



GRUPO III

GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

Implantação de Sistema de Monitoramento de Risco de Incêndio nas Linhas de Transmissão no Trecho Imperatriz-Presidente Dutra (Maranhão)

Gutemberg Borges França (*)¹, Célia Maria Paiva¹, José Ricardo de Almeida França¹, Luiz Francisco Pires Guimarães Maia¹, Luciana Mara Temponi de Oliveira¹, Eduardo Barbosa Corrêa¹, Antônio do Nascimento Oliveira¹, Michael Bezerra da Silva¹ e Raimundo Nonato Rosa Filho²

¹Laboratório de Meteorologia Aplicada – Universidade Federal do Rio de Janeiro

²Eletronorte Centrais Elétricas do Norte do Brasil S. A.

Resumo

Neste trabalho são apresentados os principais passos da implantação de um Sistema de Monitoramento de Risco de Incêndio na empresa Eletronorte Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A., no trecho da linha de transmissão entre os municípios de Imperatriz e Presidente Dutra no estado do Maranhão. O sistema tem como finalidade a estimativa do risco de incêndios (diagnóstico e prognóstico), com base no estado do ecossistema e de dados meteorológicos prognosticados a partir de modelos numéricos, respectivamente. O Sistema envolve, ainda, a detecção de focos de calor em tempo quase real, através de técnicas de sensoriamento remoto orbital, cobrindo a área de influência direta ao longo do traçado da linha de transmissão. São apresentados e discutidos os resultados preliminares que envolvem a metodologia utilizada para escolha dos locais apropriados para instalação de duas plataformas meteorológicas de coleta de dados e os métodos de aferição do modelo paramétrico de estimativa de risco de incêndio.

Palavras chave: fogo, risco, monitoramento

1. Introdução

Os incêndios florestais, representam um dos principais riscos para o setor elétrico, tendo em vista que grande parte do percurso das linhas de transmissão na região norte do Brasil, atravessam áreas densamente vegetadas. Estas linhas estão sujeitas a sérios riscos de interrupção do fornecimento de energia, que representam grandes prejuízos econômicos e sociais.

Os períodos mais suscetíveis ao surgimento de focos de incêndio em regiões vegetadas ocorrem quando a cobertura vegetal está sob condições de estresse hídrico acentuado. Os períodos de secas em uma determinada região e o estado da vegetação, podem ser identificados por meio da análise do balanço hídrico climatológico e pelo acompanhamento dos índices de vegetação obtidos por sensoriamento remoto, respectivamente.

A Eletronorte é uma concessionária de energia elétrica que atua na Região Norte do Brasil, atuando como geradora e supridora de energia elétrica para todos os estados da Região Norte e os Estados do Maranhão e Mato Grosso. Sua capacidade de geração é de 5.433 MW, provenientes de 4 usinas hidrelétricas e de 12 usinas termelétricas. Conta com 6.120 km de linhas de transmissão. Sua área de atuação representa 58% do território nacional (Castro, 2006).

(*) Rua Athos da Silveira Ramos, 274 - Cidade Universitária – CEP 21941-916 - Centro de Ciências Matemáticas e da Terra - Instituto de Geociências - Departamento de Meteorologia – telefone: (21) 2598-9470 R22

Embora o objetivo do projeto, em desenvolvimento, seja o de testar e implementar uma metodologia operacional para o monitoramento de risco de incêndios ao longo do trecho da linha de transmissão, já mencionada, o estágio atual do trabalho ainda não permite apresentar resultados finais. Portanto, aqui, são apresentados dois resultados parciais, a saber: a) estudo diagnóstico dos dados ambientais baseado no tipo e na evolução temporal da vegetação, nos registros de focos de fogo e no balanço hídrico da região para a determinação dos locais mais adequados e representativos para instalação das Plataformas de Coleta de Dados (PDC) que proverão os dados de “input” do modelo diagnóstico do risco de incêndio; e b) ajuste dos modelo paramétrico de risco de incêndio (Fórmula de Monte Alegre, Soares, 1989)

2. Metodologia

2.1 Área de estudo

Área da Amazônia sob e entorno da Linha de Transmissão de Energia Elétrica com extensão de 382 km, no Estado do Maranhão, sendo as coordenadas geográficas mais extremas da linha 5.42°S e 47.46°W a 5.44°S e 45.20°W, totalizando 882 torres e entre os municípios de Imperatriz e Presidente Dutra.

2.2 Dados

Para a elaboração do estudo foram utilizadas os seguintes conjuntos de dados:

a) série temporal do EFAI-NDVI, desenvolvido por *Stöckli (2004)*, com resolução temporal de 10 dias e espacial de 0.1° x 0.1°, do período de 1982 a 1999. O EFAI-NDVI foi gerado a partir do “Pathfinder”, NDVI do Advance Very High Resolution Radiometer (AVHRR) a bordo dos satélites da série NOAA 7, 9, 11 e 14, calculado com as reflectâncias nos canais visível (R – canal 1) e infravermelho próximo (NIR – canal 2). Através duas etapas: 1) interpolação espacial ponderada pelo inverso da distância para o preenchimento dos pixels com falhas; e 2) interpolação temporal por meio do ajuste de Fourier com e sem peso, o que permitiu a obtenção de uma série temporal do índice com variação sazonal mais livre dos ruídos a que os dados do AVHRR estão sujeitos (*Gutman 1991; Tanré et al. 1992, Kogan 1995*). A metodologia de geração do EFAI-NDVI é apresentada em *Stöckli and Vidale (2004)* e *Stöckli (2004)*.

b) mapa de Vegetação do Brasil na escala 1:5.000.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE);

c) normais Climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) referente ao período de 1961 a 1990 das estações de Imperatriz (latitude 5.53°S e longitude 47.50°W), Grajaú (latitude 5.80°S e longitude 46.45°W) e Barra do Corda (latitude 5.50°S e longitude 45.16°W), (*Brasil 1992*);

d) registros de focos de calor do período de 1993 a 2006 em grade de 0.5°x0.5° do Estado do Maranhão obtidos do banco de dados da Empresa Brasileira de Agropecuária (*EMBRAPA 2006*); e

e) dados de temperatura, umidade do ar, intensidade do vento, precipitação, temperatura e umidade do combustível medidos horariamente através de duas Plataformas de Coletas de Dados (PCDs), instaladas nas áreas consideradas de alto risco de incêndios.

2.3 Métodos

O sistema representado na Figura 1 é configurado nas seguintes etapas:

1 – classificação da região de estudo quanto ao potencial de risco de incêndio baseando-se na fisionomia dos tipos de s vegetação ao longo da Linha de Transmissão. Os tipos de vegetação com extrato arbóreo, arbustivo e vegetação herbáceos são classificados de alto, médio e baixo risco de incêndio respectivamente;

2 – cálculo do balanço hídrico climatológico médio mensal utilizando o método de *Thornthwaite (1955)*.

3 – estudo da variação sazonal do estado da vegetação através dos valores médios decendiais do EFAI-NDVI durante o período de 1982 a 1999;

4 – uso dos dados pretéritos de focos de calor de 1993 a 2006. Estes focos foram processados no intuito de se estabelecer quais as regiões de maior risco à ocorrência de incêndios. Estas áreas foram numeradas de 1 a 12 (Figura 2) e correspondem a grade formada com resolução espacial de 0.5° x 0.5° na região de estudo;

5 – com a utilização de um sistema de informação geográfica, todas estas informações são espacializadas e confrontadas para a determinação das regiões mais suscetíveis a ocorrência de incêndios;

6 - implantação de um modelo matemático para o monitoramento do risco de incêndio (MRI), que recebe diariamente informações meteorológicas para o cálculo do índice diagnóstico do risco de ocorrência de incêndios ao longo do trecho da linha de transmissão. Para o prognóstico, o modelo recebe informações de um modelo meteorológico de alta resolução, que irá obter a tendência do índice de risco de incêndio para até 36 horas. O MRI foi baseado no cálculo do índice de Monte Alegre, proposto por Soares(1998).

2.3.1 Sistema Integrado

O Sistema de Monitoramento do Risco de Incêndio (SMRI) na Eletronorte é constituído por diferentes etapas descritas a seguir e ilustradas na Figura 1:

1) duas plataformas de coleta de dados (PCD's) instaladas em torres situadas ao longo da linha de transmissão da Eletronorte (LT's) registram dados de temperatura e umidade relativa do ar, temperatura e umidade do combustível, direção e intensidade do vento e precipitação. As informações são armazenadas e transmitidas automaticamente de hora em hora, pelas próprias PCD's, para o Satélite Brasileiro de Coleta de Dados (SCD-2) e deste para o Centro de Missão de Coleta de Dados (CMCD), no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), onde os dados são processados e em seguida enviados automaticamente para o sistema idealizado e apresentado neste artigo;

2) os dados das PCD's, juntamente com as informações meteorológicas prognosticadas geradas pelo modelo atmosférico de mesoescala são transferidos diariamente para um computador dedicado ao SMRI – Eletronorte localizado no Laboratório de Meteorologia Aplicada da Universidade Federal do Rio de Janeiro (LMA-UFRJ);

3) os dados da 2ª etapa alimentam o Modelo de Risco de Incêndio (MRI), que calcula os índices de susceptibilidade a ocorrência de incêndio ao longo da LT. A partir dessa informação, são gerados mapas que indicam os locais, ao longo da LT da Eletronorte, susceptíveis à ocorrência e alastramento do(s) foco(s) de incêndio(s);

4) informações de focos de calor, obtidos através dos satélites NOAA, MODIS e GOES são acessados via FTP;

5) os dados das PCD's (ELETRONORTE), os produtos do modelo atmosférico, as informações de focos de calor (INMET/NASA) e do MRI (UFRJ) são transferidas automaticamente para uma página eletrônica, visualizada em tempo real pelos operadores da Eletronorte. O processamento do MRI e de todos os programas escritos em Shell Script e Fortran são monitorados diariamente;

6) todas as informações descritas na etapa anterior, visam contribuir para o processo de tomada de decisão e manutenção de emissão de alertas e tomadas de decisões, contra os incêndios ao longo da LT;

7) armazenamento de todos os dados mostrados e construção de um banco de dados.

A Figura 1 apresenta o fluxograma descritivo do projeto em seu modo operacional.

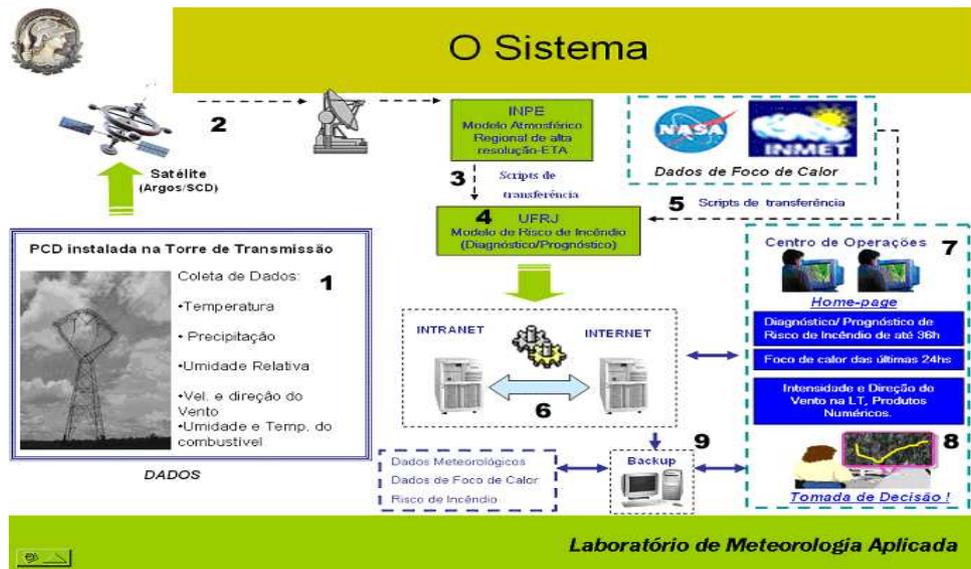
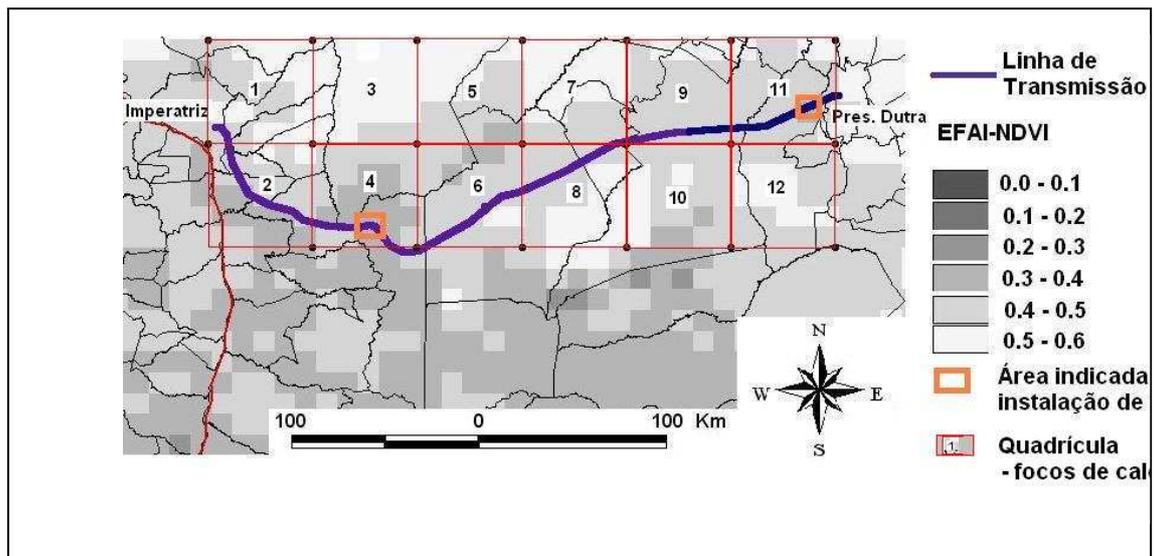


Figura 1 - Etapas de implantação do Sistema Integrado de Monitoramento de Risco de Incêndio no trecho de Linha de Transmissão Imperatriz-Presidente Dutra.

3. Resultados Preliminares

Baseado na metodologia descrita nos itens 2.2 e 2.3 as áreas ao longo da linha de transmissão foram classificadas de acordo com o risco verificado. A Figura 2a mostra a localização da linha de transmissão e o comportamento do índice de vegetação (valores médios decenais do EFAI-NDVI durante o período de 1982 a 1999). Assume-se em uma escala de cores que vai do branco (muito baixo risco) ao cinza escuro (risco muito alto).

Além disso, foi verificado o histórico de focos de calor observados durante o período de 1993 a 2006 (Figura 2b), bem como os focos observados apenas durante os últimos 3 anos (Figura 2c), objetivando confrontar as áreas de maior risco em torno da linha de transmissão com a incidência de incêndios nessas mesmas áreas.



(a)

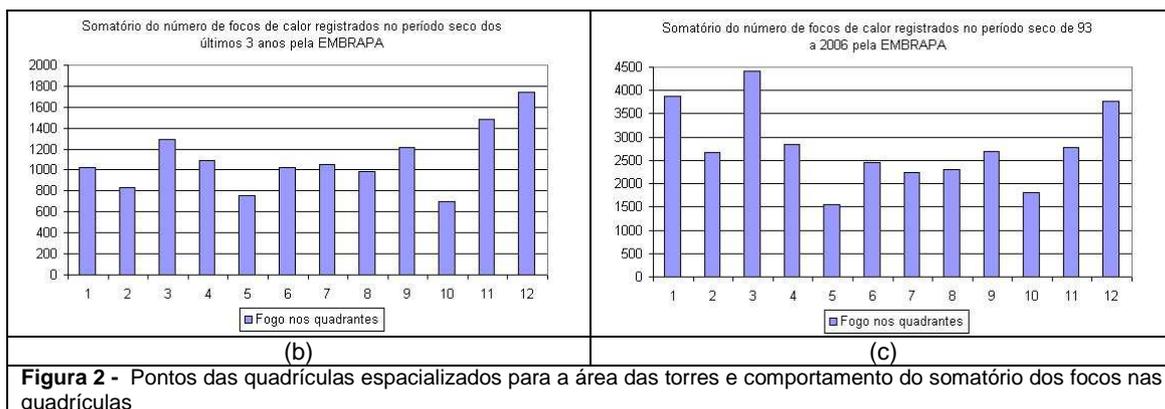


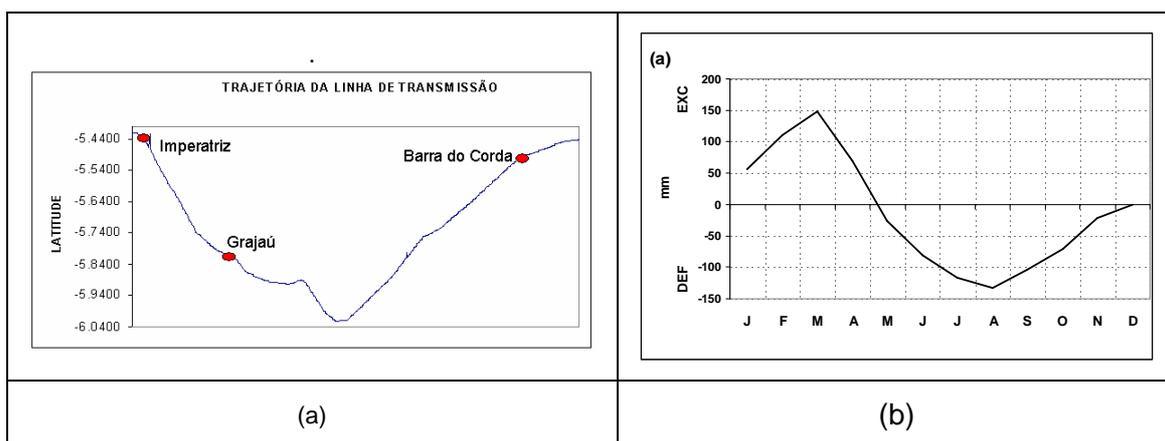
Figura 2 - Pontos das quadriculas espacializadas para a área das torres e comportamento do somatório dos focos nas quadriculas

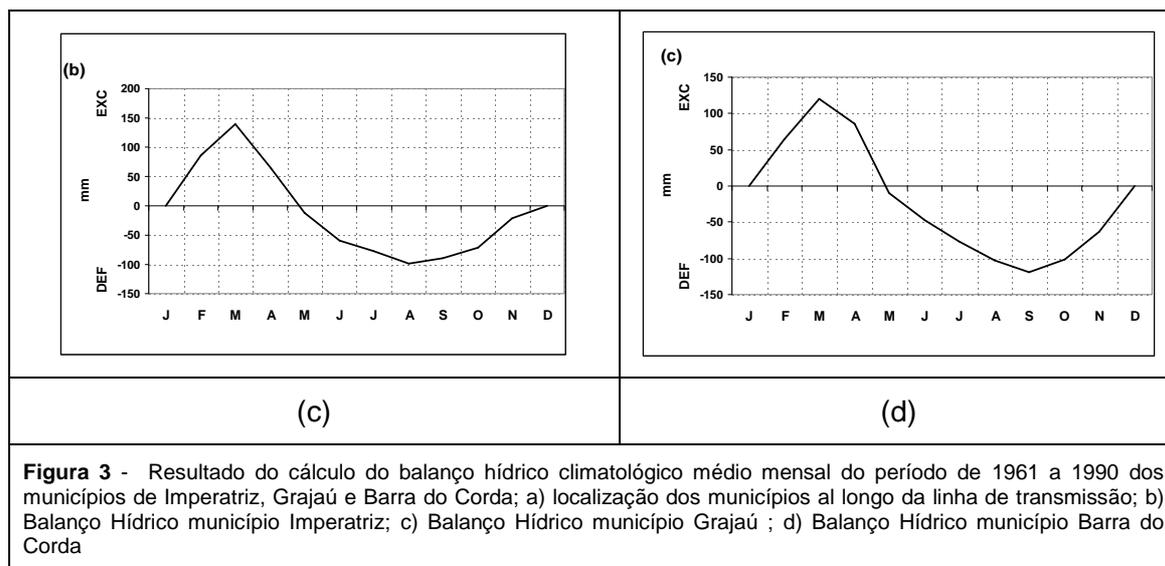
Para efeito da realização dessa comparação a região em torno da linha de transmissão foi dividida em quadriculas onde foi realizado o somatório da quantidade de focos de incêndio observadas em cada quadricula. Desse modo, considerando que a linha de transmissão em estudo cruza as quadriculas de números 1, 2, 4, 6, 8, 9 e 11, pôde-se verificar as áreas que apresentaram maior risco de incêndio (conforme comportamento do NDVI-EFAI) e os elevados registros de foco de calor observados, encontram-se nas quadriculas 4 e 11, assinaladas na Figura 2a com quadrados de cor laranja.

3.1 Análise Pluviométrica

Com o objetivo de identificar os períodos mais secos foi feito um levantamento dos padrões climatológicos para o campo de precipitação sobre o Estado do Maranhão, o que tornaria a região mais susceptível ao risco de incêndios. Foram utilizados os dados observados coletados nas estações meteorológicas localizadas nos municípios de Imperatriz, Grajaú e Barra do Corda, para os quais foi possível elaborar o Balanço Hídrico utilizando a técnica de Thornthwaite e Mather (1955) citado por Pereira (2002), tendo em vista a disponibilidade de dados do INMET.

Os gráficos do balanço hídrico para os três municípios apresentados nas Figuras 3b, 3c e 3d, mostram respectivamente os períodos de ocorrência de excedente e de deficiência hídrica (DEF) em milímetros. Nos três casos, os períodos de excedente hídrico iniciam no mês de janeiro indo até o mês de abril, com um valor máximo no mês de março. Em relação a deficiência hídrica, esse período inicia no mês de maio terminando em dezembro, com uma deficiência hídrica mais acentuada no mês de agosto nos municípios de Imperatriz (Figura 3b) e Grajaú (Figura 3c) e no mês de setembro no município de Barra do Corda (Figura 3d).





Pode-se também observar na Figura 3 duas estações bem definidas pluviometricamente, uma compreendida entre os meses de Fevereiro a Abril, caracterizando a estação chuvosa e outra entre os meses de Julho a Outubro, representando o período com déficit hídrico.

3.1 Resultados Preliminares do Modelo de Risco de Incêndio (MRI)

Para analisar o desempenho do MRI, foram geradas tabelas de contingência, confrontando valores observados de focos de calor com valores previstos pelo MRI, para um conjunto de eventos. Essa análise foi feita entre no período compreendido entre os meses de junho e outubro de 2006, correspondendo ao período mais seco e com os maiores índices de queimadas registrados na região, de acordo com o levantamento feito pelo balanço hídrico e a resposta do índice de vegetação, já apresentados anteriormente.

Nas tabelas de contingência, foram calculados os percentuais de sucesso dos resultados analisados. A segunda etapa consistiu na alteração das faixas de risco de incêndio para que se obtivesse o máximo de resposta entre o risco de incêndio previsto e os focos de calor observados.

Foram analisados 127 eventos, onde o MRI prognosticou 101 eventos de incêndio, que coincidiram com os focos observados, 3 eventos de não incêndio que coincidiram com o registro de focos. Entretanto, o MRI não prognosticou 10 eventos de incêndio, observados pelos focos de calor. Por outro lado, isso pode ocorrer pela ação antrópica. Importante ressaltar que o índice calculado pelo MRI, não diz que ocorrerá incêndios, mas a possibilidade de existir uma fagulha de fogo que pode se alastrar pelo terreno.

Tabela 1 - cruzamento dos cálculos obtidos com o MRI e os focos de calor registrados, utilizando-se as faixas de risco de incêndio originais do modelo				
Evento		Observado		Total Previsto
		Incêndio	Não Incêndio	
Previsto	Incêndio	101	13	114
	Não Incêndio	10	3	13
Total Observado		111	16	127

Na Tabela 2 são apresentados os percentuais de acerto calculados a partir da Tabela1 para o MRI. Verifica-se que o modelo atingiu aproximadamente 91% de acertos no item Incêndio Previsto e Incêndio Observado e 19 % no item Incêndio Não Previsto e Incêndio Não Observado. O modelo registrou 9% de erros no item Incêndio Não Previsto e Incêndio Observado (que também pode ser atribuído a ação antrópica).

Tabela 1 - percentuais de acerto dos cálculos obtidos com o Modelo MRI utilizando-se as faixas de risco de incêndio originais.				
Evento		Observado		Total Previsto
		Incêndio	Não Incêndio	
Previsto	Incêndio	0,91	0,81	1,72
	Não Incêndio	0,09	0,19	0,28
Total Observado		1	1	2

A partir dessas análises, obteve-se as seguintes informações:

p =	0,87
q =	0,90
N – Numero total de observações	
N =	127
G – Número de acertos na previsão	
G =	104
H – Numero esperado de acertos	
H =	101
PS - Porcentagem de Sucesso	
PS =	0,82

Verificou-se que no total de 127 observações, o modelo registrou 104 acertos (G) no cálculo de risco de incêndio, alcançando uma Percentagem de Sucesso de 82% (PS).

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que o índice calculado pelo modelo de risco de incêndio, representa bem os atmosféricos para inicialização de um incêndio.

4. Conclusão

Através da análise dos resultados obtidos na verificação das áreas de maior risco de incêndio e maior incidência de focos de calor observados, concluiu-se que os locais mais representativos para a instalação das Plataformas de Coleta de Dados seriam os municípios de Sítio Novo, entre as torres de transmissão de número 252 a 269 e 290 a 308, e no município de Tuntum, entre as torres de número 826 a 853, localizados, respectivamente, nas quadriculas 4 e 11 da Figura 2a.

O índice calculado pelo MRI, representou bem os padrões atmosféricos nas proximidades da linha de transmissão da Eletronorte. Com bons percentuais de acertos e reduzidos percentuais de erros, padrões que são exigidos pelo setor elétrico, para que se possa obter um melhor ajuste no diagnóstico e prognóstico de incêndios florestais ao longo das LT's. Pretende-se que o sistema de monitoramento, como apresentado na figura 1, esteja totalmente operacional no início de junho de 2007.

5. Bibliografia

BRASIL, 1992, Normais Climatológicas: 1961-1990. Departamento Nacional de Meteorologia, Secretaria Nacional de Irrigação, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Brasília, 84p.

IBGE, 1992, Manual Técnico da Vegetação Brasileira, Rio de Janeiro, IBGE, Série Manuais Técnicos em Geociências, número 1, 92 p.

IBGE, 1993, Recursos naturais e meio ambiente. Uma visão do Brasil, Rio de Janeiro, IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 154p.

CASTRO, N. J., 2006, Evolução das empresas de energia elétrica no Brasil em 1999, disponível at: <http://www.nuca.ie.ufrj.br/livro/acompanhamento/eletronorte.htm> (acesso em 01 de dezembro de 2006).

EMBRAPA, 2006: Available on line at: http://www.queimadas.cnpm.embrapa.br/bases/base_2006.htm (acesso em julho de 2006).

GUTMAN, G. G., 1991, Vegetation indices from AVHRR: an update and future prospects. *Remote Sensing of Environment*, 35, 121–136.

KOGAN, F.N., 1995, Applications of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advance Space Research*, 15, 91-100.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, LR; SENTELHAS, P.C., *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas*. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

STÖCKLI, R., 2004, Modeling and observation of seasonal land – surface heat and water exchanges at local and catchments scales over Europe. Thesis (Doctor in Natural Sciences). Swiss Federal Institute of Technology, ETH. 155p.

STÖCKLI, R., VIDALE, P. L., 2004, European plant phenology and climate as seen in a 20-year AVHRR land-surface parameter dataset. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 3303-3330.

SOARES, R. V. Desempenho da "Fórmula de Monte Alegre" Índice brasileiro de perigo de incêndios florestais: *Revista Cerne*, v.4, n.1, p.87-98. 1998.

TANRÉ, D., HOLBEN, B.N. KAUFMAN, Y. J., 1992, Atmospheric correction algorithm for NOAA-AVHRR products: Theory and applications. *IEEE Trans Geosciences and Remote Sensing*, 30, 231-248.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R., 1955, *The water balance*. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 104p. *Climatology*, vol. VIII, n.1.