



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GOP - 05
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

**GRUPO IX
GRUPO DE OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GOP**

**SISTEMA DE ANÁLISE E MONITORAMENTO DE TEMPESTADES ATMOSFÉRICAS
PARA LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA**

Cesar Beneti * Leonardo Calvetti Marco Jusevicius Fabio Sato Cícero Zandoná

INSTITUTO TECNOLÓGICO SIMEPAR

RESUMO

A necessidade de fornecer energia de melhor qualidade tem impulsionado as empresas do setor elétrico a aumentar o conhecimento da relação entre a ocorrência de descargas atmosféricas e o desempenho do sistema elétrico. Neste trabalho é apresentada a experiência do SIMEPAR no desenvolvimento e utilização de aplicativos e serviços desenvolvidos para a análise, monitoramento e previsão de tempestades elétricas atmosféricas. Foram desenvolvidos sistemas de integração de informações meteorológicas como descargas elétricas atmosféricas, dados oriundos de satélites e radares combinados com dados georeferenciados de linhas de transmissão. Estes sistemas permitem a identificação, monitoramento e previsão da ocorrência de tempestades sobre linhas de transmissão. Por fim, foi montado um sistema de disseminação das informações com um grupo de meteorologistas que trabalham 24h por dia para proporcionar o monitoramento e a previsão de tempestades em áreas estratégicas de transmissão de energia.

PALAVRAS-CHAVE

Tempestades, Desligamentos, Transmissão, Monitoramento, Distúrbios, Raios, Descargas.

***INSTITUTO TECNOLÓGICO SIMEPAR
Centro Politécnico da UFPR, Jardim das Américas - CEP 81531-990 - Curitiba - PR - BRASIL
Tel.: (041) 366-1133 ramal 2300 - e-mail: beneti@simepar.br**

1.0 - INTRODUÇÃO

Devido a grande necessidade de fornecer energia de melhor qualidade as empresas do setor elétrico estão a aumentar o conhecimento da relação entre a ocorrência de descargas atmosféricas e o desempenho do sistema elétrico. Um grande percentual dos desligamentos nos sistemas elétricos é causado por descargas atmosféricas, sendo em geral acima de 60%, exigindo das empresas responsáveis pela transmissão e distribuição de energia elétrica o uso de ferramentas capazes de monitorar as tempestades elétricas, adquirindo um melhor conhecimento destes fenômenos, garantindo uma operação cada vez mais confiável do sistema interligado.

Em geral, as tempestades com alta atividade elétrica também são responsáveis por ocorrências de ventos de forte intensidade, chuva intensa e precipitação no estado sólido (granizo) (1) e (7). Uma forma de minimizar os efeitos para o setor elétrico, gerados por estas tempestades, é através do monitoramento das mesmas. Tanto as variáveis elétricas (obtidos de sistemas de monitoramento contínuo de descargas elétricas), como os meteorológicos (obtidos através de equipamentos como os radares e satélites meteorológicos) podem auxiliar nesta tarefa.

As modernas redes de detecção de descargas atmosféricas (como a RINDAT - Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas (2), (5) e (11)) fornecem dados sobre a incidência de descargas atmosféricas que têm sido amplamente utilizadas como suporte na análise e manutenção de sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica, na emissão de laudos relacionados a distúrbios causados no setor elétrico de natureza meteorológica, assim como seu importante uso na identificação de tempestades severas (geralmente associadas a chuva intensa, vendavais e granizo) em tempo real. O monitoramento de eventos meteorológicos severos permite o manejo adequado do sistema elétrico e o acionamento prévio de equipes de manutenção, minimizando eventuais tempos de desligamentos. A análise dos dados históricos de descargas atmosféricas tem se mostrado uma ferramenta estratégica na pós-operação do sistema elétrico, uma vez que de posse dessas informações é possível avaliar o desempenho de linhas de transmissão em função dos desligamentos e da incidência de descargas atmosféricas e planejar de maneira mais adequada a proteção para estas linhas.

O SIMEPAR desenvolveu um sistema de monitoramento e previsão de tempestades por meio de ambientes de visualização de dados de descargas atmosféricas (através da RINDAT), imagens do radar meteorológico Doppler, imagens de satélite e a integração das informações permitindo o acompanhamento e a previsão de tempestades 24h por dia para auxiliar o controle e operação da transmissão de energia elétrica.

Neste trabalho serão descritas a rede nacional de detecção de descargas atmosféricas (RINDAT), ambientes de visualização de dados de descargas atmosféricas, imagens de satélite e de radar meteorológico e também do sistema de boletins e alertas de tempestades providos pelo SIMEPAR às empresas de energia elétrica.

2.0 - REDE INTEGRADA DE DETECÇÃO DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS – RINDAT

Em 1998, um Convênio de Cooperação Técnico-Científica firmado entre a CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais), a COPEL (Companhia Paranaense de Energia) através do SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná) e FURNAS (Furnas Centrais Elétricas S.A.), tornou possível a integração dos sistemas de detecção de descargas atmosféricas operados por estas empresas formando a RIDAT - Rede Integrada de Detecção de Descargas Atmosféricas no Brasil. Em 2003 com a inclusão do INPE a rede passou a ser chamada RINDAT - Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas (2). Os objetivos principais da RINDAT são:

- Intercâmbio de informações técnico-científicas;
- Intercâmbio dos sinais obtidos pelos sensores das redes de detecção;
- Integração dos procedimentos de análise, manutenção e operação conjunta.

Com a integração, os dados dos sensores são compartilhados entre as três centrais de processamento da RINDAT (Curitiba/PR, Rio de Janeiro/RJ e Belo Horizonte/MG), estendendo a área de monitoramento e, por consequência, melhorando a eficiência na detecção e a acurácia da informação de localização das descargas atmosféricas. A Figura 1 apresenta a localização dos sensores atualmente instalados no Brasil, integrados e operados pela RINDAT. Embora o Convênio da RINDAT tenha sido firmado inicialmente pelas quatro empresas (SIMEPAR, CEMIG, FURNAS e INPE), há interesse de outras instituições em participar deste convênio, ampliando a cobertura da rede integrada. Em área de monitoramento, a RINDAT ocupa a terceira posição no mundo (as duas outras grandes redes existentes estão nos Estados Unidos e Canadá).



FIGURA 1 – Localização dos sensores de descargas elétricas atmosféricas da RINDAT (Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas)

3.0 - SISTEMA DE ANÁLISE E MONITORAMENTO DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

O SIMEPAR desenvolveu um aplicativo de uso via internet para monitoramento, análise e previsão de tempestades atmosféricas para oferecer um grande conjunto de recursos para monitoramento e previsão do tempo, bem como análise de falhas relacionadas a descargas atmosféricas para uso em companhias de eletricidade, companhias de telecomunicações e centros de monitoramento e previsão do tempo. O desenvolvimento do aplicativo deu-se em linguagem Java, permitindo sua execução em diversas plataformas, tanto como aplicativo cliente como applet em página na internet.

O software funciona conectado, via protocolo TCP/IP (internet), ao sistema de detecção de descargas atmosféricas da RINDAT e ao Sistema Gerenciador de Banco de Dado (SGBD) operados pelo SIMEPAR. Com este aplicativo o usuário tem acesso a informações (localização, data e hora, intensidade, polaridade, multiplicidade, tempo de ascensão, etc.) de descargas atmosféricas em tempo real, dados históricos e produtos de análise e georeferenciamento de linhas de transmissão e redes de distribuição.

As principais características do aplicativo são:

- Manipulação e sobreposição de mapas georeferenciados nos formatos ArcView Shape (SHP), MapInfo Interchange Format (.MIF) e AutoCAD (.DXF);
- Tratamento de mapas e dados em camadas, que podem ser ativadas e desativadas. Propriedades (cor, posição, dados de entrada) podem ser modificadas pelo usuário. Esta característica permite integração de dados (descargas atmosféricas em tempo real, históricas e radar) e a personalização de mapas (políticos, físicos e outros mapas de interesse dos usuários). Estas características estão ilustradas na Figura 2;
- Recuperação de dados históricos e em tempo-real da LP2000 e outros Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBDs);
- Gravação de imagens (JPG e .GIF) e impressão
- Execução em sistemas compatíveis com Java.
- Exibição de informações sobre descargas atmosféricas para monitoramento de tempestades e previsão do tempo, como na Figura 2;

- Visualização de informações das descargas atmosféricas (flash/stroke): tempo, localização coordenadas (lat/lon ou UTM), corrente de pico, polaridade, multiplicidade, tempo de ascensão, tempo do pico ao zero e outras informações disponíveis da APA2000 (UALF – Universal ASCII Lightning Format - Formato ASCII Universal de Descargas Atmosféricas).
- Manipulação de dados para geração de mapas de densidade: densidade total, densidade de descargas positivas, percentual de descargas positivas/negativas, dias de tempestade ou níveis isocerânicos para um dado período e região selecionados pelo usuário;
- Análise de eventos: correlação entre descargas atmosféricas e perturbações em linhas de comunicação ou de transmissão/distribuição de energia elétrica;
- Análises estatísticas: distribuição cumulativa, histogramas de contagem e gráficos de dispersão baseados em dados selecionados pelo usuário;
- Integração com informações de satélite meteorológico e de radar com propósitos de previsão do tempo – Figuras 3 e 4;

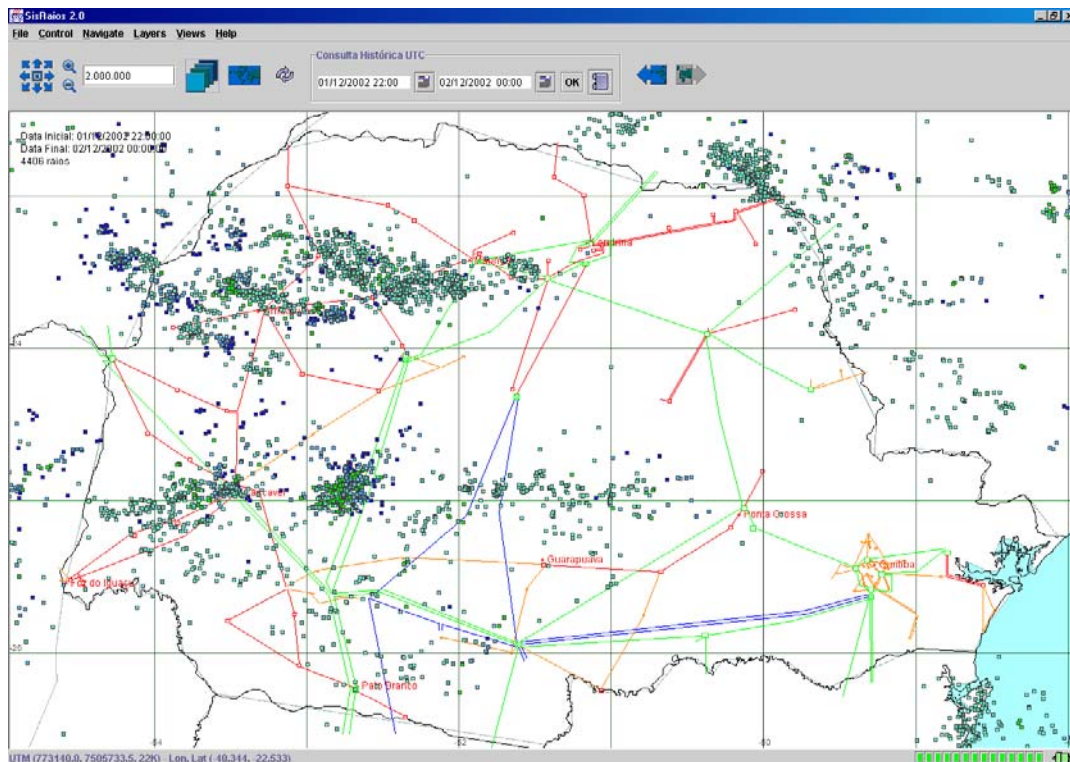


FIGURA 2 – Aplicativo de visualização e análise de descargas elétricas atmosféricas com a localização das linhas de transmissão da COPEL. As diferentes cores das descargas representam os diferentes horários de ocorrência, de modo a facilitar o monitoramento da propagação das tempestades.

4.0 - APLICAÇÕES NOS SISTEMAS DE TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

No setor elétrico, em particular em empresas de transmissão de energia elétrica uma ferramenta computacional de análise e visualização de descargas elétricas desta natureza pode ser empregada na pré-operação de sistemas, para geração de mapas de densidade de descargas atmosféricas, mapas cerânicos, etc., com a finalidade de planejar e melhorar a proteção de linhas de transmissão. Na operação de sistemas elétricos, pode-se fazer um monitoramento de tempestades mais eficiente, acompanhando em tempo-real a ocorrência, e prevendo o deslocamento de tempestades com descargas atmosféricas. Isto facilita o manejo do sistema e acionamento prévio de equipes de manutenção, reduzindo o tempo para localização de falhas e o tempo de interrupção no fornecimento de energia. Na pós-operação, o software permitirá análises de correlação entre descargas atmosféricas e desligamentos dos sistemas, auxiliando a avaliação do desempenho das linhas de transmissão.

Atualmente, este aplicativo (Figura 3) é utilizado no SIMEPAR, na Companhia Paranaense de Energia (COPEL) e outras empresas do setor de transmissão e distribuição de energia no Brasil para monitoramento de descargas atmosféricas em tempo real e de dados históricos, bem com a análise de correlação entre os desligamentos e as descargas atmosféricas. Espera-se que esta ferramenta computacional auxilie as empresas do setor elétrico a monitorar e diagnosticar as falhas ocorridas por descargas atmosféricas, fornecendo informações

para a melhoria de das atividades operacionais, bem como em projetos e operação de linhas de transmissão, acionamento de equipes de manutenção, entre outros, resultando em energia de melhor qualidade.

Na COPEL, a aplicação imediata do sistema de monitoramento e previsão de tempestades está na operação do sistema de transmissão de energia. O monitoramento em tempo real das tempestades elétricas permite o manejo adequado do sistema e acionamento prévio de equipes de manutenção, minimizando eventuais tempos de desligamentos.

Além desta aplicação, a consulta ao banco de dados do SIMEPAR para exibição de dados históricos tem se mostrado uma ferramenta importante na pós-operação do sistema. Pode-se avaliar o desempenho de linhas de transmissão em função dos desligamentos e da incidência de descargas atmosféricas e planejar de maneira mais adequada a proteção para estas linhas.

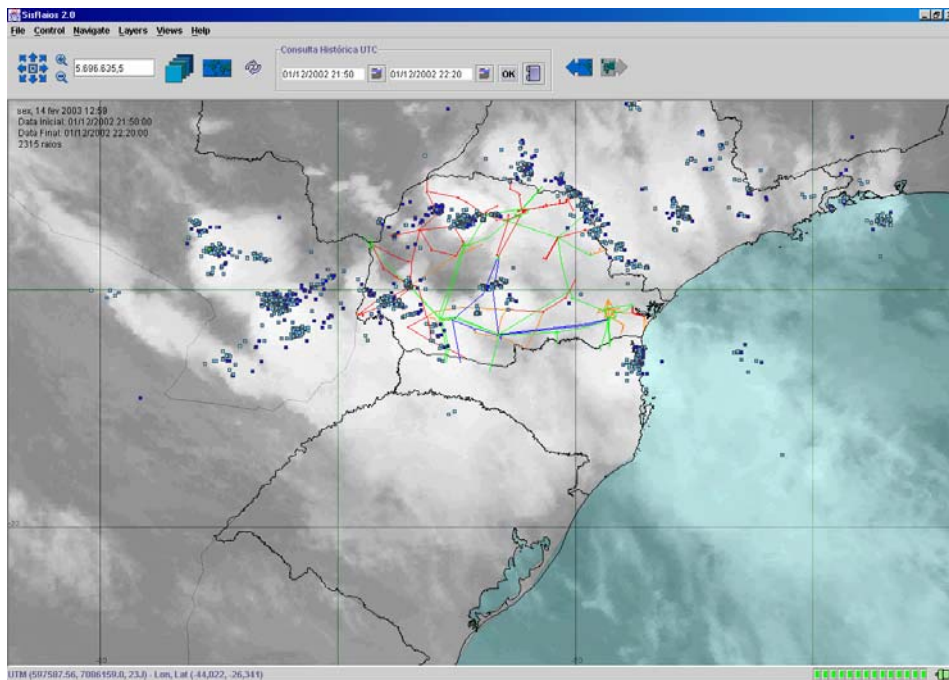


FIGURA 3 – Aplicativo de visualização e análise de descargas elétricas atmosféricas integradas com a imagem de satélite GOES 12 com a localização das linhas de transmissão da COPEL. As tonalidades em branco representam nuvens e quanto mais branco mais são maior profundidade.

5.0 - INTEGRAÇÃO RAIOS X RADAR

O acompanhamento da formação, do desenvolvimento e da dissipação das tempestades é importante para o monitoramento e a previsão da incidência de descargas elétricas atmosféricas. Uma vez identificada o estágio de crescimento da tempestade, sua forma e sua disposição pode-se prever a incidência de raios em determinadas localidades. Este mecanismo surgiu dos estudos de nuvens geradoras de descargas elétricas das condições meteorológicas que proporcionam o desenvolvimento de tais tempestades (1) e (4).

Na Figura 4 está apresentado um exemplo de integração de dados de descargas atmosféricas e de uma imagem de radar por meio de um aplicativo desenvolvido no SIMEPAR (3). Este aplicativo utiliza os dados do radar do SIMEPAR para o acompanhamento de tempestades num raio de 480 km em torno do radar (localizado em Teixeira Soares). As imagens são disponibilizadas a cada 5 minutos no raio de 200km, em 10 minutos no raio de 480km e integradas com os dados de descargas atmosféricas. Os dados de radar são chamados de refletividade, que significa o sinal emitido pelo radar e retornado (retroespalhado) pelas gotas de água da nuvem. As nuvens mais intensas e profundas têm um conteúdo maior de água com uma distribuição de gotas de maior diâmetro, fazendo com que o sinal retornado pelo radar seja maior, possibilitando assim a identificação das tempestades. A escala representada na Figura 4 mostra que as tonalidades de azul, verde e amarelo são de nuvens estratiformes que produzem chuvas de fraca a moderada intensidade. Na escala em vermelho e roxo são

nuvens mais desenvolvidas e nas escalas maiores são tempestades. Observa-se pela figura que as descargas elétricas coincidem com a linha de tempestades identificadas na imagem de radar.

Desta forma, integrando as imagens geradas a cada 5 minutos de radar com as informações em tempo real de descargas elétricas atmosféricas num ambiente georeferenciado como as linhas de transmissão, podemos monitorar eficientemente se a propagação e a formação de tempestades ocorrerão sobre linhas de transmissão ou regiões importantes no fornecimento de energia elétrica.

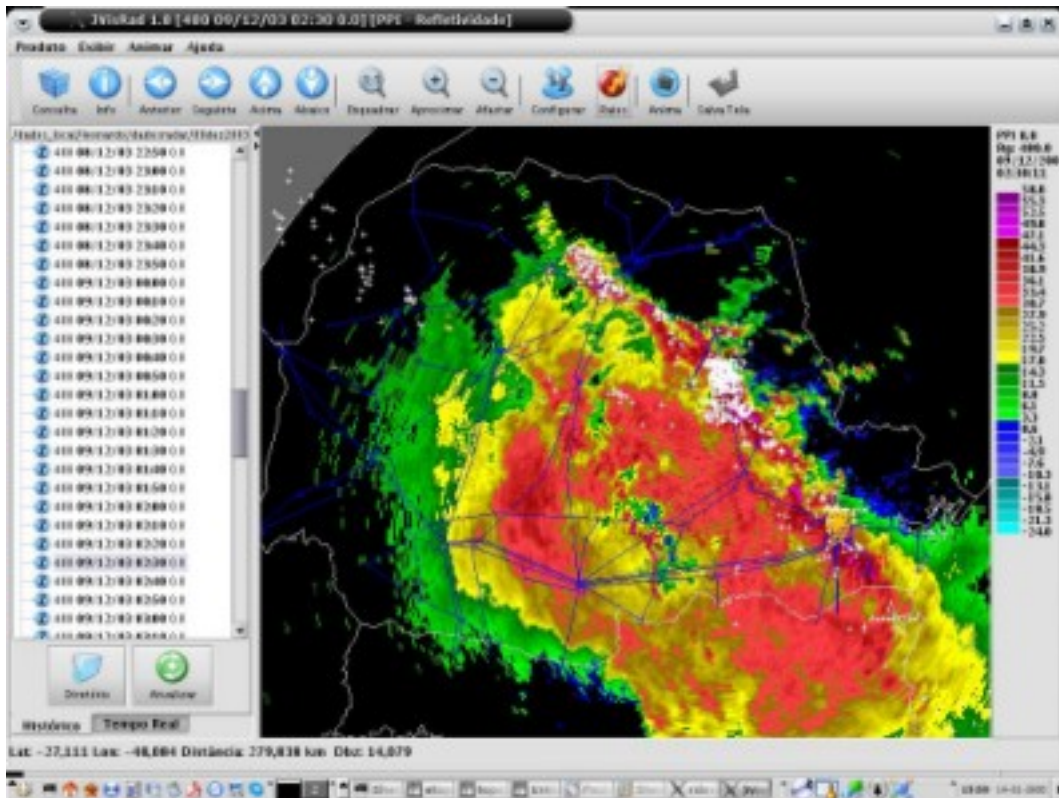


FIGURA 4: Integração dos dados do radar meteorológico Doppler do SIMEPAR e dados de descargas elétricas atmosféricas da RINDAT. Na figura mostram-se as linhas de transmissão da COPEL georeferenciadas juntamente com as nuvens de chuva e os raios com o propósito de monitoramento e previsão da ocorrência de tempestades em áreas de risco da COPEL Transmissão.

6.0 - SISTEMA DE BOLETINS E ALERTAS DE TEMPESTADES

Em diversas situações a identificação e a transmissão de informações sobre a formação, propagação e desenvolvimento de tempestades podem ser inócuas ao sistema operacional de controle se estas informações não chegarem a um grupo de controle de operação e manutenção em devido tempo hábil. Desta forma o SIMEPAR desenvolveu um grupo de operação que trabalha 24h por dia revezando meteorologistas em diversos períodos para manter um acompanhamento em tempo total para monitorar e alertar em tempo hábil todos os setores que podem ser afetados pela ocorrência de tempestades que em geral estão acompanhadas de rajadas de vento, chuva e descargas elétricas atmosféricas.

Utilizando linhas telefônicas dedicadas e pessoas treinadas para receber a informação, houve uma grande melhoria na eficiência da transmissão das informações, aumentando o tempo de operação e controle da manutenção de linhas de transmissão.

7.0 - CONCLUSÕES

Foi desenvolvido um sistema de identificação, monitoramento e previsão de tempestades, acoplado com sistema de disseminação de informações meteorológicas. Os dados da Rede Nacional Integrada de Detecção de Descargas Elétricas Atmosféricas (RINDAT) são recebidos e processados em tempo real e dispostos em um aplicativo georeferenciado com linhas de transmissão e com possibilidade de integração de informações da disposição de nuvens e de tempestades por meio de satélites e radares meteorológicos.

Na COPEL, a aplicação imediata do sistema de monitoramento e previsão de tempestades está na operação do sistema de transmissão de energia. O monitoramento em tempo real das tempestades elétricas permite o manejo adequado do sistema e acionamento prévio de equipes de manutenção, minimizando eventuais tempos de desligamentos. Além desta aplicação, a consulta ao banco de dados do SIMEPAR para exibição de dados históricos tem se mostrado uma ferramenta importante na pós-operação do sistema. Pode-se avaliar o desempenho de linhas de transmissão em função dos desligamentos e da incidência de descargas atmosféricas e planejar de maneira mais adequada a proteção para estas linhas.

A partir do processamento e o desenvolvimento de aplicativos para análise e visualização foi desenvolvido um sistema de disseminação das informações 24h por dia com o objetivo de aumentar a eficiência entre a identificação de fenômenos meteorológicos e a atuação dos centros operacionais de controle e manutenção de transmissão de energia elétrica.

A experiência tem mostrado uma melhoria na identificação de tempestades, no monitoramento da propagação e do desenvolvimento de tempestades geradoras de descargas atmosféricas e uma otimização na disseminação das informações para as empresas do setor de energia elétrica, proporcionando um maior tempo entre a identificação das tempestades e a atuação dos centros operacionais de controle e operação dos sistemas elétricos.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Beneti, C. A. A., L. Calvetti, M. A. Jusevícius e A. J. Pereira Filho (2002). Características elétricas e hidrometeorológicas de uma tempestade severa no Paraná IN: XIII CONG. BRAS. DE METEOROLOGIA, Fortaleza, CE.
- (2) Beneti, C. A. A., E. A. Leite, S. A. M. Garcia, L. A. R. Assunção, A. Cazetta Filho, e R. J. Reis (2000). RIDAT - Rede integrada de detecção de descargas atmosféricas – perspectivas e futuro. IN: XI CONG. BRAS. DE METEOROLOGIA, Rio de Janeiro, RJ.
- (3) Calvetti, L., C. A. A. Beneti, e C. W. Zandoná (2002). Sistema integrado de análise e visualização de dados de radar meteorológico Doppler. IN: XII CONG. BRAS. DE METEOROLOGIA, Foz do Iguaçu, PR.
- (4) Carey, L. D. e S. A. Rutledge (1998). Electrical and multiparameter radar observations of a severe hailstorm. *Jour. Geoph. Research*, 103(D12), 13979-14000.
- (5) Cummins, K. L., M. J. Murphy, E. A. Bardo, W. L. Hiscox, R. B. Pyle and A. E. Pifer (1998). A combined TOA/MDF technology upgrade of the US National Lightning Detection Network, *J. Geophys. Res.*, 103, p. 9035-9044.
- (6) Gin, R. B. B. e C. A. A. Beneti (2003). Cloud-to-ground lightning flash density of Southeastern of Brazil: 2001. IN: VII INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LIGHTNING PROTECTION, Curitiba, PR.
- (7) Gin, R. B. B., A. J. Pereira Filho e M. A. F. Silva Dias (1998). Estudo das descargas elétricas atmosféricas em sistemas convectivos organizados: análise preliminar. IN: X CONG. BRAS. DE METEOROLOGIA, Brasília, DF.
- (8) Goodman, S. J. (2003). Atmospheric electrical activity and the prospects for improving short-term weather forecasting. IN: 12 TH INTERN. CONF. ON ATMOS. ELECTRICITY., Versailles, France.
- (9) Pinto, I. R. C. A., O. Pinto Jr., R. B. B. Gin, J. H. Diniz, R. L. Araújo, e A. M. Carvalho (1992). Coordinated study of a storm system over South American continent. 2. Lightning related data. *J. Geophys. Res.*, 97, 18205-18213.

- (10) MacGorman, D. R. e W. D. Rust (1998). *The electrical nature of storms*. Oxford Uni. Press, 422pp.
- (11) Wacker, R.S. e R. E. Orville (1999). Changes in measured lightning flash count and return stroke peak current after the 1994 US National Lightning Detection Network upgrade. Part I: Observations. *J. Geophys. Res.*, 104, p. 2151-2157.
- (12) William, E. R., B. Boldi, A. Matlin, M. Weber, S. Hodanish, D. Sharp, S. J. Goodman, R. Raghavan, e D. E. Buechler (1999). The behavior of total lightning activity in severe Florida thunderstorms. *Atmos. Res.*, 51, 245-265.
- (13) Wilson, J. W., N. A. Crook, C. K. Mueller, J. Sun, e M. Dixon (1998). Nowcasting thunderstorms: status report. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79, 2079-2098.