



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E GESTÃO AMBIENTAL

MARIA GIZEUDA DE FREITAS SOUSA

AVALIAÇÃO DO HERBICIDA GLIFOSATO PRESENTE NA ATMOSFERA.
ESTUDO DE CASO: MUNICÍPIO DE LIMOEIRO DO NORTE-CE

FORTALEZA - CE

2015

MARIA GIZEUDA DE FREITAS SOUSA

**AVALIAÇÃO DO HERBICIDA GLIFOSATO PRESENTE NA ATMOSFERA.
ESTUDO DE CASO: MUNICÍPIO DE LIMOEIRO DO NORTE-CE**

Orientador: Prof. Dr. Adeildo Cabral da Silva

Co-Orientador: Prof. Dr. Rinaldo dos Santos Araújo

FORTALEZA – CE

2015

Catálogo na fonte: Biblioteca Waldyr Diogo de Siqueira

S725a Sousa, Maria Gizeuda de Freitas.

Avaliação do Herbicida Glifosato Presente na Atmosfera. Estudo de Caso: Município de Limoeiro do Norte-CE /. Maria Gizeuda de Freitas Sousa - Fortaleza: IFCE, 2015.

89p.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia em Gestão Ambiental).

Orientador: Prof. Dr. Adeildo Cabral da Silva.

1. GESTÃO AMBIENTAL - DISSERTAÇÃO. 2. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA. 3. AGROTÓXICOS. 4. GLIFOSATO. 5. SAÚDE. I.Título.

CDD 363.7392

MARIA GIZEUDA DE FREITAS SOUSA

**AVALIAÇÃO DO HERBICIDA GLIFOSATO PRESENTE NA ATMOSFERA. ESTUDO
DE CASO: MUNICÍPIO DE LIMOEIRO DO NORTE-CE**

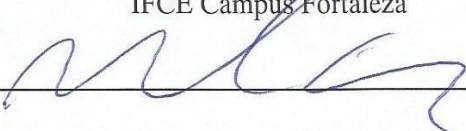
Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental do Instituto Federal do Ceará como requisito para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental.

Aprovada em 04/05/2015

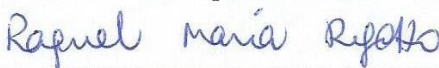
BANCA EXAMINADORA



Presidente Prof. Dr. Adeildo Cabral da Silva
IFCE Campus Fortaleza



Membro Prof. Dr. Rinaldo dos Santos Araújo
IFCE Campus Fortaleza



Membro Profa. Dra. Raquel Maria Rigotto
Universidade Federal do Ceará UFC

*A minha filha Mariana (in memorium),
cuja ausência me estimulou a prosseguir na luta
diante de tanta adversidade.*

*A meu filho Lucas que mesmo no silêncio,
seu sorriso ilumina meus dias e me dá forças para
continuar no auge do meu cansaço.*

*A todos os trabalhadores rurais que
padecem vítimas de intoxicação por agrotóxicos e
lutam por uma agricultura familiar agroecológica.*

Dedico este trabalho.

Que as estrelas que brilham no céu da Chapada do Apodi, não se deixem ofuscar pelo excesso de agrotóxicos na atmosfera, fruto da estupidez e ganância do agronegócio.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela minha existência, pela sabedoria para suportar o dia a dia e pela esperança em dias melhores.

Aos meus pais (*in memorium*) que mesmo partindo cedo, me ensinaram os primeiros passos para trilhar o caminho da ética e da dignidade humana.

Aos meus irmãos que me deram apoio nos momentos de maiores dificuldades, onde só a família é capaz de perceber e entender os meus sonhos.

Ao meu orientador professor Dr. Adeildo Cabral, pela amizade, por ter acreditado e entendido a ideia que resultou neste trabalho, serei sempre grata.

A meu co-orientador professor Dr. Rinaldo Araújo, pela amizade, paciência, estímulo, contribuindo na elaboração de ideias e me fazendo compreender que eu era capaz, minhas palavras não farão “jus” a imensa gratidão que desejo expressar.

A professora Dra. Raquel Maria Rigotto por disponibilizar seus conhecimentos que muito contribuíram para o resultado final desse trabalho, minha eterna gratidão.

Aos professores que fizeram de mim uma eterna aprendiz, para que eu fosse capaz de construir minha própria história.

A professora Rita Mickaela Barros de Andrade, exemplo de ser humano que muito contribuiu para meu crescimento profissional e pessoal. Você é especial!

A professora Nájila Cabral por ter enriquecido minha vida profissional e pela amizade sempre buscando me acalmar.

A professora Illona Sá pela amizade, apoio e sugestões no final dessa etapa.

Aos colegas do mestrado pela amizade e companheirismo.

A Reuben Moreira, para quem não há palavras de gratidão que exprima o valor da colaboração, da boa vontade, do apoio e da amizade.

Ao professor Solerne Caminha pela amizade e desprendimento contribuindo com os dados meteorológicos.

Ao professor Luís Clenio pela colaboração na elaboração dos mapas, pela amizade e generosidade.

A Julie Holanda, pela amizade, dedicação e conhecimentos no início dessa etapa.

A Luís Artur pela amizade, solidariedade e incentivo quando eu insistia em fraquejar.

Aos professores Evando Luís e Pahlevi Souza pela amizade e por terem confiado e acreditado na minha capacidade.

A Júlio Nogueira meu ex-marido pelo apoio e amizade, pois você faz parte da minha história de vida.

A minha sobrinha Emanuelle pelo carinho e apoio nos momentos de dúvidas.

A Antônio Jaides, meu aluno, bolsista e companheiro nas coletas da Chapada, cuja gratidão é bem maior do que eu possa expressar.

A Jarbas Rodrigues e Rodrigo Lima, pela amizade, apoio e incentivo nos momentos de desânimo.

Ao professor Paulo Lima pela amizade, companheirismo e apoio no final dessa etapa.

A Anaklaúdia, pela amizade e companhia na travessia: Limoeiro-Fortaleza.

A Marcílio Rangel pela amizade, apoio e compreensão, mesmo sabendo das nossas divergências com relação aos agrotóxicos.

A Paulo Henrique pelo apoio incondicional, sem o qual seria impossível a conclusão deste trabalho. Obrigada!

A Carlos Rodrigo pela amizade e os conhecimentos sobre o herbicida glifosato.

A todos os bolsistas do LTQ, que serão motivos de boas recordações pela convivência harmoniosa e momentos de prazer desta longa jornada.

Aos colaboradores anônimos que participaram dessa pesquisa na FAPIJA, EMATERCE e Estabelecimentos comerciais de agrotóxicos e ajudaram na construção deste trabalho.

Ao Laboratório de Tecnologia Química – LTQ.

Ao Laboratório de Energia Renováveis e Conforto Ambiental – LERCA.

A Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP.

Enfim, não existe palavras que exprima minha gratidão a todos que de forma direta ou indireta participaram da realização deste trabalho.

RESUMO

O município de Limoeiro do Norte-Ceará-Brasil se destaca como um grande polo do agronegócio pelos altos índices de produtividade especialmente na produção de frutas irrigadas, apresentando elevado consumo de agrotóxicos, entre eles o herbicida glifosato, considerado potencialmente carcinogênico pela Organização Mundial de Saúde (OMS). Neste contexto o objetivo desta pesquisa é avaliar a poluição atmosférica pelo uso do herbicida glifosato na zona rural e urbana do município de Limoeiro do Norte/CE, avaliando os impactos causados ao meio ambiente e à saúde da população. A amostragem foi realizada no período de 4 meses usando amostradores de ar calibrados. As concentrações de PTS e de glifosato foram estimadas por métodos gravimétricos e de cromatografia líquida, respectivamente. Os resultados mostraram níveis de PTS entre 10,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 137,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (média de 41,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) na zona rural e entre 3,87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 97,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (média de 38,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) na zona urbana, os quais são inferiores ao recomendado pela legislação brasileira e pela OMS. O glifosato associado ao PTS na zona rural apresentou níveis entre 0,002 e 0,144 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (média de 0,055 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) e na fase gás entre 0,313 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 2,939 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (média de 1,218 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). O glifosato associado ao PTS na zona urbana variou entre 0,009 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 2,576 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (média de 1,006 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Estes valores podem ser considerados elevados e preocupantes dentro do ponto de vista dos impactos à saúde humana e ao meio ambiente.

Palavras-Chave: Poluição atmosférica, PTS, Agrotóxicos, Glifosato, Saúde.

ABSTRACT

The Limoeiro do Norte city is characterized as a major pole of agribusiness in Ceará state by high productivity, especially in the irrigated fruits production, with high consumption of pesticides, including glyphosate herbicide, considered potentially carcinogenic by the World Health Organization (WHO). In this context, the aim of this study is to evaluate air pollution by use of glyphosate herbicide in rural and urban area of the municipality of Limoeiro do Norte city, assessing the impacts to the environment and people's health. The sampling was done within 4 months using calibrated air samplers. The PTS and glyphosate concentrations were estimated by gravimetric methods and liquid chromatography, respectively. The results in rural area showed PTS levels between 10.8 and 137.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mean of 41.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) and between 3.87 and 97.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mean of 38.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) in urban area, which are lower than recommended by the Brazilian legislation and WHO limits. The glyphosate associated with the PTS in the rural area showed levels between 0.002 and 0.144 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mean of 0.055 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) and in the gas phase between 0.313 and 2,939 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mean of 1.218 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). The glyphosate associated with the PTS in urban areas ranged between 0.009 and 2.576 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mean of 1.006 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). These values can be considered high and dangerous to human health and the environment.

Keywords: Air pollution, PTS, Agrotoxics, Glyphosate, Health.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Consumo de agrotóxicos nas lavouras do Brasil de 2002 a 2011.....	25
Figura 2	Estrutura química do glifosato e do derivado AMPA	30
Figura 3	Localização da área de estudo o município de Limoeiro do Norte	36
Figura 4	Unidade de ensino, pesquisa e extensão tecnológica (UEPE) na Chapada do Apodi	38
Figura 5	Localização dos pontos de coleta de amostras de ar no município de Limoeiro do Norte.....	38
Figura 6	Mapa de localização dos sítios de amostragens: UEPE (zona rural), IFCE e Campo Florestal (zona urbana).....	39
Figura 7	Imagem do amostrador Amotox usado no monitoramento atmosférico do herbicida glifosato na área de estudo da UEPE de Limoeiro do Norte	41
Figura 8	Imagem do kit de calibração do Amotox (a) e demais dispositivos de amostragem do ar (b) usados no monitoramento atmosférico do glifosato (porta-amostra em vidro, espuma de poliuretano, porta-filtro em aço, filtro de fibra de vidro)	41
Figura 9	Imagem dos aparatos de coleta dos materiais particulados: gasômetro (1), bomba (2), cassete (3), filtro (4), e PAD em aço (5)	42
Figura 10	Dispositivos usados para pesagem e secagem dos filtros: câmara dessecadora (a) e balança analítica (b)	43
Figura 11	Cromatograma típico da análise do padrão de glifosato por cromatografia líquida de alta eficiência	45
Figura 12	Perfil de PTS no período de 22 de julho a 18 de novembro de 2014 na Chapada do Apodi (zona rural) e na zona urbana (controle) do município de Limoeiro do Norte	46
Figura 13	Rosa dos ventos e frequência mensais dos ventos no período de 22 de julho a 18 de novembro de 2014 na Chapada do Apodi	49
Figura 14	Perfil das variáveis meteorológicas com as concentrações médias diárias de PTS nas áreas urbana (a) e rural (b) do Município de Limoeiro do Norte no período de 22 de julho a 18 de novembro de 2014	52

Figura 15	Perfil do glifosato associado ao material particulado (PTS) nas amostras coletadas no período de 22 de julho a 18 de novembro de 2014 na Chapada do Apodi (área rural)	53
Figura 16	Perfil das concentrações de glifosato atmosférico no período de 22 de julho a 18 de novembro de 2014 na Chapada do Apodi	55
Figura 17	Perfil do glifosato associado ao material particulado nas amostras coletadas no período de 22 de julho a 18 de novembro de 2014 na zona urbana do município de Limoeiro do Norte	56
Figura 18	Perfil do glifosato nas amostras coletadas no período de 22 de julho a 18 de novembro de 2014 nas zonas urbana e rural do município de Limoeiro do Norte	58

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1	Concentrações de PTS no período de 22 de julho a 18 de novembro de 2014 na Chapada do Apodi (amostra zona rural) e na zona urbana do município de Limoeiro do Norte	47
Tabela 2	Parâmetros meteorológicos obtidos durante o período de 22 de julho a 18 de novembro de 2014 no município de Limoeiro do Norte	48
Tabela 3	Concentrações de glifosato associado ao material particulado e variáveis estatísticas nas amostras coletadas no período de 22 de julho a 18 de novembro de 2014 na Chapada do Apodi	54
Tabela 4	Concentrações de glifosato atmosférico e variáveis estatísticas no período de 22 de julho a 18 de novembro de 2014 na Chapada do Apodi	55
Tabela 5	Concentrações de glifosato associado ao material particulado e variáveis estatísticas nas amostras coletadas no período de 22 de julho a 18 de novembro de 2014 na zona urbana do município de Limoeiro do Norte	57
Tabela 6	Comparativos das concentrações de glifosato e variáveis estatísticas presentes nas amostras coletadas no período de 22 de julho a 18 de novembro de 2014 nas zonas urbana e rural do município de Limoeiro do Norte	58
Quadro 1	Principais frutas produzidas no município de Limoeiro do Norte em 2013	16
Quadro 2	Agrotóxicos mais comercializados e usados nas atividades agrícolas no município de Limoeiro do Norte em 2014.....	17

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMPA	Ácido Aminometilfosfônico
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CF	Campo Florestal
COVs	Compostos Orgânicos Voláteis
CPMR	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra a Seca
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
EMATERCE	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	US Environmental Protection Agency – Agência de Proteção Ambiental Americana
EUA	Estados Unidos da América
FAPIJA	Federação das Associações do Perímetro Irrigado Jaguaribe-Apodi
HC	Hidrocarbonetos
HPLC	Cromatografia Líquida e Alta Eficiência
IARC	International Agency on Cancer – Agência Internacional de Pesquisa do Câncer
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFCE	Instituto Federal do Ceará
INCA	Instituto Nacional do Câncer
IPECE	Instituto de Pesquisa Estratégica do Ceará
LERCA	Laboratório de Energia Renovável e Conforto Ambiental
LTQ	Laboratório de Tecnologia Química
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MP	Material Particulado
MP ₁₀	Material Particulado de tamanho aerodinâmico de 10 µm
MP _{2,5}	Material Particulado de tamanho aerodinâmico de 2,5 µm
NO _x	Óxidos de Nitrogênio

OCF	Organic Consumers Fund
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
PRONAR	Programa Nacional de controle de Qualidade do Ar
PTFE	Politetrafluoretileno
PTS	Partículas Totais em Suspensão, $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PUF	Poliuretana
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SINDAG	Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agropecuária
SMS	Secretaria Municipal de Saúde
SOx	Óxidos de Enxofre
SUS	Sistema Único de Saúde
TDHA	Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade
UEPE	Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão Tecnológica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	OBJETIVO.....	18
2.1	Objetivo geral.....	18
2.2	Objetivos específicos.....	18
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	19
3.1	Poluição atmosférica.....	19
3.2	Poluentes atmosféricos.....	20
3.3	Legislação de controle da poluição do ar.....	21
3.4	Agrotóxicos.....	23
3.5	Agrotóxicos e o ambiente.....	25
3.6	Toxicidade dos agrotóxicos.....	27
3.7	Pesticidas organofosforado.....	28
3.8	O glifosato.....	29
3.9	Atividades agrícolas e uso de agrotóxicos na Chapada do Apodi.....	32
3.10	Presença do herbicida glifosato e saúde da população.....	33
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
4.1	Caracterização da área em estudo.....	35
4.2	Localização e descrição dos pontos de coleta.....	37
4.3	Seleção do agrotóxico.....	40
4.4	Monitoramento do glifosato na Chapada do Apodi.....	40
4.4.1	<i>Período e frequência de amostragem.....</i>	40
4.4.2	<i>Metodologia de amostragem do glifosato.....</i>	40
4.5	Monitoramento do material particulado.....	42
4.6	Determinação do glifosato.....	44
4.7	Estudos preliminares de morbidade e mortalidade	45
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
5.1	Materiais particulados e parâmetros meteorológicos.....	46
5.2	Avaliações dos teores de glifosato.....	53
5.3	Análise preliminar de morbidade e mortalidade em Limoeiro do Norte.....	59
6	CONCLUSÕES.....	61
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	63

REFERÊNCIAS.....	64
ANEXOS.....	71

1 INTRODUÇÃO

Particularmente, na região do Vale do Baixo Jaguaribe cearense, o desenvolvimento da agricultura vem acontecendo desde a criação do Projeto de Irrigação de Morada Nova, décadas depois com o advento do Projeto Jaguaribe – Apodi, seguido pelo Projeto Chapadão de Russas e proporcionando a expansão do agronegócio, modificando a paisagem pela substituição da vegetação nativa por culturas como o arroz, feijão, milho e recentemente pela fruticultura irrigada. Essa rápida ocupação, caracterizada pela implantação de culturas altamente dependentes de insumos químicos, incluindo os herbicidas, tem gerado preocupações devido ao elevado uso desses compostos na região e ao destino final destes no meio ambiente (FREITAS,2010).

As atividades agrícolas desenvolvidas na Chapada do Apodi pelo Projeto Jaguaribe-Apodi estão distribuídas entre os irrigantes cadastrados na FAPIJA; instituições públicas e privadas; empresários do comércio de produtos agrícolas; pequenos, médios e grandes produtores da região; e empresas de fruticultura irrigada nacionais e multinacionais. Entre as empresas produtoras de frutas irrigadas nacionais e multinacionais, destacamos quatro grandes empresas (FREITAS, 2010).

A região do Vale do Jaguaribe tornou-se uma das regiões de maior importância para o Ceará devido seu potencial na agricultura irrigada com o crescimento dos perímetros irrigados, os quais respondem por mais da metade de todas as frutas frescas exportadas no Estado e significativo peso no PIB estadual. Segundo o IBGE as principais frutas produzidas no município de Limoeiro do Norte no ano de 2013 estão representados no Quadro1.

Quadro 1 – Principais frutas produzidas no município de Limoeiro do Norte em 2013.

Frutas	Quantidade Produzida (toneladas)	Rendimento médio (Kg/ha)
Laranja	18	3.000
Manga	642	14.267
Goiaba	680	8.500
Mamão	840	84.000
Banana	42.200	22.000

Fonte: IBGE (2014).

O uso de agrotóxicos de forma abusiva não é uma característica apenas das empresas da Chapada do Apodi e sim uma característica marcante do agronegócio (MARINHO, 2010). Particularmente o município tem sido alvo de diversas denúncias do uso nocivo dos

agrotóxicos e suas possíveis associações com a incidência de cânceres e outras doenças perigosas à saúde das populações próximas às áreas de cultivo (RIGOTTO, 2011).

De acordo com levantamento feito nos estabelecimentos que comercializam agrotóxicos no município de Limoeiro do Norte e as instituições de assistência aos produtores, os agrotóxicos mais comercializados e usados serão mostrados no Quadro 2.

Quadro 2- Agrotóxicos mais comercializados e usados nas atividades agrícolas no município de Limoeiro do Norte em 2014.

Agrotóxico	Princípio Ativo	Grupo Químico	Classe	Toxidade	Consumo L/ha
Atrazina	Atrazina	Triazinas	Herbicida	III	2,5
Actara	Tiametoxam	Neonicotinóide	Inseticida	III	0,3
Cigral	Imidacloroprid	Neonicotinóide	Acaricida	I	0,25
Eminent	Tetraconozol	Triazol	Fungicida	II	0,5
Flare	Difenocoranozol	Triazol	Fungicida	I	0,25
Furadan	Carbofurano	Carbamato	Fungicida	I	0,5
Folpan	Folpete	Dicarboximida	Fungicida	IV	2,0
Gramoxone	Paraquat	Bipiridílios	Herbicida	I	2,0
Kraft	Abamectin	Avermectinas	Inseticida	I	0,3
Metromex	Metomil	Metilcarbamato	Inseticida	I	0,8
Ortus	Fenpiroximato	Pirazol	Acaricida	II	0,5
Roundup	Glifosato	Glicinas	Herbicida	IV	3,0

Fonte: Autor (2015).

Notadamente, a atrazina (herbicida), o folpete (fungicida), o paraquat (herbicida), o glifosato (herbicida) são os princípios ativos mais empregados no Município, e entre eles o glifosato é o de maior consumo e de maior solubilidade em água (1 g/100 mL), o que facilita o seu transporte e identificação. Todos segundo a OMS têm potencial cancerígeno.

Particularmente para o glifosato relatam-se indícios que o produto Roundup® tenha efeitos nocivos sobre a saúde, envolvendo aumento da incidência de certos tipos de cânceres e alterações do feto por via placentária. Adicionalmente o mesmo pode originar danos aos sistemas cardiovascular, gastrointestinal, renal, nervoso e respiratório e provocar o surgimento do autismo. Estudos *in vitro* confirmam sua classificação como disruptor endócrino (RICHARD, 2005).

Com base nesses pressupostos, a presente pesquisa se propõe a avaliar o nível de contaminação pelo herbicida glifosato na atmosfera do município de Limoeiro do Norte, procurando estabelecer relações entre o uso desse agrotóxico organofosforado e seus efeitos sobre o meio ambiente e a saúde da população.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

A pesquisa visa avaliar a poluição atmosférica pelo uso do herbicida glifosato no município de Limoeiro do Norte/CE.

2.2. Objetivos específicos

- Realizar levantamento dos principais agrotóxicos comercializados e utilizados nas atividades agrícolas no município de Limoeiro do Norte-CE.
- Avaliar as concentrações de glifosato na atmosfera rural do município de Limoeiro do Norte.
- Avaliar as concentrações de partículas totais em suspensão (PTS) nas zonas rural e urbana do município e suas relações com as concentrações de glifosato na atmosfera.
- Identificar possíveis relações entre os teores de glifosato atmosférico e as doenças registradas no município de Limoeiro do Norte, subsidiando os órgãos públicos em processos de tomada de decisões.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Poluição atmosférica

A poluição do ar é um fenômeno dinâmico e complexo que apresenta, em geral, grandes variações no espaço e no tempo. Os poluentes ao serem lançados na atmosfera são submetidos aos efeitos de dispersão, transporte e turbulência atmosférica e aos processos de reatividade química, seja através da reação com outros poluentes ou com a umidade do ambiente, sedimentação ou deposição. Esta reatividade pode provocar a mudança de poluentes primários para secundários, o que torna este fenômeno ainda mais complexo. As condições climáticas são as principais responsáveis pela dispersão dos poluentes. As próprias condições meteorológicas são extremamente variáveis e influenciadas por diversos fatores, tais como, o tipo de ocupação do solo e a topografia. Os parâmetros meteorológicos atuam simultaneamente no sentido de transportar e dispersar os níveis de poluição de uma determinada região para outra. A variação na taxa de emissões dos poluentes também influencia a dispersão espaço-temporal dos poluentes (MOREIRA, 2010).

Os principais processos atmosféricos que determinam o potencial de dispersão atmosférica dependem das condições meteorológicas e da turbulência atmosférica, acionadas a partir da interação entre as diversas escalas do movimento que atuam simultaneamente. Esses efeitos atuam sobre as fontes das zonas industrializadas no sentido de transportar e espalhar a poluição do ar sobre as áreas de influências caracterizadas pelos diferentes tipos de receptores (MILLER, 2007).

Para se determinar o grau do efeito da poluição sobre uma região é necessário monitorar a qualidade do ar da área de interesse, através da medição dos poluentes convencionais definidos na legislação brasileira (CONAMA, 1990). A comparação do valor medido, de um determinado poluente, com o seu respectivo padrão permite verificar se a legislação está sendo atendida (MOREIRA; TIRABASSI; MORAES, 2008).

Os poluentes no ar geralmente são considerados como as substâncias adicionadas ao ar por atividades humanas e que têm efeito adverso sobre o meio ambiente e a saúde humana. Esses poluentes existem na forma de gases, partículas pequenas de sólidos, os chamados particulados, ou pequenas gotículas de líquido dispersas em um gás, os chamados aerossóis (HINRICHS; KLEINBACH, 2003).

A simples presença de poluentes no ar não configura uma situação crítica. Para que a poluição do ar se constitua num problema de saúde é necessário que haja poluentes numa

concentração acima daquela prevista como mínimo aceitável, de acordo com os padrões da Organização Mundial de Saúde (OMS) ou com outros padrões preestabelecidos (CAVALCANTI, 2010).

3.2 Poluentes atmosféricos

Poluente atmosférico é qualquer substância na atmosfera cuja concentração possa vir a prejudicar o homem, outros animais, a vegetação e materiais. Os poluentes incluem quase todas as composições naturais ou artificiais de matéria em suspensão atmosférica passível de ser aerotransportada. Os poluentes apresentam-se na forma de partículas sólidas, líquidas e/ou heterogêneas, gases, ou em combinações daí resultantes. Geralmente, dividem-se em dois grupos: (1) os que são emitidos diretamente por fontes identificáveis e (2) os que são produzidos na atmosfera pelas interações entre dois ou mais poluentes primários, ou por reação com constituintes atmosféricos normais, com ou sem fotoativação. Em tempo, foram identificados cerca de 100 contaminantes atmosféricos, que se dividem nas seguintes categorias: sólidos, compostos sulfúricos, químicos orgânicos voláteis, compostos nitrogenados, compostos oxigenados, compostos halogenados, hidrocarbonetos, compostos radioativos e odores (EPA, 2010).

Quando se determina a concentração do poluente na atmosfera, avalia-se o grau de exposição dos receptores (ser humano, animais, vegetação e materiais) como resultado final do processo de lançamento dos poluentes por suas fontes de emissões e o seu sinergismo na atmosfera, do ponto de vista físico (diluição e transporte) e químico (reatividade química no ar). A interação entre as fontes de poluição e a atmosfera define o nível da qualidade do ar, que determina por sua vez o surgimento dos efeitos adversos da poluição do ar sobre os receptores. Mesmo mantida as emissões de poluentes sobre rigoroso controle na fonte, a qualidade do ar pode sofrer alterações em função da variabilidade das condições meteorológicas ao longo das 24 horas do dia e da sazonalidade climática (RUBENSAM, 2010).

Os Principais poluentes atmosféricos são: os óxidos de nitrogênio (NO_x), os óxidos de enxofre (SO_x), os Compostos Orgânicos Voláteis (COVs), os Hidrocarbonetos (HC), o ozônio (O₃) e o material particulado que é considerado um dos poluentes atmosféricos mais críticos. Os particulados podem estar no estado sólido, líquido ou nos dois estados, na forma orgânica ou inorgânica, no material que está em suspensão na atmosfera (MOTA, 2012).

O material particulado está diretamente relacionado a efeitos adversos à saúde humana. As partículas inaláveis (MP₁₀), ou seja, as que possuem diâmetro menor que 10 µm

são aquelas capazes de penetrar no sistema respiratório humano podendo ser depositadas desde as vias nasais até as partes mais profundas dos pulmões e, portanto, representam um risco para o desenvolvimento e o agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares. As MP₁₀ são comumente subdivididas em partículas inaláveis grossas e finas, sendo as primeiras aquelas de diâmetro entre 2,5 e 10 µm (MP_{2,5-10}) e as últimas, as de diâmetros menor que 2,5 µm (MP_{2,5}) (SOUZA *et al.*, 2010).

O material particulado (MP₁₀) é composto por partículas extremamente pequenas e gotas líquidas que contém ácidos, produtos químicos orgânicos, metais e partículas do solo e poeira, que quando inaladas, provocam sérios danos à saúde humana. A literatura mostra que o MP₁₀ provoca agravamento dos sintomas respiratórios, um aumento no uso de medicamentos, diminuição da função pulmonar e aumento da mortalidade (ANDERSON; THUNDIUIL, 2012; MASCARENHAS *et al.*, 2008).

3.3 Legislação de controle de poluição do ar

A legislação ambiental tem por objetivo principal assegurar a todos o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, como um bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, cabendo ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para às presentes e futuras gerações (Constituição Federal/88- Cap. VI, Art. 225). Partindo desta premissa, a legislação deve buscar, através de seus instrumentos, a compatibilização do desenvolvimento econômico e social com a preservação da qualidade ambiental em níveis que garantam o equilíbrio ecológico, ou seja, um desenvolvimento sustentável.

No Brasil, a Política Nacional de Meio Ambiente foi implementada em 1981 pela Lei nº 6.938, que estabelece como primeiro instrumento: o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental. Para controlar a poluição aérea, os instrumentos legais básicos são os padrões de qualidade do ar, o zoneamento ambiental, os padrões de incremento e os padrões de emissão de poluentes aéreos.

A legislação brasileira referente ao controle da poluição aérea está constituída de três Resoluções do CONAMA: a de nº 05/89, que institui o PRONAR - Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar; a de nº 03/90, que estabelece novos Padrões de Qualidade do Ar e a de nº 08/90, que estabelece Padrões de Emissão de Poluentes do Ar para novas fontes fixas de poluição aérea.

A Resolução CONAMA 03/90, de 28/06/90, estabeleceu Padrões de Qualidade do Ar Primários e Secundários, para particulados totais e inaláveis, SO₂, fumaça, CO, NO₂ e ozônio, bem como níveis de Atenção, Alerta e Emergência de Poluição do Ar, para o dióxido de enxofre (SO₂), material particulado inaláveis e totais (MP), monóxido de carbono (CO) e oxidantes fotoquímicos.

Os padrões de qualidade do ar são classificados em primários (para proteção da saúde humana) e secundários (para o bem-estar da população), que deverão ser atendidos como limites máximos para áreas de classe III e II, respectivamente, enquanto que para as áreas de classe I deverão ser mantidas as concentrações naturais, sem influência da ação antrópica (CONAMA, 1990).

As classes I, II e III foram estabelecidas pela Resolução CONAMA 05/1989 da seguinte forma:

Classe I: Áreas de preservação, lazer e turismo, tais como Parques Nacionais e Estaduais, Reservas e Estações Ecológicas, Estâncias Hidrominerais e Hidrotermais. Nestas áreas deverá ser mantida a qualidade do ar em nível o mais próximo possível do verificado sem a intervenção antropogênica.

Classe II: Áreas onde o nível de deterioração da qualidade do ar seja limitado pelo padrão secundário de qualidade.

Classe III: Áreas de desenvolvimento onde o nível de deterioração da qualidade do ar seja limitado pelo padrão primário de qualidade.

A Resolução CONAMA 05/1989 instituiu o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar - PRONAR, como um dos instrumentos básicos da gestão ambiental para proteção da saúde e bem-estar das populações e melhoria da qualidade da vida.

O PRONAR tem como objetivo permitir o desenvolvimento econômico e social do país de forma ambientalmente segura, pela limitação dos níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica com vistas a uma melhoria da qualidade do ar; o atendimento dos padrões estabelecidos; e o não comprometimento da qualidade do ar em áreas consideradas não degradadas.

Apesar do Brasil possuir legislação referente aos padrões de qualidade do ar, existe uma carência de informações sobre o tema. Mesmo em áreas consideradas críticas, do ponto de vista do impacto causado pela poluição atmosférica, não há nenhum tipo de monitoramento. Os órgãos ambientais têm procurado fazer parcerias com as indústrias visando estabelecer uma rede de monitoramento da qualidade de ar em regiões consideradas críticas como as regiões

metropolitanas e as áreas de influência dessas indústrias para suprir essa deficiência (KAWANO; MELO LISBOA, 2008).

3.4 Agrotóxicos

A Lei Federal nº 7.802 de 11 de julho de 1989 regulamentada através do Decreto 4074 de 4 de janeiro de 2002 no seu artigo 2º, inciso I, define o termo agrotóxico da seguinte forma: os produtos e os componentes de processos físicos, químicos ou biológicos destinados ao uso nos setores de produção, armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas nativas ou implantadas e de outros ecossistemas e também em ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora e da fauna, a fim de preservá-la da ação danosa de seres vivos considerados nocivos, bem como substâncias e produtos empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores do crescimento (BRASIL, 2002).

A classificação dos agrotóxicos é apresentada no parágrafo único do art. 2º desta mesma Lei, onde a classificação é feita de acordo com o grau de toxicidade. Esta classificação não leva em consideração os efeitos crônicos e sim apenas os efeitos agudos, de forma que a exposição contínua a produtos da classe IV possa causar os mesmos problemas que a exposição a produtos da classe I, já que a cronicidade não foi avaliada. Os critérios desta classificação são: Classe I – faixa vermelha (extremamente tóxico), Classe II – faixa amarela (altamente tóxico), Classe III – faixa azul (medianamente tóxico) e Classe IV – faixa verde (pouco tóxico).

Esta classificação foi fundamentada na sua utilização, modo de ação e potencial ecotoxicológico ao homem, aos seres vivos e ao meio ambiente (ANDREI, 1999). As diversas designações como agrotóxico, defensivo agrícola, praguicida, pesticida e biocida são usadas de maneira geral para indicar os produtos químicos sintetizados artificialmente para conter a ação das pragas invasoras (animais, vegetais, fungos, insetos, etc.) que interferem na qualidade ou quantidade de lavouras, alimentos, rações, flores, madeiras, forragens, fibras; tanto na produção, como na armazenagem ou transporte destes produtos, provocando perdas econômicas consideráveis (SPADOTTO; GOMES; HORNSBY, 2002).

As várias terminologias adotadas são um interessante exemplo da multiplicidade de visões que cercam essas substâncias químicas utilizadas na agricultura. Para as indústrias produtoras desses compostos o termo mais utilizado é defensivo agrícola, pois protegem os produtos agrícolas da ação de pragas que poderiam causar prejuízos econômicos (CHENG, 1990; SIVA; FAY, 2014).

A literatura anglo-americana emprega o termo pesticida, mas exprime a ideia equivocada de combater apenas pestes. Praguicida é igualmente um termo muito limitado, não representando a realidade desses compostos que agem também em organismos que não são consideradas pragas. O termo mais comumente usado na atualidade no meio agrícola e na sociedade como um todo, é agrotóxico. Agrotóxico tem sentido amplo, incluindo todos os produtos utilizados nos agros ecossistemas para combater pragas e doenças. Essa terminologia não foge do sentido tóxico de uso agrícola (agro + tóxico), tendo a toxicologia como ciência que estuda seus efeitos (RANGEL, 2008).

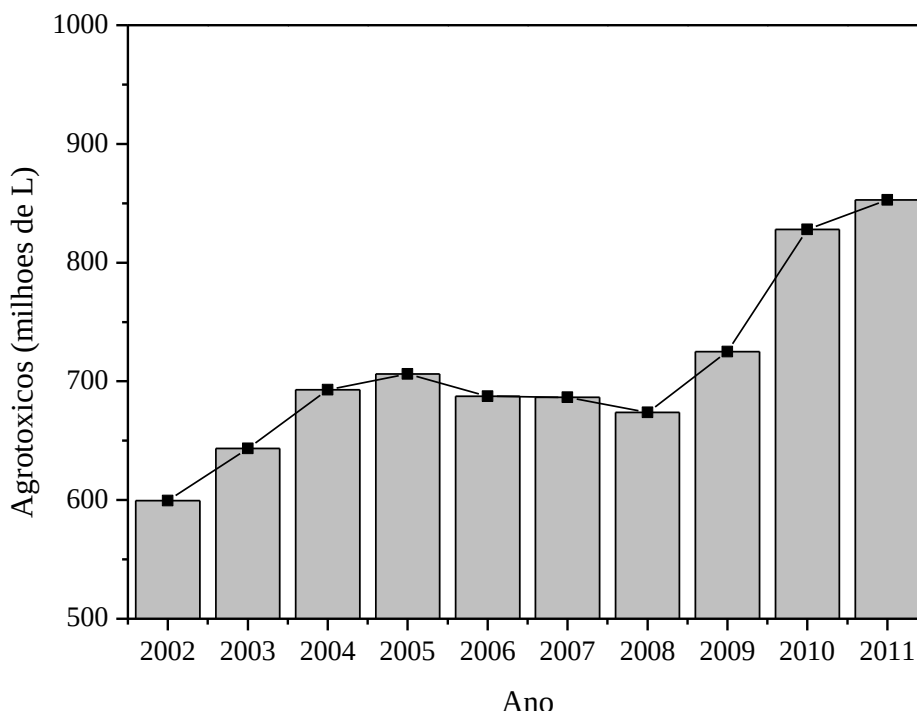
O termo agrotóxico é utilizado por vários autores de diferentes áreas no Brasil. Contudo, talvez o termo tecnicamente mais indicado para representar as substâncias que agem no controle de organismos nocivos devesse ser biocida. A palavra biocida significa “mata a vida”. Este termo inclui também organismos não alvos, atingidos no amplo espectro destes produtos químicos. A opção pela terminologia agrotóxico geralmente se apoia na abrangência do conceito descrito acima e na facilidade de identificação pela sociedade. A denominação “agrotóxico” surgiu no movimento ambientalista brasileiro, no início da década de 1980, e a pretensão era dar conotação forte e pejorativa a esses produtos, como forma de alertar a sociedade sobre sua prejudicialidade e passou a ser utilizado, no Brasil, para denominar os venenos agrícolas, após grande mobilização da sociedade civil organizada (GAVRILESCU, 2005).

Mais do que uma simples mudança da terminologia, esse termo coloca em evidência a toxicidade desses produtos ao meio ambiente e à saúde humana. No Brasil as substâncias introduzidas na agricultura para combater pragas e doenças foram usadas principalmente após a crise de 1929 em lavouras como o algodão, milho e cana-de-açúcar. As culturas de café e algodão foram as responsáveis pela introdução de inseticidas sintéticos. Na década de 70, porém, houve a grande expansão na produção e uso de agrotóxicos no Brasil, em razão dos incentivos para a produção agrícola e à política de exportação (LONDRES, 2011).

Em 2008 o Brasil passou a ocupar a primeira posição mundial entre os países que mais empregam agrotóxicos, segundo a ANVISA, com base em dados da ONU e do Ministério do Desenvolvimento, foram consumidos 733,9 milhões de toneladas, enquanto os Estados Unidos consumiram 646 toneladas no mesmo ano. Representando um consumo de 3,7 kg de agrotóxicos por cada cidadão brasileiro. Diante dessa informação há necessidade de se estabelecer um monitoramento dos resíduos de agrotóxicos na água, solo e ar.

O consumo de agrotóxicos nas lavouras do Brasil de 2002 a 2011, está representado na figura 1.

Figura 1 – Consumo de agrotóxicos nas lavouras do Brasil de 2002 a 2011.



Fonte: Editado pelo autor a partir de SINDAG (2011).

A ocorrência de agrotóxico na atmosfera tem sido cada vez mais investigada em países europeus, desde a década de 90 (DUBUS *et al.*, 2000), e o transporte aéreo devido às altas temperaturas em ambientes tropicais foi alertado por Laabs *et al.* (2002).

3.5 Agrotóxicos e o ambiente

O crescimento da população mundial e a demanda por alimentos têm exigido um sistema complexo de cultivo, transporte, estocagem e processamento de produtos agrícolas (OLIVEIRA-SILVA *et al.*, 2001). Em decorrência deste aumento, o amplo uso de agrotóxicos, sem os cuidados necessários, tem contribuído para a degradação ambiental e o aumento das intoxicações ocupacionais, incluindo casos de envenenamento humano (BRAGUINI, 2005).

Os efeitos de intoxicações pelos agrotóxicos não ocorrem apenas nos trabalhadores expostos, mas também, a contaminação do solo, da atmosfera, das águas e alimentos, coloca em risco a população que consome o que é produzido no campo, assim como pode alterar o funcionamento dos ecossistemas (FEHLBERG *et al.*, 2003).

Além disso, muitas vezes ocorre a combinação de vários produtos biocidas que devido à mistura podem alterar o seu comportamento tóxico e não se tem conhecimento dos efeitos destas associações sobre os organismos (BRAGUINI, 2005).

Os poluentes químicos, quando introduzidos no ambiente, podem causar dois tipos de efeitos nos organismos expostos: efeito agudo e crônico. O efeito agudo é facilmente detectado no ecossistema, sendo de curta duração, possibilitando uma grande capacidade de recuperação. Os efeitos crônicos são mais difíceis de serem avaliados, pois são detectados em longo prazo e as respostas do ambiente em relação a estes são lentas. O efeito crônico é resultante de uma exposição longa e de baixa intensidade, que interfere na reprodução e sobrevivência dos organismos. No caso do estresse crônico, os contaminantes são transferidos através da cadeia trófica, e deste fator depende sua ação e persistência no ecossistema. Os poluentes também podem ser acumulados nos tecidos dos organismos com o tempo, chegando a um nível danoso (SILVA *et al.*, 2005; RAMOS, 2001).

A duração e a frequência da exposição dos organismos ao agente químico também afetarão a toxicidade. Na exposição aguda, os organismos entram em contato com o composto químico num evento único ou em eventos múltiplos que ocorrem num pequeno período de tempo, geralmente variando de horas a dias. Nestes casos, o agente químico é rapidamente absorvido, normalmente os efeitos são imediatos, embora seja possível a produção de efeitos retardados similares àqueles resultantes de casos crônicos. Na exposição crônica normalmente os organismos são expostos a baixas concentrações do agente tóxico que é liberado continuamente ou com alguma periodicidade num longo período de tempo (semanas, meses ou anos). Exposição crônica a compostos químicos pode também induzir a efeitos rápidos e imediatos, como nos casos agudos, em adição aos efeitos que se desenvolvem lentamente (TREVISAN, 2002).

Não se pode negar que os agrotóxicos possibilitaram o aumento da produtividade agrícola e têm auxiliado no controle de vetores de diversas doenças, entretanto, seu uso desordenado e excessivo vem provocando diversos impactos sobre o meio ambiente. Datam da década de 50 os primeiros relatos sobre resíduos de inseticidas organoclorados no ambiente e nos alimentos, onde se observou a ocorrência de bioconcentração e bioacumulação na cadeia alimentar, que resultou em altos teores no homem (RAMOS, 2001).

3.6 Toxicidade dos agrotóxicos

A toxicidade e o modo de ação dos defensivos agrícolas nos seres vivos variam largamente, estando diretamente relacionados com sua estrutura química e concentração (DALLEGRAVE *et al.*, 2006).

Quando lançados no ambiente, os agrotóxicos são capazes de interagir com o organismo vivo, causam múltiplas alterações que podem gerar graves desequilíbrios ecológicos, dependendo do grau de contaminação e do tempo de exposição. Em geral, quanto maior a concentração de agrotóxicos e mais longo o tempo de exposição, maiores as chances dos impactos negativos atingirem níveis superiores de organização biológica, como comunidades e ecossistemas. Quando um estresse dura tempo suficiente para levar à morte uma população de organismos, afetando as taxas de crescimento e de reprodução e impedindo o recrutamento de novas espécies, as concentrações são então capazes de alterar a estrutura da comunidade (BENATTO, 2002).

Quaisquer fenômenos (estressores, tóxicos, citotóxicos, mutagênicos ou teratogênicos) que possam alterar o comportamento dos indivíduos, dificultando seu desempenho na população podem causar impactos drásticos sobre a reprodução destes. A partir destes fatos, pode haver uma interferência no equilíbrio genético das populações, propiciando a vulnerabilidade dos organismos, o declive da diversidade e possivelmente a extinção da espécie (DALLEGRAVE *et al.*, 2006).

No caso dos humanos, os sintomas de trabalhadores expostos a agrotóxicos geralmente são apoiados em variações de questionários ocupacionais e avaliam uma ampla faixa de sintomas, incluindo, entre outros, a cefaleia, vertigem, fadiga, insônia, náusea, vômitos, ruídos crepitantes respiratórios e dispneia; assim como sintomatologia sugestiva de distúrbios cognitivos (dificuldade de concentração, esquecimento, confusão mental, etc.); distúrbios motores (fraqueza, tremores, caibras, miofasciculação), disfunção neurossensorial (formigamento, parestesia, visão turva e outros distúrbios visuais) e reprodutiva (BENATTO, 2002).

A exposição aos agrotóxicos está associada, em curto e em longo prazo, com vários sintomas de saúde, como dificuldades respiratórias, problemas de memória e de pele, neoplasia, depressão, entre outros (ANVISA, 2009).

Os agrotóxicos compreendem uma variedade de moléculas com distintas propriedades que lhes conferem diferentes graus de persistência ambiental, mobilidade e potenciais tóxico, carcinogênico, mutagênico e teratogênico ou algum efeito endócrino a diversos organismos não-alvos (ARMAS *et al.*, 2007).

3.7 Pesticidas organofosforados

Pesticidas organofosforados são compostos orgânicos à base de fósforo, sendo mais tóxicos que os organoclorados em termos de toxicidade aguda, possuindo rápida degradabilidade no ambiente e pouca acumulação nos tecidos gordurosos. Estes compostos são inibidores de acetilcolinesterase (enzima que torna possível a transmissão de impulsos nervosos no organismo), o que provoca a alteração de glândulas, músculos e sistema nervoso (BENATTO, 2002).

Os compostos organofosforados são de grande importância para a saúde pública em decorrência de sua elevada toxicidade, tendo sido historicamente usados como inseticidas e como agentes químicos de guerras. A qualidade inseticida dos “organofosforado” foi primeiramente observada na Alemanha durante a II Guerra Mundial em um estudo de gases sarin (GB), soman (GD) e tabun (GA), extremamente tóxicos para o sistema nervoso (SILVA, 2005).

Os compostos organofosforados foram introduzidos como biocidas na década de 1970, inicialmente apresentados como substitutivos dos organoclorados por serem menos persistentes no ambiente, porém com alta toxicidade. Nesta época aumentou também de forma drástica o número de casos de intoxicação por organofosforados, mesmo em baixas doses (ARAUJO *et al.*, 2007).

Os “organofosforados” ganharam enorme uso como inseticidas por sua forte atividade biológica acoplada à sua relativa instabilidade na biosfera, que se traduzem em uma meia-vida média em plantas da ordem de dois a dez dias (SANTOS *et al.*, 2007).

A presença e a persistência dos agrotóxicos no meio ambiente variam em função de diversos condicionantes e podem ser encontrados em diferentes compartimentos ambientais por tempos variados. No ar são originários de procedimentos de aplicação na pulverização em forma de aerossóis. O transporte atmosférico também pode ocorrer por volatilização dos compostos aplicados nos cultivos e pela formação de poeira do solo contaminado (ARAUJO *et al.*, 2007).

O agrotóxico pulverizado pode ser carregado pelos ventos, com maior intensidade aqueles pulverizados por aviões, promovendo a exposição de agricultores locais e de populações distantes do local de aplicação. A volatilização é um dos principais fatores de dissipação do agrotóxico no solo e na atmosfera e depende além da pressão de vapor, das propriedades do solo e do clima enquanto que os decorrentes da aplicação mediante aeronaves

são carregados pelos ventos e inclusive se precipitando sobre as cidades e vilas rurais junto com a água das chuvas (SANTOS *et al.*, 2007).

Durante o período em que permanecem no meio ambiente os agrotóxicos podem sofrer transformações, isto é, mudanças na sua estrutura molecular. Estas transformações podem ser mediadas pela luz, pela temperatura, por reações químicas (hidrólise, oxidação, descarboxilação) ou outros agentes biológicos (biodegradação). Quanto maior a quantidade dos agrotóxicos, menor a quantidade de microrganismos e menor será o poder de biodegradação. Esta situação faz aumentar o tempo de persistência do agrotóxico no ambiente (EMBRAPA, 1997).

Vários autores têm investigado a presença de organofosforados no meio ambiente. Na China, Gao *et al.* (2009) detectaram diclorvós, paration, metil paration, malationa e dimetoato em amostras de água superficial. No estudo realizado por Daly *et al.* (2007) no oeste do Canadá, clorpirifós foi encontrado no ar até 0,40 ng/m³. Em regiões agrícolas também do Canadá Yao *et al.* (2006), encontraram malation em amostras de ar atmosférico. No Brasil já foi verificado a presença de organofosforado em água superficial usada para consumo humano por Griza *et al.* (2008) e Veiga *et al.* (2006), em alimentos, por Nero *et al.* (2007), Araújo *et al.* (2001) e em sedimentos por Cunha (2003).

A grande preocupação da comunidade científica quanto à ampla utilização dos organofosforados se relaciona aos efeitos tóxicos para mamíferos e acúmulo nos tecidos gordurosos (COUTINHO *et al.*, 2005).

3.8 O glifosato

Os herbicidas passaram a serem usados após a segunda guerra mundial. De acordo com Franz *et al.* (1997) a molécula de glifosato foi sintetizada primeiramente numa pequena indústria farmacêutica na Suíça por Henri Martin, onde sua finalidade não era o uso herbicida. Só em 1970, John E. Franz da Monsanto testou o glifosato como herbicida e logo em seguida o patenteou. O glifosato só chegou ao mercado em 1974 e logo se popularizou como herbicida (STEPHEN; STEPHEN, 2008).

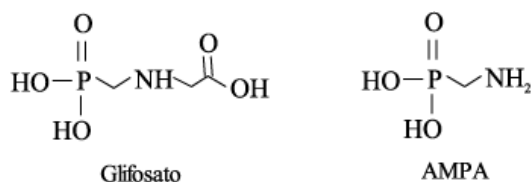
O glifosato [*N*-(fosfonometil) glicina] desde que saiu no mercado 1974 é o herbicida mais usado no mundo, com aplicação em áreas agrícolas e não agrícolas. O glifosato é um herbicida não-seletivo, sistêmico e pós-emergente (mata todas as plantas), que após sua aplicação sobre as folhas é absorvido e transportado ao longo de toda planta (menos as raízes), sendo usado na preparação de solos para várias culturas, sejam gramíneas, leguminosas ou

culturas forrageiras e no controle de ervas daninhas em plantações de florestas (VERECKEN, 2005).

A degradação do glifosato ocorre quando ele entra em contato com a atividade microbiana dos solos, sendo o ácido aminometilfosfônico (AMPA) o metabólito mais importante. Essa degradação pode ocorrer em dias, meses e até anos (VERECKEN, 2005).

Outros fatores também influenciam a degradação do glifosato como: o pH do solo e a temperatura. No ambiente a permanência do ácido aminometilfosfônico (AMPA) ainda é desconhecida, embora acredita-se que seja bem maior do que do próprio glifosato, pois foi observado que ele também se acumula no solo. Próximo de áreas agrícolas também foram encontrados teores de glifosato e do ácido aminometilfosfônico (AMPA) em águas naturais. Em relação à presença do glifosato na atmosfera ainda existem poucos estudos, sendo sua permanência e seu comportamento bastante desconhecidos, mesmo sendo o glifosato o herbicida mais aplicado no mundo (FENG-CHIH; MATT; PAUL, 2011). As estruturas químicas do glifosato e do AMPA estão apresentadas na Figura 2.

Figura 2 – Estrutura química do glifosato e do derivado AMPA.



Fonte: Amarante Júnior (2002).

Pesquisa realizada em três regiões agrícolas dos EUA (Mississippi, Iowa e Indiana) durante o período de pulverização em plantações de florestas foi constatado a presença de glifosato na atmosfera em concentrações de até 15,7 µg/m³ (FENG-CHIH; MATT; PAUL, 2011).

A grande ação do glifosato faz com que este herbicida seja usado com sucesso no mundo todo. Após sua aplicação ele é absorvido rapidamente pela superfície da planta, e transportado para o interior da planta por difusão. O glifosato possui propriedades físico-químicas capazes de fazer translocar da folha para o floema e para os tecidos que fazem o metabolismo da sacarose. O efeito fitotóxico do glifosato atinge os meristemas, as raízes, as folhas e os tecidos de armazenamento. Uma boa absorção e translocação faz do glifosato um herbicida bastante eficaz (STEPHEN; STEPHEN, 2008).

Com relação à saúde humana, segundo a EPA, o glifosato é carcinogênico. De acordo com De Ross e Richard (2005) alguns estudos têm revelado uma ligação entre a exposição ao glifosato e a ocorrência de linfomas e células danificadas da placenta humana (FENG-CHIH; MATT; PAUL, 2011). A dosagem oral aguda relatada em ratos é baixa e seu valor é de 4320 mg/kg. A dosagem por inalação aguda é maior que 4,43 mg/kg em 4 horas de exposição. Neste caso para os sais de amina e amônio os valores são mais baixos e variam entre 1,3 e 3,2 mg/L de ar.

Existem controvérsias no que diz respeito à toxicologia do glifosato para a saúde humana. Conforme afirmam Franz (1997); Duke (2003) e Cerdeira (2006) o glifosato é um dos agrotóxicos menos tóxicos para os animais, daí ele ser usado no mundo todo em áreas urbanas, de lazer, áreas agrícolas e industriais. Willams *et al.*, (2000) em uma longa pesquisa concluiu que quando usado de acordo com as instruções recomendadas, o glifosato não causa nenhum risco à saúde humana.

Moreira *et al.* (2012) detectaram glifosato em duas cidades do estado do Mato Grosso (Lucas do Rio Verde e Campo Verde), em suas pesquisas sobre a contaminação de águas superficiais e águas de chuvas por resíduos de agrotóxicos durante dois anos de monitoramento. A contaminação com resíduos de vários tipos de agrotóxicos foi verificada em 83% dos 12 poços de água potável (escola e cidade) e em 56% das amostras de chuvas colhidas no pátio das escolas. A detecção de resíduos de agrotóxicos em mais da 50% das amostras de águas de chuva coletadas nas duas cidades evidencia uma importante via de contaminação ambiental, caracterizada pela volatilização dos agrotóxicos utilizados no meio rural, sua acumulação em formações plúmbeas, transporte pelo vento e precipitação.

Estudos tem demonstrado efeitos negativos do glifosato sobre a morfologia normal e a reprodução de minhocas expostas a este herbicida no período de até 60 dias. Embora nenhuma morte tenha sido observada no experimento. Correia e Moreira (2010) em outra pesquisa verificaram que minhocas expostas a glifosato e a 2,4-D apresentaram má formações e mortes da espécie.

Na pesquisa realizada com amostras de água destinadas ao consumo humano na Chapada do Apodi em 2009, Marinho (2010) evidenciou contaminação com glifosato em dois poços de água em duas propriedades particulares na localidade de Carnaúba. Nas amostras de água fornecida pelo SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto) na localidade de Cabeça Preta também foi encontrado resíduo de glifosato (MARINHO, 2010).

O glifosato também foi incluído na lista dos 14 agrotóxicos pela Anvisa desde de 2008 para ser reavaliado quanto a classe de toxicidade (ANVISA, 2008).

3.9 Atividades agrícolas e uso de agrotóxicos na Chapada do Apodi

A paisagem natural da Chapada foi modificada, com o advento do Projeto Jaguaribe-Apodi, de forma que a vegetação nativa deu lugar às construções de infraestruturas como canais de irrigação, casas de bomba, reservatórios de água, estações elevatórias, etc. Para garantir o acesso ao projeto foram construídas estradas, pontes sobre o rio Quixeré e um aeroporto. Essas infraestruturas instaladas alteraram o espaço territorial da Chapada fragilizando e modificando toda sua natureza (FREITAS, 2010).

A implantação do Projeto Jaguaribe-Apodi tinha como prioridade o agronegócio, envolvendo empresas multinacionais, nacionais e locais produtoras de frutas e grãos para exportação e sua ampla utilização de agrotóxicos para produção em larga escala. A ocupação de extensas áreas por monoculturas é uma das principais características do modo de produção do agronegócio, sendo responsável pelo desequilíbrio ecológico na região. As altas taxas de produtividade por hectare, baseadas em regimes intensivos de adubação e irrigação, repercutem na perda de biomassa dos biomas, com redução da cobertura vegetal nativa e consequente desequilíbrio dos ciclos biogeoquímicos, condições climáticas e perda da sociobiodiversidade (MARINHO; CARNEIRO; ALMEIDA, 2011).

A monocultura é o que predomina na Chapada do Apodi, com destaque para o monocultivo da banana, que enfrenta o problema da *Sigatoka-amarela*, doença endêmica causada pelo fungo *Mycosphaerell amusicola* Leach que, ao infectar as folhas, provoca a morte das mesmas, ocasionando a diminuição do fruto e perdas de até 50% na produção. Na busca pelo controle da doença, a aplicação de fungicidas ocorre através da pulverização aérea, considerado o método mais eficiente e lucrativo (MARINHO, 2010).

Segundo Freitas (2010) as atribuições legais e normativas que dizem respeito ao uso seguro de agrotóxicos na região, não são cumpridas, pois as instituições públicas responsáveis por essas atribuições são deficientes e inoperantes. Não há cumprimento da Instrução Normativa Nº 2 de 3 de Janeiro de 2008, estabelecida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que determina para a aplicação da pulverização aérea a distância mínima de quinhentos metros de povoações, cidades, vilas, bairros, de mananciais de captação de água para abastecimento humano e de duzentos e cinquenta metros de mananciais de água, moradias isoladas e agrupamentos de animais.

Marinho, Carneiro e Almeida (2011) relatam que o não cumprimento das normas levou as comunidades a fazerem frequentes queixas sobre os incômodos na saúde provocados

pelo lançamento de agrotóxicos. Os principais sintomas apresentados são característicos da exposição a venenos como cefaleias, vômitos, náuseas e alergias, além de mortes de animais que sempre aconteciam após a chuva de venenos.

Em estudo feito pela EMBRAPA observou-se que mesmo controlando fatores como temperatura e ventos, sempre vai existir uma deriva técnica, fazendo com que a pulverização aérea se torne um problema grave, devido à grande quantidade de veneno que esse tipo de aplicação joga no ar e que vai penetrar no ambiente por diferentes vias. De acordo com os autores, apenas 32 % dos agrotóxicos pulverizados permanecem nas plantas, 49 % vão para o solo e 19 % para áreas em torno através do ar (EMBRAPA, 1997).

Em tempo, no ano de 2009, a Câmara dos Vereadores de Limoeiro do Norte aprovou uma Lei Municipal proibindo a pulverização aérea, porém no ano seguinte a mesma entidade aprovou sua revogação (MARINHO, 2010).

Em abril de 2013 o uso indiscriminado dos agrotóxicos na Chapada do Apodi foi divulgado na imprensa cearense através do Caderno Regional do Jornal Diário do Nordeste, numa série de reportagens que tinha como título: “As viúvas do veneno”, que contavam a história de homens e mulheres possíveis vítimas da intoxicação por agrotóxicos na atividade agrícola do município de Limoeiro do Norte (DIÁRIO DO NORDESTE, 2013).

3.10 Presença do herbicida glifosato e saúde da população

O Brasil desde de 2008, é o maior consumidor de agrotóxicos no mundo, seguido dos Estados Unidos de acordo com estudo publicado pela Universidade de Oxford em 2013. Em dez anos, entre 2000 e 2012 a venda de agrotóxicos no mercado interno aumentou mais do dobro. Em 2002, quando houve o menor uso no período, a comercialização do produto era de 2,7 kg/ha, onde em 2012 esse número chegou a 6,9 kg/ha. Em 2012 as classes de agrotóxicos mais comercializadas foram os herbicidas (62,2%), seguidos dos inseticidas (12,6%) e fungicidas (7,8%). Entre os herbicidas, o glifosato é o componente mais comercializado no Brasil (IBGE, 2015).

A relação entre o consumo de agrotóxicos e o desenvolvimento de câncer e outras doenças já é reconhecida pela Organização Mundial da Saúde (OMS). Uma pesquisa publicada na revista científica “The Lancet”, em março de 2015, pela Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC), classifica cinco agrotóxicos como prováveis agentes cancerígenos: tetraclorvinfós, paration, malation, diazinon e o glifosato. Esses agrotóxicos são liberados no

Brasil, mas apenas o glifosato possui registro de produto. Em abril de 2015, a Anvisa anunciou que vai revisar a liberação do uso do produto no país (IARC, 2015).

O Instituto Nacional de Câncer (INCA) divulgou em abril de 2015, um relatório sobre o uso de agrotóxicos nas lavouras do país e seus impactos sobre o meio ambiente e à saúde. Além de danos ambientais, a equipe do Inca alerta sobre os riscos de doenças como o câncer. Segundo o relatório, o que faz um alimento saudável é sua composição. Os agrotóxicos na alimentação podem alterar o funcionamento normal das células do corpo humano, causando mutações e maior probabilidade do desenvolvimento de doenças no futuro (INCA, 2015).

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária - Anvisa fez um levantamento com amostras de alimentos em todo o país, onde os alimentos foram escolhidos com base em dados de consumo do IBGE. No estudo, 25% apresentaram resíduos de agrotóxicos acima do permitido. O uso abusivo desses produtos e a falta de fiscalização em relação a níveis seguros aumenta o risco para a saúde humana (ANVISA, 2014).

O Instituto também relata que no Brasil, cerca de 450 substâncias são autorizadas para uso na agricultura onde muitos princípios ativos que já foram banidos em outros países, ainda tem uso permitido, e que dos 50 produtos mais utilizados na agricultura brasileira, 22 são proibidos na União Europeia. Para o INCA, antes de liberar a venda de agrotóxicos, o Brasil precisa de pesquisas sobre os potenciais efeitos e riscos à saúde humana decorrentes da exposição aos químicos, particularmente sua relação com determinados tipos de câncer (INCA, 2015).

Em fevereiro de 2015, o Organic Consumers Fund (OCF), publicou uma pesquisa realizada por vários cientistas nos Estados Unidos e na Argentina, que apresentavam 25 doenças que poderiam ser causadas pelo herbicida glifosato. As doenças relacionadas a exposição do glifosato foram: TDHA, Alzheimer, anencefalia, autismo, defeitos congênitos, câncer cerebral, câncer de mama, câncer; intolerância ao glúten e doença celíaca, doença crônica nos rins, colite, depressão, diabetes, doença cardíaca, hipotireoidismo, doença inflamatória intestinal, doença hepática, doença de Lou Gehrig, esclerose múltipla, linfoma não-Hodgkin, doença de Parkinson, problemas na gravidez (infertilidade, morte fetal, aborto espontâneo), obesidade, problemas reprodutivos e doenças respiratórias (BADEN-MAYER, 2015).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta parte da pesquisa estão apresentadas as principais metodologias experimentais empregadas para este estudo de monitoramento da qualidade do ar no município de Limoeiro do Norte/CE, particularmente quanto aos teores do herbicida glifosato.

4.1 Caracterização da área em estudo

A cidade de Limoeiro do Norte/CE, área que compreende o objeto de estudo, tem como referência de localização o quadrilátero formado pelas coordenadas geográficas 5°08'16" a 5°09'16" de latitude sul e 38°04'14" a 38°05'19" de Longitude Oeste, limitando-se ao norte com os municípios de Russas/CE e Quixeré/CE, a Leste com o município de DixSept Rosado/RN, ao Sul com os municípios de Tabuleiro do Norte/CE e São João do Jaguaribe/CE e a Oeste com o município de Morada Nova/CE (IBGE, 2010).

A cidade é atendida pela rodovia federal BR-116 e pela rodovia estadual CE-265, principais estradas que ligam Limoeiro do Norte/CE às cidades vizinhas e a Fortaleza/CE. A distância de Limoeiro do Norte/CE a Fortaleza/CE é de aproximadamente 200 km. A cidade conta ainda com um aeroporto instalado na Chapada do Apodi construído durante a implantação do Projeto Jaguaribe-Apodi (IBGE, 2010).

O solo pode ser definido pelos Cambissolos na chapada do Apodi (Bacia Potiguar), solos Aluviais e Vertissolos na planície fluvial que margeia as rochas cretáceas do grupo Apodi e Neossolos Litólicos no limite entre o baixo e o médio Jaguaribe e nos rebordos patamares da Bacia Potiguar (CPRM, 2013).

A topografia de Limoeiro do Norte é representada por sucessivos planos separados por desníveis variados, sendo toda a área notavelmente plana, composta por sedimentos de idade, origem e níveis litogênicos diferenciados, com destaque para os aluviões. Nas características geológicas encontra-se em coberturas sedimentares não metamorfizadas (dunas, aluviões, paleoterraços, grupos barreiras, grupo apodi e bacia sitiam). O número de reservas lacustres e bacias conjugadas é de aproximadamente 25, com volume total aproximado de 6840 m³. A profundidade do lençol freático é de 8 a 15 m em alguns pontos (CPRM, 2013).

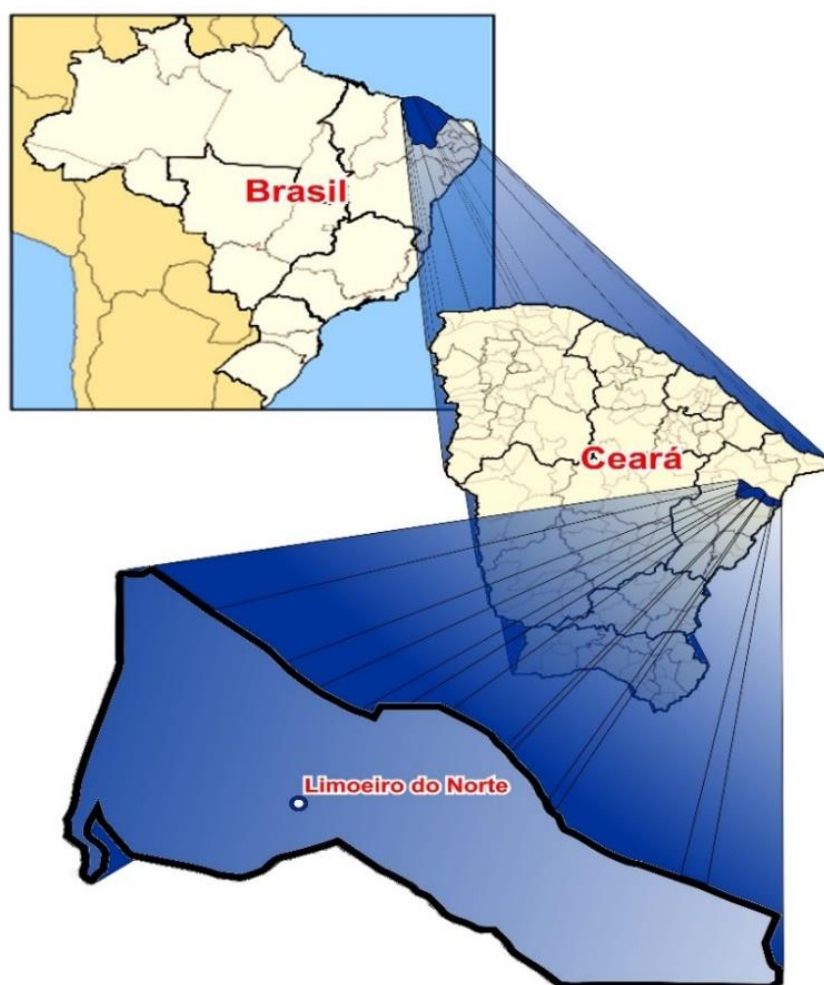
A vegetação caracteriza-se pela presença de floresta caducifólia espinhosa (caatinga arbórea), caatinga arbustiva aberta, caatinga arbustiva densa e floresta mista dicótilopalmácea (mata ciliar com carnaúba e dicotiledôneas).

Em relação às suas condições geoambientais verificam-se temperaturas médias máximas em torno de 26 °C, médias mínimas em torno de 20 °C e pluviosidade média normal de 720,5 mm anuais (IBGE, 2010).

No contexto do Estado do Ceará, a cidade pode ser considerada de porte médio. É também considerada um polo agrícola em decorrência da instalação de projetos de irrigação desde de 1970 com o objetivo de utilizar os solos de aluvião e Cambissolos para a agricultura irrigada mais tradicional, como no caso do Perímetro Irrigado de Morada Nova, parcialmente situado no município de Limoeiro do Norte e o Projeto de Irrigação Jaguaribe-Apodi, instalado em 1989 na Chapada do Apodi, caracterizado por irrigação tecnificada (IBGE, 2010).

A Figura 3 apresenta a localização do município de Limoeiro do Norte.

Figura 3 – Localização da área de estudo o município de Limoeiro do Norte.



Fonte: Adaptado de IPECE (2010).

4.2 Localização e descrição dos pontos de coleta

Para avaliar a dispersão atmosférica do glifosato em Limoeiro do Norte e verificar os efeitos da exposição desse herbicida sobre a saúde humana e o comportamento ambiental do mesmo foi escolhido a Chapada do Apodi (zona rural), por ser esta uma área de grande concentração do agronegócio, onde o uso desse herbicida e de outros agrotóxicos acontece de forma indiscriminada. Na área urbana os pontos de coleta foram escolhidos no Campo Florestal (CF) e no Instituto Federal – Campus Limoeiro (IFCE). Na Chapada do Apodi, o ponto de amostragem selecionado foi a UEPE - Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão Tecnológica, que pertence ao DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra a Seca e que está dentro do Projeto de Irrigação Jaguaribe-Apodi, especificamente na zona rural do Município de Limoeiro do Norte/CE. Atualmente a UEPE é administrada pelo IFCE – Campus Limoeiro através de uma concessão de uso feita pelo DNOCS para o IFCE, que lhe deu a outorga de 20 anos para desenvolver as atividades de pesquisa e extensão.

A UEPE possui uma área de 56,8 hectares onde são desenvolvidas atividades agrícolas culturais envolvendo hortaliças, fruteiras e forrageiras. Essa área por estar localizada dentro do Projeto de Irrigação Jaguaribe-Apodi fica bem próxima de grandes extensões de terra usadas por Empresas que desenvolvem atividades voltadas para o Agronegócio, as quais utilizam grandes quantidades de agrotóxicos. As empresas estão situadas em torno da UEPE, algumas mais distantes e outras bem mais próximas dos sítios onde são desenvolvidas as atividades de monoculturas do feijão, milho, sorgo, soja e banana (SILVA, 2012).

A Chapada do Apodi encontra-se em área de relevo plano com coordenadas de 05°10'53" S e 38°00'43" W e altitude de 146 m. O clima é quente e semiárido com temperatura superior a 18 °C no mês mais frio, classificado como BSw'h', segundo Köppen, caracterizada por uma estação chuvosa nos meses de janeiro a maio, sendo janeiro e abril os meses mais chuvosos. A outra estação designada de seca, de julho a dezembro (SARAIVA *et. al.*, 2013). No solo ocorre a predominância de solos da classe dos Cambissolos, geralmente com alta fertilidade natural (EMBRAPA, 2013).

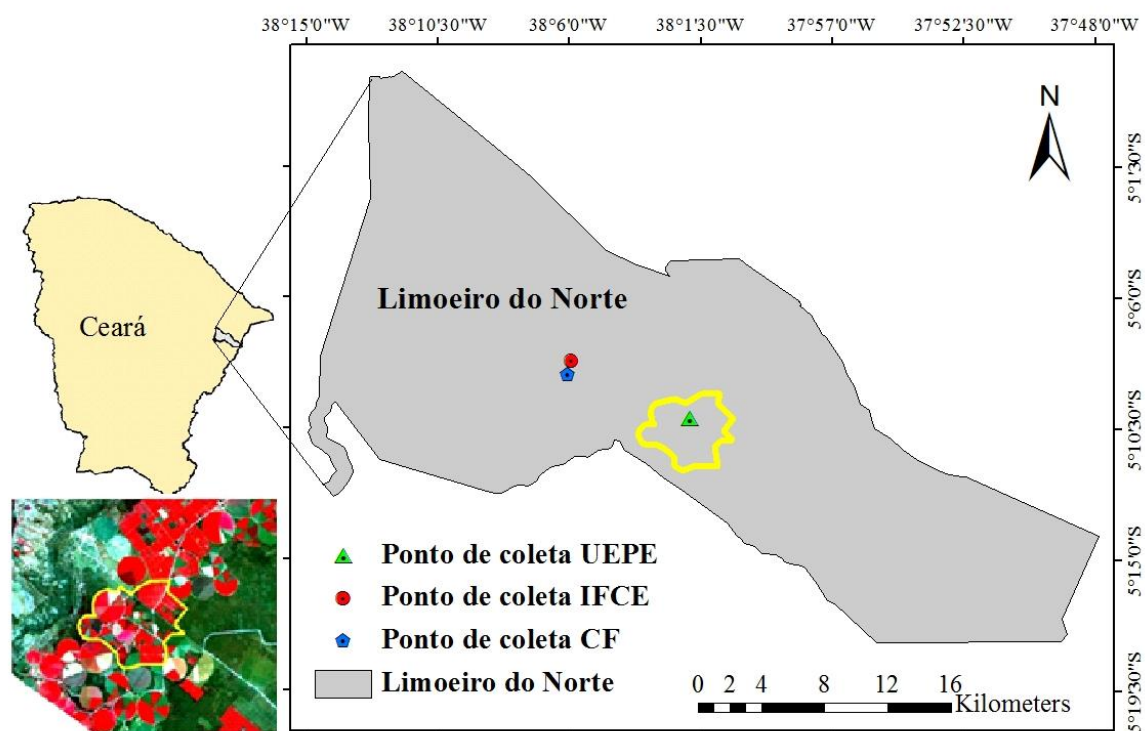
O ponto de coleta no interior da UEPE foi localizado na área da estação meteorológica da Unidade de Pesquisa onde o amostrador foi instalado. A Figura 4 ilustra a entrada da UEPE, enquanto que a Figura 5 os pontos de coleta das amostras de ar no município de Limoeiro do Norte e a Figura 6 o mapa dos sítios de amostragens.

Figura 4 – Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão Tecnológica (UEPE) na Chapada do Apodi.



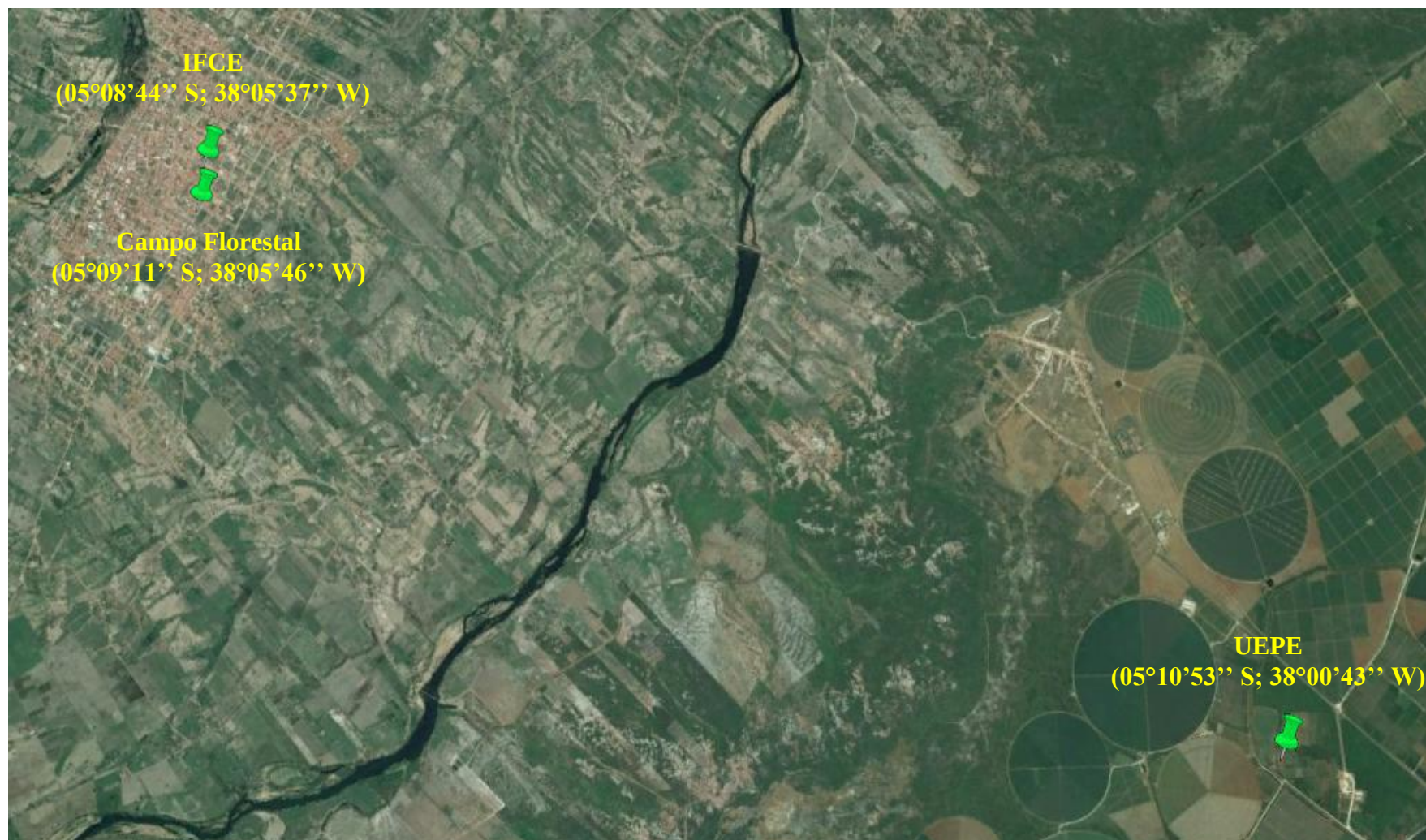
Fonte: Autor (2015).

Figura 5 – Localização dos pontos de coleta de amostras de ar no município de Limoeiro do Norte.



Fonte: Autor (2015).

Figura 6 - Mapa de localização dos sítios de amostragens: UEPE (zona rural), IFCE e Campo Florestal (zona urbana).



Fonte: Editado pelo autor a partir de Google Earth (acessado em 14/10/2015).

4.3 Seleção do agrotóxico

A metodologia utilizada para a escolha do agrotóxico consistiu no levantamento das quantidades dos produtos mais comercializados e utilizados nas atividades agrícolas no município de Limoeiro do Norte/CE (**dados sem autorização de divulgação**), já que o município se destaca por ser um pólo do agronegócio voltado para a grande produtividade de frutas. O levantamento de informações foi realizado junto a Federação das Associações do Perímetro Irrigado Jaguaribe-Apodi - FAPIJA, Empresa de Assistência Técnica e Extensão rural do Ceará - EMATERCE e Lojas que comercializam esses produtos em Limoeiro do Norte. A partir das informações coletadas o herbicida glifosato foi identificado como o agrotóxico mais comercializado e utilizado na região.

4.4 Monitoramento do glifosato na Chapada do Apodi

4.4.1 Período e frequência de amostragem

As amostragens foram realizadas com uma frequência de 7 dias num único ponto de amostragem localizado na UEPE no período de 22 de julho a 18 de novembro de 2014 (estação seca), com duração de 24 horas, iniciando às 7 horas da manhã e somando um total de 18 coletas. Os dados meteorológicos foram obtidos em uma estação meteorológica automática Campbell Científica – CR10X, pertencente à própria UEPE, sendo observados os parâmetros de umidade relativa, temperatura, precipitação pluviométrica, radiação solar, velocidade e direção do vento.

4.4.2 Metodologia de amostragem do glifosato

Para realização dessas amostragens foi utilizado o amostrador de orgânicos tóxicos – Amotox que utiliza um porta-amostra em vidro com 63 mm de diâmetro e 127 mm de comprimento no interior do qual se coloca a espuma de poliuretano (meio adsorvente). O conjunto é precedido por um dispositivo filtrante onde é instalado um filtro de fibra de vidro com 102 mm de diâmetro e porosidade nominal $< 1 \mu\text{m}$ com espessura de 0,26 mm. O ar coletado passa pelo conjunto pré-filtro/espuma de poliuretano a uma vazão média de 200 a 300 L/min. Antes de cada amostragem o Amotox é calibrado utilizando um sistema de calibração certificado do fabricante. Detalhes das planilhas de calibração e de amostragem utilizadas estão

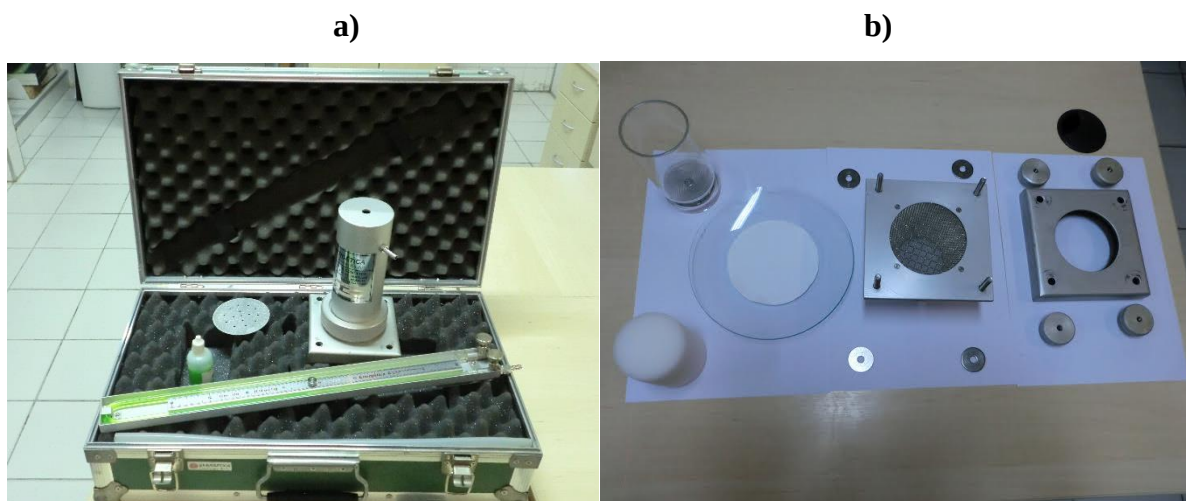
apresentados nos Anexos I e II desta dissertação. O Amotox modelo Energética Ltda, foi instalado numa plataforma a 10 cm do solo (recomendação do fabricante) dentro da Estação Metereológica da UEPE. As Figuras 7 e 8 representam imagens do amostrador Amotox utilizados nas amostragens do glifosato.

Figura 7 – Imagem do amostrador Amotox modelo Energética Ltda usado no monitoramento atmosférico do herbicida glifosato na área de estudo da UEPE de Limoeiro do Norte.



Fonte: Autor (2015).

Figura 8 – Imagens do kit de calibração do Amotox modelo Energética Ltda (a) e demais dispositivos de amostragem do ar (b) usados no monitoramento atmosférico do glifosato (porta-amostra em vidro, espuma de poliuretano, porta-filtro em aço, filtro de fibra de vidro).



Fonte: Autor (2015).

4.5 Monitoramento do material particulado

Amostras do material particulado foram obtidas numa área florestada da zona urbana do município de Limoeiro do Norte/CE conhecida como Campo Florestal sob coordenadas 05°09'11" S e 38°05'46" W, a qual não tem nenhuma proximidade com as áreas agrícolas da região e também em um ponto situado no Instituto Federal de Limoeiro do Norte (coordenadas 05°08'44" S e 38°05'37" W), outra área tipicamente situada na zona urbana do município. As condições de amostragem foram as mesmas utilizadas nas coletas do glifosato na zona rural e estas amostras são consideradas como controle negativo do experimento.

Os filtros de fibra vidro utilizados para a filtração do ar no sistema Amotox foram utilizados, oportunamente, para a determinação do material particulado total (PTS) na área da UEPE.

Para as amostragens no Campo Florestal (coleta 1 a 4) e no IFCE Campus Limoeiro (coleta 5 a 18), foram utilizados bomba AirCheck 5000 da SKC® acopladas a um gasômetro LAO GO,6 e um cassete em acrílico de 37 mm de diâmetro com suporte (PAD) em malha fina de aço inox para dar suporte ao filtro coletor de PTFE (teflon). O filtro utilizado de PTFE possui 37mm de diâmetro e 0,45 µm de porosidade. A vazão da bomba foi ajustada para valores de $3,75 \pm 0,5$ L/min com o emprego de um bolhômetro calibrado de 1000 mL da DiogoLab®. O aparato de amostragem foi colocado a uma altura de 2,0 metros do solo (Figura 9).

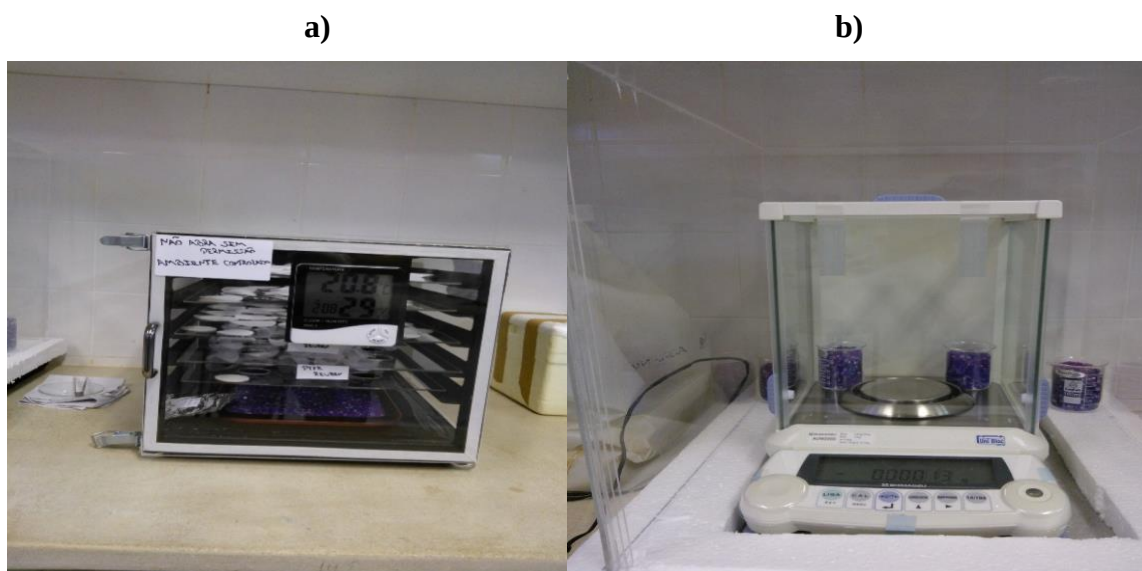
Figura 9 – Imagem dos aparatos de coleta dos materiais particulados: gasômetro (1), bomba (2), cassete (3), filtro (4) e PAD em aço (5).



Fonte: Autor (2015).

Na determinação do material particulado total em suspensão (PTS) os filtros foram acondicionados por 24 horas, antes e após a coleta, em câmara dessecadora (Figura 10a), modelo Energética Ltda com umidade controlada (UR entre 20-30 %). A câmara dessecadora foi cedida pelo LTQ – Laboratório de Tecnologia Química do IFCE, Campus Fortaleza. Os filtros foram pesados em uma balança Shimadzu (Figura 10b) modelo AUW220D com precisão de $\pm 0,01$ mg. A balança foi cedida pelo LERCA – Laboratório de Energias Renováveis e Conforto Ambiental do IFCE Campus Fortaleza. Todo o procedimento analítico foi realizado no Laboratório de Biologia do Campus de Limoeiro do Norte.

Figura 10 – Dispositivos usados para pesagem e secagem dos filtros: câmara dessecadora (a) e balança analítica (b).



Fonte: Autor (2015).

As concentrações do material particulado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) foram calculadas por gravimetria a partir da razão entre a massa de sólidos e o volume de ar amostrado, de acordo com a Equação 1:

$$\text{PTS } (\mu\text{g}/\text{m}^3) = (m_f - m_i) \times 10^6 / V \quad (1)$$

Onde: m_f é a massa final do filtro em gramas; m_i é a massa inicial do filtro em gramas; V é o volume do ar amostrado e medido pelo gasômetro e 10^6 é o fator de conversão de gramas para microgramas (ABNT, 1997).

4.6 Determinação do glifosato

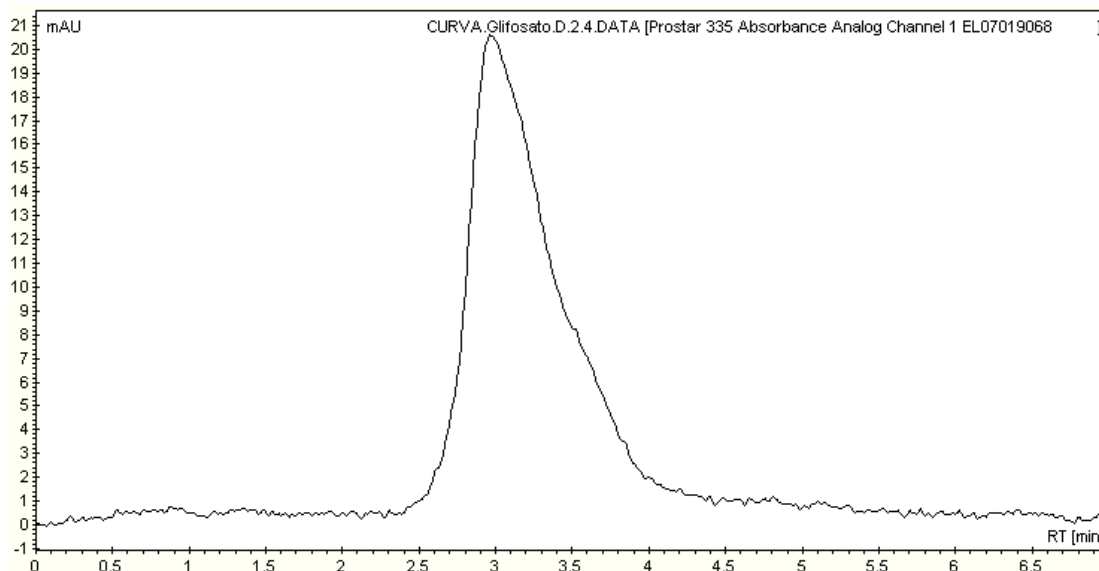
O glifosato foi determinado na fase gasosa após extração a partir das espumas de poliuretanas (PUF). Para a extração foi utilizada uma solução contendo 0,211 g de fosfato de potássio monobásico, 10 mL de metanol grau HPLC e água ultrapura até completar 250 mL. O pH foi mantido em 2 utilizando ácido fosfórico concentrado. A espuma contendo a amostra foi acondicionada num recipiente fechado de plástico e transportada sob refrigeração (4° C) em potes herméticos até o laboratório para a análise. Os PUFs foram submersos completamente em 200 mL da solução extratora dentro de um recipiente de plástico fechado por 12 horas. Após este tempo o licor de extração foi drenado e acondicionado em frasco âmbar. 50 mL do extrato ácido foram filtrados e concentrados em um cartucho de extração em fase sólida tipo Chromabond® C18 da Macherey- Nagel com volume de 3 mL e massa de 500mg e tamanho da partícula de 45 µm. Os cartuchos foram condicionados eludindo-se, na ordem com 5mL de metanol grau HPLC e 5 mL de água ultra pura. Em seguida foi realizado a eluição dos 50 mL da solução extratora contendo o herbicida. O glifosato adsorvido foi recuperado com 5 mL de água ultra pura. O pH final foi mantido em 2. A solução aquosa concentrada de glifosato foi analisada posteriormente por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC).

Para análise do glifosato associado ao material particulado, filtros de fibra de vidro (das amostras da UEPE na zona rural) e de PTFE (das amostras das áreas urbanas do município - controle negativo) com áreas de cerca de 10,75 cm² foram deixados por 12 horas na solução extratora ácida (20 mL). Após este tempo o extrato foi separado e acondicionado em frasco âmbar sob refrigeração até o momento da análise por HPLC.

As análises por cromatografia líquida de alta eficiência foram realizadas no Laboratório de Tecnologia Química do IFCE conforme metodologia analítica desenvolvida por Morshed *et al.* (2011) usando HPLC Varian ProStar com detector de arranjo de diodos (DAD/HPLC), coluna µBondapark™ C18 (10 µm; 3,9 mm x 300 mm), comprimento de onda de 195 nm, volume de injeção de 20 µL, fase móvel: KH₂PO₄ 0,006 mM, vazão de 1,0 mL/min. O tempo de retenção foi de 2,97 min para uma corrida analítica de 7 min. A concentração de glifosato foi estimada pelo método do padrão externo usando um padrão glyphosate adquirido pela Sigma - Aldrich®. A curva de calibração de glifosato está apresentada no Anexo III deste trabalho.

O cromatograma típico da detecção de glifosato está apresentado na Figura 11 a seguir.

Figura 11 – Cromatograma típico da análise do padrão de glifosato por cromatografia líquida de alta eficiência.



Fonte: Autor (2015).

4.7 Estudos Preliminares de morbidade e mortalidade

No contexto de identificar uma possível associação entre a presença de glifosato atmosférico e a incidência de doenças a ele relacionadas na área do município de Limoeiro do Norte foram levantados dados de morbidade e mortalidade juntos a registros da Secretaria Municipal de Saúde (SMS), baseando-se as pesquisas em informações do Sistema Único de Saúde – SUS do país (Anexo V). Neste trabalho não foi possível o uso de registros de base hospitalar do hospital de maior referência no município, os quais poderiam contribuir para se obter dados populacionais com relação a morbidade e mortalidade em áreas mais expostas aos agrotóxicos.

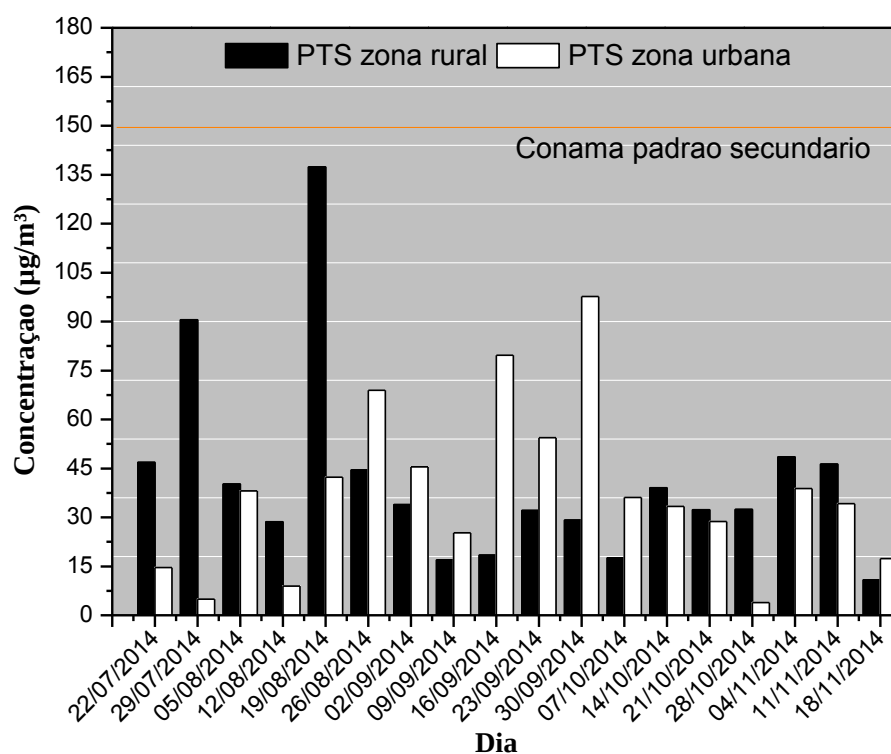
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Particularmente, nesta parte do trabalho estão apresentados os resultados do monitoramento atmosférico do material particulado total (PTS) e do herbicida glifosato realizado na área em estudo. E os estudos relacionados aos impactos ambientais à saúde das comunidades do município de Limoeiro do Norte – CE.

5.1 Materiais particulados e parâmetros meteorológicos

Os níveis de partículas totais em suspensão (PTS) em Limoeiro do Norte, especificamente na Chapada do Apodi (zona rural), no Campo Florestal e Instituto Federal do Ceará *Campus* Limoeiro do Norte (pontos controle), para a amostragem no período de 22 de julho a 18 de novembro de 2014 estão apresentados na Figura 12 e na Tabela 1 a seguir.

Figura 12 – Perfil de PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) no período de 22 de julho a 18 de novembro de 2014 na Chapada do Apodi (zona rural) e na zona urbana (controle) do município de Limoeiro do Norte.



Fonte: Autor (2015).

Tabela 1 - Concentrações de PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e variáveis estatísticas no período de 22 de julho a 18 de novembro de 2014 na Chapada do Apodi (amostra zona rural) e na zona urbana do município de Limoeiro do Norte.

Concentrações Variáveis	PTS, zona rural ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PTS, zona urbana ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Máximo	137,4	97,7
Mínimo	10,8	3,87
Média	41,1	38,1
Desvio Padrão	28,9	24,7

Fonte: Autor (2015).

De acordo com a Figura 12 e a Tabela 1 as concentrações de material particulado na Chapada do Apodi (zona rural) variaram entre 10,8 e 137,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ com média de 41,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e entre 3,87 e 97,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ com média de 38,1 nos pontos controles na zona urbana de Limoeiro do Norte (Campo Florestal e Instituto Federal do Ceará). Estes valores não excederam em nenhuma campanha realizada os limites diários de padrão primário (240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) e secundário (150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/90.

Em estudo realizado por Shridhar *et al.* (2010) para os níveis de PTS na atmosfera das zonas urbana e rural de Nova Deli-Índia, revelaram concentrações entre 545,84 e 174,52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na zona urbana e entre 479,08 e 276,90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na zona rural, índices superiores de 3 a 4 vezes ao padrão estabelecido para qualidade do ar neste país (140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Os autores associam esses altos índices as ações antrópicas e as condições meteorológicas.

Outro estudo no Norte da China realizado por Wei Li *et al.* (2014) mostraram níveis de PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) entre 128 e 89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para a área rural e entre 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 171 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para a área urbana. O PM_{10} é o único parâmetro que é regulamentado na China pela GB 3095-2012 (Ambient Air Quality Standard), a qual determina uma média diária aceitável de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bem superior ao padrão OMS que recomenda um valor limite de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de média diária e 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de média anual.

Em tempo, a variação entre os níveis de PTS obtidos pode ser relacionada às condições meteorológicas diárias como: umidade relativa do ar, precipitação pluviométrica, velocidade dos ventos e direção dos ventos. A Tabela 2 apresenta os valores dos parâmetros meteorológicos obtidos no período em estudo.

Tabela 2 – Parâmetros meteorológicos obtidos durante o período de 22 de julho a 18 de novembro de 2014 no município de Limoeiro do Norte.

Dia	Temperatura média (°C)	Umidade relativa média do ar (%)	Precipitação Pluviométrica média (mm)	Velocidade dos Ventos média (m/s)
22/07/2014	28,6	57,4	6,5	7,0
29/07/2014	28,6	57,9	6,6	7,4
05/08/2014	29,1	55,8	6,1	9,8
12/08/2014	29,2	50,8	0,3	7,9
19/08/2014	29,0	52,8	2,1	8,2
26/08/2014	28,3	59,0	1,8	9,4
02/09/2014	28,7	67,6	1,8	9,3
09/09/2014	28,1	62,4	4,2	8,7
16/09/2014	28,6	61,2	4,0	10,4
23/09/2014	28,9	59,2	4,8	11,4
30/09/2014	29,5	58,9	4,8	9,6
07/10/2014	29,4	69,1	26,2	8,4
14/10/2014	29,6	56,7	24,0	9,8
21/10/2014	29,0	62,4	21,6	10,7
28/10/2014	29,2	64,6	21,6	12,1
04/11/2014	29,1	64,7	17,3	12,4
11/11/2014	29,1	67,2	0,0	12,1
18/11/2014	28,0	72,5	0,6	8,5

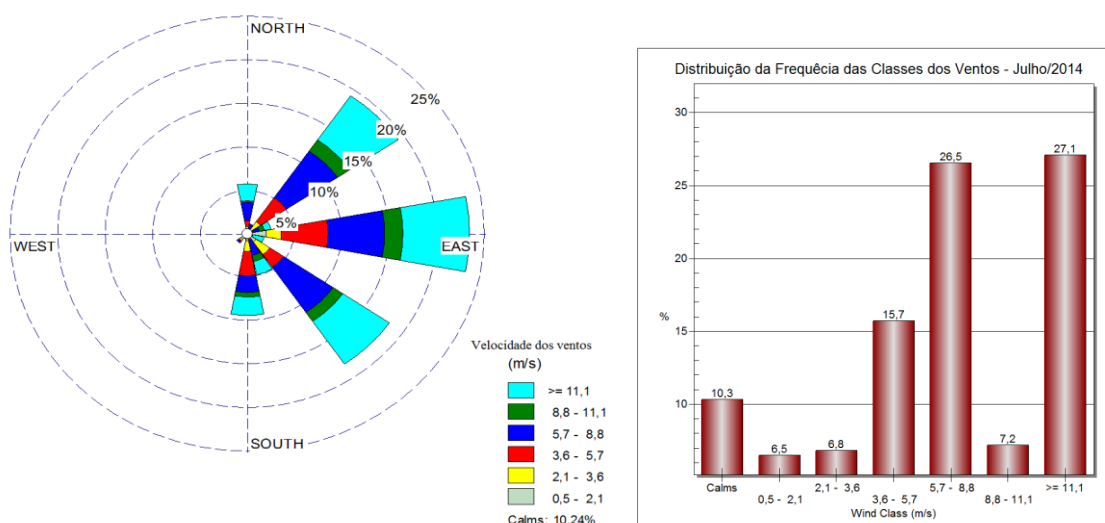
Fonte: Autor (2015).

Na Tabela 2 observa-se que durante o período de amostragem as temperaturas médias variaram entre 28 e 29,6 °C. As temperaturas máximas variaram entre 33,8 e 38,2 °C e os valores mínimos de temperatura (entre 20,9 e 21,4 °C) foram registrados nas primeiras horas da madrugada, já próximo o final das coletas. As umidades relativas médias variaram entre 50,8 e 72,5 % (média de 61,1 %) e as precipitações pluviométricas entre 0 e 26,2 mm (média de 8,6 mm), sendo que as maiores chuvas ocorreram no mês de outubro, um período caracterizado tipicamente como não chuvoso na região. Em tempo a chuva atua como um depurador da atmosfera removendo dela os poluentes. As velocidades médias do vento variaram entre 7 e 12,4 m/s (média de 9,0 m/s), valores tipicamente altos para estudos atmosféricos e parâmetros responsáveis pela dispersão de poluentes no sítio investigado.

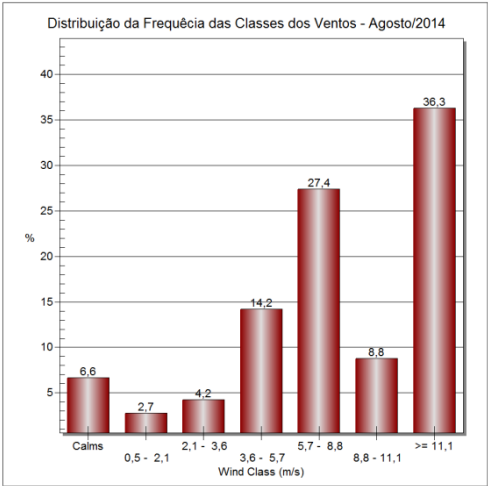
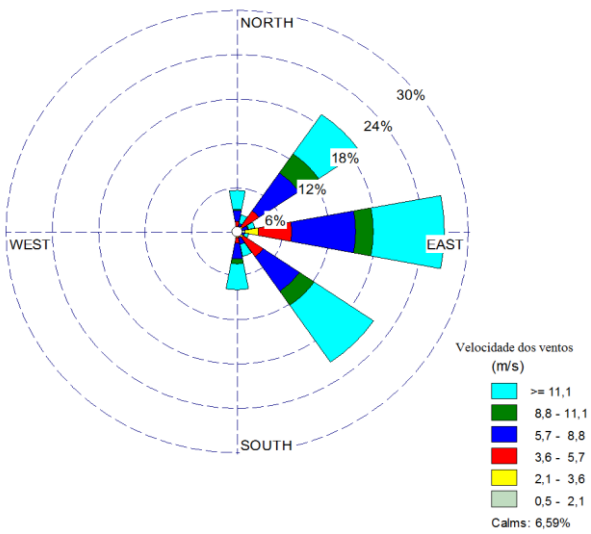
A direção e a velocidade do vento são dispostas nas rosas dos ventos mensais que apresentam a frequência combinada da direção do vento associadas as faixas de velocidades, conforme a Figura 13. A intensidade ou velocidade do vento é indicada pela escala de cores, enquanto que os círculos concêntricos representam as frequências percentuais de ocorrência de ventos em cada direção. A espessura de cada retângulo indica a frequência com que o vento soprou com aquela intensidade e naquela direção. O perfil detalhado dos ventos com as rosas dos ventos diárias está apresentado no Anexo IV desta pesquisa.

Figura 13 – Rosa dos ventos e frequência mensais dos ventos no período de 22 de julho a 18 e novembro de 2014 na Chapada do Apodi.

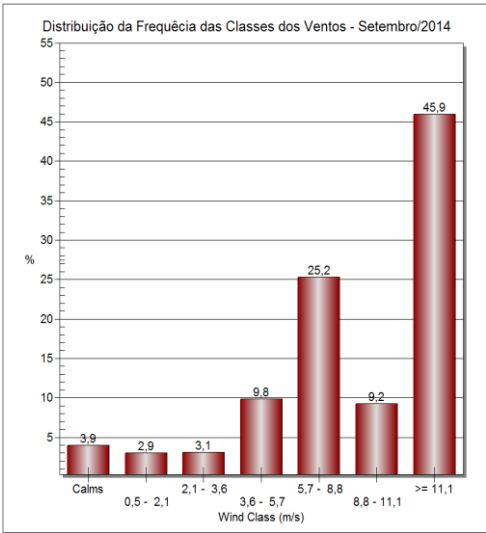
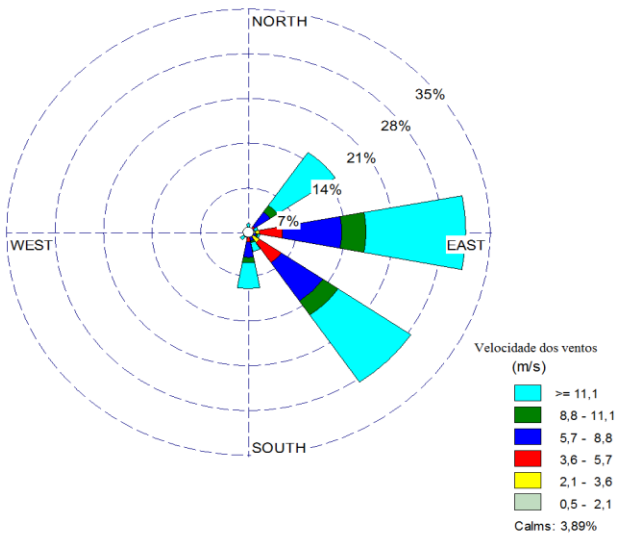
Julho/2014.



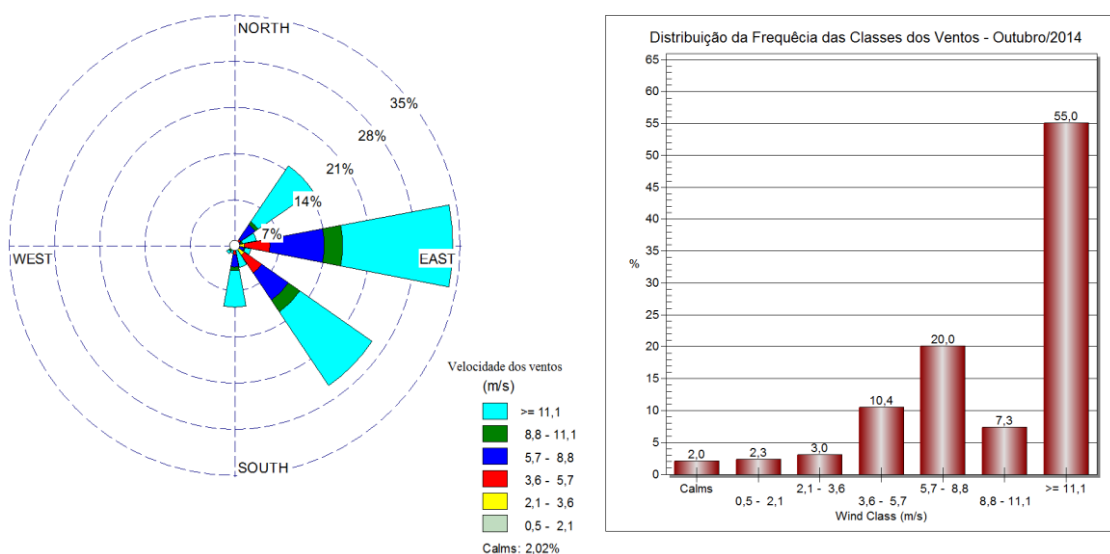
Agosto/2014.



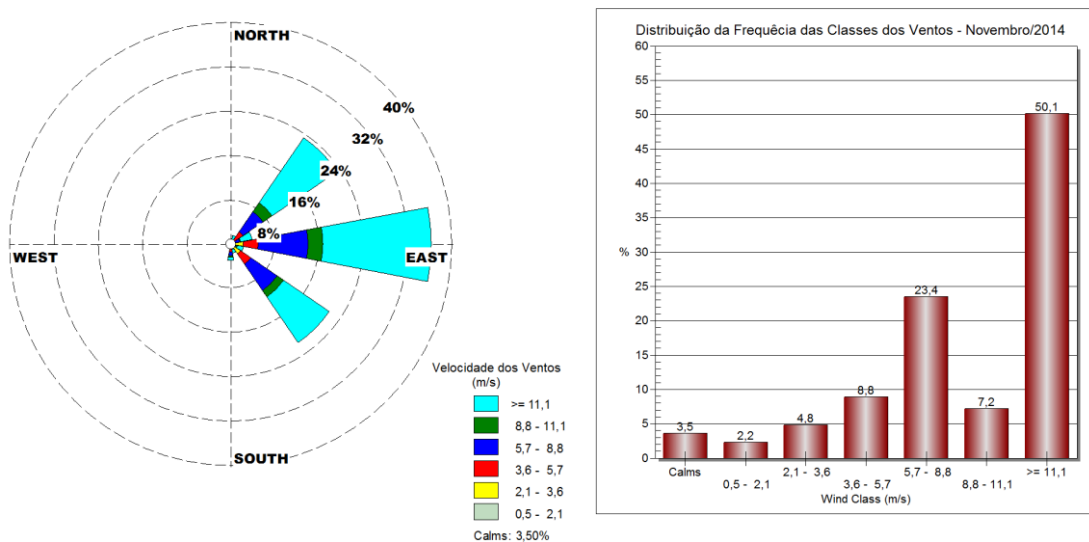
Setembro/2014.



Outubro/2014.



Novembro/2014.

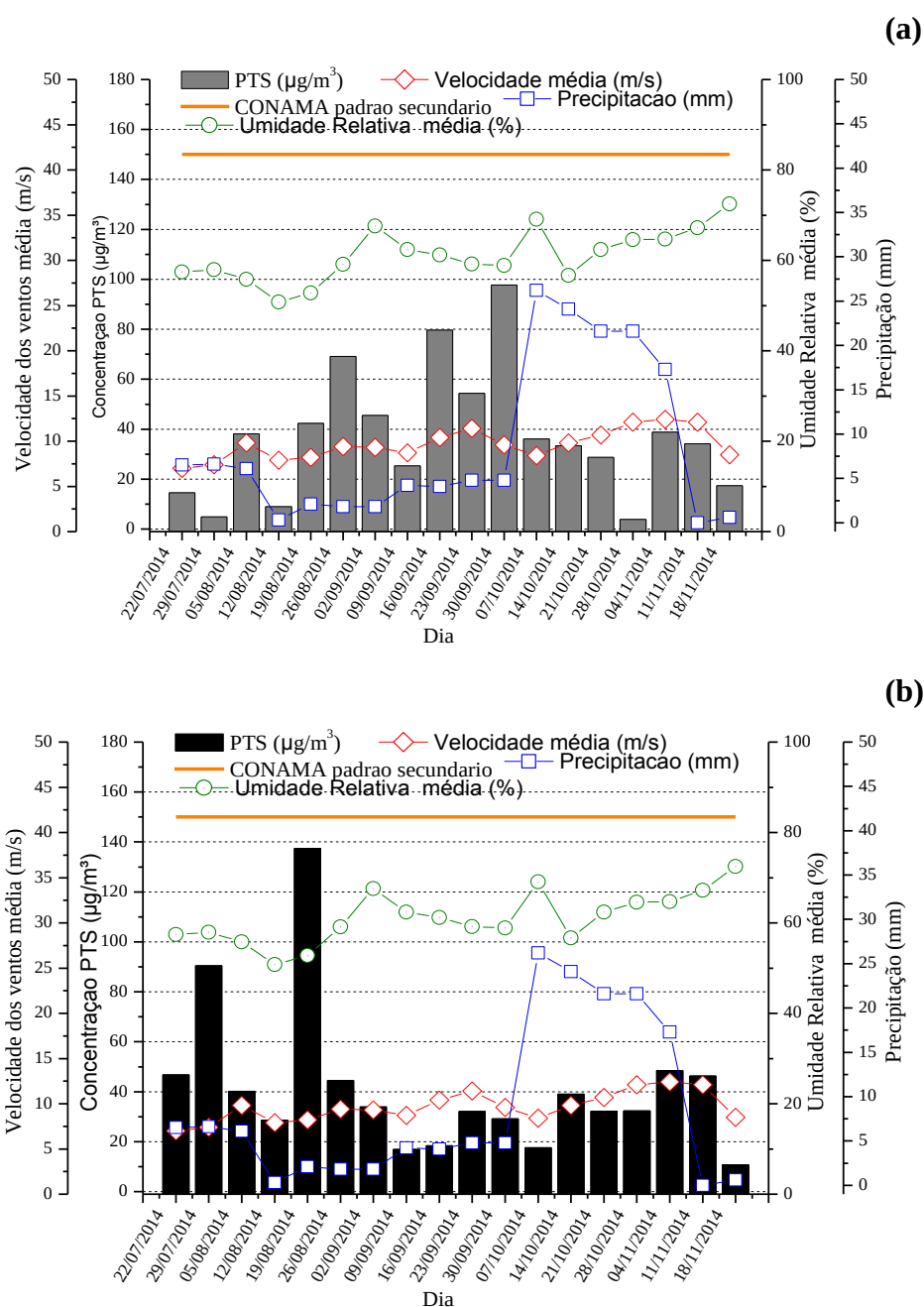


Fonte: Autor (2015).

No período de amostragem de 22 de julho a 18 de novembro de 2014 os ventos apresentaram maiores componentes na direção E, com direções variando entre os quadrantes E, NE e SE. As maiores frequências de velocidade dos ventos foram verificadas para os ventos superiores a 11,1 m/s, correspondentes a 27,1 % no mês de julho; 36,3% em agosto; 45,9% no mês de setembro; 55,0% em outubro e 50,1% no mês de novembro.

A correlação entre as variáveis meteorológicas e a concentração do material particulado (PTS) durante o monitoramento ambiental realizado está ilustrada na Figura 14. Os *plots* foram considerados para o mesmo conjunto de dados meteorológicos haja visto que as distâncias entre os pontos de amostragem na chapada e na zona urbana são apenas de 15 Km (distância máxima).

Figura 14 - Perfil das variáveis meteorológicas com as concentrações médias diárias de PTS nas áreas urbana (a) e rural (b) do Município de Limoeiro do Norte no período de 22 de julho a 18 de novembro de 2014.

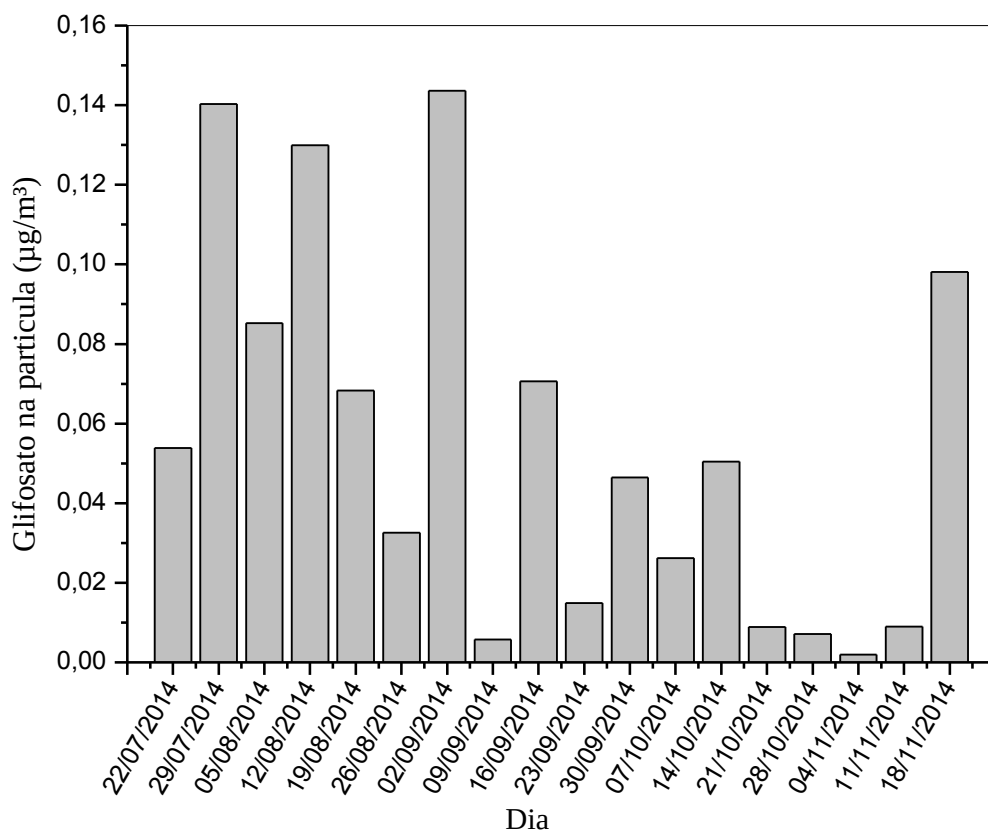


A Figura 14 mostra correlações (R^2) muito fracas entre os parâmetros meteorológicos e os valores de PTS, assim é que os valores de R^2 variaram entre 0,008 (temperatura) e 0,232 (umidade) para os dados comparativos com a zona rural e de 0,002 (umidade) e 0,044 (precipitação pluviométrica) com a zona urbana.

5.2 Avaliações dos teores de glifosato

As concentrações de glifosato associados aos materiais particulados obtidas nas amostras coletadas na Chapada do Apodi (zona rural) estão apresentadas na Figura 15 e na Tabela 3 a seguir.

Figura 15 – Perfil do Glifosato associado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ao material particulado (PTS) nas amostras coletadas no período de 22 de julho a 18 de novembro de 2014 na Chapada do Apodi (área rural).



Fonte: Autor (2015).

Tabela 3 - Concentrações de glifosato associados a material particulado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e variáveis estatísticas nas amostras coletadas no período de 22 de julho a 18 de novembro de 2014 na Chapada do Apodi.

Concentrações Variáveis	Glifosato no particulado na zona rural ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Máximo	0,144
Mínimo	0,002
Média	0,055
Desvio Padrão	0,046

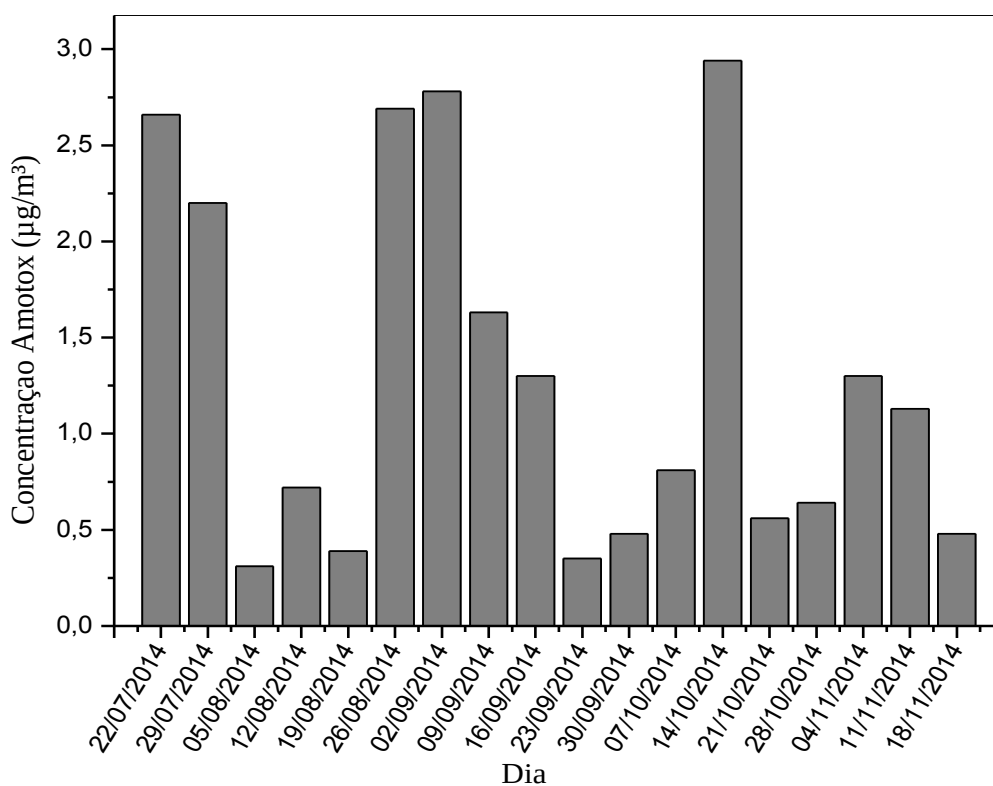
Fonte: Autor (2015).

A partir da Figura 15 e Tabela 3 observa-se que as moléculas de glifosato foram detectadas em todas as amostras de material particulado (total de 18 coletas). O glifosato apresentou concentração bastante elevada na amostra coletada no dia 02 de setembro de 2014 (amostra 7) com valor de $0,144 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($144 \text{ ng}/\text{m}^3$) e concentração mais baixa na amostra coletada no dia 04 de novembro de 2014 (amostra 16) com valor de $0,002 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($2 \text{ ng}/\text{m}^3$).

Neste estudo observa-se uma grande variabilidade entre os valores obtidos na amostragem, o que pode ser relacionado às condições meteorológicas locais (precipitação, umidade, velocidade e direção dos ventos) e aos dias de maior ou menor intensidade de aplicação do herbicida nas áreas agrícolas da Chapada do Apodi.

A Figura 16 e a Tabela 4 apresentam os resultados do teor de glifosato atmosférico presente nas amostras coletadas na Chapada do Apodi no período de 22 de julho a 18 de novembro de 2014.

Figura 16 – Perfil das concentrações de Glifosato atmosférico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) no período de 22 de julho a 18 de novembro de 2014 na Chapada do Apodi.



Fonte: Autor (2015).

Tabela 4 - Concentrações de glifosato atmosférico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e variáveis estatísticas no período de 22 de julho a 18 de novembro de 2014 na Chapada do Apodi.

Concentrações Variáveis	Glifosato na atmosfera da zona rural ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Máximo	2,939
Mínimo	0,313
Média	1,218
Desvio Padrão	0,919

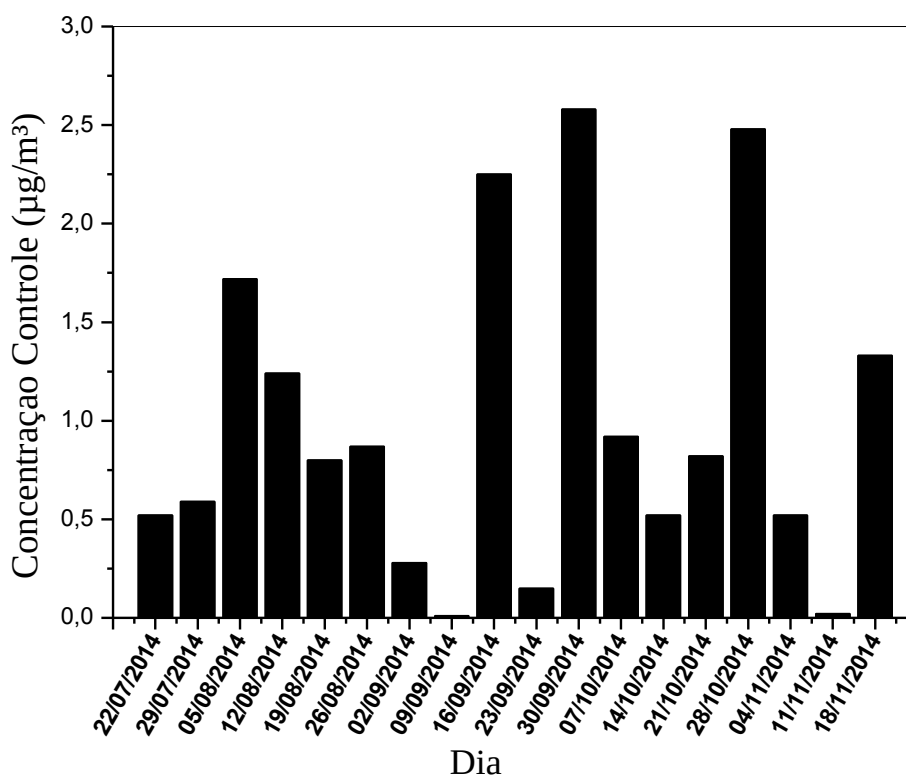
Fonte: Autor (2015).

Os níveis de glifosato observados na atmosfera rural da Chapada do Apodi variaram entre $0,313 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (amostra 3) coletada no dia 05 de agosto de 2014 a $2,939 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (amostra 13) coletada no dia 14 de outubro de 2014 (média de $1,218 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Estes valores observados podem ser preocupantes, pois podem representar um problema para a população que reside em torno

do ponto de coleta na zona rural, como também para a população da área urbana do município, já que o ar atmosférico se desloca da Chapada do Apodi (zona rural) para a área urbana através da deriva dos ventos e sofre influência direta dos parâmetros meteorológicos como: precipitação, umidade relativa e direção dos ventos. Os teores encontrados também podem ter efeito direto no meio ambiente, uma vez que o teor de glifosato presente no ar pode ser levado ao solo através das precipitações, contaminando o próprio solo e as águas superficiais e consequentemente atingirem até o subsolo, contaminando também as águas subterrâneas através do lençol freático.

Os resultados encontrados na determinação do teor de glifosato associado ao material particulado nos pontos controle (Campo Florestal e no Instituto Federal do Ceará) na **zona urbana** do Município de Limoeiro do Norte estão apresentados na Figura 17 e Tabela 5.

Figura 17 – Perfil do glifosato ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) associado ao material particulado nas amostras coletadas no período de 22 de julho a 18 de novembro de 2014 na zona urbana do município de Limoeiro do Norte.



Fonte: Autor (2015)

Tabela 5 - Concentrações de glifosato associado ao material particulado e variáveis estatísticas nas amostras coletadas no período de 22 de julho a 18 de novembro de 2014 na zona urbana do município de Limoeiro do Norte.

Concentrações Variáveis	Glifosato no particulado na zona urbana ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Máximo	2,576
Mínimo	0,009
Média	1,006
Desvio Padrão	0,783

Fonte: Autor (2015)

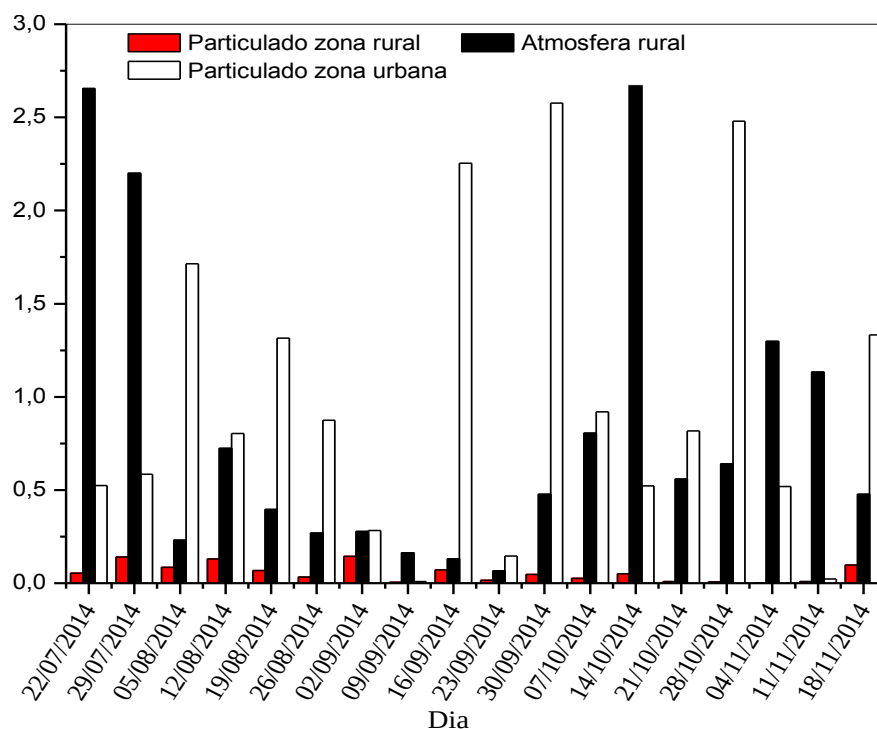
No material particulado da área urbana também foram detectados glifosato em todas as amostras apresentando valores entre $0,009 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (amostra 8) coletada em 09 de setembro de 2014 e $2,576 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (amostra 11) coletada em 30 de setembro de 2014 (média de $1,006 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Estes valores mostram valores muito maiores dos níveis de herbicida associados ao particulados quando comparados a zona rural, reforçando a ideia da dispersão dos poluentes produzida principalmente por ação dos ventos da zona rural para a zona urbana do município.

Na zona urbana um dos pontos de coleta (controle) se encontrava numa área de reserva florestal, suposta isenta de agrotóxicos, onde foram coletadas as 4 primeiras amostras do controle (média de $1,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$). O outro ponto também na área urbana estava localizado no interior do Instituto Federal do Ceará-campus Limoeiro, onde foram coletadas as 14 amostras restantes do controle (média de $0,97 \mu\text{g}/\text{m}^3$), que também se julgava ser uma área livre de agrotóxicos.

De acordo com a Figura 13 que apresenta as rosas dos ventos mensais e o Anexo IV (rosa dos ventos diárias) observa-se que a direção dos ventos da Chapada do Apodi (zona rural) é direcionada para a área urbana, e ainda que mesma se encontra em uma altitude bem abaixo da altitude da Chapada do Apodi, aproximadamente 140 m, o que favorece a deriva dos ventos, o que justifica a presença dos teores de glifosato na área urbana. A este fator acrescenta-se a presença de glifosato na área urbana do município de Limoeiro do Norte pelo uso doméstico do herbicida em quintas e jardins.

A Figura 18 e a Tabela 6 apresentam os resultados comparativos entre os teores de glifosato nas zonas urbana e rural do município de Limoeiro do Norte.

Figura 18 - Perfil de glifosato ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nas amostras coletadas no período de 22 de julho a 18 de novembro de 2014 nas zonas urbana e rural do município de Limoeiro do Norte.



Fonte: Autor (2015).

Tabela 6 – Comparativo das concentrações de glifosato ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e variáveis estatísticas presentes nas amostras coletadas no período de 22 de julho a 18 de novembro de 2014 nas zonas urbana e rural do município de Limoeiro do Norte.

Concentrações Variáveis	No particulado da zona rural ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Na atmosfera da zona rural ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	No particulado da zona urbana ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Máximo	0,144	2,939	2,576
Mínimo	0,002	0,313	0,009
Média	0,055	1,218	1,006
Desvio Padrão	0,046	0,919	0,783

Fonte: Autor (2015).

Os resultados relatados na Figura 18 e na Tabela 6 mostram que os valores máximos dos teores de glifosato das amostras da Chapada do Apodi de: $0,144 \mu\text{g}/\text{m}^3$ associados aos particulados e $2,939 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a atmosfera local e de $2,576$ do glifosato associados aos particulados do ponto controle são típicos de sítios com elevada contaminação do ar, tanto na área rural como na urbana do município de Limoeiro do Norte.

A pulverização aérea é uma forma de transporte atmosférico dos agrotóxicos. Esse tipo de pulverização foi utilizado pelos agricultores na Chapada do Apodi quando suas lavouras apresentavam um estágio avançado de infestação de pragas ou de ervas daninhas e pode ter contribuído sensivelmente para os níveis elevados de herbicidas que foram detectados.

Chang *et al.* (2011) analisaram o glifosato e o AMPA presente no ar em três áreas agrícolas dos Estados Unidos: Indiana, Iowa e Mississippi, nos anos de 2004, 2007 e 2008, totalizando 80 amostras. O glifosato foi detectado em mais de 60 % das amostras e o AMPA em mais de 50% das mesmas. As concentrações encontradas foram baixas variando entre 0,01 e 9,1 ng/m³. Jauhiainen *et al.* (1991) relataram níveis de até 15 µg/m³ de glifosato no ar durante períodos de pulverização.

Morshed *et al.* (2011) estudaram a presença de resíduos de glifosato na atmosfera da Malásia em condições de clima tropical, com altas temperaturas, em amostras de ar coletadas na pré-pulverização e pós-pulverização de uma área agrícola no período de 12 horas. Os Autores relatam que durante 25 minutos de pulverização foram detectadas elevadas concentração de glifosato de 42,96 µg/m³ nas amostragens realizadas na área de respiração do operador, o que foi considerado altíssimo. Os autores concluíram que o resíduo de glifosato estava mais associado às partículas em suspensão onde eram transportados e não ao vapor na atmosfera.

5.3 Análise preliminar de morbidade e mortalidade em Limoeiro do Norte

Dados do Sistema Único de Saúde – SUS (Anexo V) sobre a morbidade hospitalar por local de residência, para o município de Limoeiro do Norte, nos anos de 2004 a 2008, mostram que a primeira causa de internação hospitalar esteve relacionada à categoria “gravidez, parto e puerpério”, seguido pela categoria “lesões por envenenamento e outras consequências de causas externas”. Esse último registro chama a atenção. Embora não seja possível afirmar que os envenenamentos notificados sejam devidos ao contato com agrotóxicos, dada a vocação do local para a agricultura, há, em termos, uma questão científica a ser investigada. É de notório saber que muitos agricultores sofrem envenenamento não intencional quando da exposição ocupacional e ambiental. Há ainda os casos citados nos meios de comunicação sobre o envenenamento intencional, de agricultores que cometeram suicídio ingerindo produtos agrotóxicos. O mesmo padrão se repete para os anos de 2009 a 2013, de acordo com os dados do DATASUS.

Já em relação à mortalidade, as principais causas de óbitos registradas em todo o período de 2004 a 2011 foram relativas às “doenças do aparelho circulatório”, “neoplasias”, “causas externas” e “doenças do aparelho respiratório”. Todas essas categorias podem ter relação com o contato prolongado com os agrotóxicos, embora, apenas com base nos dados apresentados, não seja possível ter esta comprovação.

O óbito por doença crônica é de difícil correlação causa-efeito. A exposição prolongada ao risco precisaria ser historicamente pesquisada para maiores conclusões.

Os dados, em geral, sugerem uma pesquisa epidemiológica posterior, de base hospitalar ou populacional, buscando-se extrair além do local de moradia, a profissão dos casos notificados – trabalhador rural, agricultor – gênero, idade, etc.

Rigotto *et al.* (20013), em estudo realizado no período de 2000 a 2010 associado aos efeitos da exposição aos agrotóxicos com a saúde da população nos municípios de Limoeiro do Norte, Quixeré e Russas no estado do Ceará observaram tendência de aumento estatisticamente significativa das taxas de internações por neoplasias ($p = 0,026$). Os autores observaram ainda que as taxa de internações por neoplasias foram 1,76 vezes maiores nos municípios de estudo em relação a área controle ($p < 0,001$). A taxa de mortalidade por neoplasias também foi maior nos municípios em estudo ($OR = 1,38$; $p = 0,007$).

6 CONCLUSÕES

No Brasil, ainda não foram encontrados dados para comparar na literatura relatando a presença de agrotóxico no ar, e especificamente do herbicida glifosato. Na região do Baixo Jaguaribe mesmo sendo uma área de grande intensidade no uso de agrotóxicos, não existem estudos sobre esses componentes no ar.

Os níveis de materiais particulados encontrados na zona urbana e rural do município de Limoeiro do Norte variaram entre 3,87 e 97,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 10,8 e 137,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, os quais são inferiores ao estabelecidos pela legislação nacional para este poluente.

As concentrações de glifosato no material particulado das áreas urbana e rural variaram entre 0,009 e 2,576 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e de 0,002 e 0,144 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, e em geral, os maiores níveis da zona urbana podem ser atribuídos a dispersão dos poluentes pela ação dos ventos da zona rural para zona urbana e também pelo uso doméstico desse herbicida na zona urbana.

No município de Limoeiro do Norte, o herbicida glifosato foi detectado (0,313 a 2,939 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) na atmosfera em todas as amostras coletadas na área rural, incluindo áreas agrícolas e não agrícolas. O glifosato na forma de aerossol atmosférico foi a principal forma de apresentação deste herbicida.

Embora os impactos atmosféricos dos agrotóxicos sejam mais prováveis nas proximidades das áreas de aplicação, os níveis de herbicidas encontrados nas zonas urbana e rural foram dezenas a centenas de vezes maiores que os relatados na literatura em outros países, o que certamente pode ser considerado preocupante do ponto de vista da saúde ambiental.

A dependência dos agrotóxicos para proteção das culturas no município de Limoeiro do Norte pode contribuir significativamente para alterações da qualidade do ar e causar danos à saúde da população. Os resultados reportados nessa pesquisa ainda que preliminares poderão ajudar a adoção de medidas que norteiem o uso correto dos agrotóxicos, especificamente o herbicida glifosato, observando os limites máximos para cada cultura, e a prevenção da contaminação do ar, a partir de um levantamento das áreas mais vulneráveis, ou até mesmo a substituição desse herbicida pela capina manual.

Os dados levantados junto a Secretaria Municipal de Saúde das morbidade e mortalidade no município de Limoeiro do Norte supõe uma certa relação entre as doenças mais frequentes e óbitos no município e a exposição aos agrotóxicos locais, já que as incidências por envenenamentos e causas externas e os óbitos por neoplasias (tumores) apresentaram bastante destaque.

Este é o primeiro estudo realizado na região sobre agrotóxico na atmosfera e especificamente o herbicida glifosato, e apresenta uma análise prévia desse composto usado na agricultura, no município de Limoeiro do Norte, que será utilizado para orientar futuros planejamentos de monitoramento em regiões com intensa atividade agrícola, bem como o destino dessa substância e seus efeitos.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A compreensão dos riscos de contaminação do ar por herbicida glifosato envolve a quantificação do resíduo e a combinação desta informação com as propriedades físicas e químicas do composto e das amostras avaliadas, bem como das condições meteorológicas e das características ambientais do local em estudo. Estas avaliações são complexas e as propriedades dos agrotóxicos em geral são estabelecidas para as condições de clima temperado, não sendo viáveis para estabelecer o comportamento dos mesmos compostos em regiões de clima tropical como a nossa. Um número maior de informações é necessário para obter uma melhor avaliação.

Nesse contexto, sugere-se:

- determinar a concentração do herbicida glifosato no solo, na água superficial e subterrânea da Chapada do Apodi;
- quantificar outros herbicidas e agrotóxicos de interesse, considerando as práticas agrícolas locais;
- aumentar o número de pontos de coleta a fim de se observar as variações espaciais locais e os ciclos das culturas;
- identificar áreas com maior probabilidade de contaminação;
- recomendar o controle permanente do glifosato em função da carcinogênese;
- cobrar o monitoramento pelos órgãos públicos do glifosato e outros compostos;
- divulgar os dados para comunidade rural e urbana e órgãos públicos responsáveis.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9547 -Particulate matter suspended in the air** – Determination of the total concentration by the method of high volume sampling, 1997.

AMARANTE JUNIOR, O. P.; SANTOS, T. C. R.; BRITO, N. M.; RIBEIRO, M. L. **Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação**. Química Nova, v. 25, p. 589-593, 2002.

ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária e Ambiental). Brasília, 2008.

ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária e Ambiental). **Sistema de informação sobre agrotóxico - SIA**. Brasília, 2009.

ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária e Ambiental). **Problemas de saúde relacionados à exposição por agrotóxicos**. Brasília, 2009.

ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos, 2014.

ANVISA. (Agencia Nacional de Vigilância Sanitária). Manual de vigilância da saúde de populações expostas a agrotóxicos. Brasília, 2015.

ANDERSON, J. O.; THUNDIUIL, J. G. **Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health**. Journal of Medical Toxicology, v. 8, n. 2, p. 166-175, 2012.

ANDREI, E. (Coord) **Compêndio dos defensivos agrícolas: guia prático de produtos fitossanitários para uso agrícola**. 6. Ed. São Paulo: Organização Andrei, 1999. 672p.

ARAÚJO, S. M. M.; LEMOS, R. N. S.; QUEIROZ, M. E. R.; NUNES, G. S. **Uso de inseticidas organofosforados nos pólos de produção na Ilha de São Luís (MA): condições de trabalho e contaminação de hortaliças**. Pesticidas: R. Ecotoxicol. e Meio Ambiente, v. 11, p. 159-179, 2001.

ARMAS, E. D.; MONTEIRO, R. T. R.; ANTUNES, P. M.; SANTOS, M. A. P. F.; CAMARGO, P. B.; ABAKERLI, R. B. **Diagnóstico espaço-temporal da ocorrência de herbicidas nas águas superficiais e sedimentos do rio Corumbataí e principais afluentes**. Química Nova, v. 30, p. 1119-1127, 2007.

BADEN-MAYER, A. **Organic Consumers Fund**, 2015.

BENATTO, A. **Sistemas de informação em saúde nas intoxicações por agrotóxicos e afins no Brasil: situação atual e perspectivas**. Dissertação. Faculdade de Ciências Médicas, Unicamp, Campinas, 2002.

BRAGUINI, W. L. **Efeitos da Deltametrina e do Glifosato, sobre Parâmetros do Metabolismo Energético Mitocondrial, sobre Membranas Artificiais e Naturais em Experimentos “in vivo”**. 2005, 191f. Tese (Doutorado em Ciências Bioquímicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

BRASIL, **Lei nº 7.802, de 12 de julho de 1989**. Lei federal dos agrotóxicos. Brasília, Diário Oficial da União de 12/07/1989.

BRASIL, Constituição Federal de 1988. Brasília. BRASIL, **Decreto n.º 4.074 de 04 de janeiro de 2002**. Regulamenta a Lei nº 7.802/89 (Lei federal dos agrotóxicos). Brasília, Diário Oficial da União de 08/01/2002.

BRASIL, **Resolução CONAMA nº 05/89**. Estabelece o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR – CONAMA 1989.

BRASIL, **Resolução CONAMA nº 03 de 28 de junho de 1990** - Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR" – CONAMA, 1990.

BRASIL, **Resolução CONAMA nº 08, de 06 de dezembro de 1990** - "Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR" – CONAMA 1990.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Vigilância do câncer ocupacional e ambiental**. Rio de Janeiro: INCA, 2010

CAVALCANTI, P. M. P. S. **Modelo de Gestão da Qualidade do Ar – Abordagem Preventiva e Corretiva**. 252 f. Tese (Doutorado em planejamento energético) - Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

CERDERIA, A.L; DUKE S.O. **The current status and environmental impacts of glyphosate-resistant crops: a review**. J. Environ. Qual., v. 35, p. 1633–1658, 2006.

CHANG, F-C.; SIMCIK, M. F.; CAPELZ, P.D. **Occurrence and fate of the herbicide glyphosate and its degradate aminomethylphosphonic acid in the atmosphere**. Environmental Toxicology and Chemistry, v. 30, n. 3, p. 548–555, 2011.

CHENG, H. H. **Pesticides in the soil environment: Processes, impact and modeling**. **Madison**. Soil Science Society of America Books Series. p.176, 1990.

CORREIA F.V; MOREIRA J.C. **Effects of glyphosate and 2.4-D on earthworms (Eisenia foetida) in laboratory tests**. Bull Environ. Contam. Toxicol., v. 85, p. 264-268, 2010

COUTINHO, C. F. B.; TANIMOTO, S. T.; GALLI, A.; GARBELLINI, G. S.; TAKAYAMA, M.; AMARAL, R. B.; MAZO, L. H.; AVACA, L. A.; MACHADO, S. A.S. **Pesticidas: mecanismo de ação, degradação e toxidez**. Pesticidas: R. Ecotoxicol. e Meio Ambiente, v. 15 p. 65-72, 2005

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Serviço Geológico do Brasil**, relatório técnico, 2013.

CUNHA, M. L. F. **Determinação de resíduos de pesticidas em sedimentos dos principais rios do pantanal mato-grossense por CG/EM.** Dissertação (Mestrado em Saúde e Ambiente) - Instituto de Saúde Coletiva, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2003

DALLEGRAVE, E. **Toxicologia Clínica: Aspectos Teórico-Práticos.** Porto Alegre: UFRGS, 2006. p. 44 – 61.

DALY, G.; LEI, Y. D.; TEIXEIRA, C.; MUIR, D. C. G.; WANIA, F. **Pesticides in Western Canadian Mountain Air and Soil.** Environmental Science & Technology, v. 41, p. 6020-6025, 2007.

DATASUS – Departamento de Informática do SUS (Sistema Único de Saúde), 2014.

DIÁRIO DO NORDESTE: Caderno Regional, matéria sobre agrotóxicos, abril de 2013.

DUBUS, I. G.; HOLLIS, J. M.; BROWN, C. D. **Pesticides in rainfall in Europe.** Environmental Pollution, v. 110, p. 331-344, 2000

DUKE, S.O.; BAERSON, S.R.; RIMANDO, A.M. **Herbicides: glyphosate**, in Encyclopedia of Agrochemicals, ed. by Plimmer JR, Gammon DW and Ragsdale NN. John Wiley & Sons, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de Métodos de Análise de Solo.** 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 353 p. 3 ed. EMBRAPA, 2013

EPA- U.S. Environmental Protection Agency - **Reregistration Eligibility Decision (RED) Glyphosate.** PA-738-R- 93-014. Washington, 1993.

EPA – U.S. Environmental Protection Agency - **Office of Communications, Education and Public Affairs Editorial Services Division,** 2010.

FEHLBERG, L.; LUTZ, L. V.; MOREIRA, A. **Agrotóxicos e seus Efeitos Socioculturais:** Zona Rural do Valão de São Lourenço. Natureza, v. 1, n. 2, p. 51-55, 2003.

FRANZ, J. E.; MAO, M. K.; SIKORSKI, J.A, **Glyphosate: A Unique and Global Herbicide.** ACS Monograph No. 189. American Chemical Society, Washington, DC, 653 pp. (1997).

FREITAS, B. M. C. **Marcas da modernização da agricultura no território do Perímetro Irrigado Jaguaribe-Apodi: uma face da atual reestruturação socioespacial do Ceará.** 181f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2010.

GAO, J.; LINGHUA LIU; XIAORU LIU; ZHOU, H.; JIN LU; HUANG, S.; WANG, Z. **The occurrence and spatial distribution of organophosphorous pesticides in chinese surface water.** Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, v. 82, p. 223-229, 2009.

GAVRILESCU, M. **Fate of pesticides in the environment and its bioremediation.** Engineering in Life Sciences. v.5, n.6, p.497-526, 2005

GRIZA, F. T.; ORTIZ, K. S.; GEREMIAS, D.; THIESEN, F. V. **Avaliação da contaminação por organofosforados em águas superficiais no município de Rondinha-Rio Grande do Sul.** Química Nova, v. 31, p. 1631-1635, 2008.

HINRICHS, R. A. KLEINBACH, M. **Energia e Meio Ambiente.** Tradução da 3ª edição norte americana. São Paulo: Thomson, 2003.

IARC - Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer, 2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Censo Populacional, 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2014.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Indicadores de Desenvolvimento Sustentável (IDS), Brasil, 2015.

INCA - Instituto Nacional do Câncer, Brasil, 2015.

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, 2010.

JAUHIAINEN, A.; RASANEN, K.; SARANTILA, R.; NUUTINEN, J.; KANGAS, J. Occupational exposure of forest workers to glyphosate during brush saw spraying work. **Am. Indust. Hyg. Assoc. J.**, v. 52, p. 61–64, 1991.

LAABS, V.; AMELUNG, W.; PINTO, A. A.; WANTZEN, M.; SILVA, C.J.; ZECH, W. **Pesticides in surface water, sediment, and rainfall of the Northeastern Pantanal Basin, Brasil.** Journal of Environmental Quality, v.31, p. 1636-1648, 2002.

LONDRES, F. **Agrotóxicos no Brasil: um guia para ação em defesa da vida.** Rio de Janeiro: AS-PTA – Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, 2011.

MARINHO, A. M. C. P. **Contextos e contornos da modernização agrícola em municípios do Baixo Jaguaribe-CE: o espelho do (des) envolvimento e seus reflexos na saúde, trabalho e ambiente.** Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Departamento de Prática de Saúde Pública. São Paulo, 2010.

MARINHO, A. M. C. P.; CARNEIRO, F. F.; ALMEIDA, V. E. **Dimensão socioambiental em área de agronegócio: a complexa teia de riscos, incertezas e vulnerabilidades.** In: _____. **Agrotóxicos, trabalho e saúde: vulnerabilidade e resistência no contexto da modernização agrícola no Baixo Jaguaribe/CE.** Fortaleza: Edições UFC, 2011. Cap. 5 , p. 166-214.

MASCARENHAS, M. D. M.; VIEIRA, L. C.; LANZIERI, T. M.; LEAL, A. P. P. R.; DUARTE, A. F.; HATCH, D. L. **Anthropogenic air pollution and respiratory disease-relate de emergency room visits in Rio Branco, Brazil** - September, 2005. J. Bras. Pneumol., v. 34, n. 1,p. 42-46, 2008.

- MELO LISBOA, H. Controle da Poluição Atmosférica. UFSC, 2007. 355p.
- MILLER, G. T. Ciência Ambiental. São Paulo: Thomson Leaming, 2007, 501p.
- MOREIRA, D. M. **A multi-layer model for pollutant dispersion with dry deposition to the ground.** Atmospheric Environment, v. 44, p. 1859-1865, 2010.
- MOREIRA, D. M.; TIRABASSI, T.; MORAES, M. R. **Meteorologia e poluição atmosférica.** Ambiente e Sociedade, v. 11, n. 1, p. 1-13, 2008.
- MORSHER, M. M.; OMAR, DZOLKHIFLI.; MOHAMADZ, R.B.; WAHED, S.B.A. **Determination of glyphosate through passive and active sampling methods in a treated field atmosphere.** African Journal of Agricultural Research, v. 6, n. 17, p. 4010-4018, 2011.
- MOREIRA, J. C.; PERES, F.; SIMÕES, A. C.; PIGNATI, W. A.; DORES, E. F. G. C.; VIEIRA, S. N.; STRUSSMANN, C.; MOTT, T. **Contaminação de águas superficiais e de chuvas por agrotóxicos em uma região do estado do Mato Grosso.** Ciência e Saúde Coletiva, v. 17, p. 1557-1568, 2012.
- MOTA, S. **Introdução à Engenharia Ambiental.** 5º ed. Rio de Janeiro: ABES, 2012. 524p.
- NERO, L. A.; MATTOS, M. R.; BELOTI, V.; BARROS, M. A. F.; NETTO, D. P.; FRANCO, B. D. G. M. **Organofosforados e carbamatos no leite produzido em quatro regiões leiteiras no Brasil: ocorrência e ação sobre *Listeria monocytogenes* *Salmonella* spp.** Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 27, p. 201-204, 2007.
- OLIVEIRA-SILVA, J. J. **Influência de Fatores Socioeconômicos na Contaminação por Agrotóxicos.** Revista Brasileira de Saúde Pública, v.35, n. 2, p. 130-135, 2005.
- RAMOS, H. H. **Perdas ligadas à má aplicação de agrotóxicos.** In: ANAIS DO SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 2., 2001, Jundiaí. Resumos. Jundiaí: EMBRAPA, 2001. p. 403-404.
- RANGEL, C. F. **Monitoramento de agrotóxicos em águas brutas e tratadas destinadas ao consumo humano, utilizando método multi-resíduo por EFS/CG-EM.** Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, RJ, 2008.
- RICHARD, S.; MOLESMI, S.; SIPAHUTAR, H.; BENACHOUR, N.; SERALINI, G.E. **Differential effects of glyphosate and roundup on human placental cells and aromatase.** Environ. Health Perspect., v. 113, p. 716–720, 2005.
- RIGOTTO, R. M. **Agrotóxicos, trabalho e saúde: vulnerabilidades, resistência no contexto da modernização agrícola no Baixo Jaguaribe/CE.** Editora Edições UFC/Expressão Popular, 2011, 612 p.
- RIGOTTO, R. M.; SILVA, A.M. C.; FERREIRA, M. J. M.; ROSA, I. F.; AGUIAR, A. C. P. **Trends of chronic health effects associated to pesticide use in fruit farming regions in the state of Ceará, Brazil.** Revista Brasileira de Epidemiologia, v. 16, p. 763-773, 2013.

ROOS, A.J.; BLAIR, A.; RUSIECHI, J.A.; HOPPIN, J.A.; SVEC, M.; DOSWEMICE, M.; SANDLER, D.P.; ALAVANIA, M.C. **Cancer incidence among glyphosate exposed pesticide applicators in the agricultural health study.** Environ. Health Perspect., v. 113, p. 49–54. 2005.

RUBENSAM, L. A. Estudo Ambiental Simplificado-EAS. Geológica Engenharia e Meio Ambiente. Criciúma, 2010, 40p.

SAAE- Serviço Autônomo de Água e Esgoto.

SANTOS, V. M. R.; DONNICI, C. L.; DACOSTA, J. B. N.; CAIXEIRO, J. M. R. **Compostos organofosforados pentavalentes: histórico, métodos sintéticos de preparação e aplicações como inseticidas e agentes antitumorais.** Química Nova, v. 30, n. 1, p. 159-170, 2007.

SARAIVA, K. R.; VIANA, T. V. A.; COSTA, S. C.; COELHO, E. L.; CELEDONIO, C. A.; LIMA, G. H. P. **Influência da densidade de plantio da cultura da melancia sobre suas características de produção, na Chapada do Apodi, CE.** Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v. 7, n. 2, p. 128-135, 2013.

SHRIDHAR, V.; KHILLARE, P.S.; AGARWAL, T.; RAY, S. **Metallic species in ambient particulate matter at rural and urban location of Delhi.** Journal of Hazardous Materials, v. 175, p. 600–607, 2010.

SILVA, C. M. M. D. S.; FAY, E. F. **Agrotóxicos e meio ambiente.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p.400, 2004.

SILVA, F. L. **Ambiência e biofertilização no cultivo orgânico do figo em condições semi-áridas,** 123 f. Tese (doutorado) Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de pós-graduação em engenharia agrícola. Fortaleza, 2012.

SILVA, J. M. **Agrotóxicos e trabalho: uma combinação perigosa para a saúde do trabalhador rural.** Ciência e Saúde, v. 10, n. 4, p. 891-903, 2005.

SINDAG – Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agropecuária, 2011.

SOUZA, P. A.; MELLO W. Z.; MARIANI R. L.; SELLA, S. M. **Caracterização do Material Particulado Fino e Grosso e Composição da Fração Inorgânica Solúvel em Água em São José dos Campos (SP).** Quim. Nova, v. 33, n. 6, p. 1247-1253, 2010.

SPADOTTO, C. A.; GOMES, M. A. F.; HORNSBY, A. G. **Pesticide leaching potential Assessment in multi-layered soils.** Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente, v. 12, n. 1, p. 1-13, 2002.

STEPHEN, O. D.; STEPHEN B. P. **Glyphosate: a once-in-a-century herbicide: Mini-review.** Pest Management Science, v. 64: 319–325, 2008.

SOLOMAN, K.R.; ANAD'ON, A.; CARRASQUILLA, G.; CERDERIA, A.L.; MARSHALL, SANIN, L.H. **Coca and poppy eradication in Colombia: environmental and human health assessment of aerially applied glyphosate**. Rev. Environ.Toxicol. v. 190, p. 43–125, 2007.

TREVISAN, R.M. S. **Regulamentação do registro de agrotóxicos: abordagem da avaliação da exposição e do risco toxicológico ocupacional**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Saúde Coletiva, Unicamp. Campinas, 2002.

UNIVERSIDADE DE OXFORD. **Regulation of Pesticides: A Comparative Analysis**, 2013.

VEIGA, M. M.; SILVA, D. M.; VEIGA, L. B. E.; FARIA, M. V. C. **Análise da contaminação dos sistemas hídricos por agrotóxicos numa pequena comunidade rural do Sudeste do Brasil**. Caderno de Saúde Pública, v. 22, p. 2391-2399, 2006.

VEREECHEN, H. **Mobility and leaching of glyphosate: a review**. Pest Management Science, v. 61, p. 1139-1151, 2005.

WEI, L.; WANG, C.; Wang, H.; CHEN, J.; YUAN, C.; LI, T.; WANG, W.; SHEN, H.; HUANG, Y.; WANG, R.; WANG, B.; ZHANG, Y.; CHEN, H.; CHEN, Y.; TANG, J.;

WANG, X.; LIU, J.; COVENEY Jr, R.M.; TAO, S. **Distribution of atmospheric particulate matter (PM) in rural field, rural village and urban areas of northern China**. Environmental Pollution, v. 185, p. 134-140, 2014.

WILLIAMS G. M.; KROES, R.; MUNRO, I. C. **Safety evaluation and risk assessment of the herbicide Roundup and its active ingredient, glyphosate, for humans**. Regul. Toxicol. Pharmacol., v. 31, p. 117–165, 2000.

YAO, Y.; TUDURI, L.; HARNER, T.; BLANCHARD, P.; WAITE, D.; POISSANT, L.; MURPHY, C.; BELZER, W.; AULAGNIER, F.; LI, YI-FAN; ED SVERKO. **Spatial and temporal distribution of pesticide air concentrations In Canadian agricultural regions**. Atmospheric Environment, v. 40, p. 4339-4351, 2006.

ANEXOS

Anexo I – Planilha de dados utilizada na calibração do amostrador Amotox.

AMOTOX - GERAÇÃO DA DE CALIBRAÇÃO Planilha de Cálculo		RELAÇÃO		Número:	0001/09
				Data:	24/04/14
				Executante:	Giza
				Confer.:	Giza
DADOS DO EQUIPAMENTO					
AMOTOX	ATX-0008	MANÔMETRO	M40-0308		
DADOS GERAIS					
Local:	Energética	Data:	04/04/14	Hora:	14:30
DADOS AMBIENTAIS					
Pressão atmosférica durante a calibração:			P ₂ (mmHg):	757	
Temperatura ambiente durante a calibração:			T ₂ (°C):	25,6	T ₂ (K): 298,6
Identificação dos padrões de pressão e temperatura:					
Barômetro n°	BKT381/B381	Data de validade:	n/a		
Termômetro n°	INCOTERM	Data de validade:	n/a		
DADOS DO CALIBRADOR PADRÃO DE VAZÃO (CPV):					

Identificação:: CPVMV-0050

Última calibração: 12/12/13

Relação de calibração (da regressão linear):

Inclinação a₁: 18,0540Intercepto b₁: -0,0100Correl. r₁: 0,9990**TABELA DE DADOS E RESULTADOS:**

				(X)		(Y)
	N°	dH _c		Q _p	dH _o	
	Placa	cmH ₂ O	*	m ³ /min	cmH ₂ O	**
	15,00	33,7	5,7879	0,3211	7,6	7,5774
	13,00	30,0	5,4609	0,3030	6,8	6,7797
	11,00	27,0	5,1807	0,2875	6,3	6,2812
	9,00	17,0	4,1108	0,2282	4,6	4,5863
	8,00	17,3	4,1469	0,2303	4,6	4,5863

Para cálculo de Q_p na Coluna 4:)

$$Q_p(CPV) = \frac{1}{a_1} \left(\sqrt{dH_c \left(\frac{P_2}{P_p} \right) \left(\frac{T_p}{T_2} \right)} - b_1 \right)$$

Nova Relação de Calibração do CVV :

$$Y = a_2 X + b_2, \quad \text{onde } X = Q_p \quad \text{e} \quad Y = dH_c \sqrt{\left(\frac{P_2}{P_p} \right) \left(\frac{T_p}{T_2} \right)}$$

Inclinação da reta (a₂): 31,3355Intercepto da reta (b₂): -2,6249

Fator de correlação (r_2):	0,9971
Para cálculos posteriores da vazão do amostrador:	$Q_p = \frac{1}{a_2} \left(dH_o \sqrt{\left(\frac{P_3}{P_p} \right) \left(\frac{T_p}{T_3} \right)} - b_2 \right)$
 Ass. Executante	 Ass. Conferencista

	dHc		(X)		
Nº			Q _p	dH _o	
Placa	cmH ₂ O	*	m ³ /min	cmH ₂ O	
15	17,1	16,6	8,1	7,6	
13	15,3	14,7	7,3	6,8	
11	13,8	13,2	6,9	6,3	
9	8,8	8,2	5	4,6	
8	8,9	8,4	5,1	4,6	

Fonte: adaptado de Energética Qualidade do Ar (2015).

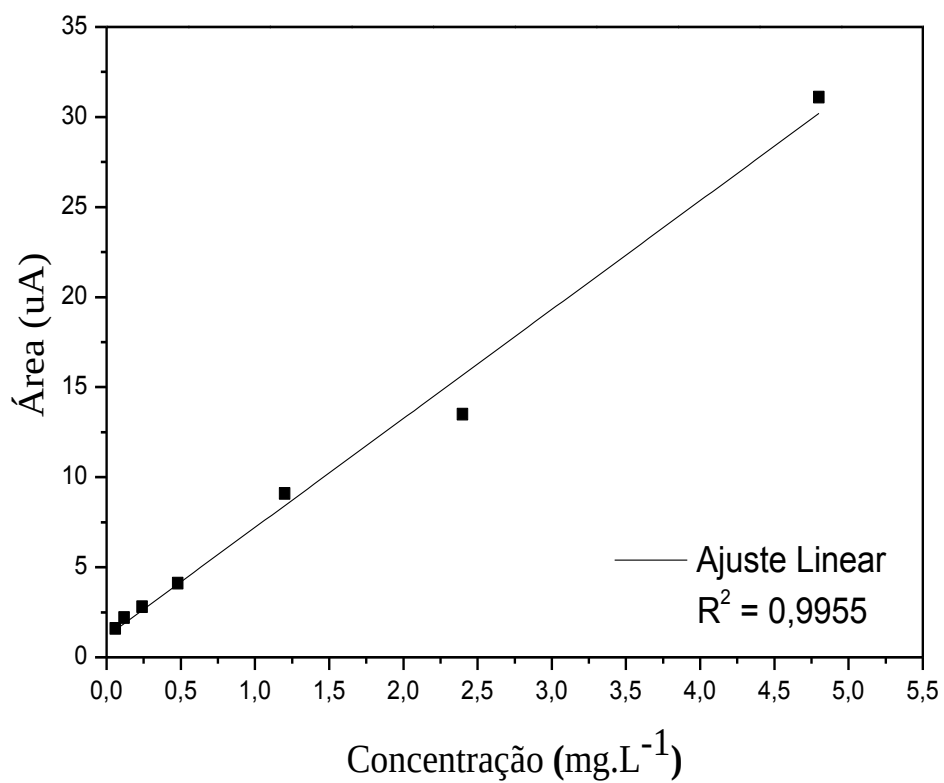
Anexo II – Planilha de dados utilizada na amostragem do Amotox.

AMOTOX - AMOSTRAGEM Planilha de Cálculo		Número:	09/005
		Data:	13/03/2014
		Digitador:	Giza
		Conferenciasta:	Giza
DADOS DO EQUIPAMENTO			
AMOTOXN°	ATX-0008	MANÔMETRO N°	M40-0308
LOCAL E PERÍODO DE AMOSTRAGEM			
Local:	IFCE	N° Estação:	E1
Período nominal de amostragem:	24	horas	
Período de amostragem	Data-início:	13/03/14	Data-final: 14/03/14
	Hora-início:	23:59	Hora-final: 23:59
DADOS AMBIENTAIS			
Pressão barom. Média (P_m ou P_s):	757	mmHg	Temp.média (T_m ou T_s) 28 °C
Pressão barom. CONAMA (P_p):	760	mmHg	25 °C
DADOS DA ÚLTIMA CALIBRAÇÃO DO AMOSTRADOR			
Data da última calibração ou verificação:	13/03/2014		
Parâmetros da reta de calibração:	a_2	57,7986	$b_2 = -3,254$ $r_2 = 0,991$
DADOS (LEITURAS) DO CAMPO			
Pressão diferencial no manômetro (cm H ₂ O):	Inicial (dH _{oi}):	9,4	Final (dH _{of}): 9,8
Leitura do horômetro:	Inicial:	27,5	Final: 51,5
DADOS DA ESPUMA E DO FILTRO			
Identificação da espuma de poliuretano:			
Identificação do pré-filtro:			
CÁLCULOS			
Pressão diferencial média (dH _o), em cm H ₂ O [(dH _o) = (dH _{oi} + dH _{of})/2]		=	9,6
Vazão média nas condições padrão (Q _p), em m ³ /min [Ver Eq. 5.3]		=	0,213
Período de amostragem (t), em minutos		=	1440
Volume nas condições padrão (V _p), em m ³ , [V _p =(Q _p)(t)]		=	306,62
Nota: Para cálculo das concentrações consultar o respectivo método TO (ver referências no Capítulo 9.		=	

CONTROLE DA QUALIDADE				
Q _p entre 0,2 e 0,3 m ³ /min?	Sim	☒	Não	☐
Amostrador calibrado conforme programação?	Sim	☒	Não	☐
Registrador de eventos acusou alguma anormalidade?	Sim	☐	Não	☒
Algum evento incomum durante a amostragem?	Sim	☐	Não	☒
OBSERVAÇÕES				
Assinatura do digitador		Assinatura do conferencista		

Fonte: adaptado de Energética Qualidade do Ar (2015).

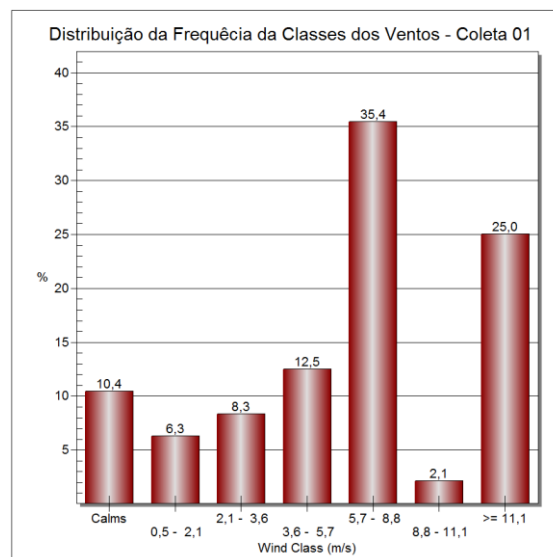
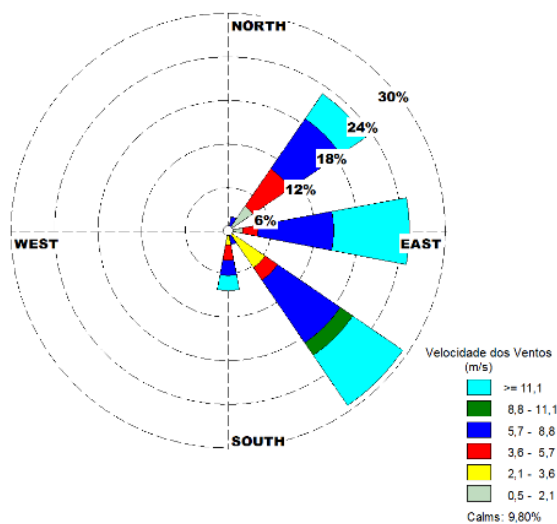
Anexo III – Curva de calibração para a determinação de glifosato por HPLC.



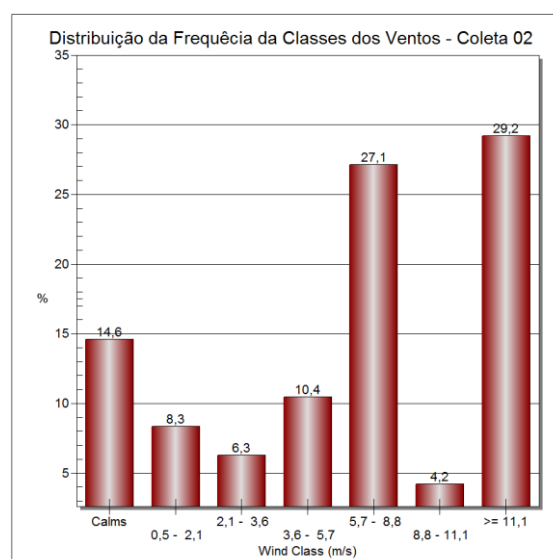
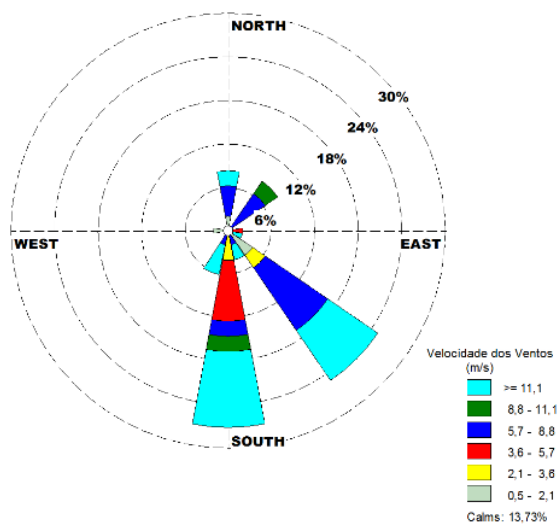
Fonte: Autor (2015).

Anexo IV – Rosa dos ventos e frequência dos ventos para o período de coleta na UEPE (Chapada do Apodi) em Limoeiro do Norte.

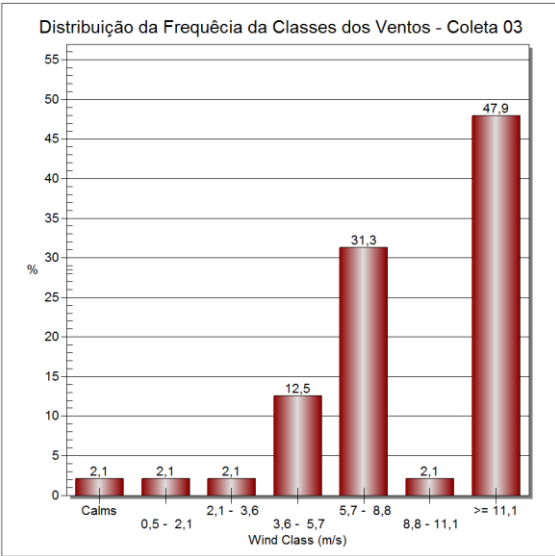
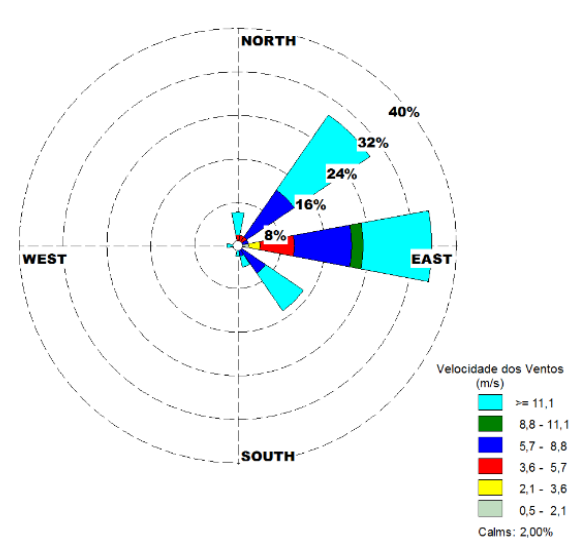
Coleta 1 – 22/07/2014



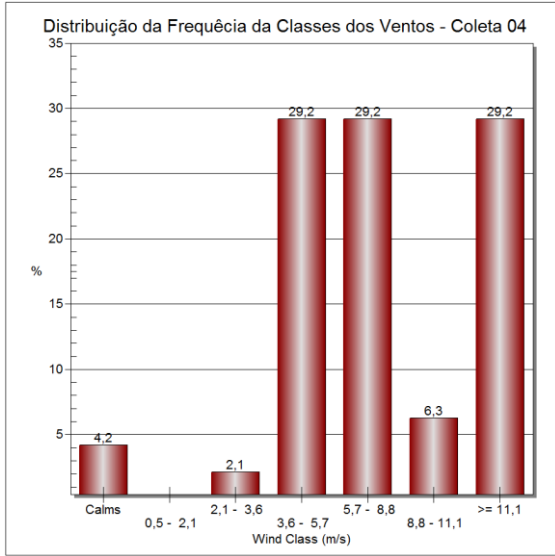
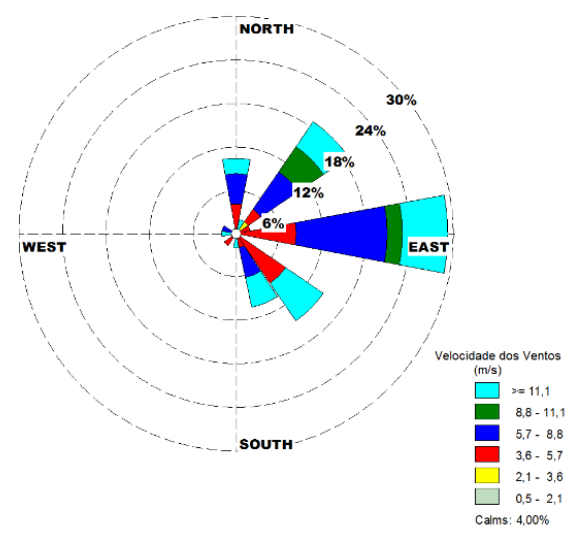
Coleta 2 – 29/07/2014



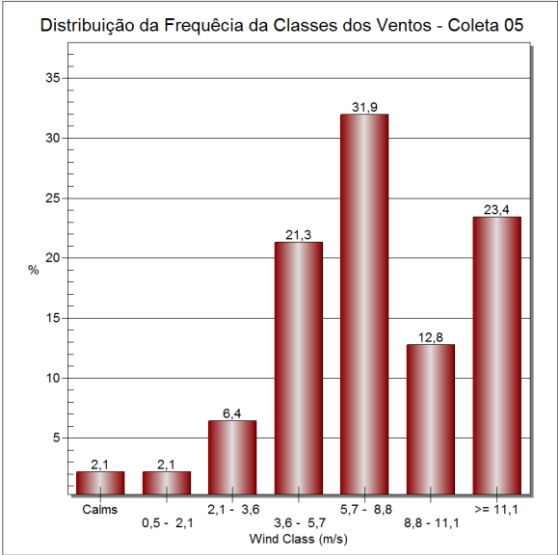
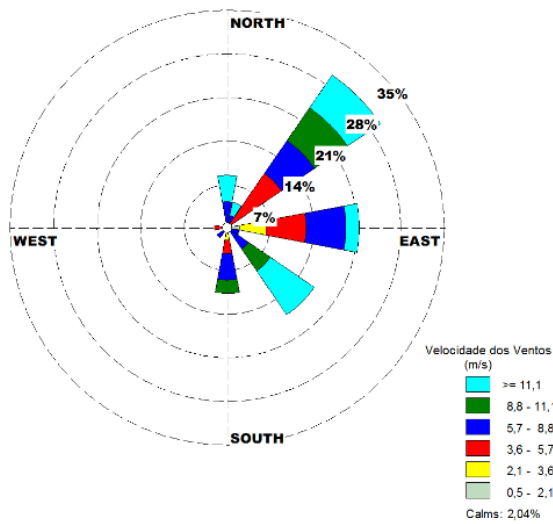
Coleta 3 – 05/08/2014



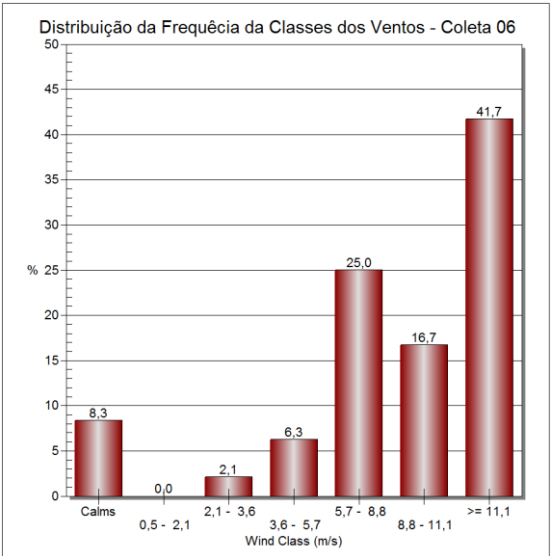
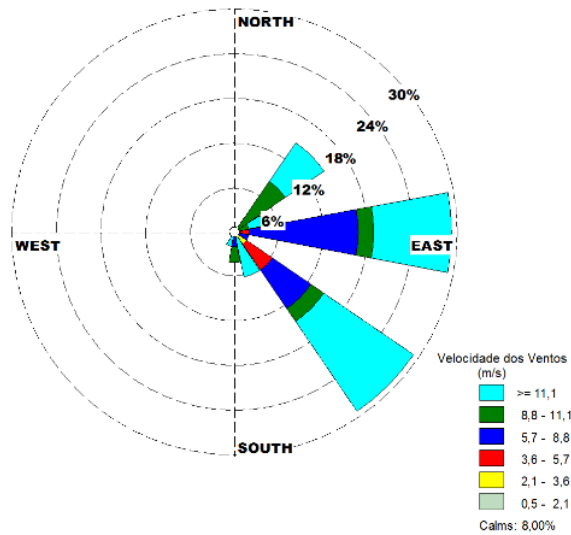
Coleta 4 – 12/08/2014



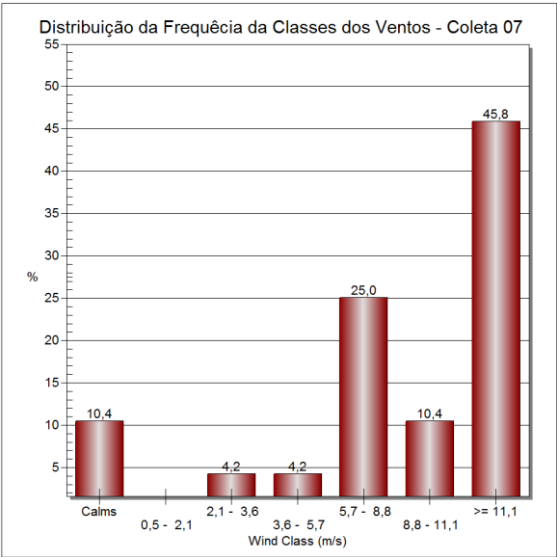
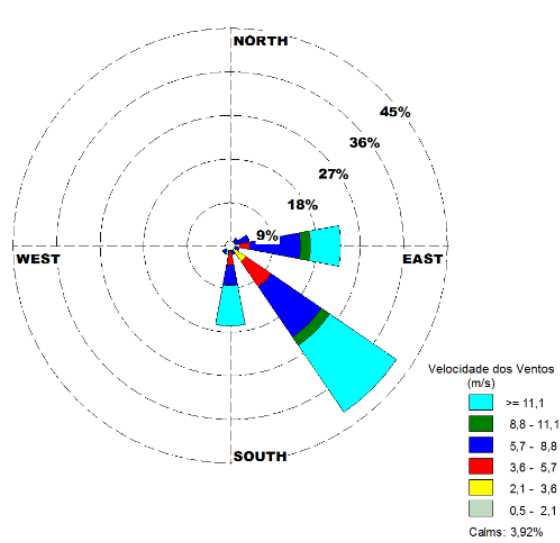
Coleta 5 – 19/08/2014



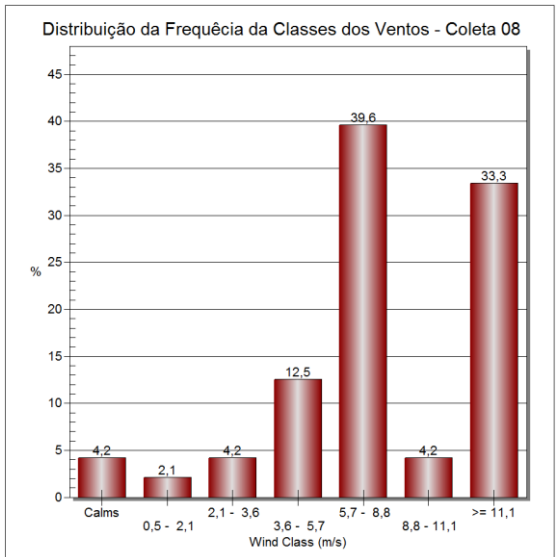
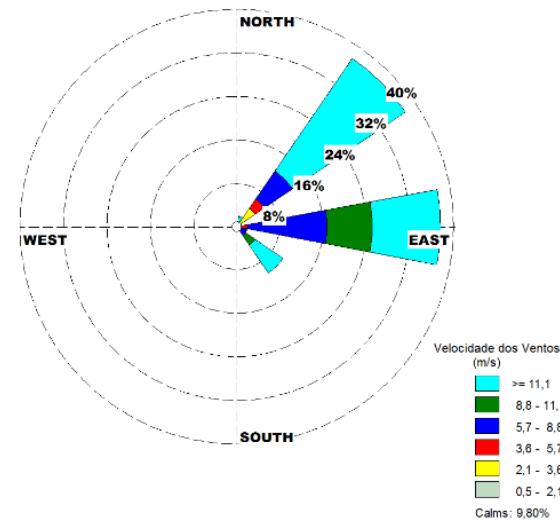
Coleta 6 – 26/08/2014



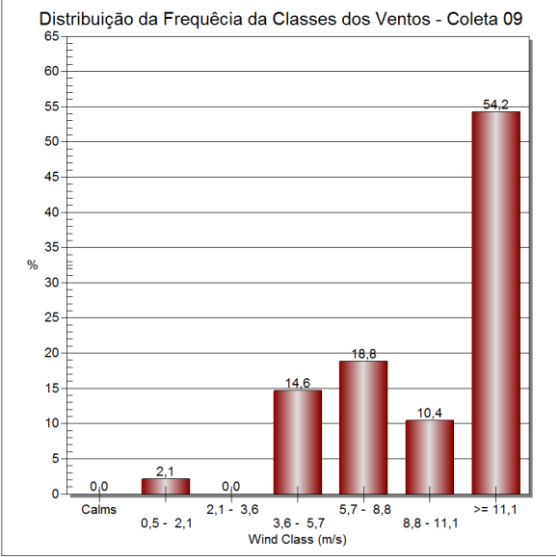
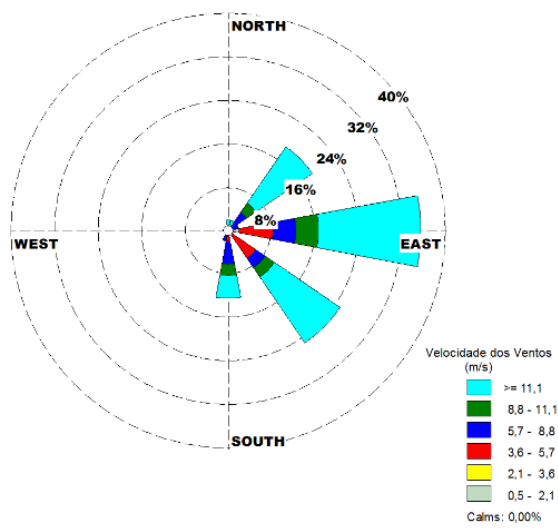
Coleta 7 – 02/09/2014



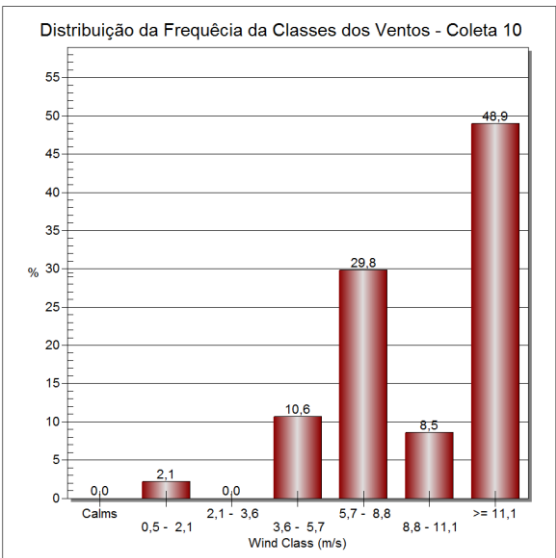
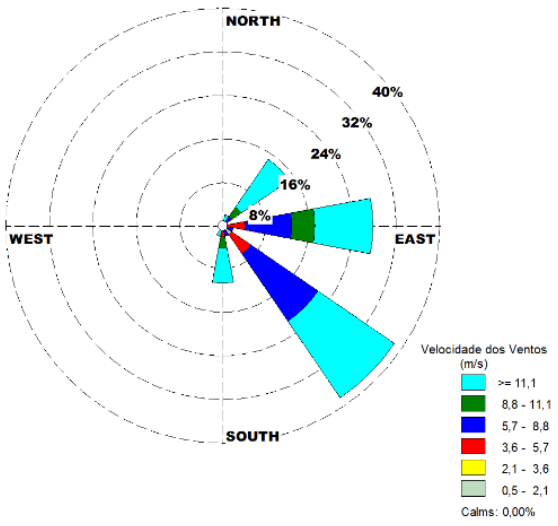
Coleta 8 – 09/09/2014



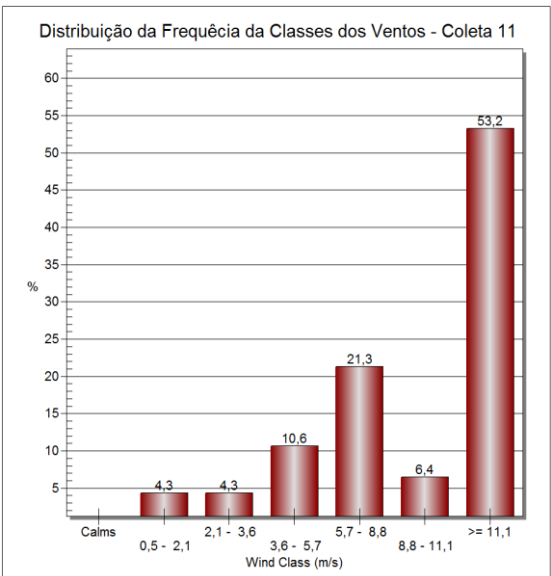
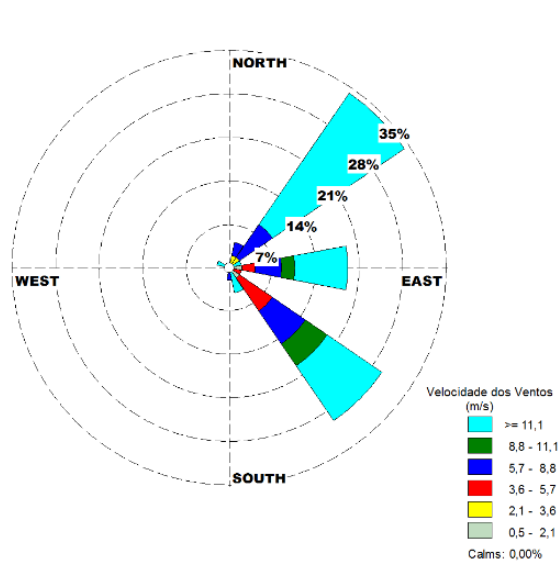
Coleta 9 – 16/09/2014



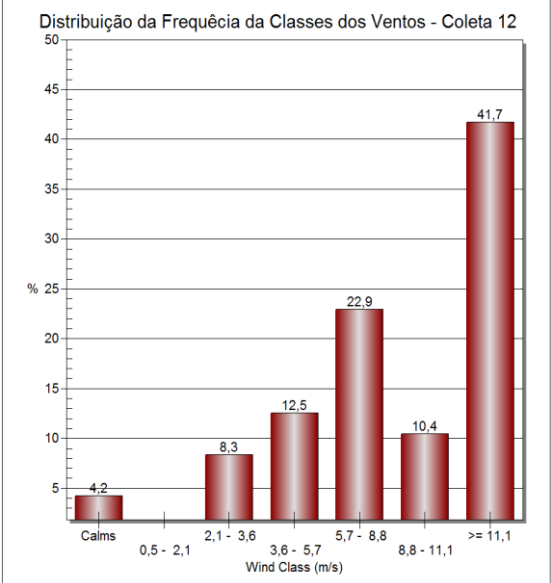
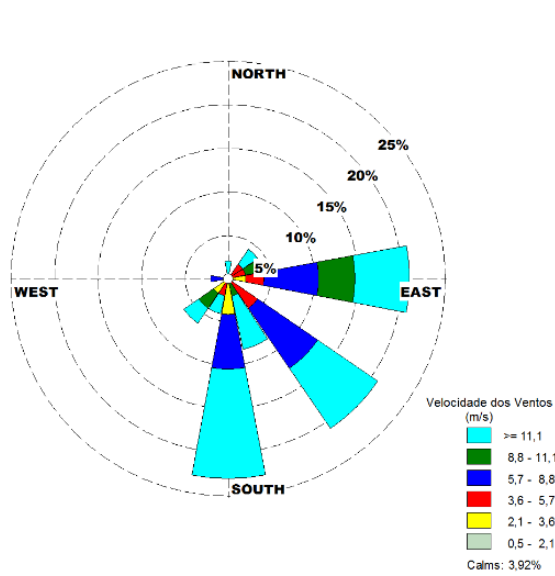
Coleta 10 – 23/09/2014



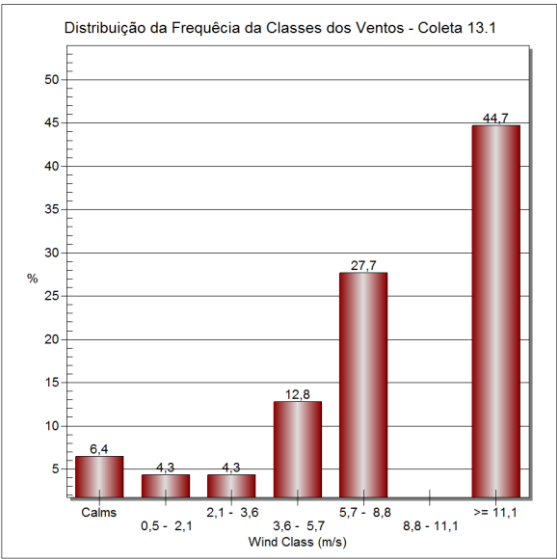
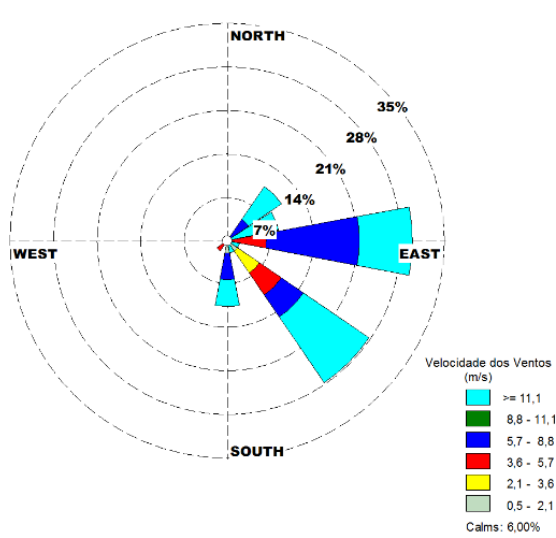
Coleta 11 – 30/09/2014



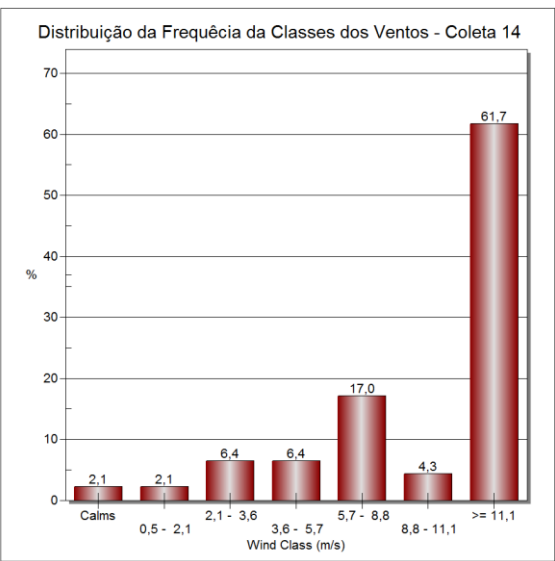
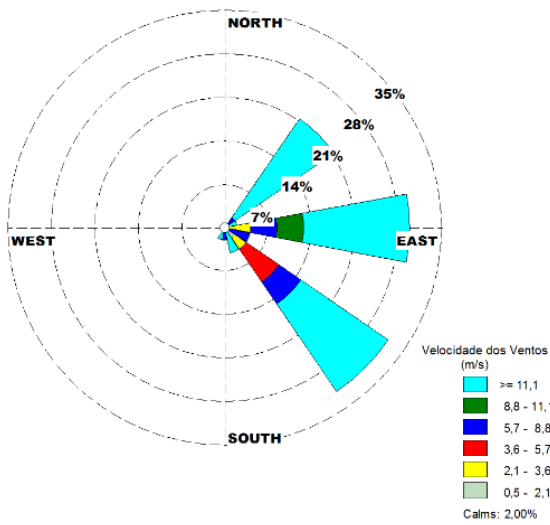
Coleta – 12



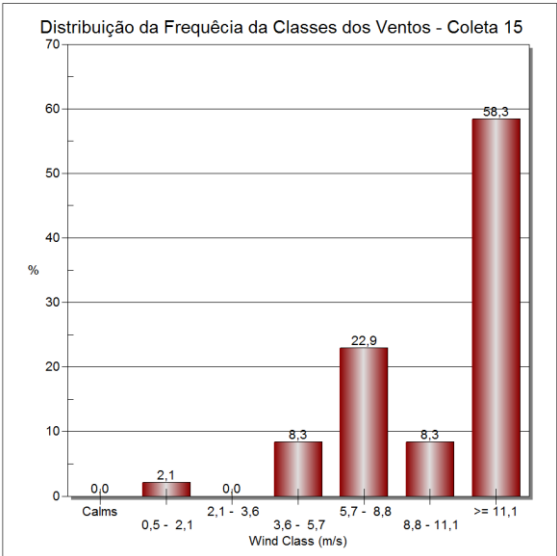
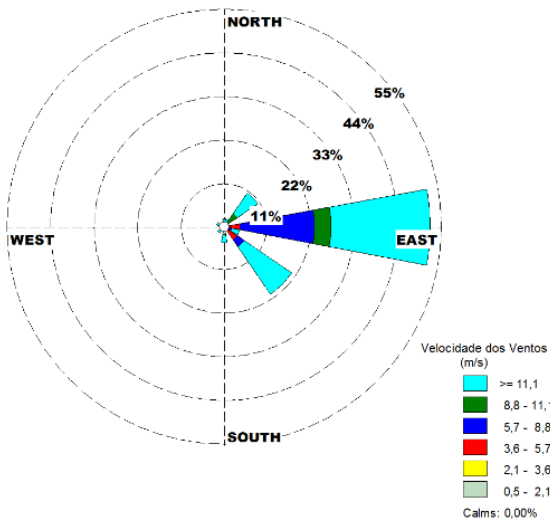
Coleta 13 – 14/10/2014



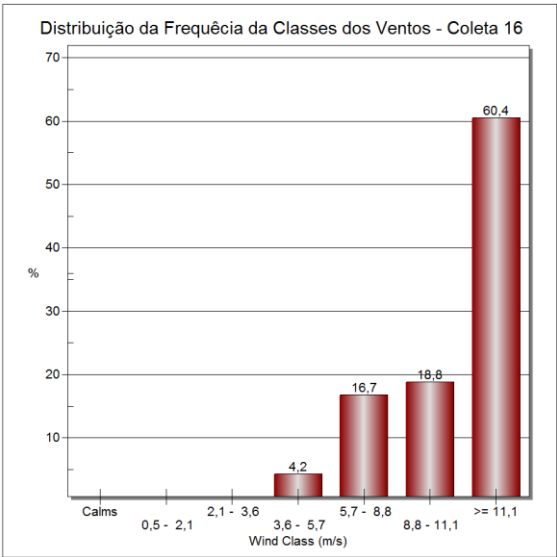
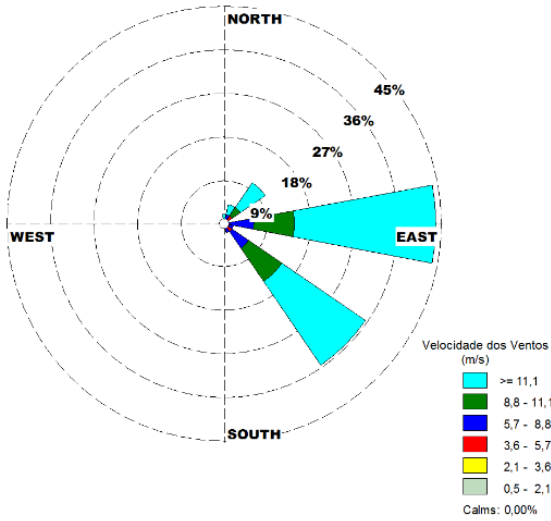
Coleta 14 – 21/10/2014



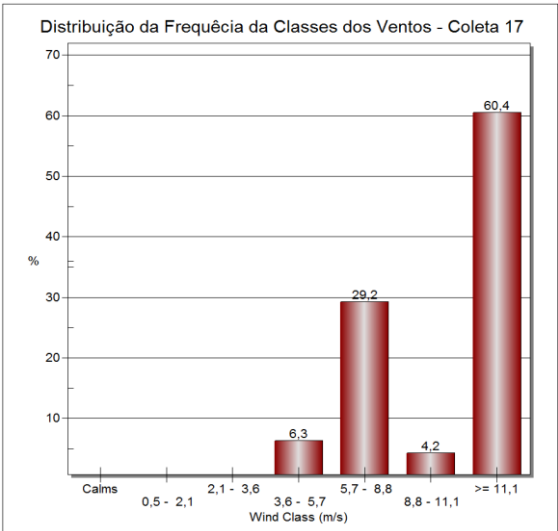
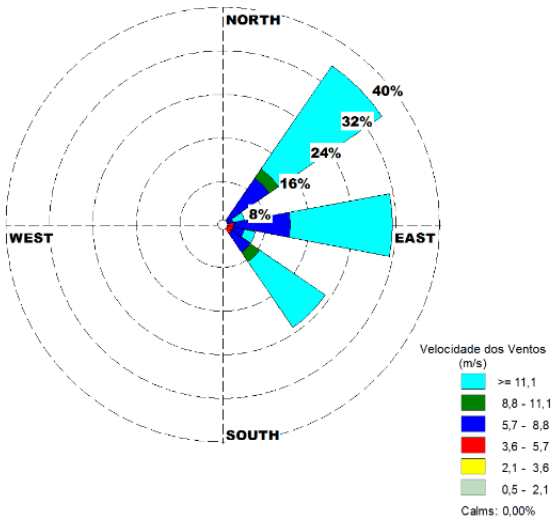
Coleta 15 –28/10/2014



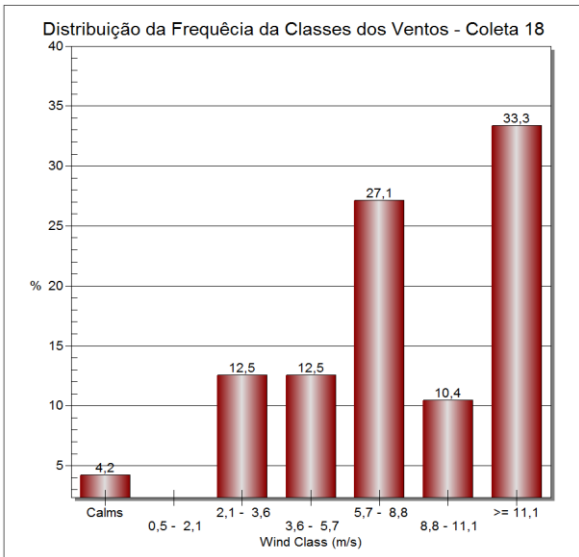
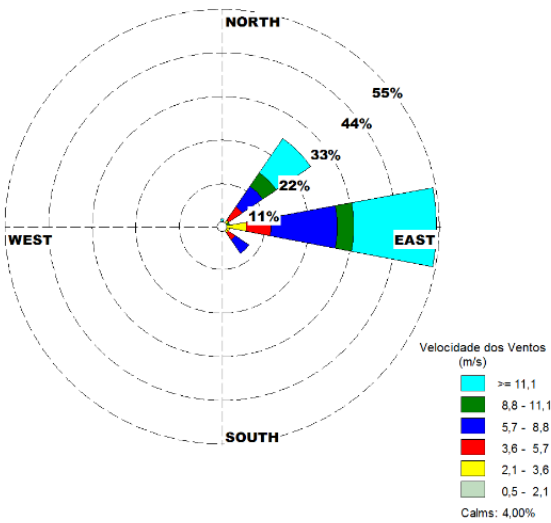
Coleta 16 – 04/11/2014



Coleta 17 – 11/11/2014



Coleta 18 – 18/11/2014



Fonte: Autor (2015)

Anexo V – Tabelas de mortalidade e morbidade hospitalar por local de residência do município de Limoeiro do Norte de 2004 a 2013.

Tabela V1 - Mortalidade no município de Limoeiro do Norte de 2004 a 2007.

Capítulo CID -10	2004	2005	2006	2007
Limoeiro do Norte	273	286	274	251
I. Algumas Doenças Infecciosas e Parasitárias	17	17	8	8
II. Neoplasias (Tumores)	37	46	57	45
III. Doenças Sangue Órgãos Hemat. e Transt. Imun.	2	-	-	-
IV. Doenças Endócrinas Nutricionais e Metabóli.	12	16	14	19
V. Transtornos Mentais e Comportamentais	3	4	2	6
VI. Doenças do Sistema Nervoso	3	4	6	8
VII. Doenças do Aparelho Circulatório	65	86	81	69
VIII. Doenças do Aparelho Respiratório	16	21	23	22
IX. Doenças do Aparelho Digestivo	8	10	12	12
X. Doenças da Pele e do Tecido Subcutâneo	-	2	-	-
XI. Doenças Sist. Osteomuscular e Tec. Conjuntivo	-	-	1	-
XII. Doenças do Aparelho Geniturinário	5	2	3	1
XIII. Gravidez, Parto e Puerpério	-	-	1	-
XIV. Algumas Afec. Originadas Período Perinatal	5	3	8	14
XV. Mal. Cong. Deformid. e Anomalias Cromosso.	1	3	4	5
XVI. Sint. Sinais Achados Anorm. Clin. e Lab.	50	36	17	8
XVII. Causas Externas Morbidade e Mortalidade	49	35	38	33

Tabela V2 - Mortalidade no município de Limoeiro do Norte de 2008 a 2011.

Capítulo CID -10	2008	2009	2010	2011
Limoeiro do Norte	352	305	282	354
I. Algumas Doenças Infecciosas e Parasitárias	11	22	12	16
II. Neoplasias (Tumores)	45	51	39	40
III. Doenças Sangue Órgãos Hemat. e Transt. Imun.	2	1	3	2
IV. Doenças Endócrinas Nutricionais e Metaboli.	17	19	13	23
V. Transtornos Mentais e Comportamentais	9	7	4	9
VI. Doenças do Sistema Nervoso	8	10	2	5
VII. Doenças do Aparelho Circulatório	129	96	86	107
VIII. Doenças do Aparelho Respiratório	21	30	31	41
IX. Doenças do Aparelho Digestivo	14	11	9	20
X. Doenças da Pele e do Tecido Subcutâneo	2	3	3	3
XI. Doenças Sist. Osteomuscular e Tec. Conjuntivo	2	1	4	2
XII. Doenças do Aparelho Geniturinário	4	3	5	7
XIII. Gravidez, Parto e Puerpério	2	1	-	1
XIV. Algumas Afec. Originadas Período Perinatal	6	7	3	7
XV. Mal. Cong. Deformid. e Anomalias Cromosso.	2	-	3	4
XVI. Sint. Sinais Achados Anorm. Clin. e Lab.	23	8	17	11
XVII. Causas Externas Morbidade e Mortalidade	55	35	48	56

Tabela V3 - Morbidade hospitalar por local de residência do município de Limoeiro do Norte de 2004 a 2008.

Capítulo CID -10	2004	2005	2006	2007	2008
Limoeiro do Norte	3.139	3.313	2.962	2.927	3.000
I. Algumas Doenças Infecciosas e Parasitárias	250	238	192	181	197
II. Neoplasias (Tumores)	156	185	173	256	22
III. Doenças Sangue Órgãos Hemat. e Transt. Imun.	17	25	4	12	10
IV. Doenças Endócrinas Nutricionais e Metaboli.	62	163	80	75	34
V. Transtornos Mentais e Comportamentais	15	26	11	24	24
VI. Doenças do Sistema Nervoso	23	38	20	18	7
VII. Doenças do Olho e Anexos	5	5	3	3	1
VIII. Doenças do Ouvido e da Apófise Mastóide	2	3	1	-	1
IX. Doenças do Aparelho Circulatório	271	270	248	197	179
X. Doenças do Aparelho Respiratório	360	295	259	199	236
XI. Doenças do Aparelho Digestivo	210	226	291	293	343
XII. Doenças da Pele e do Tecido Subcutâneo	111	92	113	26	86
XIII. Doenças Sist Osteomuscular e Tec Conjuntivo	94	74	64	41	41
XIV. Doenças do Aparelho Geniturinário	217	202	227	217	182
XV. Gravidez, Parto e Puerpério	717	776	677	708	700
XVI. Algumas Afec. Originadas Período Perinatal	40	83	49	45	36
XVII. Mal. Cong. Deformid. e Anomalias Cromosso.	8	8	20	25	20
XVIII. Sint. Sinais Achados Anorm. Clin. e Lab.	127	88	72	118	37
XIX. Lesões Enven. e Alg. Out. Conseq. Cau. Exter.	322	437	350	343	365
XX. Contatos com Serviços de Saúde	132	79	108	146	280

Tabela V4 - Morbidade hospitalar por local de residência do município de Limoeiro do Norte de 2009 a 2013.

Capítulo CID -10	2009	2010	2011	2012	2013
Limoeiro do Norte	-	3.166	3.455	3.504	4.127
I. Algumas Doenças Infecciosas e Parasitárias	-	208	425	382	525
II. Neoplasias (Tumores)	-	145	182	188	178
III. Doenças Sangue Órgãos Hemat. e Transt. Imun.	-	3	11	13	13
IV. Doenças Endócrinas Nutricionais e Metaboli.	-	46	74	88	58
V. Transtornos Mentais e Comportamentais	-	24	21	24	21
VI. Doenças do Sistema Nervoso	-	22	25	34	46
VII. Doenças do Olho e Anexos	-	3	4	3	10
VIII. Doenças do Ouvido e da Apófise Mastóide	-	1	9	1	5
IX. Doenças do Aparelho Circulatório	-	181	192	197	255
X. Doenças do Aparelho Respiratório	-	430	630	555	583
XI. Doenças do Aparelho Digestivo	-	306	326	329	335
XII. Doenças da Pele e do Tecido Subcutâneo	-	135	216	195	224
XIII. Doenças Sist. Osteomuscular e Tec. Conjunti.	-	46	21	33	56
XIV. Doenças do Aparelho Geniturinário	-	197	196	207	160
XV. Gravidez, Parto e Puerpério	-	596	537	573	862
XVI. Algumas Afec. Originadas Período Perinatal	-	62	52	66	63
XVII. Mal. Cong. Deformid. e Anomalias Cromosso.	-	24	16	23	10
XVIII. Sint. Sinais Achados Anorm. Clin. e Lab.	-	64	67	70	70
XIX. Lesões Enven. e Alg. Out. Conseq. Cau. Exter.	-	449	311	354	466
XX. Contatos com Serviços de Saúde	-	214	140	169	187

Fonte: DATASUS, (2014).