGÊNIO NO
ENTORNO DE UMA USINA TERMELÉTRICA EM MANAUS-AM

Dissertação de Mestrado em Engenharia dos Recursos da Amazônia da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia dos Recursos da Amazônia, área de concentração, Energia.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Elizabeth Ferreira Cartaxo

Co-orientador: Prof. Dr. Ézio Sargentini Junior

MANAUS

2013

Ficha Catalográfica
(Catalogação realizada pela Biblioteca Central da UFAM)

Costa, Márcia Passos da

C837a Avaliação da concentração de dióxido de nitrogênio no entorno de uma usina termelétrica em Manaus-AM / Márcia Passos da Costa. - Manaus: UFAM, 2013.

165 f.; il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Recursos da Amazônia) — Universidade Federal do Amazonas, 2013.

Orientadora: Prof^a. Dra. Elizabeth Ferreira Cartaxo

Co-orientador: Prof. Dr. Ézio Sargentini Junior

1. Usinas termelétricas – Manaus (AM) 2. Dióxido de nitrogênio
3. Queima de combustíveis fósseis I. Cartaxo, Elizabeth Ferreira (Orient.) II. Sargentini Junior, Ézio III. Título

CDU (2007) 543.272.32:621.36 (043.3)

MÁRCIA PASSOS DA COSTA

AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE NITROGÊNIO NO
ENTOENO DE UMA USINA TERMELÉTRICA EM MANAUS-AM

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-graduação em Engenharia de Recursos
da Amazônia da Universidade Federal do
Amazonas para obtenção do título de Mestre
em Engenharia dos Recursos da Amazônia,
área de concentração, Energia.

Aprovada em: 17 de Abril de 2013.

Banca Examinadora:

Prof^ª. Dr^ª. Elizabeth Ferreira Cartaxo
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Paulo Rogério da Costa Couceiro
Universidade Federal do Amazonas

Prof^ª. Dr^ª. Ilsa Maria Honório Valois Coelho
Faculdade Metropolitana de Manaus

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus por sua fidelidade, inspiração e força que me fazem nunca desistir de prosseguir nessa caminhada.

Aos meus pais Antônio e Djanira pelos ensinamentos, apoio e paciência durante o tempo que estivemos juntos.

Ao meu grande amigo Augusto, companheiro e marido por seu amor, incentivo e credibilidade, muito mais do que uma esposa possa merecer.

Aos meus filhos Marcos, Aline e Beatriz por ceder sua mãe por dois anos para a realização deste trabalho e pelo incansável amor e apoio.

À minha orientadora e amiga Dr^a. Elizabeth Ferreira Cartaxo por sua confiança, acompanhamento, ensino e estímulo durante a realização desta pesquisa.

Ao meu co-orientador Dr. Ézio Sargentini e sua esposa, Msc. Edilene Sargentini, doutores em conhecimento, humildade e amor, por sua amizade e carinho, participantes fundamentais no delinear desta jornada.

Aos amigos do INPA Marcos Bolson, Mauro Melo Costa e Henrique Alves da Silva por seu carinho e torcida.

Ao Msc. Jussival de Abreu Pinheiro Novaes por sua assistência todas as vezes que foi consultado.

À equipe do projeto Quarema: Thiago, Arlindo, Milano, Willen, Stheysse e Vanessa pelo companheirismo nos momentos em que estivemos em campo coletando os dados desta pesquisa.

À Marcianita Pinheiro, secretária do NIEMA, por sua empatia e profissionalismo para comigo.

À professora Amazoneida Pinheiro e ao Thiago Bentz do departamento de estatística da Universidade Federal do Amazonas pelo apoio prestado, colaboração nas análises estatísticas e discussões temáticas no tracejo dos resultados.

Aos colegas de mestrado, Jaqueline, Daniele e Mauricio que compartilharam suas experiências e amizade.

Ao INPA pelo acesso ao laboratório onde foi desenvolvido este trabalho.

À FAPEAM, pela oportunidade e concessão da bolsa de estudos.

Minha gratidão a todos os que colaboraram na edificação e execução deste trabalho.

RESUMO

A queima de combustíveis fósseis utilizados para produção e uso de energia elétrica causa o lançamento de inúmeros poluentes na atmosfera. Dentre os poluentes nocivos ao meio ambiente e a saúde da população cita-se o dióxido de nitrogênio (NO₂) por ser liberado em qualquer espécie de combustão seja qual for o tipo de combustível utilizado, mas há uma maior probabilidade de ser formado durante a combustão do gás natural devido à alta temperatura. O estado do Amazonas faz parte do sistema isolado de energia, o qual é constituído de 80% de usinas termelétricas que recentemente passaram pela conversão para gás natural. O local de estudo dessa pesquisa é a área de maior concentração de usinas termelétricas de Manaus. Neste trabalho, foi realizado o estudo dos níveis da concentração de NO₂ no entorno de uma dessas usinas. Foi investigada a influência da meteorologia nos locais dos pontos de amostragem e nas concentrações de NO₂. O objetivo do presente trabalho foi o de monitorar a concentração de NO₂ proveniente da queima de combustíveis fósseis, utilizando método passivo. Foram instalados amostradores em 15 pontos dentro e no entorno de uma usina termelétrica, localizados no bairro do Mauzinho em Manaus-AM em 2012. A amostragem foi realizada em amostradores passivos, contendo um filtro de celulose impregnado com solução de trietanolamina a 5%, membrana de teflon e tela de aço inox como barreiras de difusão. Conjuntos de oito amostradores passivos foram expostos em cada ponto de amostragem no período de maio a outubro de 2012. Para a quantificação da massa de NO₂ coletado, utilizou-se a solução de Griess-Saltzman modificada e detecção em espectrofotômetro UV-Vis, com leitura de absorbância no comprimento de onda de 540 nm. O tempo de exposição foi de 30 dias. Os resultados das concentrações de NO₂ dos amostradores passivos foram validados com os dados obtidos com equipamentos automáticos, através de uma pesquisa realizada em 2011, a 1 km do local do estudo por Valois (2012). Também foram comparadas com aos padrões do CONAMA e da OMS. Para a interpretação dos dados de NO₂ e meteorológicos foram utilizadas as técnicas exploratórias multivariadas de ACP e AHA. O resultado encontrado da média dos níveis da concentração de NO₂, nos 15 pontos de amostragem, no ano de 2012, foi de $206,86 \pm 8,43 \mu\text{g m}^{-3}$. O nível mínimo de NO₂ foi de $85,18 \mu\text{g m}^{-3}$ e o máximo de $747,93 \mu\text{g m}^{-3}$. Os valores mais baixos da concentração de NO₂ relacionam-se ao período chuvoso ($84,52 \pm 68,08 \text{ mm}$) com temperaturas médias mais baixas ($27,78 \pm 0,65 \text{ }^\circ\text{C}$), umidade média mais elevada ($78,94 \pm 10,43\%$), radiação solar ($1.362,50 \text{ kJ/m}^2$) e insolação (192,4 h), e as mais baixas nos meses menos chuvosos ($50,50 \pm 27,91 \text{ mm}$) de agosto a outubro com temperatura mais elevadas ($29,09 \pm 0,49 \text{ }^\circ\text{C}$) e umidade mais baixas ($74,27 \pm 31,06\%$), radiação solar ($1.450,81 \text{ kJ/m}^2$) e insolação (215,0 h) mais altas. Os níveis da concentração de NO₂ encontram-se em conformidade com os padrões do CONAMA, porém fora dos limites estabelecidos pelos padrões da OMS. Os dados da concentração de NO₂ apresentaram um comportamento heterogêneo para cada estação do ano e desvio padrão de $127,47 \mu\text{g m}^{-3}$ indicando dispersão entre esses. O uso dos amostradores passivos na determinação da concentração de dióxido de carbono mostrou-se eficiente para a obtenção de resultados confiáveis.

Palavras chaves: dióxido de nitrogênio, amostrador passivo, termelétrica e Manaus.

ABSTRACT

The burning of fossil fuels used for the production and use of electrical energy entails the release of many pollutants in the atmosphere. Among the pollutants noxious to the environment and people's health is cited nitrogen dioxide (NO₂) to be freed in any kind of combustion whatever the type of fuel used, but are more likely to be formed during combustion of natural gas due to high temperature. The state of Amazonas is part of the isolated energy system, which consists of 80% of power plants which recently passed the conversion to natural gas. The study site of this research is the area of greatest concentration of thermal power plants in Manaus. This work was conducted to study the levels of NO₂ concentration in the surroundings of one of these plants. The influence was investigated of meteorology at the locations of the sampling sites and the concentrations of NO₂. The aim of this study was to monitor the concentration of NO₂ from the burning of fossil fuels, using passive method. Samplers were installed at 15 points inside and around a thermal power plant, located in the neighborhood of Mauzinho in Manaus-AM in 2012. Sampling was performed in passive samplers containing o a cellulose filter impregnated with a solution of 5% triethanolamine, Teflon membrane and stainless steel mesh as diffusion barriers. Sets of eight passive samplers were exposed at each sampling point in the period May to October 2012. For quantification of mass of NO₂ collected, used the solution of modified Griess-Saltzman and detection at UV-Vis spectrophotometer, with absorbance reading at a wavelength of 540 nm. The exposure time was 30 days. The results of the concentrations of NO₂ passive samplers were validated with the data obtained with automated equipment obtained through a survey conducted in 2011, 1 km from the study site by Valois (2012). Were also compared with the standards of CONAMA and WHO. For the interpretation of NO₂ and meteorological data were used exploratory techniques of multivariate ACP and AHA. The results found the average levels of NO₂ concentration at 15 sampling points in 2012, was $206,86 \pm 8,43 \mu\text{g m}^{-3}$. The minimum level of NO₂ was $85,18 \mu\text{g m}^{-3}$ and a maximum of $747,93 \mu\text{g m}^{-3}$. Lower values of NO₂ concentration are related to the rainy season ($84,52 \pm 68,08 \text{ mm}$) with lower average temperatures ($27,78 \pm 0,65 \text{ }^\circ\text{C}$), humidity highest average ($78,94 \pm 10,43\%$), solar radiation ($1362,50 \text{ kJ/m}^2$) and insolation ($192,4 \text{ h}$), and lowest in the driest months ($50,50 \pm 27,91 \text{ mm}$) from August to October with temperatures higher ($29,09 \pm 0,49 \text{ }^\circ\text{C}$) and humidity lower ($74,27 \pm 31,06\%$), solar radiation ($1450,81 \text{ kJ/m}^2$) and insolation ($215,0 \text{ h}$) higher. The concentration levels of NO₂ are in accordance with the standards of CONAMA, but outside the limits set by WHO standards. The NO₂ concentration data showed a heterogeneous behavior for each season and a standard deviation of $127,47 \mu\text{g m}^{-3}$ indicating dispersion among these. The use of passive samplers for the determination of the concentration of carbon dioxide was effective for obtaining reliable results.

Keywords: nitrogen dioxide, passive sampler, thermoelectric and Manaus.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Matriz de energia elétrica brasileira.....	20
Figura 02. Esquema da integração eletroenergética brasileira.....	23
Figura 03. Localização das UTE's e PIE's no município de Manaus-AM.....	29
Figura 04. Potência nominal (%) instalada no município de Manaus-AM.....	30
Figura 05. Principais reações entre NO, NO ₂ e HNO ₃ na atmosfera.....	50
Figura 06. Processos de formação da chuva ácida.....	56
Figura 07. Fotografias de uma floresta alemã, tirada em 1970 e 1983, atingida pela chuva ácida.....	57
Figura 08. Formação de <i>smog</i> com origem em O ₂ , NO, hidrocarboneto e luz solar.....	59
Figura 09. <i>Smog</i> fotoquímico na cidade de Manaus-AM.....	60
Figura 10. Gráfico de conjuntos para pares de CP's.....	76
Figura 11. Gráfico de <i>screenplot</i> das variâncias das CP's.....	77
Figura 12. Mapa de localização da área de estudo na cidade de Manaus.....	82
Figura 13. Indústrias Instaladas no Bairro do Mauazinho (A) e no seu Entorno (B).....	84
Figura 14. Pontos de amostragem em Manaus; coordenadas obtidas através do GPS; cor verde (pontos de amostragem), cor vermelha UTE's e Refinaria REMAN. Pontos de Amostragem no Bairro do Mauazinho dentro de uma UTE (círculo roxo) e no entorno (círculo laranja); Pontos de Referência: 14 e 15.....	86
Figura 15. Pontos de amostragem na UTE em Manaus; Pontos dentro da UTE (círculo roxo); Pontos no entorno da UTE: 9-13.....	87
Figura 16. Pontos de amostragem ao redor da fonte geradora de uma UTE em Manaus; cor verde (pontos de amostragem). Pontos de emissão: 1-2; Ponto dentro da UTE: 3-8; Fontes de emissão da UTE: Queimadores de gás natural (retângulo amarelo A e B); Queimadores de óleo combustível e óleo diesel (quadrado vermelho C).....	88
Figura 17. Suporte com Amostradores Instalado no Local de Estudo.....	89
Figura 18. Pontos de Amostragem 1 (18a) e 2 (18b).....	91
Figura 19. Localização dos Pontos 1 e 2 no prédio das Chaminés na UTE de Estudo.....	92
Figura 20. Ponto (3): Visão ao redor do local de amostragem (20a); Colocação dos amostradores passivos (20b).....	93
Figura 21. Ponto (4): Visão ao redor do local de amostragem (21a); Colocação dos amostradores passivos (21b).....	93
Figura 22. Ponto (5) fixado em uma torre de transmissão desativada (22a); Ponto (6) colocado em um reservatório de água (22b).....	94
Figura 23. Ponto 7: Visão ao redor do ponto (7) de amostragem.....	95
Figura 24. Localização do ponto (8) no fundo da usina (24a); Visão ao entorno do ponto de amostragem (24b).....	96
Figura 25. Ponto (9): Visão ao redor do ponto de amostragem (25a); Fixação dos amostradores passivos no ponto (25b).....	97
Figura 26. Ponto (10): Instalado em uma guarita de segurança.....	98
Figura 27. Ponto (11): Fixação dos amostradores passivos (27a); Visão ao redor do ponto de amostragem (27b);.....	99
Figura 28. Ponto (12): Fixação dos amostradores passivos (28a); Visão ao redor do ponto de amostragem (28b).....	100
Figura 29. Ponto (13): Amostradores fixados (29a); Visão ao redor do ponto de amostragem (29b).....	101
Figura 30. Ponto de Referência (14): Visão ao redor do ponto de amostragem (30a); Localização do amostrador (30b).....	102
Figura 31. Ponto de Referência (15): Visão ao redor do ponto de amostragem.....	103
Figura 32. Componentes de um amostrador passivo.....	105

Figura 33. Componentes de montagem do amostrador passivo. Tampa de abertura de ar com tela de aço inox (A); colocação da membrana de teflon (B); encaixe do eletroduto de PVC (C); eletroduto de PVC e tampa do amostrador com o filtro (D); amostrador montado (D) e (F).....	106
Figura 34. Níveis e distribuição da concentração de NO ₂ em µg m ⁻³ obtidos por amostragem passiva representados por gradiente de coloração, obtidos em 15 pontos da cidade de Manaus no período de maio a outubro de 2012. Pontos de amostragem: Pontos de Emissão da UTE: 1 e 2. Pontos dentro da UTE: 3, 4, 5, 6, 7 e 8. Pontos no Entorno da UTE: 9, 10, 11, 12, 13. Pontos de Referências: 14 e 15.....	116
Figura 35. Dendograma obtido a partir das concentrações de NO ₂ agrupados com os 15 pontos de amostragem no período de 2012.....	119
Figura 36. Dendograma obtido a partir das concentrações de NO ₂ agrupados com os meses de amostragem no período de 2012.....	122
Figura 37. Dendograma obtido a partir das concentrações de NO ₂ do ponto de amostragem no período de maio a outubro de 2012 agrupadas com dados meteorológicas.....	125
Figura 38. Variações da temperatura em relação à concentração de NO ₂ no período de 2012.....	127
Figura 39. Geração de energia na UTE estudada e a variações da temperatura no período de 2012..	128
Figura 40. Índices pluviométricos e concentrações de NO ₂ obtido no ano de 2012.....	129
Figura 41. Variações da umidade em relação à concentração de NO ₂ no período de 2012.....	130
Figura 42. Variações da velocidade e direção do vento no mês de maio de 2012.....	132
Figura 43. Variações da velocidade e direção do vento no mês de junho de 2012.....	132
Figura 44. Variações da velocidade e direção do vento no mês de julho de 2012.....	133
Figura 45. Variações da velocidade e direção do vento no mês de agosto de 2012.....	133
Figura 46. Variações da velocidade e direção do vento no mês de setembro de 2012.....	134
Figura 47. Variações da velocidade e direção do vento no mês de outubro de 2012.....	134
Figura 48. Variações da radiação solar e da insolação no mês de outubro de 2012.....	136
Figura 49. Autovalores (%) obtidos pelas CP's calculadas a partir das determinações de NO ₂ nos pontos de amostragem agrupados com dados meteorológicos, no período de maio a outubro de 2012.....	137
Figura 50. Autovalores (%) obtidos pelas CP's calculadas a partir das determinações de NO ₂ do grupo A agrupados com dados meteorológicos, no período de maio a outubro de 2012.....	139
Figura 51. Autovalores (%) obtidos pelas CP's calculadas a partir das determinações de NO ₂ do grupo B agrupados com dados meteorológicos, no período de maio a outubro de 2012.....	140
Figura 51. Autovalores (%) obtidos pelas CP's calculadas a partir das determinações de NO ₂ do grupo C agrupados com dados meteorológicos, no período de maio a outubro de 2012.....	141
Figura 53. Níveis médios da concentração de NO ₂ e comparação com os padrões CONAMA e OMS no mês de maio a outubro de 2012.....	144
Figura 54. Níveis e distribuição da concentração de NO ₂ em µg m ⁻³ obtidos por amostragem passiva representados por gradiente de coloração, obtidos em 15 pontos da cidade de Manaus: a) Estação Chuvosa: período de maio a julho de 2012; b) Estação Seca: agosto a outubro de 2012. Pontos de amostragem: Pontos de Emissão da UTE: 1, 2. Pontos dentro da UTE: 3, 4, 5, 6, 7 e 8. Pontos no Entorno da UTE: 9, 10, 11, 12, 13. Pontos de Referencia: 14 e 15.....	147
Figura 55. Correlação da quantidade e tipo de combustível queimado na usina termelétrica com o NO ₂	148
Figura 56. Correlação da quantidade e tipo de combustível queimado na usina termelétrica com o NO ₂	150

LISTA DE TABELAS

Tabela 01. Centrais Elétricas em Operação por fonte e Capacidade Instalada (kW).....	21
Tabela 02. Especificação Técnica do Óleo Diesel.....	33
Tabela 03. Composição Média do Gás Natural de Diferentes Origens.....	34
Tabela 04. Especificações Técnicas do Óleo Combustível.....	37
Tabela 05. Poluente e Método de Referência.....	67
Tabela 06. Vantagens e Desvantagens de Métodos de Amostragem e de Métodos Contínuos.....	68
Tabela 07. Padrões Nacionais de Qualidade do Ar.....	70
Tabela 08. Comparação dos Padrões da Qualidade do Ar OMS e CONAMA.....	71
Tabela 09. Magnitude das Componentes Principais para NO ₂ gerais Correlacionados aos Dados Meteorológicos.....	138
Tabela 10. Magnitude das Componentes Principais para NO ₂ do Grupo B Correlacionados aos dados Meteorológicos.....	139
Tabela 11. Magnitude das Componentes Principais para NO ₂ do Grupo C correlacionados aos dados meteorológicos.....	140
Tabela 12. Magnitude das Componentes Principais para NO ₂ do Grupo A correlacionados aos dados meteorológicos.....	141
Tabela 13. Coeficientes de Correlação Linear entre NO ₂ e as Variáveis Climáticas.....	142

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agencia Nacional de Petróleo, Gás Natural e Bicomcombustíveis
BEM	Balanço Energético Nacional
CCC	Cota de Consumo de Combustível
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EMQA	Estação Móvel de Monitoramento da Qualidade do Ar
GPS	Global Positioning System
GTON	Grupo Técnico Operacional da Região Norte
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPA	Instituto de Pesquisas da Amazônia
MP	Material Particulado
NEDA	Diidrocloreto de N – (1 – nafitil) – etileno diamina
NPK	Nitrogênio, fósforo e potássio, fertilizante utilizado na agricultura
NOx	Óxidos de Nitrogênio
OCA1	Óleo Combustível Tipo 1
OLTE	Óleo Leve para Turbina Elétrica
OMS	Organização Mundial de Saúde
NOS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PAN	Nitrato de Peroxilacetila
PCS	Poder Calorífico Superior
PIE's	Produtores de Energia Independentes ou Autoprodutores de Energia
PROCONV	Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores
PRONAR	Programa Nacional de Controle de Qualidade do ar.
PVC	Policloreto de Vinila
SIN	Sistema Interligado Nacional
SIPOT	Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro
TEA	Trietanolamina
UHE	Usina Hidrelétrica
UTE	Usina Termelétrica
WHO	<i>World Health Organization</i> (Organização Mundial de Saúde)

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Objetivos.....	18
1.1.1 Objetivos Gerais.....	18
1.1.2 Objetivos Específicos	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1 SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO	19
2.1.1 Matriz Energética Brasileira.....	19
2.1.2 O Sistema Interligado Nacional	22
2.1.3 Os Sistemas Isolados.....	24
2.2 SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA DO AMAZONAS	25
2.2.1 Matriz Energia Elétrica do Amazonas.....	25
2.2.2 Caracterização das Usinas Termelétricas	27
2.2.3 Queima de Combustíveis em Usinas Termelétricas	30
2.3 ASPECTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS À TERMELETRICIDADE.....	38
2.3.1 Poluição do Ar: Caracterização	39
2.3.2 Efluentes Gasosos	40
2.3.3 Principais Poluentes Emitidos pelas Usinas Termelétricas	41
2.4 AS EMISSÕES DE NO ₂ GERADO PELA QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS	47
2.4.1 Formação do Dióxido de Nitrogênio.....	47
2.4.2 Reações Químicas do Dióxido de Nitrogênio na Atmosfera.....	49
2.4.3 Importância Biológica dos Compostos Nitrogenados ao Meio Ambiente	53
2.4.4 Principais Efeitos do NO ₂ na Atmosfera	54
2.4.5 Efeitos do NO ₂ sobre a saúde humana	61
2.4.6 Fatores que Influenciam a Dispersão dos Poluentes na Atmosfera.....	62

2.5 MONITORAÇÃO DAS EMISSÕES DE NO ₂ : ASPECTOS LEGAIS E METODOLÓGICOS..	66
2.5.1 Métodos de referência	67
2.5.2 Padrões da Qualidade do Ar.....	69
2.5.3 Monitoração das Emissões de Dióxido de Nitrogênio	71
2.5.4 Análise de Dados Multivariados	74
2.5.5 Estudos das Concentrações de NO ₂	77
3 METODOLOGIA.....	81
3.1 LOCAL DE ESTUDO	81
3.2 DESENHO AMOSTRAL	85
3.3 INSTALAÇÃO DOS AMOSTRADORES PASSIVOS	89
3.3.1 Pontos de Emissão de uma Usina Termelétrica	90
3.3.2 Pontos de Amostragem na Área de uma Usina Termelétrica.....	92
3.3.3 Pontos de Amostragem no Entorno de uma Usina Termelétrica	96
3.3.4 Pontos de Referência.....	101
3.3.5 Balizamento da Concentração de NO ₂	103
3.4 PREPARO DOS AMOSTRADORES PASSIVOS	104
3.4.1 Montagem dos Amostradores.....	105
3.5 METODOLOGIA AMOSTRAL	108
3.5.1 Impregnação dos Filtros	108
3.5.2 Coleta dos Amostradores	108
3.6 METODOLOGIA ANALÍTICA.....	108
3.7 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS DA CONCENTRAÇÃO DE NO ₂	111
3.7.1 Análise Exploratória da Influência dos Locais de Amostragem nas Concentrações de NO ₂	111
3.7.2 Análise Exploratória da Influência Temporal nas Concentrações de NO ₂	112
3.7.3 Análise Exploratória da Influência das Condições Meteorológicas nas Concentrações de NO ₂	112
3.8 Diagrama Metodológico.....	114
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	115
4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS DADOS DE NO ₂	115
4.2 ANÁLISE EXPLORATÓRIA MULTIVARIADA DOS DADOS DE NO ₂	118
4.2.1 Influência dos Locais de Amostragem nos Níveis de NO ₂	118
4.2.2 Influência Temporal de Amostragem nos Níveis de NO ₂	122
4.3 CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS DADOS METEOROLÓGICOS	123

4.3.1 Influência das Condições Meteorológicas nos Níveis de NO ₂	124
4.3.2 Análise Exploratória de ACP dos Níveis de NO ₂ e Dados Meteorológicos	137
4.4 COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS DE NO ₂ COM OS PADRÕES DO CONAMA E DA OMS.....	143
4.5 AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE DIÓXIDO DE NITROGÊNIO.....	146
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	153
REFERÊNCIAS.....	157
APÊNDICE.....	166
1 Materiais Utilizados	166
2 Reagentes	167
3 Preparo de Soluções	167
3.1 Vidrarias.....	167
3.2 Solução Impregnadora dos Filtros de Celulose.....	168
3.3 Solução de Griess-Saltzman Modificada.....	168
3.4 Padrão de NO ₂ (0,05 Mol L ⁻¹).....	168
3.5 Solução Padrão de Permanganato de potássio (0,02 Mol L ⁻¹).....	168
5 Tabelas	169

1 INTRODUÇÃO

As atividades antrópicas têm causado significativos transtornos ao meio ambiente, diretamente proporcionais ao crescimento demográfico e desenvolvimento econômico. As crescentes inovações tecnológicas intensificaram a produção industrial, altamente dependente das fontes primárias de energia fóssil, o que ocasionou um nível de poluição do ar capaz de comprometer os mecanismos regulatórios da atmosfera. Em geral, a maior contribuição da carga de poluentes nas grandes metrópoles está associada ao setor de transportes e eletricidade que assumem importantes aportes nas regiões mais desenvolvidas. A produção e o uso da energia figuram como uma das fontes que causam maior impacto para o meio ambiente dentre as atividades desenvolvidas pelo homem (COSTA e CARTAXO, 2012; VALOIS *et al.*, 2011).

A questão ambiental tem sido alvo de constantes discussões com grande repercussão universalmente por toda a sociedade. O meio ambiente não pode ser tratado como um bem particular é um patrimônio de propriedade de toda a humanidade. Em todos os âmbitos, os níveis de degradação são notórios, mas a pior ameaça é aquela que se propaga imperceptivelmente, ou quase. O comprometimento da qualidade do ar atmosférico é uma das grandes preocupações relacionadas ao meio ambiente e a saúde, pois nesse caso, os sinais são percebidos quando a degradação já se desencadeou na atmosfera (ROCHA, *et al.*, 2004; VALOIS *et al.*, 2009).

Qualquer substância lançada no ar de maneira excessiva causa desequilíbrio e danos à fauna e a flora. Uma dessas substâncias é o dióxido de nitrogênio (NO_2), onde sua liberação é pequena, no entanto o óxido de nitrogênio (NO) é a principal fonte de formação de NO_2 , liberado em todas as combustões, principalmente nas descargas de automóveis e nas chaminés de termelétricas. Apesar de ser formado por inúmeros processos naturais, a abundância de oxigênio e nitrogênio na atmosfera viabilizam a formação antrópica do NO_2 . Na combustão

de combustíveis fósseis, a maioria dos poluentes é formada a partir da composição do combustível, porém quando se trata de NO_2 não é necessário que esse esteja presente na composição para ser formado. Pouco é necessário para iniciar o processo de formação do NO_2 , pois o nitrogênio (N_2) reage com o oxigênio (O_2) atmosférico formando dióxido de nitrogênio (NO_2) em altas temperaturas (COSTA *et al.*, 2012; VALOIS *et al.*, 2011; BAIRD, 2002).

No Amazonas, a presença da Zona Franca de Manaus associada ao parque térmico de energia elétrica, traz preocupações quanto às emissões de gases poluentes. Apesar das indústrias do polo industrial não apresentarem potencial significativo de emissões, o incremento populacional relacionado ao desenvolvimento socioeconômico gera maior rotatividade de veículos e consumo energético, provenientes de fontes fósseis, o que provavelmente acarreta a intensificação das emissões de gases poluentes na atmosfera (COSTA e CARTAXO, 2012).

Com a inserção do gás natural na matriz energética de Manaus a atenção é direcionada para emissões de NO_2 primeiro pela quantidade de N_2 presente na composição do gás proveniente de Urucu ser de 20 %, a maior do País, o que pode viabilizar ainda mais as emissões dessa fonte, em segundo lugar o desenfreado aumento na demanda por energia aliada a divulgação de que o gás natural não gera poluentes atmosféricos. O gás natural é menos poluente quando comparado com os demais combustíveis fósseis. Entretanto, a queima desse combustível emite maior quantidade de NO_2 , pois a temperatura em que ocorre a combustão é a mais elevada que nos outros combustíveis fósseis (GTON, 2011; COSTA e CARTAXO, 2012; CHAIM e LACAVA, 2005).

As termelétricas convencionais correspondem a segunda principal fonte de energia no Brasil, representando 15,08 % da capacidade instalada (NAKAGAWA, 2009). No setor energético do Amazonas a situação é inversa, as termelétricas correspondem a 80 %, sendo

complementadas com 20 % de fonte hídrica. Diante desse quadro, ações de monitoração e mitigação das emissões são necessárias no estado do Amazonas para assegurar a qualidade do ar (COSTA e CARTAXO, 2012).

A ausência de uma política de monitoramento e fiscalização da qualidade do ar na cidade contribui para maximizar os impactos da poluição do ar sobre o ambiente, a saúde dos indivíduos e sobre a própria eficiência dos processos de combustão (VALOIS *et al.*, 2009).

O município de Manaus não possui um diagnóstico da qualidade do ar, o que representa uma situação de incerteza quanto ao bem-estar da população. Este diagnóstico é formado a partir da coleta de dados das concentrações de poluentes primários lançados pelas fontes fixas e móveis, as quais são avaliadas e correlacionadas com as concentrações de poluentes secundários do ar (PIRES, 2005).

Em decorrência da proibição imposta pela concessionária de energia do estado do Amazonas, a Eletrobras, não permitido fazer medições na fonte das usinas termelétricas sob sua direção. O monitoramento desse tipo de usina é realizado por meio de equipamentos que medem as concentrações dos gases diretamente nas chaminés. Em locais circunvizinhos a usina se monitora a dispersão de poluentes secundários. Além do desconhecimento dos níveis de poluentes lançados pelas usinas da concessionária, a falta de uma rede de monitoração com estações móveis e fixas ocasionam entraves nas pesquisas científicas quanto à qualidade do ar na região.

A proposta deste trabalho foi avaliar os níveis de concentração do NO₂ em 15 pontos dentro e no entorno de uma usina termelétrica no bairro do Mauzinho, localizado no Distrito Industrial de Manaus-AM, usando a técnica de amostragem passiva, avaliando a influência dos níveis de NO₂ na qualidade do ar na região.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar os níveis e a dispersão das concentrações de dióxido de nitrogênio emitido pela queima de combustíveis fósseis no entorno de uma usina termelétrica em área urbana no bairro do Mauzinho no Distrito Industrial de Manaus.

1.1.2 Objetivos Específicos

Escolher, confeccionar e testar amostradores passivos para dióxido de nitrogênio.

Planejar pontos de monitoramento na área de estudo.

Fazer um levantamento de todas as fontes fixas emissoras de NO₂ ao redor dos pontos de amostragem.

Analisar a concentração mensal de NO₂ por um período de seis meses.

Monitorar os parâmetros meteorológicos relativos ao período de amostragem.

Verificar a influência dos parâmetros meteorológicos nos níveis de concentração de NO₂.

Tratar e interpretar os dados obtidos de NO₂ e meteorológicos com método multivariado por Análise Hierárquica de Agrupamento (AHA), Análise de Componente Principal (ACP) e correlacionar com os padrões de Resolução CONAMA N° 003/90 e padrões da Organização Mundial de Saúde (OMS).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

Neste tópico são apresentados alguns aspectos do Setor Elétrico Brasileiro como os principais componentes e características, o Sistema Interligado Nacional e os Sistemas Isolados como forma de contextualizar o assunto dessa pesquisa.

2.1.1 Matriz Energética Brasileira

O parque de geração de energia elétrica brasileira tem como fonte predominante os recursos hídricos, diferente do contexto médio global, sustentado pela dependência de fontes energéticas fósseis, sendo privilegiado pelo território com extensa disponibilidade de recursos renováveis.

No Brasil, a geração de energia elétrica caracterizou-se, historicamente, de forma diferencial do contexto médio global em relação à dependência de fontes energéticas fósseis. Em uma situação privilegiada, ela se estabeleceu a partir do meio deste século com base nos potenciais hidráulicos existentes e nas fontes renováveis de energia (MAGRINI *et al.*, 2003).

As termelétricas convencionais correspondem à segunda principal fonte de energia no País, entretanto, devido ao custo dos combustíveis fósseis e à poluição gerada pela queima dos derivados de petróleo, essa fonte de produção de energia é acionada de forma complementar ao sistema hidrelétrico (NAKAGAWA, 2009; ZAMBON, 2008).

A matriz energética brasileira é uma das mais limpas do mundo, com forte presença de fontes renováveis de energia, mais de 88 % de participação, sendo 81,7 % de hidráulica e 6,5

% de biomassa e 0,5 % de eólica, os outros 11,3 % são atribuídos às fontes não renováveis (BEN, 2012). A Figura 1 mostra a matriz de energia elétrica do Brasil.

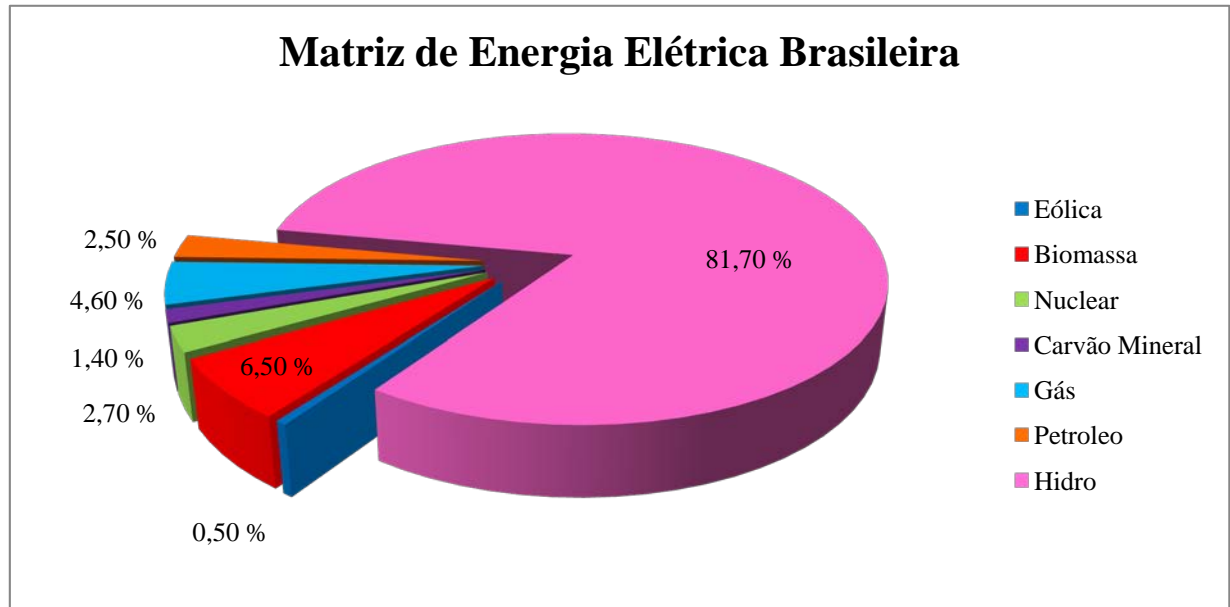


Figura 1. Matriz de Energia Elétrica Brasileira
Fonte: Adaptado de BEN, 2012.

Os ganhos ambientais de uma matriz energética limpa traduzem-se em reduzidas emissões de partículas pelo uso de energia e sustentabilidade da economia. Enquanto o Brasil emite 1,4 tonelada de dióxido de carbono (tCO_2) por tonelada equivalente de petróleo (tep), no mundo, esse indicador é de 2,4 tCO_2/tep . Em alguns países com forte presença de fontes fósseis (óleo, gás e carvão mineral) em suas matrizes energéticas, esse indicador passa de 3 tCO_2/tep . No contexto mundial, a participação média da energia hidráulica atinge 16 % (BRASIL, 2012).

A geração termelétrica tem sido uma atraente alternativa para contribuir com o aumento da oferta de energia elétrica, pois é menos intensiva em capital e trazem questões menos complexas, se comparada às obras hidrelétricas, que envolvem desapropriações, reassentamentos, controle de cheias entre outras. Entretanto, vale destacar que, apesar do potencial do modelo hidrotérmico escolhido para a geração de energia elétrica, não se pode

mais depender somente dessas fontes. Tem-se falado cada vez mais na diversificação da matriz energética nacional, buscando principalmente fontes renováveis de energia que independem da sazonalidade (NAKAGAWA, 2009; MAGRINI *et al.*, 2009).

As usinas hidrelétricas de responsabilidade da Eletrobras são responsáveis por 41,7 GW, que representam 36,26 % do total da capacidade instalada. São 29 usinas hidrelétricas, 15 termelétricas e duas termonucleares. A Tabela 1 mostra todos os empreendimentos em operação por fonte e a capacidade instalada (ANEEL, 2012).

Tabela 1. Centrais Elétricas em Operação por Fonte e Capacidade Instalada (KW).

Fonte	Capacidade Instalada			Total			
	Nº de usinas	(kW)	(%)	Nº de usinas	(KW)	(%)	
Hidro	Água	999	82.927.824	65,55	999	82.927.824	65,55
Gás	Natural	106	11.561.813	9,14	146	13.393.496	10,59
	Processo	40	1.831.683	1,45			
Petróleo	Óleo diesel	926	3.230.382	2,55	926	7.166.693	5,66
	Óleo residual	34	3.936.311	3,11	34		
Biomassa	Bagaço de cana	353	7.618.288	6,02	353	9.349.937	7,39
	Licor negro	14	1.245.198	0,98	14		
	Madeira	43	376.535	0,30	43		
	Biogás	19	77.308	0,06	19		
	Casca de arroz	8	32.608	0,03	8		
Nuclear	Nuclear	2	2.007.000	1,59	2	2.007.000	1,59
Carvão Mineral	Carvão mineral	10	1.944.054	1,54	10	1.944.054	1,54
Eólica	Vento	76	1.543.042	1,22	76	1.543.042	1,22
Total		2.630	126.507.891	100	2.640	126.507.891	100

Fonte: Adaptado de ANEEL, 2012.

A termelétricidade é responsável por 26,8 % da capacidade instalada, sendo 10,6 % de térmicas a gás; 7,4 % de térmicas a biomassa; 1,6 % de térmicas nucleares e 1,5 % de

térmicas a carvão mineral (BRASIL, 2012). O número de usinas geradoras no País em operação é de 2.630, destas 1.555 usinas são termelétricas.

A capacidade instalada da matriz de energia elétrica do Brasil alcançou, em agosto de 2011, 115 gigawatts (GW), potência 54 % maior do que os 74,8 mil MW instalados em dezembro de 2001. Esse aumento é tão significativo que o Sistema Interligado Nacional (SIN) exige uma coordenação sistêmica para assegurar que a energia gerada pelos 2.475 empreendimentos em operação (Boletim Mensal de Monitoramento – julho/2011) chegue ao consumidor com segurança, além de garantir o suprimento de forma contínua, com qualidade e universalização do atendimento (ELETROBRAS, 2012).

2.1.2 O Sistema Interligado Nacional

O Sistema Interligado Nacional – SIN é o sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil, hidrotérmico de grande porte, com forte predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários, com tamanho e características que permitem considerá-lo único em âmbito mundial (ONS, 2012).

A coordenação do SIN é sistêmica para assegurar que a energia gerada no País chegue até o consumidor com segurança. A existência dos sistemas isolados é explicada pelas dimensões continentais do Brasil e por causa da localização afastada de algumas localidades, municípios e regiões, principalmente na região Norte do País, em relação aos maiores centros. Essa coordenação é feita pelo Operador Nacional do Sistema (ONS), cuja função básica é controlar a operação eletroenergética das instalações de geração e de transmissão de energia elétrica no SIN. Para isso, o ONS conta com cinco centros de operação espalhados pelo País, que realizam, ininterruptamente, a coordenação, supervisão e controle da operação de toda a matriz de energia elétrica brasileira. (BRASIL, 2012; ONS, 2012).

O SIN é formado pelas empresas das regiões sul, sudeste, centro-oeste, nordeste e parte da região norte (ONS, 2012). A Figura 2 mostra a integração eletroenergética esquematizada das bacias que compõem o SIN no mapa.

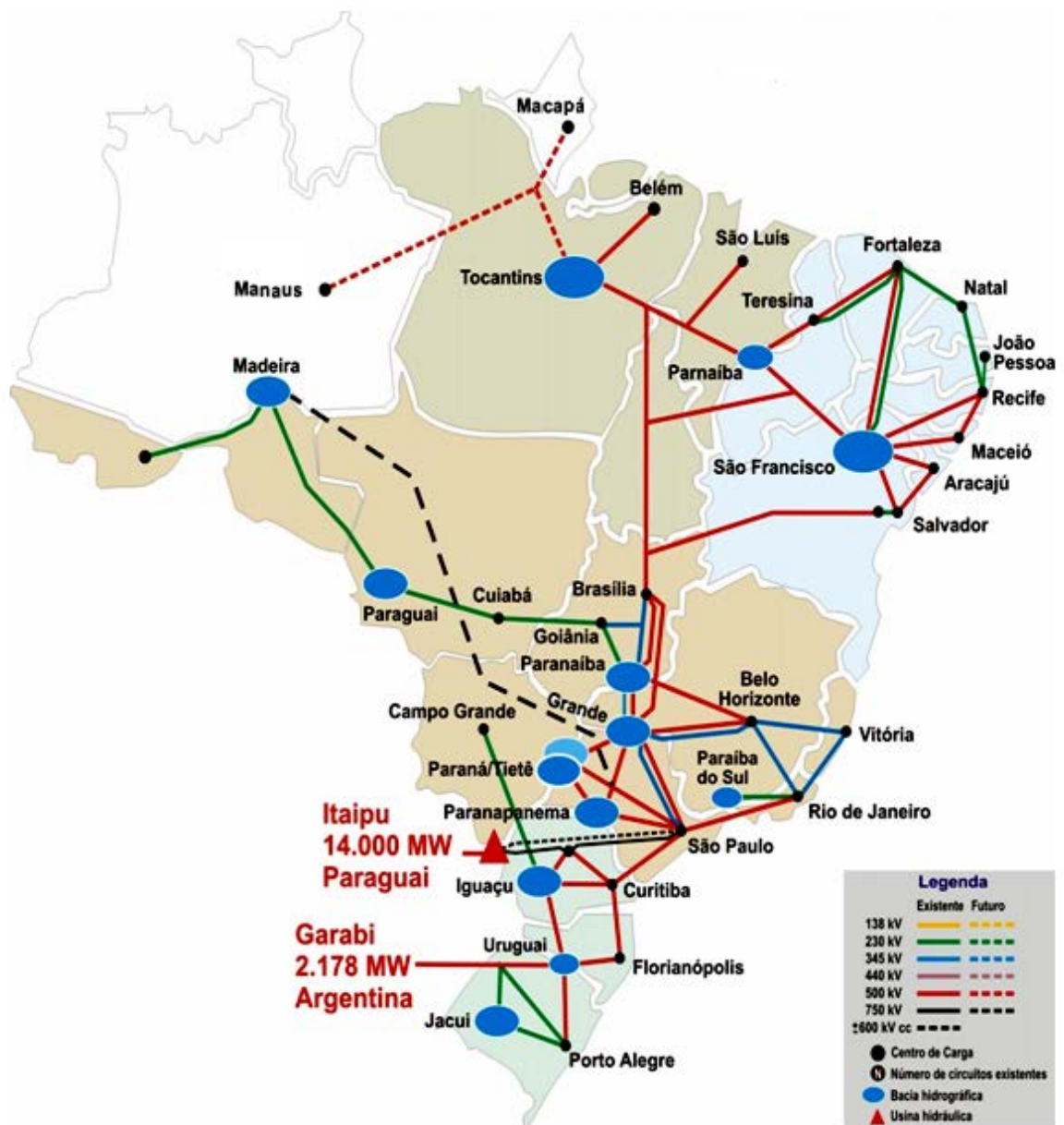


Figura 2. Esquema da Integração Eletroenergética Brasileira.
 Fonte: ONS, 2012.

2.1.3 Os Sistemas Isolados

Os sistemas isolados brasileiros, predominantemente térmicos e majoritariamente localizados na região norte, atendem a uma área de 45 % do território e a cerca de 3 % da população nacional, ou seja, aproximadamente 1,2 milhões de consumidores. No interior, esses sistemas caracterizam-se, basicamente, pelo grande número de pequenas unidades geradoras a óleo diesel e pela grande dificuldade de logística de abastecimento. A operação dos sistemas isolados é coordenada pelo Grupo Técnico Operacional da Região Norte - GTON, responsável pelo planejamento e acompanhamento da operação dos sistemas isolados da região norte. O GTON é coordenado pela Eletrobras, e composto por representantes de empresas públicas e privadas, no planejamento da expansão e da operação. O objetivo é o de assegurar aos consumidores dos Sistemas Isolados dos estados do Amazonas, Pará, Roraima, Amapá e Mato Grosso. Esses Estados não estão contemplados com as vantagens oferecidas pelos sistemas interligados, com o fornecimento de energia elétrica em condições adequadas de segurança e qualidade (CARTAXO, 2000; GTON, 2010; BRASIL, 2012).

Atualmente os principais centros de consumo isolados encontram-se em processo de integração ao SIN, principalmente os sistemas que atendem às capitais dos estados. A integração destes sistemas vem ocorrendo ao longo do tempo. Em outubro de 2009, foram integrados os estados do Acre e Rondônia. Até 2013 está prevista a interligação de sistemas do Amazonas e Amapá com a conclusão da linha de transmissão Tucuruí-Macapá-Manaus, atualmente em construção. No ano de 2014 ocorrerá a interligação do estado de Roraima ao SIN com a linha Manaus-Boa Vista (BRASIL, 2012).

2.2 SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA DO AMAZONAS

Segundo a Eletrobras (2012), o sistema elétrico estadual pode ser dividido em dois sistemas: O capital e o interior, consistindo em um complexo de usinas termelétricas de propriedade da concessionária; usinas termelétricas de propriedade de autoprodutores e produtores independentes e, ainda, de uma usina hidroelétrica de responsabilidade da Eletrobrás Amazonas Energia.

2.2.1 Matriz Energia Elétrica do Amazonas

O estado do Amazonas apresenta um sistema de energia elétrica de forte dependência e predominante em recursos a partir dos derivados de petróleo. É considerado o maior sistema elétrico isolado do País, sua capital, Manaus, cuja matriz é constituída de 80 % de termelétricas. Não possui uma política de gestão ambiental dirigida ao monitoramento e fiscalização da qualidade do ar. Aumenta, em todo o seu território, o número de termelétricas (COSTA e CARTAXO, 2012; GTON, 2012; VALOIS *et al.*, 2011).

Apesar de apresentar um grande volume fluvial, possui poucos aproveitamentos hidráulicos. Esse fato é atribuído principalmente à pequena inclinação da região, comprovado pela cota do rio Amazonas a 3.100 km de sua foz (nível do mar), que é de apenas 65 metros (a altitude da cidade de Manaus é 92 m), o que explica o impacto ambiental causado pela construção de hidrelétrica de Balbina, devido à enorme área inundada das barragens da região (SIPOT, 2012).

Na região Amazônica a geração de energia elétrica depende de um sistema isolado, predominantemente constituído por usinas termelétricas e apenas uma hidrelétrica. O planejamento energético dessa região é vinculado a indicadores históricos e sazonais, além de

considerar os contextos socioeconômicos, políticos, demográficos e ambientais. O resultado esperado é que a execução do planejamento evite prejuízos imensuráveis à economia e à sociedade (SILVA *et al.*, 1997).

O total de empreendimentos em operação no estado do Amazonas é de 143, gerando 2.258.470 kW de potência. A Eletrobras Amazonas Energia é a concessionária responsável pela geração, transmissão e distribuição de energia elétrica em todo o Estado, dispõe de geração hidráulica e térmica próprias, geração contratada dos Produtores Independentes de Energia (PIE). E a Amazonas Energia atua como geração de aluguel contratada de diversas empresas nas UTE Cidade Nova, Flores, São José, Mauá Bloco V, VI e VII, Electron e em Iranduba (GTON, 2012).

Os mercados do interior do Estado não supridos pelo sistema Manaus são atendidos quase em sua totalidade por termelétricas a óleo diesel. A existência de uma termelétrica a lenha picada no município de Itacoatiara faz com que o mercado do denominado sistema interior não seja na sua integralidade atendido por máquinas que fazem uso de óleo diesel. O sistema interior compreende a 105 localidades, com potência efetiva de 314 MW. O consumo de energia elétrica está fortemente concentrado em dez municípios, como: Itacoatiara, Manacapuru, Parintins, Coari, Iranduba, Tefé, Humaitá, Tabatinga, Presidente Figueiredo e Maués; correspondendo a 53,2 % de toda a energia faturada no referido sistema (GTON, 2009; ELETROBRAS, 2012).

No final de 2009, teve início a conversão para gás natural de parte do parque gerador térmico que atende à cidade de Manaus por meio do gasoduto Urucu-Coari-Manaus, permitindo o escoamento do gás natural produzido no polo de Urucu, na Bacia do Solimões, até Manaus. Além da linha transmissão principal, o gasoduto conta também com ramais para atendimento às cidades de Anamã, Anori, Caapiranga e Codajás (ELETROBRAS, 2012).

2.2.2 Caracterização das Usinas Termelétricas

A geração de energia nos sistemas isolados é realizada através de usinas termelétricas baseadas em turbinas nos municípios maiores e de grande número de pequenas unidades geradoras a óleo diesel que causam desperdício de combustível, em função da vida útil ultrapassada e de baixa eficiência. O combustível é subsidiado através da Conta de Consumo de Combustíveis – CCC (ANDRADE, 2010).

Conforme dados do GTON (2012) a capital do Estado, Manaus representa o maior sistema de energia elétrica isolado da América Latina sob a total responsabilidade da empresa Eletrobrás Amazonas Energia. É composto pelas seguintes usinas (geração própria):

- UTE Aparecida (198,0 MW);
- UTE Mauá (452,8 MW);
- UTE Cidade Nova (17,6 MW);
- UTE São José (41,6 MW);
- UTE Flores (90,6 MW)
- Usina Hidrelétrica de Balbina (250,0 MW);

E composto pelas seguintes usinas por Produtores Independentes de Energia – PIE's:

- UTE Breitener Tambaqui (83,5 MW);
- UTE Breitener Jaraqui (83,3 MW);
- UTE Manauara (83,3 MW);
- UTE Cristiano da Rocha (83,3 MW);
- UTE Ponta Negra (83,3 MW);

Cartaxo e colaboradores (2011), ressaltam que apesar da potência própria do município de Manaus ser de 1.050,6 MW, não é suficiente para atender o mercado, sendo necessária a complementação de energia dos Produtores Independentes, totalizando o montante de potência nominal de 1.467,3 MW.

A Figura 3 mostra a localização das usinas termelétricas, incluindo os Produtores Independentes nos limites da cidade de Manaus.

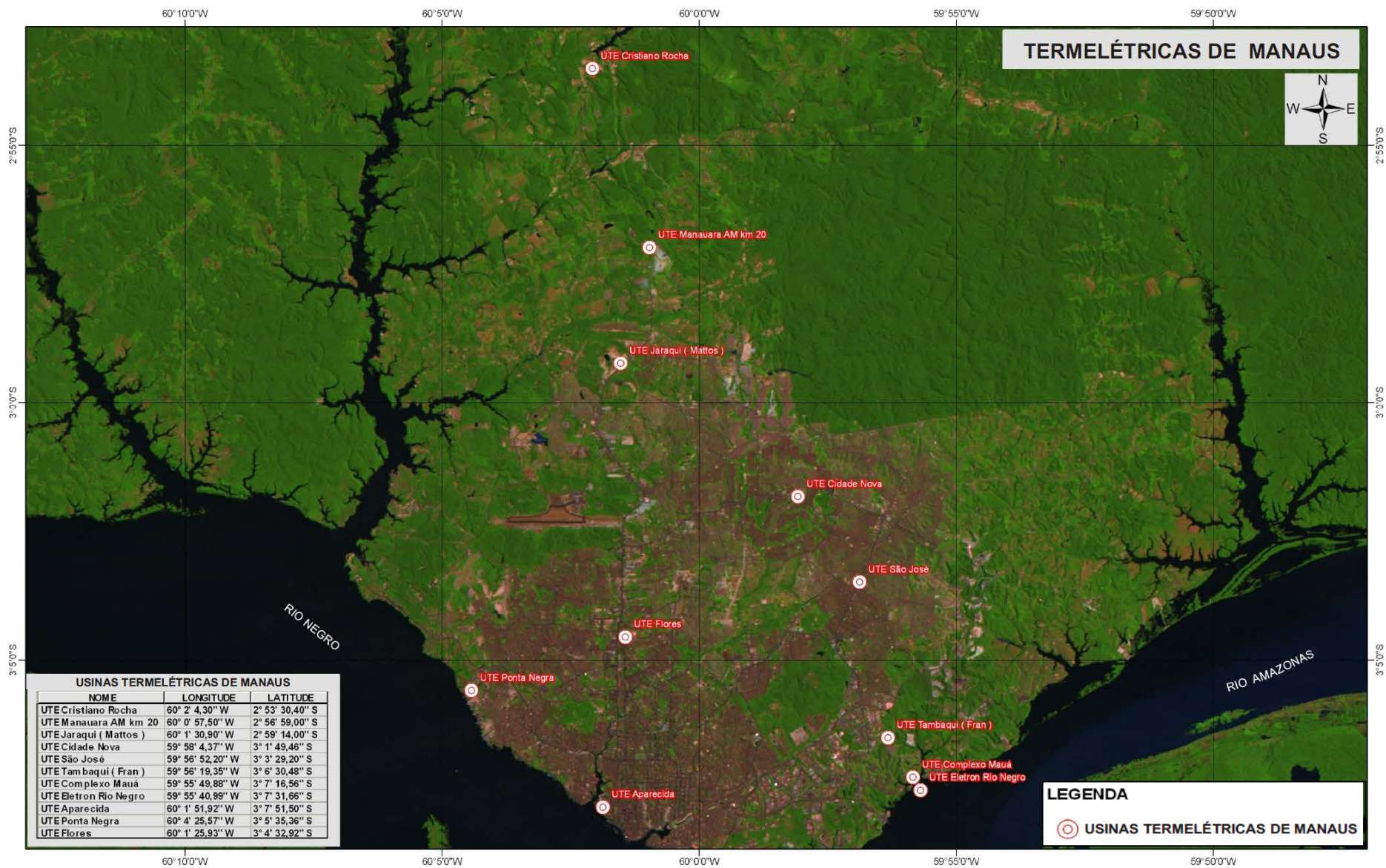


Figura 3. Localização das UTE's e PIE's no município de Manaus-AM.
 Fonte: GOMES, 2009.

O sistema elétrico do estado do Amazonas, nos últimos anos, vem passando por grandes modificações em termos institucionais. Atualmente este sistema é inteiramente de responsabilidade da empresa Eletrobrás Amazonas Energia. As termelétricas são responsáveis por 772,5 MW produzidos em Manaus, 325 MW destes pertencem a Amazonas Energia, correspondendo a 42,07 %, os outros 447,5 MW são de propriedade dos Produtores Independentes (PIE) cerca de 57,93 % (GTON, 2011). A Figura 4 mostra a porcentagem de distribuição da potência nominal instalada.

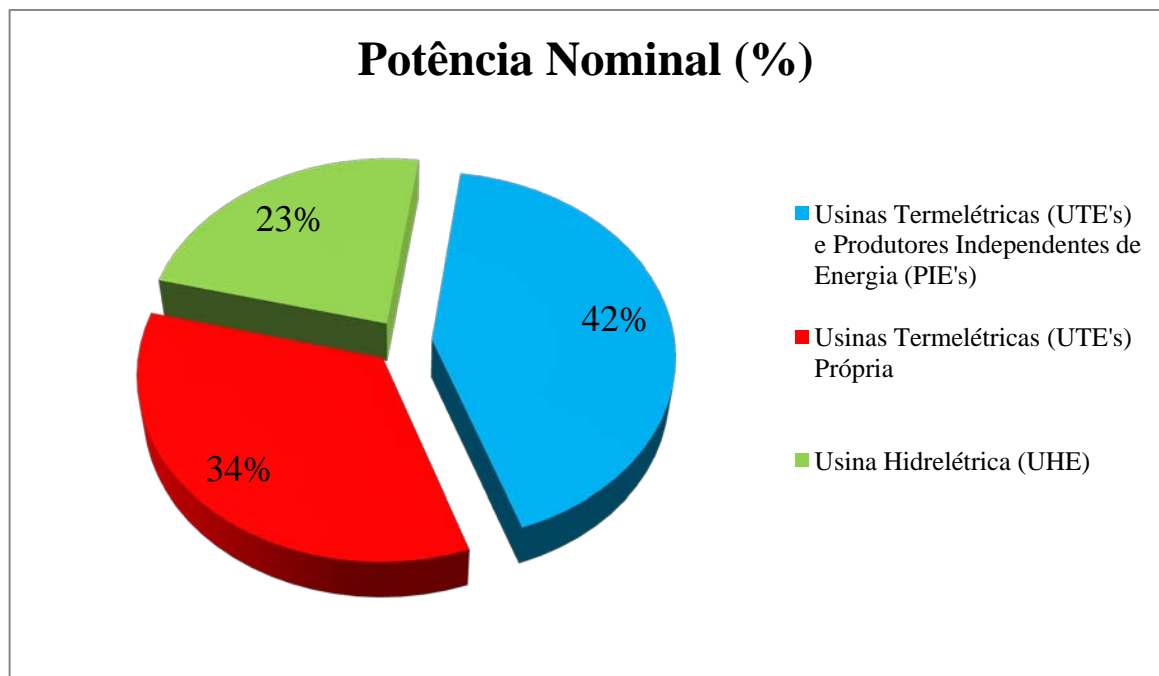


Figura 4. Potência nominal (%) instalada no município de Manaus-AM
Fonte: Adaptado de GTON, 2012.

2.2.3 Queima de Combustíveis em Usinas Termelétricas

Atualmente as usinas termelétricas (UTE's) no município de Manaus operam queimando gás natural, e de forma complementar são subsidiadas com o óleo combustível e o óleo diesel. Esses combustíveis são usados em parcelas baixas no sistema de energia para assegurar ininterruptamente a operação nas usinas (ELETROBRAS, 2012).

Durante o processo de combustão dos combustíveis derivados do petróleo, o oxigênio contido no ar atua como comburente. Os demais gases, contidos no combustível, ao interagirem com outros compostos, podem produzir compostos indesejáveis, os quais são lançados na atmosfera. Os combustíveis líquidos mais utilizados na geração de calor e eletricidade são o óleo combustível (OC), o óleo diesel e os resíduos ultraviscosos do refino (XAVIER, 2004; ANDRADE, 2010).

2.2.3.1 Diesel

O óleo diesel é um derivado do petróleo com faixa de destilação comumente entre 220-380 °C. Este derivado é utilizado em motores automotivos de combustão interna por compressão (ciclo a diesel), podendo ser empregado em diversas aplicações, desde veículos a fontes estacionárias com UTE's. A máquina a diesel é a que alcança cerca de 45 % de rendimentos em comparação com as demais de combustão interna e é considerada uma das maiores (MASSAGARDI, 2004; GTON, 2006).

O óleo diesel é um combustível constituído basicamente por hidrocarbonetos, com baixas concentrações de enxofre, nitrogênio e oxigênio. É um produto inflamável, medianamente tóxico, volátil, límpido, isento de material em suspensão e com odor forte e característico (GTON, 2006).

No Brasil existem três tipos de diesel, conforme determinação do Departamento Nacional de Combustível (DNC), a PETROBRAS coloca à disposição do mercado o óleo diesel tipo A, B e D (ANP, 2012; GARCIA, 2002).

TIPO A – Diesel automotivo, utilizado em motores diesel e instalações de aquecimento de pequeno porte.

TIPO B – Diesel metropolitano. É também utilizado para aplicação automotiva e geração de energia. Difere do diesel Tipo A por possuir no máximo 0,5 % de enxofre.

TIPO D – Diesel marítimo. É produzido especialmente para utilização em motores de embarcação marítima.

Em Manaus, o mais usado é o tipo B acrescido com 5 % de biodiesel nas usinas termelétricas (GTON, 2011).

Componentes tóxicos são formados na combustão do diesel com o monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (CxHy) não oxidados, óxidos de enxofre (SOx), óxidos de nitrogênio (NOx) e o material particulado (MP), cujas concentrações estão diretamente relacionadas com a qualidade do combustível e parâmetros de operação do motor. O processo de combustão do óleo diesel ocorre em altas temperaturas que propiciam a formação de óxidos de nitrogênio (NOx) pela reação do O₂ com o N₂ do ar. Existe uma temperatura crítica que varia em torno de 1370 °C dependendo da pressão, abaixo da qual a formação de NOx não é favorável em quantidades significativas. Consequentemente, reduzindo-se os picos de temperatura na combustão, podem-se reduzir a formação de NOx. Os óxidos de nitrogênio e particulados são os componentes com maior concentração nos gases de exaustão dos motores Diesel (ANDRADE, 2010; CÓNSUL *et al.*, 2004; CAYRES e YUKI, 2006).

A densidade pode fornecer indicações úteis sobre a composição do combustível e características relacionadas ao desempenho, uma vez que a injeção de combustível é feita a volumes constantes. Mudanças na densidade do diesel afetam o conteúdo energético do combustível. O aumento da densidade provoca aumento de monóxido de carbono, hidrocarbonetos e material particulado (FARAH, 2003). A Tabela 2 mostra as especificações técnicas dos tipos de óleo diesel usado no Brasil.

Tabela 2. Especificações Técnicas do Óleo Diesel

Características	Unidades	Tipos			Método (ABNT e ASTM)
		Diesel (A)	Metropolitano (D1)	Diesel (B)	
Aspecto	-	Límpido e isento de impurezas			NBR 4178
Estado Físico		Líquido e isento de material em suspensão			
Cor ASTM, máx.	-	3,0	3,0	3,0	NBR 14483
Enxofre Total, máx.	% em massa	1,0	0,20	0,35	NBR 14533
Massa Específica a 20°C	kg/m ³	820 a 880	820 a 865	820 a 880	NBR 7148
Ponto de Fulgor, mín.	°C	38	55	38,0	NBR 7974
Viscosidade a 40°C	mm ² /s	1,6-6,0	2,5-3,5	1,6-6,0	NBR 10441
Número de Cetanos, mín.	-	36	42,0	42,0	D 613
Cinzas, máx.	% em massa	0,02	0,02	0,02	D 482
Corrosividade ao Cobre (3h a 50°C), máx.	-	2,0	1,0	1,0	NBR 14359

Fonte: GTON, 2006; ANP, 2012.

2.2.3.2 Gás natural

O gás natural tem conquistado um papel estratégico como fonte de energia para o mundo, em virtude de gerar menos poluentes em comparação com as demais fontes fósseis. É uma mistura de vários gases combustíveis, mas algumas substâncias inertes, como CO₂, N₂, vapor d'água e compostos de enxofre, cujas quantidades dependem de fatores, como: a localização do reservatório, se em terra ou no mar, se o gás é associado ou não, da geologia do solo, etc. De forma geral, o gás natural apresenta uma maior proporção de CH₄ e uma menor proporção composta por outros hidrocarbonetos, como alcanos e alenos (RANGEL e BÜCHLER, 2005; CHAIM e LACAVA, 2005).

Na Tabela 3 são apresentadas as composições médias de alguns campos de gás natural no Brasil e em alguns países.

Tabela 3. Composição Média do Gás Natural de Diferentes Origens.

Origem		Composição (% vol.)					PCS ⁽¹⁾	
Pais/Campo	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	> C ₄ ⁺	CO ₂	N ₂	(MJ/m ³)	
USA/Ashaw	75,0	24,0	-	-	-	1,0	43,7	
Rússia	97,8	0,5	0,2	0,1	0,1	1,3	33,6	
Austrália	76,8	40,0	1,0	1,0	1,6	2,0	35,0	
Holanda	81,2	2,9	0,4	0,2	0,9	14,4	31,4	
Pérsia	66,0	14,0	10,5	7,0	1,5	1,0	52,3	
Argélia	76,0	8,0	3,3	4,4	1,9	6,4	46,2	
Venezuela	78,1	9,9	5,5	4,9	0,4	1,2	47,7	
Argentina	95,0	4,0	-	-	-	1,0	40,7	
BRASIL								
Rio de Janeiro	89,4	6,7	2,3	0,5	0,3	0,8	40,2	
Bahia	88,6	9,2	0,4	-	0,7	1,1	39,2	
Rio Grande do Norte	83,5	11,0	0,4	-	1,4	3,2	38,5	
Coari	76,9	15,0	0,02	-	0,2	7,7	38,0	

Fonte: Adaptado de GASNET, 2011; CCA/UFAM, 2004.

(1) Poder Calorífico Superior.

O gás natural não possui uma composição química fixa e a proporção de hidrocarbonetos e gases não-hidrocarbonetos podem variar amplamente, dependendo de sua origem. Em sua composição primária é livre de enxofre, no entanto, uma pequena quantidade de enxofre é acrescentada ao gás por questão de segurança, para que ele deixe de ser inodoro (RANGEL e BÜCHLER, 2005; CHAIM e LACAVA, 2005; RIBEIRO 2003).

Além dos componentes orgânicos, o gás natural pode apresentar compostos de enxofre (H₂S) e metais, inclusive o mercúrio, altamente tóxico para os seres vivos. O teor de Nitrogênio (N₂) no gás do campo de Urucu, no estado do Amazonas, varia de 8 a 20 %, o de Manati, no estado da Bahia, está em torno de 6 % e o da Bolívia contém cerca de 1 % (CCA, 2004; MADEIRA, 2008).

O campo de Urucu está localizado na Bacia do Solimões, entre os Rios Tefé e Coari, na Região do Rio Urucu, no chamado Alto Amazonas, entrando em operação em 1988, constituindo a maior reserva de petróleo na Amazônia. Com a produção de um óleo leve de excelente qualidade e gás natural associado. É uma das maiores reservas de gás do País, com aproximadamente 100 bilhões de metros cúbicos (MADEIRA, 2008; WERTHEIM, 2011).

Em busca por combustíveis alternativos aos derivados do petróleo o estado do Amazonas usou como uma questão estratégica para garantir o fornecimento de energia neste contexto, a inserção do gás natural proveniente de Urucu nas usinas termelétricas (MADEIRA, 2008; GTON, 2012).

O gás natural é mais leve que o ar, por isso, em caso de vazamentos, se dispersa rapidamente. O ponto de fulgor, temperatura em que o combustível se inflama, é a partir de temperaturas superiores a 620 °C, para fins comparativos, a temperatura de inflamabilidade do álcool é 200 °C e da gasolina é 300 °C (XAVIER, 2004).

Segundo Chaim e Lacava (2005), a substituição do óleo combustível por gás natural em uma planta industrial de produção de vapor emite menos dióxido de enxofre e material particulado.

Do ponto de vista ambiental, usinas a gás natural são bem menos impactantes, pois geram menos poluentes. Quanto à geração de energia em usinas termelétricas em ciclo combinado, existe a flexibilidade de operação, pois podem operar com o ciclo combinado completo, ou em ponta de carga em ciclo simples, funcionando apenas com as turbinas a gás, aproveitando a característica de partida rápida das turbinas (ANDRADE, 2010).

2.2.3.3 Óleo combustível

O óleo combustível foi consumido em larga escala nas UTE's em Manaus, porém com a entrada do gás natural, na UTE Tambaqui, seu consumo sofreu gradativa redução até o

final de 2011, aproximadamente 47,8 % conseqüentemente a demanda de energia oriunda dessa fonte passou por declínio devido à projeção do gás natural na matriz energia elétrica do Estado (COSTA e CARTAXO, 2012).

O óleo combustível é a fração mais importante para os sistemas de aquecimento industrial, devido ao seu baixo preço. Apesar de no início da utilização do petróleo, frações mais leves tais como o diesel e o querosene terem sido utilizadas, atualmente, tais derivados são reservados a utilizações com maior exigência de qualidade de combustível, como os motores de combustão interna. A tendência atual é adequar o perfil de refino a maior produção de diesel e conseqüentemente, o óleo combustível utilizado pela indústria tem sua densidade e viscosidades aumentadas, além do maior teor de enxofre. A especificação básica para os óleos combustíveis são a viscosidade, o ponto de fluidez e o teor de enxofre. Os óleos combustíveis apresentam várias faixas de viscosidades conforme sua classificação (ANP, 2012; GTON, 2011).

O óleo combustível derivado de petróleo, também chamado óleo combustível pesado ou óleo combustível residual, é a parte remanescente da destilação das frações do petróleo, designadas de modo geral como frações pesadas, obtidas em vários processos de refino. A composição bastante complexa dos óleos combustíveis depende não só do petróleo que os originou, como também do tipo de processo e misturas que sofreram nas refinarias. Esses se subdividem em diversos tipos, de acordo com sua origem e características (GTON, 2006).

Desde 1987 os óleos combustíveis no Brasil receberam as denominações de grupo A ou B, passando a ser classificados em (ANP, 2012):

- Grupo A: teor de enxofre máximo (5 % em massa - óleo 1A e 5,5 % em massa - demais óleos).
- Grupo B: teor de enxofre máximo (1 % em massa).

Cada um destes dois grupos divide-se em nove tipos de óleo de acordo com suas viscosidades. O tipo A apresenta alto teor de enxofre e o tipo B baixo teor (GTON, 2006).

Os principais tipos de óleo combustível utilizado na geração de energia elétrica são o OC1A, PGE e PTE. A Tabela 4 mostra as especificações técnicas dos tipos de óleo combustível usados no Brasil. A composição do óleo combustível tipo 1 (OCA1) contém hidrocarbonetos parafínicos pesados, naftênicos, olefínicos, aromáticos e asfáltênicos, além de possuir enxofre, nitrogênio e metais pesados. O OPGE ou PGE é um Óleo Pesado para Geração de Energia e o OLPTE ou PTE é um Óleo Leve para Turbina Elétrica formado por uma mistura de hidrocarbonetos parafínicos, naftênicos, aromáticos enxofre, compostos nitrogenados e compostos oxigenados (GOMES, 2009; GTON, 2006).

Tabela 4. Especificações Técnicas do Óleo Combustível

Características	Unidades	Tipos			Método (ABNT e ASTM)
		OCA1	PGE	PTE	
Estado Físico	-	Líquido Viscoso			
Cor	-		3,0		D 1500
Enxofre Total, máx.	% em massa	5,00	0,90	1,00	D 4294
Massa Específica a 20°C	g/m ³	1024	820 a 900	980	D 445
Ponto de Fulgor, mín.	°C	65,0	60,0	85,0	D 93
Viscosidade	mm ² /s	6,20	1,60 a 6,00	3,60	MB 293
Cinzas	% em massa	-	0,010	0,050	D 97
Vanádio Total	mg/kg	-	0,000	20,00	N 240
Cálcio Total	mg/kg	-	2,000	25,00	N 240
Potássio Total	mg/kg	-	Anotar	10,00	N 240
Sódio Total	mg/kg	-	Anotar	30,00	N 240
Chumbo Total	mg/kg	-	0,000	35,00	N 240

Fonte: GTON, 2006; ANP, 2012.

Segundo Gomes (2002), quanto às emissões dos principais poluentes, nota-se que, na Região Norte, os maiores valores de CO₂ e compostos de enxofre são encontrados, devendo-

se isso principalmente à utilização de Óleo Combustível, que possui hidrocarbonetos pesados e enxofre na sua composição. Isso se mostra claramente quando se compara as emissões da Região Norte com as da Região Nordeste, onde se utiliza óleo diesel, que é um óleo leve e o gás natural, sendo a emissão de gases poluentes a menor do País.

2.3 ASPECTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS À TERMELETRICIDADE

Inúmeras adversidades causadas ao meio ambiente relacionados à poluição do ar têm sido foco de discussões interdisciplinares em várias instituições de pesquisa e de serviço, motivando a criação e implementação de programas de monitoramento ambiental e de vigilância em saúde relacionada à qualidade do ar em diversos países do mundo (SILVA, 1997; EPA, 2012).

Tendo em vista o constante crescimento da termelétricidade na matriz energética do País, principalmente na Região Norte, pesquisas que buscam avaliar os impactos das emissões aéreas causados pela UTE's e sua influência sobre a qualidade do ar são relevantes para que medidas mitigadoras sejam adotadas. A geração de energia elétrica, na maioria dos casos, implica em degradação do meio ambiente. Dependendo do empreendimento, os impactos ambientais negativos adquirem maiores ou menores proporções (PIRES, 2005; XAVIER, 2004).

A poluição atmosférica tem aumentado devido aos processos de industrialização e urbanização acelerada. É considerada um dos tipos de poluição de extrema complexidade, podendo estar associada a vários fatores, principalmente a geração de energia elétrica. A má qualidade do ar tem causado sérios problemas à saúde da população, ao meio ambiente e aos materiais (SALLES e PIUZANA, 2006).

2.3.1 Poluição do Ar: Caracterização

Poluição, segundo a definição legal estabelecida no artigo 3º da Lei nº 6.938, de 1981, a Política Nacional do Meio Ambiente, é:

Art. 3º - Para os fins previstos nesta Lei, entende-se por:

II - degradação da qualidade ambiental, a alteração adversa das características do meio ambiente;

III - poluição, a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;

c) afetem desfavoravelmente a biota;

d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;

e) lancem matérias em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos;

De forma geral, poluição é considerada o lançamento de qualquer matéria ou energia que altera as propriedades físicas, químicas ou biológicas, afetando, ou podendo afetar de maneira danosa o meio ambiente. A degradação da qualidade ambiental, incluindo atividades antrópicas e/ou naturais que levam à deterioração da qualidade original da atmosfera, promovendo mudanças susceptíveis causadoras de impactos ambientais, através da contaminação por gases, partículas sólidas, líquidas em suspensão, material biológico ou energia. De fato, a poluição é artefato integrante de uma sociedade consumista e industrializada que avança mais rápido que os mecanismos depuratórios da natureza (RUSILO e MANÃS, 2010).

A poluição do ar é representada por qualquer presença de material estranho na atmosfera, ou seja, tudo que possa ser vaporizado ou transformado em pequenas partículas, de

modo dispersivo no ar. A presença de partículas no ar, implicando em risco, dano ou moléstia grave para as pessoas e bens de qualquer natureza, caracteriza-se em poluição atmosférica. Considerando a dinâmica do planeta, pode-se dizer que esse fato sempre existiu. Contudo, ganhou maior importância a partir da Revolução Industrial com o uso de combustíveis fósseis como fonte de energia (VIGIAR, 2011).

A definição de ar limpo é apenas um conceito, visto que isto represente a composição da atmosfera sem a intervenção humana e como se seus efeitos jamais tivessem existido. O ar limpo é isento da presença de contaminantes ou poluentes, constituindo o ar atmosférico na troposfera. O ar é invisível, sem odor e sem gosto, sendo uma mistura de nitrogênio (78,1 %), oxigênio (20,9 %), variando as quantidades de vapor de água, uma pequena quantidade de dióxido de carbono (0,03 %) e outros gases residuais (REIS Jr, 2005).

Os diversos fatores associados à poluição atmosférica principiam na queima de combustíveis fósseis, promovendo emissão de gases poluentes ou de partículas sólidas na atmosfera, podendo provocar a degradação dos ecossistemas devido ao lançamento de inúmeras substâncias sem fronteiras, por isso pode versar um problema local, regional, nacional ou global (PIRES, 2005; XAVIER, 2004).

2.3.2 Efluentes Gasosos

Os efluentes gasosos ou poluentes atmosféricos possuem um grande volume por unidade de massa, uma vez lançados na atmosfera, misturam-se com o ar e são levados pelas correntes de vento, em um movimento basicamente não controlável (CARVALHO JR, 2003). Estes poluentes causam prejuízo à composição química da atmosfera com as seguintes consequências:

- Perigo ou prejuízo ao bem estar dos homens e dos animais;

- Dano ao meio ambiente (natural, residencial ou área de trabalho) levando a efeitos sobre a sociedade que podem ou não ser expressos financeiramente;
- Efeitos que conduzam à deterioração do conforto, como a diminuição da visibilidade.

A classificação dos poluentes pode ainda ser de acordo com os seus efeitos em: substâncias radioativas, tóxicas, metais pesados, carcinogênicas, mutagênicos, etc. Quando se determina a concentração de um poluente na atmosfera, mede-se o grau de exposição dos receptores, como resultado final do processo de lançamento deste poluente por suas fontes de emissão e suas interações na atmosfera, do ponto de vista de diluição e reações químicas (CETESB, 2012).

2.3.3 Principais Poluentes Emitidos pelas Usinas Termelétricas

A emissão de poluentes para a atmosfera pode ser considerada uma das principais ações impactantes, resultante do funcionamento de usinas termelétricas, pois consiste na emissão de material particulado e gases emanados do processo de combustão, cuja quantidade e composição variam conforme a tecnologia e o combustível utilizado. Os principais poluentes emitidos desses empreendimentos são: material particulado (MP), óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de carbono (CO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis. (PIRES, 2005; XAVIER, 2004).

2.3.3.1 Monóxido de Carbono (CO)

É um gás incolor e inodoro emitido por fontes naturais e antropogênicas. A formação do CO ocorre com oxidação parcial do carbono, limitada pela quantidade de oxigênio disponível durante a combustão, podendo ser afetada pelo tempo de residência, a turbulência

na câmara de combustão, a temperatura da chama e o excesso de oxigênio. A conversão de CO para CO₂ na atmosfera é lenta e leva de dois a cinco meses. O CO é altamente tóxico pelo trato respiratório, pois a combinação com hemoglobina do sangue restringe a capacidade de oxigenação do cérebro, coração e de outros tecidos. Os sintomas causados pela intoxicação com o CO são tonturas, desmaios, cefaleia, sonolência, diminuição de reflexos, goma e a morte. A atuação desse poluente é de efeito local, abrangendo áreas próximas das fontes emissoras (PIRES, 2005; ANDRADE, 2010; ORNURSAL, 1997).

Os níveis de CO na atmosfera em áreas urbanas indicam uma correlação positiva com a densidade de tráfego veicular e uma correlação negativa com a velocidade dos ventos. Áreas urbanas podem apresentar níveis médios de CO, em ordem de partes por milhão (ppm), muitas vezes maior do que em áreas remotas (MANAHAN, 2004).

2.3.3.2 Óxidos de Nitrogênios (NO_x)

Estes óxidos incluem o óxido de nitrogênio (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂), óxido nitroso (N₂O), trióxido de dinitrogênio (N₂O₃) e pentóxido de nitrogênio (N₂O₅). Os óxidos de nitrogênio são produzidos por fenômenos naturais como os relâmpagos, erupções vulcânicas e ações bacteriológicas no solo. Como fontes Antropogênicas, têm-se a combustão em unidades termelétricas, máquinas de combustão interna, instalações industriais e incineradores (MANAHAN, 2004).

O NO₂ é um gás impactante ao meio ambiente. Seus efeitos na atmosfera e sobre a saúde humana serão comentados nos itens 2.4.5 e 2.4.6 respectivamente dessa pesquisa.

2.3.3.3 Dióxido de Enxofre (SO₂)

É um gás estável, não inflamável, não explosivo e incolor que pode ser detectado pelo paladar a concentrações tão baixas quanto 1,00 µg/m³ ou pelo olfato em concentrações acima

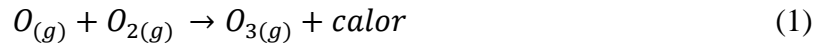
de $10,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e é extremamente solúvel em água. Na atmosfera, o SO_2 pode ser convertido em trióxido de enxofre (SO_3) pela reação com o oxigênio (LOUREIRO, 2005). As quantidades de SO_2 são tipicamente muito superiores as de SO_3 , pois apesar da reação de obtenção do SO_3 ser termodinamicamente favorável, é lenta.

Turns (1996, apud LOUREIRO, 2005, p.22) afirma que, em processos de combustão, todo o enxofre que está presente no combustível surge como SO_2 ou SO_3 nos produtos de combustão. A combinação desses dois óxidos é denominada de SO_x . Devido a esta conversão do enxofre contido no combustível, existem algumas maneiras de controlar as emissões de SO_x : um delas é remover o enxofre dos combustíveis ou o SO_x dos produtos gasosos. O SO_2 e o SO_3 reagem com as moléculas de água presentes na atmosfera formando o ácido sulfuroso (H_2SO_3) e o ácido sulfúrico (H_2SO_4) que podem ser transportados pelos ventos por centenas de quilômetros e causando precipitações ácidas.

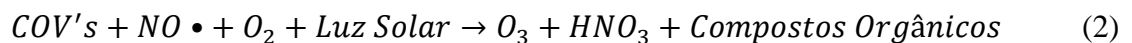
Os óxidos de enxofre, se absorvidos pelo trato respiratório superior, podem provocar tosse, sensação de falta de ar, respiração ofegante, rinoфарingites, diminuição da resistência orgânica às infecções, bronquite crônica e enfisema pulmonar. A ação dos óxidos de enxofre ocorre a nível local, regional e continental (ANDRADE, 2010).

2.3.3.4 Ozônio (O_3)

Segundo Baird (2002), o ozônio é um gás incolor que ocorre em duas camadas distintas da atmosfera. A maioria do oxigênio estratosférico existe como diatômico (O_2) em vez de atômico (O), como a concentração de moléculas de O_2 relativamente grande, e a concentração de oxigênio atômico pequena. O destino mais provável dos átomos de oxigênio estratosférico, formado pela decomposição fotoquímica do O_2 , é sua colisão com moléculas de oxigênio diatômico e não dissociados, resultando na produção de ozônio como está mostrado na equação (1):



O ozônio é constantemente formado mediante esse processo, no decorrer das horas de luz, cuja velocidade depende da quantidade de luz UV e das concentrações dos átomos e das moléculas de oxigênio a uma dada altitude. Na camada mais interna (troposfera), o ozônio ao nível do solo é formado pela reação dos COV's e NOx, mostrada na equação (2), com oxigênio ambiente em presença de luz solar e altas temperaturas (BAIRD, 2002).



Na troposfera o ozônio representa uma séria ameaça aos organismos vivos, com elevada toxicidade conferida pela sua característica de alta reatividade e ação oxidante. Em decorrência de seu caráter oxidante, o ozônio é geralmente responsável pelo início de cadeias de oxidações primárias e diversos processos fotolíticos. Além disso, o ozônio também reage especificamente com compostos orgânicos insaturados pelo mecanismo de ozonólise, formando os compostos carbonílicos, como cetonas e aldeídos. Em virtude da ação oxidante do ozônio na troposfera, os principais efeitos desta exposição são náuseas e dores de cabeça, tosse e dores no peito, ataque celular na região alveolar, diminuição da capacidade pulmonar, agravamento de quadro de asma e câncer de pulmão (GARCIA, 2002; BAIRD 2002).

2.3.4.5 Material Particulado

O material particulado é constituído por partículas sólidas ou líquidas em suspensão na atmosfera em uma dada massa de ar. Consiste em um conglomerado de partículas de origem primária e secundária de tamanhos variados, com propriedades físico-químicas diferenciadas e apresentando diferentes graus de toxicidade (BAIRD, 2002; WHO, 2012).

Embora somente algumas partículas suspensas no ar apresentem forma exatamente esférica, é adequado e convencional tratar a totalidade das partículas como se apresentasse esta forma. De fato, o diâmetro das partículas é sua propriedade mais relevante. Qualitativamente, partículas individuais são classificadas como grossas e finas, dependendo do diâmetro das partículas na atmosfera, que usualmente, varia de $0,002\mu\text{m}$ a $100\mu\text{m}$ (BAIRD, 2002).

Onursal (1997, apud LOUREIRO, 2005, p.22) comenta que o material particulado pode ser de origem natural ou antropogênica. As fontes naturais incluem o solo, cinzas vulcânicas, queimadas, sais marinhos e polens. As fontes antropogênicas incluem termelétricas, indústrias, instalações comerciais e residenciais, e veículos automotores que utilizam combustíveis fósseis.

As Partículas Totais em Suspensão (PTS) são aquelas com diâmetro aerodinâmico menor do que $100\mu\text{m}$. O material particulado maior do que $10\mu\text{m}$ de diâmetro resultam de ações físicas como erosão eólica ou operações de moagem e tendem a se assentar próximo de suas fontes. O material particulado com um diâmetro aerodinâmico de $10\mu\text{m}$ ou menos, é conhecido como material particulado suspenso inalável ou PM₁₀, que permanece na atmosfera por longos períodos de tempo, pois possui baixa velocidade de depósito (GODOY, 2009).

As partículas que possuem diâmetro médio menor do que $10\mu\text{m}$ (PM₁₀) têm importância fundamental para o entendimento da contribuição da poluição atmosférica no ambiente, devido aos problemas relacionadas às doenças respiratórias. Essas partículas são respiráveis e, ao alcançar os pulmões, causam graves danos à saúde por conter componentes tóxicos ou mutagênicos em sua composição. Por outro lado, partículas com diâmetro médio superior a $100\mu\text{m}$ têm um tempo médio de permanência no ar muito pequeno e a ação dessas partículas no ambiente é limitada (WHO, 2012; BAIRD, 2002; SEINFELD, 2004).

2.3.4.6 Partículas Inaláveis

O material particulado pode ainda ser classificada como partículas inaláveis finas (<2,5 μ m) e partículas inaláveis grossas (2,5 a 10 μ m). As partículas finas também são conhecidas como Material Particulado de 2,5 μ m (MP_{2,5}) e devido ao seu tamanho diminuto, podem atingir os alvéolos pulmonares. Já as grossas ficam retidas na parte superior do sistema respiratório (CETESB, 2012).

As partículas finas $\leq 2,5$ e ultrafinas ≤ 1 são emitidas principalmente por fontes antropogênicas através de processos de combustão industrial e veicular, e geralmente possuem formato arredondado. Estas partículas são formadas por acumulação de material condensado e muitos dos elementos químicos produzidos durante este processo aparecem na forma de óxidos (BREED e AROCEMA, 2002; FREITAS e SOLCI, 2009).

O MP_{2,5} resulta da combustão de combustíveis fóssil em plantas de geração de energia, instalações industriais, fogões residenciais e queimadas na agricultura. Pode ser formado na atmosfera como aerossol a partir de reações químicas que envolvem gases como dióxido de enxofre (SO₂), dióxido de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COV's). Também pode ocorrer pela solidificação de sais metálicos voláteis como cristais depois que os gases exaustos quentes são resfriados no ar ambiente, podendo permanecer suspenso no ar e percorrer extensas distâncias (GODOY, 2009; FREITAS e SOLCI, 2009).

As reações atmosféricas são fortemente influenciadas pela quantidade de partículas sólidas suspensas e por suas propriedades. Na superfície destas partículas é que ocorrem as reações químicas, agindo assim como catalisadores. Estas partículas interferem na absorção da luz pela adsorção de gases, afetando a intensidade das reações fotoquímicas (PIRES, 2005).

2.4 AS EMISSÕES DE NO₂ GERADO PELA QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

As principais fontes de NO₂ para a atmosfera são as emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis através da reação de N₂ com O₂ em altas temperaturas. O tráfego de veículos, usinas termelétricas, queima de biomassa e emissões pelo solo, devido a processos biológicos são os principais contribuintes para emissão atmosférica de óxidos de nitrogênio (NO_x) em áreas abertas. Outras fontes como descargas de relâmpago, oxidação de amônia e emissão por oceanos contribuem, em menor escala, para o aumento da concentração de óxidos de nitrogênio na atmosfera (NIELSEN *et al.*, 1999; EPA, 2012; ROCHA *et al.*, 2004; BAIRD, 2002; PRETTO, 2005).

2.4.1 Formação do Dióxido de Nitrogênio

Os três óxidos de nitrogênio normalmente encontradas na atmosfera são óxido nitroso (N₂O), óxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO₂). O óxido nitroso é um gás relativamente não reativo, e provavelmente não influencia significativamente as reações químicas importantes na baixa atmosfera. Sua concentração decresce rapidamente com a altitude na estratosfera devido à ocorrência de reação (3-5) com o oxigênio *singlete* (MANAHAN, 2004; SPIRO e STINGLIANI, 2009).



O NO_2 é um gás de cor que varia do amarelo ao marrom, tem cheiro forte e irritante, é tóxico e corrosivo. Regionalmente, as altas concentrações de NO_2 podem causar grave deterioração da qualidade do ar. O NO_2 tem um tempo de resistência curto, de apenas um (1) dia, o que significa que sua atuação em uma determinada região dependerá da velocidade do vento que o deslocará por quilômetros nessas 24 horas. Globalmente, um pouco menor do que 100 milhões de toneladas por ano de NO_x são emitidos para a atmosfera a partir da queima de combustível fóssil por motores de combustão interna. Quantidades expressivas de NO_x entram na atmosfera gerando o NO a partir desta fonte (BUCCO, 2011; ROCHA, *et al*, 2004; MANAHAN, 2004).

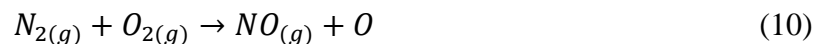
Em temperaturas muito altas, a seguinte reação (6) ocorre:



A rapidez com que a reação de formação do NO ocorre, sofre influência direta da temperatura, favorecendo o equilíbrio para elevar a concentração e aceleração da taxa de formação de NO. O processo de combustão no motor de combustão interna produz altos níveis de NO. O mecanismo para a formação de óxidos de nitrogênio a partir de N_2 e O_2 durante a combustão é um processo complexo. As reações (7-8) mostram que uma molécula M, é capaz de transmitir energia suficiente para o N_2 e o O_2 romperem suas ligações químicas, formando átomos de oxigênio e nitrogênio (MANAHAN, 2004; BAIRD, 2002).



A quantidade de energia necessária é bastante elevada para que ocorra a quebra da ligação do oxigênio e do nitrogênio, sendo respectivamente de 118 kcal/mol e 225 kcal/mol. Uma vez formado, os átomos de O e N participam da reação (9-11) em cadeia para a formação do óxido de nitrogênio:



A formação do NO torna-se significativa somente quando a quantidade de oxigênio está satisfatoriamente favorável em processos de combustão ou por fontes naturais (SPIRO e STIGLIANI, 2009). A emissão direta de NO₂ para atmosfera é relativamente pequena. A oxidação do óxido de nitrogênio (NO) que ocorre na atmosfera é rápida, constituindo a principal fonte de NO₂ atmosférico (UGUCIONE *et al.*, 2002) apud (MARINHO, 2007). Em torno de 90 % das emissões de óxidos de nitrogênio estão na forma de NO. Esse óxido no ar é gradualmente oxidado para formar dióxido de nitrogênio, NO₂ e em um período de minutos ou horas, dependendo da concentração dos gases poluentes. (BARD, 2002; ROCHA *et al.*, 2004).

2.4.2 Reações Químicas do Dióxido de Nitrogênio na Atmosfera

Na atmosfera os NO_x são convertidos em ácido nítrico, sais de nitrato, nitratos orgânicos e nitrato de peroxiacetila (PAN). As principais espécies reativas dos óxidos de nitrogênio (NO_x) na troposfera são óxido de nitrogênio (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂) e

o ácido nítrico (HNO_3). As principais reações entre NO , NO_2 e HNO_3 na atmosfera é mostrado na Figura 5.

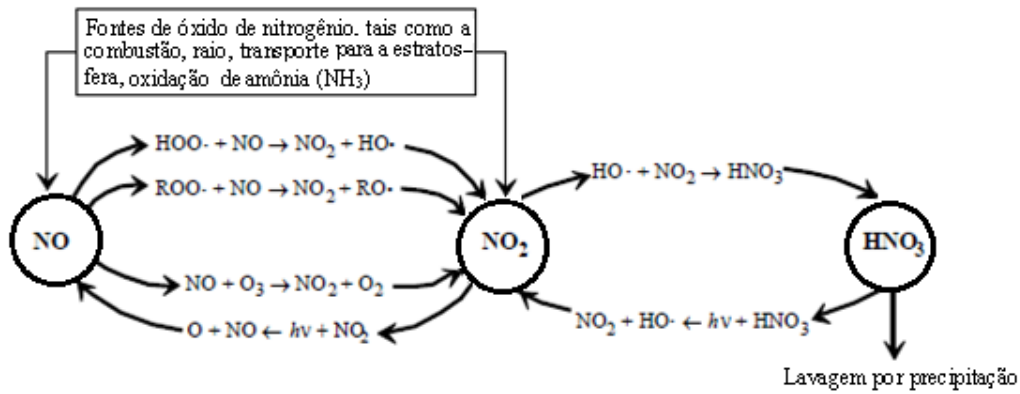
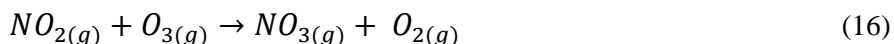
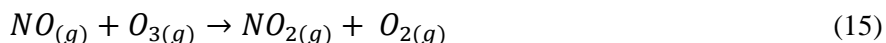


Figura 5. Principais reações entre o NO , NO_2 e HNO_3 na atmosfera. Fonte: Manahan, 2004.

O dióxido de nitrogênio é uma espécie muito reativa e significativa na atmosfera. Ele absorve luz em todo o espectro visível e ultravioleta que penetra na troposfera. Em comprimentos de onda inferiores a 398 nm ocorre a reação (12) de fotodissociação para produzir átomos de oxigênio do solo do estado. Acima de 430 nm, apenas moléculas excitadas são formadas (13).



A tendência de NO_2 para fotodissociação é mostrado pelo fato da luz solar direta influenciar a meia-vida de NO_2 , muito mais curto do que quaisquer outras espécies moleculares comuns atmosféricas. A fotodissociação do NO_2 pode dar origem às reações (14-21) inorgânicas significativas (MANAHAN, 2004).



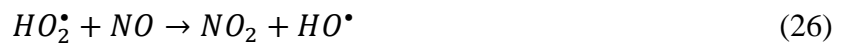
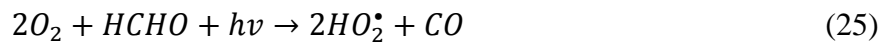
Rocha *et al.* (2004) ressalta que o radical nitrato (NO_3) é formado por meio de reação (16) do O_3 e NO_2 preferencialmente a noite, devido sua instabilidade em presença de luz solar.

Os oxidantes possuem fundamental importância na química da atmosfera, pois atuam com substâncias removedoras de poluentes. O ozônio (O_3), Peróxido de hidrogênio (H_2O_2), radical hidroxila (HO), radical nitrato (NO_3) e nitrato de peroxiacetila (PAN) são exemplos de substâncias oxidantes que atuam nas cadeias de oxidação primárias que ocorrem na atmosfera natural. Do ponto de vista da proteção atmosférica, algumas destas reações são favoráveis por produzirem poluentes menos nocivos e prejudiciais ao bem estar humano e a biosfera. Entretanto, o produto de algumas destas reações, com os poluentes secundários, são mais tóxicos do que os reagentes como, por exemplo, o nitrato de peroxiacetila (PAN) (BAIRD, 2002; SPIRO e STIGLIANI, 2009; ROCHA *et al.*, 2004).

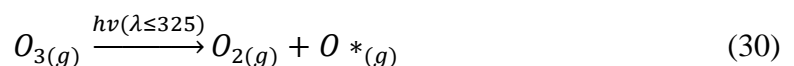
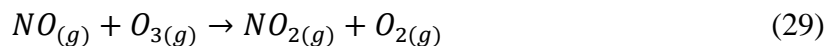
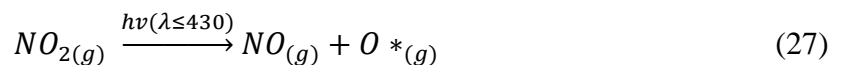
Uma segunda via para reação (22) de formação de NO_2 na atmosfera é a reação do NO com radicais peróxidos:



A fotólise do ozônio com vapor d'água forma o radical hidroxila (HO) reações (23-24). Estes radicais convertem o NO₂ em ácido Nítrico e desta forma, fornecem o mecanismo de remoção dos óxidos de nitrogênio da atmosfera. A fotodecomposição de compostos carbonílicos, como o formaldeído na presença de NO e a reação entre duas moléculas de hidroxilperóxido formam o peróxido de hidrogênio e oxigênio, constituem as principais vias de oxidação e remoção das moléculas mais oxidantes presentes na atmosfera, reações (23-26) (BAIRD, 2002; SPIRO e STIGLIANI, 2009).



O NO₂ ao ser fotodissociado ocorre à formação de NO e oxigênio molecular. Reações com a formação de ozônio, óxido de nitrogênio e a regeneração do dióxido de nitrogênio, como representado nas equações (27-30) abaixo (BUCCO, 2011; STERN *et al.*, 1984).



A proporção de formação e decomposição de NO₂ se igualam o que proporciona um estado fotoestacionário. Nesse caso, o ozônio terá seu nível reduzido, em decorrência das

taxas de consumo e formação ocorrerem na mesma velocidade (MARINHO, 2007). As reações envolvendo os óxidos de nitrogênio são importantes em termos de redução da camada de ozônio. O aumento global de fixação de nitrogênio, acompanhado pela produção microbiana elevada de N_2O , pode contribuir para a destruição da camada de ozônio (MANAHAN, 2004; BAIRD, 2002).

2.4.3 Importância Biológica dos Compostos Nitrogenados ao Meio Ambiente

Os óxidos de nitrogênio (NO_x) desempenham um papel fundamental na formação de certos compostos na atmosfera, como o ozônio, aldeídos e compostos orgânicos nitrogenados. O nitrogênio é um macroelemento vital para vida, por se tratar de um dos principais componentes dos aminoácidos formadores de proteínas (NIELSEN *et al.*, 1996; ROCHA *et al.*, 2004).

A possibilidade de aumento da produtividade além dos limites naturais, são geralmente restringidas pelo suprimento de nitrogênio disponível à planta. Embora 80 % da atmosfera consista de nitrogênio molecular, o N_2 é uma forma extremamente estável e não reativa. Para participar de reações biológicas, o nitrogênio deve ser fixado; ou seja, deve ser combinado com outros elementos. Outra parte é fixada de forma não biológica por meio da reação com o O_2 sob temperatura suficientemente altas na combustão ou por meio de relâmpagos. Os óxidos de nitrogênio, formados na atmosfera, são convertidos em ácidos nítricos e lavado na chuva, fornecendo, desse modo, suprimento de nitrato ao solo. As plantas podem utilizar nitrato na produção de proteína e outros compostos orgânicos essenciais de nitrogênio (SPIRO e STINGLIANI, 2009).

Segundo Spiro e Stingliani (2009), a quantidade de nitrogênio disponível por meio da rota dos óxidos de nitrogênio e nitrato é insuficiente para sustentar a abundante vida vegetal. A maior parte da fixação de nitrogênio que ocorre naturalmente é realizada por certas bactérias e algas azul-esverdeada (cianobactérias) que são capazes de reduzir N_2 para NH_3 .

2.4.4 Principais Efeitos do NO_2 na Atmosfera

As consequências das emissões atmosféricas de NO_2 são diversas, pois causam diversos efeitos prejudiciais, diretos ou indiretos, sobre a saúde e o bem-estar humanos, fauna e flora, materiais, solos e corpos d'água. O grau e a extensão destes efeitos dependem da escala dessas emissões, podendo ocorrer em nível local e regional em decorrência do curto tempo de resistência do NO_2 , como já citado no item (2.4.1). Os impactos locais são limitados ao entorno das fontes emissoras. Já os impactos regionais compreendem um raio bem maior, de centenas de quilômetros (MANAHAN, 2004; BAIRD 2002).

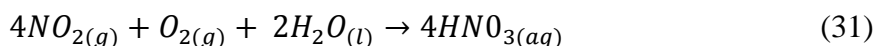
Os efeitos das emissões de NO_2 têm a característica de modificar uma condição original ou normal e/ou de intensificar a incidência de outro efeito, causando um prejuízo ou dano. De maneira geral, os efeitos podem ser classificados como: agudos, de caráter temporário e reversível, em função do aumento da concentração desse poluente (ROCHA *et al.*, 2004).

2.4.4.1 Efeitos do NO_2 sobre os Materiais

As emissões de NO_2 causam a deposição seca e úmida associada ou não a partículas sólidas em suspensão sobre as edificações e materiais de construção, provocando a sua corrosão e aceleram os processos naturais de envelhecimento e de degradação.

2.4.4.2 Chuva Ácida

As emissões de gases poluentes, como os óxidos de nitrogênio, contribuem para formação da deposição desses poluentes sobre os ecossistemas. A deposição ácida é formada pela ação dos óxidos com caráter ácido presentes na atmosfera ao reagirem com o vapor d'água, formam substâncias ácidas, tais como ácido nítrico. A reação entre o dióxido de nitrogênio (NO_2), o oxigênio (O_2) e a água (H_2O) formando o ácido nítrico (HNO_3) está demonstrada na reação (31) (BAIRD, 2002):



Segundo Spiro e Stingliani (2009), as moléculas de ácido nítrico, por serem higroscópica, são absorvidas por moléculas de água da chuva e levadas da atmosfera. Este é o mecanismo que remove os óxidos de nitrogênio da atmosfera, conforme é mostrado na Figura 6. O dióxido de nitrogênio regenerado entra novamente no processo, que pode ser repetido várias vezes antes de se transformar em ácido nítrico ou reagir com substâncias orgânicas (PIRES, 2005; BAIRD, 2002).

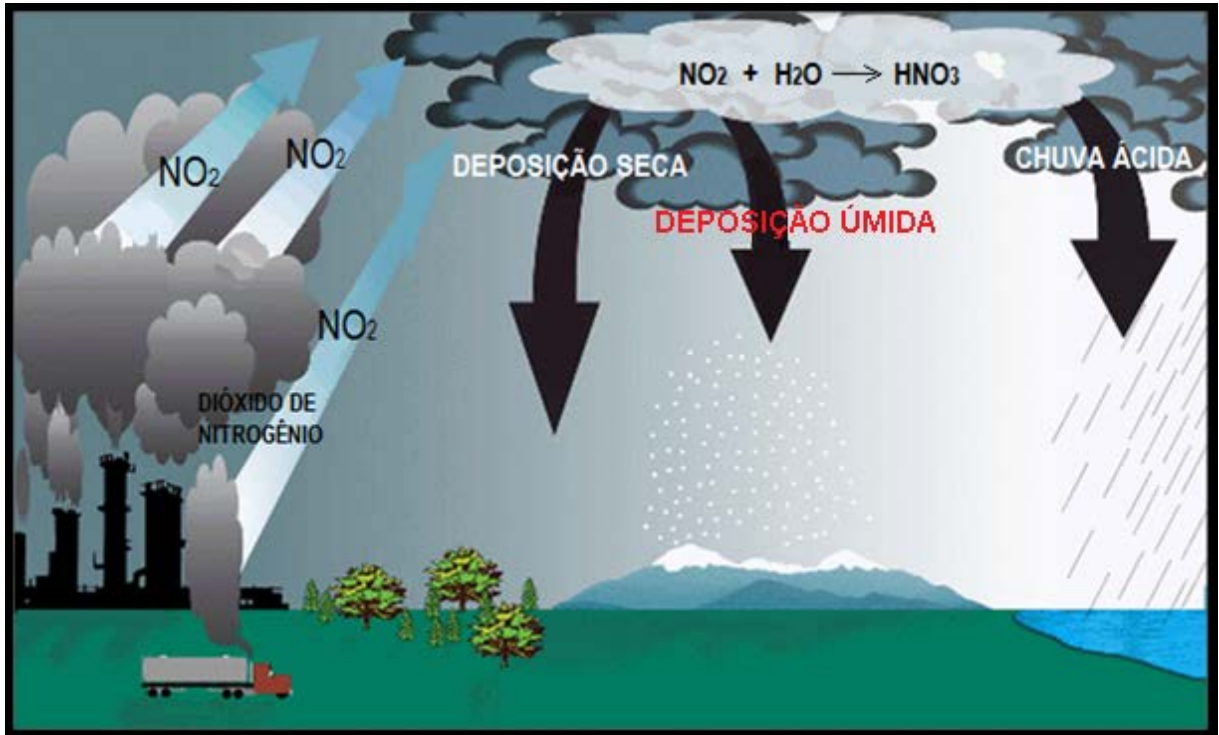
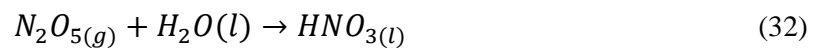


Figura 6. Processos de formação da chuva ácida.

Fonte: http://envis.tropmet.res.in/kidscorner/acid_rain.htm.

No início da noite, as concentrações de dióxido de nitrogênio atingem valores máximos, devido à contínua emissão direta de dióxido de nitrogênio e minimização dos processos de remoção via reações fotoquímicas. Em sequência, as concentrações decrescem bruscamente, possivelmente pelo aparecimento de outro processo de remoção, que leva a formação do pentóxido de dinitrogênio (N_2O_5), através da reação em equilíbrio entre NO_3 e NO_2 , mostrado na reação (19).

O N_2O_5 tem um importante papel na química da troposfera, pois sofre hidrólise em fase gasosa ou líquida formando HNO_3 , reação (32), que contribui para formação da chuva ácida (UGUICIONE *et al.*, 2002) apud (MARINHO, 2007, p.31).



Riachos de cabeceira e lagos de alta altitude são especialmente suscetíveis aos efeitos da chuva ácida, podendo ocorrer à perda de vidas aquáticas. Outros efeitos incluem reduções nas florestas e produtividade da cultura; lixiviação de nutrientes e de cátions de metais pesados nos solos; sedimentos de lagos e córregos; dissolução de metais tais como o chumbo e cobre a partir de tubos de distribuição de água; corrosão de metal exposto; superfícies de edifícios de pedra calcária e monumentos. Como resultado da sua ampla distribuição e efeitos, a chuva ácida pode representar uma ameaça para a atmosfera global (MANAHAN, 2004; ROCHA, *et al.*, 2004).

A Figura 7 mostra duas fotografias de uma floresta alemã, tirada em 1970 e depois em 1983, atingida pela chuva ácida na região.

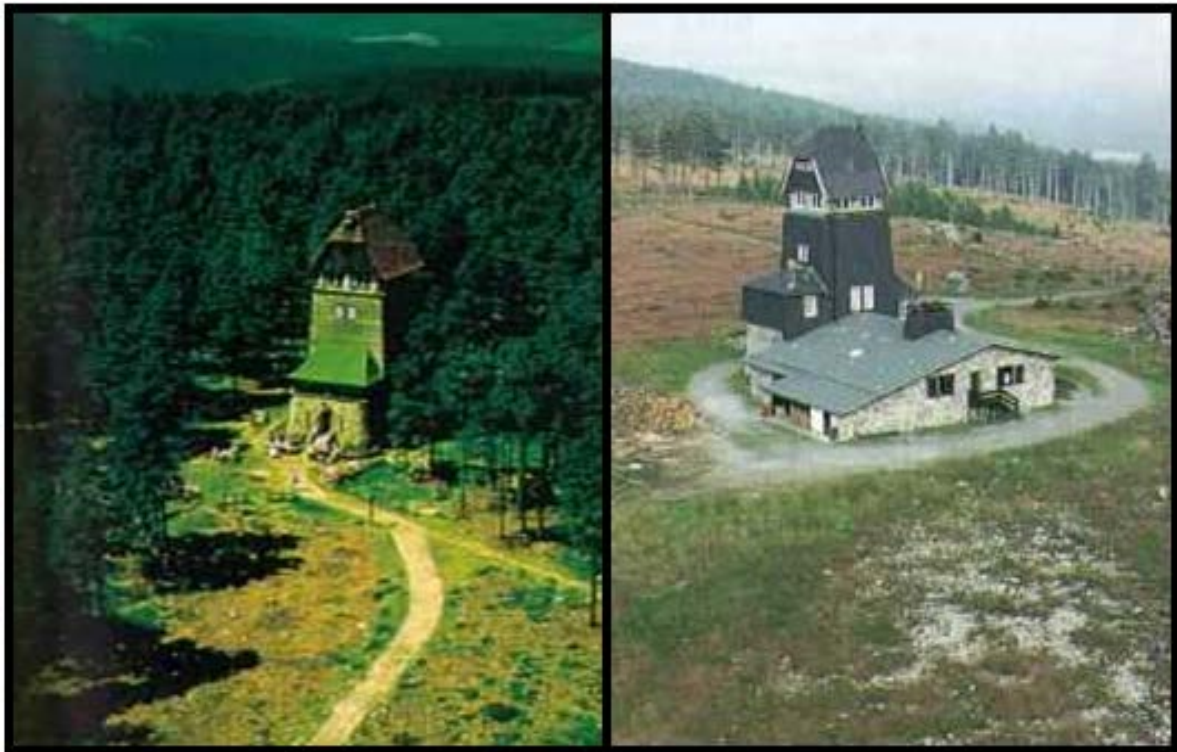


Figura 7. Fotografias de uma floresta alemã, tirada em 1970 e 1983, atingida pela chuva ácida.
Fonte: www.cdcc.usp.br/quimica/ciencia/chuva.html

2.4.4.3 Formação de Smog Fotoquímico

O *smog* é um fenômeno fotoquímico caracterizado pela formação de uma espécie de neblina constituída por poluição, vapor de água e outros compostos químicos. Geralmente, o *smog* se forma em grandes cidades, onde a poluição do ar é elevada e provocada, principalmente, pela queima de combustíveis fósseis (MANAHAN, 2004; BAIRD, 2002).

Na atmosfera, os NO_x podem estar envolvidos em uma série de reações que produzem o *smog* fotoquímico, reduzindo a visibilidade. A cor amarela na atmosfera de uma cidade envolvida pelo *smog* deve-se à presença do dióxido de nitrogênio, uma vez que esse gás absorve um pouco de luz visível próximo do limite do violeta e, conseqüentemente, a luz solar transmitida através da nevoa parece amarela (BAIRD, 2002; ROCHA *et al.*, 2004).

O desenvolvimento do *smog* fotoquímico, no qual um grande número de reações acontece simultaneamente, está geralmente associado à ocorrência de picos de ozônio nas grandes cidades (BOTKIN e KELLER, 2000) apud (LOUREIRO *et al.*, 2005, p.35).

Os reagentes originais em um episódio de *smog* fotoquímico são o óxido de nitrogênio (NO) e os compostos orgânicos voláteis, além da luz solar, ingrediente vital para a produção de radicais orgânicos. Conforme Spiro e Stigliani (2009), um único radical orgânico pode produzir muitos radicais peróxilas, por meio de sucessivos ciclos de combinação e fragmentação com o O₂. A concentração de ozônio pode rapidamente se elevar a níveis superiores ao da concentração de óxidos de nitrogênio e muito superior ao da concentração do radical hidroxila. Os ingredientes do *smog* são mostrados na Figura 8 por meio dos ciclos integrados de NO_x, O₃ e radical hidrocarbonetos.

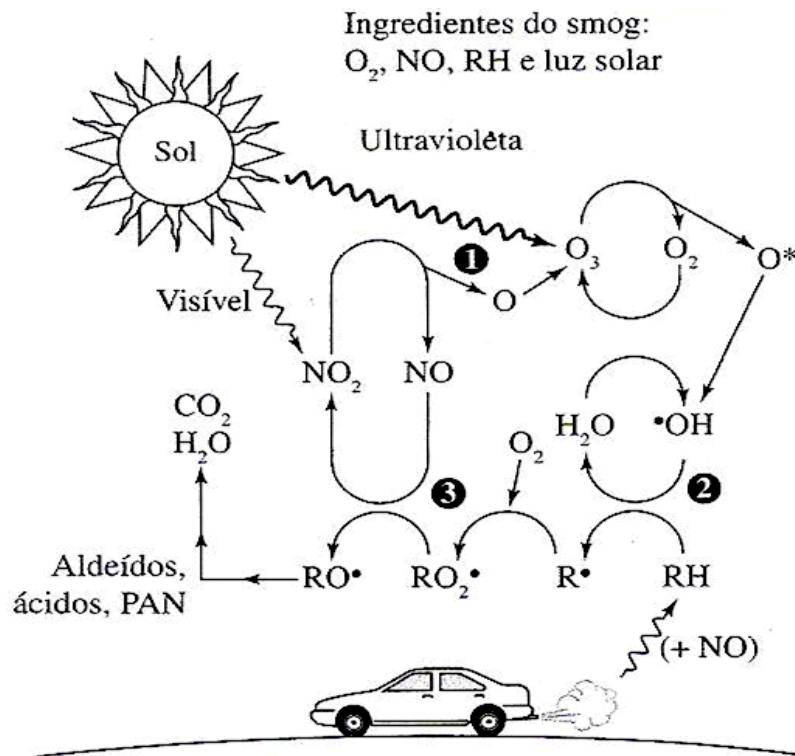


Figura 8. Formação de *smog* com origem em O₂, NO, hidrocarboneto e luz solar.
Fonte: SPIRO e STIGLIANI, 2009.

Conforme mostrado na Figura 8 o ciclo do *smog* (1) inicia-se com a formação do ozônio por átomos de oxigênio (O₂) por fotólise do NO₂, (2) os radicais de hidrocarbonetos (HC) formados pelo radical hidroxila (OH) por fotólise de ozônio (O₃) via raio ultravioleta e (3) oxidação do óxido de nitrogênio (NO) em dióxido de nitrogênio (NO₂) catalisada por radicais hidrocarbonetos.

As queixas de irritação ocular, em decorrência do *smog*, em cidades com Los Angeles, foram registradas desde 1868. Caracterizado por visibilidade reduzida, irritação dos olhos, rachaduras em borracha e deterioração de materiais. A poluição tornou-se um incômodo sério mesmo em área mais longínquas como o estado do Amazonas. Atualmente, em Manaus ocorre um caso clássico de *smog*, por sua alta dependência de automóveis, luz solar abundantes e frequentes inversões térmicas (MANAHAN, 2004; KUHN *et al.*, 2010).

Segundo Kuhn *et al.* (2010), a principal contribuição na pluma de poluentes urbanos de Manaus foi atribuída ao complexo de usinas da cidade, fortes evidências mostraram que há quantidades significativas de ozônio oriundas desta fonte, o que pode influenciar diretamente na formação do *smog* fotoquímico nesta região. Neste estudo foi observado na pluma de poluentes uma taxa de ozônio na ordem de 15 ppb/h. A Figura 9 mostra um *smog* fotoquímico na cidade de Manaus registrado às 8 horas da manhã no ano de 2011.



Figura 9. *Smog* fotoquímico na cidade de Manaus-AM
Fonte: Elizabeth Ferreira Cartaxo, 2011.

O *smog* fotoquímico pode se formar sempre que uma grande quantidade de gases de exaustão automotivas e industriais é confinada por uma camada de inversão térmica sobre uma localidade que seja, ao mesmo tempo, exposta ao sol (SPIRO e STIGLIANI, 2009).

2.4.5 Efeitos do NO₂ sobre a saúde humana

Os efeitos da exposição dos receptores (seres vivos) dependem das concentrações de NO₂, do tempo de exposição e ainda dos fatores de sensibilidade nestes receptores que determinam a maior ou menor severidade dos efeitos. Entre esses fatores estão a faixa etária, estado nutricional, condição física e/ou predisposições genéticas.

Segundo Parnia *et al.*, (2002 *apud* GIODA e GIODA, 2006, p.17), o óxido de nitrogênio isolado não representa perigo à saúde humana. Entretanto, ao sofrer oxidação, é convertido a dióxido de nitrogênio, esse por sua vez, é capaz de reagir com pele e mucosas expostas ao ar e provoca lesões celulares. Os mais atingidos são os epitélios das vias respiratórias, ocorrendo degenerações celulares e inflamações no sistema respiratório, desde o nariz até os alvéolos pulmonares.

Os principais efeitos químicos do NO₂, nas vias respiratórias, parecem envolver a peroxidação lipídica da membrana celular e várias ações de radicais livres. Os efeitos tóxicos causados pela inalação de NO₂, presente no ar, afetam principalmente as crianças, com aumento das queixas respiratórias e da função pulmonar, e os asmáticos, por terem aumento na resposta brônquica à histamina, à metacolina e aos alergênicos (Gomes, 2002) *apud* (GIODA e GIODA, 2006, p.17).

O primeiro sintoma de contaminação com o NO₂ é a ardência nos olhos, no nariz e nas mucosas em geral, provocando lesões celulares. Em caso de intoxicação grave, por um longo tempo de inalação, provoca enfisema pulmonar e pode causar a morte (BUCCO, 2011; CÓNUL *et al.*, 2004).

2.4.6 Fatores que Influenciam a Dispersão dos Poluentes na Atmosfera

Quando os gases lançados pelas chaminés entram na atmosfera, as condições externas tais como os fatores meteorológicos começam a afetá-los. Esses fatores, variáveis no tempo e no espaço aliados aos fatores topográficos, afetam diretamente a dispersão e o transporte dos poluentes (PIRES, 2005).

As condições meteorológicas são fatores importantes para a definição do nível da poluição atmosférica, por influenciarem o tempo de permanência do poluente no local lançado. Isso ocorre, porque, assim que o contaminante é emitido para a atmosfera terrestre, sofre a ação de variáveis como velocidade e direção do vento, taxa de precipitação, temperatura, instabilidade do ar, entre outras. A relação que o poluente terá com essas variáveis, ou seja, com o perfil climatológico de um local é que determinará se o mesmo permanecerá no ar sob a forma emitida, irá mudar sua composição, ou ainda, ser disperso para um novo lugar (GUERRA e MIRANDA, 2011).

Em análises em micro escala, características da região específicas são fundamentais, como, topografia, a existência ou tipo de edificações, o tipo de solo e a quantidade e espécie de vegetação existente. Essas características locais possuem a capacidade de modificar o micro clima de determinada região, podendo, por exemplo, levar à formação de fenômenos como as ilhas de calor. Esse clima local, modificado em relação às extremidades externas tem a capacidade de deixar a região mais ou menos favorável a dispersão dos poluentes, melhorando ou piorando a qualidade do ar no local específico (GUERRA e MIRANDA, 2011).

2.4.6.1 Insolação

A atmosfera terrestre está em constante movimento, principalmente como resultado da travessia da luz solar que gera um balanço térmico não uniforme. Assim os parâmetros meteorológicos variam consideravelmente com a localização, altitude e tempo (STERN *et al.*, 1984).

As implicações diretas da radiação solar na qualidade do ar dizem respeito à indução desta na formação de oxidantes atmosféricos como poluentes secundários. O maior índice de insolação produz maior quantidade de radiação e, portanto, pode formar as substâncias fotoquímicas, que conseqüentemente originam os processos de formação de novas espécies oxidantes. Os radicais hidroxilas são formados dessa forma, desenvolvendo mecanismos de lavagem dos poluentes da atmosfera. Porém, no caso da formação de ozônio, pode causar danos ao meio ambiente (DAMILANO, 2006).

2.4.6.2 Temperatura

O perfil de temperatura vertical causa, influencia diretamente na dispersão dos poluentes. A temperatura na troposfera em geral diminui com o aumento da altitude, em uma média de 4 °C a 8 °C por quilômetro. Entretanto, nas camadas inferiores da atmosfera, entre o primeiro e o segundo quilômetro, a temperatura pode aumentar com a variação da altitude por um determinado período de tempo. Este efeito térmico é conhecido como inversão térmica, estes gradientes de temperatura dão origem aos movimentos verticais ascendentes e descendentes das massas de ar que afetam o clima e os processos de mistura dos poluentes na atmosfera (PIRES, 2005).

A temperatura afeta as reações químicas dos poluentes, atuando como um catalisador. O frio reduz a volatilidade de certos gases enquanto que o calor do verão favorece a reações de formação fotoquímica (EPA, 2012).

2.4.6.3 Vento

Quando a atmosfera resiste aos movimentos verticais de temperatura, têm-se um estado de estabilidade. Além dos movimentos verticais das massas de ar mencionados, devem-se considerar na análise de transporte e dispersão dos poluentes, os movimentos horizontais causados pela direção e velocidade dos ventos (PIRES, 2005).

A velocidade e direção dos ventos determinam a concentração dos poluentes em torno das fontes, seu alcance e sua trajetória. O movimento do ar, que origina os ventos surge em função da existência de regiões com diferentes pressões. Zonas com pressões altas ou baixas possuem sistemas de ventilação diferenciados. Geralmente o movimento do ar nas camadas inferiores da atmosfera ocorre das regiões de alta pressão para as regiões de baixa pressão. Esta convergência causa a movimentação das camadas de ar resultando num aumento da taxa de ventilação (PIRES, 2005).

Quando a taxa de ventilação torna-se muito baixa, em função da diminuição do gradiente de pressão, ocorre à estagnação do ar, o que contribui para o aumento da concentração de poluentes na atmosfera. O mais importante processo de mistura na atmosfera que causa a dispersão dos poluentes é a turbulência. Este processo é originado pela alta movimentação irregular dos ventos, que contribui grandemente para a mistura de parcelas de ar poluído e não poluído, favorecendo assim a diluição dos poluentes (DAMILANO, 2006).

2.4.6.4 Umidade do Ar

A relação entre a quantidade de água existente no ar (umidade absoluta), e a quantidade máxima que poderia haver na mesma temperatura (ponto de saturação) é denominada de umidade relativa do ar. Usada como um dos indicadores na meteorologia, para se saber como o tempo se comportará, ou seja, para conceber previsões, a umidade do ar varia muito ao longo de um dia e durante o ano. A quantidade de água que o ar absorve antes de

atingir a saturação depende da temperatura, aumentando progressivamente com ela. Normalmente, a queda da temperatura aumenta a umidade relativa, porque se o ar continha uma concentração de vapor d'água e a temperatura declina, a mesma quantidade de água passa a representar uma maior parcela da água de saturação nessa temperatura. (GUERRA E MIRANDA, 2011).

A alta umidade propicia, nos poluentes atmosféricos, as reações de formação de ácidos, causando a chuva ácida. Consequentemente a interação dos poluentes com a água causa a remoção destes da atmosfera, arrastando-os para a deposição no solo ou sobre diversos materiais (DAMILANO, 2006).

2.4.6.5 Pluviosidade

A pluviosidade atua com muita eficiência na remoção dos poluentes do ar, em maior ou menor grau, dependendo da sua intensidade. São normalmente associadas às penetrações de frentes frias as quais, além de ocasionar precipitações pluviométricas, promovem a intensificação dos ventos. Em locais onde o escoamento do ar é obstruído por grandes edificações, serras e montanhas, a precipitação pluviométrica passa a ser o único mecanismo capaz de remover os poluentes do ar, já que estes, sob tais circunstâncias, não sofrem a ação dos ventos (LOUREIRO, 2005).

Os efeitos das precipitações fazem com que a atmosfera seja lavada, carregando os poluentes. Dessa forma, conforme há um maior volume precipitado, a concentração do poluente diminui de forma efetiva (GUERRA e MIRANDA, 2011).

2.5 MONITORAÇÃO DAS EMISSÕES DE NO₂: ASPECTOS LEGAIS E METODOLÓGICOS

A monitoração da qualidade do ar é, sobre tudo, competência do poder público de todos os níveis, e seu principal objetivo é proteger a saúde pública, de modo que os locais preferencialmente escolhidos devem ser aqueles onde a população está exposta. Esta, por sua vez, tem o direito de acesso àquela informação, que quando negado pode ser caracterizado com omissão e até estar sujeito a penalidades, seja por não monitorar, ou por não informar o que é monitorado (FRONDIZIN, 2008; PIRES, 2005).

Segundo Frondizin (2008), a monitoração da poluição do ar pode ser dividida em monitoração das emissões e da qualidade do ar. A monitoração das emissões trata da taxa de emissão dos poluentes que estão sendo emitidos por dutos e chaminés e em descargas de veículos. A medição dessas concentrações em pontos fixos e bem definidos visa quantificar o que está sendo lançado à atmosfera. Ainda como monitorações de emissões enquadram-se as “furtivas” ou “dispersas”, representadas por milhares de pequenas emissões devido a perdas por vazamento ou evaporação. Esse tipo de emissões ocorre a partir de fontes fixas ou móveis. Já a monitoração da qualidade do ar está destinada a medir e quantificar as concentrações dos poluentes no ar do ambiente, onde as pessoas, animais e plantas estão expostos, podendo afetar sua saúde, a visibilidade e provocar danos materiais, entre outros efeitos (XAVIER, 2004; PIRES, 2005).

O monitoramento da qualidade do ar é uma das atividades mais importantes para a verificação do real impacto de uma determinada fonte de emissão numa região. É esse monitoramento que irá prover dados para avaliar a eficácia das medidas de controle adotadas e prever a evolução da qualidade do ar na região (FRONDIZIN, 2008).

2.5.1 Métodos de referência

A Resolução CONAMA n°. 003/90 já citada anteriormente, estabelece os padrões da qualidade do ar, onde se especifica o método de referência para cada poluente. Essa Resolução também indica o método que seja equivalente ao de referência, ou seja, que podem ser substituídos na análise dos poluentes atmosféricos, sendo esses trocados somente quando respaldados pelas resoluções vigentes.

A legislação nacional brasileira segue os padrões aprovados pela *Environmental Protection Agency* (EPA), indicando os poluentes e suas concentrações máximas e os métodos que devem ser usados para sua medição e monitoração. Portanto eles definem, legalmente, o limite máximo para a concentração de um determinado poluente atmosférico e têm como objetivo criar uma base para políticas de prevenção da degradação da qualidade do ar.

A Tabela 5 mostra os poluentes e os métodos de referencia utilizados no Brasil para a monitoração da qualidade do ar conforme abordado na legislação da resolução do CONAMA de n° 003/90.

Tabela 5. Poluente e Método de Referência.

Poluente	Método de Referência
PTS	Amostrador de grandes volumes
Partículas Inaláveis	Separação Inercial/filtração
Fumaça	Refletância
Dióxido de Enxofre	Pararosanilina
Dióxido de Nitrogênio	Quimioluminescência
Monóxido de carbono	Infravermelho não dispersivo
Ozônio e Oxidantes	Absorção ultravioleta

Fonte: Resolução CONAMA n°3, de julho de 1990.

O método mais usado no Brasil é o de amostragem. Estes são manuais, com coleta da amostra e posterior a análise no laboratório. Os métodos podem ser pré-automáticos, onde ocorre uma coleta de uma amostra do ar por meio de uma bomba de sucção. Enquanto os métodos automáticos ou contínuos utilizam equipamentos complexos e automáticos, que continuamente estão analisando a concentração do poluente no ar ambiente, sem necessidade de acompanhamento ou de qualquer análise posterior no laboratório. Por sua vez, apresentam custos bem mais elevados de seus equipamentos e necessitam de treinamento e qualificação de mão de obra especializada (FRONDIZI, 2008).

Na Tabela 6, a seguir, são mostradas algumas vantagens e desvantagens dos métodos de amostragem e métodos contínuos.

Tabela 6. Vantagens e Desvantagens de Métodos de Amostragem e de Métodos Contínuos.

Métodos	Vantagens	Desvantagens
Amostradores passivos	Simple; avaliações iniciais; educação ambiental; baixo custo de investimentos e operação; habilitação profissional média.	Inadequados para diversos poluentes; resultados semanais ou mensais médios; requer análise laboratorial; não regulamentado.
Amostradores Manuais	Melhor cobertura espacial; facilidade de operação e manutenção; habilidade media; regulamentados; custo médio; fabricação nacional.	Custo médio; analise laboratorial; manuseio das amostras; dados diários.
Monitores automáticos	Cobertura temporal mais ampla e precisa; maiores números de dados; sem manuseio de amostras; dados on-line e em tempo real; validação automática; alta tecnologia.	Processamento de dados; calibração e manutenção complexa; custos iniciais e operacionais altos; seguro alto; dependente de importação; habilitação profissional elevada.

Fonte: Frondizin, 2008.

2.5.2 Padrões da Qualidade do Ar

Padrão de qualidade do ar é um nível de referência estabelecido legalmente através de um limite máximo para a concentração de um componente atmosférico. Estes são baseados em estudos científicos que averiguam os efeitos produzidos pelos poluentes e são fixados em níveis tais que possam propiciar uma margem de segurança adequada (CETESB, 2012).

Para uma avaliação inicial da poluição do ar, é necessário monitorar a concentração dos poluentes em diferentes pontos da região de estudo e comparar os valores registrados com padrões internacionais da Organização Mundial de Saúde (OMS) ou nacionais da Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). A partir de estudos da qualidade do ar podem-se mitigar essas emissões reduzindo os danos sobre a saúde e ecossistemas.

Os padrões seguem a mesma classificação dos padrões americanos da EPA, podendo ser classificados como: padrões primários e os padrões secundários (CETESB, 2012).

- Padrões primários: definem concentrações de poluentes que protegem exclusivamente a saúde da população.
- Padrões secundários: definem as concentrações de poluentes que protegem o bem-estar da população, a fauna, a flora e o meio ambiente em geral.

Os poluentes atmosféricos, os padrões e tempo de amostragem, regulamentados pelo CONAMA, estão apresentados na Tabela 7 a seguir:

Tabela 7. Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (CONAMA n°003/90)

Poluente	Tempo de amostragem	Padrão primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas totais em suspensão	24 horas (1)	240	150
	Anual – MGA	80	60
Dióxido de enxofre	24 horas (1)	365	100
	Anual – MAA	80	40
Monóxido de carbono	1 hora (1)	4.000	4.000
	8 horas corridas (1)	10.000	10.000
Ozônio	1 hora	160	160
Fumaça	24 horas (1)	150	100
	Anual – MAA	60	40
Partículas inaláveis	24 horas (1)	150	150
	Anual – MAA	50	50
Dióxido de nitrogênio	1 hora (1)	320	190
	Anual – MAA (3)	100	100

Fonte: CETESB, 2012.

(1) Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano

(2) Média geométrica anual

(3) Média aritmética anual

Novos Padrões de Qualidade do Ar foram aprovados no dia 25 de maio de 2011 pelo CONSEMA (Conselho Estadual do Meio Ambiente) para o estado de São Paulo. É o primeiro Estado do mundo a adotar o padrão mais rígido de limites para poluição, conforme recomendação da Organização Mundial da Saúde – OMS (AFEEVAS, 2011). Os padrões CONAMA foram considerados ultrapassados pelo Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA) do estado de São Paulo o qual passa os padrões da Organização Mundial de Saúde (OMS). O relatório publicado pela OMS alerta os governos para que reformulem os padrões da qualidade do ar vigentes em seus países e apresenta diretrizes de qualidade do ar estabelecendo a redução dos limites até então adotados (CONSEMA, 2011, *apud* VALOIS, 2012). A Tabela 8 mostra os limites anteriores e os limites propostos pela OMS.

Tabela 8. Comparação dos Padrões do CONAMA (nº003/90) e da OMS

Poluentes	Padrões OMS Anteriores ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrões OMS Atuais (COSEMA) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão CONAMA Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas inaláveis (média diária)	150	50	150
Ozônio (média horária)	160	100	160
SO ₂ (média diária)	100	20	365
NO ₂ (média horária)	200	200	320

Fonte: Adaptado de VALOIS, 2012.

O padrão CONAMA no limite de 1 hora para o NO₂ é de 320 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e da OMS é de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Os novos limites estabelecidos pela OMS não sofreram modificação em relação aos limites de NO₂, porém quanto à substituição dos padrões do CONAMA pela OMS há uma considerável diferença de limites.

2.5.3 Monitoração das Emissões de Dióxido de Nitrogênio

Existem alguns métodos que podem ser utilizados para determinação indireta da concentração de gases na atmosfera como os métodos espectrofotométricos, colorimétrico, condutimétrico ou cromatográfico. Para o monitoramento atmosférico da concentração de NO₂, usualmente se tem utilizado técnicas ativas de amostragem, porém, devido à necessidade de utilização de equipamento que necessita de energia elétrica, ocorre a limitação do número de pontos de amostragem. Nesse caso, tem sido empregado um método alternativo como a utilização de amostragem passiva (CAMPOS *et al.*, 2006).

2.5.3.1 Métodos Ativos

Para amostragem ativa, utilizam-se bombas e controladores de fluxo de ar atmosférico, necessitando de baterias ou energia elétrica para funcionamento contínuo, através de uma estrutura que retêm os poluentes. Esse tipo de método pode ser realizado como amostragem contínua, descontínua e sem pré-concentração. É baseada na combinação adequada e automatizada dos sistemas de amostragem e análises através de analisadores ou monitores, tendo como vantagem os resultados em curto espaço de tempo (CRUZ e CAMPOS, 2008; CETESB, 1998).

A aplicação de métodos ativos algumas vezes não é adequada a determinadas situações, como locais que não dispõem de energia elétrica, carência de mão de obra capacitada para a operação dos equipamentos e elevados custos financeiros. Esses fatores impossibilitam a coleta de amostras em regiões onde tais requisitos não estejam disponíveis (CAMPOS *et al.*, 2007; MARINHO, 2007; FRONDIZI, 2008).

No Brasil, para determinar as concentrações dos NO_x, o método de referência é a espectroscopia por quimioluminescência que mede a potência radiante emitida pelo analito energizado numa reação química.

2.5.3.2 Métodos Passivos

Os amostradores passivos foram inicialmente utilizados em monitoramentos de espécies químicas que contaminam ambientes fechados de trabalho, porém com certa frequência atualmente são utilizados para monitorar gases e vapores em baixas concentrações em ambientes abertos. A literatura descreve vários usos possíveis e diferentes tipos de amostradores passivos para dióxido de nitrogênio (MARINHO 2007).

A Companhia Tecnológica de Saneamento Ambiental (CETESB), desde a década de 70, vem utilizando os amostradores passivos, nas localidades onde não há energia elétrica na

monitoração da qualidade do ar em São Paulo, para definição de localização de pontos de amostragem com os maiores níveis de poluente e também são utilizados concomitantes com os equipamentos automáticos.

Os amostradores passivos são assim conhecidos porque a coleta das moléculas do gás de interesse na atmosfera é absorvida pelo fenômeno de difusão e/ou permeação molecular. A difusão molecular é resultante do movimento caótico das moléculas, que ocorre no meio em que o gás se encontra estagnado. Como consequência deste movimento molecular, existe uma tendência natural dos gases de ocuparem com a mesma concentração o volume do recipiente em que ele encontra-se. Baseado neste princípio pode-se afirmar que um frasco vazio e aberto que foi levado para uma sala terá no seu interior, após certo tempo, a mesma composição da atmosfera local. A permeação molecular ocorre quando moléculas gasosas em contato com uma superfície tendem a se interpenetrar para o seu interior, através de seus poros. Diferentes fenômenos físicos são responsáveis pela taxa de permeação, como solubilidade do gás no material, porosidade do material e pressão parcial do gás (MELCHERT e CARDOSO, 2006).

Quando comparados com amostradores passivos, apresentam algumas desvantagens: não fornecem concentrações instantâneas apresenta baixa sensibilidade quando expostos a um curto período de tempo nos locais de amostragem. Como vantagem eles são leves, pequenos de baixo custo, necessitam de pouca manutenção, não exigem calibração de fluxo de ar, são de fácil operação e bastante indicado para uso em mapeamento de grandes regiões por longos períodos de tempo.

A concentração média dos gases na atmosfera durante o período de exposição do amostrador passivo é calculada pela equação (33) reduzida da integração da primeira lei de difusão de Fick (PALMES e LINDENBOOM, 1979):

$$C = \frac{mL}{DA t} \quad (33)$$

1ª Integração da Lei de Fick

Onde:

C é a concentração externa (ambiente) do gás ($\mu\text{g m}^{-3}$)

m é a massa total coletada (μg), acumulada sobre o filtro

D é o coeficiente de difusão ($\text{m}^2 \text{h}^{-1}$)

L é o comprimento do percurso de difusão (cm)

A é a área da seção transversal do percurso de difusão (m^2)

t é o tempo de amostragem (s).

2.5.4 Análise de Dados Multivariados

A análise de dados multivariados é muito importante, pois a maior parte das observações de um conjunto de amostras, a qual se investiga está submetida a muitas variáveis. Portanto, os dados que geralmente estão disponíveis na prática são de natureza multivariada. No entanto, tais dados estão quase sempre subordinados a uma variável classificadora. Em virtude disso, é fundamental classificar as observações de um conjunto de dados em classes previamente definidas. Para isso, utilizam-se as técnicas de classificação como a análise de componentes principais (ACP), permite a análise baseada num conjunto de projeções lineares chamadas de componentes principais (CP). (CORTEZ *et al.*, 2011).

As técnicas de análise exploratória AHA (Análise hierárquica de agrupamento) e ACP (Análise de componentes principais) são técnicas de análise exploratórias utilizadas que têm como objetivo observar a formação de agrupamentos naturais das amostras a partir de suas similaridades, uma estrutura hierárquica, sistema de grupos e subgrupos, dependendo desse grau de similaridade. Na análise por AHA ocorre a estruturação hierárquica organizada na forma de um gráfico bidimensional de um dendograma, possibilitando a observação das correlações e similaridades entre as amostras (HAIR *et al.*, 1995 apud MARINHO, 2007; RIBEIRO, 2001).

A análise de componentes principais (ACP) é uma técnica cujo objetivo é projetar um conjunto de variáveis não correlacionadas, onde essas variáveis projetadas são da mesma dimensão das originais denominadas de escores das componentes. As componentes principais (CP) apresentam propriedades importantes:

- (CP1) Cada CP é uma combinação linear das variáveis originais;
- (CP2) As CP's são independentes entre si;
- (CP3) As CP's são estimadas com o propósito de reter em ordem crescente de estimação o máximo de informação em termos da variação total contida nos dados;

A escolha das componentes principais (CPs) a serem utilizadas na descrição dos dados é feita considerando-se a porcentagem de variância descrita pelas CPs e a variância residual. Geralmente a escolha do número de CPs deve permitir a descrição do sistema com um número mínimo de fatores, os quais descrevem a variação máxima, sem introduzir informações desnecessárias. Mas isto não significa que o número de variáveis originais utilizadas para descrever o sistema será menor. Todas estas serão utilizadas, porém com a seleção das combinações das variáveis que melhor descrevam o conjunto com o máximo de variação, sem introduzir ruído ou informações irrelevantes (HASWELL, 1992 apud MARINHO, 2007).

No método de ACP emprega-se para a análise o uso de observações geradas em gráficos. Um exemplo disso, é conforme, é mostrado na Figura 10.

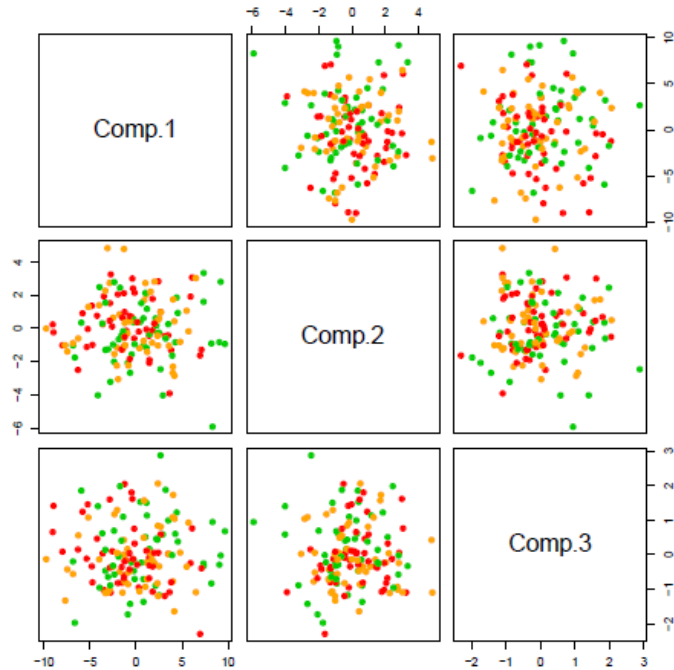


Figura 10. Gráfico de conjunto para pares de CP's
Fonte: Cortez, 2011.

A Figura 10 mostra que não é possível a formação de grupos a partir dos componentes principais, portanto pode-se concluir que os dados não possuem correlação e encontram-se dispersos. Na avaliação da magnitude das componentes principais nas variáveis originais, usam-se gráficos chamados de *Screeplot* das variâncias das CP's. A Figura 11 mostra um exemplo de *Screeplot* das variâncias das CP's. Esse tipo de gráfico permite explicar a proporção da variância total de CP.

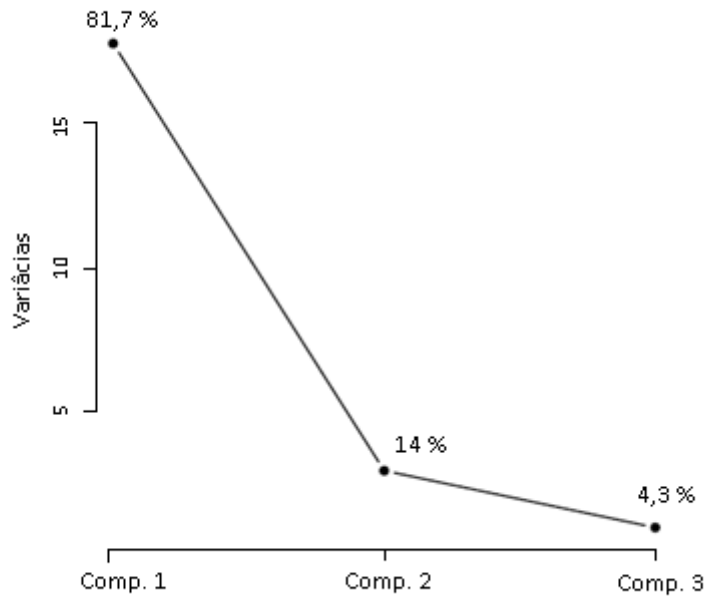


Figura 11. Gráfico de *screeplot* das variâncias das CP's
Fonte: Cortez, 2011.

2.5.5 Estudos das Concentrações de NO₂

Valois (2012) estudou as concentrações dos óxidos de nitrogênio (NO_x) em área urbana, próxima a usinas termelétricas, em Manaus-AM, utilizando analisadores automáticos. O princípio de funcionamento deste tipo de analisadores automáticos de NO_x baseia-se na detecção fotométrica da quimiluminescência, sendo esta resultante da reação de oxidação do óxido de nitrogênio com o ozônio. O ozônio necessário para esta reação é produzido por um gerador incorporado no equipamento. Nesta reação, o NO₂ resultante eletronicamente excitado, ao regressar ao seu estado fundamental, emite luz numa região espectral entre 600 a 2400 nm com um pico a cerca de 1200 nm. Este fenômeno é conhecido por quimiluminescência. A concentração é medida em forma de médias horárias. No próprio local e em tempo real e as amostragens são realizadas a intervalos de cinco segundos. O tempo de análise foi de fevereiro a julho de 2012. O resultado encontrado para a concentração de NO₂

mínima (diária) foi de $0,45 \mu\text{g m}^{-3}$ e máxima de $899,15 \mu\text{g m}^{-3}$. A autora concluiu que o uso de analisadores automáticos é eficiente, porém houve impossibilidade de estabelecer uma relação direta das imissões (concentrações dos óxidos de nitrogênio encontradas no ar atmosférico) com as atividades relacionadas ao fornecimento de energia.

Bucco (2011) realizou um estudo das concentrações de NO_2 e O_3 em área urbana e industrial utilizando amostragem passiva. Foi construído e validado um modelo de amostrador passivo, do tipo emblema, para detectar os poluentes atmosféricos. A amostragem foi realizada em placas de Petri de polietileno, contendo um filtro de fibra de vidro, impregnado com solução absorvedora específica para cada gás, membrana de poliéster e tela de aço inox como barreiras de difusão. Conjuntos de 2, 3 e 4 amostradores passivos foram expostos no período de setembro de 2009 a maio de 2010. O método analítico utilizado foi à espectrofotometria de UV-Vis. O tempo mínimo de exposição foi de 24 horas e máximo de 264 horas. As leituras dos amostradores passivos foram comparadas com as dos equipamentos automáticos, da Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar da Praça Ouvidor Pardiniho em Curitiba, Paraná. As concentrações acumuladas da Estação foram comparadas com a absorbância medida. A faixa de concentração de NO_2 média diária mínima foi de $18,9 \mu\text{g m}^{-3}$ e máxima de $56,12 \mu\text{g m}^{-3}$, na estação automática a concentração média diária mínima de $28,13 \mu\text{g m}^{-3}$ e máxima de $48,84 \mu\text{g m}^{-3}$. Conclusão da autora foi que o uso do amostrador passivo para NO_2 mostrou-se eficiente na obtenção de resultados confiáveis para o fim proposto.

Cruz *et al.* (2006) realizaram as pesquisas em áreas urbanas de Camaçari- BA com influência industrial e veicular. O amostrador utilizado consistiu de um corpo cilíndrico de polietileno (12 mm de altura e 21 mm de diâmetro interno), uma membrana de Teflon (Millipore, PTFE, $0,5 \mu\text{m}$ de poro, 25 mm de diâmetro, hidrofóbica lisa) e um filtro de celulose (40), impregnado com solução de reagente específico onde o gás é fixado. Obtendo a

faixa de concentração de $2,3 \pm 2,1 \mu\text{g m}^{-3}$ para NO_2 . Concluíram que os resultados também são compatíveis com a literatura. Os autores publicam posteriormente um trabalho usando este amostrador, realizaram um estudo das concentrações de NO_2 em área industrial de Camaçari. Em cada ponto de amostragem foi colocado um conjunto com quatro amostradores passivos para detecção do gás de estudo e dois brancos, os quais foram expostos por períodos de 7 dias. A faixa de concentração de NO_2 encontrada foi de $8,1 \pm 1,5$ a $24 \pm 9,5 \mu\text{g m}^{-3}$. O método utilizado foi o de espectrofotometria UV-Vis. As conclusões obtidas foram que os amostradores tiveram bom desempenho com medidas, apresentando precisão e exatidão conforme literatura.

Marinho (2007) pesquisou a concentração de NO_2 em área urbana de Manaus-AM utilizando amostragem passiva com o mesmo modelo e método analítico citado no parágrafo acima, obtendo nos resultados os níveis médios de NO_2 entre $5,0 \pm 1,0$ a $23,5 \pm 4,0 \mu\text{g m}^{-3}$ de NO_2 , sendo os maiores valores encontrados em locais de grande fluxo de veículos. A conclusão da autora foi que a técnica de amostragem passiva possibilitou trabalhar com grande quantidade de pontos de amostragem, possibilitando observar a influência de fontes diretas de emissão.

Melchert e Cardoso (2006) construíram um amostrador de baixo custo. Para o corpo do amostrador foi usado um tubo de cola em bastão de 6 cm de comprimento e diâmetro de 1,7 cm, fechado na parte superior e aberto na inferior, onde foi colocada uma tela plástica. Utilizou-se na entrada do amostrador uma malha fina de algodão. Em cada ponto de amostragem foi colocado um conjunto com três amostradores passivos para detecção do gás de estudo, os quais foram expostos por períodos de três dias. A faixa de concentração de NO_2 encontrada foi de 18,9 a $152 \mu\text{g NO}_2 \text{ L}^{-1}$ ($0,4$ a $3,3 \mu\text{mol NO}_2 \text{ L}^{-1}$). Os autores concluíram que o amostrador passivo construído é uma alternativa para quantificação de NO_2 em diversos ambientes.

Trotta e Pereira (2009) analisaram as concentrações de NO₂ em área urbana de tráfego veicular em Sorocaba-SP utilizando amostragem passiva. As amostras de ar foram coletadas utilizando amostradores passivos confeccionados de acordo com a metodologia de Melchert e Cardoso (2006). Os resultados obtidos mostraram níveis de concentração compatíveis com os relatados no relatório de qualidade de ar da CETESB inferior a 25 µg m⁻³. As maiores concentrações foram observadas em locais com alta intensidade de tráfego.

Souza *et al.* (2009) pesquisou a concentração de NO₂ em área urbana de Brasília utilizando método ativo. O método utilizado é descrito por Lodge (2003) que consiste em borbulhar o ar ambiente em uma solução contendo trietanolamina, o-metoxifenol (guaiacol) e metabissulfito de sódio. É produzido o íon nitrito durante a amostragem. Este reage com uma solução alcoólica de ácido 8 anilino-1-naftalenesulfônico (ANSA) gerando um corante azo que é determinado colorimetricamente com comprimento de onda de 550nm. A concentração média anual de dióxido de nitrogênio foi 65,2 µg m⁻³. Os níveis do NO₂ na atmosfera foram considerados como bons, seguindo os limites estipulados pelo padrão nacional.

No caso dos métodos passivos, já citados, devido ao tempo de exposição geralmente ser longo, se esse período de exposição for curto o limite de detecção é muito baixo não sendo possível registrar as concentrações de poluentes. Entretanto em períodos mais longos o nível de concentração é quase equiparativo com os métodos ativos. São amplamente utilizados para definição de localidade de gradiente de níveis de concentração de poluentes e mostra resultados satisfatórios. É usado principalmente para a escolha de pontos para a instalação de redes de monitoramento contínua (FRONDIZIN, 2008; CETESB, 2012).

3 METODOLOGIA

3.1 LOCAL DE ESTUDO

O Município de Manaus está localizado na Região Norte do Brasil, no centro geográfico da Amazônia, em uma microrregião denominada Médio Amazonas.

O clima de Manaus é classificado como equatorial quente e úmido, apresentando apenas duas estações ao longo do ano. A estação chuvosa (inverno), que ocorre entre os meses de novembro e junho, período em que a temperatura é mais amena, e a estação seca (verão) de julho a outubro, período de sol intenso e temperaturas elevadas em torno de 38 °C, atingindo cerca de 40 °C, no mês de setembro, o mais quente do ano. A temperatura média anual observada em Manaus é de 26,7 °C, com variações médias entre 23,3 e 31,4 °C. A umidade relativa do ar média é de cerca de 80 %. As precipitações ocorrem durante o ano inteiro, com maior intensidade nos meses da “estação chuvosa” e menor na “estação seca”. Na média são registradas chuvas de 150 mm/mês no verão e 80 mm/mês no inverno. A precipitação média anual é de 2.194,9 mm. (FRANZINELLI e IGRAJA, 2002).

O local de estudo escolhido foi o bairro do Mauzinho, devido a sua localização ser a de uma área afastada do centro urbano e com manifestações de emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis, em consequência do grande número de usinas termelétricas instaladas, tráfego de veículos pesados e inúmeras indústrias. O bairro é situado na Zona Leste da cidade de Manaus, conforme mostra a Figura 12. Surgiu em 1968, após a instalação definitiva da Zona Franca de Manaus. Além disso, em 1969, foi construída em Manaus o Porto da Ceasa, atual Mauzinho, dando origem a ocupação na região. O bairro abrange uma área de 723.73 hectares com uma população de aproximadamente 11.719 habitantes (IMPLURB, 2011).

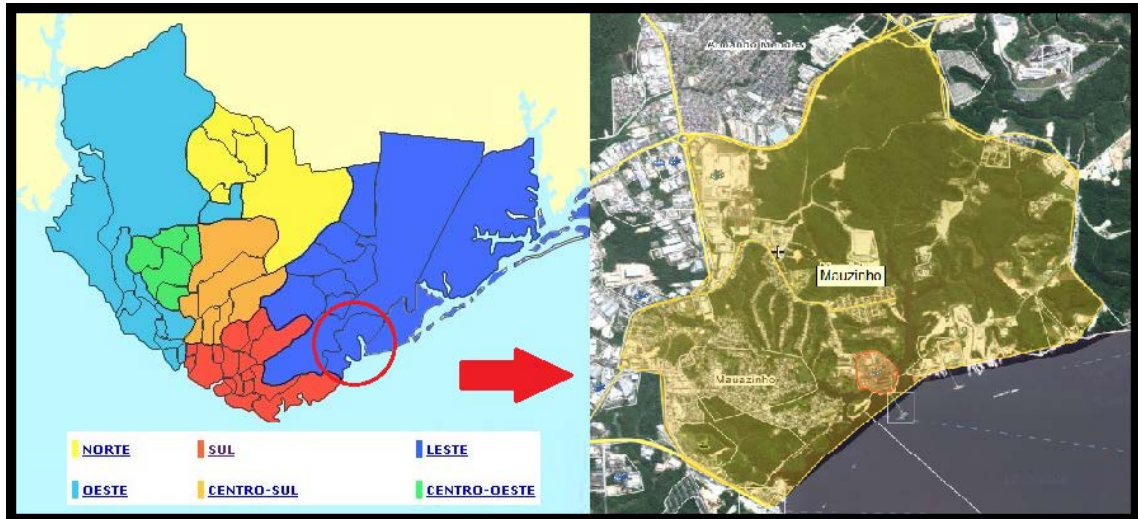


Figura 12. Mapa de localização da área de estudo na cidade de Manaus
 Fonte: Adaptado de GOOGLE EARTH 2012; WIKIMAPIA.ORG.

No local de estudo, o tráfego de veículos é composto principalmente por carretas, caminhões, ônibus e veículos leves. Possui diversas linhas de ônibus que trafegam até o centro da cidade (linhas 705, 706, 711, 712).

As usinas termelétricas (UTE's) instaladas no bairro do Mauzinho são de responsabilidade da empresa Amazonas Energia S/A, compondo o parque térmico do setor elétrico de Manaus. A área de estudo concentra o maior número de usinas por localidade do parque e dentre estas estão:

a) A UTE de Mauá composta por 4 (quatro) unidades geradoras que utilizam turbinas a vapor, produzem um total de 137,2 MW de potência instalada. O combustível utilizado é o óleo combustível (OC1A) que possui alta viscosidade e alto teor de enxofre. Em dezembro de 2009 começou a ser substituído o óleo combustível por gás natural, mas seu uso ainda está restrito a algumas turbinas;

b) A UTE Electron é construída sobre base de um flutuante nas imediações da UTE de Mauá, às margens do Rio Negro. Com potência instalada de 120 MW, distribuídas em 6 (seis) unidades geradoras que utilizam turbinas a gás e o combustível é o óleo Diesel tipo B;

c) A UTE El Paso Amazonas – Planta A, encontra-se instalada ao lado da UTE de Mauá, utiliza óleo Diesel como combustível em suas 2 (duas) unidades geradoras. A potência instalada é de 44 MW. Contando com uma Planta B composta por 2 (duas) unidades geradoras também a base de óleo Diesel, totalizando 110 MW;

d) El Paso Rio Negro – Planta W: totaliza o complexo de geração de energia de Mauá, encontra-se ao lado da UTE de Mauá. Possui potência instalada de 157,5 MW. Utiliza óleo combustível OPGE, um óleo especial para geração de energia elétrica. Além dessas, também localizada no Bairro do Mauazinho, existe a UTE Tambaqui de propriedade da Matriz Breitener Energética S/A, a qual gera 60 MW de energia, complementa a demanda existente na Capital. Esta UTE queima principalmente gás natural, mais ainda utiliza o óleo combustível e o óleo diesel.

A Refinaria de Manaus, Isaac Sabbá (REMAN), encontra-se nas imediações do bairro do Mauazinho. A este empreendimento, aplica-se a responsabilidade por emissões fugitivas de compostos orgânicos voláteis, constituintes do petróleo e suas frações. Além das emissões originadas nas diversas etapas do processo de refino propriamente dito (VALOIS, 2012).

No bairro do Mauazinho encontram-se instaladas unidades comerciais e industriais de pequeno porte. A Figura 13 mostra a localização das 42 unidades industriais instaladas no bairro do Mauazinho e em seu entorno, as quais apresentam insignificante potencial de emissão na área. A Tabela 5.5 (Apêndice) lista essas unidades e suas atividades.

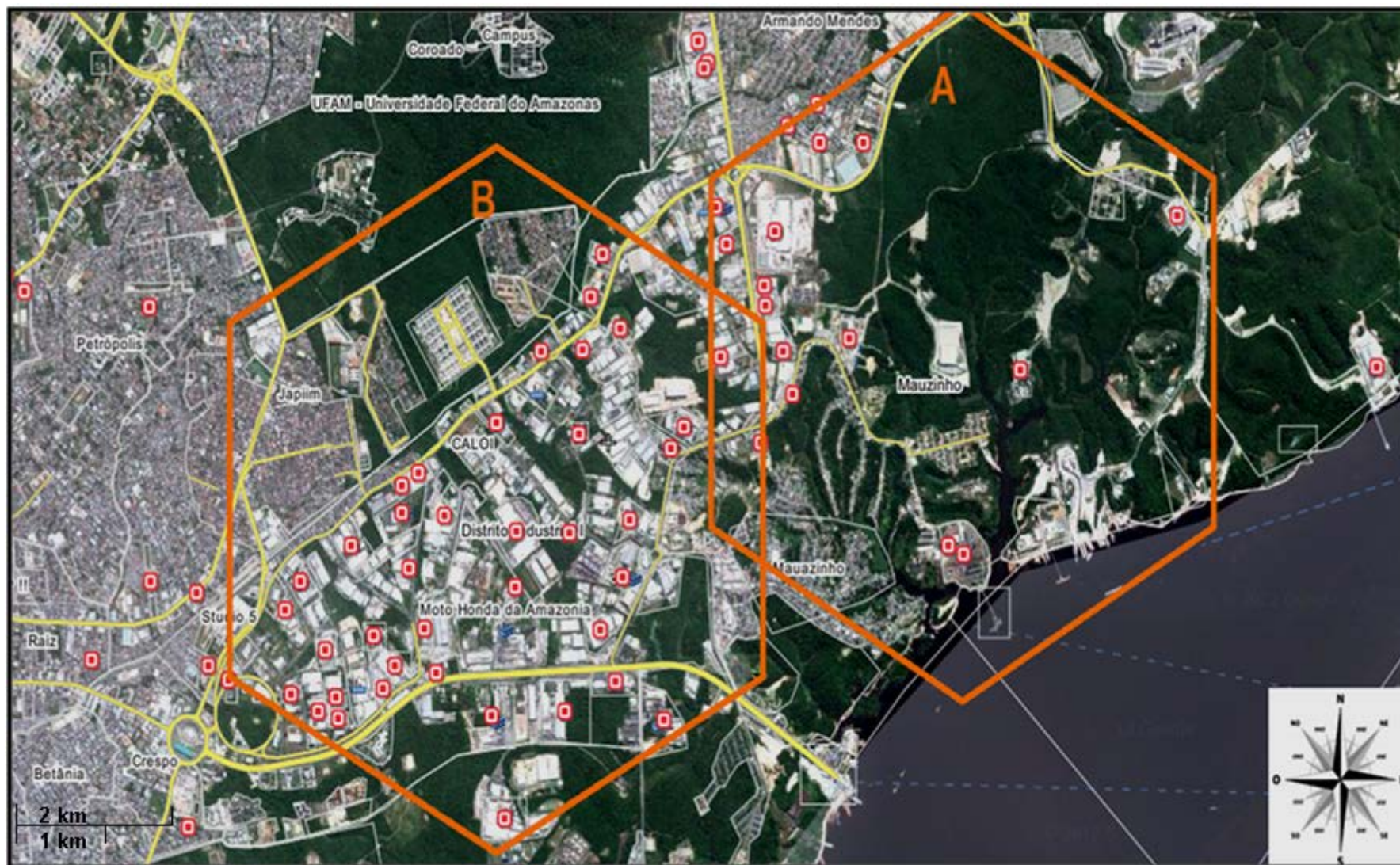


Figura 13. Indústrias instaladas (pontos vermelhos) no bairro do Mauzinho (A) e no seu entorno (B).
Fonte: Adaptado de WIKIMAPIA.ORG.

3.2 DESENHO AMOSTRAL

Determinou-se o número de pontos de amostragem em virtude da viabilidade de instalação dos suportes dos amostradores, em locais devidamente autorizados com o consentimento legal de instalação.

Definiu-se uma malha de amostragem com 15 pontos distribuídos de maneira estratégica e sistemática, usando-se os seguintes parâmetros: (a) dentro da usina oito pontos: dois pontos próximos as fontes de emissão e seis pontos ao redor dos pontos de emissão; (b) no entorno da usina cinco pontos: três pontos em um raio de aproximadamente 300 a 800 metros distantes das fontes de emissão e dois pontos em um raio de aproximadamente 800 a 1000 metros; (c) dois ponto de referência: um com pouca influência urbana, no bairro da Ponta Negra, distante (16.712 metros) do bairro Mauzinho; e o outro com influência veicular, localizado no INMET a 8.561 metros.

As Figuras 14, 15 e 16 mostram a localização dos locais de coleta em Manaus. A Tabela 5.1 (Apêndice) lista os pontos de amostragem com suas coordenadas obtidas através de GPS.

Como já foi descrito no (2.2.3), as usinas termelétricas de Manaus utilizam concomitantemente três tipos de combustível fóssil, portanto, diferenciaram-se as fontes de cada tipo de combustível no local de estudo. A localização dos prédios com chaminés (fontes de emissão) são mostradas na Figura 16. Há três tipos de fontes de emissão alocadas em prédios distintos. Em dois prédios ocorre à queima de gás natural (Figura 16, A e B) e em um acontece, suscetivelmente, a queima de óleo combustível e óleo diesel (Figura 16, C).

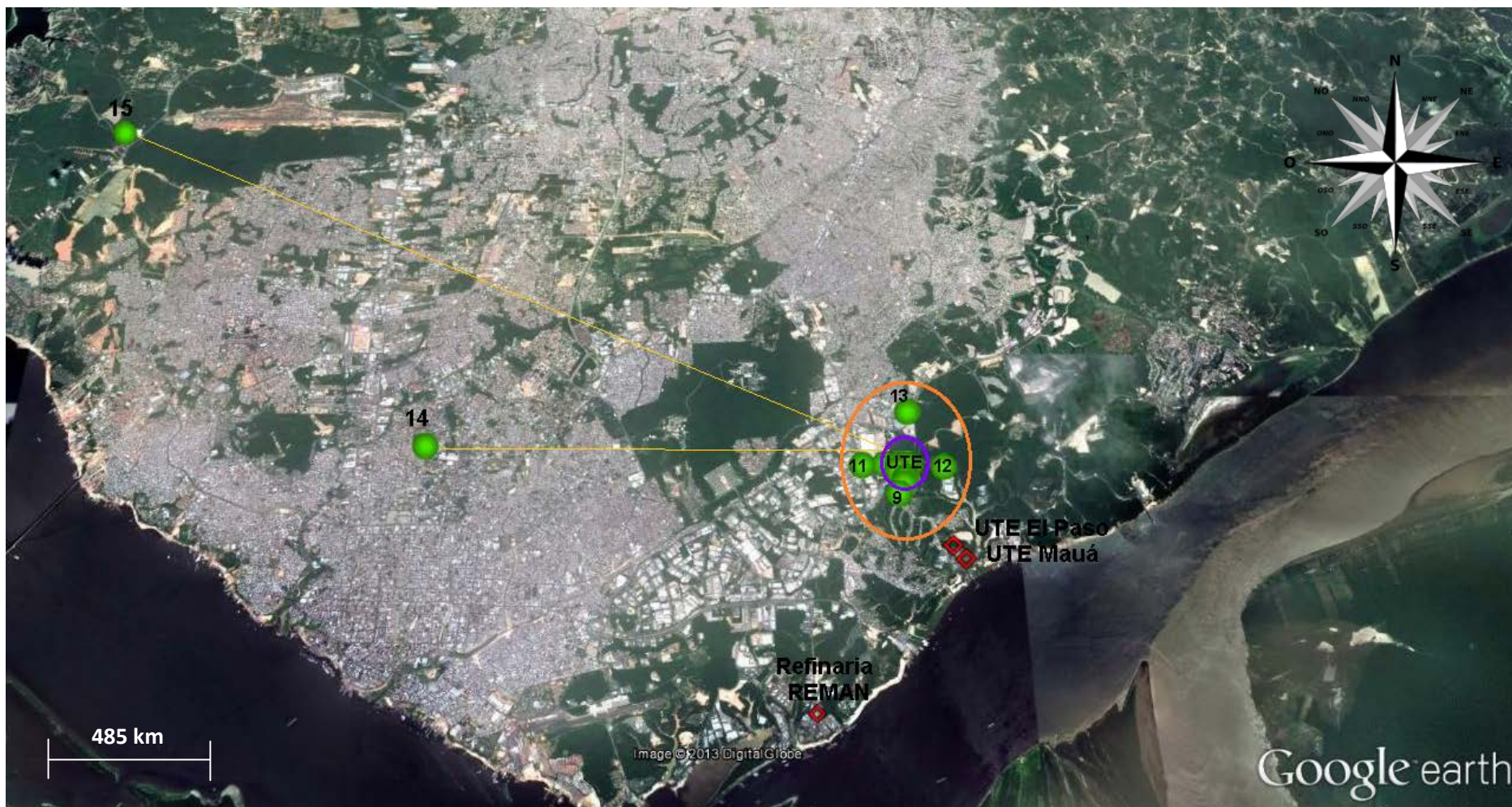


Figura 14. Pontos de amostragem em Manaus; coordenadas obtidas através do GPS; cor verde (pontos de amostragem), cor vermelha UTE's e Refinaria REMAN. Pontos de Amostragem no Bairro do Mauzinho dentro de uma UTE (círculo roxo) e no entorno (círculo laranja); Pontos de Referência: 14 e 15.
 Fonte: Adaptado de Google Earth, 2012.

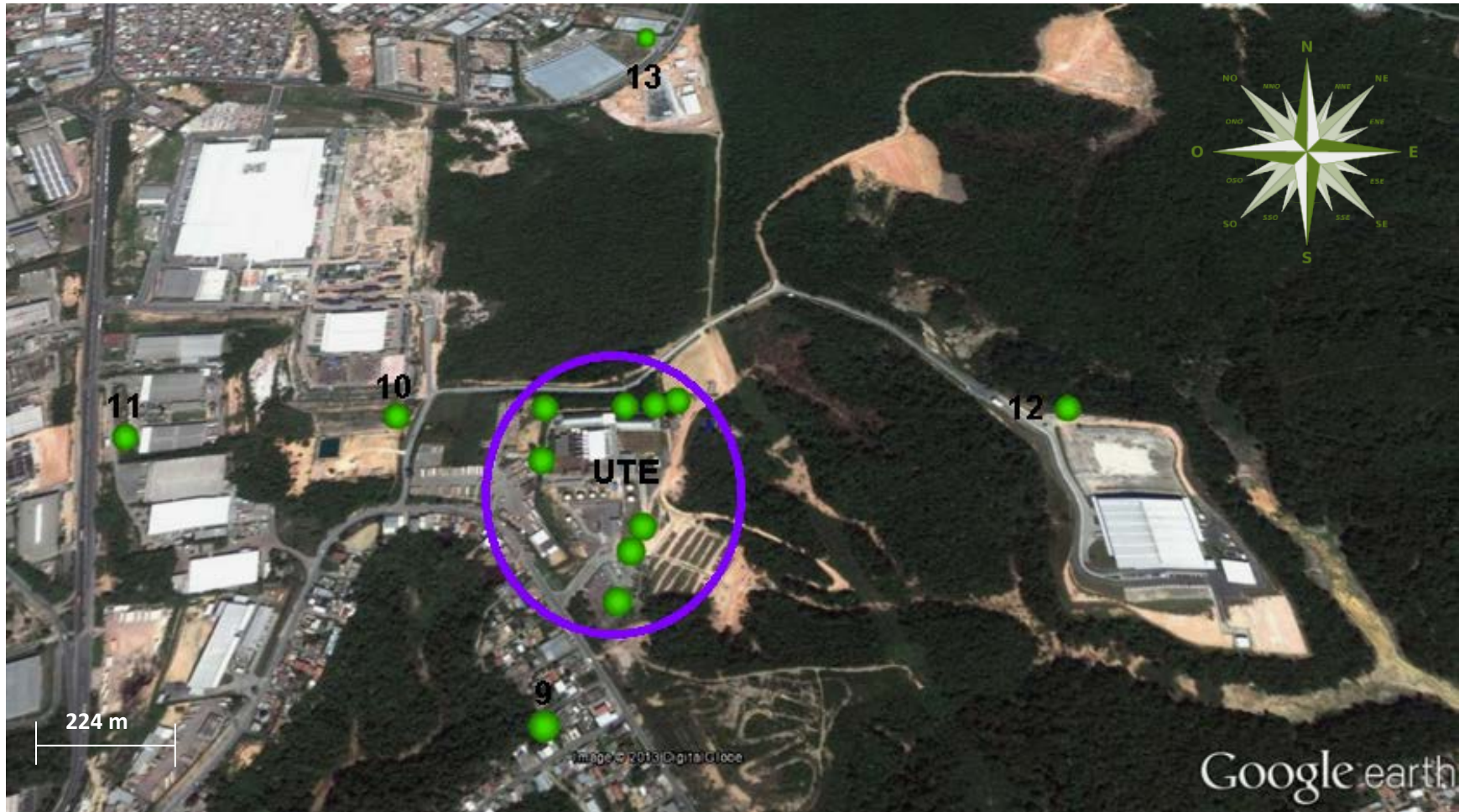


Figura 15. Pontos de amostragem na UTE em Manaus; Pontos dentro da UTE (círculo roxo): Pontos no entorno da UTE: 9-13.
Fonte: Adaptado de Google Earth, 2012.



Figura 16. Pontos de amostragem ao redor da fonte geradora de uma UTE em Manaus; cor verde (pontos de amostragem). Pontos de Emissão: 1-2; Ponto dentro da UTE: 3-8; Fontes de Emissão da UTE: Queimadores de Gás natural (retângulo amarelo A e B); Queimadores de óleo Combustível e óleo diesel (quadrado vermelho C).
Fonte: Adaptado de Google Earth, 2012.

3.3 INSTALAÇÃO DOS AMOSTRADORES PASSIVOS

Os amostradores foram dispostos em 15 pontos de amostragem no município de Manaus, no bairro do Mauazinho, conforme descrito no item (3.2). A instalação dos amostradores foi montada nos pontos de amostragem em suportes confeccionados especificamente para essa finalidade conforme mostra na Figura 17.



Figura 17. Suporte com amostradores instalados no local de estudo.
Fonte: Márcia Passos da Costa, 2012.

Os suportes foram confeccionados em bandeja de polietileno (25 cm x 30 cm), cortadas na lateral, onde foi afixada uma grade de proteção com a finalidade de evitar a queda dos amostradores durante o tempo de exposição. Acima do suporte foi fixada uma manta de isolamento térmico, a fim de minimizar os efeitos da temperatura sobre os amostradores. Para que os suportes fossem afixados nos pontos de amostragem, foi parafusada uma cantoneira, do tipo mão francesa (20 cm) de ferro.

Determinou-se a altura de instalação em 3,0 e 15,0 m de altura. A elevação dos suportes e, conseqüentemente, dos amostradores, foi ajustada em decorrência das normas de segurança estipuladas pela usina de estudo, o que está em conformidade com a literatura. Foram instalados os pontos mais altos em 15 m de altura, no prédio das chaminés da usina e na grade de um reservatório de água. No prédio das chaminés foi estipulada à distância horizontal de aproximação do ponto de amostragem até as chaminés em até 4,0 m. Os pontos de amostragem próximos aos prédios administrativos e em torres de transmissão desativadas foram determinadas a altura máxima de 3,0 m. Nos demais pontos, no entorno da usina, a altura foi de aproximadamente 3,0 m.

3.3.1 Pontos de Emissão de uma Usina Termelétrica

Localizado na Av. Solimões no bairro do Mauzinho, dentro de uma usina termelétrica, onde foram instalados 2 (dois) pontos de amostragem. A Figura 18 mostra os pontos (1) e (2) instalados o mais próximo permitido das chaminés da usina, com queimadores de gás natural, á uma altura de 15 metros. A proximidade destes pontos de amostragem da fonte de emissão possibilita a obtenção de maiores níveis de detecção da concentração de NO₂ nessa área.

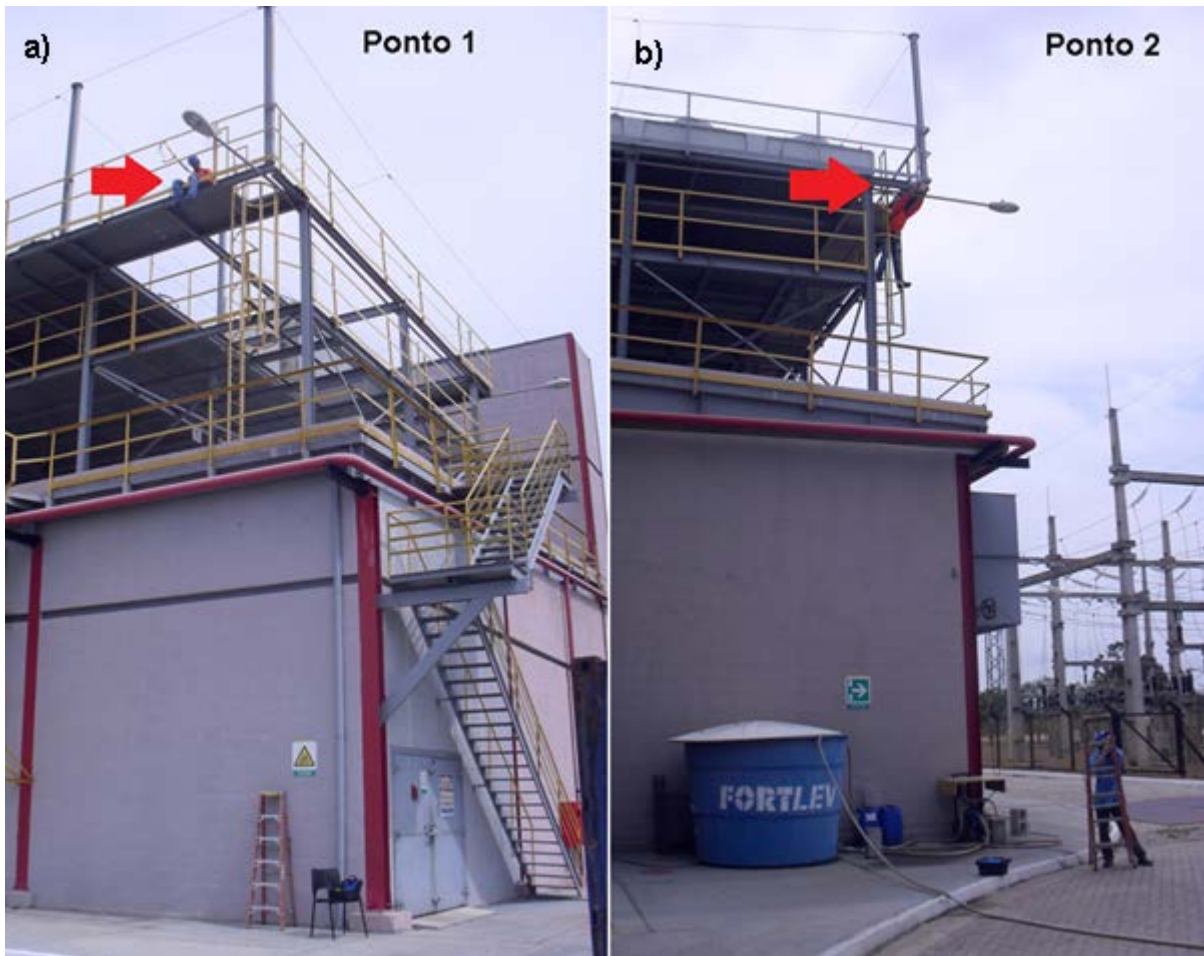


Figura 18. Pontos de Amostragem 1 (18a) e 2 (18b).
Fonte: Márcia Passos da Costa, 2012.

Os pontos de emissão (1 e 2) foram assim denominados devido a sua localização, a aproximadamente 4 metros no sentido horizontal da primeira chaminé de um conjunto de 12 (doze). A Figura 19 mostra estes pontos adjacentes às chaminés do prédio. A usina possui dois prédios, cada um capacitado com 12 (doze) chaminés, que emitem gases provenientes da queima de gás natural. A altura das torres das chaminés a partir do solo é de aproximadamente 25 metros e do teto do prédio, onde se encontram instalados os pontos 1 e 2, até o final da chaminé são 10 metros de altura.

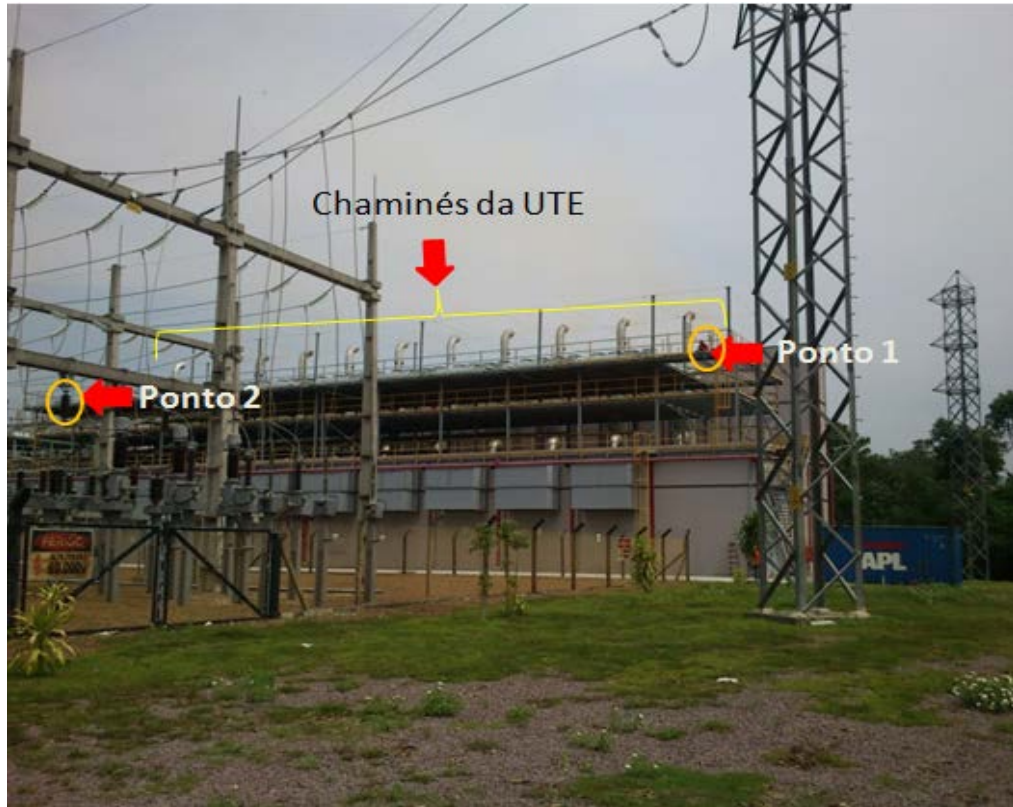


Figura 19. Localização dos Pontos 1 e 2 no prédio das chaminés da UTE de estudo.
Fonte: Márcia Passos da Costa, 2012.

3.3.2 Pontos de Amostragem na Área de uma Usina Termelétrica

Os pontos (3) e (4), estão localizados em torres de transmissão desativadas a uma altura de 3,0 metros. Estes pontos encontram-se cercados por pouca vegetação. As Figuras 20 e 21 mostram o local e a visão ao redor dos pontos (3) e (4).



Figura 20. Ponto (3): Visão ao redor do local de amostragem (20a); Colocação dos amostradores passivos (20b).
 Fonte: Márcia Passos da Costa, 2012.



Figura 21. Ponto (4): Visão ao redor do local de amostragem (21a); Colocação dos amostradores passivos (21b).
 Fonte: Márcia Passos da Costa, 2012.

O ponto (3) fica localizado a 160 metros dos pontos de emissão (1 e 2), a 41 metros do segundo prédio (B), onde é queimado gás natural, e a 76 metros das chaminés dos prédio (C) onde é queimado o óleo combustível e o óleo diesel, conforme descrito no item 3.2 (Figura 16). A altura das chaminés (prédio C), onde é consumido tanto o óleo combustível como o diesel, é de 10 metros do solo.

O ponto (5) foi colocado em uma torre de transmissão desativada a uma altura de 3,0 metros, na área há uma quantidade significativa de arvores e vegetação rasteira. O ponto (6) foi instalado no alto de um reservatório de água a uma altura de aproximadamente 15,0 metros. A Figura 22 mostra os pontos (5) e (6) respectivamente.

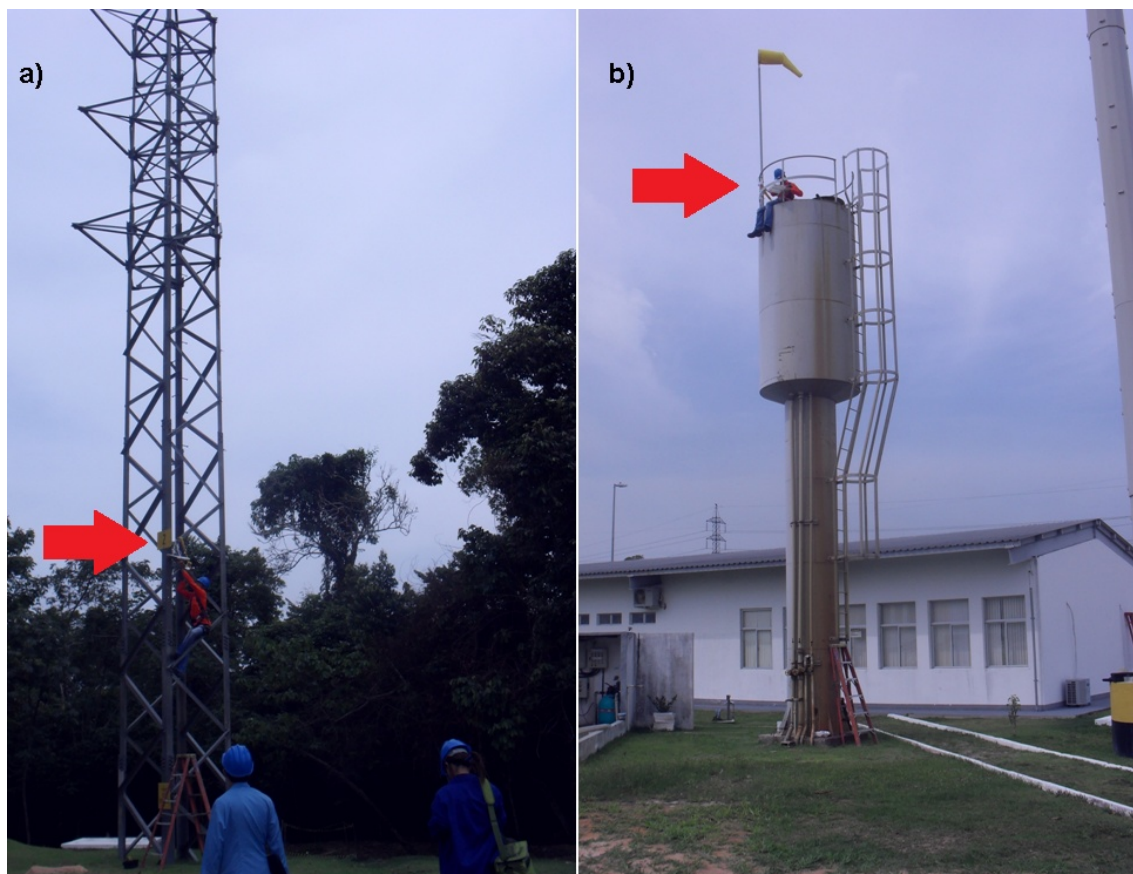


Figura 22. Ponto (5) fixado em uma torre de transmissão desativada (22a); Ponto (6) colocado em um reservatório de água (22b).

Fonte: Márcia Passos da Costa, 2012.

Os pontos (7) e (8) foram instalados a uma altura de 3,0 metros, localizados próximos a recepção, prédio administrativo, e nos fundos da usina em um portão, conforme é mostrado na Figura 23 e 24. A área próxima do ponto (7) serve como estacionamento para a diretoria, apresenta pouca vegetação. A localização do ponto (8) é a mais afastada dos pontos (1) e (2) aproximadamente 354 metros de distância. Próxima ao estacionamento de visitantes da usina.



Figura 23. Ponto 7: Visão ao redor do ponto (7) de amostragem.
Fonte: Márcia Passos da Costa, 2012.

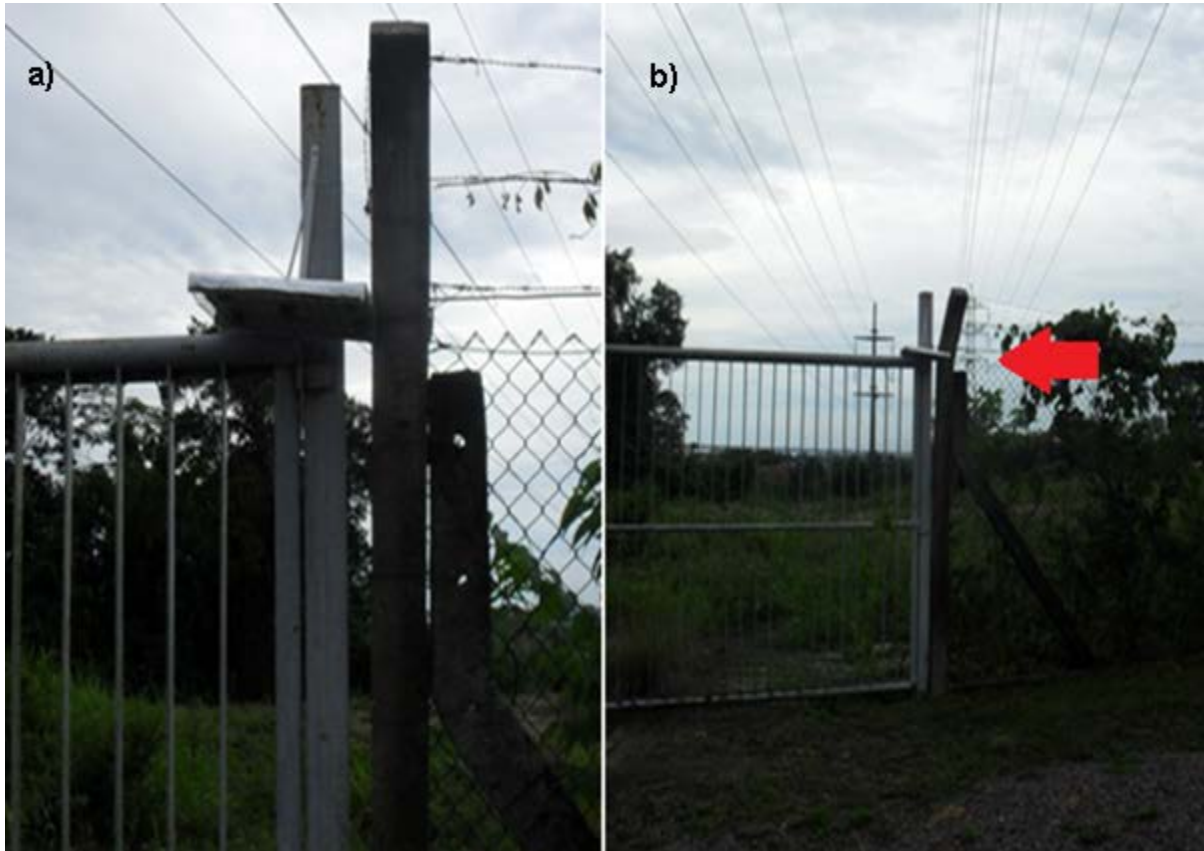


Figura 24. Localização do ponto (8) no fundo da usina (24a); Visão ao entorno do ponto de amostragem (24b).

Fonte: Márcia Passos da Costa, 2012.

3.3.3 Pontos de Amostragem no Entorno de uma Usina Termelétrica

Foram instalados cinco pontos (9 a 13) de amostragem no entorno do bairro do Mauzinho com a finalidade de averiguar a diluição da concentração de NO_2 nesta região.

3.3.3.1 Ponto 9

Localizado em uma residência na Rua Cinco, conjunto Jardim Mauá, no bairro do Mauzinho. A área é constituída de pouco tráfego de veículos, rodeada de residências e outras usinas termelétricas. Esse ponto fica a uma distância de 506 metros dos pontos de emissão (1)

e (2), 1.278 metros da UTE Mauá e UTE El Paso (instaladas paralelamente), e 1.939 m da UTE Electron. A Figura 25 mostra o local e uma visão no entorno do ponto (9).



Figura 25. Ponto (9): Visão ao redor do ponto de amostragem (25a); Fixação dos amostradores passivos (25b).

Fonte: Márcia Passos da Costa. 2012.

3.3.3.2 Ponto 10

Localizado no pátio externo da empresa Samsung na Av. Solimões, no bairro do Mauazinho, em uma guarita de segurança, a uma altura de 3,0 metros. Nesta área não há vegetação e o tráfego é de veículos pesados. O ponto foi instalado a 395 metros de distância dos pontos de emissão (1) e (2). O local fica no sentido frontal das chaminés da UTE de estudo. A Figura 26 mostra o local e a visão no entorno do ponto 10.



Figura 26. Ponto (10): Instalado em uma guarita de segurança.
Fonte: Márcia Passos da Costa, 2012.

3.3.3.3 Ponto 11

Localizado na Av. Solimões, no bairro do Mauazinho. O local é um estacionamento de caminhões da Empresa Rapidão Cometa, onde ocorre a carga e descarga destes. O ponto foi instalado a uma altura de 3,0 metros a 803 metros de distância dos pontos de emissão (1) e (2). A Figura 27 mostra o local de instalação do ponto (11) e a visão no entorno deste ponto.



Figura 27. Ponto (11): Fixação dos amostradores passivos (27a); Visão ao redor do ponto de amostragem (27b);

Fonte: Márcia Passos da Costa, 2012.

3.3.3.4 Ponto 12

Localizado nos fundos da Empresa Scorpions na Av. Solimões, no bairro do Mauazinho. O ponto foi instalado próximo ao campo de futebol da empresa, a 814 metros de distância dos pontos de emissão (1) e (2), a uma altura de 3,0 metros. O tipo de terreno, onde se encontra a empresa Scorpions, é ondulado, com desnivelamento em relação à usina estudada. A Scorpions está instalada na parte baixa e a usina na alta. A área possui pouca movimentação de veículos e vegetação no local. A Figura 28 mostra o ponto 12.

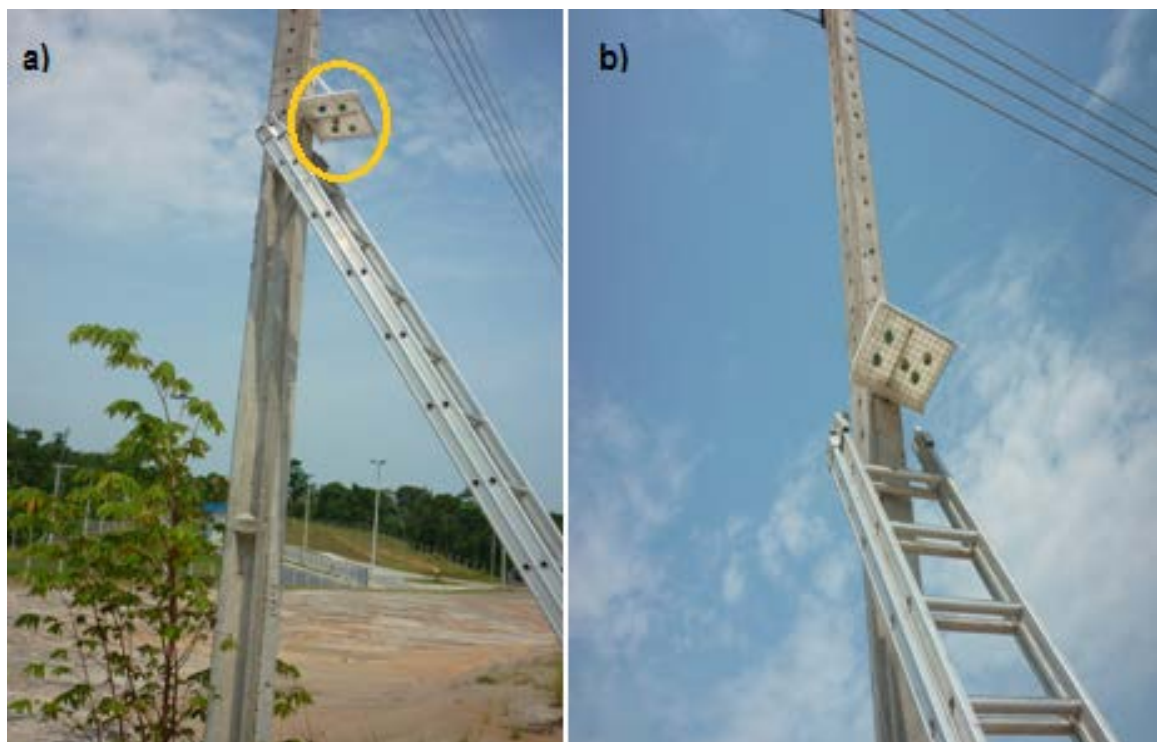


Figura 28. Ponto (12): Fixação dos amostradores passivos (28a); Visão ao redor do ponto de amostragem (28b).

Fonte: Márcia Passos da Costa, 2012.

3.3.3.5 Ponto 13

Localizado no estacionamento do Centro de Distribuição do DB na Av. Puraquequara, no entorno do Bairro do Mauzinho, no estacionamento da empresa, a uma altura de 3,0 metros. A área do ponto (13) no estacionamento é próxima da entrada de carga e descarga desta empresa. O ponto foi instalado a 1.044 metros de distância dos pontos de emissão (1) e (2). Neste local não há vegetação. A Figura 29 mostra o local e a visão do entorno do ponto (13).



Figura 29. Ponto (13): Amostradores fixados (29a); Visão ao redor do ponto de amostragem (29b).
Fonte: Márcia Passos da Costa, 2012.

3.3.4 Pontos de Referência

Dois pontos foram escolhidos com referência de locais com baixa influência urbana e com elevada influência veicular em Manaus.

3.3.4.1 Ponto de Referência (14)

Este ponto (14) fica localizado na Av. Mário Ypiranga Monteiro, no bairro de Adrianópolis, atrás do prédio do ministério de agricultura, ao lado da estação meteorológica do INMET e próxima a Estação Móvel de Monitoramento da Qualidade do Ar (EMQA). A área de localização deste ponto contém pouca vegetação e com tráfego de veículos leves e

pesados. O ponto foi instalado a 8.604 metros de distância dos pontos de emissão (1) e (2) da usina de estudo.

O ponto de amostragem foi usado como referência de uma área com fluxo veicular. A Figura 30 mostra o local do ponto 14.

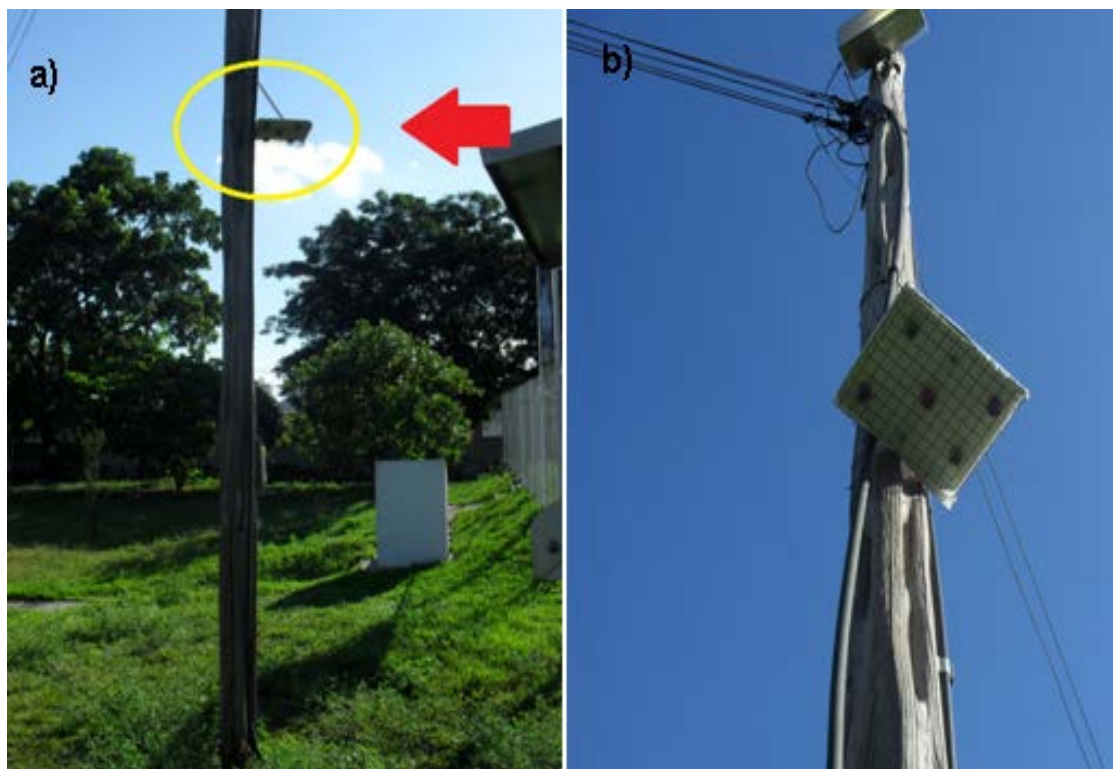


Figura 30. Ponto de Referência (14): Visão ao redor do ponto de amostragem (30a); Amostradores fixados (30b).

Fonte: Márcia Passos da Costa, 2012.

3.3.4.2 Ponto de Referência (15)

O ponto de amostragem foi usado como referência de uma área com pouca influência de emissões de usinas termelétricas e fontes veiculares. Um ponto similar a este foi utilizado por Marinho (2007), com referência em seu estudo das concentrações de NO_2 em Manaus.

O Ponto (15) fica localizado em uma residência, dentro de um condomínio residencial, na Av. do Turismo, no bairro da Ponta Negra. A altura de instalação foi de 3,0 metros a 19.382 metros de distância dos pontos (1) e (2). A área deste ponto é cercada por abundante vegetação e pouco tráfego veicular. A Figura 31 mostra o local do ponto (15).

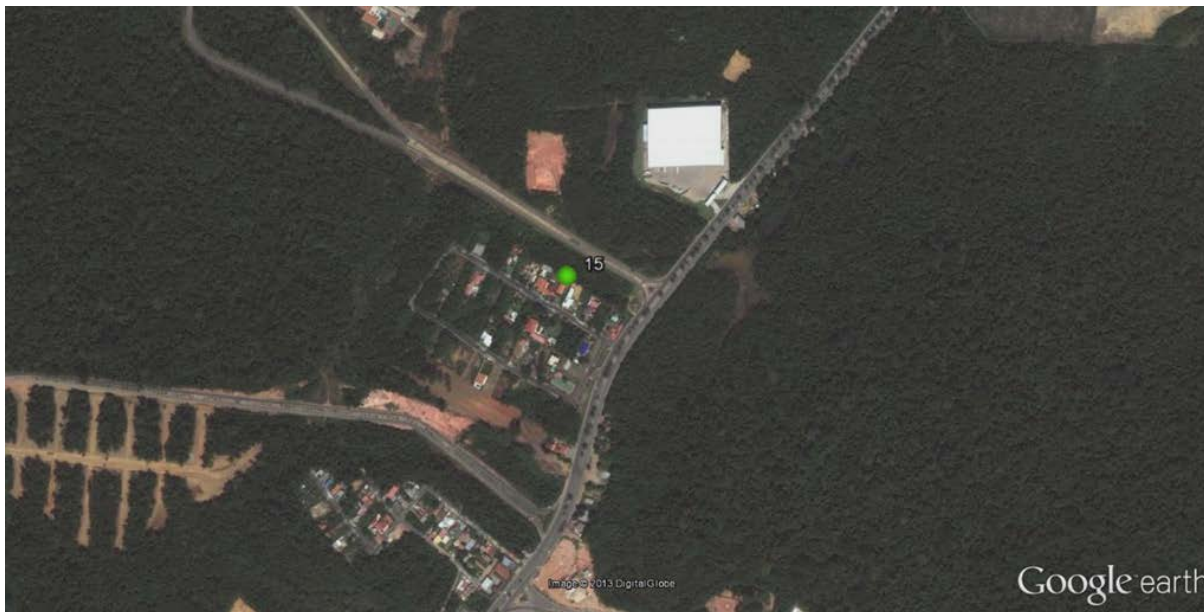


Figura 31. Ponto de Referência (15): Visão ao redor do ponto de amostragem.
Fonte: Adaptado de Google Earth, 2012.

3.3.5 Balizamento da Concentração de NO_2

A validação dos amostradores passivos foi feita utilizando-se dos dados obtidos pelo estudo de Valois (2012), no qual foi instalada uma estação de monitoramento da qualidade do ar (EMQA) em 2011, equipada de cinco analisadores automáticos, dentre estes um analisador de NO_x - NO - NO_2 , modelo 42i da marca Thermo, localizada a 1 km de distância do local de estudo da presente pesquisa. O EMQA é de responsabilidade do Núcleo Interdisciplinar de Energia, Meio Ambiente e Água da UFAM. Durante a realização desta pesquisa a EMQA

permaneceu instalada no terreno do INMET, contudo neste período a estação esteve desprovida do funcionamento do analisador de NO_x-NO-NO₂ por defeito técnico. Por esse motivo optou-se pelo balizamento dos dados da concentração de NO₂ pelo método ativo realizado por Valois (2012), correlacionando os resultados obtidos destes com os dos amostradores passivos, em conformidade com a metodologia utilizada por Bucco (2011).

3.4 PREPARO DOS AMOSTRADORES PASSIVOS

O modelo de amostrador passivo, desenvolvido neste trabalho, está descrito na metodologia apresentada por Campos *et al.* (2006) *apud* Marinho (2007), usado para detecção de NO₂. Utilizou-se de duas tampas para garrafas plásticas, como fundo do amostrador e abertura de ar; um filtro de celulose (Whatman n° 40) colocado na tampa de fundo do amostrador; um eletroduto de PVC rígido como corpo, medindo 15 mm de altura e 20 mm de diâmetro interno; uma membrana de teflon porosa da marca Millipore 1,0 µm de poro, 25 mm de diâmetro e hidrofóbica; seguida de uma tela de aço inoxidável (0,08 x 0125 mm). A membrana tem a finalidade de minimizar efeitos da turbulência do vento e interferência de partículas na passagem de difusão do gás e a tela de aço inox para evitar danos mecânicos à membrana. As partes que compõem o amostrador passivo estão demonstradas na Figura 32.

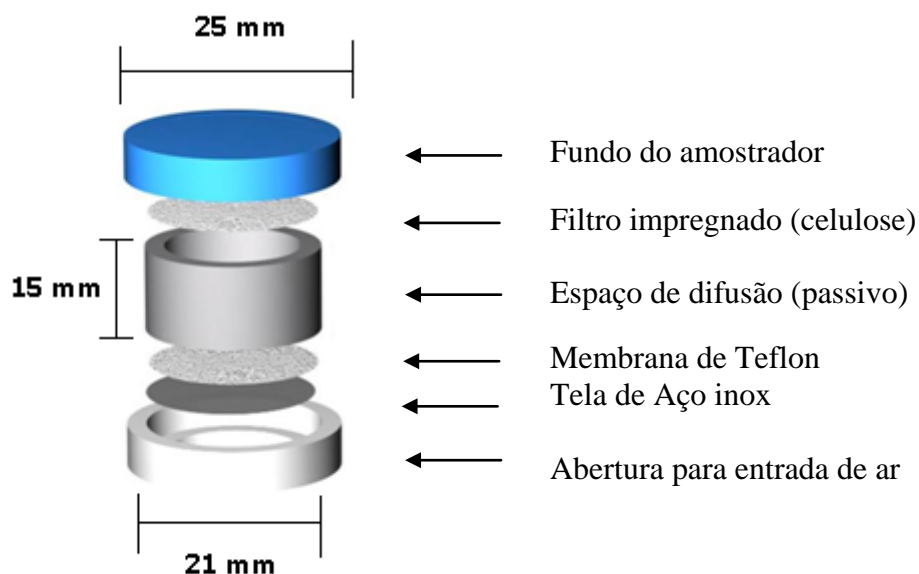


Figura 32. Componentes de um amostrador passivo
 Fonte: CAMPOS *et al.*, 2006 apud MARINHO, 2007.

3.4.1 Montagem dos Amostradores

Antes da montagem dos amostradores, todas as suas partes foram esterilizadas, usando-se o banho de ultrassom com água ultra pura (resistividade 8Ω) por 10 minutos em triplicata. Após a lavagem das partes do amostrador, foram levadas à estufa a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 30 minutos. Depois da secagem acondicionaram-se todos os componentes do amostrador em recipiente hermeticamente fechado para evitar contaminação com o ar.

A montagem dos amostradores ocorreu na tarde do dia anterior de cada coleta, sempre no mesmo horário. Após a esterilização dos amostradores, ocorreu a impregnação dos filtros que será descrito no item (3.5.1).

O amostrador passivo, utilizado nessa pesquisa, tem como princípio a difusão molecular de gás por camada estática de ar, já citado no item (2.5.3.2). A montagem dos

componentes do amostrador passivo seguiu os seguintes passos: na tampa de plástico foi feita uma abertura (A) e foi colocada uma tela de aço inox (B), logo acima se posicionou a membrana de Teflon (C). O eletroduto de PVC rígido foi encaixado na tampa com abertura (D). O fundo do amostrador, contendo o papel de filtro (Whatman n° 40) impregnado com solução de Trietanolamina a 5 %, foi conectado na outra parte do eletroduto (D). A montagem (A-D) e o amostrador montado (E) são mostrados na Figura 33.

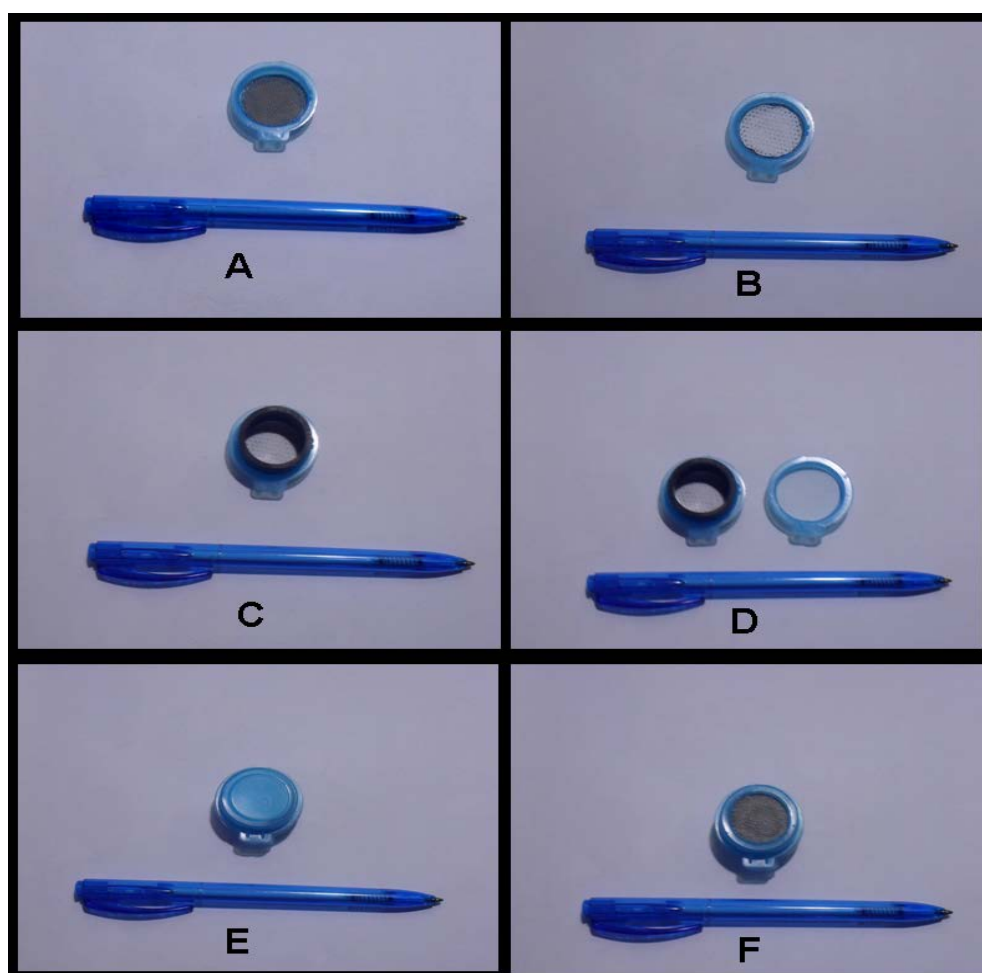


Figura 33. Componentes de montagem do amostrador passivo. Tampa de abertura de ar com tela de aço inox (A); colocação da membrana de teflon (B); encaixe do eletroduto de PVC (C); eletroduto de PVC e tampa do amostrador com o filtro (D); amostrador montado (D) e (F).

Fonte: Márcia Passos da Costa, 2012.

Mediu-se o comprimento dos eletrodutos de PVC com o auxílio de um paquímetro eletrônico digital (Worker), registrando-se com um respectivo número de identificação.

Marcaram-se os amostradores com o número do ponto de amostragem e o número do eletroduto de PVC. Colocou-se um fragmento de fita dupla face de silicone (VHB 3M) na parte superior da tampa de fundo do amostrador. Montaram-se cada amostrador e imediatamente colocaram-se em recipientes com tampa. A identificação com o número do ponto de amostragem registrou-se na tampa do recipiente contendo os amostradores. Prepararam-se os brancos da amostragem seguindo as mesmas etapas descritas anteriormente, diferindo apenas em que estes são lacrados com um filme adesivo plástico (Para-film) e acondicionaram-se em frasco de polietileno lacrados, procedimento similar é descrito no trabalho de Campos *et al.* (2006). Em seguida, acondicionaram-se em uma bolsa térmica os amostradores para serem levados aos pontos de amostragem.

Para cada ponto de amostragem (item 3.3.1), montaram-se um conjunto com oito amostradores. Utilizaram-se cinco amostradores de cada conjunto para detecção de NO₂ e fixaram-se em suportes, descritos no item (3.3). Utilizaram-se três amostradores como brancos, os quais permaneceram lacrados nos pontos de amostragem. O tempo de exposição foi de 30 dias consecutivamente nos pontos de amostragem no período de maio a outubro de 2012.

3.5 METODOLOGIA AMOSTRAL

3.5.1 Impregnação dos Filtros

Preparou-se solução de Trietanolamina 5 %, conforme descrito no item 3.2 (Apêndice). Cortaram-se os filtros de celulose e impregnaram-se com 200 µL desta solução, logo após, foram levados à estufa na temperatura de 60 °C até ficar completamente secos. Retiraram-se cada filtro, acondicionando-os em frascos coletores para evitar a contaminação por exposição ao ar.

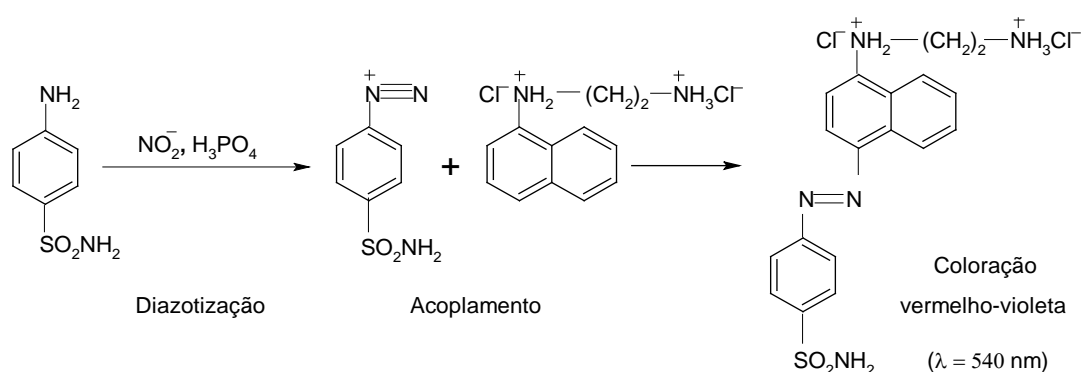
3.5.2 Coleta dos Amostradores

Coletaram-se cada amostrador do suporte no ponto de amostragem e colocou-se em frasco com tampa, os armazenado em uma bolsa térmica. Os amostradores foram coletados em recipientes fechados para impedir que continuem medindo o gás analisado. A coleta dos brancos foi similar, apenas diferindo que permaneceram lacrados nos pontos de amostragem como já descrito no item (3.4.1) e da mesma forma foram coletados e levados para proceder a análise no laboratório do Centro de Pesquisa de Produtos Naturais (CPPN) do Instituto Nacional de Pesquisa do Amazonas (INPA).

3.6 METODOLOGIA ANALÍTICA

Utilizou-se solução de Griess-Saltzman modificada (sulfanilamida/dicloreto de N-(1-naftil)-etilenodiamina/ácido fosfórico), como descrito no item 3.3 (Apêndice), para

determinação de NO_2 atmosférico empregando-se espectrofotometria molecular em 540 nm. Após a coleta, transferem-se os filtros absorvedores de NO_2 para um microtubo de polietileno de 1,5 mL com tampa, em seguida adicionou-se 1 mL de água deionizada. Retirou-se 50 μL de alíquota do microtubo de polietileno com tampa contendo o filtro absorvedor de NO_2 e adicionou-se 1000 μL da solução de Saltzman modificada. Conforme a metodologia apresentada por Campos *et al.* (2006) e reproduzida por Marinho (2007), esperou-se 15 minutos para a completude da reação e desta forma seja quantificada pelo método espectrométrico. A análise foi feita em triplicata. Segundo Nonomura e Hobo (1998) o íon nitrito extraído em condições ácidas causa a diazotação da sulfanilamida (4-aminobenzenossulfonamida) e o acoplado do produto com o dicloreto de N-(1naftil)-etilenodiamina de acordo com as reações apresentadas na Equação (34).



(34)

Preparou-se solução de nitrito de sódio ($0,05 \text{ mol L}^{-1}$) e padronizou-se com solução padrão de permanganato de potássio ($0,02 \text{ mol L}^{-1}$), conforme descrito no item (3.4 e 3.5) respectivamente (Apêndice). Analisou-se o NO_2 absorvido na forma de nitrito por técnica espectrofotométrica UV/Vis. As curvas analíticas foram preparadas com soluções padrões de nitrito. As concentrações de 10; 20; 30; 40; 50; 60 e 80 $\mu\text{g mL}^{-1}$ da solução padrão de nitrito de sódio foram utilizadas na curva de calibração de cada análise. Utilizou-se a primeira

integração da Lei de Fick (Equação 32), citada no item (2.5.3.2) para calcular a concentração do NO₂. E calculou-se o limite de detecção (LD) segundo os padrões de validação de métodos do INMETRO. Este limite representa a menor concentração da substância em exame que pode ser detectada, mas não necessariamente quantificada, utilizando um determinado procedimento experimental (INMETRO, 2008; THONPSON *et al.*, 2002).

O limite de detecção pode ser expresso conforme é mostrado na equação (35):

$$LD = k \cdot \frac{\bar{s}}{IC} \quad (35)$$

onde:

LD é o limite de detecção;

k é um fator numérico escolhido de acordo com o nível de confiança exigido, para 99% de confiança esse valor é 3,143;

\bar{s} é a estimativa do desvio padrão da resposta, que pode ser a estimativa do desvio padrão do branco, da equação da linha de regressão ou do coeficiente linear da equação;

IC é a inclinação ou coeficiente angular da curva analítica;

Os dados de NO₂ obtidos foram tratados e interpretados durante as amostragens, utilizando-se de técnicas de estatística multivariada, de informações sobre as fontes emissoras móveis e fixas e de dados meteorológicos no período estudado.

3.7 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS DA CONCENTRAÇÃO DE NO₂

A avaliação dos dados da concentração de NO₂, no entorno de uma usina termelétrica em Manaus-AM, obtidos no período de maio a outubro de 2012, foram estudados em três âmbitos: análise exploratória da influência dos pontos de amostragem nas concentrações de NO₂; análise exploratória da influência dos meses de maio a outubro de 2012 nas concentrações de NO₂ e análise exploratória da influência dos elementos meteorológicos nas concentrações de NO₂;

Inicialmente os dados coletados foram analisados por análise estatística elementar descritiva com a finalidade de caracterização destes e posteriormente aplicação do método estatístico.

A interpretação dos dados experimentais das concentrações de NO₂ foi tratada com a técnica estatística de análise hierárquica de agrupamento, AHA (*Hierarchical Cluster Analyses*) e Análise de Componente Principal, ACP (*Principal Component Analyses*).

3.7.1 Análise Exploratória da Influência dos Locais de Amostragem nas Concentrações de NO₂

As técnicas de análise exploratória AHA e ACP foram utilizadas agrupando-se os níveis de NO₂, obtidos com os locais de amostragem para verificar a similaridade de características entre determinadas áreas, e desta forma observar se há influência da queima de combustíveis fósseis por fontes móveis e fixas nos locais de estudo ou em áreas mais afastadas. Para isso, usou-se a análise dos dendogramas obtidos por AHA, verificou-se assim

a similaridade através da avaliação dos agrupamentos formados, comparando-os com as distâncias das ligações. Os gráficos obtidos pela técnica ACP avaliaram-se as variáveis e as amostras em função da magnitude de seus valores em cada CP (componente principal).

3.7.2 Análise Exploratória da Influência Temporal nas Concentrações de NO₂

Avaliou-se a influência dos meses de maio a outubro de 2012 nas concentrações de NO₂, utilizando-se de análise exploratória de AHA e ACP, através das ferramentas de dendogramas e gráficos de forma similar descrita no item (3.7.1).

3.7.3 Análise Exploratória da Influência das Condições Meteorológicas nas Concentrações de NO₂

Os dados meteorológicos, utilizados nessa pesquisa, foram obtidos em duas estações meteorológicas. Uma estação meteorologia (marca Squitter de Modelo ISIS S1220) foi instalada dentro do terreno pertencente à usina termelétrica de estudo. Os dados fornecidos por essa estação foram de umidade relativa do ar, temperatura, pluviosidade, velocidade e direção do vento. As coletas foram feitas mensalmente e os dados foram medidos a cada 30 minutos diariamente. Outros dados não fornecidos por essa estação como insolação e radiação solar foram obtidos a partir da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Esses dados foram disponibilizados pela parceria do INMET com o Núcleo Interdisciplinar de Energia, Meio Ambiente e Água (NIEMA) no qual parte da pesquisa foi desenvolvida.

Devido à dificuldade na interpretação da análise estatística de dados meteorológicos, expressos em grandezas diferentes, optou-se pela utilização da técnica de autoescalamento. Essa técnica permite que as variáveis (individualmente) apresentem médias iguais a zero e a variância seja a um, independentemente da sua dimensão, o que viabiliza a aplicação da análise estatística. Esse critério foi sugerido por Marinho (2007), no estudo do mapeamento e distribuição de NO₂ na cidade de Manaus. Usa-se a uniformização desses dados conforme a Equação (34) abaixo:

$$x_{ij}(as) = \frac{\bar{x}_j}{jS} \quad (34)$$

onde:

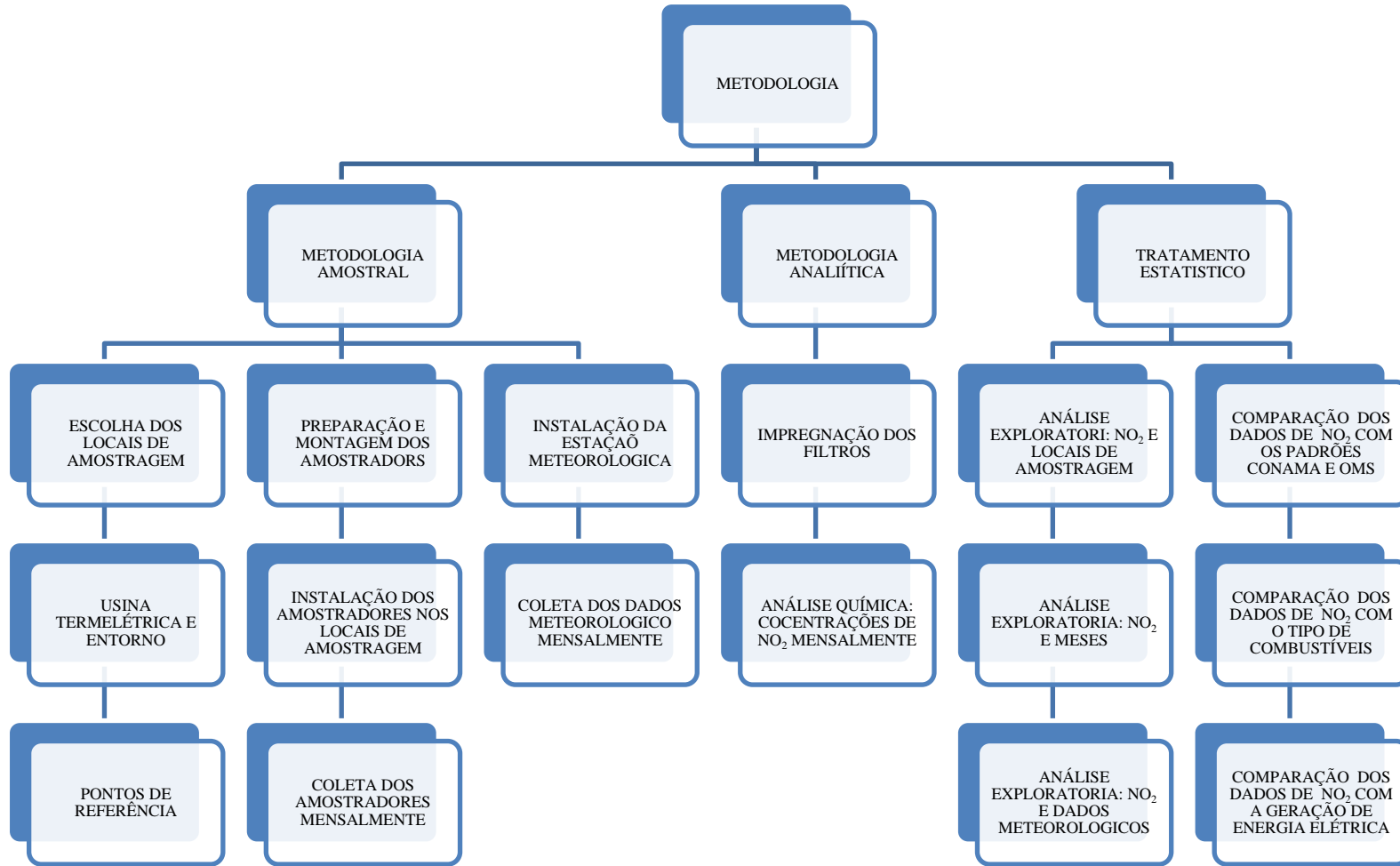
$x_{ij}(as)$ = valor autoescalado da variável j para amostra i ;

\bar{x}_j = média dos valores das amostras na coluna j , e;

jS = desvios padrão dos valores da variável j calculados a partir da variância;

Avaliou-se a influência dos dados meteorológicos, obtidos nas duas estações utilizadas nesse trabalho, nas concentrações de NO₂ utilizando-se de análise exploratória de AHA e ACP através das ferramentas de dendogramas e gráficos de forma similar descrita no item (3.7.1).

3.8 Diagrama Metodológico



4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados do estudo da concentração de dióxido de nitrogênio obtidos no entorno de uma usina termelétrica, no município de Manaus, no ano de 2012, com o objetivo de compreender as variações destas concentrações, observadas nos locais de estudo e os fatores que as afetam durante o período que se realizou essa pesquisa.

4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS DADOS DE NO₂

Os níveis médios da concentração de dióxido de nitrogênio obtidos em 15 pontos durante a realização desse estudo, no período de maio a outubro de 2012, estão demonstrados na Figura 34. A ilustração dos níveis da concentração de NO₂ é proporcional a intensidade da coloração. Os níveis médios de NO₂ em cada ponto de amostragem, com o desvio padrão, estão listados na Tabela 5.6 (Apêndice) e os níveis gerais de NO₂, com os dados de dispersão, na Tabela 5.7 (Apêndice).

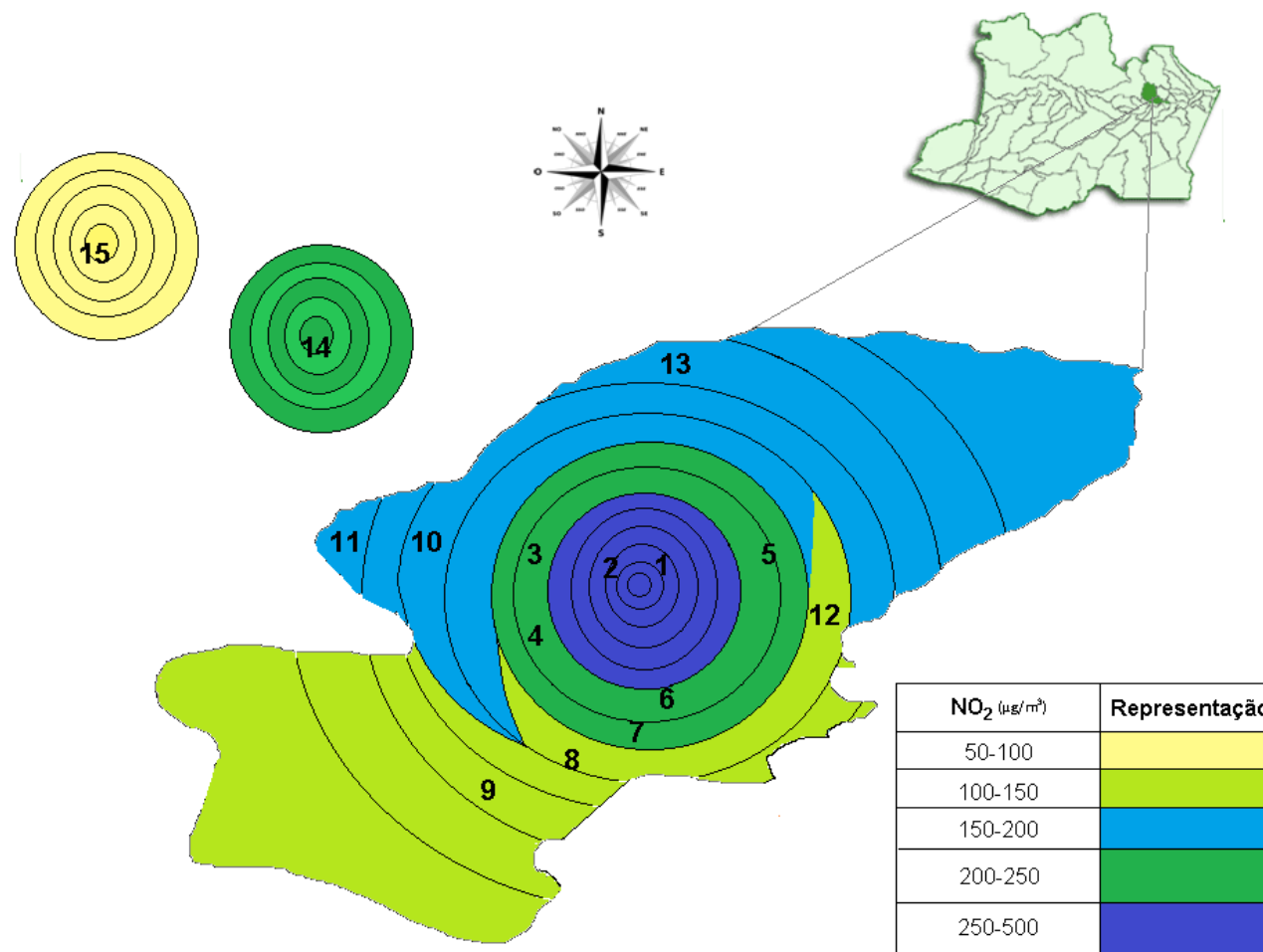


Figura 34. Níveis e distribuição da concentração de NO₂ em µg m⁻³ obtidos por amostragem passiva representados por gradiente de coloração, obtidos em 15 pontos da cidade de Manaus no período de maio a outubro de 2012. Pontos de amostragem: Pontos de Emissão da UTE: 1 e 2. Pontos dentro da UTE: 3, 4, 5, 6, 7 e 8. Pontos no Entorno da UTE: 9, 10, 11, 12, 13. Pontos de Referências: 14 e 15.

A média geral da concentração por amostragem passiva foi de $206,86 \mu\text{g m}^{-3}$ de NO_2 , o valor da mediana de $167,51 \mu\text{g m}^{-3}$, desvio padrão $127,46 \mu\text{g m}^{-3}$ e coeficiente de variação 61,61 %. O nível de NO_2 mínimo no ano de 2012 foi de $85,18 \mu\text{g m}^{-3}$ e o máximo foi de $747,93 \mu\text{g m}^{-3}$. A média dos brancos foi de $13,27 \pm 1,44 \mu\text{g m}^{-3}$ e o limite de detecção do método calculado foi de $7,59 \mu\text{g m}^{-3}$.

Observando-se a Figura 34, pode-se notar cinco níveis de concentração de NO_2 apresentando ampla variação pontualmente. O maior nível variou de $250\text{-}500 \mu\text{g m}^{-3}$ sendo atribuído ao local próximo as chaminés da usina termelétrica (pontos 1 e 2). O segundo nível variou de $200\text{-}250 \mu\text{g m}^{-3}$ e foi estabelecido nos pontos adjacentes a estes (pontos 3, 4, 5, 6, e 7). O ponto 14 também se enquadra neste nível. Verifica-se que, apesar de afastado, apresenta um nível similar ao encontrado nos pontos mais próximos da usina. O terceiro nível variou de $150\text{-}200 \mu\text{g m}^{-3}$ e conferido aos locais situados a oeste e norte da usina (pontos 10, 11 e 13). O quarto nível de distribuição da concentração de NO_2 variou de 100 a $150 \mu\text{g m}^{-3}$ e o quinto de $50\text{-}100 \mu\text{g m}^{-3}$ encontrou-se nos locais situados a sul e leste da usina (pontos 8, 9 e 12) e no ponto de referência (ponto 15) respectivamente.

Para balizar a concentração de NO_2 , comparou-se os resultados dos amostradores passivos com os resultados do estudo de Valois (2012) que utilizou um analisador automático de $\text{NO}_x\text{-NO-NO}_2$, no ano de 2011, instalado a 1 km do local de estudo da presente pesquisa. O resultado encontrado por Valois (2012) do nível da concentração média de NO_2 foi de $279,44 \mu\text{g m}^{-3}$. Comparando-se este valor com o resultado da amostragem passiva de $206,86 \mu\text{g m}^{-3}$ de NO_2 , observa-se uma diferença de $72,58 \mu\text{g m}^{-3}$. A diferença relativa entre as medições efetuadas pelo analisador automático e amostrador passivo foi de 26 %, resultado que está em conformidade com o encontrado por Bucco (2011) e também por Marinho (2007) que fizeram o balizamento de amostradores passivos com um método ativo.

Segundo Marinho (2007), os níveis da concentração de NO_2 sofrem a influência das características do local de amostragem e das estações do ano. Por esse motivo, optou-se por utilizar a análise exploratória multivariada para observar a similaridade entre os locais de amostragem, períodos do ano e as concentrações de NO_2 .

4.2 ANÁLISE EXPLORATÓRIA MULTIVARIADA DOS DADOS DE NO_2

A análise exploratória multivariada foi feita a partir dos níveis de NO_2 listados na Tabela 5.6 (Apêndice), agrupando-os com os 15 pontos de amostragem e os meses do ano de 2012. Para isso, foram utilizadas as técnicas de análise multivariada de AHA e ACP para a interpretação dos resultados obtidos.

4.2.1 Influência dos Locais de Amostragem nos Níveis de NO_2

Dois locais foram usados com referência nesta pesquisa: um situado na Avenida do Turismo, no bairro da Ponta Negra, foi usado como ponto de referência (ponto 15) de baixa influência de usinas termelétricas; e outro localizado na Av. Mário Ypiranga Monteiro, no bairro de Adrianópolis, atrás do prédio do ministério de agricultura, referência (ponto 14) de uma área com fluxo veicular, já comentado no item (3.3.5).

Os resultados por AHA entre os dados de NO_2 e os locais de amostragem estão representados na Figura 35.

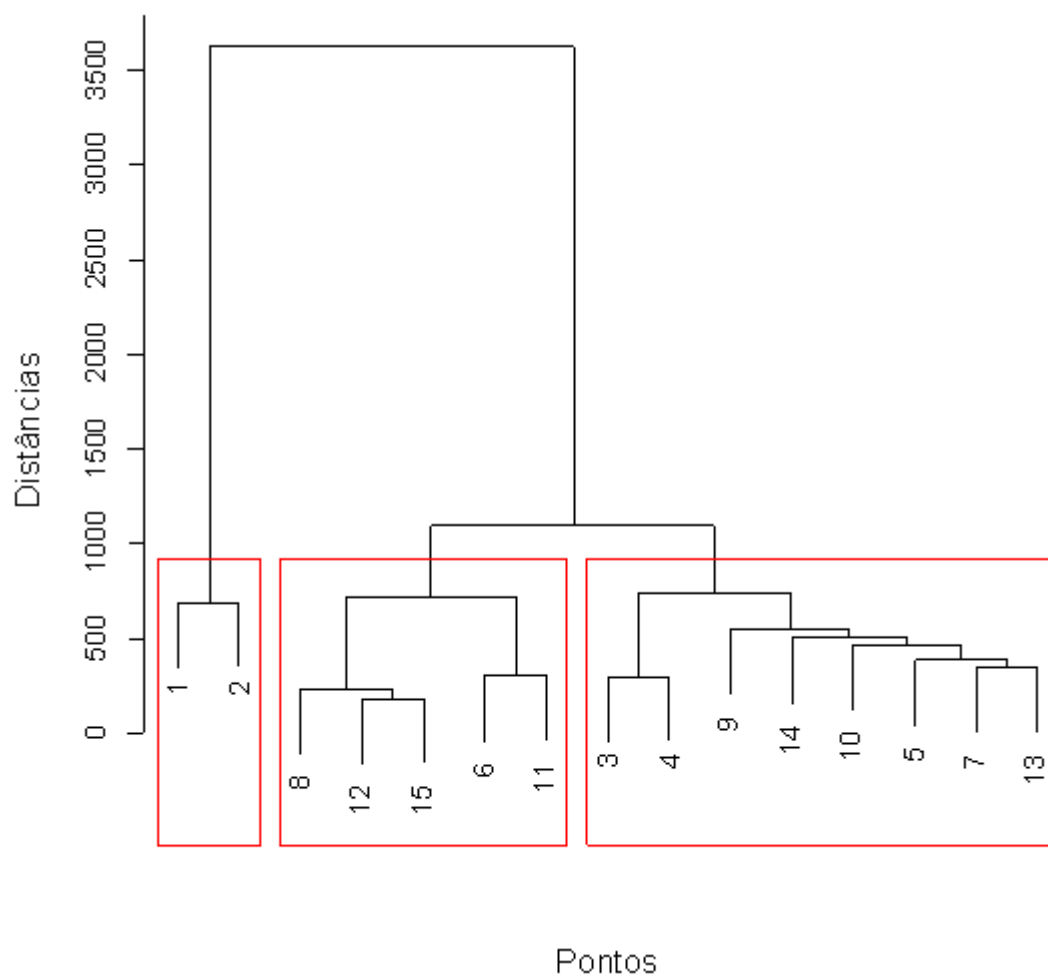


Figura 35. Dendrograma obtido a partir das concentrações de NO₂ agrupados com os 15 pontos de amostragem no período de 2012.

Observou-se na Figura 35 a formação de três agrupamentos:

Grupo A: Prédio das chaminés da UTE (pontos 1 e 2);

Grupo B: Reservatório de água da UTE (ponto 6); Área de fundo da UTE (ponto 8), Empresa Scorpions (ponto 12); Residência na Avenida do Turismo (ponto 15); Empresa Rapidão Cometa (ponto 11);

Grupo C: Área adjacente (esquerda) ao prédio das chaminés da UTE (pontos 3 e 4); Área adjacente (direita) ao prédio das chaminés da UTE próxima a várias árvores (ponto 5);

Prédio da administração da UTE (ponto 7); Residência no Jardim Mauá (ponto 9); Pátio externo da Samsung (ponto 10); Centro de distribuição do DB (ponto 13); Terreno do INMET (ponto 14);

Analisando a Figura 34 nota-se que a concentração de NO₂ mostrou-se distribuída em cinco níveis com intervalos de concentração distantes e comparando-se com a Figura 35 percebe-se que a formação de apenas três grupamentos deve-se a organização destes níveis estarem de maneira mais aproximada devido ao método estatístico utilizado.

4.2.1.1 Características dos Grupos A-C

Grupo A – Apresentou os níveis mais elevados de NO₂. A média geral de NO₂ desse grupo foi de $430,40 \pm 8,42 \mu\text{g m}^{-3}$. Os valores mais elevados nestes pontos podem ser explicados devido à proximidade das torres das chaminés da UTE, podendo ser considerada uma emissão medida na fonte.

Grupo B – Os níveis deste grupo foram os mais baixos. A média geral de NO₂ dos componentes do agrupamento B variou de $99,42 \pm 7,73 \mu\text{g m}^{-3}$ (ponto 15) em uma residência de um condomínio situado no bairro da Ponta Negra a $169,09 \pm 7,85 \mu\text{g m}^{-3}$ na Empresa Rapidão Cometa (ponto 11). Apesar do ponto (9) ser o mais afastado no sentido sul da área da localização da UTE de estudo, o mesmo fica situado próximo a uma via de tráfego veicular, o que pode ter contribuído com os níveis de NO₂. Os pontos 6 e 8, localizados dentro da área da UTE de estudo, mostram níveis de NO₂ crescentes e proporcionais ao aumento da distância das chaminés. A concentração de NO₂, na Empresa Scorpions, ponto 12, mostra níveis considerados mais baixos se comparado com os encontrados no ponto 11, pois a localização dessa empresa é mais próxima dos pontos de emissão da usina (1 e 2) do que o

ponto 11. Esse fato pode ser explicado em virtude da configuração do terreno da Empresa Scorpions ter um declive acentuado, o que favorece a dispersão da pluma de poluentes nessa área. Outro fator que pode ter interferido nos níveis mais baixos de NO₂ é a proximidade das margens do Rio Negro, onde provavelmente existe a influência de correntes de ar que promova o arraste de gases nesse local.

Grupo C – Os níveis de NO₂ apresentam valores mais elevados que no grupo B. A média geral variou de $165,65 \pm 7,87 \mu\text{g m}^{-3}$ de NO₂ em uma residência no Jardim Mauá a $236,78 \pm 7,64 \mu\text{g m}^{-3}$ de NO₂ no terreno do INMET (ponto 14). Neste agrupamento os maiores níveis foram no terreno do INMET. Este fato pode ser atribuído ao fluxo intenso de veículos e a localização dos amostradores passivos em local muito próximo a duas vias de tráfego veicular. A média mostrada foi de $279,44 \mu\text{g m}^{-3}$. Os pontos instalados no terreno da usina, no sentido oeste das chaminés, foram os segundos valores mais elevados naquela área com as médias de $216,90 \pm 7,85 \mu\text{g m}^{-3}$ de NO₂ (ponto 3) e $222,62 \pm 8,07 \mu\text{g m}^{-3}$ de NO₂ (ponto 4). Este nível pode ser devido à influência da corrente de ar, vinda das margens do Rio Negro deslocando a pluma de poluentes na direção destes dois pontos. O ponto 5 e 7, localizados dentro da área da UTE de estudo, e o ponto 9, localizado em uma residência no Jardim Mauá, mostram níveis de NO₂ crescente, equivalentes ao acréscimo da distância das chaminés. O mesmo comportamento foi observado em pontos sob as mesmas condições de distância. O nível de NO₂ do ponto 13, localizado na Central de Distribuição do DB foi de $188,44 \pm 7,85 \mu\text{g m}^{-3}$. Apesar da distância de mais de 1 km das fontes de emissão da usina, a área é de tráfego de veículos pesados movidos a óleo diesel, pode ter favorecido as emissões de NO₂ como já citado no item (2.2.3.1).

4.2.2 Influência Temporal de Amostragem nos Níveis de NO₂

Utilizando-se os dados de níveis médios de concentração, agrupados com os meses analisados no ano de 2012 e aplicando-se o estudo da análise multivariada AHA, obtiveram-se os resultados apresentados na Figura 36.

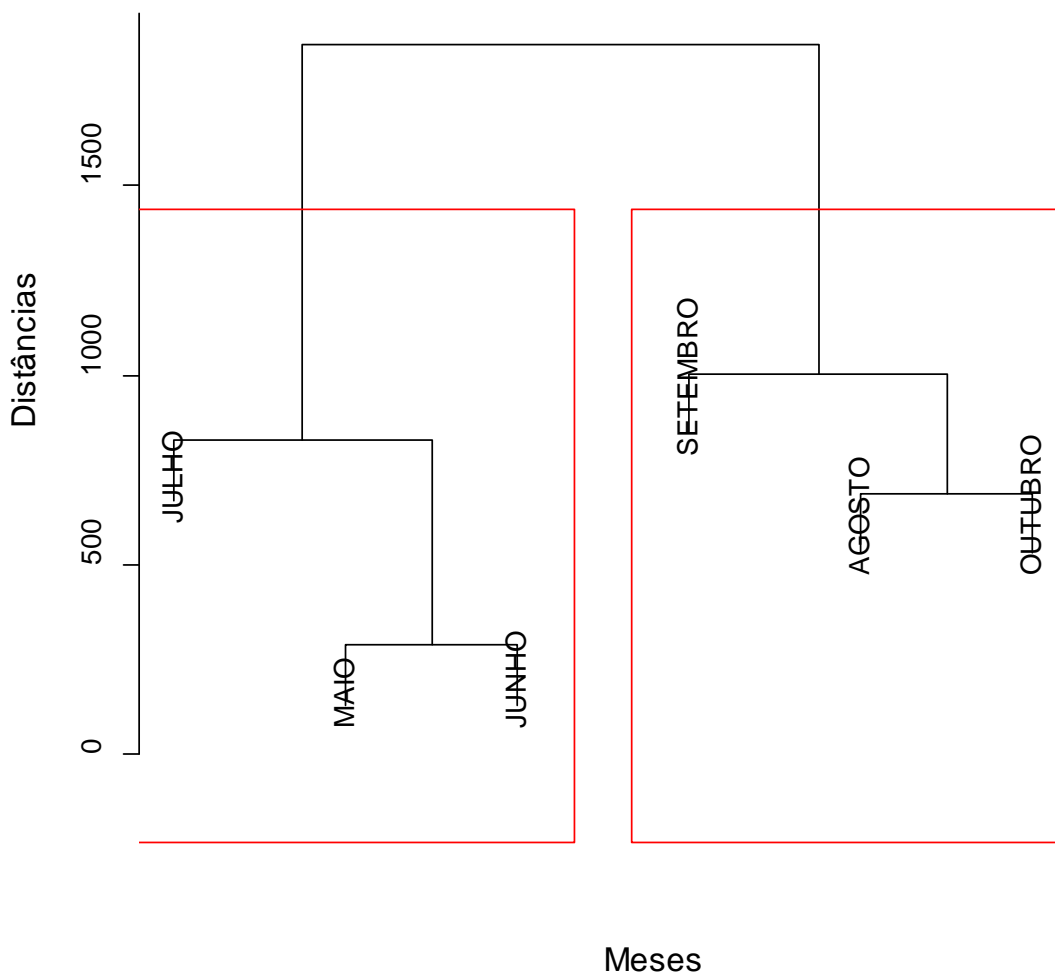


Figura 36. Dendrograma obtido a partir das concentrações de NO₂ agrupados com os meses de amostragem no período de 2012.

Na Figura 36, observa-se a formação de dois grupos. O primeiro grupo compreende os meses de maio a julho de 2012 e o segundo agrupamento abrange os meses de agosto a outubro de 2012.

De acordo com Franzinelli e Igreja (2002), Marinho (2007) e Valois (2012), o clima da Amazônia não possui quatro estações no ano e não apresenta variações significativas de temperatura e umidade. As chuvas ocorrem continuamente durante o ano, porém há um período com maior ocorrência destas, com temperaturas mais baixas e umidade mais elevada. O município de Manaus possui apenas duas estações no ano: a chuvosa, de novembro a junho, denominada de “inverno regional” e a menos chuvosa, de julho a outubro, comumente designada de “estação seca” ou “verão regional”. Em concordância com a literatura já citada, confirmou-se que ocorre uma distinção nessas duas estações do ano em Manaus.

Nos 15 pontos estudados, observou-se que o primeiro grupo, composto pelos meses de maio a julho, apresentaram os menores níveis, com maior ocorrência de chuva e menores temperaturas. A média obtida foi de $167,81 \pm 7,43 \mu\text{g m}^{-3}$ de NO_2 . No segundo grupo, compreendido entre os meses de agosto a outubro, a média foi $245,91 \pm 9,51 \mu\text{g m}^{-3}$ de NO_2 . Nesse período, a incidência de chuvas foi menor e as temperaturas foram mais elevadas. Os níveis de NO_2 estão listados na Tabela 5.7 (Apêndice) e os dados meteorológicos na Tabela 5.8 (Apêndice).

4.3 CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS DADOS METEOROLÓGICOS

Na avaliação dos dados da concentração de NO_2 , agrupados com meses de amostragem no período de 2012, notaram-se similaridades e formação de dois agrupamentos já citados no item (4.2.2).

Os dados obtidos da estação meteorológica instalada na área de estudo e os fornecidos pelo INMET estão listados na Tabela 5.8 (Apêndice), os quais foram estudados em relação aos níveis de NO_2 . A partir dos dados meteorológicos comparados com os grupos do período

de maio a julho e de agosto a outubro, notou-se que a temperatura média permaneceu praticamente constante, para o primeiro período de $27,78 \pm 0,65$ °C e para o segundo de $29,02 \pm 0,49$ °C. A variação da umidade foi um pouco mais acentuada no período de maio a julho, com valores de $78,94 \pm 10,43$ % e no período de agosto a outubro com $73,27 \pm 31,06$ %. No primeiro período a quantidade de chuvas foi de 331,3 mm e no segundo período foi de apenas 151,5 mm. Esses índices pluviométricos caracterizam o período chuvoso (maio a julho) e não chuvoso (agosto a outubro).

A média da concentração de NO₂ nos pontos (1 a 8) localizados próximos a estação meteorológica foi de $242,36 \pm 7,8$ µg m⁻³ de NO₂ no período de maio a julho e de $444,92 \pm 8,27$ µg m⁻³ de NO₂ para o segundo período. Estes valores são os mais elevados quando comparados com os demais pontos de amostragem. Com estas observações, verifica-se uma tendência ao aumento dos níveis de NO₂ no segundo período, associados com as características de temperatura mais alta, umidade mais baixa e menor índice pluviométrico. Os dados apresentados nessa pesquisa confirmam a dificuldade de analisar a influência dos fatores meteorológicos na cidade de Manaus, conforme Marinho (2007) e Valois (2012) também observaram. Considerando-se que as variações nesses fatores são mínimas, utilizou-se o tratamento estatístico por análise exploratória multivariada como ferramenta auxiliar na compreensão das observações da interferência dos dados meteorológicos nos níveis de NO₂ no ano de 2012.

4.3.1 Influência das Condições Meteorológicas nos Níveis de NO₂

A análise exploratória multivariada foi feita correlacionando os dados dos níveis de NO₂ dos pontos de amostragem com os dados da estação meteorológica e do INMET. A

partir desses dados foi feito um estudo de agrupamento com os níveis de NO_2 obtidos no local do estudo.

Na estação meteorológica do INMET, obtiveram-se dados de radiação e insolação. Já na estação meteorológica, foram coletados os dados de temperatura, velocidade do vento, direção do vento, pluviosidade e umidade.

Tratando os dados por AHA, obtemos os resultados para agrupamento entre os níveis de NO_2 dos locais de amostragem com os dados meteorológicos obtidos conforme mostra a Figura 37.

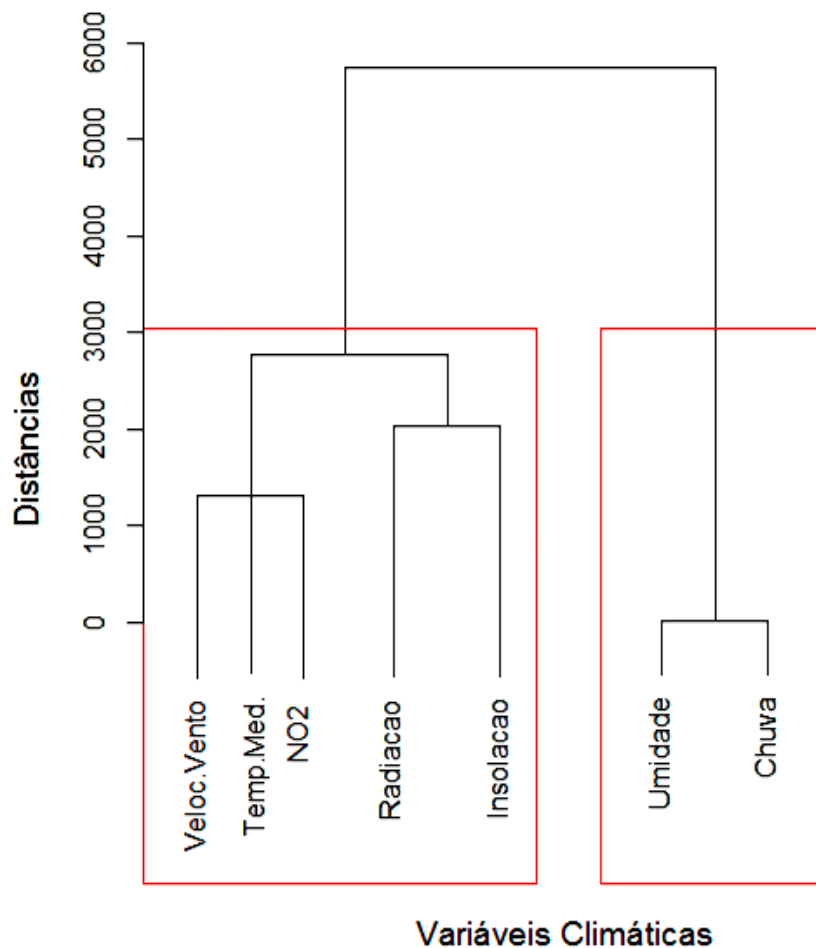


Figura 37. Dendrograma obtido a partir das concentrações de NO_2 do ponto de amostragem no período de maio a outubro de 2012 agrupadas com dados meteorológicas.

Na Figuras 37, observa-se a formação de dois grupos, onde se visualiza a maior correlação em relação à concentração de NO_2 com temperatura, e velocidade dos ventos do que com a umidade e com a pluviosidade.

Tomando-se por base os agrupamentos formados por AHA, é possível avaliar a influência de cada fator (temperatura, umidade, chuva, vento e radiação) da estação meteorológica nos níveis de NO_2 dos pontos de amostragem correlacionados à estação.

4.3.1.1 Efeito da Temperatura na Concentração de NO_2

Para avaliar a influência da temperatura sob a concentração de NO_2 , mostrada na Figura 38, buscou-se na Tabela 5.8 (Apêndice), que lista os dados meteorológicos o menor valor de temperatura (maio de 2012) e o maior valor (outubro 2012) e comparou-se com os níveis de NO_2 nos respectivos meses (maio e outubro). Observou-se que para o dado de maior temperatura tem-se também a tendência a níveis maiores de NO_2 . A variação da temperatura nos meses de maio a outubro de 2012 é mostrado na Figura 39. Pode-se observar que o comportamento da temperatura é proporcional aos níveis de NO_2 no local de estudo. Nos estudos de Valois (2012) e Marinho (2007), foi observado um comportamento similar no município de Manaus.

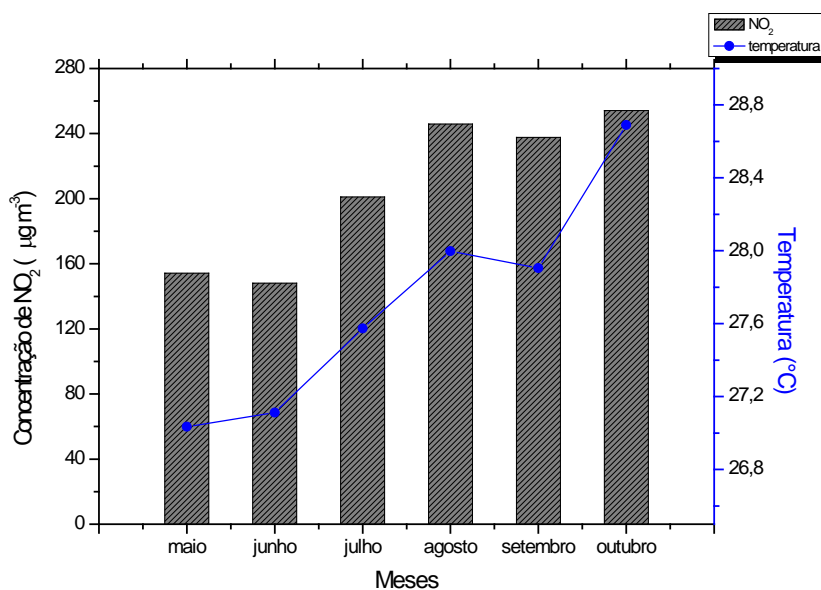


Figura 38. Variações da temperatura em relação à concentração de NO₂ no período de 2012.

Conforme Cruz e Campos (2002), os efeitos da temperatura sobre a concentração de NO₂ pode ser explicado baseando-se na relação da integração da 1ª Lei de Fick, já comentado no item (2.5.3.2). O coeficiente de difusão para um gás ideal é teoricamente proporcional a temperatura. Desta forma, a taxa de amostragem de NO₂ evolui com o aumento da temperatura devido à elevação do coeficiente de difusão.

Segundo Pires (2005), a temperatura vertical influencia as reações químicas atuando como catalisador e viabilizando a dispersão dos poluentes atmosféricos.

A geração de energia na UTE estudada e a variação da temperatura nos meses de maio a outubro de 2012 é mostrado na Figura 39. A Tabela 5.9 (Apêndice) lista os dados referentes à geração de energia.

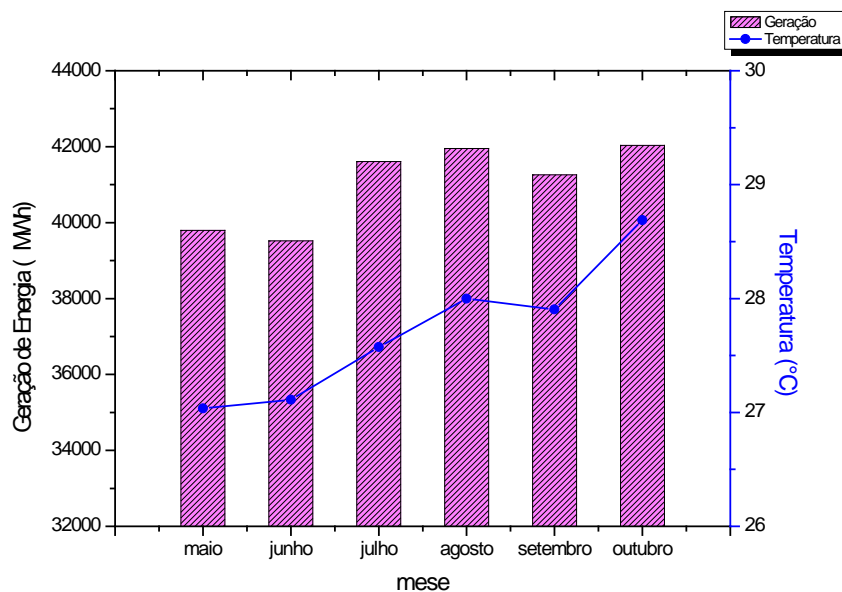


Figura 39. Geração de energia na UTE estudada e a variações da temperatura no período de 2012.

Analisando-se a Figura 39, pode-se notar que nos meses da “estação seca” com temperaturas mais elevadas ocorre um aumento no consumo de energia no município de Manaus, conforme os dados listados na Tabela 5.6 (Apêndice), ocasionando maior consumo de combustíveis na usina termelétrica de estudo. Este fato pode ter acarretado um acréscimo nas emissões de NO_2 nos meses de agosto a outubro na local.

4.3.1.2 Efeito da Pluviosidade nos Níveis da Concentração de NO_2

Segundo Loureiro (2005), o efeito da pluviosidade sobre poluentes atmosféricos depende da intensidade e do tempo de ocorrência, atuando na remoção desses da atmosfera.

A Figura 40 mostra o índice de pluviosidade nos meses de maio a outubro de 2012.

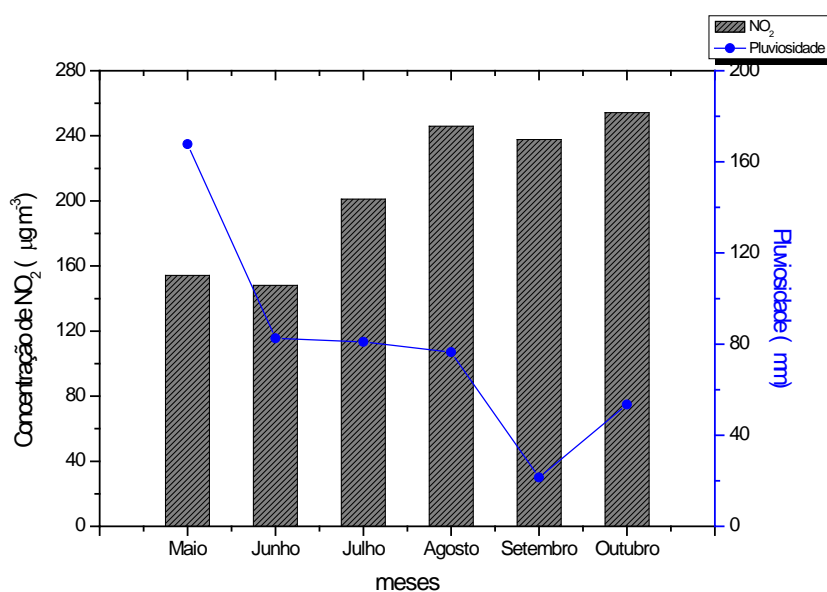


Figura 40. Índices pluviométricos e concentração de NO₂ obtidos no ano de 2012.

Analisando-se o índice pluviométrico mensal e a concentração de NO₂, mostrado na Figura 40, na estação chuvosa e na seca, pode-se verificar que a concentração de NO₂ tende a diminuir à medida que aumenta a quantidade de chuvas, provavelmente devido à ocorrência da dissolução do NO₂ pela água da chuva.

O número de chuva ácida aumenta na estação seca em Manaus, decorrentes da diminuição do índice pluviométrico associado às altas temperaturas, causando baixas umidades do ar. Os principais fatores deste acontecimento são o aumento de gases lançados na atmosfera. Portanto, o acréscimo da concentração NO₂ pode contribuir na formação destas chuvas na região.

4.3.1.3 Efeito da Umidade Relativa nos Níveis de NO_2

Durante o ano de 2012, obtiveram-se valores de umidade maiores no mês de outubro e menores no mês de maio. Comparando-se com os dados dos níveis de NO_2 com a umidade, pode-se verificar um comportamento inversamente proporcional dos níveis de NO_2 em relação à umidade. Para os maiores valores de umidade, têm-se os menores níveis de NO_2 , conforme é mostrado na Figura 41.

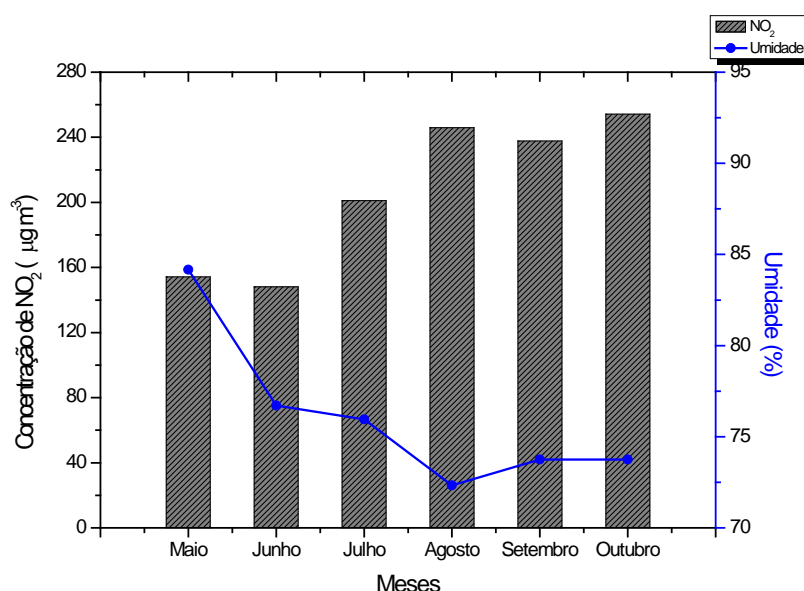


Figura 41. Variações da umidade em relação à concentração de NO_2 no período de 2012.

Avaliando-se a umidade, percebe-se que apresenta comportamento inversamente proporcional ao nível de NO_2 . No caso da temperatura ocorre o inverso. De acordo com Marinho (2007), a umidade não interfere no coeficiente de difusão para o NO_2 . No entanto, a diminuição do nível de NO_2 em altas umidades pode estar relacionada à quantidade de chuvas, já que o período mais úmido foi também o mais chuvoso.

Segundo Damilano (2006), a alta umidade nos poluentes propicia a formação de ácidos, promovendo um mecanismo de extração destes da atmosfera.

4.3.1.4 Efeito de Ventos nos Níveis de Concentração de NO₂

A velocidade e direção dos ventos interferem no alcance e na trajetória da concentração dos poluentes em torno das fontes que os emitem, conforme citado no item (2.4.3.3). Entretanto, conforme Cruz e Campos (2002), deve-se salientar que, a influência da velocidade do vento na diluição da concentração de poluentes atmosféricos, dependerá do método utilizado. De modo geral, em métodos ativos, uma amostra do ar é coletada através de uma bomba de sucção em um determinado momento, quanto maior a velocidade do vento menor será a concentração destes poluentes. No caso dos métodos passivos, as moléculas do ar entram pela abertura no dispositivo, capaz de reter de gases ou vapores por um material absorvente durante o período de exposição. Quanto mais elevada à velocidade do vento, maior será à entrada de ar no material absorvedor. Neste caso o aumento na velocidade dos ventos promove a elevação na coleta de gases pelos amostradores passivos, devido à diminuição do percurso de difusão.

A baixa velocidade do vento na face do amostrador pode relacionar-se à orientação do ar, ocasionando comprometimento no desempenho de um amostrador passivo. Segundo Cruz e Campos (2002), isso pode ser explicado em virtude de estagnação do ar na face externa do amostrador. O percurso de difusão efetivo pode aumentar conseqüentemente, diminuindo a velocidade de amostragem e gerando erros negativos.

Na Figura 37, observa-se que o vento e os níveis de NO₂ apresentam correlação acentuada. Verificou-se que quanto maior a velocidade do ar na face do amostrador, maior a quantidade de gás ou vapor na superfície do mesmo o que explica a correlação encontrada.

Avaliando-se a velocidade e a direção do vento nos meses de maio a outubro de 2012, notou-se pouca variação. A direção predominante do vento na área de estudo foi no sentido sudeste (44 %) e leste (19 %). Quanto à velocidade do vento a média foi de $1,75 \pm 0,25 \text{ m s}^{-1}$. As Figuras 42-47 mostram a variação da velocidade e direção do vento no período de 2012.

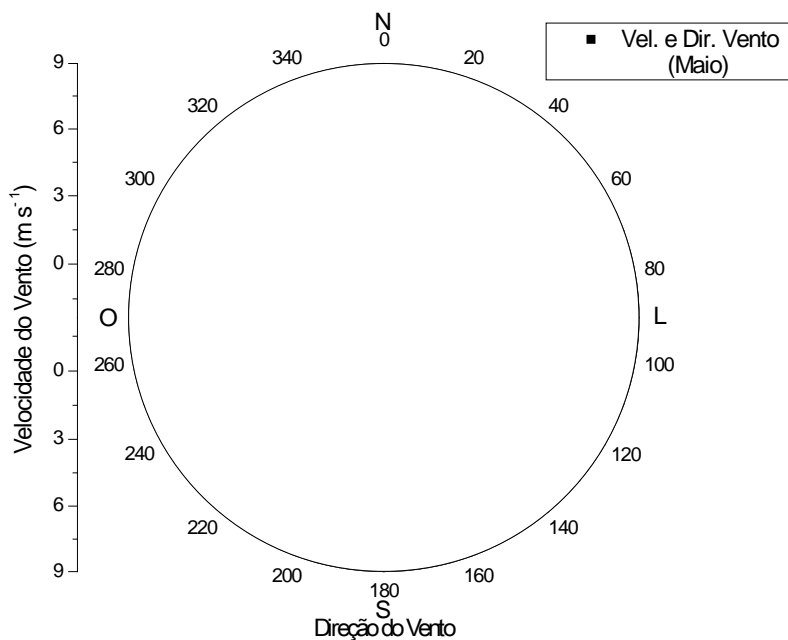


Figura 42. Variações da velocidade e direção do vento no mês de maio de 2012.

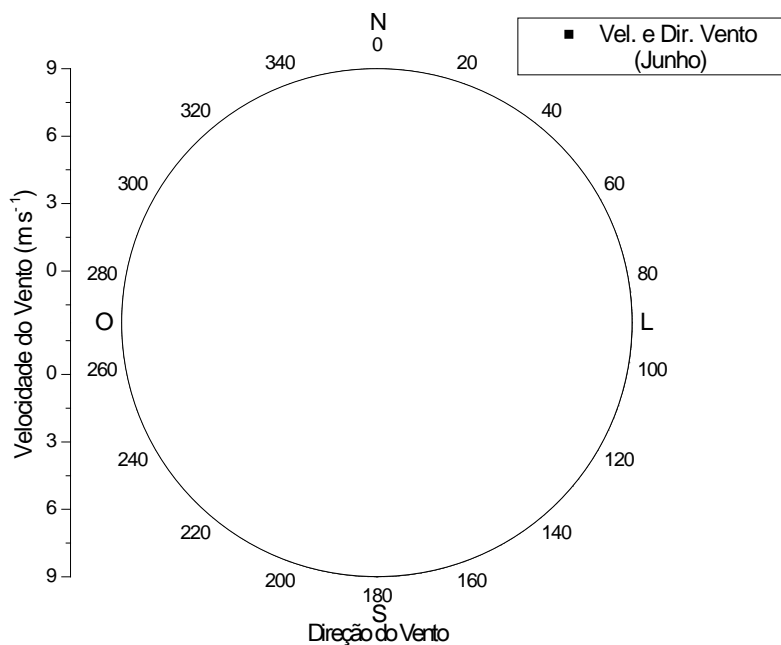


Figura 43. Variações da velocidade e direção do vento no mês de junho de 2012.

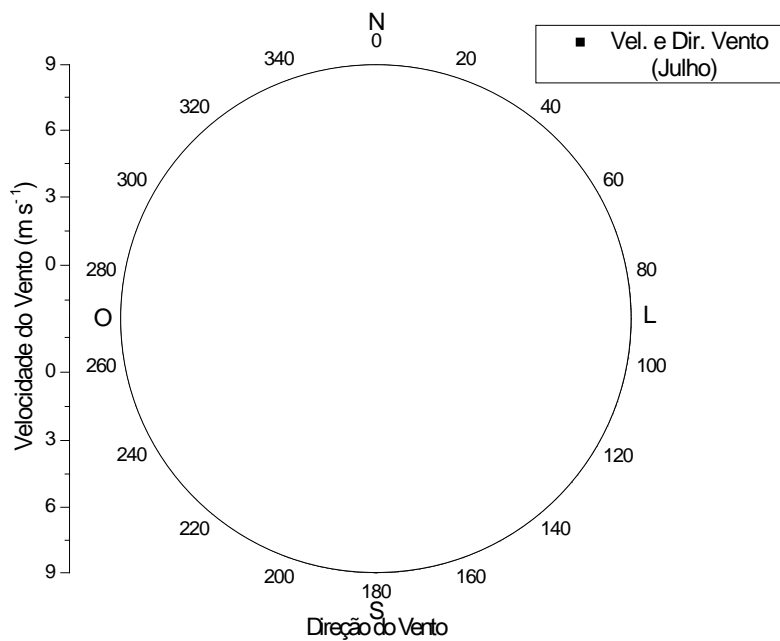


Figura 44. Variações da Velocidade e Direção do Vento no Mês de Julho de 2012.

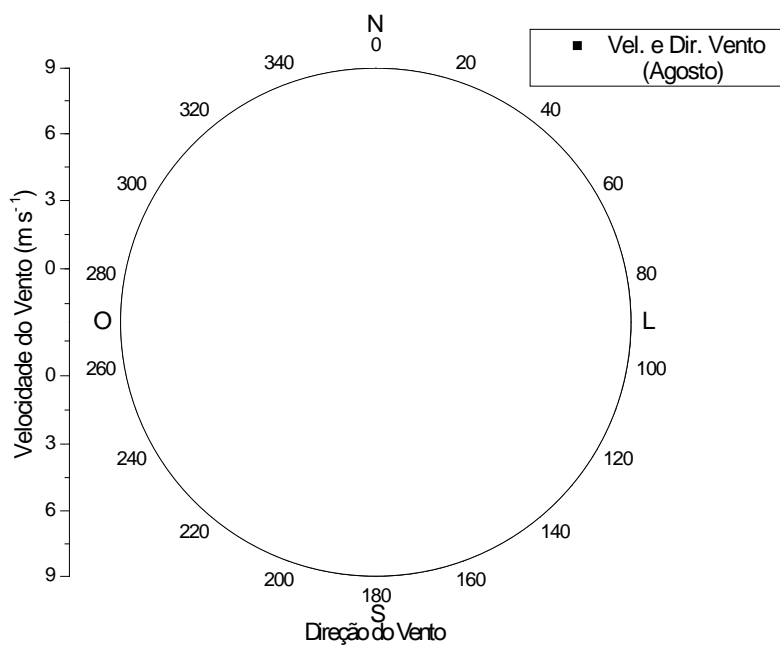


Figura 45. Variações da velocidade e direção do vento no mês de agosto de 2012.

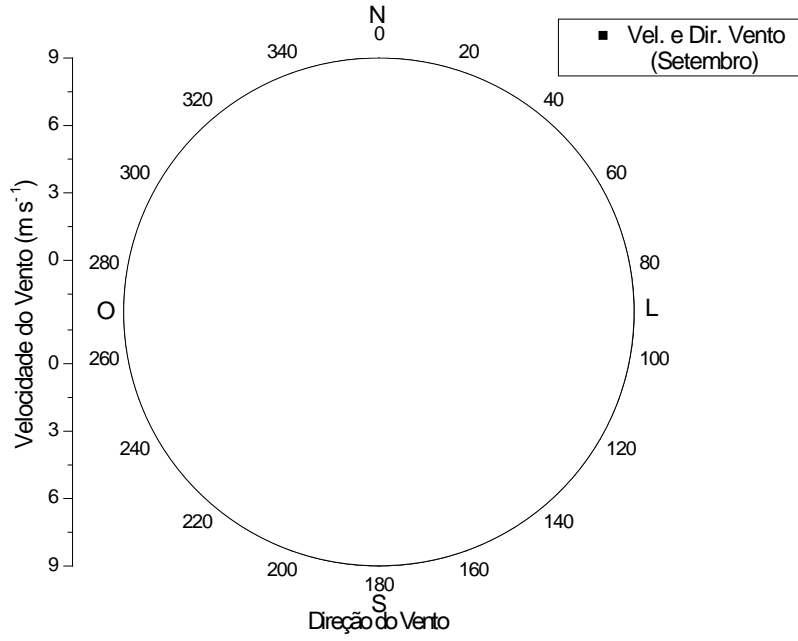


Figura 46. Variações da Velocidade e Direção do Vento no Mês de Setembro de 2012.

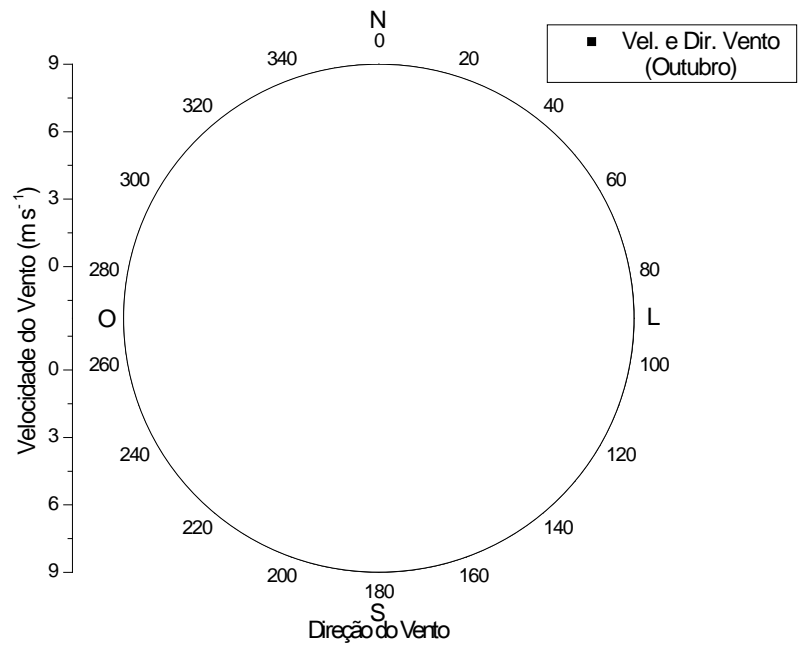


Figura 47. Variações da velocidade e direção do vento no mês de outubro de 2012.

No estudo de emissões dos poluentes lançados por usinas termelétricas, é essencial a compreensão da direção e velocidade do vento. Pode-se, desta maneira, entender o comportamento de dispersão deste no local monitorado. O alcance e a dispersão da pluma de poluente são diretamente proporcionais a direção e velocidade do vento, sendo considerados, para isso os fatores de relevo do terreno e tipos de edificações locais.

Observando-se a localização dos pontos e a direção do vento no local estudado, percebe-se que os pontos 12 (leste), 8 e 9 (sudeste) apresentam níveis mais baixos de NO_2 do que os pontos 13 (norte), 10 e 11 (oeste). Isso pode ser explicado em virtude da direção predominante do vento nesta área vir do sudeste e leste dispersando a pluma de poluentes nos sentidos noroeste e oeste.

4.3.1.5 Efeito da Radiação Solar e da Insolação nos Níveis de NO_2

A radiação solar fornece energia para desencadear uma série de reações fotoquímicas na atmosfera, interferindo na formação de NO_2 , conforme citado no item (2.4.1). Pode-se observar que, pontualmente, ocorreram variações nas concentrações de NO_2 de local para local. A explicação dessa variação pode ser atribuída à interação com outras substâncias dispersas no ar lançadas por fontes móveis e fixas, ocasionando a formação de poluentes secundários, e ainda ao tempo de residência do NO_2 ser muito curto na atmosfera. A presença de substâncias oxidantes influencia na dissociação do NO_2 , atuando nas cadeias de reações de oxidação primária, sendo responsáveis pela remoção deste na atmosfera. Conforme Damilano (2006), a radiação solar influencia na qualidade do ar devido à indução da formação dessas substâncias. A quantidade de radiação solar é diretamente proporcional ao índice de insolação, favorecendo, desta forma, a formação de substâncias fotoquímicas como o NO_2 .

A concentração de NO_2 é diretamente equivalente ao crescimento da radiação e insolação, conforme mostrado na Figura 37, onde se nota a correlação positiva destas com o NO_2 . A Figura 48 demonstra a variação da concentração de NO_2 com a radiação e com a insolação.

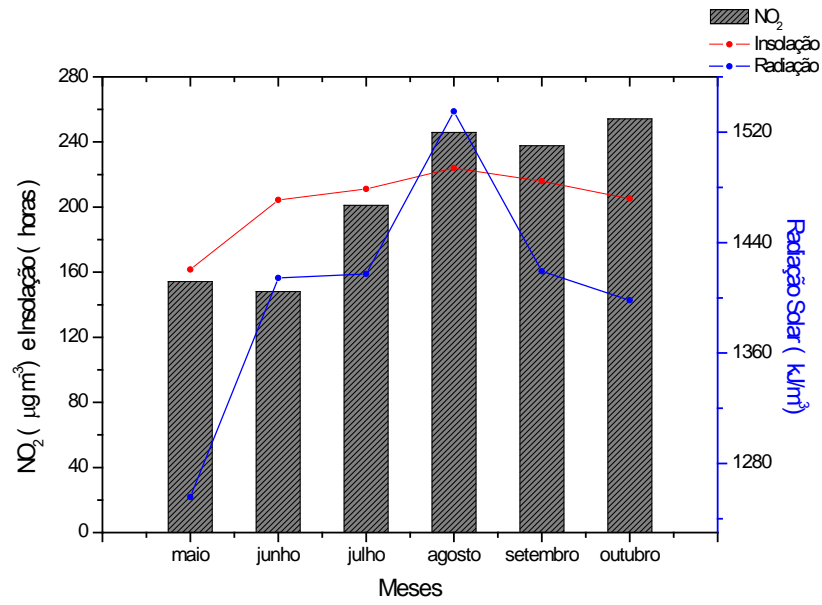


Figura 48. Variações da radiação solar e da insolação no mês de outubro de 2012.

Avaliou-se a maior concentração de NO_2 em relação aos maiores índices de radiação e insolação. Notou-se que a maior concentração ocorreu no mês de agosto, com maiores índices de radiação e insolação.

4.3.2 Análise Exploratória de ACP dos Níveis de NO₂ e Dados Meteorológicos

Na Figura 37, observando-se os níveis de NO₂, obtidos nos pontos de amostragem, agrupando-se com os dados meteorológicos, confirmando-se os efeitos de temperatura e umidade no aumento e/ou diminuição dos níveis de NO₂. Para análise dos dados meteorológicos, utilizou-se da técnica de análise multivariada de ACP, descrita no item (3.7.3). A Figura 49 mostra a magnitude dos componentes principais dos dados de NO₂ correlacionados com os dados meteorológicos.

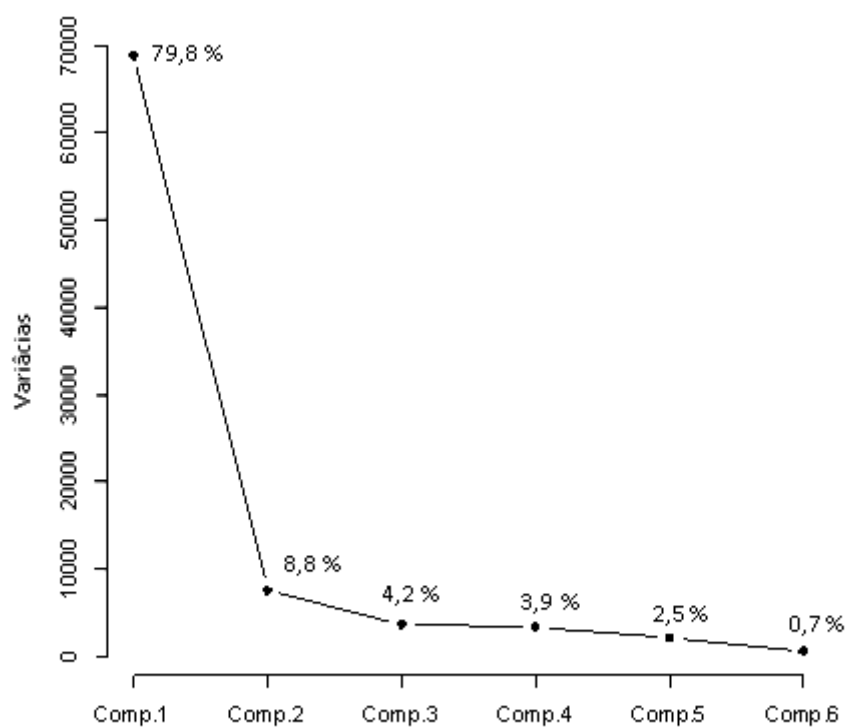


Figura 49. Autovalores (%) obtidos pelas CP's calculadas a partir das determinações de NO₂ nos pontos de amostragem agrupados com dados meteorológicos, no período de maio a outubro de 2012.

A magnitude das C.P.'s pode ser observada na Figura 49, a qual mostra que a maior parte da proporção da variância total é explicada pelas duas primeiras CP's e, principalmente pela primeira (79,8 %). Este fato pode ser observado analisando-se a Tabela 9.

Tabela 9. Magnitude das Componentes Principais para NO₂ correlacionados aos dados meteorológicos.

Comp. Principal	Variância	Proporção da Var. Total	Prop. Acum. da Var. Total
1	262,422	0,798	0,798
2	87,135	0,088	0,886
3	60,398	0,042	0,929
4	57,907	0,039	0,968
5	46,740	0,025	0,993
6	24,763	0,007	1,000

Conforme foi descrito no item (2.5.4) e de acordo com Marinho (2007), para um grupo com menos de 50 amostras, só autovalores acima de 1,0 podem ser explicados com certeza. A CP₁, apresentada na Figura 49 indica uma variação percentual em torno de 79,8 % da variância total dos dados. A explicação nos efeitos dos níveis de NO₂ é atribuída a um dos componentes que possui porcentagem maior que 70 %, confirmando o que foi descrito no item (3.3.1.2), os fatores meteorológicos contribuem com significativa magnitude na influência dos dados de NO₂.

Para avaliar os componentes principais de cada grupo, procedeu-se estudando os autovalores e variância por agrupamento. As Figuras 50, 51 e 52 mostram as variâncias e os autovalores calculados para as CP's, obtidos através dos níveis de NO₂, dos pontos de amostragem dos grupos (A, B e C), correlacionados aos dados meteorológicos.

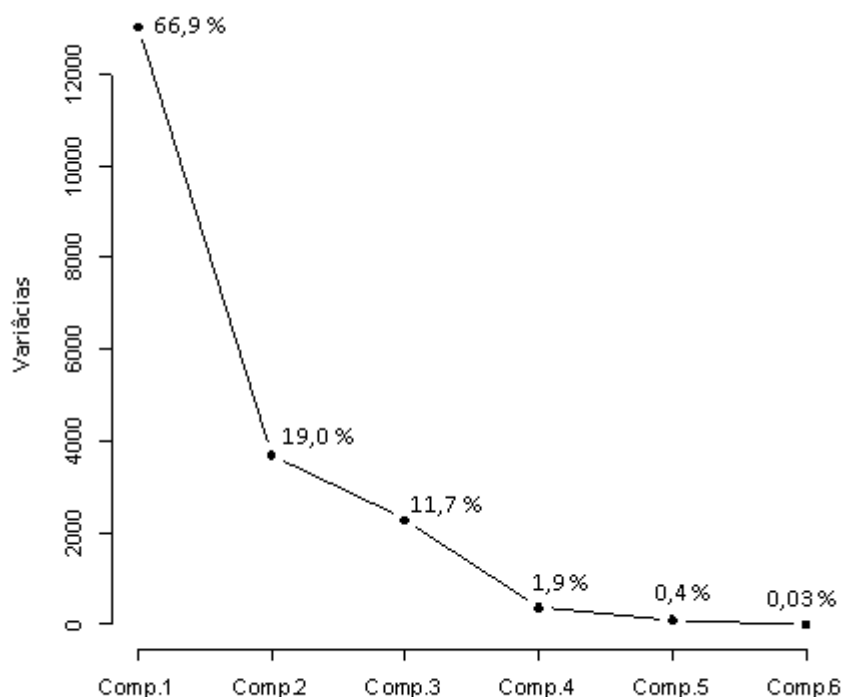


Figura 50. Autovalores (%) obtidos pelas CP's calculadas a partir das determinações de NO₂ do grupo A agrupados com dados meteorológicos, no período de maio a outubro de 2012.

Os autovalores e a magnitude das C.P.'s podem ser observadas na Figura 50, demonstrando que a maior parte da proporção da variância total é explicada pelas duas primeiras CP's e essencialmente pela primeira (66,9 %). Pode-se analisar os autovalores na Tabela 10.

Tabela 10. Magnitude das Componentes Principais para NO₂ do Grupo A correlacionados aos dados meteorológicos.

Comp. Principal	Variância	Proporção da Var. Total	Prop. Acum. da Var. Total
1	114,127	0,669	0,669
2	60,817	0,190	0,859
3	47,785	0,117	0,976
4	19,190	0,019	0,995
5	9,341	0,004	0,999
6	2,304	0,0003	1,000

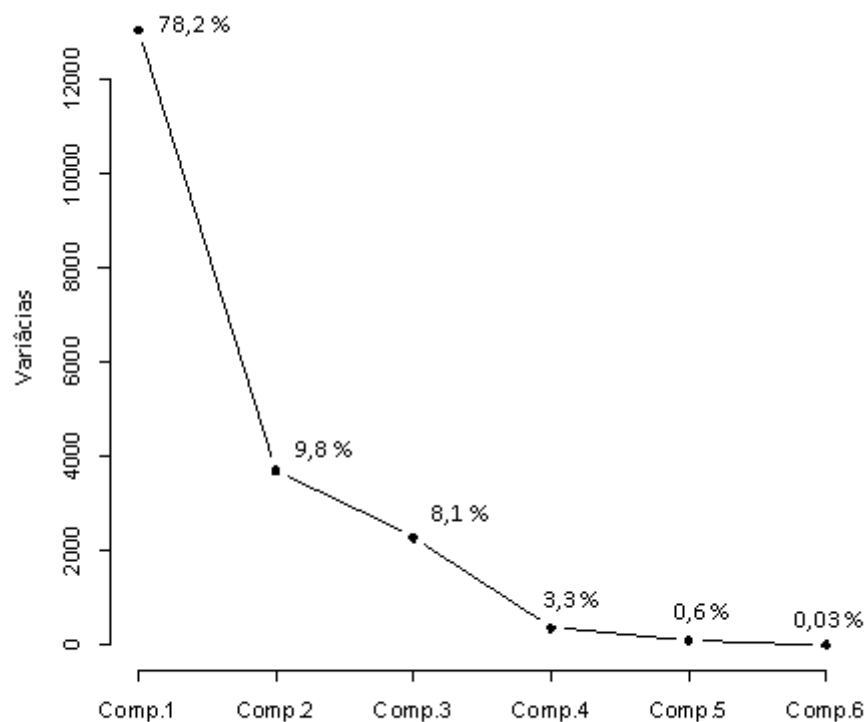


Figura 51. Autovalores (%) obtidos pelas CP's calculadas a partir das determinações de NO₂ do grupo B agrupados com dados meteorológicos, no período de maio a outubro de 2012.

A magnitude das C.P.'s pode ser observada na Figura 51, mostrando que a maior parte da proporção da variância total é explicada pelas duas primeiras CP's e, principalmente pela primeira (78,2 %). Este fato pode ser observado analisando-se a Tabela 11.

Tabela 11. Magnitude das Componentes Principais para NO₂ do Grupo B correlacionados aos dados meteorológicos.

Comp. Principal	Variância	Proporção da Var. Total	Prop. Acum. da Var. Total
1	165,935	0,7820	0,782
2	58,598	0,0980	0,880
3	53,227	0,0810	0,960
4	34,323	0,0330	0,994
5	14,193	0,0060	0,999
6	3,288	0,0003	1,000

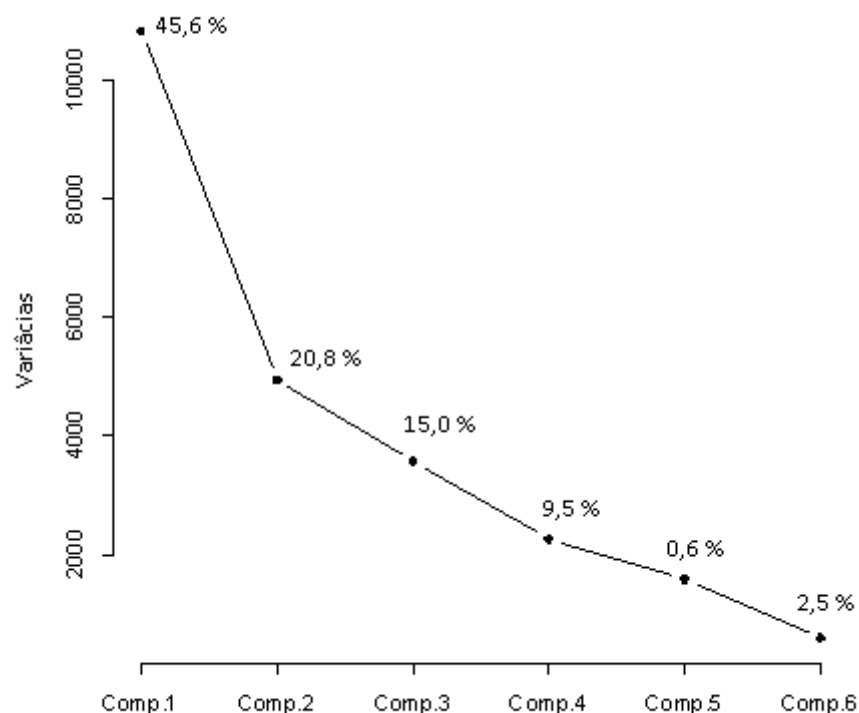


Figura 52. Autovalores (%) obtidos pelas CP's calculadas a partir das determinações de NO₂ do grupo C agrupados com dados meteorológicos, no período de maio a outubro de 2012.

Observando-se a magnitude das C.P.'s da Figura 52, nota-se que apenas uma parte da proporção da variância total é explicada pelas duas primeiras CP's e, especialmente pela primeira (45,6 %). Os componentes principais podem ser observados na Tabela 12.

Tabela 12. Magnitude das Componentes Principais para NO₂ do Grupo C correlacionados aos dados meteorológicos.

Comp. Principal	Variância	Proporção da Var. Total	Prop. Acum. da Var. Total
1	103,996	0,456	0,456
2	70,291	0,208	0,664
3	59,701	0,150	0,814
4	47,446	0,095	0,908
5	39,715	0,066	0,975
6	24,281	0,025	1,000

A Tabela 13 mostra os coeficientes de correlação dos dados meteorológicos com os níveis de dióxido de nitrogênio no entorno de uma usina termelétrica em Manaus-AM no período de 2012.

Tabela 13. Coeficientes de Correlação Linear entre NO₂ e as Variáveis Climáticas.

	NO ₂	Umidade	Temp.	Vel. Vento	Chuva	Insol.	Radia.
NO ₂	-						
Umidade	-0,85	-					
Temp. Min.	0,71	-0,69					
Temp. Med.	0,70	-0,79	-				
Temp. Max.	0,68	-0,85	0,98				
Vel. Vento	0,91	-0,53	0,88	-			
Chuva	-0,55	0,16	-0,40	-0,51	-		
Insolação	0,62	-0,51	0,61	0,78	-0,75	-	
Radiação	0,59	-0,56	0,53	0,69	-0,58	0,95	-

Observando-se a Tabela 9, o valor negativo ou positivo mais próximo de 1 indica maior correlação entre as variáveis. Pode-se notar que a maior correlação em relação à concentração de NO₂ foi atribuída a umidade e a velocidade do vento. A umidade demonstrou correlação negativa em relação aos dados de NO₂, apresentando comportamento inversamente proporcional. Já a velocidade do vento apresenta correlação positiva. A análise de coeficiente de correlação linear e a AHA coincidiram na formação de dois grupos: diretamente proporcional, como a velocidade do vento, temperatura radiação e insolação; e inversamente proporcional, como a umidade e a pluviosidade. Entretanto, o coeficiente de correlação linear permite a identificação em valores das variáveis com maior correlação com NO₂ e, nesse caso, o grau de maior influência na concentração de NO₂ foi atribuído à velocidade do vento seguido pela umidade.

4.4 COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS DE NO₂ COM OS PADRÕES DO CONAMA E DA OMS

O dióxido de nitrogênio é um poluente ambiental, apesar disso, desempenha um papel relevante na formação do ozônio, aldeídos e compostos orgânicos nitrogenados. A importância do NO₂ é descrita no item (2.4.3). Entretanto, os níveis da concentração de NO₂ devem ser observados e controlados. Altos níveis causam comprometimento da saúde que podem acarretar a morte, citado no item (2.4.5). Os níveis destes devem estar em conformidade com os padrões nacionais para a qualidade do ar.

A legislação brasileira monitora as emissões dos poluentes oriundos de fontes fixas e móveis, comentado no item (2.3.3). O monitoramento da qualidade do ar é estabelecido pela Resolução CONAMA n°. 003/90 já citada no item (2.5.2), a qual estipula os limites máximos de concentração de poluentes, com a finalidade de assegurar a prevenção da degradação da qualidade do ar.

Comparou-se a concentração de NO₂ com os padrões CONAMA e OMS. Os padrões OMS foram incluídos por serem adotados pelo Conselho Estadual do Meio Ambiente (COSEMA) em São Paulo e, espera-se que esse padrão seja em breve adotado em todo o País. As normas brasileiras adotam os padrões do CONAMA que são menos rígidos. Segundo as pesquisas da OMS, divulgada em relatório oficial, a carga de enfermidades causadoras de mortes prematuras pode ser atribuída, a cada ano, aos efeitos da contaminação do ar. Por esse motivo, os padrões da OMS são mais rígidos.

As médias da concentração de NO₂, por ponto de amostragem, nos meses de maio a outubro de 2012, e a comparação com os padrões do CONAMA e da OMS, estão demonstradas na Figura 53.

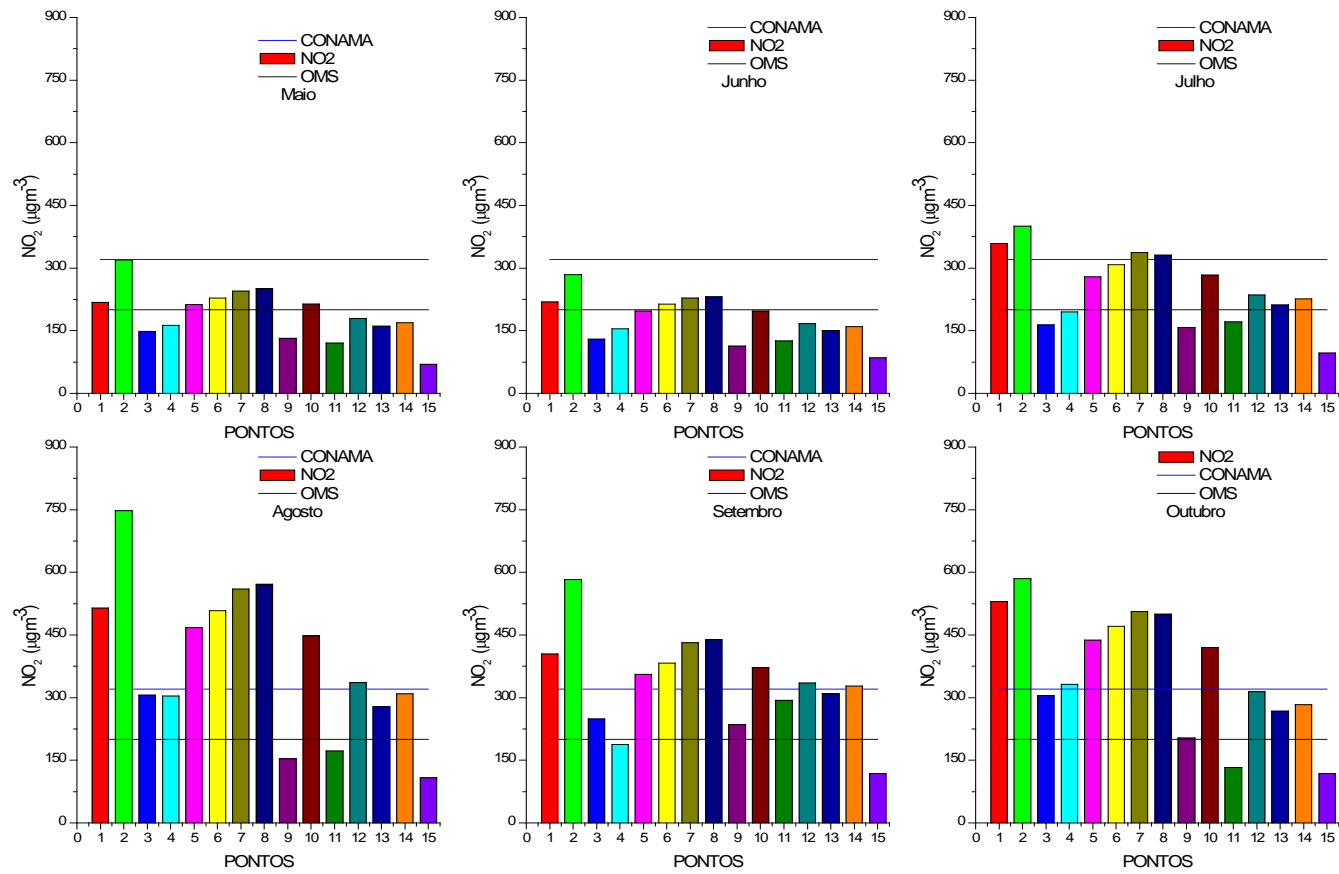


Figura 53. Variações da concentração de no₂ e comparação com os padrões CONAMA e OMS no mês de maio a outubro de 2012.

Os locais de amostragem foram analisados por agrupamento, conforme já foi descrito no item (4.2.1). Os níveis mais elevados de NO₂ foram atribuídos ao grupo A, que representam as fontes de emissão principal da pesquisa. O nível mínimo de NO₂ nesse grupo foi de 218,16 µg/m³ e o máximo de 747,93 µg/m³. A média geral de NO₂ desse grupo foi de 430,40 ± 8,42 µg m⁻³. Esse valor ultrapassa tanto os padrões do CONAMA de 320µg/m³ como da OMS de 200 µg/m³, nos meses de julho a outubro. Os pontos 5, 6, 7, 8, e 10 excederam o padrão da OMS em praticamente todos os meses. E os pontos 11, 12, 13 e 14 a partir do mês de julho extrapolaram os padrões da OMS. Apenas o ponto 15 encontrou-se nos limites toleráveis dos padrões tanto do CONAMA como da OMS.

Os níveis mais baixos atribuíram-se aos pontos 6, 8, 11, 12 e 15 (componentes do grupo B) com a maior média de NO₂ de 559,79 µg m⁻³ em um reservatório de água no terreno da usina (ponto 6) e a menor média de NO₂ de 69,36 µg m⁻³ (ponto 15) no mês de maio em uma residência de um condomínio situado no bairro da Ponta Negra. Os padrões CONAMA e OMS foram excedidos nesse grupo, com maior incidência nos meses de agosto e outubro.

Os níveis de NO₂ dos pontos 3, 4, 7, 9, 10, 13, e 14 (integrantes do grupo C) apresentam valores mais elevados que no grupo B. A maior média foi de 571,09 µg m⁻³ de NO₂ no terreno da usina (ponto 7) no mês de agosto. Já a menor foi de 131,23 µg m⁻³ de NO₂ em uma residência no Jardim Mauá (ponto 9) no mês de maio. As ultrapassagens dos padrões CONAMA e OMS, nesse grupo também ocorreram com maior frequência a partir do mês de julho a outubro.

Para se avaliar a qualidade do ar no local de estudo em relação à concentração de NO₂, comparou-se a média geral desse poluente com os padrões do CONAMA e da OMS. A média da concentração geral de amostragem foi de 206,86 ± 8,43 µg m⁻³ de NO₂. De modo geral, este nível encontra-se dentro dos padrões do CONAMA, porém fora dos limites aceitáveis do padrão da OMS.

As fontes de emissão provenientes da UTE estudada mostraram a média da concentração de $430,40 \mu\text{g m}^{-3}$. Como já foi comentado, este índice não está em conformidade com os padrões do CONAMA e da OMS. Já a média da concentração de NO_2 em relação ao entorno da UTE estudada foi de $173,27 \mu\text{g m}^{-3}$. Este nível encontra-se dentro dos padrões tanto do CONAMA como da OMS. Comparando-se o nível da concentração de NO_2 nas fontes de emissão da UTE com o encontrado no entorno desta área, percebe-se que as emissões desta fonte são significativas nos níveis de NO_2 no entorno da UTE.

4.5 AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE DIÓXIDO DE NITROGÊNIO

A média geral dos níveis da concentração de NO_2 por amostragem passiva no entorno de uma usina termelétrica, em Manaus, no ano de 2012, foi de $206,86 \pm 8,43 \mu\text{g m}^{-3}$. O nível da média mínimo de NO_2 foi de $85,18 \mu\text{g m}^{-3}$ e o máximo de $747,93 \mu\text{g m}^{-3}$. Os valores mais baixos da concentração de NO_2 relacionam-se ao período chuvoso ($84,52 \pm 68,08 \text{ mm}$) com temperaturas médias mais baixas ($27,78 \pm 0,65 \text{ }^\circ\text{C}$), umidade média mais elevada ($78,94 \pm 10,43 \%$), radiação solar ($1.362,50 \text{ kJ/m}^2$) e insolação ($192,4 \text{ h}$) mais baixas. Comparando-se com os meses menos chuvosos ($50,50 \pm 27,91 \text{ mm}$) de agosto a outubro, obtiveram-se temperaturas mais elevadas ($29,09 \pm 0,49 \text{ }^\circ\text{C}$) e umidades mais baixas ($74,27 \pm 31,06 \%$), radiação solar ($1.450,81 \text{ kJ/m}^2$) e insolações ($215,0 \text{ h}$) mais altas. A variação dos níveis da concentração de NO_2 , na estação chuvosa e seca (menos chuvosa), está ilustrada na Figura 54.

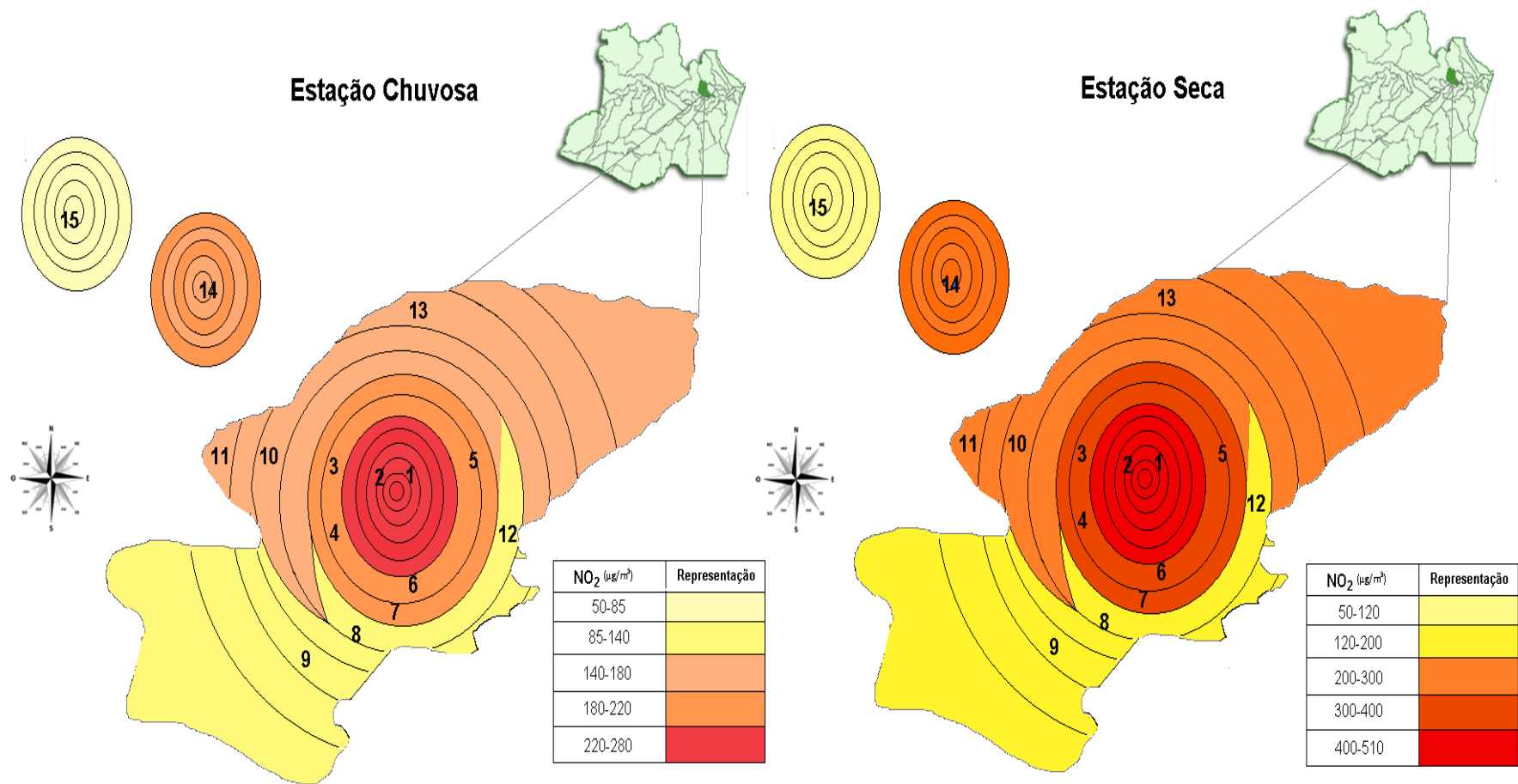


Figura 54. Níveis e distribuição da concentração de NO₂ em µg m⁻³ obtidos por amostragem passiva representados por gradiente de coloração, obtidos em 15 pontos da cidade de Manaus: a) Estação Chuvosa: período de maio a julho de 2012; b) Estação Seca: agosto a outubro de 2012. Pontos de amostragem: Pontos de Emissão da UTE: 1, 2. Pontos dentro da UTE: 3, 4, 5, 6, 7 e 8. Pontos no Entorno da UTE: 9, 10, 11, 12, 13. Pontos de Referência: 14 e 15.

O estudo da concentração de NO_2 no entorno de uma usina termelétrica organizou-se em três agrupamentos, distintos por locais e características de similaridades. Os maiores níveis de NO_2 foi atribuída à queima de combustíveis fósseis para produção de energia pelas usinas termelétricas situadas no local de estudo. A quantidade dos combustíveis usados por essa usina está listada na Tabela 5.9 (Apêndice). A Figura 55 mostra a correlação entre a quantidade de combustível consumido e os níveis de NO_2 .

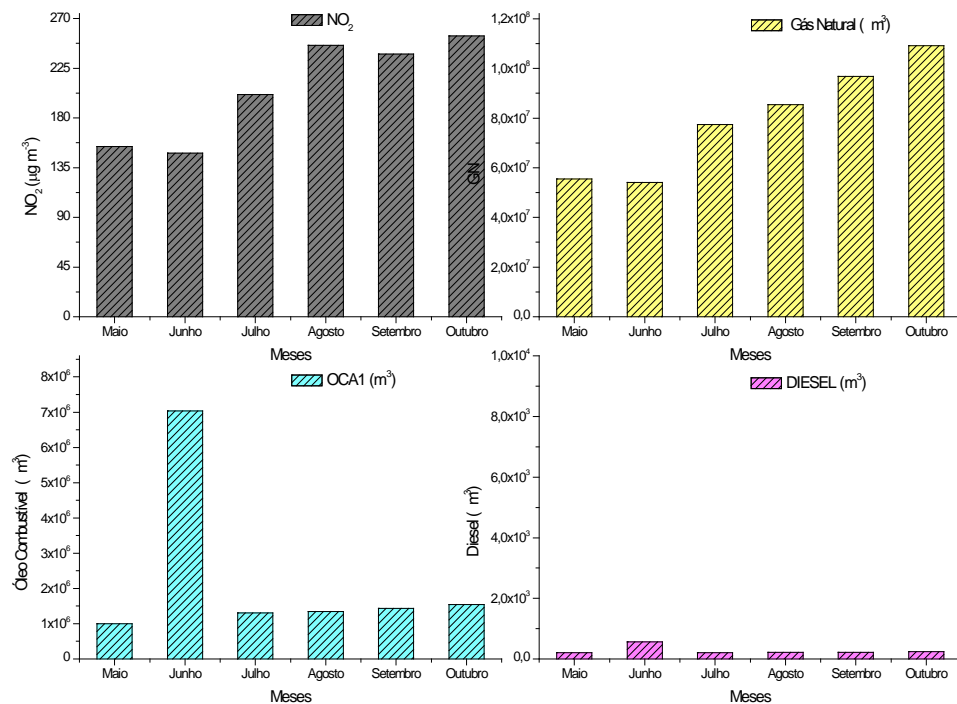


Figura 55. Correlação da quantidade e tipo de combustível queimado na usina termelétrica com o NO_2 .

Analisando a Figura 55, pode-se notar que o tipo de combustível pode ter contribuição na concentração de NO_2 no local de estudo, especialmente em relação ao gás natural. O combustível mais usado na usina de estudo foi o gás natural. Entretanto, o óleo combustível

tipo A1 (OCA1) e o óleo diesel também foram utilizados em menor quantidade no período da pesquisa.

Conforme já discutido no item (2.2.3), o teor de nitrogênio no gás natural, consumido no estado do Amazonas é bastante elevado (20 %). Dados experimentais testados por Rangel e Büchler (2005), mostraram redução nas emissões de 21 % a menos quando o teor de nitrogênio no gás natural foi aumentado de 1 % para 20 %. Isso pode ser explicado em virtude da redução da temperatura interferir na concentração máxima de oxigênio atômico (O) e o radical hidroxila (OH) na zona de combustão, causando a redução da transferência de calor pela perda de energia influenciando as reações de recombinação das espécies instáveis (O, H, OH e HO₂), que comprometem na formação de NO₂. As reações do NO₂ na atmosfera estão comentadas no item (2.4.2). Apesar disso, segundo Chaim e Lacava (2005), a quantidade de nitrogênio pode afetar a capacidade calorífica do combustível, promovendo ineficiência na combustão. Essa informação é confirmada por Rangel e Büchler (2005), em que destaca que a utilização do gás natural, com alto teor de nitrogênio, interfere na temperatura de combustão, diminuindo a eficiência do combustível. Desta forma, usa-se maior quantidade de combustível para obter a mesma eficiência térmica quando o gás natural apresentar uma concentração de nitrogênio mais elevada.

Em quantidades menores na usina termelétrica, onde se deu a pesquisa, são consumidos o óleo combustível e o óleo diesel. Segundo Andrade (2010), o óleo diesel contribui com maior quantidade de NO_x que o óleo combustível, pois sua temperatura de combustão é mais elevada. Quanto maior a temperatura maior a probabilidade de emissão de NO_x. O óleo diesel é acrescido de 3 % de biodiesel o que reduz as emissões de SO_x e CO_x, conforme comentado no item (2.2.3.1). A presença de biodiesel no óleo diesel possibilita maiores emissões de NO_x, devido sua composição apresentar quantidade significativas de nitrogênio.

A Figura 56 mostra os níveis de NO₂ e a geração de energia na UTE estudada.

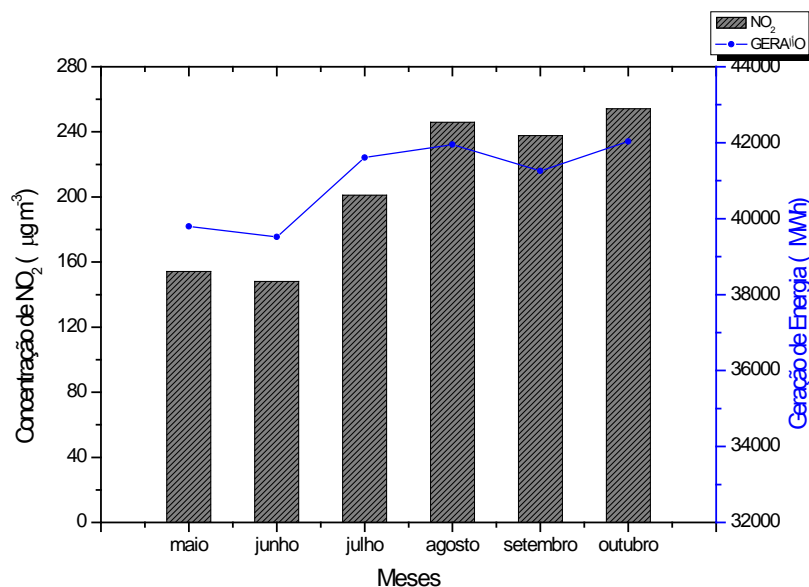


Figura 56. Correlação da quantidade e tipo de combustível queimado na usina termelétrica com o NO₂.

Pode-se notar que nos meses que correspondem a “estação seca” (agosto a outubro) com temperaturas mais elevadas houve maior geração de energia na usina termelétrica de estudo. Conseqüentemente, os níveis de NO₂ foram os mais elevados, conforme demonstrado na Figura 56. Analisando-a, percebe-se que o aumento na geração de energia apresenta correlação com os níveis de NO₂ nos locais de estudo.

Os índices da concentração de NO₂, agrupados no grupo A, compreendem os maiores níveis da concentração de NO₂. O agrupamento B consta os menores níveis da concentração de NO₂ de 135,64 µg m⁻³. Já os componentes do agrupamento C compreendem os níveis intermediários da concentração de NO₂ de 197,43µg m⁻³. Analisando-se em linhas imaginárias verticais, a partir dos pontos instalados nas chaminés da usina no sentido sul, confirmou-se a aumento na concentração de NO₂. O ponto 12 apresentou uma concentração baixa, apesar de sua localização ser próxima a usina termelétrica. Esse caso pode ser

explicado devido à localização da usina e do ponto 12 está em um terreno ondulado, sendo a usina instalada na parte alta e a empresa Scorpions na parte baixa, portanto a hipótese mais provável é que a pluma de poluente passe por cima dessa área.

O ponto 15 apresentou os menores índices de NO_2 , usado como referência de pouca interferência urbana por ser uma área com baixa influência de queima de combustíveis fósseis veiculares e energéticas, porém apesar de níveis mais baixos que nos demais pontos, apresentaram similaridades com os pontos próximos a usina termelétrica. Esse comportamento pode ser explicado devido ao aumento de tráfego veicular, principalmente nos finais de semana naquela região. Segundo Souza *et al.* (2009) a maior contribuição no aumento da concentração de NO_2 é atribuída ao constante aumento da frota veicular. Marinho (2007) usou um ponto de referência próximo a essa área em 2006, encontrando índices baixíssimos em relação ao NO_2 . Desde 2006 até 2012 a frota veicular cresceu exponencialmente em Manaus, possibilitando que este ponto tenha evoluído para apresentar níveis mais elevados.

O ponto de Referência (ponto 14) de Influência veicular, localizado no terreno do INMET, possibilitou a comparação entre uma área com alto índice de usinas termelétricas e uma com intenso tráfego veicular. E pode-se notar que o nível da concentração de NO_2 , na área de intenso tráfego veicular, é equiparativo com os níveis encontrados na região com usinas termelétricas. Como pode ser o caso do Centro de Distribuição do DB (ponto 13), apesar da distância da usina termelétrica, instalado a mais de 1,0 Km da usina de estudo, a concentração de NO_2 , nesse ponto, foi similar a do ponto (3), localizado a 123 metros das chaminés da usina termelétrica.

No entorno da usina termelétrica, notou-se a dispersão dos níveis de NO_2 . Observou-se que houve influência da direção do vento. No sentido da maior predominância dos ventos, 44 % sudeste e 19 % leste, notou-se neste sentido proporcionalidade da evolução da

concentração de NO₂. No entanto, no estudo da dispersão de gases poluentes na atmosfera, há muitas incertezas e variáveis que devem ser consideradas, tornando a pesquisa cercada de incógnitas. Os dados referentes às concentrações de NO₂, coletados por amostragem passiva e condições meteorológicas verificadas no período da pesquisa, apresentaram um comportamento heterogêneo para cada mês.

Avaliando-se os fatores que podem ter influenciado nos níveis da concentração de NO₂, percebe-se que em virtude da localização dos amostradores passivos ter sido instalado muito próximo das chaminés da usina termelétrica e nessa área existirem mais três outras usinas termelétricas, a maior contribuição nos níveis encontrados nessa área é conferida a essas fontes. Porém, não foi possível mensurar individualmente e no montante o grau de contribuição da usina de estudo e das outras usinas nesses níveis de NO₂, havendo também nesta região o subsídio das cargas das emissões veiculares no local de estudo.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A pesquisa desenvolvida representa uma aplicação à escala urbana e industrial. O método de amostragem passiva por difusão revelou ser vantajoso no cumprimento do objetivo de avaliar os níveis da concentração de dióxido de nitrogênio no entorno de uma usina termelétrica em Manaus-AM.

Apesar do método utilizado não possibilitar a identificação da variação de concentração de dióxido de nitrogênio ao longo do dia, a pesquisa demonstrou a eficiência e simplificada aplicabilidade desta metodologia, na obtenção de concentrações médias em período de 30 dias. Em regiões que não dispõem de qualquer tipo de monitoramento da qualidade do ar, o amostrador passivo pode cumprir um papel fundamental nesse diagnóstico, ou seja, no levantamento espacial de locais sem histórico de monitoramento do ar, mostrando as concentrações, o transporte e diluição no processo de dispersão dos poluentes. Além disso, a técnica de amostragem passiva permitiu trabalhar com grande quantidade de pontos de amostragem, possibilitando observar a influência de fontes direta de emissão.

Os níveis médios da concentração de NO_2 , nos 15 pontos de amostragem, variaram de $99,42 \mu\text{g m}^{-3}$ a $486,57 \mu\text{g m}^{-3}$. A média da concentração de NO_2 , dos 15 pontos de amostragem, foi de $206,86 \mu\text{g m}^{-3}$ com o valor da mediana de $167,51 \mu\text{g m}^{-3}$ e desvio padrão $127,46 \mu\text{g m}^{-3}$. Estes níveis encontram-se em conformidade do padrão normalizado pela resolução CONAMA 003/90, porém acima dos padrões estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde. A diferença entre os valores da mediana e da média identificam indícios de distribuições assimétricas nos níveis de NO_2 . Além disso, o valor elevado do Desvio Padrão é indicativo da ampla dispersão dos dados. O limite de detecção para o método usado foi de $7,59 \mu\text{g m}^{-3}$.

A concentração média de NO_2 por amostragem ativa foi de $279,44 \mu\text{g m}^{-3}$. A diferença média entre as medições efetuadas por amostragem ativa e passiva no período de estudo foi de

26 % sendo a diferença média de $72,58 \mu\text{g m}^{-3}$. Segundo Bucco (2011), que realizou balizamento similar, confirmou-se que o resultado do método é confiável.

A análise exploratória dos níveis de NO_2 mostrou que esses níveis sofrem interferência dos locais de amostragem que podem ser menor ou maior de acordo com a localização do ponto e o período do ano. Observaram-se valores mais elevados para os pontos de amostragem localizados na área da usina termelétrica de estudo, onde há maior concentração de queima de combustíveis fósseis.

Os pontos localizados no entorno da usina termelétrica, apresentam valores intermediários de concentração de NO_2 confirmando-se a presença de emissão de NO_2 devido à pluma de poluentes oriundas das chaminés das usinas termelétricas do bairro do Mauzinho em Manaus-AM.

Em pontos no entorno da usina termelétrica no sentido de norte para sul à medida que a distância aumentou das chaminés a concentração de NO_2 cresceu. Observaram-se níveis intermediários de concentração que podem estar relacionados com a localização devido à interferência do grau de alcance da pluma das outras usinas termelétricas. E no ponto localizado no bairro de Adrianópolis (INMET), onde há tráfego de alto fluxo de veículos leves, observaram-se níveis muito próximos de concentração dos encontrados na área da usina termelétrica, podendo estar relacionado com a localização próxima à região sob influência de emissões veiculares, mostrando que este tipo de emissão contribui equivalentemente para o aumento dos níveis de NO_2 .

O menor nível encontrado para o ponto localizado no bairro da Ponta Negra confirma a diminuição da concentração de NO_2 em locais onde há pouca influência urbana. O tratamento de dados mostrou que este ponto é diferente de todos os demais, porém esta diferença não é muito grande. Podendo assim, ser considerado como ponto de referência em

Manaus, porém demonstra que apesar da distância da usina termelétrica de estudo, outras fontes podem interferir na concentração de NO₂.

O tratamento estatístico dos dados meteorológicos agrupados com os níveis de NO₂ em Manaus mostrou que fatores como a umidade e velocidade dos ventos podem interferir diretamente na concentração. Menor influencia foram atribuídas à temperatura, radiação solar e insolação, porém significativas no estudo da concentração de NO₂.

A análise exploratória indicou que em Manaus os níveis de NO₂ formam agrupamentos similares em dois períodos do ano. O período chuvoso de maior umidade e com maior ocorrência pluviométrica apresenta níveis menores de NO₂. Consequentemente, no período seco, menos úmido, com menores índices pluviométricos os níveis de NO₂ tendem a aumentar.

A direção preferencial do vento apresentou um comportamento sazonal e foi verificado um componente de maior predominância zonal na direção sudeste (44 %) e um de menor na direção leste (19 %) em todas as estações no período estudado. A direção e a velocidade dos ventos mostraram correlação direta na dispersão e nos níveis da concentração de NO₂ na área de estudo.

Os resultados obtidos nessa pesquisa reforçam a hipótese já apontada por diversos autores de que os níveis de NO₂ são influenciados principalmente pela combustão proveniente de fontes fixas seguido das fontes móveis e pela interferência das condições meteorológicas. Há indícios que mostram à possível relação entre as concentrações dos dióxidos de nitrogênio encontradas no local estudado com as atividades relacionadas ao fornecimento de energia. Pode-se, portanto, supor que o uso em grande escala do gás natural com baixa eficiência de combustão devido ao alto teor de nitrogênio possa estar associado a estes níveis.

O tipo de amostrador utilizado nessa pesquisa foi eficiente na obtenção de resultados confiáveis para o fim proposto, principalmente considerando o fato do estado do Amazonas não ter monitoramento da qualidade do ar.

O problema da dispersão de poluentes atmosféricos constitui um tema que deve ser bastante explorado. Não se exauriram as possibilidades do estudo do NO_2 desta pesquisa em áreas com usinas termelétricas no município de Manaus-AM. O estudo deve continuar em áreas sobre a influência de outras fontes emissoras. Para uma pesquisa futura deve-se desenvolver o estudo de NO_2 utilizando em paralelo um método passivo e um ativo, buscando compreender e criar correlações de emissões de fontes fixas, móveis e/ou indoor.

Recomenda-se trabalhar posteriormente com um maior número de pontos de amostragem para as determinações de NO_2 e averiguações simultâneas das concentrações de O_3 nos locais amostrados. Investigar, além do local já estudado, as vizinhanças, traçando um perfil mais amplo da área, para maior conhecimento da conduta das emissões e o potencial de dispersão local. Também, seria significativo pesquisar em vários níveis de altura o comportamento da concentração de NO_2 . Por fim, com ferramenta de apoio um software de modelagem Gaussiana fornece o alcance e a trajetória da pluma de poluentes em usinas termelétricas. Neste caso, proporciona amplo entendimento na interpretação da problemática da dispersão dos efluentes atmosféricos. Portanto, para o próximo trabalho, será utilizado o modelo computacional AERMOD.

REFERÊNCIAS

AFEEVAS. Associação dos Fabricantes de Equipamento para Controle de Emissões Veiculares da America Latina. Novos Padrões de Qualidade do Ar. Disponível em http://www.afeevas.org.br/exibe_noticia.php?news=48. Acessado em 09 de Março de 2012.

ANDRADE, C. S. *Energia Elétrica e as Populações Tradicionais do Estado do Amazonas: Aprendizados a partir da Experiência na Comunidade do Roque na Reserva Extrativista do Médio Juruá*. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE. Tese (doutorado) – UFRJ/COPPE/Programa de Planejamento Energético, 2010.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: 11 de Março de 2012.

ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/>. Acessado em 26 de Março de 2012.

BAIRD, C. *Química Ambiental*. 2. ed. Porto Alegre, Bookman. 2002. 622p.

BEN. Balanço Energético Nacional. Empresa de Pesquisa Energética, 2012. Ano base 2011. Resultados Preliminares. Rio de Janeiro: EPE, 2012. 44p.

BOTKIN, D. B.; KELLER, E. A. *Environmental Science: Earth as a Living Planet*. 3. ed. John Willey & Sons, Inc., 2000.

BRASIL. Eletrobrás (2012). Disponível em: <http://www.eletrobras.gov.br/>. Acesso em 15 de Janeiro de 2012.

_____. Portal Brasil (2012). Disponível em: <http://www.gov.br/sobre/economia/energia/setor-eletrico>. Acessado em 03 de Maio de 2012.

BREED, C. A.; AROCEMA, J. M.; SUTHERLAND, D. Possible Sources of PM₁₀ in Prince George (Canada) as Revealed by Morphology and in Situ Chemical Composition of Particulate. *Atmospheric Environment*, v. 36, p. 1721–1731, 2002.

BUCCO, M. *Construção e Testes de Validação de Amostradores Passivos para Dióxido de Nitrogênio e Ozônio*. Dissertação (Mestrado) em Meio Ambiente Urbano e Industrial - Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná em parceria com o SENAI-PR e a *Universität Stuttgart,* Alemanha. Curitiba, 2011.

CAMPOS, V. P.; CRUZ, L. P. S.; ALVES, E. M.; SANTOS, T. S.; SILVA, A. D.; SANTOS, A. C. C.; LIMA, A. M. V.; PAIXÃO, C. S.; SANTOS, D. C. M. B.; BRANDÃO, D. S.; ANDRADE, E. J. S.; MOREIRA JR, J. I.; CONCEIÇÃO, K. C. S.; RAMOS, M. S.; PONTES, M. C. G.; AMARAL, M. F.; MATTOS, R. R. Monitoramento Atmosférico Passivo de SO₂, NO₂ e O₃ em Áreas Urbanas e de Influência Industrial como Prática de Química Ambiental para Alunos de Graduação. *Química Nova*, v. 29, n. 4, 2006.

CARTAXO, E. F. *Fornecimento de Serviço de Energia Elétrica para Comunidades Isoladas da Amazônia: Reflexões a partir de um Estudo de Caso*. 2000. Tese de Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

_____.; FROTA, W. M.; ROCHA, L. C.; FROTA, W. M. Determinação dos Níveis de Emissão de CO₂ das Unidades Termelétricas do Sistema Elétrico da Cidade de Manaus no Período de 2001 a 2010. In: 9th Latin-American Congress: Electricity Generation and Transmission - IX CLAGTEE 2011, 2011, Mar Del Plata. Proceedings and Book of Abstracts of 9th Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission. Guaratingetá/SP, 2011. p. 48-48.

CARVALHO JÚNIOR, J. A.; LACAVA, P. T. *Emissões em Processos de Combustão*. São Paulo: UNESP, 2003.

CAYRES, E. B.; YUKI, H. S. Inspeção Veicular e Conscientização da População. *Revista Ciências do Ambiente On-Line*. v. 2, Número 1, 2006.

CCA. Centro de Ciências do Ambiente. Universidade Federal do Amazonas – UFAM. PETROBRAS, Relatório de Impactos Ambientais, Gasoduto Coari – Manaus, 2004.

CDCC. Centro de Divulgação Científica e Cultural. Universidade de São Paulo – USP. Disponível em: <http://www.cdcc.usp.br/quimica/ciencia/chuva.html>/chuva.html. Acessado em 23 de Maio de 2012.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Monitor Passivo de Dióxido de Enxofre Construção e Testes de Validação. São Paulo, 1998.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Secretaria de Meio Ambiente do Governo Paulista. Apresenta dados de padrão de qualidade do ar. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acessado em 30 de Março de 2012.

CHAIM, R. C. P.; LACAVA, P. T. Avaliação Sobre a Emissão de Poluentes na Substituição do Óleo Combustível por Gás Natural – Estudo de Caso para Caldeiras Geradoras de Vapor Industrial. *Revista Tecnologia*, Fortaleza, v. 26, n°. 2, p. 111-123. 2005.

CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. RESOLUÇÃO CONAMA n° 3, de 28 de junho de 1990. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, Brasil, Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acessado em 20 de Novembro 2011.

CONSEMA. Conselho Estadual do Meio Ambiente. Conselho do Meio Ambiente Aprova Novos Padrões de Medição da Qualidade do Ar em SP. In: *Envolverde, Jornalismo & Sustentabilidade*, 27.05.2011. Disponível em: <http://envolverde.com.br/saude/qualidade-do-ar/conselho-de-meio-ambiente-aprova-novos-padroes-de-medicao-da-qualidade-do-ar-em-sp/>. Acessado em 28 de Fevereiro de 2012.

CÓNSUL, J. M. D.; THIELE, D.; VESES, R. C.; BAIBICH, I. M. Decomposição Catalítica de Óxidos de Nitrogênio. *Química Nova*, v. 27, n°. 3, p. 433-440, 2004.

CORTEZ, P.; CERDEIRA, A.; ALMEIDA, F.; MATOS, T.; REIS, J. Modeling Wine Preferences by Data Mining from Physicochemical Properties. In *Decision Support Systems, Elsevier*, 47(4): 547-553, 2009. ISSN: 0167-9236. Disponível em: <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Wine+Quality>. Acessado em 29 de Junho de 2011.

COSTA, M. P.; CARTAXO E. F. Avaliação sobre as Emissões de Dióxido de Carbono e Óxido de Nitrogênio na Substituição de Óleo Combustível por Gás Natural na Matriz Energética de Manaus-AM. XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Química – COBEQ 2012. Búzios, Rio de Janeiro.

COSTA, M. P.; SARGENTINI JUNIOR, E.; BOLSON, M.; PASSOS, V.; BASTOS, S. B. S. Estudo dos Níveis de Dióxido de Nitrogênio por Amostragem Passiva no Distrito Industrial de Manaus-AM. In: 52º Congresso Brasileiro de Química, Recife. 2012.

CRUZ, L. P.; CAMPOS, V. P. Amostragem Passiva de Poluentes Atmosféricos: Aplicação ao SO₂. *Química Nova*, v. 25, n.º. 3, 2002.

CRUZ, L. P. S.; CAMPOS, V. P.; ALVES, E. M.; TAVARES, T. M. Validação em Campo de Amostradores Passivos para NO₂, O₃, SO₂ e H₂S em Área de Influência Industrial. 30ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). Águas de Lindóia, São Paulo. 2007.

CRUZ, L. P. S.; CAMPOS, V. P. Métodos de Amostragem e Análise para Compostos Reduzidos de Enxofre Atmosférico. *Revista Quim. Nova*, v. 31, N.º. 5, 1180-1189, 2008.

DAMILANO, D. C. R. Estudo da Influência da Poluição Atmosférica e das Condições Meteorológicas na Saúde em São José dos Campos. Relatório (Iniciação Científica). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2006. Disponível em: <http://mtcm15.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtcm15%4080/2006/08.09.19.29/doc/Daniela%20Cr%20istina%20Damilano.pdf>. Acessado em 03 de Setembro de 2011.

ELETROBRAS. Parque Gerador da Amazonas Energia. Disponível em: <http://www.amazonasenergia.gov.br/cms/?s=TERMELETRICAS>. Acessado em Junho de 2012.

EPA. U. S. Environmental Protection Agency. Rules an Implementation. Disponível em: <http://www.epa.gov/ttn/atw/pollsour.html>. Acessado em 27 de Janeiro de 2012.

ENVIS. Environmental Information System. Acid Rain. Disponível em: http://envis.tropmet.res.in/kidscorner/acid_rain.htm. Acessado em 03 de Maio de 2012.

FARAH, M. A. *Caracterização do Petróleo e seus Produtos*. Apostila do Curso de Formação de Engenheiros de Processamento, Petrobras. 2. Rev. Universidade Corporativa. 2003.

FRANZINELLI, E.; IGREJA, H. Modern Sedimentation in the Lower Negro River, Amazonas State, Brazil. *Geomorphology*, 44: 259-271. 2002.

FREITAS, A. M.; SOLCI, M. C. Caracterização do MP10 e MP 2,5 e Distribuição por Tamanho de Cloreto, Nitrato e Sulfato em Atmosfera Urbana e Rural de Londrina. *Quim. Nova*, v. 32, n.º. 7, 1750-1754, 2009.

FRONDIZI, C. A. *Monitoramento da Qualidade do Ar: Teoria e Prática*. Rio de Janeiro: E-papers, 2008.

GAWARD, J.; COLLS, J. J. Nitrogen Dioxide Concentrations in Road Vehicles. *Journal Environmental Technology*, vol. 11, ISSUE 4. 1990.

GARCIA, R. *Combustíveis e Combustão Industrial*. Rio de Janeiro, Interciencia. 2002.

GASNET, 2011. Disponível em: <http://www.gasnet.com.br>. Acesso em: 18 de Outubro de 2011.

GIODA, A.; GIODA, F. R. A Influência da Qualidade do Ar nas Doenças Respiratórias. *Revista Saúde e Ambiente / Health and Environment Journal*, v. 7, n. 1, jun. 2006.

GODOY, M. L. D. P. Coarse and Fine Aerosol Source Apportionment in Rio de Janeiro, Brazil. *Atmospheric Environment*, v. 43, p.2366–2374, 2009.

GOMES, E. P. *Levantamento das Principais Fontes de Emissões Atmosféricas na Cidade de Manaus*. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia). Universidade Federal do Amazonas. UFAM, 2009.

GOMES, M. J. M. Ambiente e pulmão. *J. Pneum.* Vol. 28, p. 261-269. 2002.

GOOGLE EARTH. Programa Obtido Gratuitamente na Internet. Apresenta opções de localização via satélite. Disponível em: <http://www.earth.google.com>. Acessado em 06 de Maio de 2012.

GTON, Grupo Técnico Operacional da Região Norte. Programa Mensal de Operação da Região Norte (PMO) para 2009, Sistemas Isolados.

_____. Programa Mensal de Operação da Região Norte (PMO) para 2010, Sistemas Isolados.

_____. Programa Mensal de Operação da Região Norte (PMO) para 2011, Sistemas Isolados.

_____. Programa Mensal de Operação da Região Norte (PMO) para 2012, Sistemas Isolados.

_____. Manual de Recebimento, Armazenagem, Manuseio, Qualidades de Produtos Derivados do Petróleo em Usinas Termelétricas. Vol. ½, Revisão II. 2006.

GUERRA, F. P.; MIRANDA, R. M. Influência da Meteorologia na Concentração do Poluente Atmosférico PM_{2,5} na RMRJ e na RMSP. II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental 2011. Londrina, Paraná.

HAIR Jr., J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. *Multivariate Data Analysis with Readings*. 4. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1995. 745p.

HASWELL, S. J. *Practical Guide to Chemometrics*. New York: Marcel Dekker, 1992. 895p

IMPLURB. Instituto Municipal de Ordem Social e Planejamento Urbano. Bairros de Manaus. Disponível em: <http://implurb.manaus.am.gov.br/bairros-de-manaus/>. Acessado em 20 de Março de 2011.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Estações Convencionais, Gráficos. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_conv_graf. Acessado em 14 de Novembro de 2012.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia. *Orientações sobre Validação de Métodos de Ensaio Químicos*, 4ª ed., INMETRO: Rio de Janeiro, 2011.

KUHN, U.; GANZVELD, L.; THIELMANN, A.; DINDORF, T.; SCHEBESKE, G.; WELLING, M.; SCIARE, J.; ROBERTS, G.; MEIXNER, F. X.; KESSELMEIER, J.; LELIEVELD, J.; KOLLE, O.; CICCIOLO, P.; LLOYD, J.; TRENTMANN, J.; ARTAXO, P.; ANDREAE, M. O. Impact of Manaus City on the Amazon Green Ocean atmosphere: ozone production, precursor sensitivity and aerosol load. *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 9251–9282, 2010. Disponível em: <http://atmos-chem-phys.net/10/9251/2010/acp-10-9251-2010.pdf>. Acessado em 10 de Dezembro de 2012.

LODGE, J. P. *Métodos de Amostragem no Ar e Análise*. Lewis Publishers Inc., tradução José Warley Coelho Dias, Rio de Janeiro, 2003.

LOUREIRO, L. N. Panorâmica sobre Emissões Atmosféricas Estudo de Caso: *Avaliação do Inventário de Emissões Atmosféricas da Região Metropolitana do Rio de Janeiro para Fontes Móveis*. Tese de Mestrado em Planejamento Energético Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 153 p. 2005.

MADEIRA, A. C. F. *Avaliação da Tecnologia de Adsorção “PSA” para Remoção de Nitrogênio do Gás Natural*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2008.

MAGRINI, A.; ROSA, L. P.; XAVIER, E. E.; SANTOS, M. A. Diagnóstico da Monitoração de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Usinas Termelétricas no Brasil. *Revista Brasileira de Energia*. v. 9, N° 1. 2009.

_____.; ROSA, L. P.; XAVIER, E. E.; SANTOS, M. A. Cálculo das Emissões de Gases de Efeito Estufa em Usinas Termelétricas no Brasil, Relatório Final, COPPE/UFRJ. 2003.

MANAHAN, S.E. *Environmental Chemistry*. 8. ed. London. CRC Press LLC. 2004.

MARINHO, N. S. *Mapeamento da Distribuição de Dióxido de Nitrogênio na Cidade de Manaus*. Programa de Pós-Graduação em Química - PPGQ. Universidade Federal do Amazonas – UFAM. Dissertação de Mestrado, 2007.

MASSAGARDI, M. Diesel – *Oportunidades e Desafios*. In: Hart World Fuels Conference Latin American & the Caribbean. Rio de Janeiro. 2004.

MELCHERT, W. R.; CARDOSO, A. A. Construção de Amostrador Passivo de Baixo Custo para Determinação de Dióxido de Nitrogênio. *Química Nova*, Araraquara SP, v. 29, n. 2, 2006.

NAKAGAWA, L. *Estudo dos Efeitos na Qualidade do Ar e na Saúde Humana do Funcionamento de Usinas Termoelétricas em Regiões Intensamente Urbanizadas: O Caso da UTE Piratininga – SP*. 2009. 127 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do ABC, Santo André, 2009.

NIELSEN, S. N.; ANASTÁCIO, P. M.; FRIAS, A. F.; MARQUES, J. C. CRISP-crayfish Rice Integrated System of Production: Simulation of Nitrogen Dynamics. *Ecological Modelling*, v. 123, n.º 11, p. 41-52, 1999.

NIELSEN, T.; PILEGAARD, K.; EGELOV, A. H.; GRANBY, K.; HUMMELSHOJ, N. O.; SKOV, H. Atmospheric Nitrogen Compounds: Occurrence, Composition and Deposition. *The Science of the Total Environment*. v. 189/190, p. 459-465. 1996.

NONOMURA, M.; HOBBO, T. Simultaneous Determination of Sulphur Oxides, Nitrogen Oxides and Hydrogen Chloride in Flue Gas by Means of an Automated Ion Chromatographic System. *Journal of Chromatography A*, v. 804, p. 151-155, 1998.

OMS. Organización Mundial de la Salud. Guías de Calidad del aire de la OMS relativas AL material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno, y el dióxido de azufre. Resumen de evaluación de los riesgos. Atualización mundial, 2005.

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. Disponível em: http://www.ons.org.br/conheca_sistema/mapas_sin.aspx. Acessado em Junho de 2011.

ONURSAL, B.; GAUTAM, S. P.,” *Vehicular Air Pollution: Experiences from Seven Latin American*”. World Bank Technical Paper, n.º.373. 1997.

PALMES, E. D.; LINDENBOOM, R. H. Ohm’s law, Fick’s law and Diffusion Samplers for Gases. *Analytical Chemistry*, v. 51, 1979.

PARNIA, S. BROWN, J. L.; FREW, A. J. The Role of Pollutants in Allergic Sensitization and the Development of Asthma. *European Journal of Allergy and Clinical Immunology*. v. 57, Issue 12, p. 1111–1117, December 2002.

PIRES, D O. *Inventário de Emissões Atmosféricas de Fontes Estacionárias e sua Contribuição para a Poluição do Ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro*. Tese (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Coordenação de Programas de Pós Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2005. 188f.

PRETTO, A. *O Estudo do Comportamento dos Gases-Traço O₃, NO_x, CO, SO₂ e de COV’s na Atmosfera da Cidade de São Paulo*. IPEN: Autarquia Associada à Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado. 2005.

RANGEL, M. C.; CARVALHO, M. F. A. Impacto dos Catalisadores Automotivos no Controle da Qualidade do Ar. *Química Nova*, v. 26, n. 2, p. 265-277, 2003.

RANGEL, L. P.; BUCHLER, P. M. Estudo do Nitrogênio na Combustão do Gás Natural. *Química Nova*, vol. 28, n°6, 957-963, 2005.

REIS Jr, N. C. Monitoramento da Qualidade do Ar. Departamento de Engenharia Ambiental. Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES. 2005. Disponível em: [http://www.inf.ufes.br/~neyval/Monitoramento_Qualidade_Ar/Aula_I\(Monit_Quali_Ar\).pdf](http://www.inf.ufes.br/~neyval/Monitoramento_Qualidade_Ar/Aula_I(Monit_Quali_Ar).pdf). Acessado em Setembro de 2011.

RIBEIRO, F. A. L. *Aplicação de Métodos de Análise Multivariada no Estudo de Hidrocarbonetos policíclicos Aromáticos*. 196 f. Dissertação (mestrado em Química). Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2001.

RIBEIRO, L. S. “*O impacto do Gás Natural nas Emissões de Gases de Efeito Estufa: O Caso do Município do Rio de Janeiro*”. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro. UFRJ, Programa de Pós-Graduação de Engenharia. Rio de Janeiro, março, 2003.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. *Introdução a Química Ambiental*. 1ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2004. 154p.

RUSILO, L. C.; MAÑAS, A. V. GHG Protocol no Contexto Ambiental Brasileiro: Histórico e Tendências. XIII Seminários em Administração – SEMEAD 2010. ISS 2177-3866. Disponível em: <http://www.ead.fea.usp.br/semead/13semead/resultado/.../296.pdf>. Acessado em 12 de Março de 2012.

SALLES, L. PIUZANA, D. Monitoramento e Interpretação da Qualidade do Ar para Material Particulado na Área de Influência do Aterro Sanitário de Belo Horizonte. *Revista Geonomos*, n. 14, p.17. 2006.

SEINFELD, J. H. Air Pollution: A Half Century of Progress. *American Institute of Chemical Engineers Journal*, v. 50, n. 6, p. 1096-1108, June 2004.

SILVA, E. P.; JANNUZZI, G. M.; GADGIL, A.; LEONARDI, M. L. Possibilidades do Uso de Fontes Renováveis de Energia em Manaus. *Revista Brasileira de Energia*, v. 6, n. 2. 1997.

SILVA, S. T. *A Proteção da Qualidade do Ar. França*. Tese de doutorado (Doutorado em Direito Ambiental na Universidade de Paris I – França). 1997.

SIPOT, Sistema de Informação do Potencia Hidrelétrico Brasileiro. Eletrobras. Disponível em: http://www.eletrobras.com.br/EM_Atuacao_SIPOT/sipot.asp. Acessado em 15 de agosto de 2012.

SPIRO, T.; STIGLIANI, W. “*Química Ambiental*”. São Paulo: Pearson, 2009.

SOUZA, L. Q.; SILVA, B. J. V. O.; SILVA, F. A. R. S.; YAMASHITA, Y. Monitoramento de Dióxido de Nitrogênio em Brasília por Amostradores Manuais. 32ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). Fortaleza, Ceará. 2009.

STERN, A. C.; BOUBEL, R. W.; Turner, D. B., Fox, D. L. *Fundamentals of Air Pollution*. 2. ed. Orlando, Academic Press, Inc. 1984.

THOMPSON, M., ELLION, S. R.; WOOD, R. *Validação de Metodologia na Área Química. Pure and Applied Chemistry*, v. 74, p. 835-855, 2002.

TROTTA, J.; PEREIRA, E. A. Determinação de Dióxido de Nitrogênio em Amostras de Ar na Cidade de Sorocaba. 32ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). Fortaleza, Ceará. 2009.

URNS, S. R. *An Introduction to Combustion: Concepts and Applications*. McGraw- Hill, Inc. 1996.

UGUÇIONE, C.; GOMES, J. A.; CARDOSO, A. A. Método Colorimétrico para Determinação de NO₂ Atmosférico com Pré-concentração em Coluna de C-18. *Química Nova*, v. 25, p. 353-357. 2002.

VALOIS, I. M. C.; CARTAXO, E. F.; CHAAR, J. S. A Mudança na Matriz Energética e o potencial impacto dos Óxidos de Nitrogênio na Atmosfera Urbana da cidade de Manaus In: The 9th Latin-american Congress on Electricity Generation and Transmission - Clagtee 2011, Mar Del Plata - Argentina. Proceeding of 9th Latin-American Congress: Electricity Generation, 2011.

VALOIS, I. M. H. V.; CARTAXO, E. F.; CHAAR, J. Emissão de Gases Poluentes na Atmosfera Urbana da Cidade de Manaus devida à Queima de Combustíveis Fósseis. In: The 8th Latin-american Congress on Electricity Generation and Transmission - CLAGTEE 2009, Ubatuba-SP. Proceeding of 8th Latin-American Congress: Electricity Generation, 2009.

VALOIS, I. M. H. *Estudo das Concentrações de Óxidos de Nitrogênio em Área Urbana da Cidade de Manaus por Analisadores Automáticos*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Amazonas, UFAM. Programa de Pós-Graduação em Química. Manaus, outubro, 2012.

VIGIAR. Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade do Ar. In: MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Vigilância em Saúde. Disponível em: <<http://www.saude.gov.br>>. Acessado em 20 de Março de 2011.

WERTHEIM, P. H., “Perspectivas Promissoras para o Desenvolvimento do Gás Natural no Amazonas”, *Oil & Gás Journal Latinoamerica*. Disponível em: http://www.gasnet.com.br/artigos/artigos_view2asp?cod=522. Acessado em 30 de Setembro de 2011.

WHO. World Health Organization. Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. Chapter 4. The use of Particulate Material. Second Edition. Edited by Deborah Chapman. Disponível em: http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/wqachapter4.pdf. Acessado em 12 de Maio de 2012.

ZAMBON, R. C. *Planejamento da Operação de Sistemas Hidrotérmicos de Grande Porte*. 105 f. Tese de Doutorado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

WIKIMAPIA. Disponível em <http://wikimapia.org/9265851/pt/Mauazinho>. Acessado em 19 de Abril de 2012.

XAVIER, E. E. *Termeletricidade no Brasil – Proposta Metodológica para Inventário das Emissões Aéreas e sua Aplicação para o caso do CO*. Tese de Doutorado. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2004.

APÊNDICE

1 Materiais Utilizados

- Vidrarias em geral;
- Balança Analítica Sientech max. 210 g, min.10 mg, e=1 mg e d=0,1 mg;
- Termômetros incoterm (0 a 260 °C);
- Tampas para garrafa plástica Cicley utilidades;
- Membrana porosa de Teflon (Milipore 1,0µm de poro, 25mm de diâmetro, hidrofóbica);
- Telas de aço inox 15 mm diâmetro;
- Filtros de celulose 15 mm diâmetro;
- Aparelho de ultra-som Branson, B-220, 50/60Hz;
- Tubos eppendorf de 1,5 mL;
- Eletroduto de PVC Rígido (15mm de altura e 20 mm de diâmetro interno);
- Ultra-som Branson 50/60 Hz;
- Espectrofotômetro UV/VIS Varian, modelo 634;
- 1 par de cubetas de vidro de 1 mL e 1 cm de comprimento;
- Sistemas purificador de água Elga, modelo Purelab-ultra;
- Estufa sem ventilação Blue M;
- Estação Meteorológica ISIS Modelo S1220 SQUITTER;
- Paquímetro eletrônico digital Worker 0 a 150 mm;
- Fraco coletor de exames biológicos Universal.
- Fita Adesiva Dupla Fase (Silicone Transparente) VHB 3M
- Filme Adesivo Plástico (Para-Filme)

2 Reagentes

- Trietanolamina P. A., (TEA), $C_6H_{15}NO_3$, $d^{20^\circ} = 1,22 - 1,30 \text{ g mL}^{-1}$, teor = 85%, MM = $149,19 \text{ g mol}^{-1}$ Cromatos produtos Químicos LTDA;
- Sulfanilamida, $C_6H_8N_2O_2S$, MM = $172,21 \text{ g mol}^{-1}$ Merck;
- Diidrocloreto de N – (1 – nafitil) – etileno diamina P. A. (NEDA), $C_{12}H_{16}Cl_2N_2$, MM = $259,18 \text{ g mol}^{-1}$ Merck;
- Ácido Fosfórico P. A., 85%, H_3PO_4 , MM = $98,00 \text{ g mol}^{-1}$ Cromatos produtos Químicos LTDA;
- Ácido Sulfúrico P. A., 95 – 99%, H_2SO_4 , MM = $98,08 \text{ g mol}^{-1}$ Cromoline Química Fina;
- Nitrito de Sódio, $NaNO_2$, MM = $69,00 \text{ g mol}^{-1}$ Merck;
- Permanganato de Potássio, $KMnO_4$, MM = $158,04 \text{ g mol}^{-1}$ Merck.

3 Preparo de Soluções

Todos os reagentes utilizados foram de grau analítico e a água utilizada foi previamente destilada e purificada em sistema de desionizador de água ($18,2 \text{ M ohm cm}^{-1}$ a 23°C).

As soluções foram preparadas por dissoluções e/ou diluições dos respectivos reagentes. Após transferências para balões volumétricos, os volumes foram completados com água desionizada.

3.1 Vidrarias

Todas as soluções foram preparadas utilizando-se vidraria previamente lavada com água comum, água destilada e água desionizada e posteriormente levadas ao ultra-som por 10 minutos durante três vezes. Antes da utilização a vidraria foi novamente enxaguada com água.

3.2 Solução Impregnadora dos Filtros de Celulose

Dissolveu-se 2,5 mL de Trietanolamina e avolumou-se com água até 50 mL em balão volumétrico.

3.3 Solução de Griess-Saltzman Modificada

Foram dissolvidos 4 g de sulfanilamida, 0,1 g de dicloreto de N-(1naftil) etilenodiamina e 4 mL de ácido fosfórico em água deionizada até o volume de 500 mL.

3.4 Padrão de NO₂ (0,05 Mol L⁻¹)

Foram dissolvidos 0,8624 g de nitrito de sódio em balão volumétrico de 250 mL e completado com água deionizada.

3.5 Solução Padrão de Permanganato de potássio (0,02 Mol L⁻¹)

Foram dissolvidos 0,106 g de permanganato de potássio em balão volumétrico de 50 mL e completado com água deionizada.

5 Tabelas

Tabela 5.1 – Pontos de Amostragem Marcados por GPS

Ponto	Altitude (m)	Azimute (graus)	Distância dos Pontos 1 e 2 (m)	Altura dos Amostradores (m)	Dados GPS					
					S (Latitude)			W (Longitude)		
					Graus	Min	seg	Graus	Min	Seg
1	98	308°	56,87	15,0	03	06	435	059	56	329
2	86	131°	-	15,0	03	06	438	059	56	303
3	92	308°	200,82	3,0	03	06	428	59	56	372
4	98	60°	160,89	3,0	03	06	430	059	56	284
5	89	139°	17,14	3,0	03	06	479	059	56	698
6	98	276°	241,31	15,0	03	03	488	059	56	379
7	81	310°	211,89	3,0	03	06	34	59	56	18
8	83	309°	363,20	3,0	03	06	37	59	56	19
9	76	311°	560,09	5,0	03	06	43	59	56	22
10	76	308°	395,41	3,0	03	06	25	59	56	29
11	56	110°	80,41	3,0	03	06	25	59	56	29
12	82	310°	842,42	5,0	03	06	26	59	55	56
13	52	109°	1.044,52	3,0	03	05	51	59	56	15
14	43	110°	8.604,58	3,0	03	02	36	60	04	28
15	62	61°	16.603,38	3,0	03	02	36	60	04	28

Tabela 5.2 – Localização das Estações Meteorológicas

Ponto	Altitude (m)	Azimute (graus)	Dados GPS					
			S (Latitude)			W (Longitude)		
			Graus	Min	seg	Graus	Min	Seg
Estação Meteorológica	82,0	300°	03	06	31	59	56	17
Estação INMET	21,5	110°	03	06	13	060	01	00

Tabela 5.3 – Locais de Amostragem

Pontos de Amostragem	Especificação	Empresa	Local
01 e 02	Pontos de Emissão UTE	UTE	Mauazinho
03	Dentro da UTE	UTE	Mauazinho
04			
05			
06			
07			
08	Entorno da UTE	RESIDÊNCIA	Jardim Mauá
09		SAMSUNG	Mauazinho
10		RAPIDÃO	Armando Mendes
11		COMETA	
12		SCORPIONS	Mauazinho
13		DB	Armando Mendes
14	Ponto de Referência	INMET	Adrianópolis
15	Ponto de Referência	RESIDÊNCIA	Ponta Negra

Tabela 5.4 – Caracterização dos Pontos de Amostragem

Pontos de Amostragem	Fluxo de Veículos	Tráfego de Ônibus	Indústrias	UTE	Vegetação	Rio
01	MÉDIO		X	X	X	X
02	MÉDIO		X	X	X	X
03	MÉDIO		X	X		X
04	MÉDIO		X	X		X
05	MÉDIO		X	X	X	X
06	MÉDIO		X	X	X	X
07	MÉDIO		X	X	X	X
08	MÉDIO		X	X	X	X
09	MÉDIO	X	X	X		
10	MÉDIO		X	X		
11	MODERADO		X	X	X	
12	BAIXO		X	X	X	
13	MODERADO	X	X	X		
14	ALTA	X			X	
15	BAIXO	X			X	

Tabela 5.5 – Indústrias Instaladas no Bairro do Mauazinho e no seu Entorno.

Localização	Indústria	Ramo	Potencia de emissão
Bairro do Mauazinho	PROTENORTE materiais de Segurança	Manutenção e recarga de extintores de incêndio	Nenhum
	COPAG	Fabricação de baralhos	Nenhum
	Magama Industrial Ltda	Produção de ativos biológicos	Nenhum
	3M Brasil	Materiais de Escritório; Display e Comunicação Gráfica; Elétricos e Comunicações; Cuidados com a Saúde; Industrial e de Transportes; e de Produtos e Serviços para Proteção, Segurança e Limpeza.	Nenhum
	KAWASAKI MOTORES	Projeto de engenharia, controle ambiental de indústrias, máquinas e robôs industriais, engenharia naval e marítima, de usinas energéticas e siderúrgicas, material ferroviário, aeroespacial e jetskis, quadriciclos e motocicletas.	Médio
	Visteon Sistemas Automotivos	Fabricantes de sistemas automotivos	
	NCR Brazil	Indústria fabricante de Terminais de Auto-Atendimento	Nenhum
	Plastipak	Indústria de embalagens plásticas	
	Samsung	Fabrica de cinescópio	Nenhum
	Fortlub	Fábrica de lubrificantes	Pouco
	Scorpions	Peças e acessório de automóveis	Nenhum
No Entorno do Mauazinho (Distrito Industrial)	Sundown Brasil e Movimento S.A	Produz bicicletas, motos e equipamentos de fitness.	
	Pepsi-cola	Fabrica de xarope	Nenhum
	Compaz II e Compaz III	Transformação de plásticos e embalagens de EPS (poliestireno expandido),	Médio
	Masa da Amazônia	Peças plásticas injetadas	
	Termotécnica	Embalagens para produtos industriais	Moderado
	Siemens	Equipamentos de telecomunicação	Nenhum
	Videolar	Produção do Poliestireno e injeção plástica.	Moderado
	Pastore da Amazônia	Gabinetes para TV Monitores Convencionais Monitores LCD, DVD/ VCR e Ar Condicionado.	Nenhum
	Foxconn	Componentes eletrônicos de telefonia móvel	Nenhum
	CCE da Amazônia S/A	Fabricante de desktops, notebooks, netbooks, celulares e TVs.	Nenhum

No Entorno do Mauzinho (Distrito Industrial)	Sagem Comunicações S/A	Fábrica de telefones celulares entre outras tecnologias.	Nenhum
	Sharp do Brasil	Fabrica de ádios, Televisores, Micro-ondas, Calculadoras, Fotocopiadoras, Leitores de DVD, Home cinemas.	Nenhum
	Invensys Appliance Controls da Amazônia Ltda	Tubos de cobre para sistemas de refrigeração/aquecimento.	Nenhum
	Smartrac Technology	Fabricante e fornecedora de componentes RFID	Nenhum
	Coimpa Industrial LTDA	Empresa do setor metalúrgico	Pouco
	LP displays	Fábrica de componentes	Nenhum
	Orsa da Amazônia	Fábrica de embalagens de papelão ondulado.	
	Moto Honda da Amazonia	Fabricação de motocicletas	
	LG Electronics da Amazonia LTDA	Fabricação de eletroeletrônicos	Nenhum
	HDL da Amazônia Indústria Eletrônica LTDA	Linhas de porteiros eletrônicos e fechaduras elétricas	Nenhum
	Crown Cork - Manaus	Fabricação de artefatos de metal estampado - pias, banheiros, rolhas metálicas, etc.	Nenhum
	Rigesa da Amazônia	Fábrica de embalagens de papelão	Nenhum
	Envision	Produtos eletroeletrônicos de comunicação, máquinas copiadoras e similares	Nenhum
	Amazon Aço Indústria e Comércio Ltda	Produtos em aço	Pouco
	Presto da Amazônia	Materiais de construção	Nenhum
	Dumont saab do Brasil	Fábrica de relógios	Nenhum
	Technos	Fabrica de relógio	Nenhum
	KWJ Soluções Industriais Ltda	Indústria de automação	Nenhum
	Cíbea Manaus	Fabrica de concentrados	Nenhum
	Hitachi Ar Condicionado do Brasil LTDA	Fabrica de ar condicionado	Nenhum
Flex Industries	Montagem de placas de circuitos impresso	Nenhum	
Palladium Energy	Bateria p/telefone celular carregador de bateria p/computador portátil	Nenhum	

Tabela 5.6 – Níveis de Concentração de NO₂ nos Pontos de Amostragem no Bairro do Mauazinho em Manaus-AM no ano de 2012.

Pontos	Maió/2012	Junho/2012	Julho/2012	Agosto/2012	Setembro/2012	Outubro/2012	Média
1	218,16±8,25	219,29±10,49	358,53±6,03	514,59±9,72	404,52±11,61	530,32±11,44	374,23
2	319,28±8,48	284,40±10,05	400,27±10,79	747,93±8,79	582,96±8,13	584,59±8,83	486,57
3	148,57±8,15	129,53±5,26	163,95±5,78	306,27±11,10	248,37±4,49	304,75±12,35	216,90
4	163,19±6,58	154,53±6,85	194,97±9,73	303,58±3,31	188,15±9,01	331,34±12,95	222,63
5	212,30±2,83	196,94±6,71	279,43±9,41	468,09±10,44	356,00±10,71	437,75±8,71	181,93
6	228,23±6,46	213,79±7,56	308,30±7,36	508,55±9,79	382,91±9,94	471,00±10,65	155,43
7	244,50±10,86	228,61±9,28	336,63±7,07	559,79±8,88	431,60±4,86	505,91±12,52	177,18
8	251,08±5,98	230,93±9,21	331,16±9,13	571,09±3,09	438,37±9,45	499,81±9,71	138,60
9	131,23±8,76	113,13±7,00	157,79±9,73	153,41±7,17	235,59±4,14	202,76±10,44	165,65
10	213,76±6,81	196,62±7,29	283,47±6,38	448,21±9,25	372,12±8,32	419,87±9,28	188,44
11	120,36±7,94	125,00±4,77	170,95±7,91	172,26±9,67	293,03±9,95	132,91±6,86	169,09
12	179,11±3,87	166,42±3,72	235,84±1,45	336,24±3,25	334,78±4,87	313,84±5,42	115,69
13	161,11±7,02	150,29±7,98	212,01±17,47	277,53±7,42	308,88±12,79	267,34±11,04	174,42
14	168,58±5,94	159,58±7,67	225,57±7,75	308,56±8,57	327,20±6,14	283,49±9,79	236,78
15	69,36±2,56	85,18±7,41	96,60±6,39	108,11±7,32	118,54±9,32	118,72±13,37	99,42

Tabela 5.7 – Medidas de Dispersão da Concentração de NO₂ nos Meses de Amostragem no Bairro do Mauzinho em Manaus-AM no ano de 2012.

Medidas de Dispersão	Maio/2012	Junho/2012	Julho/2012	Agosto/2012	Setembro/2012	Outubro/2012	Geral
Média	154,21	148,17	201,06	245,87	237,73	254,15	206,86
Mediana	134,30	124,50	167,80	183,72	191,20	210,10	167,51
Desvio Padrão	62,64	61,01	95,88	172,84	138,47	147,43	127,46
Coeficiente de Variação (%)	40,62	41,85	47,69	70,26	58,24	58,01	61,61

Tabela 5.8 - Dados Meteorológicos Obtidos na Estação Meteorológica e no INMET em Manaus-AM no ano de 2012.

Meses	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Ventos	Radiação	Insolação	Pluviosidade
	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Velocidade (m s ⁻¹)	Kj/m ²	(h)	(mm)
Maio	24,65	31,94	27,54	79,32	89,00	84,16	1,22	1.255,83	161,60	167,80
Junho	24,77	32,54	28,11	66,18	87,26	76,72	1,90	1.414,28	204,40	82,50
Julho	24,50	32,49	27,70	64,65	87,26	75,95	1,50	1.417,38	211,20	81,00
Agosto	25,11	34,05	28,78	58,98	85,69	72,33	1,90	1.534,98	224,00	76,50
Setembro	25,11	34,55	29,05	61,46	86,04	73,75	1,95	1.419,16	215,90	21,50
Outubro	25,65	34,43	29,24	61,08	86,41	73,75	2,03	1.398,28	205,20	53,50

Tabela 5.9 - Quantidade e Tipo de Combustível Queimado na UTE de estudo no Ano de 2012.

Meses	NO ₂ (µg/m ³)	OCA1 (m ³)	Gás Natural (Mm ³)	Diesel (m ³)	Geração de Energia (MWh)
Maio	154,21	999.807,62	55.503,43	204,23	39.798
Junho	148,17	7.035.609,37	54.138,37	558,41	39.517
Julho	201,06	1.303.259,76	77.457,85	205,96	41.605
Agosto	245,87	1.347.879,88	85.483,07	217,15	41.952
Setembro	237,73	1.430.917,97	96.878,97	223,76	41.256
Outubro	254,15	1.547.186,52	109.186,55	239,67	42.031

Fonte: GTON (PMO), 2012.