

SIMM – Sistema Integrado de Medições Meteorológicas

Gilca Palma, Sandra I. Saad, Carlos A. Morales, Giovani Amianti, Daniel Z. Moura, Juliano F. Abreu, Fabiano B. D'Acunti, Mário Roberto Bastos

Resumo – Este artigo apresenta um sistema integrado de medições meteorológicas, desenvolvido em um projeto de Cabeça de Série, realizado dentro do programa de P&D, com a participação da Agência Brasileira de Meteorologia (Climatempo), da XMOBOTS e da CTEEP (Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista). O sistema é composto por sensores de temperatura, umidade relativa, direção e velocidade do vento, pressão e descargas atmosféricas. O sistema é alimentado por uma bateria conectada a um painel solar. Os dados serão enviados via comunicação wireless, o que possibilita a sua instalação em locais remotos. No futuro esses dados aliados à previsão de curto prazo serão inseridos em um sistema de informação geográfica para possibilitar o monitoramento e envio de alertas.

Palavras-chave – Sensores meteorológicos; Descargas Atmosféricas; Sistema Integrado; Monitoramento.

I. INTRODUÇÃO

Os raios causam no Brasil cerca de cem mortes por ano e entre 300 e 400 pessoas feridas, além de prejuízos da ordem de um bilhão de reais [1]. Só no setor elétrico, o prejuízo anual é estimado em 600 milhões de reais. As descargas elétricas podem atingir a rede de transmissão de energia elétrica e subestações, podem causar interrupções no fornecimento de energia e até apagões. Recentemente, os problemas com raios têm aumentado. Uma das causas deste aumento é a urbanização, com a formação das ilhas de calor urbanas (cidades mais quentes em relação aos arredores), que favorecem as tempestades, e a verticalização das cidades, que aumenta a frequência de raios.

Atualmente o setor elétrico utiliza uma rede de dados de descargas atmosféricas de alto custo e de complexa implementação, que atende principalmente o centro-sul do País (RINDAT). Em média uma antena de detecção de raios

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do VII Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (VII CITENEL), realizado na cidade do Rio de Janeiro/RJ, no período de 05 a 07 de agosto de 2013.

G. Palma e S.I. Saad trabalham na Agência Brasileira de Meteorologia (e-mails: gilca@climatempo.com.br; sandra@climatempo.com.br).

G. Amianti, D.Z. Moura, J.F. Abreu, F.B. D'Acunti trabalham na XMOBOTS (e-mail: giovani.amianti@xmobots.com.br, daniel.zidoi@xmobots.com, juliano.abreu@xmobots.com, fabiano.dacunti@xmobots.com).

Carlos A. Morales é Professor Doutor no Instituto de Astronomia, Geofísica e de Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (morales@model.iag.usp.br)

Mário Roberto Bastos trabalha na CTEEP (mbastos@ctEEP.com.br)

custa US\$ 80 mil e uma central de processamento em torno de US\$ 180 mil. Com isso, o avanço da implementação de mais antenas para que a detecção de raios avance no País sofre com os elevados custos, sem contabilizar custos de manutenção e depois de fornecimento destes dados para as Empresas do Setor Elétrico.



Figura 1 – Exemplos de torres da CTEEP danificadas devido a eventos de tempo severo.

Também não existe disponível hoje no mercado um sensor integrado para medição e transmissão de dados em tempo real de descargas atmosféricas, temperatura, vento e chuva. Tais variáveis meteorológicas impactam fortemente as linhas de transmissão e distribuição e são de suma importância para a implementação de um sistema de gerenciamento de riscos para o setor elétrico.

Dentro dessa problemática o objetivo desse projeto é desenvolver tecnologia nacional para a montagem de uma estação meteorológica integrada com sensores de raios,

chuva temperatura e vento de baixo custo. Os dados são enviados através de um modem 3G e incorporados numa plataforma GIS associados à previsão do tempo de curto prazo e emissão de alertas. A estação é alimentada por um painel solar dispensando a alimentação por fios, o que permite sua instalação em locais remotos. Serão desenvolvidas 13 estações meteorológicas – elétricas completas, sendo que 10 serão instaladas e as demais ficam de reserva para a necessidade de substituição.

Esse desenvolvimento tem como título de projeto na ANEEL “Construção de um sensor meteorológico integrado de raios, chuva, temperatura e vento com transmissão de dados em tempo real a serem inseridos numa plataforma WEBGIS com sistema de tempo severo”, código ANEEL PD-0068-0028/2011, em execução.

II. DESENVOLVIMENTO DO SIMM

Uma estação meteorológica é um local com instrumentos e equipamentos para observação de condições atmosféricas, provendo informação para previsões e estudos do tempo e do clima. Entre os fabricantes de sensores meteorológicos, destacam-se os das empresas *Campbell Scientific* e R.M. Young, porém devido ao custo e alguns sensores não se adequam aos requisitos técnicos, optou-se por desenvolver os instrumentos meteorológicos.

Analisando custo, facilidade de aquisição e características técnicas, foram selecionados os seguintes sensores meteorológicos para a fabricação do SIMM – Sistema Integrado de Medições Meteorológicas (na tabela I são apresentadas as acurácias destes sensores):

- **direção e velocidade do vento:** encoder MA3 da empresa US Digital. Encoder absoluto rotativo com giro de 360°, resolução de 12 bits e saída digital por PWM (do inglês *Pulse Width Modulated*). Opera na temperatura entre -40 e +125°C e faixa de tensão entre 4,5 e 5,5 V, apresentando apenas 3 pinos de ligação, 2 para alimentação e 1 para saída digital PWM.

- **temperatura e umidade:** sensor de temperatura e umidade modelo SHT25 da marca Sensirion. O sensor de umidade relativa possui uma resolução de 8 ou 12 bits e faixa de operação de 0 a 100% RH (do inglês *Relative Humidity*, umidade relativa). Já o sensor de temperatura possui resolução de 12 ou 14 bits e faixa de operação de -40 a +125°C.

- **pressão:** modelo SSCMRNN015PA3A3 da marca Honeywell. Possui diagnóstico interno, calibração entre 10 e 90% da tensão de alimentação, faixa de medição de 0 a 15 psi, saída digital com 12 ou 14 bits de resolução.

- **precipitação:** pluviômetro Rain Collector da marca Davis com sensor tipo *reed switch* (chave magnética). Medição de precipitação diária de 0,0 a 999,8 mm.

- **raios:** os sensores para detecção de raios conta com dois sensores de eletricidade atmosférica. Um deles é um receptor de ondas de rádio na banda de VLF (do inglês Very

Low Frequency, frequência muito baixa, entre 3 e 30 kHz). Na faixa de frequência do VLF as ondas de rádio dos *sferics*, sinais produzidos por descargas elétricas que se propagam no guia de onda formado pela superfície terrestre e a ionosfera. O medidor de campo eletrostático (*Field Mill*) é um sensor eletromecânico especializado para a medição da intensidade do campo eletrostático atmosférico. O Field Mill consiste de um conjunto de eletrodos que são alternadamente expostos e blindados ao campo elétrico por meio da rotação de pás metálicas, de maneira a produzir uma corrente elétrica proporcional a intensidade do campo a ser medido. Este sensor é utilizado para medir a severidade das tempestades, estimando sua aproximação, evolução e dissipação. As figuras 2 e 3 mostram o encapsulamento do receptor de VLF e do Field Mill e a montagem final dos sensores de eletricidade atmosférica.

Tabela I – Tipos de sensor e acurácia que compõem a estação SIMM

Tipo de sensor	Acurácia
Umidade	± 1,8% UR
Temperatura	± 0,5 °C
Velocidade do vento	± 0,5 m/s
Direção do vento	± 5°
Pressão	± 1%
Precipitação	± 0.2 mm
Raios DC	≤ 1 mV
Raios AC	≤ 1 mV

A estação também possui sensores de tensão da bateria, tensão e corrente do painel e sensor de posição (GPS). O sensor GPS adotado é da marca Trimble, modelo LasseniQ e possui acurácia < 10m. Tudo será alimentado por uma bateria de 12 V/ 60 Ah abastecida por um painel solar. O painel solar adequado foi escolhido a partir do estudo dos dados históricos de irradiação solar do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) coletados nos últimos 8 anos por 4 estações meteorológicas espalhadas em diferentes pontos do estado de São Paulo: Miguelópolis, Presidente Prudente, São Carlos e Vutuporanga. Como o mês de julho apresentou os menores índices de incidência solar nas cidades avaliadas, só este mês foi levado em consideração para determinar o painel solar adequado para manter o funcionamento da estação.

Por não depender de uma alimentação por fios, a instalação da estação SIMM também pode ser feita em locais remotos. A estação possui um módulo de processamento remoto capaz de coletar e tratar o sinal dos sensores, realizar cálculos específicos da competência de meteorologia, e enviar estas informações tratadas para vários servidores. Os dados então são enviados com a utilização de um modem 3G ou por satélite, mas também possui uma porta Ethernet para conexão por meio de cabo ou modem 802.11 em lugares providos de acesso à internet. Os dados meteorológicos são transmitidos para o sistema a cada minuto e os dados referentes à vida da estação são enviados a cada 10 minutos.

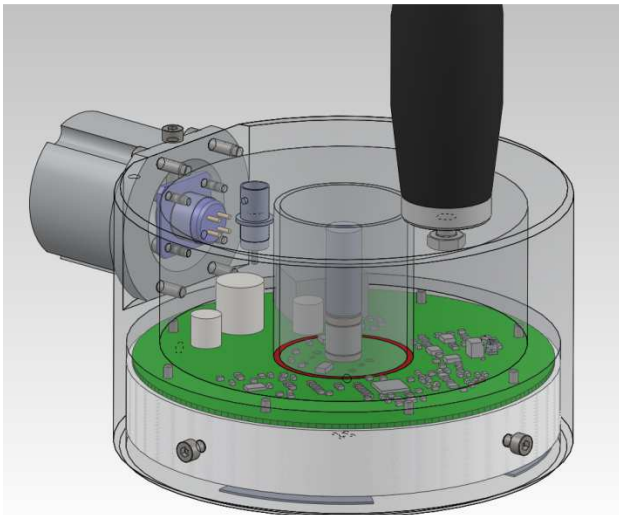


Figura 2 – Representação da placa de circuito impresso e o encapsulamento do sensor de raios.



Figura 1 – Radiation shield



Figura 3 – Montagem final do receptor VLF e Field Mill.

Para evitar a radiação solar direta e diminuir a turbulência do fluxo de ar, os sensores de temperatura, umidade e pressão são protegidos por um *radiation shield* (figura 4), para garantir a confiabilidade nas medições.

Para instalar a estação meteorológica, alguns requisitos devem ser atendidos:

- O local de instalação deve evitar sombreamento mesmo durante parte do dia;
- A área mínima deve ser um quadrado de 2,60 x 2,60 metros;
- A base de concreto deve conter uma haste de aterramento diferente do para-raios;
- A estação deve ser instalada em área aberta e livre de cabos, sua altura atinge 4,4 metros, portanto os para-raios devem ser instalados em um nível superior;
- Evitar barreiras ou mecanismos que interfiram no fluxo de vento próximo da área de instalação;

- Evitar fontes de calor externas que interfiram nas medições de temperatura;
- O local de instalação preferencialmente deve conter uma fonte de energia de 110 VAC;
- Durante a instalação deve-se observar o correto alinhamento, nível e prumo do equipamento e dos sensores individualmente com base nos requisitos estruturais.

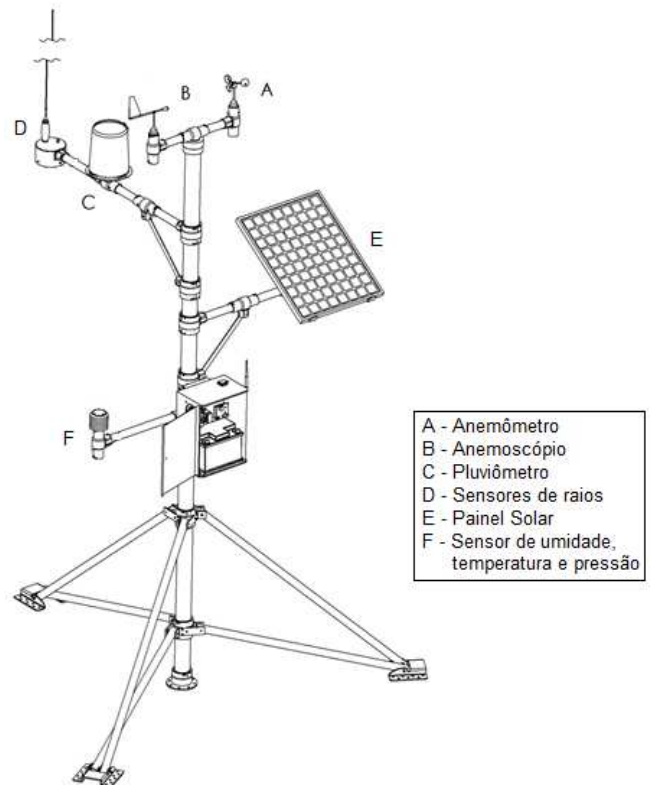


Figura 4 – Esquema da estação meteorológica

A. Inovações implementadas nos sensores VLF e Field Mill

- Sensor VLF

As inovações no sistema de aquisição em VLF foram

feitas para reduzir o ruído gerado pelo próprio circuito eletrônico e filtrar o ruído fora da banda VLF. O sinal resultante permite determinar mais precisamente o momento em que um raio ocorreu.

O circuito foi desenvolvido para obter o sinal VLF em 2 etapas. A primeira etapa é um pré-amplificador de baixo ruído, elevando a amplitude do sinal captado pela antena (por volta de milivolts) com um ganho de 7 vezes em amplitude ou aproximadamente 17dB. Foi utilizado um transistor de RF realimentado negativamente para conseguir um ganho estável em qualquer condição, retirando ruídos advindos da amplificação. O estágio seguinte contempla um filtro passa-faixas nas frequências de 5KHz a 15KHz, retirando interferências recebidas pela antena fora da faixa de interesse. A faixa de passagem é facilmente modificada através da seleção de resistores e capacitores que atuam no circuito de filtragem ativa. Toda a alimentação é feita através de um regulador linear de baixo ruído independente de outros reguladores. O sinal amplificado e filtrado é amostrado a uma taxa de 105Kamostras/s pelo conversor analógico/digital e posteriormente processado.

-Sensor Field Mill

O projeto original do Field Mill tem diversos estágios de amplificação feitos por amplificadores operacionais. Cada um dos amplificadores insere ruído que se soma a cada estágio. Além disso, a entrada dos amplificadores de carga elétrica é feita através de apenas um sinal provindo do estator e rotor. Por último, o controle de fase é feito por um obturador acoplado ao eixo do rotor, que por ser um sistema mecânico pode gerar erros com o passar do tempo ou com mudanças nas condições operacionais.

Para reduzir a complexidade e reduzir o ruído, optou-se por refazer todo o circuito amplificação de carga. O estator foi dividido em 8 partes. As 8 partes são identificadas em alternância como A ou B. A carga acumulada no grupo A utiliza um amplificador operacional separado do grupo B gerando assim sinais diferenciais que podem ser amplificados por um terceiro amplificador operacional. O ruído comum captado pelos dois grupos de estatores é retirado pela amplificação diferencial.

O controle de fase foi melhorado, passando a ser um sistema eletrônico. A posição do rotor é determinada a partir de um encoder acoplado ao eixo. A passagem do rotor pelo estator é ajustada por software para maximizar o período do sinal recebido pelos amplificadores de carga (A e B), alterando a velocidade do rotor através de um controle por PWM da corrente do motor.

O sinal resultante do amplificador diferencial é amostrado e o processamento em software se encarrega de filtrar e condicionar o sinal para uma leitura de tensão proporcional ao valor do campo elétrico medido.

B. TOGA – Identificação dos Sferics pelo VLF

A identificação temporal dos pulsos provenientes de descargas elétricas é feita através do método denominado TOGA (do inglês, Time of Group Arrival, tempo de chegada de grupo) [2] em cada sensor. Esse método mede a taxa de mudança da fase do trem de onda em função da frequência

para achar o tempo de chegada de grupo. Ele foi escolhido, pois representa uma redução considerável na quantidade de dados enviados ao servidor central, já que apenas o tempo de chegada de grupo TOGA é enviado.

O sensor de descargas atmosféricas que foi construído mede a radiação (componente vertical do campo elétrico) na faixa de VLF (3 a 30 kHz) emitida por um elemento de corrente de aproximadamente 2 km de extensão, correspondente a primeira descarga de retorno de um raio nuvem-terra. Como este elemento é muito menor que o comprimento de onda em VLF (10 a 100 km) pode-se assumir que a fase ϕ_0 de todas as componentes da Transformada de Fourier em VLF é a mesa no local de ocorrência da descarga atmosférica [3]. A uma distância r da descarga elétrica e em um tempo t , o campo elétrico vertical (E) da onda pode ser expresso em termos de uma transformada de Fourier como:

$$E(r, t, \omega) = \sum A(\omega) \cos(\phi(\omega)) \quad (1)$$

Onde, A e ϕ são a amplitude e a fase para uma determinada frequência ω , sendo que a fase pode ser expressa como:

$$\phi(\omega) = \omega t - k(\omega)r\phi_0 \quad (2)$$

Nesta expressão é possível observar que o número de onda k é dependente da frequência, enquanto a fase ϕ_0 não. Logo podemos analisar como a fase varia com a frequência. Diferenciando em relação à frequência temos:

$$\frac{d\phi}{d\omega} = t - r \frac{dk}{d\omega} = t - \frac{r}{v_g(\omega)} \quad (3)$$

Onde $v_g(\omega)$ é a velocidade de grupo que é dependente da frequência ω .

Pela definição de velocidade de grupo, o tempo $t_g(\omega)$, gasto pelo grupo de onda para viajar da fonte ao receptor a uma distância r é $r/v_g(\omega)$. Da equação (3) temos que $d\phi/d\omega$ será igual a zero quando $t = t_g(\omega)$.

Logo, a partir de um processo de minimização é possível calcular o tempo do grupo $t_g(\omega)$. Entretanto é mais simples medir $d\phi/d\omega$ em um tempo específico t_0 . Assim:

$$t_g(\omega) = t_0 - \frac{d\phi}{d\omega} \quad (4)$$

Para calcular $d\phi/d\omega$ usa-se a regressão linear dos dados de $\phi(\omega)$ dentro da faixa de frequências de 6 a 22 kHz. O coeficiente angular resultante da regressão linear é a melhor estimativa de $d\phi/d\omega$, para substituir na equação XX4 e calcular o TOGA. Se em vez de medir $\phi(\omega)$ em t_0 medirmos no TOGA, a equação XX3 requer que a equação de regressão tenha coeficiente angular nulo. Por exemplo, a figura 5 mostra que para um raio que caiu a 1.000 km de distância, $d\phi/d\omega = 0$ quando $t = t_g(12,757 \text{ Hz})$.

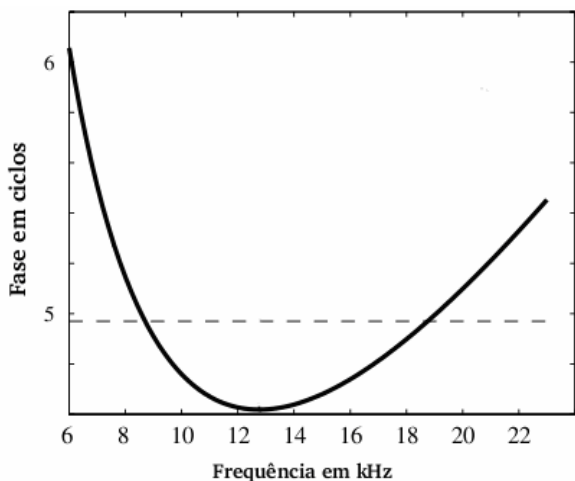


Figura 5 – Variação da fase em função da frequência para um raio hipotético a 1.000 km de distância.

Portanto, a definição de TOGA pode ser descrita como: o TOGA de um *sferic* é o instante que a curva de regressão da fase versus a frequência em uma banda específica tem coeficiente angular nulo.

Nos testes realizados por um sensor instalado nas dependências do IAG/USP (Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo), a média do ruído de fundo ficou em torno de 0,025 (em módulo), em uma escala de 0 a 1. Qualquer valor acima deste limiar inicia o cálculo da transformada de Fourier sobre o buffer, que transforma o sinal amostrado inicialmente em função do tempo para o domínio da frequência $\omega(\tau)$, de onde se extrai a potência do sinal em função de cada frequência ω e a fase de cada frequência. Posteriormente analisa-se a fase relativa à frequência central

da banda escolhida, que neste caso foi entre 4 kHz e 17 kHz, da qual se calcula o coeficiente angular de $\phi(\omega(t))$ e o TOGA a partir da equação XX4. Paralelamente à gravação do sinal, ocorre o processamento do sinal de GPS, que foi instalado no mesmo computador onde está sendo analisado o sinal do circuito de VLF. O GPS fornece a posição (latitude, longitude e altitude) do sensor e uma onda quadrada de largura de 100 ms a cada um segundo, comumente denominado de PPS (do inglês *Pulse per second*). Este sinal PPS é utilizado para calibrar a taxa de amostragem da placa de som e diminuir o erro na estimativa do TOGA.

Um exemplo da utilização do TOGA é apresentado na figura 6. No gráfico pode-se observar um *sferic* registrado no dia 22/04/2012 às 16:30:05 no prédio do IAG/USP. O ruído de fundo encontra-se entre -0.01 e 0.021 nos instantes anteriores o valor que desencadeou o registro do sinal (-0,063). O instante 0.0000 é o TOGA estimado para este *sferic*.

Para localização das descargas pelo receptor de VLF é empregado um método baseado na diferença no tempo de chegada da forma de onda do “*sferic*” entre dois sensores instalados em diferentes pontos da área de cobertura do sistema. Estas metodologias requerem ao menos 4 estações de recepção para a localização do raios, além de um relógio universal preciso, provido pelo Sistema de Posicionamento Global, com acurácia de aproximadamente 100 nanosegundos. Destas diferenças de tempo calcula-se hipérboles sobre o globo terrestre que indicam regiões de onde um sinal gerado por uma descarga elétrica apresentaria a mesma diferença de tempo de chegada aos sensores. A intersecção das curvas de todos os pares de sensores identifica o local aonde os raios ocorreram.

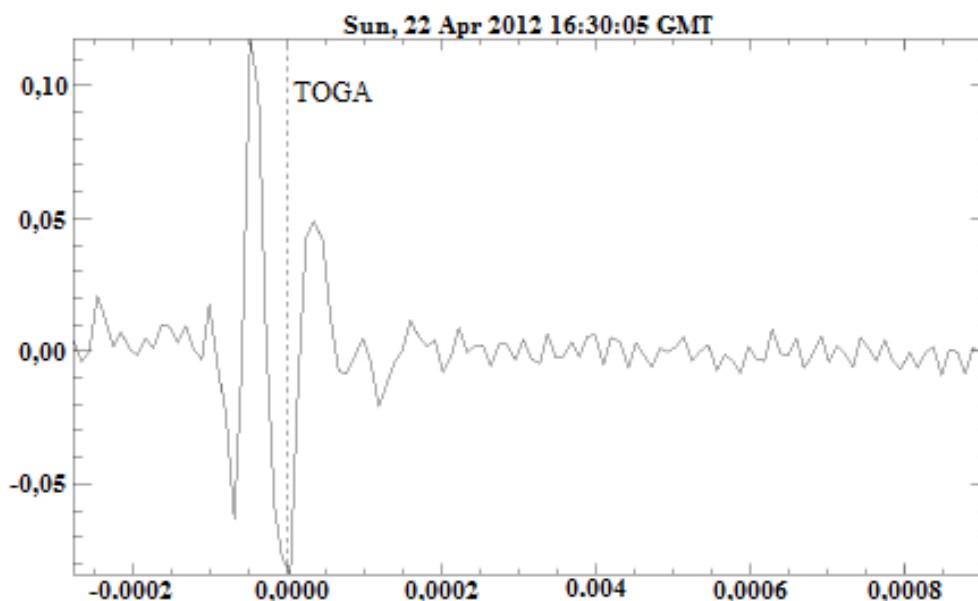


Figura 6 – *Sferic* registrado no dia 22/04/2012 às 16:30:05 no prédio do IAG/USP. O tempo ilustrado no eixo das abcissas é relativo ao TOGA.

III. SERVIDORES

Os dados estão disponíveis através de uma estrutura de softwares e sistemas operacionais e a utilização de máquinas virtuais. Para isso foi obtida uma máquina física em que foi instalado o Proxmox, uma distribuição Linux customizada para virtualização. Ela oferece suporte ao OpenVZ e KVM e uma interface web para gerenciamento.

O OpenVZ é um software utilizado para virtualização das máquinas Linux, conseguindo entregar um desempenho superior em relação a outras soluções que virtualizam qualquer sistema operacional. No OpenVZ todas as máquinas virtuais compartilham o kernel da máquina física e não tem acesso a todos os recursos desse kernel, caso a máquina virtual precise utilizar algum recurso como o NFS, FUSE, OpenVPN, "mount -o loop" e etc cada um desses devem adicionados no arquivo de configuração da máquina virtual. É um projeto OpenSource, porém mantidos pela Parallels (empresa que oferece diversas soluções de virtualização desde desktops até grandes datacenters e provedores de cloud computing). O KVM é o software usado para virtualização completa, onde cada máquina tem seu próprio kernel e seus próprios dispositivos virtuais assim como ocorre no VMware e Xen, o KVM é capaz de virtualizar Linux, Windows e BSD. É um projeto OpenSource, mantido pela Red Hat.

Foram criadas três máquinas virtuais dentro da máquina física sendo uma responsável pelo processamento dos modelos (Cteepmod), outra servindo como banco de dados PostgreSQL (CteepDB) e a última disponível para a plataforma de monitoramento e alertas (Arcgis-ctEEP).

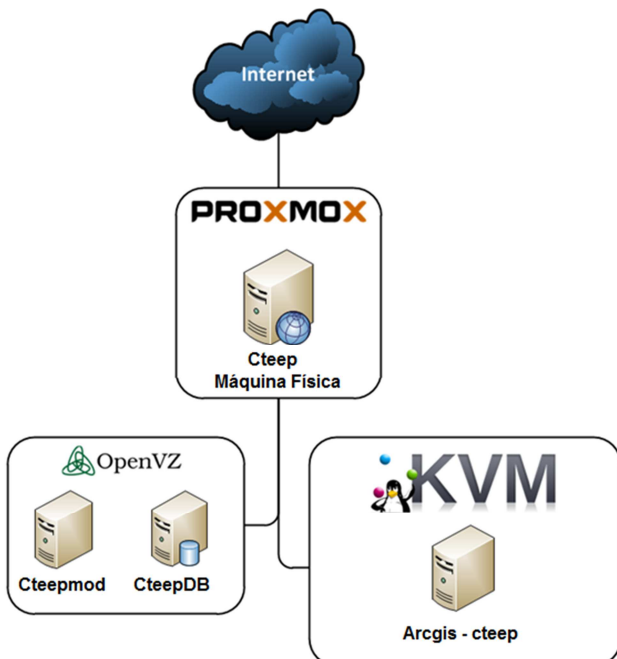


Figura 7 – Estrutura das máquinas virtuais no servidor físico Cteep.

IV. MODELO DE PREVISÃO DE RAIOS

No Brasil já é possível fazer o monitoramento de raios em tempo real graças a sistemas de detecção de descargas elétricas como o RINDAT, porém ainda não existem sistemas eficientes para a realização de prognósticos específicos para raios. Encontra-se em desenvolvimento um modelo de previsão de raios baseado na identificação de padrões nos perfis verticais de variáveis termodinâmicas. Estão sendo selecionados analisados casos de eventos severos com a presença ou não de raios, que causaram a danificação de torres do CTEEP. Para o levantamento dos eventos que causaram danos às torres de transmissão, foram gerados mapas de chuva e raios conforme a figura 8. A fonte dos dados de chuva é o CPC [4] que consiste de dados interpolados das estações do ANEEL, ANA, FUNCEME, SUDENE, DAEE, CPTEC e SIMEPAR. Para os raios utilizaram-se duas fontes diferentes: O Starnet, e a Earth Networks.

Simulações numéricas com o modelo atmosférico WRF (*Weather Research and Forecasting Model*) [5] são feitas para os casos selecionados utilizando diversas parametrizações para comparação. O modelo foi ajustado para ter um passo de tempo de 30 s, com espaçamento horizontal de 15 km na grade de menor resolução (Grade 1 na figura 9) e 5 km na de maior resolução (Grade 2 na figura 9). A grade 1 tem 150 x 150 pontos na horizontal e na 2, 211x157 pontos. Foram utilizados 36 níveis verticais. Para condição inicial e de contorno foram utilizados dados do GFS/FNL (*Global Forecasting System/Final Analysis*) com espaçamento de grade horizontal de 1 grau.

Uma vez comprovada a previsibilidade das parametrizações em prever os eventos de chuva intensa, espera-se identificar padrões semelhantes para cada um dos tipos (com ou sem raio) nos perfis verticais de algumas variáveis termodinâmicas. Com as diferenças entre esses perfis pretende-se então desenvolver um modelo de previsão de raios.

V. SISTEMA DE MONITORAMENTO E ALERTAS

A última etapa do projeto consiste na construção de um sistema de monitoramento e alertas. O sistema irá integrar a previsão de curto prazo (até 72 horas) feita com o modelo WRF, realizada com alta resolução espacial (5 km), dados obtidos pela rede de estações e tracking de sistemas meteorológicos. Esses dados serão inseridos em um sistema de informação geográfica que permite a representação de todas as informações em um mapa georreferenciado.

Os dados poderão ser visualizados em tempo real, contribuindo para o envio de alertas e monitoramento das Linhas de Transmissão.

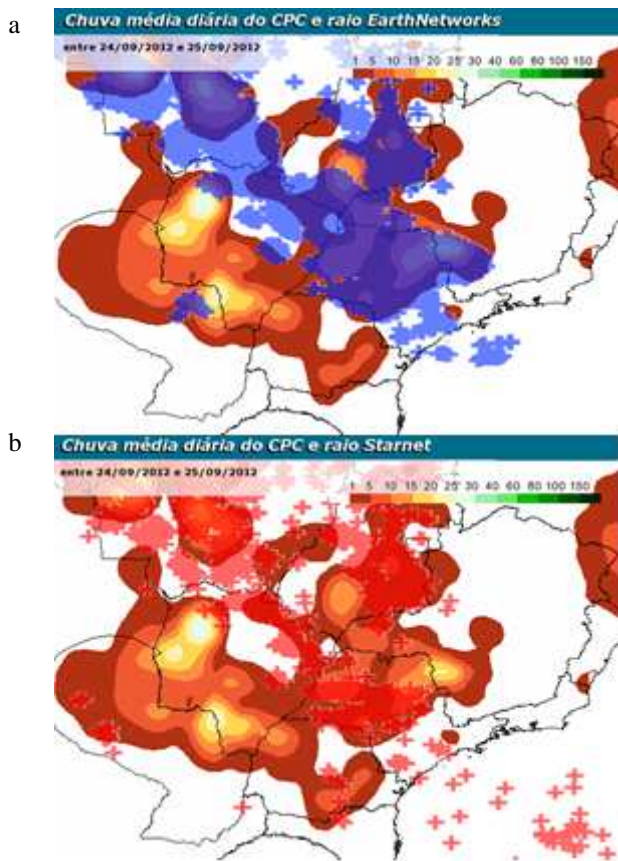


Figura 8 – Exemplo de um dia dos mapas utilizados para o levantamento de eventos de chuva com raio ou sem raios. (a) chuva obtida pelo CPC e raios da rede Earth Networks, (b) chuva do CPC e raios da rede Starnet.

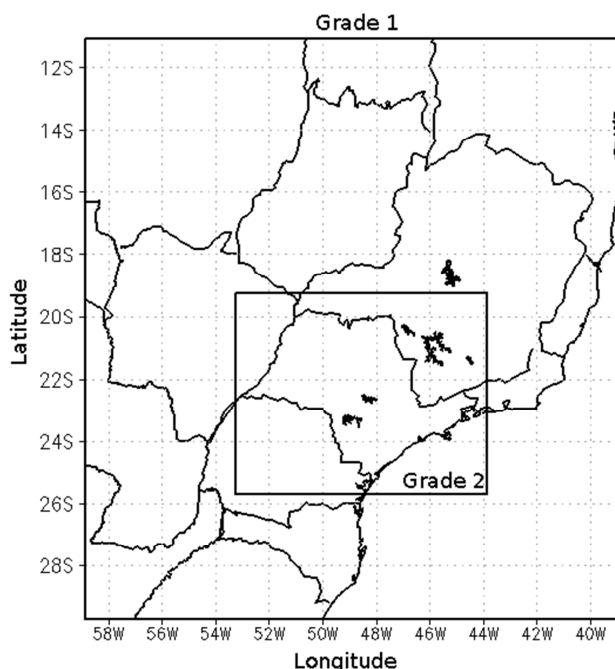


Figura 9 – Disposição das grades do modelo.

VI. BENEFÍCIOS

O desenvolvimento de um sensor e de uma plataforma integrada com dados em tempo real e alertas meteorológicos

podem representar para o CTEEP uma melhoria na gestão das linhas de transmissão, tanto na parte de prevenção quanto restabelecimento do fornecimento de energia em caso de interrupção. Um estudo da Eletropaulo mostrou que o uso de informações meteorológicas pode reduzir em até 38,3% o tempo de atendimento a problemas na área de distribuição. Se tomarmos como exemplo uma LT cuja hora de indisponibilidade é de aproximadamente R\$ 680.000,00, teríamos um desembolso total de R\$ 5.440.000,00. Reduzindo o tempo de atendimento com referência no estudo da Eletropaulo poderiam ser economizados cerca de R\$ 2.000.000,00. A redução das interrupções nas LTs, tanto em ocorrências quanto em duração, implica diretamente na parcela variável da remuneração das empresas de transmissão. Isto representa maior confiabilidade, com a melhora dos indicadores DIPC, FIPC e DMIPC, e aumento na receita da transmissora.

Além disso, com a ampliação de áreas de transmissão que cortam o País, será possível o desenvolvimento de novos projetos para estudo da climatologia das áreas e posterior implementação dos sensores em pontos estratégicos que permitam o monitoramento em tempo real dos fenômenos meteorológicos que impactam as linhas de transmissão. O sensor poderá ser classificado como cabeça de série podendo ser aprimorado para inserção no mercado. Em termos científicos o trabalho é relevante, pois irá desenvolver uma tecnologia nacional para a criação do sensor, além de gerar uma produção científica com o mapeamento de tempestades e sistemas de risco para o setor elétrico.

VII. CONCLUSÕES

Este artigo descreveu o desenvolvimento de uma estação integrada de sensores meteorológicos convencionais com um sensor de descargas atmosféricas dentro do projeto da ANEEL intitulado “Construção de um sensor meteorológico integrado de raios, chuva, temperatura e vento com transmissão de dados em tempo real a serem inseridos numa plataforma WEBGIS com sistema de tempo severo”. Inicialmente serão implementadas 10 estações em uma área piloto dentro do Estado de São Paulo.

O protótipo da estação já está em fase de teste. Pretende-se também até o final do projeto a definição de padrões associados à eventos de tempo severos para a criação de um sistema eficiente para o prognóstico específicos para raios e a disponibilização de todos os dados em uma plataforma georreferenciada, permitindo o monitoramento e envio de alertas das Linhas de Transmissão.

VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Periódicos:

- [1] O. Pinto Jr. and I. R. C. A. Pinto. “On the sensitivity of cloud-to-ground lightning activity to surface air temperature changes at different timescales in São Paulo, Brazil”, *J. Geophys. Res.*, 113, D20123,2008.
- [2] R.L. Dowden, J.B. Brundell, and C.J. Rodger. “VLF lightning location by time of group arrival (TOGA) at multiple sites”, *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*, 64(7), 817-830, 2002.
- [3] A.C.L. Lee. “Ground truth confirmation and theoretical limits of an experimental VLF arrival time difference lightning flash locating

system”, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 115(489), 1147-1166, 1989.

- [4] V.B.S. Silva, V.E. Kousky, W. Shi and R.W. Higgins. “An Improved Gridded Historical Daily Precipitation Analysis for Brazil”, *Journal of Hydrometeorology*, v. 8, n.4, p. 847-861, 2006.

Relatórios Técnicos:

- [5] Mesoscale & Microscale Division – National Center for Atmospheric Research. “WRF User’s Guide”, 2012. Disponível em: <http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3/ARWUsersGuideV3.pdf>.