



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-13035-PRE/8312

**ANÁLISE EXPLORATÓRIA DA RELAÇÃO ENTRE ATIVIDADE
ELÉTRICA E EXTREMOS DE CONCENTRAÇÃO DE NITRATO
NA CHUVA**

Yusra Mohamad Mazloum*

*Bolsista INPE

Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/INPE), orientado pelos
Drs. Maria Cristina Forti e Odim Mendes Júnior



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**ANÁLISE EXPLORATÓRIA DA RELAÇÃO ENTRE ATIVIDADE ELÉTRICA
E EXTREMOS DE CONCENTRAÇÃO DE NITRATO NA CHUVA.**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Yusra Mohamad Mazloum (INPE, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: yuartista@hotmail.com

Dr^a. Maria Cristina Forti (DMA/CPTEC/INPE, Orientador)

E-mail: forti@cptec.inpe.br

Dr^o. Odim Mendes Júnior (DGE/CEA/INPE, Orientador)

Julho de 2005

“Para não chegarmos a ser muito infelizes, basta que não desejemos ser muito felizes”.

ARTHUR SCHOPENHAUER.

A meus pais,
MARIA DONIZETE MAZLOUM e
MOHAMAD AHMAD MAZLOUM

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas pessoas que me ajudaram a vencer mais esta etapa da vida.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio financeiro de um ano de bolsa de iniciação científica.

À Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo – FAPESP através do financiamento do projeto "Ciclo biogeoquímicos e transferências de espécies químicas nas interfaces de ecossistemas terrestres de Mata Atlântica: estudo de duas áreas contrastantes" No. 99/5204-4 do qual foram obtidos os dados de química da chuva.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE pela oportunidade de estudos e utilização de suas instalações.

Aos professores do INPE pelo conhecimento compartilhado.

Ao orientador Prof. Dr. Odim Mendes Junior pelo conhecimento passado, e pela orientação e apoio na realização deste trabalho.

À orientadora Prof. Dr. Cristina Forti pela orientação, apoio na realização deste trabalho e principalmente pela pessoa especial que me compreendeu nas horas difíceis, me auxiliando, para melhor desenvolver o meu trabalho.

Aos meus amigos Samuel Marinelo, Varlei e Marcelo Gramignia, meus companheiros de trabalho, que tanto me ajudaram sem medir esforços.

A meus pais por sempre acreditarem na importância do estudo.

RESUMO

Este estudo tem como o objetivo e verificar se existe relação entre as incidências de descargas elétricas e as concentrações de nitrato encontradas na águas destas chuvas da região de Cunha. Para tal, foi realizado um estudo abrangendo as Estruturas atmosféricas, o ciclo do Nitrogênio, a formação das descargas elétricas e cálculos estatísticos. A área onde foram coletadas as amostras de chuva está localizada no Núcleo de Cunha – Indaiá, no Parque Estadual da Serra do Mar a 2000m de altitude entre os paralelos 23°13'28'' e 23°16'10'' S e os meridianos 45°02'53'' e 45°05'15'' W. Os dados de descargas elétricas foram coletados pelo sensor (antena) Stormtracker que trabalha sobre a plataforma Gnu/Linux, localizado no Inpe, que fornece as incidências de descargas de acordo com as coordenadas geográficas do Núcleo de Cunha. O Nitrogênio é encontrado na atmosfera na forma de N₂, um gás estável, que para ser absorvido pelos seres vivos precisa passar por processos de oxidação e fixação. Uma vez fixado, isto é, o N₂ é convertido em NH₄⁺, NO₂ e NO₃⁻ tornando-se quimicamente disponível ele pode ser utilizado pelos seres vivos. Além disso, descargas elétricas na atmosfera transformam o N₂ em NO₃⁻ devido às altas temperaturas. Os resultados deste estudo mostraram que existe uma correlação significativa entre as concentrações de nitrato nas águas de chuva da região estudada e a quantidade de descargas elétricas. Portanto, como esperado, em regiões com baixa atividade antropogênica uma parte do NO₃⁻ depositado, é proveniente de descargas elétricas.

ANÁLISE EXPLORATÓRIA DA RELAÇÃO ENTRE ATIVIDADE ELÉTRICA E EXTREMOS DE CONCENTRAÇÃO DE NITRATO NA CHUVA.

ABSTRACT

The goal of this study is to verify if exists relationship between lightning and NO_3^- rainfall concentration in the Cunha region. For that, a study encompassing the Atmospheric Structure, the N-cycle, the lightning formation and statistics calculations was done. The rainfall samples were collect in “Núcleo Cunha-Indaiá” in the State Park of Serra do Mar a 2000 m of sea level and between parallels $23^\circ 13' 28''$ and $23^\circ 16' 10''$ S and meridians $45^\circ 02' 53''$ and $45^\circ 05' 15''$ W. The lightning data wen obtained by the Stormtracker sensor (antenna) that works on a Gnu/Linux platform, locate at Inpe. The date collector gives the discharge according with the Geographic coordinates of the “Núcleo de Cunha”. In the atmosphere nitrogen is found in its gas form, N_2 , that is stable and therefore, to be absorbed by the living organisms nuts be oxidized. Once fixed, that is the N_2 is converted in NH_4^+ , NO_2 and NO_3^- , it is, then available to be absorbed by the living organisms. Beyond that, atmospheric electrical discharge converts N_2 in NO_3^- deer to is high temperature. The results of this work have shown that exists a significant correlation between the rainfall NO_3^- concentrations and the amont of electrical discharge in the studied region. Therefore, as expected, in region with low anthropic activity a componet of the deposited NO_3^- is derived from electrical discharges.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS.....	XIII
LISTA DE TABELAS.....	XV
LISTA DE SIGLAS E ABREVEATURAS.....	XXI
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	01
1.1 Esboço Geral.....	04
CAPÍTULO 2 – DESCARGAS ELÉTRICAS.....	05
CAPÍTULO 3 – OBJETIVO.....	09
CAPÍTULO 4 – MATERIAL E MÉTODO.....	10
4.1 – Área de Estudo.....	10
4.2 – Coleta e preparação das amostras de água de chuva.....	11
4.3 – Dados de Descargas Elétricas.....	13
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS	14
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO.....	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19

LISTA DE FIGURAS

1.1 – Sistema de Classificação com base na variação vertical de temperatura.....	01
1.2 - Ciclo do Nitrogênio.....	03
2.1 – Camadas Atmosféricas fracamente condutoras de cargas.....	05
2.2 – Capacitor Esférico. Atmosfera terrestre negativa e ionosfera positiva.....	07
4.1 – Posição Relativa da Área de Estudo.....	10
4.2 – Foto panorâmica da sede do Parque estadual Cunha/Indaiá.....	11
4.3 – Foto do coletor “bulk” instalado junto ao vertedor da bacia em Cunha.....	12
5.1 – Box-plot para NO_3^-	15
5.2 – Box-plot para CP.....	15
5.3 – Box-plot para SJC.....	15
5.4– Gráficos x,y para as descargas em CP e SJC e as concentrações de NO_3^- (μMol).....	16
5.5 – Gráficos x,y para as descargas em CP e SJC e as concentrações de NO_3^- (μMol).....	16
5.6 – Gráficos x,y para as descargas em CP e SJC e as concentrações de NO_3^- (μMol).....	16
5.7 – Gráficos x,y para as descargas em CP e SJC e as concentrações de NO_3^- (μMol).....	16
5.8 – Gráfico de regressão onde as incidências de descargas elétricas do eixo x estão relacionadas com as concentrações de nitrato do eixo y.....	16
5.9 – Gráfico de regressão onde as incidências de descargas elétricas do eixo x estão relacionadas com as concentrações de nitrato do eixo y.....	16

LISTA DE TABELAS

0.1 – Formas gasosas mais comuns de N na atmosfera, abundância e fontes principais.....	02
0.2 – Precisão e Exatidão em % das dosagens das diferentes espécies químicas nas amostras utilizadas.....	13
0.3– Estatística para as concentrações de NO_3^- (μMol) e para as descargas elétricas.....	

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

SJC - Cidade: São José dos Campos

CP - Cidade: Cachoeira Paulista

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A estrutura da atmosfera pode ser definida utilizando três sistemas de classificação: o primeiro com base na variação vertical de temperatura (FIGURA 1.1), o segundo de acordo com a variação vertical da concentração de íons e o terceiro em função da variação vertical de composição química.

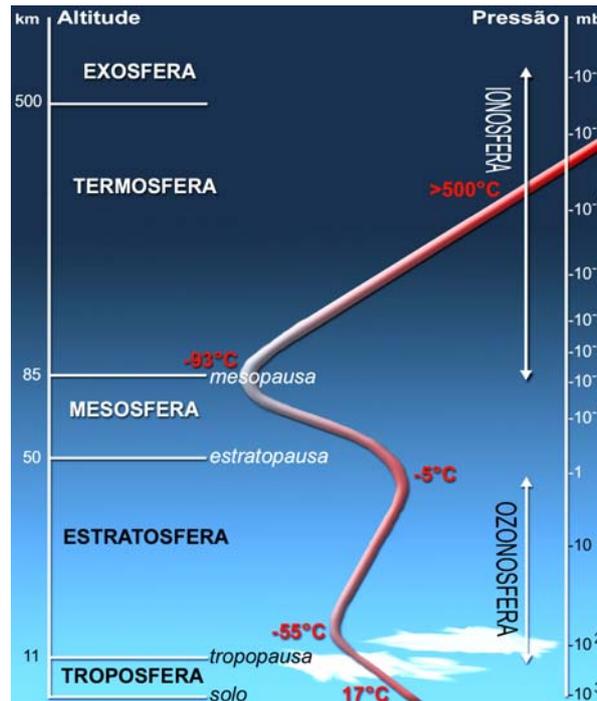


FIGURA 1.1- Sistema de classificação com base na variação vertical de temperatura

FONTE: Bourotte (2002, p. 251).

No sistema de classificação com base na variação vertical da temperatura, o de uso mais freqüente, a região inferior da atmosfera é conhecida como troposfera. Nesta região, onde a temperatura decresce com a altitude, ocorrem ininterruptamente os fenômenos de turbulência e de mistura dos componentes atmosféricos. Nela são formadas as nuvens, a circulação das massas de ar e onde ocorrem os fenômenos meteorológicos (chuvas, granizos, raios, tornados, etc.). Essa região é a mais importante para a vida, pois contém 80% da massa total da atmosfera, além de quase todo o vapor d'água. A troposfera é composta de gases e partículas em suspensão. Cerca de 99% do volume de ar seco e limpo consiste em dois gases: o nitrogênio (78%) e o oxigênio (21%). O volume de ar restante é constituído por menos de 1% de argônio e cerca de 0,037% de CO₂. Os gases

restantes representam somente 0,003% do total. O conteúdo de vapor d'água é bastante variável e depende da região, apresentando valores que variam de 20 g.kg⁻¹ de ar nos trópicos até cerca de 0,5 g.kg⁻¹ nas regiões polares (Bourotte, 2002).

O N atmosférico encontra-se na forma de N₂, que é um gás estável, forma essa indisponível para os seres vivos uma vez que ele é necessário para a formação das moléculas de proteínas e ácidos nucléicos. Sua forma principal de ocorrência na atmosfera é a gasosa, sendo as mais comuns e abundantes apresentadas na TABELA 0.1.

TABELA 0.1 – Formas gasosas mais comuns de N na atmosfera, abundância e fontes principais. Valores típicos a 1 atm (ppmv – parte por milhão por volume).

Espécies	Concentração	Fonte Principal
N ₂	780,840 ppmv	Vulcânico, biogênico.
N ₂ O	310 ppbv	Biogênico, antropogênico.
HNO ₃	0-100 pptv	Fotoquímico
NH ₃	0-0,5 ppbv	Biogênico, antropogênico.
NO ₂	0-300 pptv	Fotoquímico
NO	0-300 pptv	Biogênico, atividade elétrica, antropogênico.
NO ₃	0-100 pptv	Fotoquímico

FONTE: Hobbs (2000, p. 263).

Além das fontes naturais de N, existem aquelas antrópicas (produzidas pela ação do homem), que introduzem quantidades anormais das diferentes espécies na atmosfera de tal forma que elas se tornam poluentes.

A conversão do N₂ em compostos reativos disponíveis acontece através da combinação deste com o H, C ou O. Este processo recebe o nome de fixação do nitrogênio e refere-se também a redução e incorporação do nitrogênio atmosférico por certas bactérias, algas e pelas raízes das plantas leguminosas, resultando na produção de Amônia (NH₃). A amônia produzida pelas bactérias fixadoras não é absorvida pelas plantas, porém é oxidada em nitrito que são liberados do solo e oxidados, formando os nitratos. Este processo chama-se nitrificação. Na ausência do oxigênio, certas bactérias denitrificantes, utilizam o nitrato para oxidar compostos orgânicos e produzir energia, transformando-o em nitrogênio molecular que retorna para a atmosfera. Assim, da atmosfera os gases de

N se transformam em NH_4^+ , NO_2 e NO_3^- nos ecossistemas terrestres e aquáticos e depois retornam à sua forma principal N_2 . Nos processos antrópicos, a conversão do gás N_2 em seus compostos químicos, vai se dar pela queima de biomassa, produção de fertilizantes pelas indústrias e pela queima de combustíveis fósseis (Linhares e Gewandsznejder, 2000).

A energia solar desempenha um papel importante no ciclo da água e do nitrogênio. Na presença de radiação ultravioleta ocorre a oxidação do N_2 , tanto pelo O_2 como pelo O_3 , formando óxidos de nitrogênio. A oxidação fotoquímica de outros gases como o SO_2 , NO e NO_2 vão formar os ácidos sulfúrico e nítrico.

Na atmosfera, os gases do tipo Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (COVs), participam de uma série de reações na troposfera produzindo ozônio. O papel principal exercido pelos COVs é induzir a oxidação do NO , emitido principalmente por processos de combustão, a NO_2 , que será o precursor de O_3 em presença da luz solar (a soma de NO e NO_2 é denominada genericamente de NO_x). Desta forma, a taxa de formação de O_3 vai depender dos níveis do NO_x e de COVs (Hobbs, 2000). Na FIGURA 1.2, apresentam-se de forma esquemática as direções desses processos, cujo conjunto é denominado ciclo do Nitrogênio.

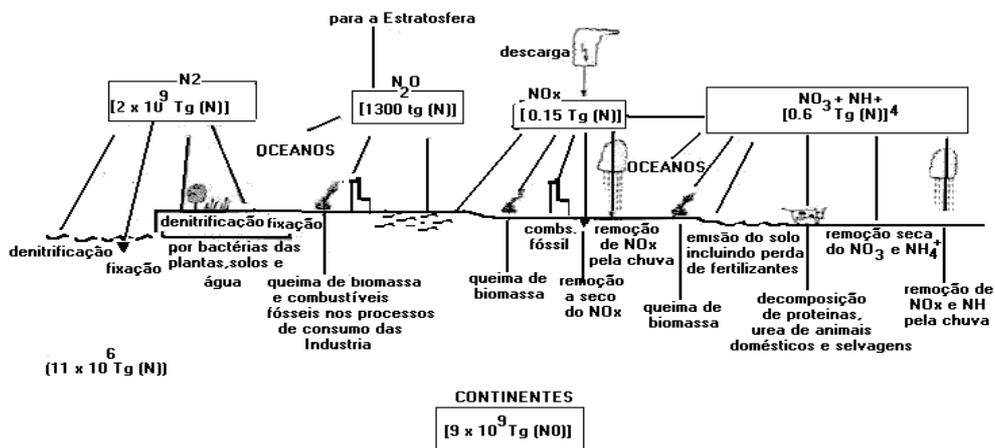


FIGURA 1.2 – Ciclo do Nitrogênio. Fluxo em Tg(N) por ano.

1.1 Esboço Geral

Este trabalho foi dividido em mais cinco capítulos, descritos a seguir:

- *CAPÍTULO 2 – DESCARGAS ELÉTRICAS*: Neste capítulo são abordadas as camadas atmosféricas e suas relações com as formações das descargas elétricas, assim, possibilitando que haja uma interação entre a atmosfera e o planeta Terra em sua formação;
- *CAPÍTULO 3 - OBJETIVO*: Este capítulo contém o objetivo e o método utilizado para atingir o melhor resultado da proposta do trabalho.
- *CAPÍTULO 4 – MATERIAL E MÉTODO*: Área de estudo, coleta e preparação das amostras de água e de descargas elétricas.
- *CAPÍTULO 5 - RESULTADOS*: Neste capítulo são apresentadas as formas como foram estudados e relacionados às amostras de água de chuva e as incidências de descargas elétricas que ocorreram no mesmo período.

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES: Conclusões e perspectivas de trabalhos futuros sobre os métodos estudados e analisados.

CAPÍTULO 2

DESCARGAS ELÉTRICAS

A Troposfera (atmosfera inferior), Estratosfera e a Mesosfera (média atmosfera) são fracamente condutoras de cargas devido à presença de pequenas concentrações de íons, essas camadas e sua espessura são mostradas, aproximadamente, de forma esquemática na FIGURA 2.1.

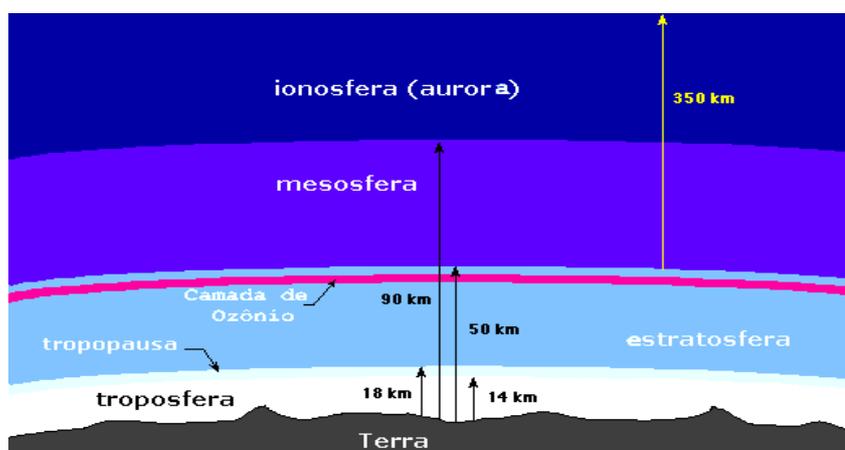


FIGURA 2.1. Esquema das camadas atmosféricas.

FONTE: www.cdcc.sc.usp.br/ciencia/artigos/art_25/tropoimagem/atmosfera.gif

A atmosfera contida entre essas regiões é uma mistura homogênea de gases diversos e majoritariamente por Nitrogênio e Oxigênio que não são um isolante elétrico perfeito (Mendes Jr, 2002). As moléculas de gás da atmosfera colidem com partículas de alta energia provenientes do sol, tais colisões expulsam os elétrons das moléculas, num processo de ionização. O resultado é a produção de um plasma (conjunto quase neutro de partículas eletricamente carregadas formada pela ionização de átomos e moléculas) de movimento veloz. Os elétrons são então ligados a outras moléculas neutras produzindo íons negativos. Após a formação desses íons, eles reagem com as moléculas neutras ligando-se a moléculas de vapor d'água sempre existentes na atmosfera e formando aglomerados iônicos.

Em condições estacionárias a concentração destes íons, em um dado instante e local, é o resultado do balanço entre a produção (pela ionização) a destruição de íons (pela recombinação entre eles) e pela combinação de íons e partículas de aerossóis. A existência desta carga elétrica líquida próxima à superfície da Terra implica na existência de um processo adicional de íons, considerando-se que o processo de ionização produz concentrações iguais de íons negativos e positivos. O intenso movimento sobre a superfície do planeta reflete-se também na agitação dos particulados atmosféricos, produzindo uma turbulência que vai, com a ajuda da ação

dos ventos, do clima e da presença de vapor d'água, influenciar na concentração de íons, aerossóis e partículas radioativas presentes na atmosfera (Goody, 1972).

Na atmosfera inferior e média os íons negativos e positivos movem-se em resposta aos campos elétricos, ventos neutros e difusão. Quando íons e elétrons eletricamente carregados atingem a mesma velocidade, o plasma então formado, se move como um todo. Assim, um gás parcialmente ionizado pode ser afetado por campos elétricos ou magnéticos e conseqüentemente conduzir corrente elétrica (Goody, 1972). A capacidade da atmosfera de conduzir uma corrente elétrica é dada pela atividade da densidade, carga dos íons e pela mobilidade. A condutividade varia com a altitude, em conseqüência do decrescimo da densidade da atmosfera com a latitude, devido à variação da intensidade de raios cósmicos (partículas que provêm do espaço na velocidade da luz, com o núcleo de átomo ou elétron) que tende a ser maior em altas latitudes. (Kirchhoff, 1978). Perto da superfície da Terra, a condutividade apresenta variações em associação com a presença de neblina ou poluição.

A atmosfera da Terra mostra-se como um circuito elétrico complexo. A região mais próxima da superfície, até cerca de 150km, revela-se como um capacitador esférico, onde a ionosfera é a superfície externa carregada positivamente, enquanto a superfície da Terra é a esfera interna, carregada negativamente, sendo a nuvem de tempestade o gerador que age no sentido de manter a carga negativa da esfera interna contribuindo para a manutenção das cargas positivas na esfera externa. Esses esquema é apresentado na FIGURA 2.2.

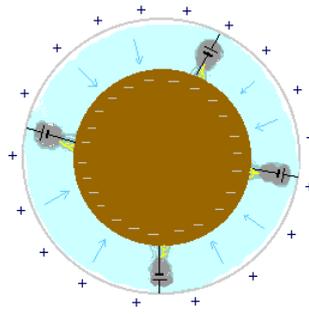


FIGURA 2.2. Capacitor Esférico – atmosfera terrestre negativa e a ionosfera positiva.

FONTE: www.seara.ufc.br/tintim/ífrica/tempestades/tempestades1.htm

Perto do solo, o valor deste campo é de cerca de 100 V.m^{-1} , e apresenta uma mistura homogênea de gases (Nitrogênio $\approx 75\%$ e Oxigênio $\approx 24\%$) não constituindo um isolante térmico perfeito. Outro mecanismo para separar cargas perto da superfície é denominado efeito-eletrodo, que devido à carga negativa da Terra, íons negativos na atmosfera movem-se para cima. Por não serem substituídos na mesma proporção por íons negativos gerados por fontes radioativas, forma-se uma região de cargas positivas perto do solo. Esse caráter condutor permite que exista um fluxo de corrente elétrica de cima para baixo, de cerca de $2 \times 10^{-12} \text{ A.m}^{-2}$ que, integrada para toda a terra, resulta numa corrente da ordem de 1kA. A essa corrente elétrica dá-se o nome de corrente tempo bom que apresenta variações diurnas e sazonais devido à existência de um campo elétrico vertical orientado para baixo e a presença de íons negativos e positivos, está constantemente fluindo na atmosfera. (Mendes Jr, 2002).

A descarga atmosférica, popularmente conhecida como raio, faísca ou corisco, é um fenômeno natural que ocorre em todas as regiões da terra. Na região tropical do planeta, onde está localizado o Brasil, as descargas ocorrem geralmente junto com as chuvas com duas características principais:

- O Trovão, som provocado pela expansão do ar aquecido pelo raio;
- O relâmpago, luminosidade que aparece no caminho por onde o raio passou.

A nuvem, – cumulonimbus – carregada eletricamente em contato com o ar entre a nuvem e a terra abrirá um caminho, dando origem a um curto-circuito, conduzindo uma corrente elétrica intensa de milhares de amperes para a superfície da Terra. As descargas podem ser descendentes (nuvem-solo), ascendentes (solo-nuvem) ou as que não tocam o

solo (dentro da nuvem, da nuvem para o ar e de uma nuvem para outra). Os raios caem nos pontos mais altos, pois sempre procuram achar o menor caminho entre a nuvem e a terra. Árvores altas, torres, antenas de televisão, torres de igreja e edifícios são pontos preferidos para a ocorrência de descargas atmosféricas.

O calor gerado na formação das descargas elétricas, produzirá a combinação entre o Oxigênio e o Nitrogênio dando origem ao óxido de nitrogênio (NO_x), que por sua vez poderá combinar-se com a chuva produzindo ácido nítrico, que será “incorporado” pela chuva e depositado sobre os ecossistemas. Essa é uma forma natural de produção de nitrato, forma esta disponível para a absorção pelos seres vivos (Hobbs, 2000).

CAPÍTULO 3

OBJETIVO

O objetivo deste estudo é verificar se existe correlação entre a concentração de nitrato nas águas de chuva coletada em uma região com atmosfera limpa e a atividade elétrica durante o período de precipitação. Para atingir tal objetivo será utilizada uma série de dados de concentração de nitrato em água de chuva coletadas no Núcleo Cunha-Indaiá, Laboratório de Hidrologia Florestal Dr. W. Emerich do Instituto Florestal de São Paulo entre os períodos de Janeiro de 2001 à Fevereiro de 2003, e os dados de atividade elétrica nesta mesma região e período.

diabásico da era mesozóica. Na região do vale do Paraíba (bacia de Taubaté), encontra-se a formação Taubaté composta por sedimentos arenosos de lagos e rios. Na planície de inundação, ao longo do rio, são encontrados sedimentos aluvionares. A topografia da região alta compreende montanhas baixas com inclinação acentuadas e picos arredondados; na parte intermediária e aos níveis dos sopés as inclinações têm gradiente baixo, da ordem de 10 a 20 graus; a densidade de drenagem é baixa e a aparência da paisagem é ondulada (Cicco et al, 1987). A temperatura média máxima é de 26°C e a média mínima é de 16°C. A precipitação média anual é de 1500 mm com um período chuvoso entre os meses de setembro a abril e o seco de maio a agosto. Essa região pode ser classificada como de clima tropical úmido. Os solos encontrados na região têm profundidade de até 2m com coloração desde o marrom amarelado ao avermelhado, bem intemperizados e contendo grãos de quartzo; os saprolitos apresentam a estrutura e a textura do material primário: granitos e gnaisses. Esses solos são do tipo Massapé, sendo um tipo intermediário entre o Latossolo ácido e o Podzólico vermelho-amarelo o último sendo dominante nas partes altas, com mais de 1400 mm de precipitação. A vegetação é composta por florestas naturais, em geral nos topos das montanhas são encontradas florestas de araucária (regiões altas, acima de 1200m), a média altitude encontram-se capoeiras (vegetação secundária) e algumas áreas com reflorestamento (Forti, 2003) FIGURA 4.2.



FIGURA 4.2 – Foto panorâmica da sede do Parque estadual Cunha/Indaiá.

FONTE: Forti (2003, p.113).

4.2 Coletas e preparação das amostras de água de chuva.

Para execução deste trabalho foram coletadas amostras de águas de chuva de maio de 1999 até fevereiro de 2003 com frequência semanal. Essas águas foram amostradas com

coletores do tipo “bulk” (coleta a deposição seca e úmida) instalados em clareiras. Na FIGURA 4.3 apresenta-se uma foto do coletor bulk.



FIGURA 4.3. Foto do coletor tipo “bulk” instalado junto ao vertedor da bacia em Cunha.

FONTE: Forti (2003, p.113).

Os recipientes coletores utilizados são de material inerte (polietileno ou polipropileno) e foram protegidos de exposição direta ao sol. Esses recipientes foram sempre lavados com água deionizada a cada coleta (com troca de recipiente). Todos os recipientes utilizados foram previamente descontaminados em uma solução de ácido nítrico 10% e as amostras foram armazenadas em frascos de polietileno de alta densidade. Após a coleta as amostras foram filtradas a vácuo utilizando membrana pré-lavadas, com 0,22 μ m de poro para obter a fração solúvel em solução, essa filtragem elimina, também, bactérias uma vez que elas medem, em geral, mais do que 0,22 μ m de tamanho. Essas amostras, após a preservação apropriada (Apello e Postma,1996) foram estocadas em geladeira a 4° C.

As dosagens do nitrato foram efetuadas utilizando-se a técnica de cromatografia líquida de íons, utilizando-se um equipamento Dionex DX-500 disponível no laboratório do NUPEGEL-ESALQ/USP. Para analisar os ânions (Cloroeto, Nitrato e Sulfato) utilizou-se uma coluna separadora AS4A e carbonato/bicarbonato de sódio como eluente, com um detector eletroquímico. A precisão dessas análises depende da configuração do sistema, da faixa de concentração das amostras e do elemento analisado. Na TABELA 2 são apresentados valores médios da precisão e da exatidão obtidos (Forti et al., 2000).

TABELA 0.2– Precisão e exatidão, em %, das dosagens das diferentes espécies químicas nas amostras utilizadas neste trabalho, analisadas por cromatografia a líquido de íons (PR – Precisão; EX – Exatidão).

%	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
PR	3	3.5	8
EX	8	10	8

4.3. Dados de Descarga Elétrica

Esses dados foram adquiridos a partir do sensor (antena) Stormtracker que trabalha sob a plataforma Gnu/Linux. Esse sensor adquire os sinais eletromagnéticos emitidos pelas descargas elétricas via metodologia MDF (Magnetic Direction Finder) que é um sistema de localização direcional. O sensor está localizado no Inpe (Instituto Nacional de Pesquisa Espacial) no prédio da Meteorologia na cidade de São José dos Campos, e capta os sinais durante 24hs por dia, 365 dias por ano sem paradas. O sistema de aquisição encerra a coleta de dados diária às 24hs UTC (coordenadas de tempo universal) e em seguida inicia-se um novo arquivo de dados.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

Para compatibilizar a base de dados do sensor Stromtracker, que fornece os dados em formato Juliano, com os dados de concentração de nitrato nas águas de chuva, houve necessidade de converter e tratar os dados para possibilitar a comparação e assim buscar uma relação entre incidência de descargas e a quantidade de nitrato nas águas de chuva.

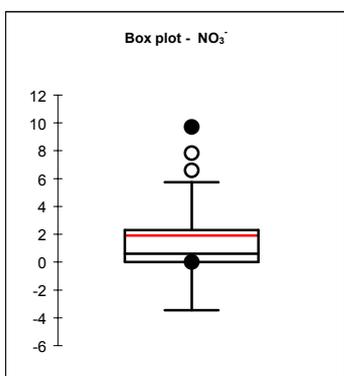
Os dados de descargas elétricas em formato Juliano, que compreende a numeração seqüencial dos dias de 01 a 365 iniciando do primeiro mês do ano, foram transformados para um formato Europeu, que fornece a quantidade de incidências de descarga com data e hora de ocorrência, pelo sistema operacional Linux. Neste sistema foram acessados os arquivos de descargas do Terminal de Aquisição de dados (TAD) dos sensores de São José dos Campos (2001,2002 e 2003) de Cachoeira Paulista (2002). Os dados foram então convertidos por um comando chamado ExtensiveSTR que forneceu as coordenadas geográficas, data e hora das ocorrências diárias das descargas. Esses dados de descarga foram agrupados no total de incidências de uma semana pois as amostras de água de chuva representam o total de precipitação acumulado durante uma semana.

Para investigar a existência de correlação entre as descargas elétricas e a quantidade de nitrato, durante o período considerado, foi efetuada uma análise estatística utilizando o programa Estatístico XL Stat no EXCEL. Na TABELA 0.3 são apresentadas as estatísticas para as concentrações de NO_3^- e para as descargas elétricas nos dois locais.

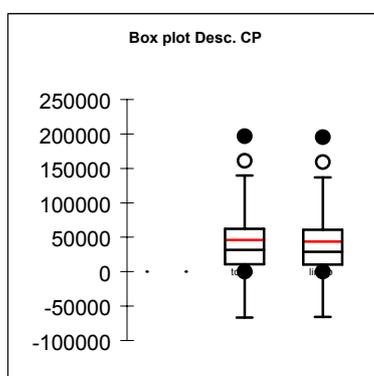
TABELA 0.3. Estatística para as concentrações de NO_3^- (μMol) e para as descargas elétricas.

Descrição	$\text{NO}_3^- \mu\text{Mol}$	Tot.CP	Lim.CP	Tot.SJ	Lim.SJ
Min	0	178	135	101	51
Max	9,71	196520	195342	476538	335453
Média	1,91	45872	43637	138546	62730

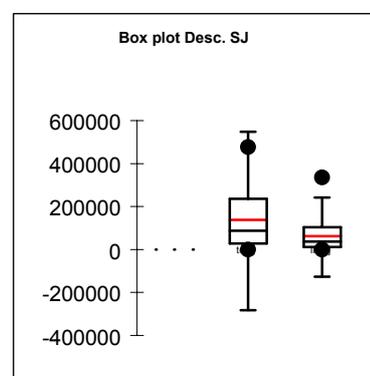
Nas FIGURAS 5.1 – 3 são apresentados os gráficos “Box-plot” para os parâmetros estudados.



5.1. Box-plot para as concentrações de NO_3^-



5.2. Box-plot das descargas elétricas para o sensor de CP.

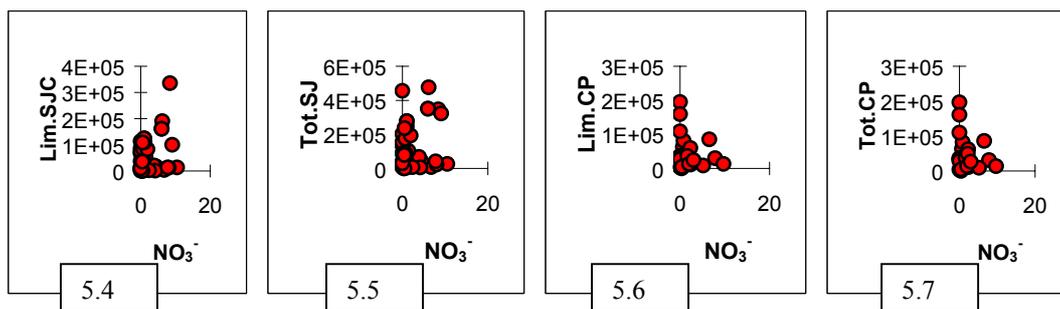


5.3. Box-plot das descargas elétricas para o sensor de SJC.

A partir das FIGURAS 5.1 – 3, verifica-se que em SJC as descargas encontram-se mais dispersas na área total do sensor e agrupadas na área limite, e que essas incidências são maiores do que as observadas em CP. Para o sensor em CP a dispersão é menor e mais concentrada.

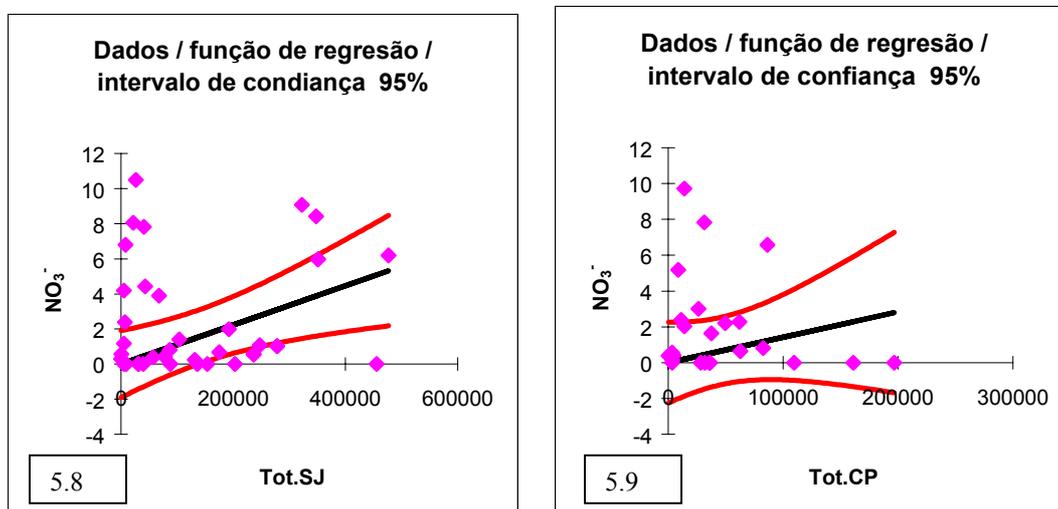
A concentração média de nitrato encontra-se deslocada para os valores mais baixos da distribuição.

Nas FIGURAS 5.4 – 7, são apresentados os gráficos x,y entre as concentrações de NO_3^- e os valores de descargas na área limite e na área total dos sensores. Esses gráficos indicam que existe uma correlação entre esses parâmetros.



FIGURAS de 5.4 – 7. Gráfico x,y para as descargas em CP e SJC e as concentrações de NO_3^- (μMol).

Como as FIGURAS 5.4 – 7 indicaram a possibilidade de correlação, calculou-se o coeficiente de correlação de Pearson, também chamado de “coeficiente de correlação produto-momento” ou “r de Pearson” que mede o grau da correlação e a direção dessa correlação (se positiva ou negativa) entre duas variáveis de escala métrica. Neste caso as correlações entre as concentrações de nitrato e as incidências de descargas, considerando os dados dos sensores de SJC e CP, apresentaram valores dos coeficientes baixos: para CP de 0,1765 e para SJC de 0,2655. A regressão foi calculada para o intervalo de 95% de probabilidade e suas curvas são apresentadas nas FIGURAS 5.8 e 5.9.



FIGURAS 5.8 e 5.9. Gráfico de regressão onde as incidências de descargas elétricas do eixo x estão relacionadas com as concentrações de nitrato do eixo y.

Esses cálculos indicam que para CP na área total do sensor as descargas explicam 2,98% da variância nas concentrações NO_3^- , enquanto que na região limite esse valor é de 3,11%. Assim, embora as descargas elétricas tenham um componente significativo na

produção de nitrato na água da chuva, esse valor é baixo em relação ao valor médio de concentração observado. Para SJC os resultados foram de 3,16% na área total do sensor e 7,05% para a área do limite, isto é, da mesma maneira que CP, as descargas explicam pouco da variância nas concentrações de nitrato. Desta forma pode-se afirmar que a fonte “descarga elétrica” não é a mais importante para a geração de NO_3^- na água de chuva.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÃO

As análises dos dados de descargas elétricas e suas relações com as concentrações de nitrato determinadas nas águas da chuva indicam que há uma correlação pequena, mas significativa e importante entre as descargas elétricas e as concentrações de NO_3^- na água de chuva.

Entretanto, para essa região, as descargas elétricas não são as fontes mais importantes de NO_3^- na água de chuva, pois elas explicam uma parte pequena da variância dessas concentrações.

Portanto, as concentrações de nitrato encontradas nas águas de chuva, além das descargas elétricas, devem ter como fontes importantes as queimadas, a agricultura e a queima de combustíveis fósseis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bourotte, E. A. **Caracterização de poluentes atmosféricos** (Metais, traço e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos) **na interface atmosfera-solo em áreas urbanas e natural do estado de São Paulo**. Tese de Doutorado Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica Universidade de São Paulo. Abril, 2002, 251pp..

Appelo, C.A.J; Postma, D. **Geochemistry groundwater and pollution**. A.A Balkema, Rotterdam, 1996. 536p.

Berner, E.K.; BERNER, R.A. **The Global water cicle**. Geochemistry and Environment, Prentice Hall, N. Jersey, USA, 1986. 397p.

Cicco, V.; Emmerich, W.; Fujieda, M. **Determinação da curva chave do vertedouro da bacia hidrográfica experimental “D” no Parque Est. Da Serra do Mar, Núcleo Cunha**. S.P. Bol. Tec. IF. São Paulo, 1979-1996. 41p.

Forti, M.C. **Ciclos Biogeoquímico e Transferências de Espécies Químicas nas Interfaces de Ecossistemas Terrestres de Mata Atlântica**: estudo de duas áreas contrastantes. Relatório Final, Projeto FAPESP No. 99/05204-4, INPE 9547-PRP, Fevereiro, 2003. 113p.

Forti, M.C; Melfi, A.J; Astolfo, R.; Fostier, A-H. **Rainfall chemistry composition in two ecosystems in the northeastern Brazilian Amazon (Amapá State)**. Journal of Geophysical Research, 105 D23: 28895-28905.

Hobbs, P.V. **Introduction to atmospheric chemistry**. Cambridge Univ. Press, 2000. 263p.

Tie, X.X; Zhang, R.Y.; Brasseur, G.; Emmons, L.; Lei, W.F. **Effects of lightning on reactive nitrogen and nitrogen reservoir species in the atmosphere**. J. Geophys. Res, 2001. 106p.

Kirchhoff, V.W.J.H. **Curso de Aeronomia Básica**. Relatório no. 1403-AMD/02. INPE, 1978. 163p.

Linhares, S.; Gewandsznajder, F. **Livro Biologia Hoje**. Genética, Evolução e Ecologia. São Paulo, SP. Vol.03, 2000. 435p.

Goody, R.M; Walker, J.C.G. **Atmosferas planetárias**. São Paulo, Edgard Blucher, 1972.

Mendes, O.Jr.; Domingues, M.O.; **Revista brasileira de Ensino de Física**. Introdução à Eletrodinâmica Atmosférica, 2002 vol.24.19p.