



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
CURSO: METEOROLOGIA**

TRABALHO DE LICENCIATURA

Análise da Distribuição da Frequência de Relâmpagos em Moçambique



Candidato:

Dali Aliane Lourenço Raposo

Maputo, Setembro de 2008

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
CURSO: METEOROLOGIA

Análise da Distribuição da Frequência de Relâmpagos em Moçambique

Candidato: Dali Aliane Lourenço Raposo

Supervisor: Dr. Alberto Julião Macamo
Co-Supervisor: Dr. António Joaquim Queface,

Maputo, Setembro de 2008

Declaração de Honra

Declaro por minha honra que este trabalho foi realizado com base no material a que se faz referência ao longo do mesmo e que não foi submetido para obtenção de nenhum outro grau. As ideias originais nele expressas são da inteira responsabilidade do candidato.

O Candidato

(Dali Aliane Lourenço Raposo)

Dedicatória

Dedico este trabalho a minha família
e a todos que confiaram em mim.

Agradecimentos

Aos meus pais e irmãos, pelo amor, apoio e por acreditarem em mim.

Ao Dr. Alberto Julião Macamo e Dr. António Joaquim Queface pela dedicada orientação e incentivo no trabalho de pesquisa.

Aos meus colegas e amigos que sempre estiveram presentes e que me apoiaram em todos os momentos e pelos votos de confiança no sucesso do trabalho.

À todos os docentes do Departamento de Física que dedicaram momentos de suas vidas em favor do aprimoramento do conhecimento.

À todos funcionários do Departamento de Física que de forma directa ou indirecta contribuíram para a minha formação.

Aos funcionários do INAM pela colaboração.

À minha namorada pelo apoio moral e pelo carinho.

À Deus.

Obrigado!

Abreviaturas

APINA:	Air Pollution Information Network-Africa
CAPE:	Energia potencial convectiva disponível
Cb(s):	Cumulonimbus
CINE:	Energia de inibição da convecção
FITS:	Frente Intertropical Sul
INAM:	Instituto Nacional de Meteorologia de Moçambique
LIS:	Lightning Imaging Sensor
NASA:	National Aeronautics and Space Administration
NCL:	Nível de convecção livre
NE:	Nível de equilíbrio
NOx:	Óxidos de Nitrogénio
OMM:	Organização Meteorológica Mundial
SADC:	Southern African Development Community
Tc:	Tropical Continental
T_c:	Temperatura convectiva
T_e:	Temperatura potencial equivalente
T_w:	Temperatura do bulbo húmido
Tm:	Tropical marítimo
Tmu:	Tropical marítimo instável
TRMM:	Tropical Rainfall Measuring Mission
UEM:	Universidade Eduardo Mondlane
ZCAS:	Zona de Convergência do Atlântico Sul

Resumo

Este projecto foi levado a cabo pelo Departamento de Física da Universidade Eduardo Mondlane. Nele foi analisada a ocorrência mensal e anual de relâmpagos, bem como o período do ano e o horário de maior incidência. Para identificação dos pontos de ocorrência de relâmpagos, recorreu-se a dados estatísticos de frequência deste fenómeno em 10 estações meteorológicas fornecidos pelo INAM e imagens colhidas pelos sensor *Lightning Imaging Sensor* (LIS) da NASA à bordo do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) para os anos de 2006 e 2007. Com estes dados foram feitas tabelas, gráficos anuais, gráficos mensais e gráficos horários das descargas de relâmpagos a fim de se estimar as províncias (ou cidades), os meses e o horário mais propício a ocorrência deste fenómeno em Moambique.

Das análises feitas verifica-se que há maior número de ocorrência de relâmpagos na Províncias de Zambézia (1049.5), Manica (707.5), Niassa (653.5) e Tete (629) nos meses que correspondem ao Verão (Novembro à Março). Este fenómeno ocorre com maior frequência entre as 15 e 19 horas, associado a maior actividade convectiva, que favorece ao surgimento de relâmpagos.

Índice

Página

Declaração de Honra	i
Dedicatória	ii
Agradecimentos	iii
Abreviaturas	iv
Resumo	v
Capítulo I: Introdução e objectivos	1
1.1. Introdução	1
1.1.1. Contextualização do estudo	2
1.2. Objectivos	3
1.2.1. Objectivo geral	3
1.2.2. Objectivos específicos	3
Capítulo II: Revisão bibliográfica	4
2.1. Nuvens de tempestade.	6
2.2. Formação das nuvens	10
2.3. Estrutura eléctrica das nuvens de tempestade.....	13
2.4. Processos de electrização das nuvens de tempestade	15
2.5. Tipos de relâmpagos	17
2.5.1. Relâmpago natural	18
2.5.1.1. Relâmpagos na nuvem.....	18
2.5.1.2. Relâmpagos no solo.....	19
2.5.2. Relâmpago causado pelo homem	22
2.6. Cuidados em dias de tempestades/ relâmpagos	22
2.7. Primeiros socorros	24
2.8. Influência do relâmpago sobre o meio ambiente.....	24
2.9. Condições meteorológicas em Moçambique	25

Capítulo III: Metodologia.....	28
Capítulo IV: Análise e discussão dos resultados	30
4.1. Análise de relâmpagos observados em estações sinópticas	30
4.2. Análise de relâmpagos colhidos pelo satélite	33
Capítulo V: Conclusões e Recomendações	37
5.1. Conclusões.....	37
5.2. Recomendações	38
Referências Bibliográficas	39
ANEXOS	41
Anexo 1 Estações meteorológicas de Moçambique.....	42
Anexo 2 Imagem fornecida pelo sensor LIS do dia 29-04-07	44
Anexo 3 Dados do Inam.....	45
Anexo 4 Dados de satélite.....	46

Lista de Figuras

Figura 2.1. Estágio de desenvolvimento de uma célula de tempestade	8
Figura 2.2. Estágio maduro de uma nuvem de tempestade	9
Figura 2.3. Estágio de dissipação de uma nuvem de tempestade.....	9
Figura 2.4. Ilustração da ascensão de uma parcela de ar na atmosfera.	11
Figura 2.5. Perfil típico da temperatura na atmosfera e parâmetros relacionados a instabilidade vertical	12
Figura 2.6. Modelo bipolar da estrutura eléctrica de uma nuvem de tempestade isolada.	13
Figura 2.7. Modelo da estrutura eléctrica tripolar de nuvens de tempestade isoladas	14
Figura 2.8. Modelo da estrutura eléctrica multipolar de nuvens de tempestade isoladas.	15
Figura 2.9. Representação do processo colisional indutivo de separação de cargas.	16
Figura 2.10. Representação do processo termoeléctrico de separação de cargas.....	17
Figura 2.11. Desenho esquemático dos tipos de relâmpagos que atingem o solo.....	19
Figura 2.12. Processos contidos em um relâmpago nuvem-solo negativo.....	21
Figura 4.1. Ocorrência mensal de relâmpagos observados em estações sinópticas referente à 2006	30
Figura 4.2. Ocorrência anual de relâmpagos observados em estações sinópticas referentes a 2006	31
Figura 4.3. Ocorrência mensal de relâmpagos observados em estações sinópticas referentes à 2007	31
Figura 4.4. Ocorrência anual de relâmpagos observados em estações sinópticas referentes à 2007	32
Figura 4.5. Ocorrência horária de relâmpagos observados em estações sinópticas em 2006 e 2007	33
Figura 4.6. Ocorrência mensal de relâmpagos referentes à 2006.....	33
Figura 4. 7. Ocorrência anual de relâmpagos colhidos pelo satélite referentes à 2006.....	34
Figura 4. 8. Ocorrência mensal de relâmpagos colhidos pelo satélite referentes à 2007	34
Figura 4. 9. Ocorrência anual de relâmpagos colhidos pelo satélite referentes à 2007.....	35

Capítulo I: Introdução e objectivos

1.1. Introdução

Moçambique é um país em via de desenvolvimento, o que pressupõe o desenvolvimento da ciência e particularmente da Meteorologia com especial atenção as mudanças climáticas. Na região e mundo em espacial tem ocorrido vários fenómenos que de algum modo contribuem para as mudanças do clima terrestre. Alguns destes fenómenos por exemplo é o Relâmpago. Moçambique é um dos países propensos a este fenómeno. Infelizmente não existem estudos sobre a distribuição da frequência das descargas de relâmpagos, da sua magnitude e do comportamento dos parâmetros característicos dos relâmpagos em função da adversidade geográfica. Deste modo, este estudo vem contribuir para o monitoramento da distribuição da frequência de relâmpagos e na confecção de mapas de incidências de relâmpagos que podem ajudar na planificação de estratégias de modo a proteger vidas, sistemas eléctricos, e outros bens.

Os efeitos dos relâmpagos podem ocorrer à nível local, regional e global. Estes efeitos podem se manifestar na saúde, no bem estar da população, na vegetação e na fauna, sobre as propriedades da atmosfera passando pela redução da visibilidade, alteração da acidez das águas da chuva (chuva ácida), etc.

Em todo planeta Terra ocorrem cerca de 100 raios por segundo. Em muitas regiões tropicais e subtropicais, a maior quantidade de raios incide no período de Dezembro à Março, que corresponde a época das chuvas de Verão. Embora não haja estatísticas globais fiáveis devido a enorme dificuldade na recolha de informação e cobertura, sabe-se que anualmente em todo o mundo milhares de pessoas são atingidas por relâmpagos. Muitas delas morrem outras sofrem traumatismos e queimaduras. Outros prejuízos que podem advir das descargas de relâmpagos são: incêndios em florestas, destruição de estruturas e árvores, colapso na rede de energia eléctrica, interferência na rádio transmissão, acidentes na aviação, etc.

A semelhança de alguns países tropicais, Moçambique tem sido frequentemente afectado por relâmpagos, que tem deixado suas marcas negativas no ambiente na sociedade civil, causando danos tanto na saúde humana e nos diversos ecossistemas.

A crescente importância atribuída nos últimos anos aos problemas relacionados ao meio ambiente a nível mundial, bem como a necessidade de se garantir um desenvolvimento sustentável em

Moçambique, trouxe a necessidade de se realizar este estudo que poderá constituir uma ferramenta útil para avaliação da ocorrência dos relâmpagos em Moçambique, auxiliando no monitoramento e modelação dos focos das descargas de relâmpagos, essencialmente ao gás NO_x (Óxidos de Nitrogénio) produzido nas descargas.

1.1.1. Contextualização do estudo

O trabalho foi concebido a coberto do Programa de Investigação do Fundo Aberto em curso no Departamento de Física da UEM no âmbito do estudo dos efeitos ambientais dos Óxidos de Nitrogénio (NO_x) produzidos pelas descargas de relâmpago na atmosfera sobre o meio ambiente em Moçambique e das actividades da *Air Pollution Information Network* (APINA) dentro da região da *Southern African Development Community* (SADC), focalizando os aspectos ligados a poluição do ar. O pressuposto assume que o relâmpago contribui para o aumento dos níveis da poluição do ar. A ideia principal é fazer com que estes resultados preliminares sirvam de base para estudos futuros, mais detalhados e completos sobre o fenómeno.

Moçambique está situado na região Oriental do continente africano, banhado a leste pelo oceano Índico, estendendo-se desde 10,5° até 27°S de latitude e desde 30°E de longitude até à costa (Ferreira, 1965).

A situação geográfica de Moçambique é das mais interessantes do continente Africano, pois ela integra três das grandes regiões naturais, nomeadamente: a África Oriental, África Central e África Austral. Com uma superfície de 799380km², de água firme e de 13000km² a superfície de águas interiores e tendo uma fronteira terrestre de 4330km² do Rovuma a ponta ouro (<http://members.tripod.com/majaliwa/geral.htm>).

A maior parte do território moçambicano tem altitudes que não excedem 500m, excepto nas regiões próximas do lago Niassa e numa faixa a Norte do paralelo de 21°S. Os montes de Gorongosa, no distrito de Manica e Sofala, e os de Namuli, no distrito da Zambézia, são maciços isolados. As maiores altitudes encontram-se nestas elevações (2419 m) e na Serra de Binga (2436 m) que constitui a fronteira na latitude de 20°S.

O clima de Moçambique é o que corresponde à situação do território nas zonas intertropical (quente) e subtropical (temperado-quente) do hemisfério sul, com alterações resultantes da acção dos factores

fisiográficos (proximidade do mar, relevo, etc.) e dos factores eventuais que pela sua frequência ou intensidade, afectam apreciavelmente o clima (Ferreira, 1965).

O clima é tropical, com duas estações bem definidas: quente e húmida (Outubro a Abril) e fria e seca (Maio a Setembro) (Queface, 2007).

1.2. Objectivos

1.2.1. Objectivo geral

- Analisar a distribuição da frequência de ocorrência das descargas de relâmpago em Moçambique.

1.2.2. Objectivos específicos

- Identificar as províncias e os períodos de maior frequência de ocorrência do relâmpago em Moçambique;
- Comparar os dados sobre a frequência de relâmpagos fornecidos pelo INAM observados em estações sinópticas com os dados colhidos pelo sensor *Lightning Imaging Sensor* (LIS) da NASA à bordo do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM);
- Produzir um banco de dados de ocorrências de relâmpagos em Moçambique.

Capítulo II: Revisão bibliográfica

Neste capítulo apresenta-se a revisão da literatura sobre relâmpagos, descrevendo os aspectos gerais do relâmpago, seu conceito, sua origem a partir das nuvens de tempestade e suas etapas de formação. Em seguida apresenta-se as principais características dos relâmpagos no céu e no solo relevantes para o desenvolvimento do trabalho.

O Relâmpago é uma corrente eléctrica muito intensa que ocorre na atmosfera. A duração de um relâmpago pode ser de um terço de segundo a dois segundos, onde a corrente eléctrica sofre grandes variações, podendo atingir picos típicos de trinta mil amperes (Assis et al, 1997). Os relâmpagos ocorrem devido a grande concentração de cargas eléctricas em regiões localizadas na atmosfera, em geral dentro de nuvens de tempestade, também conhecidas como cumulonimbus¹ (Cbs) (Pinto Jr. e Pinto, 1996). Além desses factores, o relâmpago também pode ser gerado artificialmente por longos cabos condutores levados próximos as nuvens por foguetes ou aviões. Essa técnica tem sido largamente utilizada nos últimos anos para estudar algumas características dos relâmpagos, pois permite prever o instante e o local onde eles irão cair (Pinto Jr e Pinto, 1996). No processo de ocorrência do relâmpago produz-se o trovão, que é um ruído seco com características de rolamento, que acompanha o relâmpago, ocorre pela expansão brusca do ar aquecido pela passagem da corrente eléctrica. Neste processo descarrega-se muita energia e segundo Pinto Jr e Pinto (1996) a maior parte da energia eléctrica do relâmpago, cerca de 75%, é por esse processo convertida em energia térmica e acústica.

O estudo de relâmpagos teve início em 1752 quando Benjamin Franklin (1707-1790) demonstrou a natureza eléctrica dos relâmpagos. Segundo Pinto Jr e Pinto (1996), um relâmpago inicia-se com uma fraca descarga luminosa, geralmente não visível que se propaga da região de cargas negativas em direcção ao solo com uma velocidade em torno de 100 km/s, onde esta descarga, denominado líder escalonado, é precedida por fracas descargas que ocorrem dentro da nuvem.

¹ Nuvens de grande desenvolvimento vertical, escuras parecidas a couve-flor, estão associadas as tempestades

As nuvens de tempestade são as principais fontes de relâmpagos, embora as nuvens estratocumulos² e nimboestratos³ também podem produzir relâmpagos, ainda que raramente (Pinto Jr e Pinto, 1996). Os relâmpagos podem ser indicadores do estágio de electrificação das nuvens, podendo ser também associadas a precipitação (Taylor et al., 1984; Breed e Dye, 1989; Williams, 1989).

Os relâmpagos percorrem uma trajectória de 5 a 10 km na atmosfera, sendo capazes de produzir intensas correntes e campos electromagnéticos e ocorrem quando o campo eléctrico excede a capacidade dieléctrica do ar na sua base. A capacidade dieléctrica do ar ao nível do solo é da ordem de 3000 kV/m, na altura da base da nuvem esse valor diminui para 1000 kV/m e dentro dela alcança 300 kV/m. A temperatura no interior do canal percorrido pela corrente do relâmpago é de ordem de 30000 K, equivalente a cinco vezes a da superfície do Sol e a pressão dezenas de vezes a pressão atmosférica ao nível do mar, sendo capaz de gerar dele uma ionização de densidade em torno de 10^{26} electrões/cm³. O relâmpago também pode ocorrer em tempestades de neve e de areia, erupções vulcânicas ou de forma artificial, em explosões nucleares, com aviões e com foguetes em simulações de relâmpagos. Cerca de 50 a 100 relâmpagos ocorrem da nuvem para o solo por segundo no mundo, equivalente a 2 a 4 biliões de relâmpagos por ano (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

Há milhares de anos o relâmpago é observado e estudado, mas apesar de todo avanço tecnológico deste século, pouco progresso foi obtido no conhecimento deste fenómeno e ainda hoje persistem muitas dúvidas. Dentre elas o mecanismo de carregamento das cargas positivas e negativas das nuvens e apesar de todos os esforços também não se consegue evitar que um raio caia sobre um determinado edifício. No entanto todos os cuidados são no sentido de durante a sua queda obrigá-lo a seguir um caminho pré-determinado para a Terra, ou seja, o pára-raios e seus componentes.

A acção e o efeito do raio causa diversos prejuízos como: incêndios em florestas e campos, destruição de estruturas e árvores, destruição de aparelhos electrónicos ou mesmo a interrupção de energia eléctrica, interferência na rádio transmissão, acidentes na aviação, mortes de pessoas e animais, etc. Embora seja difícil determinar o total dos prejuízos causados pelos raios à sociedade, acredita-se que em Moçambique eles sejam da ordem de dezenas de milhões de meticais a cada ano.

² Nuvens baixas, cinzas em rolos ou em formas globulares, que formam uma camada.

³ Camada amorfa de nuvens cinza escuro. Uma das mais associadas as tempestades.

No nosso país este fenómeno apesar de não ser novo, ainda não foram realizados estudos sobre o relâmpago e, até mesmo o seu registo, ainda é pouco efectuado e deficiente devido a não existência de sistemas de detecção de relâmpagos no país e a existência de poucas estações em funcionamento. Em algumas províncias do nosso país ainda persistem algumas superstições e, a existência de rituais e mitos que tem vindo a aumentar a polémica e contradições no seio das sociedades particularmente nas regiões rurais com baixo nível de escolaridade.

2.1. Nuvens de tempestade.

As nuvens de tempestade são nuvens electrificadas do tipo Cbs que apresentam trovões e relâmpagos. Nelas ocorrem processos de geração e separação de cargas eléctricas que dão origem aos vários tipos de relâmpagos. Uma nuvem de tempestade tipicamente apresenta um diâmetro e uma extensão vertical de 10 a 20 km respectivamente, podem movimentar-se com uma velocidade de 40 a 50 km/h e o seu tempo de duração é em média de 30 a 90 minutos. Elas apresentam-se como tempestades isoladas ou tempestades locais, ou em grupos, formando tempestades organizadas, conhecidas como sistemas convectivos de mesoescala, em geral, mais severas com chuvas e ventos mais intensos, além de eventualmente produzirem granizo.

As nuvens de tempestade são produzidas sempre que existir bastante movimento vertical, instabilidade vertical e humidade, de modo a produzir uma nuvem que alcança altitudes com temperaturas abaixo do nível de congelamento. Estas condições são mais frequentemente encontradas no Verão e durante a tarde e início da noite, mas podem ocorrer em todas as estações do ano e em todas as horas do dia. O movimento vertical pode ser causado por um gradiente no perfil da temperatura ou por processos de levantamento, tais como as brisas ao longo das costas, frentes frias ou quentes, áreas de baixa pressão com convergência horizontal de ventos e montanhas.

As linhas de tempestade, as linhas de instabilidade e os complexos convectivos de mesoescala são tipos particulares de sistemas convectivos de mesoescala. Linhas de tempestades são tempestades individuais próximas umas das outras, porém sem interacção entre si. As linhas de instabilidade são sistemas de tempestades dispostos ao longo de uma linha, conectados pela região estratiforme, com interacção entre si, estendendo-se por várias centenas de quilómetros. Geralmente, formam-se junto à interface entre uma massa de ar húmida e quente e uma massa de ar fria (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

No mundo ocorrem cerca de 50.000 tempestades por dia ou 18 milhões por ano. Uma tempestade isolada pode ser formada por uma única célula (unicelular) embora na sua maioria, seja formada por várias células (multicelulares). Raramente é formada por uma supercélula, com uma extensão de cerca de 100 km. Uma tempestade unicelular pode durar menos de uma hora, enquanto as multicelulares, as supercelulares e até as organizadas podem durar várias horas. Devido à existência de gradientes verticais dos ventos horizontais nas regiões onde elas se formam, as correntes de ar ascendentes tendem a ocorrer em regiões distintas das correntes descendentes de ar, permitindo-lhes um tempo de duração mais longo em comparação com as unicelulares. As tempestades severas, na sua maioria, formam-se em regiões com forte gradiente vertical do vento horizontal e alto valor da energia potencial convectiva disponível (CAPE).

A tempestade multicelular é constituída de várias células adjacentes em diferentes estágios de desenvolvimento, e a supercelular por uma célula gigante. A altura dos topos das nuvens de tempestade depende da latitude geográfica. Em regiões de média para altas latitudes raramente ultrapassam 8 km de altura, já em regiões de médias para baixas latitudes podem alcançar até 20 km de altitude, como acontece ao Norte da Austrália, Indonésia e Nova Guiné (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

As nuvens de tempestade unicelulares passam por três estágios de evolução, cada um deles com duração de 20 a 40 minutos: estágio de desenvolvimento, estágio maduro e estágio dissipativo, ilustrados nas figuras 2.1, 2.2 e 2.3 respectivamente.

A figura 2.1 representa o estágio de desenvolvimento da nuvem de tempestade, envolve a reunião de pequenas nuvens cúmulos, tem duração de dezenas de minutos, a nuvem atinge diâmetros de 3 até 8 km, possui a base a 1 km do solo, alcança uma extensão vertical de 5 até 8 km e apresenta movimentos de ar predominantemente ascendentes, que arrastam gotas de água e gelo para cima (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

A medida que a condensação da humidade, contida nas correntes ascendentes ocorre aumentando o corpo visível da nuvem, o calor latente, libertado no nível de condensação, aumenta as correntes ascendentes já existentes, proporcionando mais energia cinética ao sistema (Ahrens, 1998).

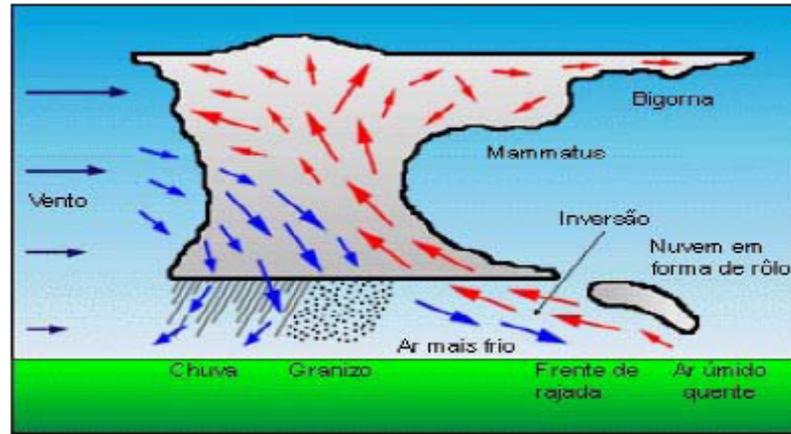


Figura 2.1. Estágio de desenvolvimento de uma célula de tempestade
(Fonte: www.marcelomelo.com)

A figura 2.2 representa o estágio maduro da nuvem de tempestade, que dura cerca de 30 minutos, a nuvem apresenta um diâmetro de 10 km, podendo em alguns casos atingir dezenas de quilómetros, alcança uma extensão vertical de 8 a 20 km, a altura da base da nuvem dista cerca de 1 a 4 km do solo dependendo da humidade, contém movimentos de ar ascendentes tornando gotas de água e cristais de gelo mais massivos, apresenta movimentos de ar descendentes decorrentes da não sustentação dessas gotas de água e cristais de gelo, com precipitação de chuvas, ocorrência de relâmpagos, ventos fortes e até tornados. O topo da nuvem costuma apresentar um alargamento na direcção horizontal em forma de bigorna, devido ao espalhamento horizontal das partículas de gelo (cristais de gelo), dando à nuvem um formato semelhante ao de uma bigorna que aponta na direcção dos ventos (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

As gotas de água e o granizo existentes na nuvem são mantidas em suspensão pelas correntes ascendentes até que, não mais suportando a massa acumulada, estas são vencidas pelo peso das gotas (McGregor e Nieuwolt, 1997).

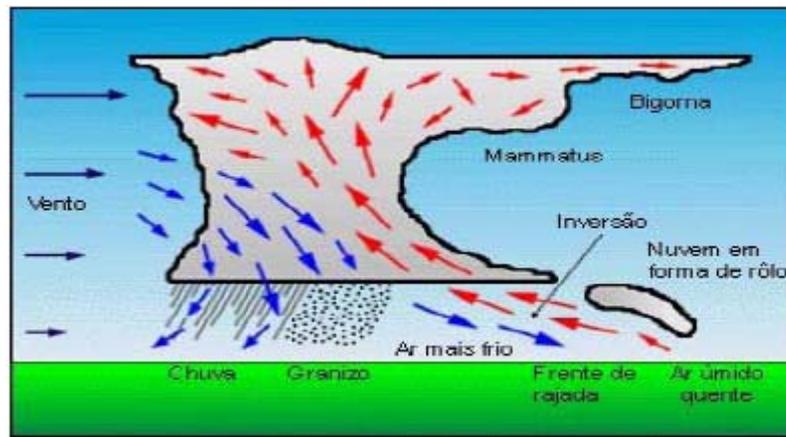


Figura 2.2. Estágio maduro de uma nuvem de tempestade
(Fonte: www.marcelomelo.com)

A figura 2.3 representa o estágio de dissipação de uma nuvem de tempestade, tem a duração de 30 minutos, apresenta predominantemente movimentos descendentes, causando o esfriamento e a dissipação da nuvem, restando apenas a bigorna que assume a forma de nuvens Cirrostratos e Altostratos (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

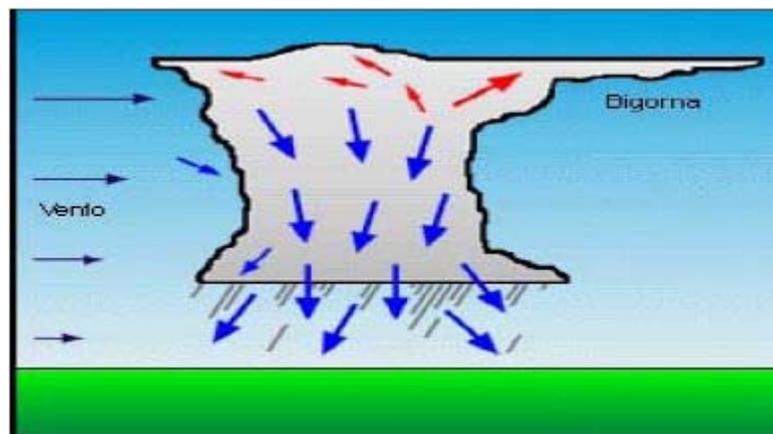


Figura 2.3. Estágio de dissipação de uma nuvem de tempestade
(Fonte: www.marcelomelo.com)

À medida que as correntes descendentes se intensificam, devido ao aumento gradual da precipitação, as correntes ascendentes se enfraquecem. Como resultado, toda a nuvem se torna uma grande área de correntes descendentes, caracterizando o estágio de dissipação (Figura 2.3). Durante

esta fase, ventos fortes dos níveis superiores transformam o topo da nuvem numa grande massa de Cirrus, em forma de bigorna. Esta aparência, não evidencia total dissipação da nuvem. Tempo severo pode ser encontrado em muitos cumulonimbos com grandes bigornas em seu topo (McGregor e Nieuwolt, 1997).

As tempestades são caracterizadas por relâmpagos e trovões. Elas são produzidas por uma ou mais nuvens Cb. A frequência de tempestades em um dado local depende de vários factores, entre eles a topografia, a latitude, a proximidade de massas de água e continentalidade. Para o caso de Moçambique estando situado próximo ao oceano Índico e próximo ao equador sendo por isso um país com algum teor de humidade e devido ao seu relevo existem províncias onde a ocorrência de tempestades é frequente, são os casos de Niassa, Manica, Zambézia e Nampula que tem algumas cadeias montanhosas.

2.2. Formação das nuvens

As nuvens formam-se a partir da condensação do vapor de água existente em ar húmido na atmosfera. A condensação inicia-se quando mais moléculas de vapor de água são adicionadas ao ar já saturado ou quando a sua temperatura diminui. É o arrefecimento de ar húmido que se eleva na atmosfera que dá origem à formação de nuvens. A elevação do ar é um processo chave na produção de nuvens que pode ser produzido por convecção, por convergência de ar, por elevação topográfica ou por levantamento frontal (<http://pt.wikipedia.org/wiki/Nuvem>).

A quantidade de humidade existente no ar é estabelecida pela massa de vapor de água existente por unidade de volume de ar, chamada de humidade absoluta, ou por unidade de massa de ar seco, chamada de razão de mistura, ou por unidade de ar seco existente caso o ar esteja saturado, chamada de razão de mistura de saturação ou humidade relativa expressa em percentagem. O vapor de água começa a condensar nas partículas de aerossóis quando a pressão da massa de vapor de água alcança a pressão de saturação do vapor de água e caso não existam aerossóis ou gotículas de água o ar torna-se super-saturado (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

A variação da temperatura com a altura indica o grau de instabilidade da atmosfera determinando se existe condição ou não para uma parcela de ar deslocar-se na vertical. À medida que uma parcela de ar não saturada sobe na atmosfera ocorre uma diminuição da sua temperatura, a uma taxa de

aproximadamente 10 graus por km, descrita por uma curva adiabática não saturada, apresentada na Figura 2.4.

A uma certa altura chamada nível de saturação é atingida a pressão de saturação da massa de vapor de água contida na parcela de ar, coincidente com o nível de condensação, onde se inicia a base das nuvens. A partir do nível de condensação, devido a libertação de calor latente de condensação, a temperatura da parcela de ar diminui mais lentamente com a altura, cerca de 3 graus por km, acompanhando uma curva adiabática saturada, conforme a Figura 2.4. Quando uma parcela de ar atinge a temperatura de 0°C, chamado nível de congelamento, as gotículas de água líquida congelam, no entanto devido falta de núcleos de condensação, muitas gotículas de água líquida permanecem como gotículas de água super-resfriada enquanto não atingirem a altura onde a temperatura é -40° C, transformando-se instantaneamente em partículas de gelo (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

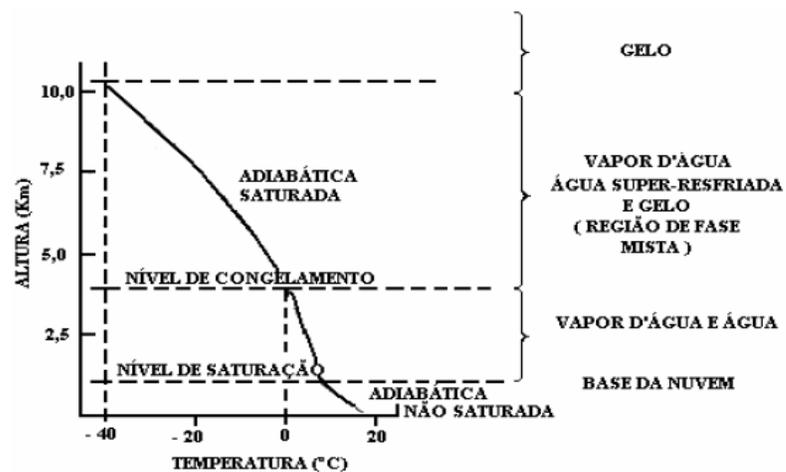


Figura 2.4. Ilustração da ascensão de uma parcela de ar na atmosfera.
(Fonte: adaptada de Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 43))

Em meteorologia as condições de estabilidade da atmosfera indicam se a situação termodinâmica é propícia ou não ao movimento ascensional. Uma atmosfera é considerada estável, se imprimindo movimento ascensional a uma parcela de ar ela tende a voltar à posição original, mantendo-se mais fria que a atmosfera. É considerada instável se o movimento ascensional ocorre independentemente da altura, sendo a temperatura da parcela superior a da atmosfera. Mas, como acontece frequentemente, pode ser considerada condicionalmente estável, quando o movimento ascensional da parcela de ar é estável até uma altura chamada nível de convecção livre e instável desse nível até uma altura chamada nível de equilíbrio, que define o topo das nuvens, conforme a Figura 2.5.

Para a parcela de ar atingir o nível de convecção livre precisa receber de uma fonte externa a energia necessária para ultrapassar a região estável, chamada energia de inibição da convecção ou CINE. Em seguida, para continuar o seu movimento ascensional precisa receber uma energia da atmosfera chamada energia potencial convectiva disponível ou CAPE, proporcional à velocidade das correntes convectivas ascendentes dentro da nuvem. Desse modo, esses dois parâmetros mostram que o grau de instabilidade da atmosfera será maior quanto menor for o valor da CINE e maior o da CAPE.

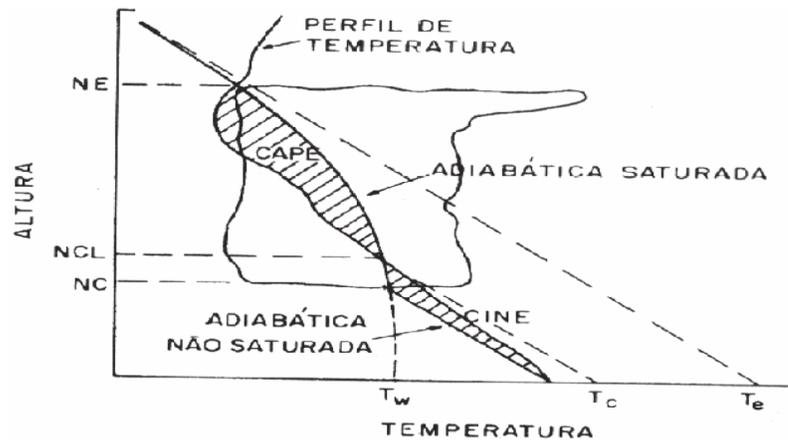


Figura 2.5. Perfil típico da temperatura na atmosfera e parâmetros relacionados a instabilidade vertical

(Fonte adaptada de Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 44))

Onde:

NE – Nível de equilíbrio; NCL – Nível de convecção livre; NC – Nível de condensação;

No entanto, existem outros parâmetros como a temperatura convectiva (T_c), a temperatura de bulbo húmido (T_w), a temperatura potencial equivalente (T_e), ainda a diferença entre a temperatura e a temperatura do ponto de orvalho na superfície, que podem ser usadas para indicar o grau de estabilidade da atmosfera. A temperatura do ponto de orvalho é a temperatura atingida por uma massa de ar, ao ser resfriada até ocorrer a saturação a pressão constante. Já a temperatura convectiva equivale a temperatura que uma parcela deveria ter na superfície, para ocorrer a convecção sob a influência de uma pequena perturbação. Por outro lado, a temperatura de bulbo húmido é definida como a mais baixa temperatura a ser atingida por uma parcela de ar, ao ser resfriada pela evaporação de água no seu interior sob acção do calor do ar e a pressão constante. Por último, a temperatura potencial equivalente é aquela que uma parcela de ar teria se fosse aquecida pelo calor latente libertado da condensação de toda a sua humidade. Essas temperaturas podem ser obtidas das curvas adiabáticas saturada e não saturada e do perfil da temperatura da atmosfera, indicado na Figura 2.5.

Assim, vários factores podem contribuir para a diminuição da CINE e o aumento do grau de instabilidade da atmosfera como o aumento da humidade, o aumento da temperatura potencial equivalente ou da temperatura de bulbo húmido, a diminuição da temperatura convectiva e a existência de montanhas. Algumas forças dinâmicas também favorecem o aumento ascensional como as frentes, as brisas marítimas, os ventos soprando em direcção a uma montanha, e a de convergência horizontal de ventos, as ilhas de calor e as frentes de rajadas associadas às tempestades (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

2.3. Estrutura eléctrica das nuvens de tempestade

As nuvens de tempestade isoladas possuem uma estrutura eléctrica devido a concentração de partículas carregadas, produzidas por processos microfísicos e macrofísicos. No início do século XX foi proposto o primeiro modelo de estrutura eléctrica das nuvens de tempestade isoladas, representado por dois centros de cargas, sendo um centro positivo de cargas ocupando a metade superior do volume da nuvem, e o outro centro negativo inferior do volume da nuvem, ilustrado na Figura 2.6. O centro positivo principal de cargas depende do desenvolvimento vertical da nuvem e situa-se geralmente a 1 km abaixo do seu topo (Magono, 1980).

Esses centros principais de cargas geralmente apresentam a mesma magnitude, que varia desde uma dezena a algumas centenas de Coulombs (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

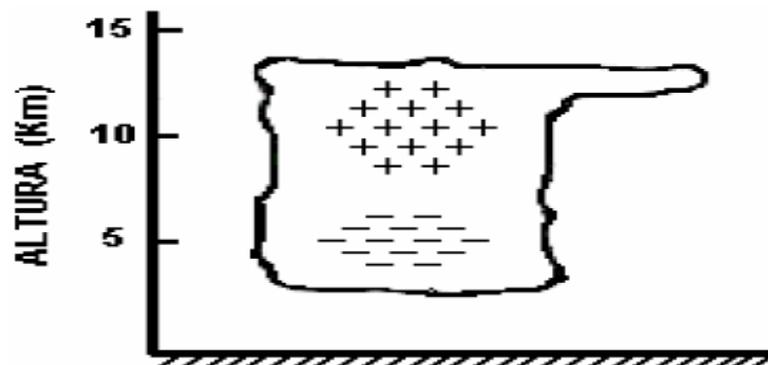


Figura 2.6. Modelo bipolar da estrutura eléctrica de uma nuvem de tempestade isolada.
(Fonte: Adaptada de Pinto Jr. e Pinto (2000, p.63))

No final de 1930 surgiu um novo modelo de estrutura eléctrica para as nuvens de tempestade isoladas, chamado modelo tripolar, representado na Figura 2.7. Esse modelo supõe a existência de três centros de cargas de magnitudes similares, distribuídos em camadas horizontais, com dois centros positivos de cargas distribuídos na parte superior e na inferior da nuvem e um centro negativo de cargas ao meio da nuvem. Independentemente da altura do topo da nuvem, o centro negativo de cargas, situa-se numa faixa de altura onde a temperatura varia em torno de 0°C a -15°C . O modelo apresenta também uma camada negativa de blindagem na base da nuvem, devido a captura de iões atmosféricos por gotículas de água ou cristais de gelo nos contornos da nuvem (Williams, 1989).

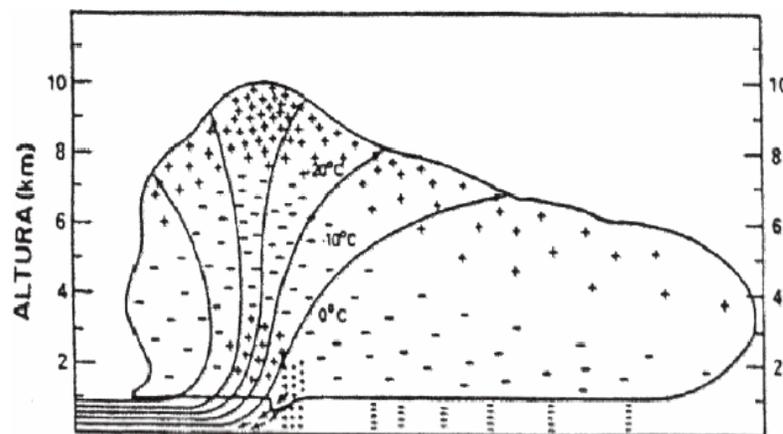


Figura 2.7. Modelo da estrutura eléctrica tripolar de nuvens de tempestade isoladas (Fonte: adaptada de Williams (1989, p. 13.153)).

As pesquisas de medidas de campo eléctrico no interior das nuvens de tempestade, utilizando balões atmosféricos, ocorridas na última década, sugerem um modelo multipolar para a estrutura eléctrica das nuvens de tempestade isoladas, ilustrado na Figura 2.8. Na região de correntes ascendentes foram identificados quatro centros de cargas, em alturas crescentes com o aumento da velocidade das correntes e na região de correntes descendentes seis centros de cargas. Acredita-se ainda, que as tempestades organizadas possam apresentar estrutura eléctrica semelhante às tempestades isoladas (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

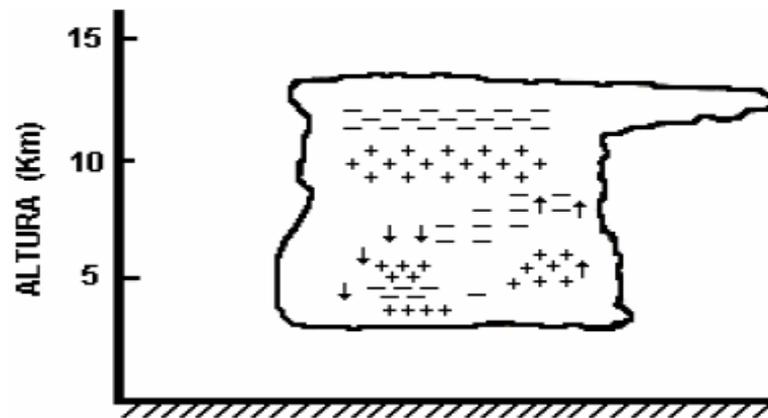


Figura 2.8. Modelo da estrutura eléctrica multipolar de nuvens de tempestade isoladas. (Fonte: adaptada de Pinto Jr. E Pinto (2000, p.67)).

Estudos feitos dentro das nuvens através de balões, observaram até 10 centros de cargas. Mas apesar disso, o modelo bipolar representa bem a estrutura eléctrica de uma nuvem de tempestade (Marshal e Rust, 1991).

2.4. Processos de electrização das nuvens de tempestade

Devido a complexidade da estrutura eléctrica das nuvens os processos de electrização das mesmas não são bem conhecidos. Acredita-se que a geração e separação de cargas dentro da nuvem de tempestade tenha origem em processos macrofísicos e microfísicos, que ocorrem simultaneamente dentro da nuvem. A teoria mais aceite para explicar a existência das cargas dentro da nuvem assume que as cargas são geradas por colisões de diferentes partículas de gelo no interior da nuvem, embora os detalhes dos processos de colisões sejam desconhecidos. Durante as colisões ocorre a transferência de cargas entre as partículas pelos processos indutivo e termoeléctrico (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

Pelo processo de indutivo, partículas grandes como granizo são polarizadas pelo campo eléctrico externo e transferem cargas positivas em excesso para as partículas menores como os cristais de gelo durante as colisões, sendo em seguida separadas por processos macrofísicos gravitacional e convectivo. Dessa forma o granizo fica negativamente carregado e o cristal de gelo positivamente carregado, como ilustrado na Figura 2.9. Através do processo gravitacional, as cargas negativas associadas ao granizo por serem mais massivas, sob a acção da gravidade, movem-se para a parte

inferior da nuvem. As cargas positivas ligam-se as partículas menos massivas como os cristais de gelo e ficam no topo da nuvem. Simultaneamente pelo processo convectivo, as correntes de ar ascendentes e descendentes dentro da nuvem transportam as partículas mantendo as menores na parte superior da nuvem. Experiências indicam que processos indutivos assumem maior importância na presença de campos eléctricos de ordem de 10 kV/m (Volland, 1984). Logo o campo eléctrico atmosférico é insuficiente para iniciar o processo de electrização dentro da nuvem, podendo actuar mais significativamente no estágio maduro, quando já existem vários centros de cargas produzidos por outros processos.

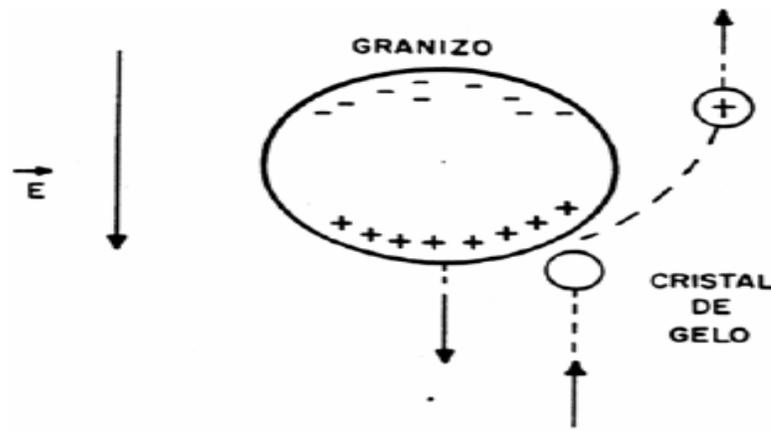


Figura 2.9. Representação do processo colisional indutivo de separação de cargas.
(Fonte: adaptada de Iribane e Cho (1980, p. 138))

Dos processos não indutivos, o mais recente é o termoeléctrico, Figura 2.10, apresentado por Williams (1988). A polaridade de carga transferida durante a colisão entre o granizo e o cristal de gelo, depende da temperatura de inversão de carga, em torno de -15°C . Se a colisão ocorrer em uma temperatura maior do que -15°C , o granizo transfere carga negativa ao cristal de gelo. Sendo a temperatura menor, haverá transferência de carga positiva.

De acordo com Williams (1989), para que ocorra uma transferência de carga significativa durante a colisão entre o granizo e o cristal de gelo é necessário que exista alta concentração de água líquida super-resfriada dentro da nuvem. A quantidade de água existente no local da colisão, altera a temperatura superficial do granizo e a temperatura de inversão da carga.

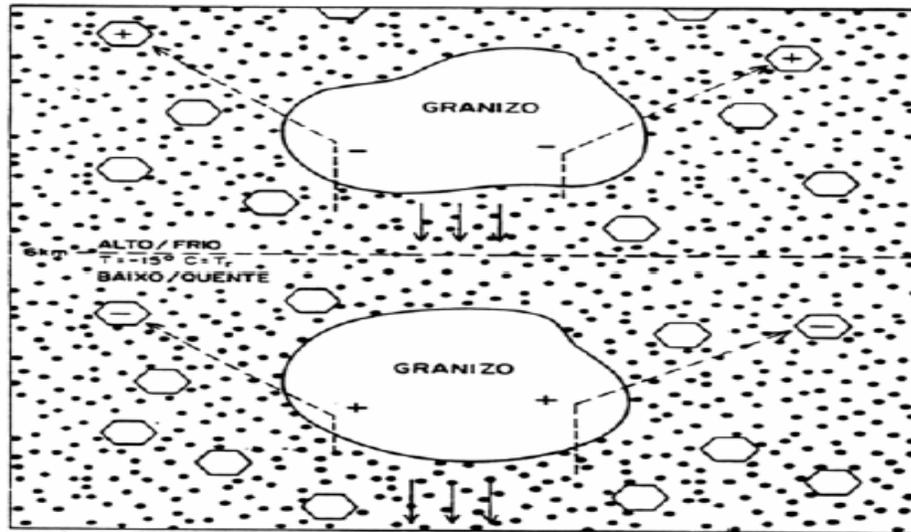


Figura 2.10. Representação do processo termoelectrico de separação de cargas.
(Fonte: adaptada de Williams (1988, p. 25))

Resultados de modelos de física das nuvens, medidas de campo e em laboratório indicam que a electrificação se baseia em colisões entre pedras leves de granizo e cristais de gelo. Para a maioria das nuvens de tempestade, assume-se, com boa aproximação, um centro de carga como uma única carga pontual (Naccarato K. P., 2005) e (Ogawa, T, 1995.). Desta forma, o campo eléctrico $E(t)(V/m)$ na superfície fica:

$$E(t) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^3 \frac{2Q_i(t)Z_i(t)}{\{X_i(t)^2 + Y_i(t)^2 + Z_i(t)^2\}^{3/2}} \quad (2.1)$$

Onde ϵ_0 = permissividade eléctrica do vácuo (C^2/Nm^2);

$X_i(t), Y_i(t), Z_i(t)$ = coordenadas cartesianas dos centros de carga $Q_i(t)$ (C).

2.5. Tipos de relâmpagos

A realidade histórica diz que o relâmpago foi sempre associado a deuses, registos mitológicos de a 700 anos a.C., apresentam os *Zeus* como o deus do relâmpago. E na mitologia chinesa *Tien Mu* respondia pela trovoadra *Lien Tsu* pelo deus do trovão. No entanto, podemos encontrar na óptica dos investigadores dois tipos de relâmpagos:

- *Relâmpago natural*
- *Relâmpago artificial*

2.5.1. Relâmpago natural

Segundo Macamo (2007), relâmpago natural é aquele que corre sob as condições naturais, na sua composição e percurso,. Ele resulta das nuvens de tempestade.

Dentro das tempestades, diferentes partículas de gelo, tornam-se carregadas através de colisões. Acredita-se que as pequenas partículas tendem a adquirir cargas negativas. Sobre a influência de correntes de ar ascendentes e descendentes e da gravidade, as partículas tendem a separar-se de tal modo que, a parte superior adquira a carga positiva e a parte inferior a carga negativa. Esta separação de cargas produz então um campo eléctrico tanto dentro como entre a nuvem e o solo.

Este tipo de relâmpago de um modo geral divide-se em relâmpagos na nuvem e relâmpagos no solo. Em nuvens de tempestade, segundo Gin (1997), estes relâmpagos podem classificar-se em: relâmpago nuvem-solo, solo-nuvem, intra-nuvem, entre nuvem e a ionosfera e entre a nuvem e o ar, sendo que, os relâmpagos mais frequentes são os de nuvem-solo e dentro de nuvem, este último ocorre com maior frequência. Os relâmpagos podem ser classificados também segundo a polaridade das descargas. Algumas apresentam polaridades positivas outras negativas ou podendo apresentar também duas cargas. Os relâmpagos positivos apresentam na sua maioria apenas uma descarga. Este tipo de relâmpago tem recebido uma atenção especial dos pesquisadores na actualidade, pois acredita-se serem os relâmpagos mais destrutivos e os responsáveis por início de incêndios em florestas (Freedman, 1990; Gin,1997). Os relâmpagos da nuvem para o solo são mais estudados devido ao seu carácter destrutivo (Fernandes e tal.,1998).

De todos os tipos de relâmpagos, os intra-nuvem são os mais frequentes, em parte devido ao facto de a capacidade isolante do ar diminuir com a altura em função da diminuição da densidade do ar, em parte devido às regiões de cargas opostas dentro da nuvem estarem mais próximas que no caso dos outros relâmpagos. Globalmente, elas representam cerca de 70% do número total dos relâmpagos. Este percentual varia com a latitude geográfica, sendo em torno de 80-90% em regiões próximas ao equador geográfico e em torno de 50-60% em regiões de médias latitudes.

2.5.1.1. Relâmpagos na nuvem

Geralmente originam-se dentro das nuvens Cbs, normalmente na região onde as gotículas de água transformando-se em gelo e propagam-se dentro da nuvem (relâmpago intra-nuvem) ou fora da

nuvem, rumo a outra nuvem (relâmpago nuvem-nuvem) ou numa direcção qualquer no ar (descargas para o ar).

2.5.1.2. Relâmpagos no solo

Podem originar-se na mesma ou em outras regiões dentro de uma nuvem Cb (relâmpago nuvem-solo) ou no solo, abaixo ou perto da tempestade (relâmpago solo-nuvem). Quase ou sempre o tipo de relâmpago que ocorre é relâmpago nuvem-solo (99%). Cerca de 90% dos relâmpagos nuvem-solo que ocorrem em nosso planeta são negativos. Esta percentagem, entretanto, pode mudar substancialmente em determinadas tempestades. E cerca de 70% do total de relâmpagos são relâmpagos na nuvem. Embora sejam a maioria dos relâmpagos, são menos conhecidos que os relâmpagos no solo, porque eles são menos perigosos e são escondidos pela nuvem. Os relâmpagos solo-nuvem são relativamente raros e, geralmente ocorrem no topo de montanhas ou estruturas altas. A Figura 2.10 mostra um esquema simplificado dos tipos de relâmpagos que atingem o solo.

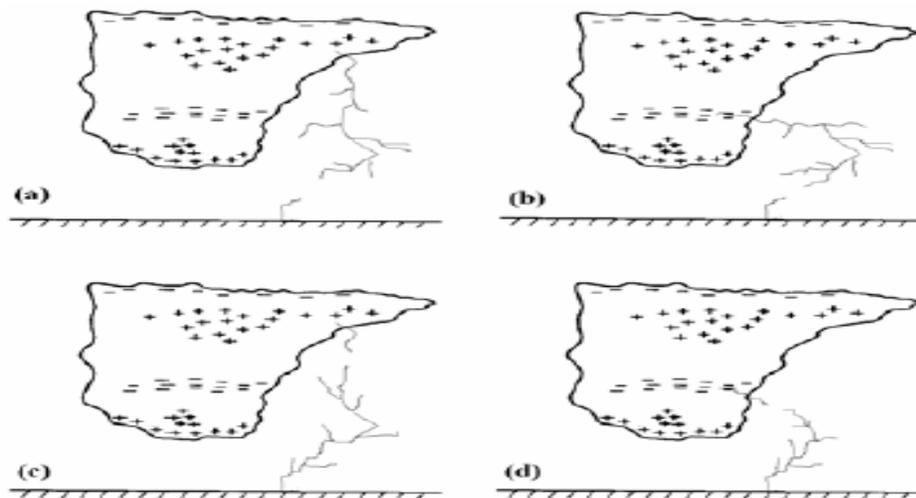


Figura 2.11. Desenho esquemático dos tipos de relâmpagos que atingem o solo

(Fonte: Naccarato, 2001)

Onde: (a) nuvem-solo positivo; (b) nuvem-solo negativo; (c) solo-nuvem positivo; (d) solo-nuvem negativo

Os relâmpagos no solo podem também ser classificadas em termos de sinal de carga líder, negativa ou positiva, que inicia a descarga.

Uma forma rara de relâmpagos não incluída nas categorias acima são os *relâmpagos de bola*. Quase nada se sabe sobre o desenvolvimento destes relâmpagos raros, ou relâmpagos relacionados a vulcões, tempestades de neve ou poeira. Este nome foi dado a uma esfera luminosa que geralmente ocorre perto das tempestades, mas não necessariamente simultaneamente a um relâmpago normal. Elas são, em geral, vermelhas, amarelas, azuis, laranjas ou brancas, tem um dielétrico de 10 a 40 cm, aparecem próximo ao solo ou na atmosfera, e mantêm um brilho relativamente constante durante sua vida. Elas podem mover-se rápida ou lentamente, ou ficar paradas, podem ser silenciosas ou produzir estalos, duram de segundos a minutos (média de 4 segundos) e desaparecem lenta ou subitamente em silêncio ou produzindo um ruído. Embora elas tenham sido observadas por mais de um século, não são bem conhecidas e permanecem como mistério.

Um relâmpago pode ser constituído por uma ou várias descargas de retorno. No primeiro caso ele é chamado relâmpago simples e no segundo, de relâmpago múltiplo. Cada descarga de retorno dura algumas centenas de micro-segundos e, em relâmpagos múltiplos, o intervalo de tempo entre descargas de retorno consecutivas é tipicamente 40 mili-segundos. Quando o intervalo de separação entre as descargas de retorno é próximo de 100 mili-segundos, o relâmpago é visto piscar no céu, porque o olho humano consegue identificá-las individualmente. A Figura 2.11 ilustra os vários processos contidos em um relâmpago nuvem-solo negativo (com indicação dos típicos intervalos de tempo), acompanhadas por uma detalhada descrição destes processos. Outros tipos de relâmpagos no solo têm etapas similares, com pequenas diferenças, principalmente no que se refere ao processo inicial. Relâmpagos na nuvem, entretanto, apresentam um desenvolvimento diferente e que ainda não é muito bem conhecido. Quase nada se sabe sobre o desenvolvimento de relâmpagos raros, como relâmpagos de bola ou relâmpagos relacionados a vulcões, tempestades de neve ou poeira.

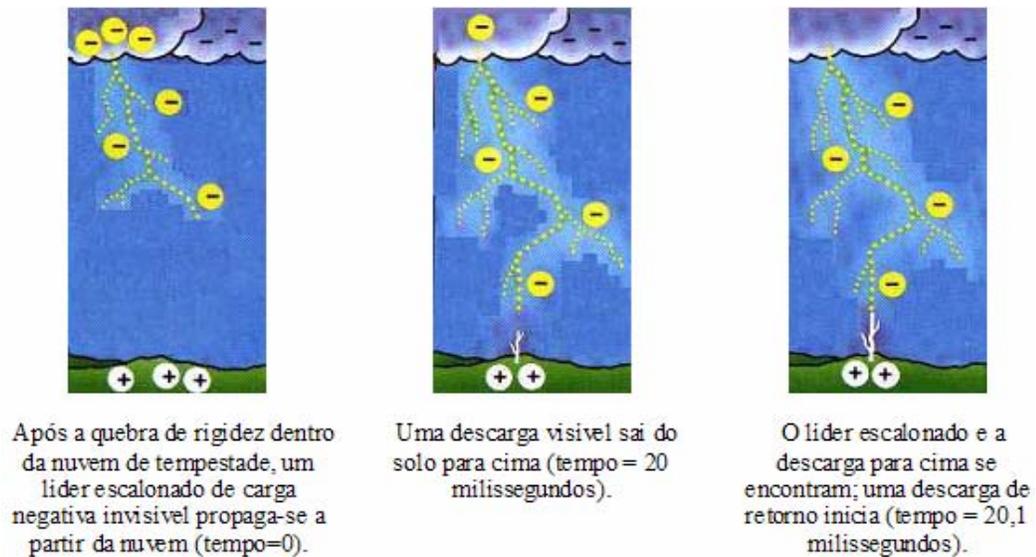


Figura 2.12. Processos contidos em um relâmpago nuvem-solo negativo

(Fonte: <http://www.cea.inpe.br/webdge/elat>)

Um relâmpago nuvem-solo negativo inicia-se através da *quebra de rigidez do ar* dentro da nuvem Cb. O processo de quebra de rigidez tem uma duração média de 100 mili-segundos e é, normalmente, localizado perto da região de cargas negativas da nuvem. Este processo estabelece as condições para que as cargas negativas sejam levadas rumo ao solo pelo *líder escalonado* (<http://www.cea.inpe.br/webdge/elat>).

O líder escalonado propaga-se em etapas discretas com velocidade média de 10^5 m/s, criando assim um canal ionizado (Gin, 1997). O líder escalonado tende a se ramificar, mas nem todos os ramos se estendem até o solo. O aspecto tortuoso dos ramos é devido a descarga procurar mais rápido e favorável para a formação do canal. Segundo Feynman et al (1964), os ramos possuem um extensão em torno de 50 m e são separados em etapas com intervalos de 50 micro-segundos.

Quando o líder escalonado se aproxima a algumas dezenas de metros do solo, o potencial no canal em direção ao solo é da ordem de de 100 milhões de Volts, fazendo com que uma descarga saia do solo em direção a ele, pois o campo eléctrico criado é muito forte. Esta descarga denomina-se *descarga conectante* (Fernandes et al, 1998).

A descarga conectante inicia-se geralmente a partir de objectos pontiagudos, como árvores, edifícios, pessoas e 30% dos casos, etc. Quando a descarga conectante encontra com o líder escalonado, começa a fluir no canal uma intensa corrente denominada *descarga de retorno*. A descarga do líder escalonado dura aproximadamente 20 mili-segundos e a luminosidade é observada somente durante os últimos micro-segundos (Iribane e Cho, 1980; Gin, 1997).

Geralmente ocorrem cerca de 1 a 3 descargas de retorno por relâmpago, com velocidade de aproximadamente 10^8 m/s. Há casos em que se obteve mais de 20 descargas. De retorno em um único relâmpago (Volland, 1982; Gin, 1997). Quando um relâmpago apresenta sucessivas descargas de retorno, estas porém são chamadas de *múltiplas descargas*. As múltiplas descargas ocorrem quando a transferência de cargas entre o solo e a nuvem é incompleto, tendo como resultado uma nova descarga com denominação de *líder continuo*. Segundo Gin (1997), após aproximadamente 40 mili-segundos da primeira descarga de retorno, inicia-se o líder continuo propagando-se da nuvem para o solo.

2.5.2. Relâmpago causado pelo homem

É aquele que é produzido pelos Ngedlas (designados como médicos tradicionais), para destruir e atacar o seu opositor na arena supersticiosa. No historial de algumas comunidades Moçambicanas (por exemplo Catembe), os investigadores (Alberto Macamo e Luís João) constataram que este tipo de relâmpago é uma realidade não demonstrativa porque para ele ocorrer precisa de um alvo vivo. Supostamente este relâmpago resulta da mistura de raízes e pele de lagartos, derivados com o uso de espelhos para a produção da faísca. Este tipo de relâmpago é acompanhado com a emigração da cobra espiritual denominada popularmente por *Nwamulambo* (Macamo, 2007).

2.6. Cuidados em dias de tempestades/ relâmpagos

Não existe uma protecção 100% segura, o que se faz apenas é diminuir os riscos de danos aos equipamentos e instalações, através de dispositivos de protecção.

De uma maneira geral as descargas fazem-se pelo caminho mais curto entre o ponto de carga eléctrica negativa na base da nuvem e o ponto de carga positiva no solo. Assim, os pontos mais altos e de melhor condutividade são os mais afectados pelos raios. Mesmo que uma descarga não incida directamente sobre uma pessoa, ela pode afectá-la através de correntes propagando-se no solo ou em estruturas condutoras. Chama-se de tensão de toque um choque devido a pessoa encostar em um elemento condutor, no qual esteja conduzindo uma corrente devido ao raio. A tensão de passo é a corrente que se propaga no solo, atravessando as pernas do indivíduo. Usualmente, quanto maior o afastamento dos pés, maior será a diferença de potencial.

Algumas regras podem ser seguidas para minimizar os riscos, tais como:

1) *Se estiver fora de casa:*

- a) Evite ser o ponto mais alto da sua zona;
- b) Evite campos abertos;
- c) Não se aproxime dos pontos mais altos;
- d) Afaste-se de bons condutores de electricidade: postes, antenas, etc.
- e) Em uma situação crítica, abaixar-se, mas sem sentar no solo, mantendo-se encolhido e com os pés juntos.

2) *Se estiver em casa (a melhor escolha):*

- a) Afaste-se de bons condutores de electricidade: canalizações, telefone, etc.;
- b) Não tome banho (Lembre-se que apesar da água pura (H₂O) ser um péssimo condutor de electricidade, a água com que lidamos todos os dias contém sais dissolvidos que a tornam condutora de electricidade. É por este facto, por exemplo, que não se recomenda operar equipamentos eléctricos com as mãos molhadas);
- c) Evite usar electrodomésticos;
- d) Desligue o telefone (se a trovoadas for intensa desligue a energia no quadro geral);
- e) Desligue pontos de antenas convencionais ou parabólicas;
- f) Proteja-se no centro de uma divisão no centro da casa. Os raios atingem frequentemente as chaminés.

- 3) Se vive numa zona onde as tempestades são frequentes contrate a instalação de um pára-raios por um técnico especializado.

Nota: É possível estimar a distância de incidência de um relâmpago, usando o método “*flash-to flash*” ou “relâmpago-trovão”. Contando os segundos entre o clarão do raio e o trovão que e multiplicando por 300 tem-se a distância em metros do local onde ocorreu a descarga. Assim se vermos um clarão e contarmos até oito, por exemplo, significa que o raio caiu à 2400 metros do local onde nos encontramos.

2.7. Primeiros socorros

Uma pessoa atingida por um relâmpago não significa que transporte qualquer carga eléctrica. Quando um grupo é atingido devem-se socorrer primeiro aqueles que aparentemente perderam a vida; os indivíduos inconscientes, mas a respirar, provavelmente sobreviverão. A acção de socorro a aqueles que não respiram deve ser feita até 4-6 minutos. Deve ser feita respiração boca-a-boca uma vez em cada 5 segundos nos adultos e em cada 3 segundos nas crianças.

As comunidades do distrito de Manica (Munene, Chikweia, Chitewe, Chadzuka, Penhalonga) recomendam passar farinha nas mãos e puxar a língua da vítima e depois dar-lhe papas leves de modo que possa tirar o ácido inalado e aumentar energias do paciente. (informação colhida junto aos líderes comunitários em Manica por Alberto Macamo e Luís João em 15/07/07 – esta informação ainda não foi oficialmente tornada pública).

2.8. Influência do relâmpago sobre o meio ambiente

Os relâmpagos tem um largo efeito sobre o meio ambiente, eles provavelmente estavam presente durante o surgimento da vida na Terra e podem mesmo ter participado na geração das moléculas as quais deram origem a vida, eles provocam incêndios participando, com isto, na composição de equilíbrio das árvores e plantas. Relâmpagos modificam as características da atmosfera ao redor das regiões onde ocorrem, quebram as moléculas do ar, as quais ao se recombinarem produzem novos elementos que modificam o equilíbrio da atmosfera, afectando a concentração de elementos como o ozono, estes se misturam com a chuva e precipitam-se como fertilizantes naturais. Relâmpagos exercem um papel em manter o campo eléctrico de tempo bom na atmosfera, o qual é uma consequência da carga negativa líquida na atmosfera e também exercem um papel significativo na

manutenção de equilíbrio entre ondas e partículas na ionosfera e magnetosfera, actuando como uma fonte de ondas.

Mesmo antes de um raio cair já existe perigo, pois as nuvens estão carregadas de electricidade e, se por baixo da nuvem tivermos, por exemplo, uma cerca muito comprida, os fios da cerca também ficarão carregados com electricidade, se uma pessoa ou animal tocar na cerca irá tomar um choque eléctrico, que em alguns casos poderá ser fatal (<http://www.sorocaba.unesp.br/>).

2.9. Condições meteorológicas em Moçambique

Segundo (Ferreira, 1965) as condições meteorológicas predominantes em Moçambique, cujo território tem grande desenvolvimento em latitude, são provocadas pelos seguintes factores: o vale depressionário equatorial, a frente intertropical FITS, a depressão de origem térmica sobre a África meridional e os anticiclones subtropicais do hemisfério sul.

Podem ser distinguidas três zonas em todo o território:

- Norte e Centro: Tropical húmido, tipo monçónico, com uma estação seca de quatro a seis meses.
- Sul: Tropical seco, com uma estação seca de seis a nove meses.

A estação das chuvas ocorre entre Outubro e Abril. A precipitação média nas montanhas ultrapassa os 2000 mm. A humidade relativa é elevada situando-se entre 70 a 80%, embora os valores diários cheguem a oscilar entre 10 e 90%. As temperaturas médias variam entre 20°C no Sul e 26°C no Norte, sendo os valores mais elevados durante a época das chuvas (<http://pt.wikipedia.org/wiki/Mo%C3%A7ambique>).

As condições morfológicas de escala sinóptica induzem ao norte, um clima quente e húmido, condições favoráveis à formação de nuvens convectivas, que contribuem para que a actividade de relâmpagos seja maior no Norte onde o clima é quente e húmido comparativamente ao Sul onde o clima é quente e seco.

Em conjunto com as condições meteorológicas e climáticas, a altitude exerce influência na quantidade de nuvens, agindo como uma forçante dinâmica para a convecção local. Olhando para a morfologia de Moçambique, pode-se ver que caminhando do litoral para o interior o relevo vai

passando sucessivamente de estrutura mais baixa para a mais alta: planície, planalto e montanhas. Assim as maiores cadeias montanhosas do país se encontram nas províncias de Niassa, Zambézia e Manica, onde se encontra o clima tropical de altitude (da Barca e dos Santos, 2004)

Os principais tipos de tempo em Moçambique, associados à posição daqueles factores, são os seguintes:

Frente polar fria. A frente polar fria, que pode afectar toda a costa de Moçambique, tem origem no cavamento e consequente intensificação da circulação do vale depressionário que separa os anticlones quase-estacionários do Atlântico e do Índico. Esta frente “varre” a costa oriental de África, seguindo-se-lhe normalmente na estação fresca duas outras frentes frias secundárias. A primeira frente fria é a que atinge as latitudes mais baixas. Estas frentes costumam designar-se respectivamente por frente temperada, sub Antártica e Antártica. A frente antártica raramente atinge o paralelo 24° S. Pela acção do relevo e do atrito, a frente temperada e a frente sub Antártica deslocam-se mais lentamente sobre o continente, retardando-se em relação à parte da frente que se move sobre o oceano. Por isso, as duas partes da frente separam-se frequentemente; pode acontecer que a frente se mantenha no interior do país enquanto que a parte que caminha sobre o mar já não afecta a costa de Moçambique: é o que por vezes se observa a sul do Save.

Frente polar quente. As frentes quentes associadas às depressões frontais que se formam a sueste do Cabo da Boa Esperança deslocam-se em regra para sueste e não atingem Maputo. Contudo aparece, ainda que raramente, um tipo de frente quente, de características mal definidas, associada a uma depressão que nas épocas de transição atravessa o continente na direcção Oeste-Leste. Normalmente, com esta situação observam-se trovoadas fortes, de pequena duração, na região de Maputo.

Frente estacionária. Por vezes as superfícies frontais são estacionárias. É o que sucede com a superfície frontal que separa as massas de ar transportadas nas circulações do anticiclone do Índico e do anticiclone continental. O mesmo se verifica com a superfície frontal que separa a massa de ar Pm modificado transportada na circulação da célula anticiclónica que se destaca do anticiclone do Atlântico e se desloca para nordeste, da massa de ar Tm transportada na circulação do anticiclone do Índico. A primeira superfície frontal afecta apenas a região a sul de

24° S; tem uma acção muito reduzida, a não ser quando nela se produzem ondulações motivadas pela aproximação de perturbações (depressões costeiras) vindas do sul, que são acompanhadas de trovoadas fortes; normalmente dissipa-se na parte sul do canal de Moçambique. Este caso, pouco frequente, observa-se na época de transição entre a estação fresca e a estação quente (Outubro). A segunda superfície frontal vai-se dissipando à medida que se acentuam as modificações da massa de ar vinda do sul até que adquire as características da massa de ar Tm. Esta superfície frontal raramente ultrapassa Inhambane e é acompanhada de forte nebulosidade e de precipitação abundante, geralmente com a forma de chuva contínua, moderada a forte.

Os ciclones tropicais originados no oceano Índico deslocam-se com velocidade da ordem de 10 nós numa trajectória quase parabólica inflectindo para sul. Os ciclones tropicais que se formam no canal de Moçambique são menos intensos e atravessam em regra a ilha de Madagascar. Os ciclones tropicais podem ter grande desenvolvimento vertical e atingir o nível de 200 hpa. Com a aproximação de um ciclone tropical as nuvens, inicialmente cirroformes, passam a nuvens médias e baixas, muito espessas, e Cbs de grande extensão vertical. Durante a precipitação a altura da base das nuvens é cerca de 300 a 400 m e a visibilidade é geralmente superior a 50 nós, com rajadas que atingem 100 e 150 nós. As trovoadas são raras e ocorrem só na periferia da perturbação. Ao atingirem o continente, a actividade dos ciclones tropicais atenua-se; o vento enfraquece, a precipitação diminui ou cessa e as nuvens passam a ser predominantemente estratiformes, com bases entre 200 m e 300 m (Ferreira, 1965).

Capítulo III: Metodologia

Neste capítulo, apresenta-se a metodologia usada para a obtenção dos dados e dos resultados da pesquisa.

Para descrever o relâmpago fez-se sistematização da informação sobre relâmpago recolhida em livros, revistas científicas e Internet. Posteriormente fez-se a recolha de dados de ocorrência de relâmpagos no Instituto Nacional de Meteorologia (INAM), estes dados são resultados de observações feitas nas estações meteorológicas de superfície de hora em hora e foram usados também dados colhidos pelo satélite colhidos através do sensor *Lightning Imaging Sensor* (LIS) da NASA, porque os dados fornecidos pelo INAM são simplesmente das estações das capitais províncias, não fazendo uma cobertura total da província. Entretanto uma vez que o satélite faz uma maior cobertura foi usado adicionalmente para se ter mais informação sobre a ocorrência do fenómeno a nível do país.

Com estes dados fez-se análise estatística de ocorrência de relâmpagos que culminou com a elaboração de tabelas e gráficos horários, mensais e anuais, a fim de estimar a época do ano e o horário mais propício de ocorrência de relâmpagos em Moçambique.

Importa referir que tanto os dados fornecidos pelo INAM como os dados do satélite são dados referentes aos anos 2006 e 2007.

O LIS é um sensor de raio que mede pulsos de luminosidade da descarga eléctrica, que ocorrem na região tropical, o sensor está a bordo do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM). Este satélite foi lançado no dia 28 de Novembro de 1997, a partir do Centro Espacial *Tanegashima* no Japão. O sensor de raio consiste em uma câmara rápida capaz de localizar e registar o raio, com resolução de tempestade-balança (4 a 7 km) em cima de uma região grande (360 000 km²) da superfície da Terra. O TRMM satélite viaja uma distância de 7 quilómetros todos os segundos (quase 16 000 milhas por hora) orbitando a terra, permitindo assim ao LIS observar um ponto na Terra ou uma nuvem durante quase 90 segundos que passa por cima. O instrumento regista o tempo de ocorrência, mede a energia brilhante, e determina o local de eventos de relâmpago dentro do seu campo-de-visão. Pode-se ver um exemplo de imagem fornecida pelo sensor (anexo 2).

Quanto ao registo do relâmpago nas estações sinópticas importa referir que o observador necessita ver o relâmpago ou ouvir o trovão, portanto é um sistema que pode falhar caso o observador esteja distraído ou pela ausência do observador na estação naquele momento.

Capítulo IV: Análise e discussão dos resultados

Com base na metodologia descrita no capítulo 3 foram colhidos e tabelados a quantidade total dos relâmpagos para as 10 províncias de Moçambique. A seguir são apresenta-se e discuti-se os resultados do estudo.

A distribuição de relâmpagos em Moçambique pode ser melhor compreendida observando-se as figuras abaixo, que representam a distribuições sazonais de relâmpagos em Moçambique observados em estações sinópticas e satélites respectivamente:

4.1. Análise de relâmpagos observados em estações sinópticas

A Figura 4.1 representa a distribuição sazonal de relâmpagos observados em estações sinópticas no ano 2006. Pode-se verificar que os meses de Dezembro (92), Janeiro (125), Fevereiro (110) e Março (120) foram os de maior ocorrência de relâmpagos em Moçambique.

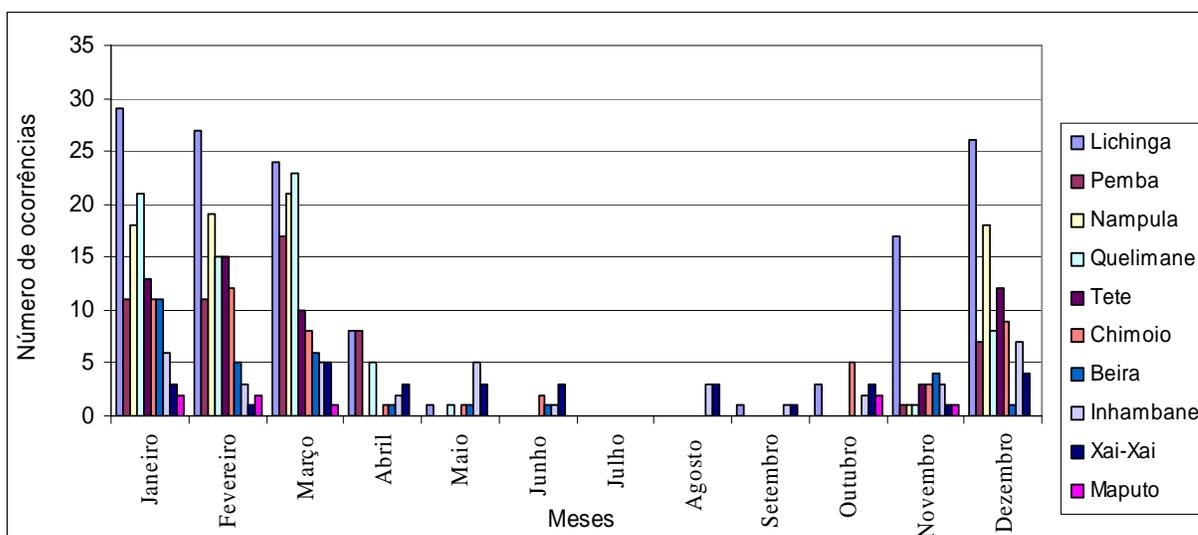


Figura 4.1. Ocorrência mensal de relâmpagos observados em estações sinópticas referente à 2006

A Figura 4.2 representa a ocorrência total de relâmpagos observadas em estações sinópticas no ano 2006. Verifica-se que para este ano, as cidades com maior registo anual de relâmpagos foram Lichinga (136), Nampula (77) e Quelimane (74). Em 2006 nas estações sinópticas foram observados 553 relâmpagos em Moçambique.

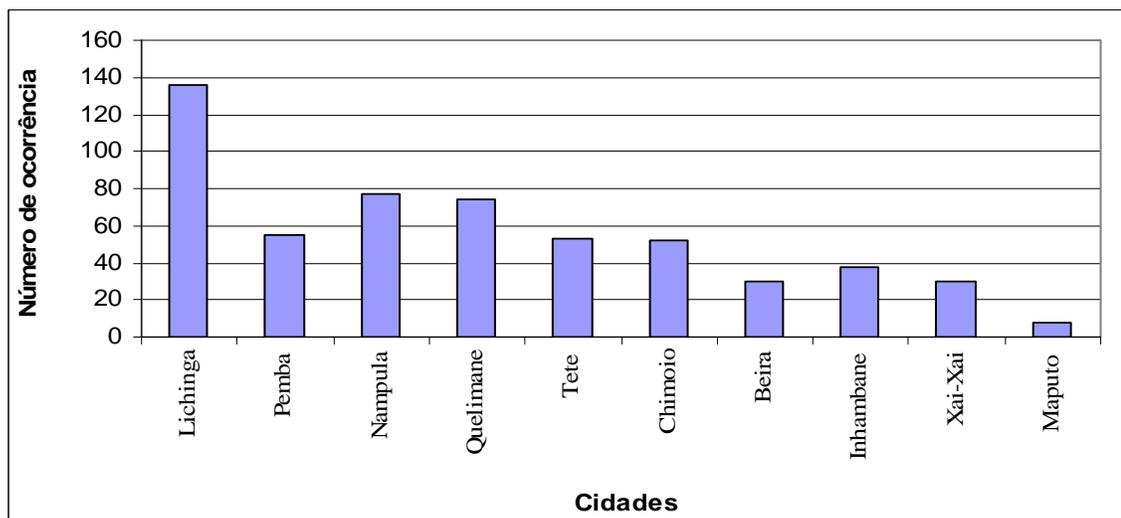


Figura 4.2. Ocorrência anual de relâmpagos observados em estações sinópticas referentes a 2006

A Figura 4.3 representa a distribuição sazonal de relâmpagos observados em estações sinópticas no ano 2007. Pode-se verificar que Janeiro (101), Fevereiro (85) e Março (68) foram os meses de maior ocorrência de relâmpagos em Moçambique.

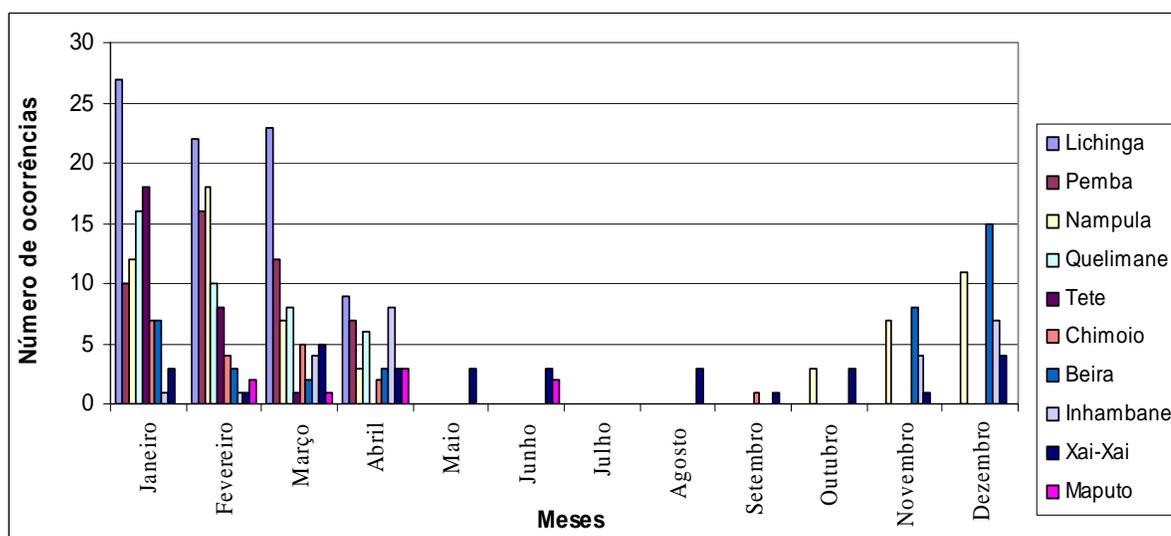


Figura 4.3. Ocorrência mensal de relâmpagos observados em estações sinópticas referentes à 2007

A Figura 4.4 representa a ocorrência total de relâmpagos observados em estações sinópticas no ano 2007. Pode-se verificar que as cidades com maior registo de relâmpagos foram Lichinga (81), Nampula (61) e Pemba (45). Em 2007 nas estações sinópticas foram observados 374 relâmpagos em Moçambique.

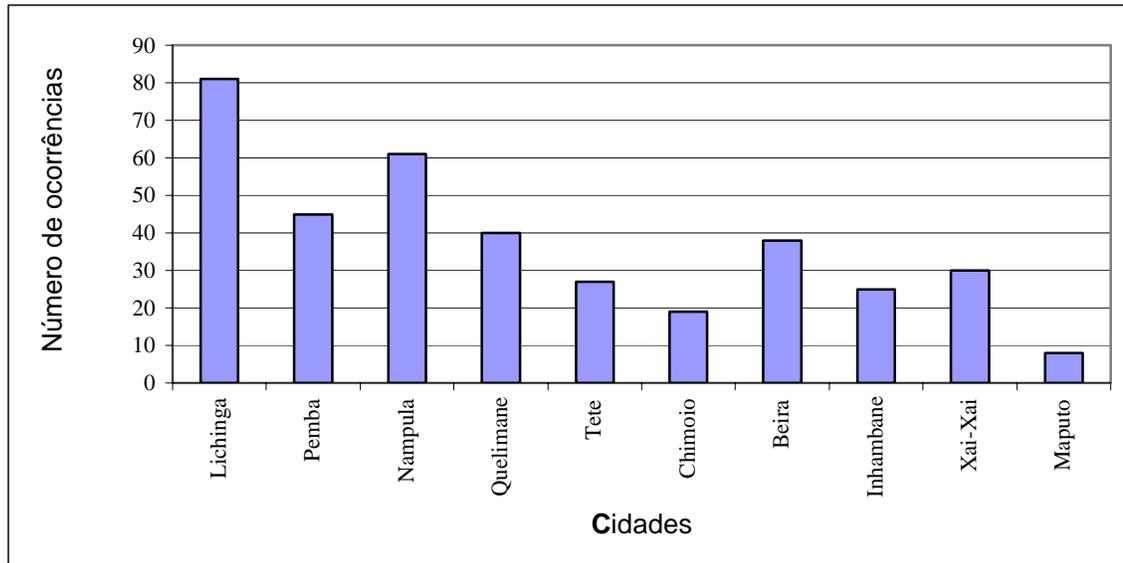


Figura 4.4. Ocorrência anual de relâmpagos observados em estações sinópticas referentes à 2007

A Figura 4.5 representa a média de ocorrência horária de relâmpagos dos anos 2006 e 2007. Pode-se verificar que o horário de maior ocorrência de relâmpagos está entre 15 e 19 horas locais, tendo o seu pico no período das 17 horas. Isto acontece neste período porque para que as nuvens de tempestade se formem, deve existir bastante movimento vertical, instabilidade vertical e humidade, de modo a produzir uma nuvem que alcance altitudes com temperatura abaixo do nível de congelamento. E estas condições são mais frequentemente encontradas no Verão e durante à tarde e início da noite.

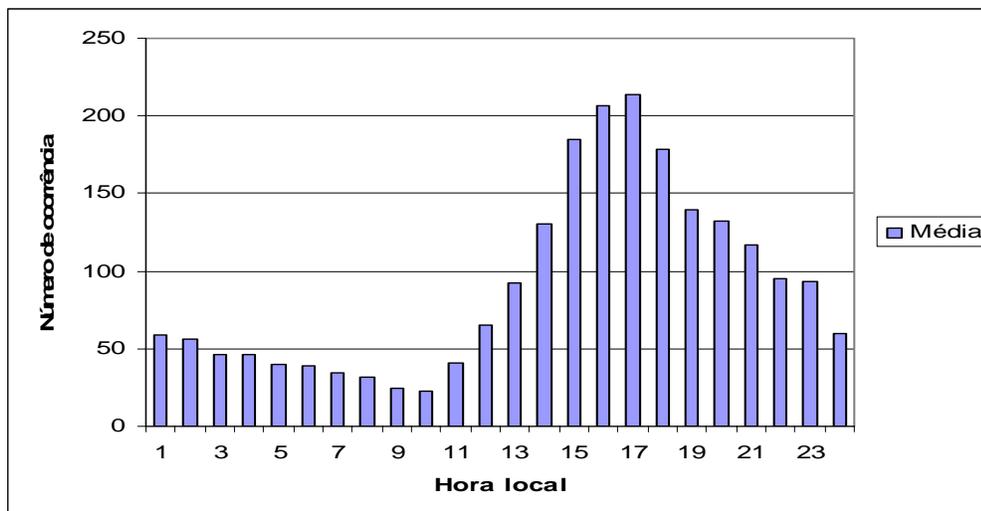


Figura 4.5. Ocorrência horária de relâmpagos observados em estações sinópticas em 2006 e 2007

4.2. Análise de relâmpagos colhidos pelo satélite

A Figura 4.6 representa a distribuição sazonal de relâmpagos resultante das observações do satélite no ano 2006. Pode-se verificar que os meses com maior registo de relâmpagos em Moçambique foram Dezembro (1129), Janeiro (1815) e Fevereiro (1015).

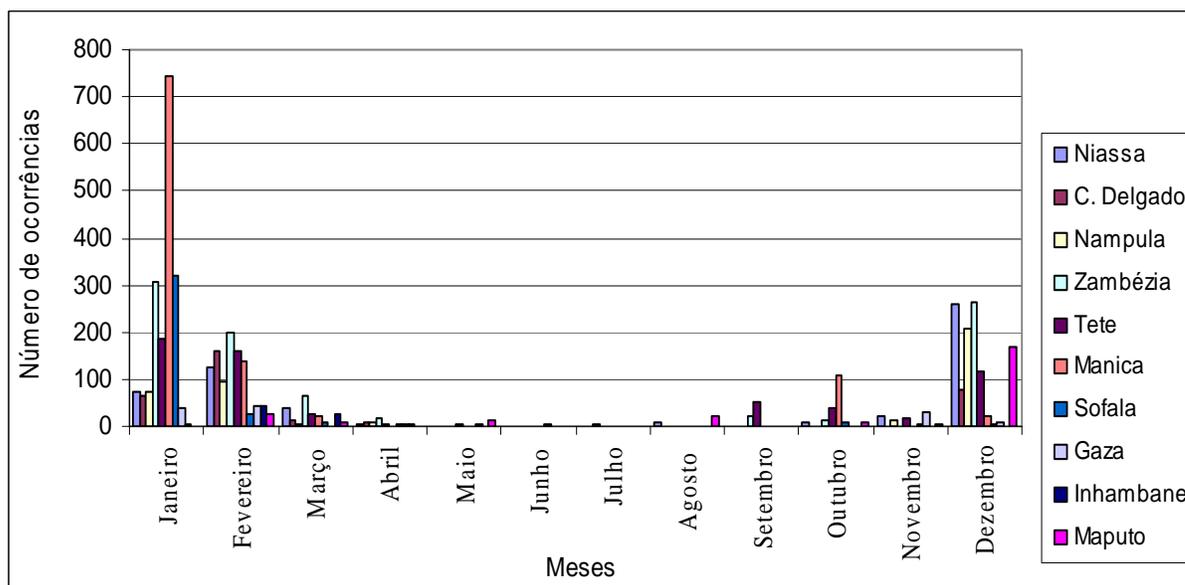


Figura 4.6. Ocorrência mensal de relâmpagos referentes à 2006

A Figura 4.7 representa a ocorrência anual de relâmpagos, resultantes das observações do satélite no ano 2006. Pode-se verificar que as províncias com maior registo de relâmpagos em Moçambique foram Manica (1039), Zambézia (922), Tete (548) e Niassa (540). Em 2006 o satélite observou cerca de 4631 relâmpagos em Moçambique

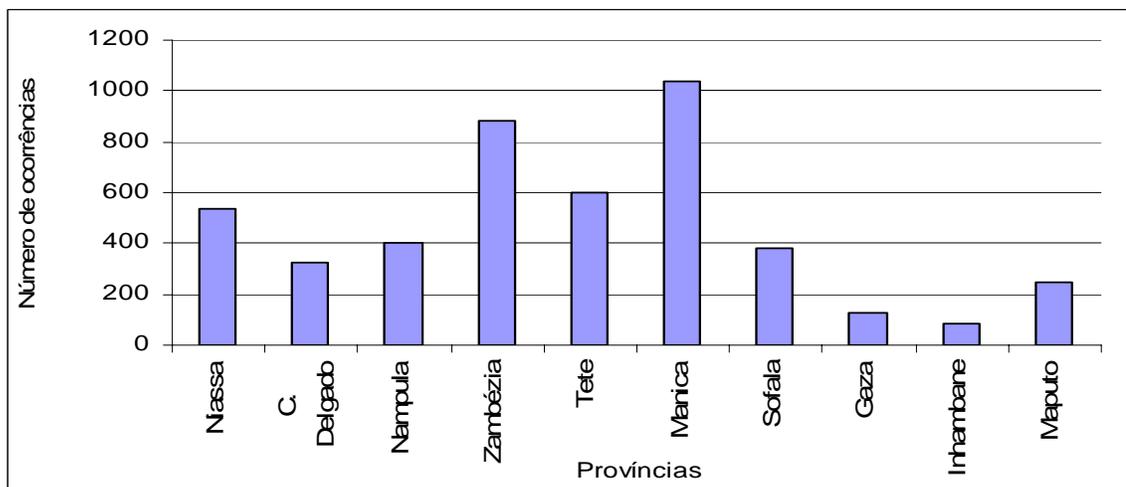


Figura 4. 7. Ocorrência anual de relâmpagos colhidos pelo satélite referentes à 2006

A Figura 4.8 representa a distribuição sazonal de relâmpagos, resultantes das observações do satélite no ano 2006, onde se pode verificar que os meses de Dezembro (2367), Janeiro (742) e Fevereiro (568) foram os de maior ocorrência de relâmpagos em Moçambique.

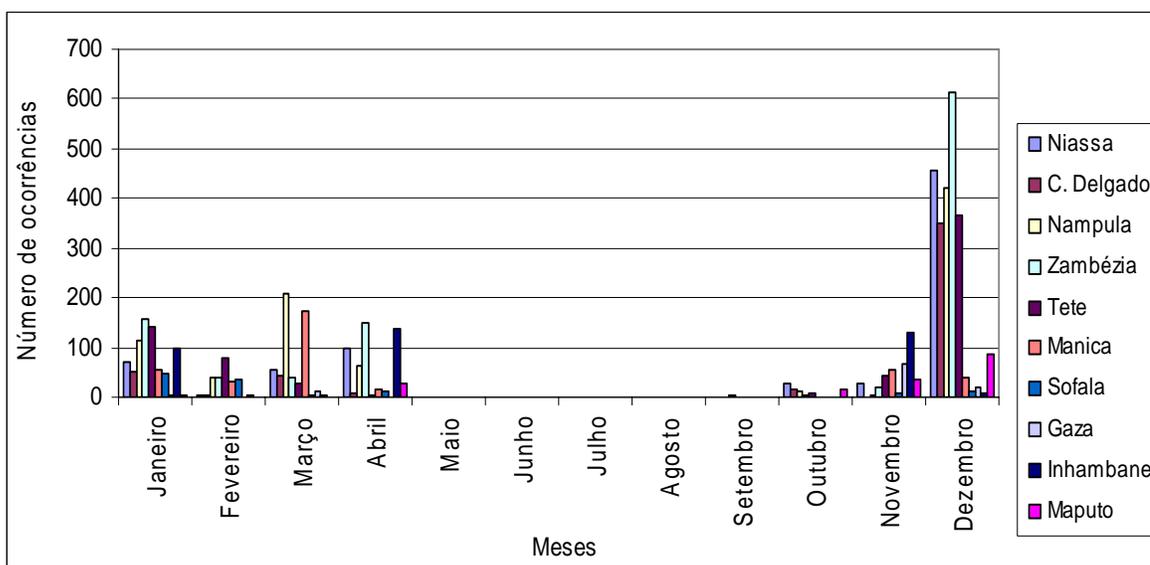


Figura 4. 8. Ocorrência mensal de relâmpagos colhidos pelo satélite referentes à 2007

A Figura 4.9 representa a ocorrência anual de relâmpagos, resultantes das observações do satélite no ano 2006. Pode-se verificar que as províncias com maior registo de relâmpagos em Moçambique foram Zambézia (1177), Nampula (856) e Niassa (767). Em 2007 o satélite observou cerca de 4894 relâmpagos em Moçambique

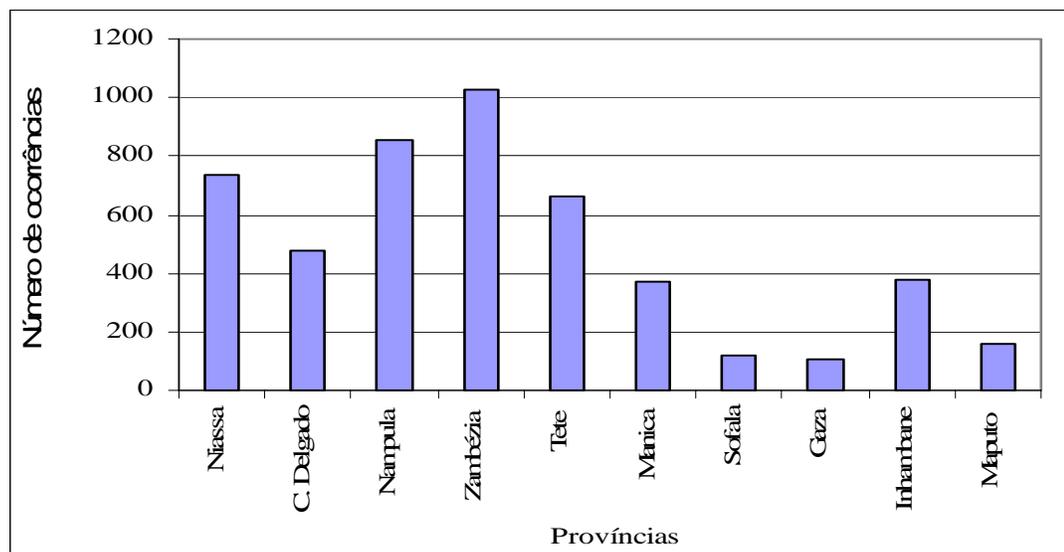


Figura 4. 9. Ocorrência anual de relâmpagos colhidos pelo satélite referentes à 2007

Comparando a ocorrência mensal e anual de 2006 entre os dados observados pelo INAM e colhidos pelo satélite, verifica-se que para o INAM Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março foram os meses de maior ocorrência enquanto que para o satélite os meses de maior ocorrência foram Janeiro, Fevereiro e Março. No que diz respeito aos locais de ocorrência, para o INAM Lichinga Nampula e Quelimane foram as cidades de maior ocorrência enquanto que para o satélite foram Zambézia, Manica, Tete e Niassa respectivamente.

Para o ano de 2007, o INAM registou Janeiro, Fevereiro e Março foram os meses de maior ocorrência de relâmpagos ao passo que o satélite registou os meses de Dezembro e Janeiro como os meses de maior ocorrência. Em relação aos locais de maior ocorrência, para o INAM temos Lichinga, Nampula, Pemba e Quelimane, ao passo que o satélite registou Zambézia, Nampula e Niassa respectivamente.

Faz sentido que estas cidades e províncias apresentem maior quantidade de relâmpagos, pois para que as tempestades aconteçam é necessário que se verifiquem determinadas condições que são:

- ✓ Humidade;
- ✓ Ar quente que se eleva rapidamente.

Associado ao aquecimento no fim das tardes de Verão outros fenómenos podem contribuir para a intensificação da actividade convectiva. A brisa marítima que atinge as províncias litorais por volta das 16 hora local, contribui para aumentar a convergência de humidade em baixos níveis da atmosfera assim favorecendo o aparecimento da actividade convectiva no fim da tarde nestas províncias.

A conjugação dos fenómenos acima descritos determinam uma distribuição por vezes desigual de precipitação e conseqüentemente da actividade convectiva tanto no espaço como no tempo.

Como a humidade e o calor são essenciais para as tempestades, faz sentido que os relâmpagos ocorram com mais frequência no Verão, principalmente em zonas húmidas como o Norte e Centro de Moçambique

Importa referir que este estudo constatou que ocorrem em média 4762.5 relâmpagos por ano em Moçambique.

Capítulo V: Conclusões e Recomendações

5.1. Conclusões

Neste capítulo resume-se as principais conclusões do trabalho e deixam-se algumas recomendações para trabalhos futuros, dando continuidade ao estudo mais completo dos relâmpagos em Moçambique.

- Diante dos resultados e discussões apresentadas, não há apenas um só factor predominante o local de ocorrência dos relâmpagos, mas um conjunto de factores geográficos e meteorológicos de escala sinóptica que actuam simultaneamente cada um com sua parcela de contribuição podendo ser mais fortemente influenciados pela topografia do local.
- As províncias onde ocorrem mais relâmpagos são as do Norte e Centro do país, nomeadamente Zambézia, Manica, Niassa, e Tete, pois as formações montanhosas do país encontram-se no centro e Norte do país, erguendo-se na zona planáltica. Uma das razões pelas quais este fenómeno se verifica intensamente nestes locais é que ao procurar um caminho para sua descarga, o relâmpago atinge os pontos mais elevados e pontiagudos, onde existe maior concentração de cargas, por exemplo: topo de montanhas, sobre árvores isoladas, na ponta de pára-raios, etc.
- Quanto ao período de maior ocorrência de relâmpagos em Moçambique, pode-se dizer que ocorrem nos meses que equivalem a Verão respectivamente Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março, tendo o seu pico geralmente no em Janeiro. Estes relâmpagos geralmente ocorrem entre 15 e 19 horas locais, tendo o seu pico no período das 17 horas.
- Pode-se ver através dos resultados, que há uma concordância entre os dados de observações em estações sinópticas e dados colhidos pelo satélite, no que diz respeito a locais de maior frequência de ocorrência de relâmpagos em Moçambique. Pois as cidades maior registo de relâmpagos de acordo com os dados do INAM, encontram-se nas província que o satélite teve o maior registo de ocorrência de relâmpagos. No que diz respeito ao período de ocorrência, de um modo geral, também há uma coincidência.
- Comparando a ocorrência mensal e anual de 2006 entre os dados observados pelo INAM e colhidos pelo satélite, verifica-se que para o INAM Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março foram os meses de maior ocorrência enquanto que para o satélite os meses de maior ocorrência foram

Janeiro, Fevereiro e Março. No que diz respeito aos locais de ocorrência, para o INAM Lichinga Nampula e Quelimane foram as cidades de maior ocorrência enquanto que para o satélite foram Manica, Zambézia, Tete e Niassa respectivamente.

- Para o ano de 2007, o INAM registou Janeiro, Fevereiro e Março como os meses de maior ocorrência de relâmpagos ao passo que o satélite registou como os meses de maior ocorrência os meses de Dezembro e Janeiro. Em relação aos locais de maior ocorrência, para o INAM temos Lichinga, Nampula, Pemba e Quelimane, ao passo que o satélite registou Zambézia, Nampula e Niassa respectivamente.

5.2. Recomendações

- Recomenda-se que se façam mais estudos sobre o tema em questão aumentando o período de estudo a fim de se melhorar os resultados;
- Que se façam estudos sobre outras características dos relâmpagos que ocorrem em Moçambique, como a intensidade, polaridade, etc;
- Recomenda-se ao INAM que aumente a quantidade de estações meteorológicas, de modo a fazer uma maior cobertura do país;
- Que se faça um estudo para quantificar os prejuízos que advém dos efeitos das descargas de relâmpago em Moçambique.

Referências Bibliográficas

- Ahrens, C. Donald (1998). *Essentials of Meteorology*. Second Edition
- Assis, J. P.; Camargo, J. T.; Fernandes, J. C.; Carmo, R. M.; Lima, S. T.; Carvalho, W. F. (Setembro, 1997). *Relâmpagos atmosféricos*. São José dos Campos, SP.
- Da Barka, A. e dos Santos T. (2004). *Geografia de Moçambique: Física e Econômica*. 3ª Edição. Diname.
- Fernandes, J. C.; Carmo R. B.; Lima, St. (1998). *Estudos de ocorrência de relâmpagos sobre regiões Sul e Sudeste do Brasil*. São José dos Campos, SP.
- Ferreira, H. Amorim. (1965). *Climatologia Dinâmica da África Meridional*. Lisboa
- Feyman, R. P.; Leighton, R. B.; Sands, M. (1964). *Lecture of physics*. California, California Institute of Technology. V.2
- Freedman, D. H. (Dezembro, 1990). *Bolts from the blue*. Discover, 11(12) 51-56.
- Gin, R. B. B. (1997). *Estudo das características dos relâmpagos Nuvem-solo em Minas Gerais no Verão de 1993*. INPE, São José dos Campos, SP.
- Iribane, J. V.; Cho, H.R. (1980). *Atmospheric physics*. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company.
- Macamo, A. J.(2007). *Influência cultural – Que estratégia para o Ensino e Aprendizagem do fenómeno Relâmpago na Disciplina de Física do ESG*. (Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento Curricular e Instrucional) Faculdade de Educação - UEM.
- McGregor, Glenn R. And Nieuwolt, Simon. (1997). *Tropical Climatology*. Second Edition
- Magono, C. (1980). *Thunderstorms*. Amsterdam: Elsevier. 261p. (Development in Atmospheric Science, 12)
- Marshall, T. C.; Rust, W. D. (Dez, 1998). *Electric field soundings through thunderstorm*. Journal of Geophysical Research, 96 (D12) 22297-22306)
- Naccarato K. P. (Julho, 2005). *Análise das características dos relâmpagos na Região Sudeste do Brasil*. Tese de Doutorado em Geofísica Espacial, no prelo. São José dos Campos, INPE
- Naccarato K. P. (2001). *Estudo de relâmpagos no Brasil com base na análise de desempenho do Sistema de Localização de Tempestades*. São José dos Campos. 165p. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- Ogawa, T. Lightning currents. (1995). In: Volland, H. Ed. *Handbook of atmospheric electrodynamicics*. Boca Raton: CRC Press.

- Pinto Jr., O. E. I. R. C. A. (2000). *Tempestade de relâmpagos no Brasil*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- Pinto Jr., O. E. I. R. C. A. Pinto (1996). *Relâmpagos*. INPE, São Paulo, SP, Editora Brasileira.
- Queface, A. J. (Abril, 2007). *Principais desafios da vulnerabilidade climática em Moçambique*. UEM.
- Volland, H. (1984). *Atmospheric electrodynamiccs*: New York, NY: Springer-Verlag
- Volland, H. (1982). *Quasi electrostatic fields within the atmosphere*. Handbook of atmospheric. Florida, CA, CRC, v.1.
- Williams, E. R. (Setembro, 1989). *The tripole structure of thunderstorms*. Journal of Geophysical Research, v. 94, n. D11, p. 13151-13167.
- Williams, E. R. (Novembro, 1988). *The electrification of thunderstorms*. Scientific American, v.259, n. 5, p. 48-65.

Páginas da internet:

- <http://www.ufpa.br/ccen/fisica/aplicada/atm.htm> (visitado em 14 de Abril de 2008)
- <http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/09.28.19.00/doc/publicacao.pdf> (visitado em 14 de Abril de 2008)
- http://143.107.240.111/graduacao/apoio/Apoio/Apoio_Elisa/flg0253/filespdf/TrovoadasAtlasFigsCI-I.PDF (visitado em 25 de Abril de 2008)
- http://www.fisica-potierj.pro.br/Sobre_Raios_%20e_Outros/SobreRaio.pdf (visitado em 25 de Abril de 2008)
- <http://www.cea.inpe.br/webdge/elat/> (visitado em 10 de Março de 2008)
- <http://www.uepb.edu.br/eduep/rbct/sumarios/pdf/impactorelampo.pdf> (visitado em 11 de Abril de 2008)
- <http://member.tripod.com/majaliwa/geral.htm> (visitado em 04 de Novembro de 2008)
- www.marcelomelo.com/uploaded_images/Image/cb3.jpg. (visitado em 04 de Novembro de 2008)
- <http://www.cea.inpe.br/webdge/elat> (visitado em 04 de Novembro de 2008)
- <http://wikipedia.org/wiki/Mo%C3%A7ambique> (visitado em 04 de Novembro de 2008)

ANEXOS

Anexo 1 Estações meteorológicas de Moçambique

Tabela 1. Estações meteorológicas usadas e suas coordenadas geográficas

ESTAÇÕES	LATITUDE	LONGITUDE
Maputo/Obs.	25° 18' S	32° 36' E
Xai-Xai	25° 03' S	33° 38' E
Inhambane	23° 52' S	35° 23' E
Beira	19° 48' S	34° 54' E
Chimoio	19° 07' S	32° 28' E
Tete	16° 11' S	33° 35' E
Quelimane	17° 53' S	36° 53' E
Nampula	15° 06' S	39° 17' E
Lichinga	13° 18' S	35° 14' E
Pemba	12° 59' S	40° 32' E

(Fonte: INAM)

Do ponto de vista meteorológico, pode-se considerar três zonas do território nacional:

Zona Norte:

Também conhecida por Moçambique setentrional é compreendida por três Províncias: Niassa, Cabo Delgado e Nampula. A norte fica Tanzânia, da qual se separa através do rio Rovuma, a Sul está a província de Zambézia, a Este é banhado pelo oceano Índico e Oeste é limitado pelo Lago Niassa e pelo Malawi. Astronomicamente fica entre os paralelos 10° 27' S e 16° 51' S e entre os meridianos 34° 40' E e 40° 51' E.

Zona Centro:

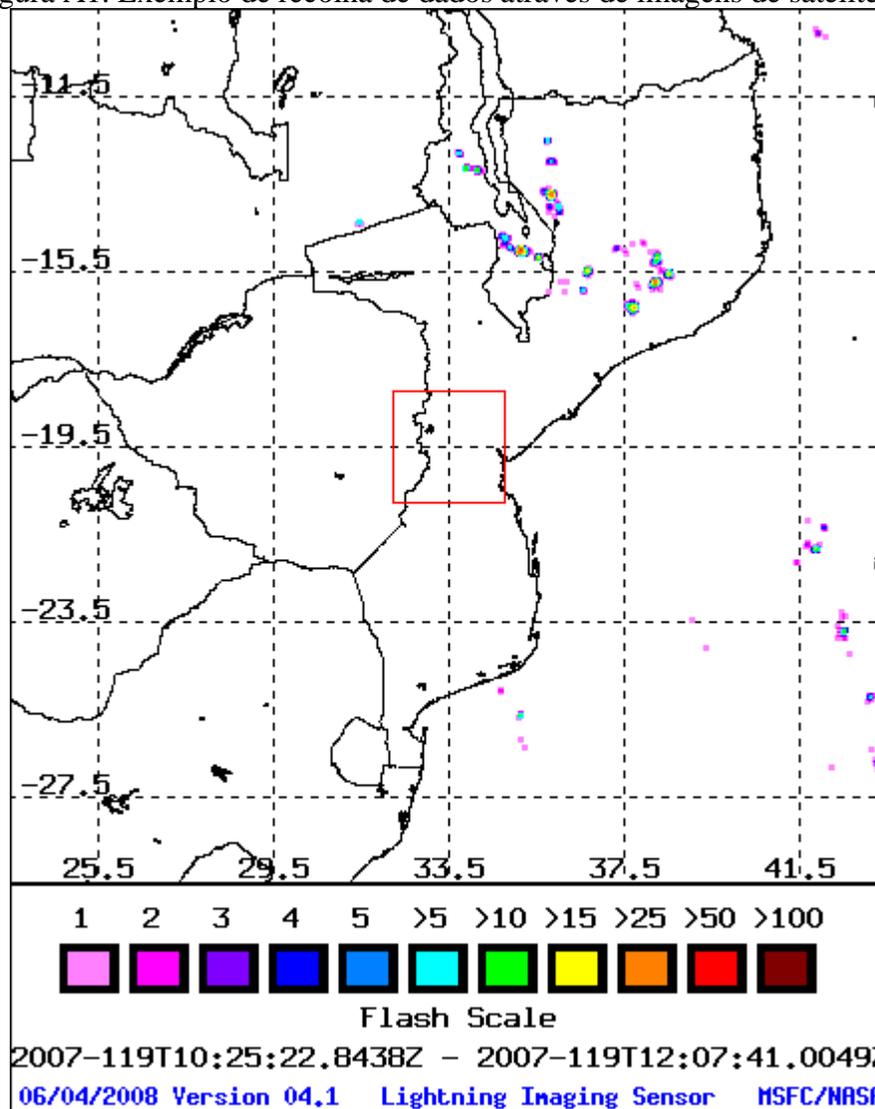
Esta zona é constituída por quatro Províncias: Tete, Manica, Sofala e Zambézia. É limitada a Norte pela Zâmbia, Malawi província de Niassa e de Nampula, a Sul pelas províncias de Gaza e Inhambane, a Este é banhado pelo Oceano Índico e a Oeste pelas Repúblicas de Zâmbia e do Zimbabwe. Situação astronómica entre os paralelos 14° 00' S e 21° 33' S e pelos meridianos 30° 12' E e 39° 07' E.

Zona Sul:

Também denominada de Moçambique meridional, situa-se a Sul do rio Save e compreende as Províncias de Gaza, Inhambane e Maputo. É limitada a Norte pelas províncias de Manica e Sofala, a Sul pela República de África do Sul, a Este é banhado pelo Oceano Índico e a Oeste, pela República do Zimbabwe, República de África do Sul e Reino da Suazilândia. Astronomicamente situa-se entre os paralelos $21^{\circ}05' S$ e $26^{\circ}52' S$ e pelos meridianos $31^{\circ}20' E$ e $35^{\circ}20' E$.

Anexo 2 Imagem fornecida pelo sensor LIS do dia 29-04-07

Figura A1. Exemplo de recolha de dados através de imagens de satélite



Fonte: <http://thunder.nsstc.nasa.gov/data/lisbrowse.html>

Anexo 3 Dados do Inam

Tabela 2. Número de ocorrências mensal de relâmpagos observados em estações sinópticas referentes a 2006

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Lichinga	29	27	24	8	1	0	0	0	1	3	17	26
Pemba	11	11	17	8	0	0	0	0	0	0	1	7
Nampula	18	19	21	0	0	0	0	0	0	0	1	18
Quelimane	21	15	23	5	1	0	0	0	0	0	1	8
Tete	13	15	10	0	0	0	0	0	0	0	3	12
Chimoio	11	12	8	1	1	2	0	0	0	5	3	9
Beira	11	5	6	1	1	1	0	0	0	0	4	1
Inhambane	6	3	5	2	5	1	0	3	1	2	3	7
Xai-Xai	3	1	5	3	3	3	0	3	1	3	1	4
Maputo	2	2	1	0	0	0	0	0	0	2	1	0

Tabela 3. Número de ocorrências mensal de relâmpagos observados em estações sinópticas referentes a 2007

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Lichinga	27	22	23	9	0	0	0	0	0	0	0	0
Pemba	10	16	12	7	0	0	0	0	0	0	0	0
Nampula	12	18	7	3	0	0	0	0	0	3	7	11
Quelimane	16	10	8	6	0	0	0	0	0	0	0	0
Tete	18	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chimoio	7	4	5	2	0	0	0	0	1	0	0	0
Beira	7	3	2	3	0	0	0	0	0	0	8	15
Inhambane	1	1	4	8	0	0	0	0	0	0	4	7
Xai-Xai	3	1	5	3	3	3	0	3	1	3	1	4
Maputo	0	2	1	3	0	2	0	0	0	0	0	0

Anexo 4 Dados de satélite

Tabela 4. Número de ocorrências mensal de relâmpagos colhidos pelo satélite referentes a 2006

	Janeiro	Fevereiro	Marco	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Niassa	74	126	39	5	0	0	0	8	0	8	21	259
C. Delgado	66	158	12	10	0	0	0	0	0	0	0	78
Nampula	74	93	3	7	0	0	3	0	0	0	14	209
Zambézia	307	198	63	19	0	0	0	0	21	11	1	262
Tete	185	158	25	3	3	0	0	0	52	39	18	117
Manica	744	140	23	0	0	1	0	0	2	106	0	23
Sofala	319	28	8	4	0	3	0	0	0	8	6	3
Gaza	40	42	1	5	3	0	0	1	0	0	29	9
Inhambane	6	45	27	3	0	0	1	1	0	0	1	0
Maputo	0	27	7	0	12	0	0	22	0	8	5	169

Tabela 5. Número de ocorrências mensal de relâmpagos colhidos pelo satélite referentes a 2007

	Janeiro	Fevereiro	Marco	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Niassa	70	3	54	99	0	0	0	0	0	29	26.0	455
C. Delgado	52	5	43	8	0	0	0	0	0	16	0	351
Nampula	113	39	208	64	0	0	0	0	0	110	2	419
Zambézia	159	40	41	148	0	0	0	0	3	2	20	612
Tete	142	79	27	2	0	0	0	0	0	7	43	364
Manica	54	32	175	16	0	0	0	0	0	0	55	41
Sofala	48	35	4	13	0	0	0	0	0	0	8	12
Gaza	4	1	13	0	0	0	0	0	0	0	66	19
Inhambane	98	5	3	138	0	0	0	0	0	0	128	8
Maputo	2	0	0	26	0	0	0	0	0	14	34	86