

Elaboração de um Fator de Risco de Incêndios Florestais utilizando Lógica Fuzzy

Isaac D. B. da Silva¹, Antonio C. F. Pontes Jr.²

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UFAC – 69.915-900, Rio
Branco/AC.

Resumo. Neste trabalho, foi elaborado um índice de fator de risco de incêndios florestais utilizando a lógica fuzzy. A utilização de índices de perigo confiáveis é essencial para um planejamento mais eficiente das medidas de prevenção e para a adoção de ações rápidas e efetivas nas atividades de combate aos incêndios florestais. Para isso, utilizou-se um sistema dinâmico p-fuzzy cujas variáveis linguísticas de entrada são a umidade relativa do ar e a precipitação, medidas diariamente, e a de saída é a variação do fator de risco (VRF). Após a comparação entre o comportamento do fator de risco, calculado a partir de dados de umidade e precipitação da cidade de Rio Branco/AC, nos anos de 2005 e 2006, com o número de focos de calor registrados por satélites, verificou-se que este fator de risco fuzzy possui uma boa resposta para representar o risco de incêndios e também consegue, para as condições climáticas características da região Norte, um desempenho melhor que o índice do fator de risco de Monte Alegre.

Palavras-chave: *Incêndios Florestais; Lógica Fuzzy; Sistema Dinâmico p-fuzzy.*

1. Introdução

É indiscutível a importância da floresta amazônica, não só para os povos que nela vivem, mas para o restante do mundo. Os incêndios que nela ocorrem deixam-na mais propensa a novos focos de calor, destroem a vegetação local e prejudicam a população local que precisam dela para tirar seu sustento.

¹isaacpbs@yahoo.com.br

²acfjpr@gmail.com

No estado do Acre, durante o período seco do ano de 2005, parte das queimadas causadas por fogos intencionais fugiu do controle e tornaram-se incêndios que destruíram ou danificaram milhares de hectares de florestas. Estimativas feitas para a região leste do Acre, utilizando imagens de satélite, indicam que foram queimados mais de 200.000 hectares de áreas abertas (pastos e áreas agrícolas). De acordo com cálculos efetuados pela Defesa Civil do Estado, o resultado dessas queimadas deste ano geraram prejuízos na ordem de mais de cem milhões de reais (Brown e Vasconcelos, 2006). Por esse motivo, o estudo deste trabalho foi realizado primordialmente a partir dos dados de umidade, precipitação e número de focos de calor da cidade de Rio Branco/AC no ano de 2005. Os dados referentes ao ano de 2006 foram utilizados somente para verificação da qualidade dos resultados através da comparação do índice com o número de focos de calor em outro ano.

A ocorrência e a propagação dos incêndios florestais estão fortemente associadas a fatores climáticos. A utilização de dados meteorológicos precisos é extremamente importante para o planejamento de prevenção e combate aos incêndios florestais. Dentre as medidas preventivas existentes, a utilização de um índice de perigo confiável é essencial para um planejamento mais eficiente das medidas de prevenção e para a adoção de ações rápidas e efetivas nas atividades de combate aos incêndios florestais (Nunes et al., 2006, 2008).

Pode-se utilizar os índices de perigo de incêndio para o estabelecimento de zonas de risco, que possibilita um melhor planejamento das atividades de prevenção contra incêndios florestais, a permissão para queimas controladas em períodos que possuem menos riscos de incêndios, a estimativa do comportamento do fogo com vistas a adoção de técnicas de combate ao fogo que sejam mais efetivas, a definição da estação de incêndios e a advertência pública do grau de perigo, informando à população sobre os cuidados a serem tomados em situações críticas (Nunes et al., 2006, 2007, 2008).

Vários fatores de risco de incêndio são fórmulas determinísticas baseadas, muitas vezes, em fatores climáticos, porém a combinação entre esses fatores e a contribuição dos mesmos para o incêndio florestal é fundamentada em observações e conhecimentos prévios de pesquisadores e está propensa a ter um maior grau de subjetividade. Por isso, resolveu-se criar um fator de risco de incêndio florestal utilizando regras linguísticas da lógica fuzzy influenciado pela fórmula de Monte Alegre.

Os fatores climáticos utilizados neste artigo são a umidade relativa do

ar e a precipitação. A umidade atmosférica é um dos fatores mais importante na propagação de incêndios florestais. Existe a constante troca de umidade entre a atmosfera e o material combustível e este último suficientemente úmido inviabiliza a ocorrência e propagação do fogo. Em relação às precipitações, elas são importantes pelo fato de manter o material florestal úmido, e da mesma forma que a umidade do ar muito alta, dificulta ou torna impossível o início e propagação do fogo. Existe uma forte correlação entre incêndios e prolongados períodos de seca, pois nesses períodos o material combustível cede umidade ao ambiente, tornando as condições muito favoráveis à ocorrência de incêndios (Nunes et al., 2008).

Para a detecção de queimadas, riscos de fogo e previsão de chuvas, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) utiliza diferentes satélites (sensores) para produzir diariamente alguns dados essenciais. Estes sensores se baseiam em emissões de radiação termal. Como nem sempre as fontes de alta emissão desta radiação são queimadas, denominou-se essas fontes de focos de calor (Pantoja e Brown, 2007; Vasconcelos et al., 2009).

A teoria dos conjuntos fuzzy foi introduzida em 1965 por Zadeh, quando ele trabalhava com problemas de classificações de conjuntos que não possuíam fronteiras bem definidas (ou seja, a transição entre os conjuntos é suave e não abrupta). As primeiras aplicações da lógica fuzzy datam de 1974, sendo atualmente aplicada nas ciências ambientais, medicina, engenharia e em outras ciências.

2. Objetivo

Obter um Fator de Risco de Incêndios Florestais a partir da análise de dados reais de umidade e precipitação da cidade de Rio Branco/AC no ano de 2005, utilizando para isso, um sistema dinâmico fuzzy.

3. Metodologia

3.1 Conceitos Básicos

A lógica fuzzy trabalha com base em conceitos e situações incertos (Barros e Bassanezi, 2006). Com isso, os conjuntos fuzzy não possuem fronteiras

bem definidas e são utilizados como um contraponto à limitação que os conjuntos clássicos apresentam ao serem aplicados em problemas cujas transições entre classes acontecem de maneira suave. Um exemplo dessa transição é descrito na figura 1.

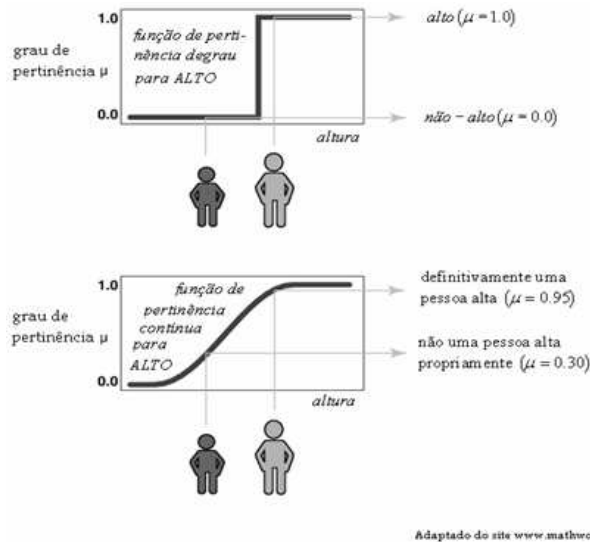


Figura 1: Comparação entre o pertencimento clássico (ou *crisp*) e o fuzzy - Adaptado de www.mathworks.com

Na teoria de conjuntos clássica, a cada elemento de um subconjunto A do conjunto U , associa-se uma função característica φ_A dada por:

$$\varphi_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } x \in A \\ 0 & \text{se } x \notin A \end{cases} \quad (3.1)$$

Na teoria dos conjuntos fuzzy, ao invés da função de pertinência ser definida como $\varphi_A(x) : U \rightarrow \{0, 1\}$, ela estende sua imagem para todo o intervalo $[0, 1]$. Portanto, cada subconjunto fuzzy G de X é caracterizado por uma função $\mu_G : U \rightarrow [0, 1]$, denominada função de pertinência, associando a cada $x \in U$ o grau de pertinência $\mu_G(x)$ de x em G (Paula e Souza, 2007; Moraes, 2008).

Para Ceconello (2006), nas operações entre conjuntos fuzzy é comum utilizar-se as variáveis linguísticas, que podem ser qualitativas ou quantitativas, cujos valores assumidos são subconjuntos fuzzy. A variável linguística é um substantivo (qualitativo) e seus valores são adjetivos. Os conjuntos fuzzy

representam os estados da variável que, em geral, são expressos por valores subjetivos como pequeno, muito, alto, etc. Por exemplo, neste artigo serão utilizadas as variáveis umidade e precipitação que assumem os estados: MUITO BAIXA, BAIXA, MÉDIA, ALTA, MUITO ALTA, conforme os gráficos nas figuras 2 e 3.

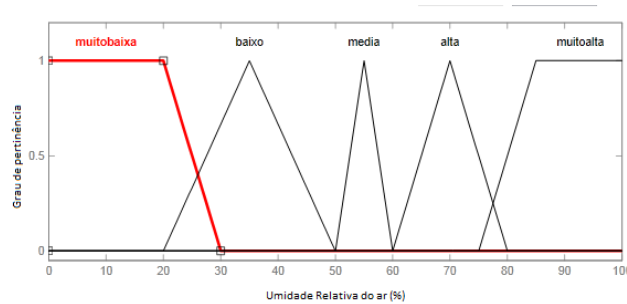


Figura 2: Variável Linguística: Umidade Relativa do Ar (%)

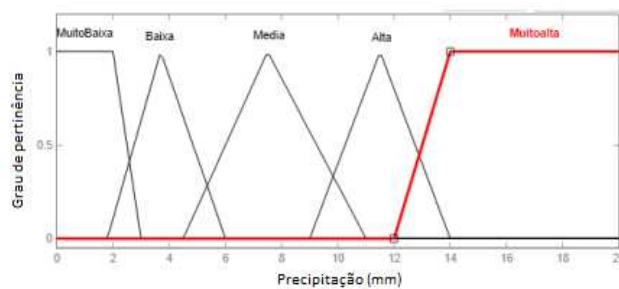


Figura 3: Variável Linguística: Precipitação Diária em mm

3.2 Sistema Baseado em Regras Fuzzy

Um sistema baseado em regras fuzzy, essencialmente, possui quatro componentes principais: um processador de entrada (ou fuzzificador), uma base de regras fuzzy, um método de inferência fuzzy e um processador de saída (ou defuzzificador), gerando um número real como sua saída (Ribaconka, 1999; Peixoto, 2008). A Figura 4 ilustra um sistema fuzzy.

Nessa estrutura, o controlador faz a transformação de variáveis *crisp* (ou clássicas) em valores fuzzy utilizando as variáveis linguísticas. Para essa

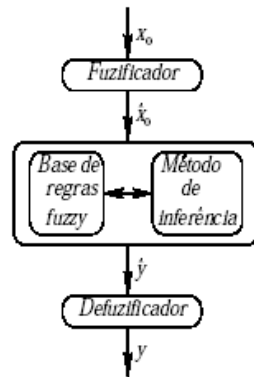


Figura 4: Estrutura do Controlador Fuzzy retirada de Cecconello (2006)

transformação, um conjunto de inferências fuzzy é utilizado para as tomadas de decisões, para depois haver uma transformação inversa do domínio fuzzy para o domínio do mundo real. A fuzzificação é o processo no qual ocorre a conversão dos valores de entrada do sistema para conjuntos fuzzy, com as respectivas faixas de valores onde estão definidos. É um mapeamento do domínio de números reais para o domínio fuzzy, utilizando-se das variáveis linguísticas. Já a base de regras fuzzy providencia uma maneira formal para representar as estratégias, objetivos e informações utilizadas por especialistas na área, através das suas experiências e associações empíricas. Este especialista auxilia na formulação de um conjunto de regras fuzzy, articulando as associações de entradas/saídas linguísticas. (Peixoto, 2008; Shaw e Simões, 1999; Massad et al., 2008)

O método de inferência utilizado neste trabalho é o de Mamdani, que utiliza os operadores lógicos OU (modelado pelo operador máximo \vee) e os operadores lógicos E e ENTÃO (modelados pelo operador mínimo \wedge) em cada regra individual da base de regras fuzzy. Para um sistema com mais de uma regra, tem-se a contribuição de cada regra individualmente, de forma a se obter a saída fuzzy (Gomide e Pedrycz, 1998; Peixoto, 2008).

A título de ilustração, a forma de algumas das regras que compõem a base de regras do controlador fuzzy utilizado neste trabalho foi definida da seguinte maneira:

1. SE (Umidade é muito baixa) E (Precipitação é muito baixa) ENTÃO

Variação do Fator Risco (VRF) é Alta Positiva.

2. SE (Umidade é baixa) E (Precipitação é média) ENTÃO Variação do Fator Risco (VRF) é Média Positiva.
3. SE (Umidade é média) E (Precipitação é média) ENTÃO Variação do Fator Risco (VRF) é Baixa Positiva.
4. SE (Umidade é baixa) E (Precipitação é muito alta) ENTÃO Variação do Fator Risco (VRF) é Média Negativa.
5. SE (Umidade é alta) E (Precipitação é muito alta) ENTÃO Variação do Fator Risco (VRF) é Alta Negativa.

A defuzzificação é o processo que permite a interpretação da distribuição de possibilidade do conjunto de saída fuzzy de uma maneira quantitativa, traduzindo esta saída num valor real que melhor a represente (Massad et al., 2008; Barros e Bassanezi, 2006). O método do Centro de Gravidade ou Centróide é a técnica mais comum de defuzzificação. Pode ser compreendido como uma média ponderada, utilizando a função de pertinência $\mu_A(x)$ como o peso do valor x . Se x é discreto, então a defuzzificação do conjunto fuzzy A é dada por:

$$\bar{z} = \frac{\sum_x \mu_A(x) \cdot x}{\sum_x \mu_A(x)} \quad (3.2)$$

E se x for contínuo, então,

$$\bar{z} = \frac{\int_x \mu_A(x) \cdot x \, dx}{\int_x \mu_A(x) \, dx} \quad (3.3)$$

3.3 Sistema Dinâmico p-fuzzy

Denomina-se de sistema p-fuzzy ao sistema iterativo

$$\begin{cases} x_{k+1} = f(x_k) \\ x_0 \in \mathbb{R}^n \text{ dado} \end{cases} \quad (3.4)$$

com $f : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$ quase linear, isto é,

$$f(x) = x + \Delta(x) \quad (3.5)$$

com $\Delta(x) \in \mathbb{R}^n$ obtido por um sistema baseado em regras fuzzy (Cecconello, 2006).

A estrutura do sistema dinâmico p-fuzzy é dada pela figura 5.

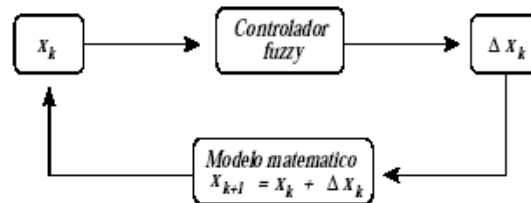


Figura 5: Estrutura do Sistema Dinâmico p-fuzzy retirada de Cecconello (2006)

No sistema dinâmico fuzzy proposto neste artigo, as variáveis linguísticas de entrada são as funções citadas na subseção 3.1 e a saída é a função Variação do Fator de Risco (VFR) cujo gráfico é dado pela figura 6. Tem-se também

$$x_0 = \frac{100}{umidade(1)} \quad (3.6)$$

sendo $umidade(1)$ o valor da umidade relativa do ar no primeiro dia do ano. A partir daí, para cada dia k , $\Delta(x_k) = VRF(x_k)$ é calculado a partir das funções de umidade e precipitação do k -ésimo dia e $f(x_k)$ é o fator de risco do k -ésimo dia.

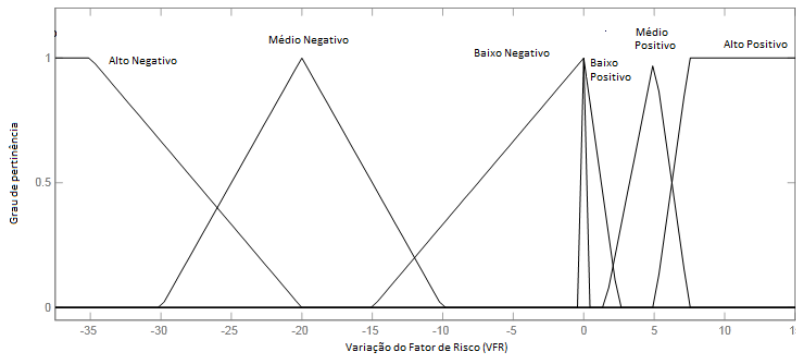


Figura 6: Variável Linguística Variação do Fator de Risco (VRF)

Baseados em observações do comportamento do índice fuzzy em relação aos dados referentes ao número de focos de calor obtidos por satélites, criou-se a seguinte classificação do índice fuzzy quanto ao perigo de ocorrência de incêndio, dado pela tabela 1

Tabela 1: Escala de perigo do Fator de Risco Fuzzy (FRF)

VALOR DO ÍNDICE FUZZY	GRAU DE PERIGO
$FRF = 0$	Nulo
$0 < FRF \leq 5$	Baixo
$5 < FRF \leq 10$	Médio
$10 < FRF \leq 25$	Alto
$FRF > 25$	Muito Alto

3.4 Fórmula de Monte Alegre

Criada em 1972, a partir de pesquisas realizadas pelo professor Ronaldo Vieira Soares, a Fórmula de Monte Alegre surgiu utilizando dados da região central do estado do Paraná, mais especificamente a partir de dados meteorológicos e de ocorrência de incêndios na Fazenda Monte Alegre, no município de Telêmaco Borba. É o primeiro índice brasileiro de incêndios florestais e ainda atualmente um dos mais importantes. (Nunes et al., 2009). Esse índice tem como variáveis a umidade relativa do ar, medida às 13 horas, e a precipitação. A sua equação básica é a seguinte:

$$FMA = \sum_{i=1}^n \frac{100}{H_i} \quad (3.7)$$

sendo n o número de dias do período de observação, H_i a umidade relativa do ar em porcentagem e FMA a Fórmula de Monte Alegre.

Sendo acumulativo, o índice está sujeito às restrições de precipitação, como mostra a Tabela 2.

Para exemplificar o uso da fórmula observe a tabela 3.

Note que a cada cálculo da FMA do dia k , tem-se que aplicar a restrição dada na tabela 2 ao valor obtido no dia $k - 1$ e somar o fator $1/umidade(k)$, sendo $umidade(k)$ a umidade relativa do ar no dia k .

A interpretação do grau de perigo estimado pela FMA é também feita através de uma escala dada pela Tabela 4.

Tabela 2: Restrições à somatória da FMA, de acordo com a precipitação do dia

CHUVA DO DIA (mm)	MODIFICAÇÃO NO CÁLCULO DA FMA
$\leq 2,4$	Nenhuma
2,5 a 4,9	Abater 30% na FMA calculada na véspera e somar $(100/H)$ do dia.
5,0 a 9,9	Abater 60% na FMA calculada na véspera e somar $(100/H)$ do dia.
10,0 a 12,9	Abater 80% na FMA calculada na véspera e so mar $(100/H)$ do dia.
$\geq 12,9$	Interromper o cálculo (FMA= 0) e recomeçar a somatória no dia seguinte.

Tabela 3: Exemplo de uso da Fórmula de Monte Alegre (FMA)

DIA	Umidade (%)	Precipitação (mm)	FMA
01	86	0,9	$\frac{1}{86} = 0,0116$
02	78	18	$0 + \frac{1}{78} = 0,0128$
03	72	4,8	$0,0128 * 0,7 + \frac{1}{72} = 0,0228$
04	87	11,9	$0,0228 * 0,2 + \frac{1}{87} = 0,016$

Tabela 4: Escala de perigo da Fórmula de Monte Alegre

VALOR DA FMA	GRAU DE PERIGO
≤ 1	Nulo
1,1 a 3	Pequeno
3,1 a 8	Médio
8,1 a 20	Alto
> 20	Muito Alto

Calculou-se o FMA diariamente para Rio Branco/AC no ano de 2005, utilizando os dados climáticos supracitados para a observação do comportamento de desse índice em relação ao Fator de Risco Fuzzy e aos dados de focos de calor no mesmo ano.

4. Resultados

Apesar de algumas características comuns entre os dois índices de perigo de incêndio, pois ambos têm como variáveis a umidade e a precipitação, e aumentam seus valores exatamente no período de maior número de focos de calor, existem diferenças entre o fator de risco de Monte Alegre e o elaborado utilizando regras fuzzy. Como o índice fuzzy foi elaborado usando base de regras e o de Monte Alegre utiliza uma regra determinística que acumula valores não-nulos a cada dia “com pouca” chuva, essas diferenças ficam visíveis nos gráficos da figura 7.

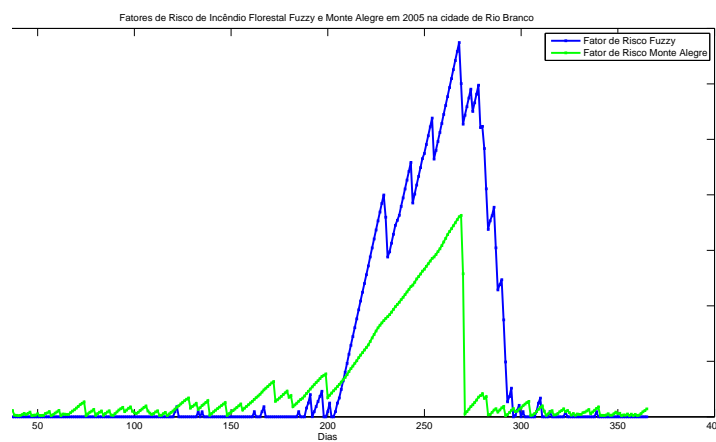


Figura 7: Fatores de Risco de Incêndios Fuzzy e Monte Alegre no ano de 2005 na cidade Rio Branco.

Entretanto, quando se compara os focos de calor detectados por vários satélites na cidade de Rio Branco/AC no ano de 2005, obtidos de INPE (2011), verificou-se que o índice de Monte Alegre apresenta um crescimento aproximadamente “linear” durante o período de seca da região e não consegue representar determinadas variações do número de focos de calor como se observa nos gráficos da figura 8.

O índice de perigo de incêndio elaborado usando variáveis linguísticas fuzzy e um sistema dinâmico p-fuzzy consegue representar, apenas utilizando os dados de umidade e precipitação, pequenas variações no número de focos de calor e, durante o período de “seca”, exibe uma variação bem próxima daquela

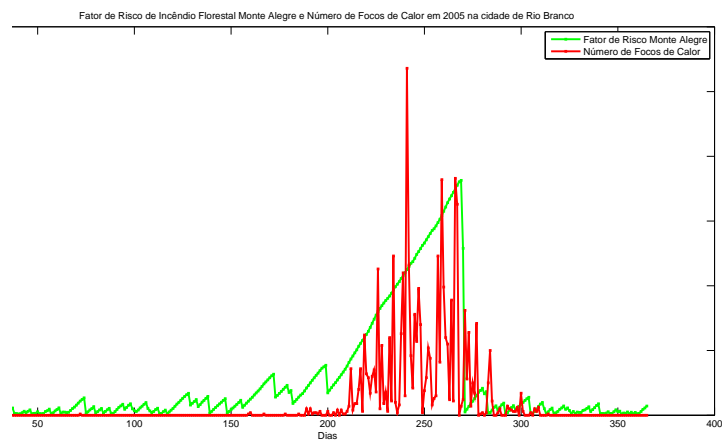


Figura 8: Fator de Risco de Monte Alegre e Número de Focos de Calor em 2005 na cidade Rio Branco - Dados: INPE (2011)

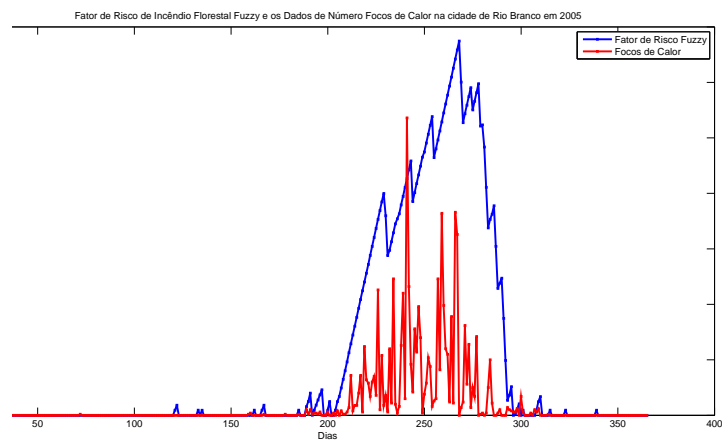


Figura 9: Fator de Risco Fuzzy e Número de Focos de Calor em 2005 na cidade Rio Branco - Dados: INPE (2011)

realizada pelo número de focos de calor. Para realizar os ajustes das bases de regras, foram utilizados os conhecimentos de um especialista em estudos de incêndios florestais e o comportamento dos dados de focos de calor detectados por satélites em 2005 na cidade de Rio Branco/AC, como pode se observar nos gráficos da figura 9.

Utilizando os dados meteorológicos de 2006, da mesma cidade, o Fator de Risco Fuzzy responde de uma forma satisfatória, apresentando valores altos no mesmo período da ocorrência de focos de calor e mesmo quando há um pequeno número de focos, muitas vezes o fator de risco consegue “detectá-los”, conforme observa-se nos gráficos da figura 10.

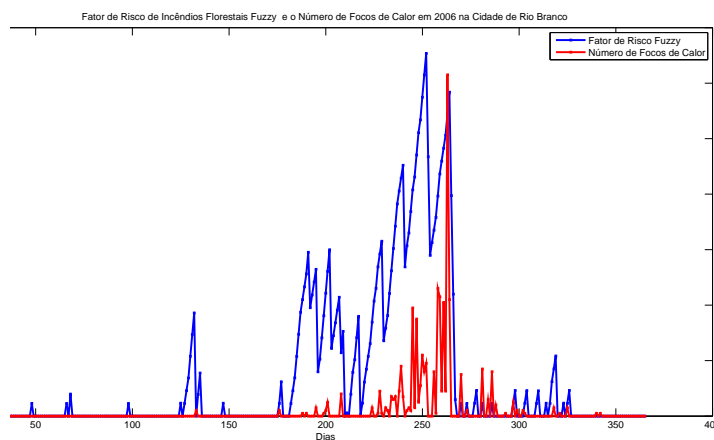


Figura 10: Fator de Risco Fuzzy e Número de Focos de Calor em 2006 na cidade Rio Branco - Dados: INPE (2011)

5. Conclusões

A partir de dados reais de umidade e precipitação, foi elaborado um sistema dinâmico fuzzy que gerou um índice (Fator de Risco) que se ajusta de forma satisfatória às condições climáticas da cidade de Rio Branco/AC. Possivelmente, a Fórmula de Monte Alegre não teve uma resposta tão positiva por ter sido criada para as condições climáticas do Estado do Paraná.

Apesar do modelo de Fator de Risco proposto nesse trabalho utilizar

apenas duas variáveis (Umidade e Precipitação), a resposta foi boa, pois consegue atribuir altos valores de Fator de Risco exatamente no período em que ocorrem os focos de incêndio e até mesmo quando existe um número pequeno de focos isolados, o modelo consegue “prever” esse comportamento com valores não-nulos.

O ajuste das bases de regras fuzzy do sistema dinâmico p-fuzzy foi realizado a partir das informações do ano de 2005, então é plausível que o índice apresentasse um resultado melhor neste ano, porém como visualizamos no gráfico da figura 10, em 2006, o índice também conseguiu assumir valores bem altos justamente nos períodos em que há surgimento de poucos focos de calor e nota-se também que o índice fuzzy aumenta bastante no início do período de seca e se reduz a zero após o término da mesma.

Em trabalhos futuros, pode-se utilizar esse índice fuzzy em modelagens de propagação de incêndios florestais, analisar o fator de risco fuzzy aplicado às condições climáticas de outras cidades do estado do Acre e da região amazônica, além de, possivelmente, acrescentar outras variáveis que contribuem para o aparecimento e propagação de focos de calor.

Agradecimentos

Agradecemos ao Prof. Dr. Antonio Carlos Fonseca Pontes pela ajuda na criação da tabela de escala de perigo do Índice Fuzzy, à Fundação de Tecnologia do Estado do Acre - FUNTAC pelo apoio financeiro, ao Prof. Dr. Ary Vieira de Paiva pelas informações específicas da área de incêndios florestais na Amazônia.

Referências

- Barros, L. C. e Bassanezi, R. C. (2006). *Tópicos de Lógica Fuzzy e Biomatemática*, volume 5 de *Coleção IMECC. Textos Didáticos*. IMECC - UNICAMP, Campinas.
- Brown, I. F. e Vasconcelos, S. S. (2006). As queimadas de 2005 e seu impacto nas florestas do acre. *Jornal Página 20*, 35:20–22.
- Cecconello, M. S. (2006). *Modelagem alternativa para dinâmica populacional: Sistemas dinâmicos fuzzy*. Dissertação de Mestrado. IMECC- UNICAMP, Campinas.

- Gomide, F. e Pedrycz, W. (1998). *An Introduction to Fuzzy Sets-Analysis and Design*. Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts.
- INPE, D. P. I. (2011). Divisão de processamento de imagens. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/>. Acesso em: 20/03/2011.
- Massad, E., Ortega, N. R. S., Barros, L. C., e Struchiner, C. J. (2008). *Fuzzy Logic in Action: Applications in Epidemiology and Beyond*, volume 232 de *Studies in Fuzziness and Soft Computing*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Moraes, O. B. (2008). *Método de análise de dados para avaliação de áreas urbanas recuperadas: Uma abordagem utilizando a lógica fuzzy*. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da USP, São Paulo.
- Nunes, J. R. S., Soares, R. V., e Batista, A. C. (2006). Fma+ - um novo índice de perigo de incêndios florestais para o estado do paraná. *Floresta*, 36:75–91.
- Nunes, J. R. S., Soares, R. V., e Batista, A. C. (2007). Ajuste da fórmula de monte alegre alterada (fma+) para o estado do paraná. *Floresta*, 37:1–14.
- Nunes, J. R. S., Soares, R. V., e Batista, A. C. (2008). *Manual de preven o e combate a incêndios florestais 2^a edi o*. Editado pelos autores, Curitiba.
- Nunes, J. R. S., Soares, R. V., e Batista, A. C. (2009). *Incêndios florestais no Brasil o Estado da Arte*. Editado pelos autores, Curitiba.
- Pantoja, N. V. e Brown, I. F. (2007). Acurácia dos sensores avhrr, goes e modis na detec o de incêndios florestais e queimadas a partir de observa es aéreas no estado do acre, brasil. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), Florianópolis, Brasil*, páginas 4501–4508.
- Paula, E. M. S. e Souza, M. J. N. (2007). Lógica fuzzy como técnica de apoio ao zoneamento ambiental. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, páginas 2979–2984.
- Peixoto, M. S. (2008). *Sistemas dinâmicos e controladores fuzzy: Um estudo da dispersão da Morte Súbita dos C tros em São Paulo*. Tese de Doutorado. IMECC - UNICAMP, Campinas.
- Ribaconka, F. (1999). *Sistemas computacionais baseados em lógica fuzzy*. Disserta o de Mestrado. Universidade Mackenzie, São Paulo.

Shaw, I. S. e Simões, M. G. (1999). *Controle e Modelagem Fuzzy*. Edgard Blucher Ltda, São Paulo.

Vasconcelos, S. S., Fearnside, P. M., e Brown, I. F. (2009). Focos de calor no sudoeste da amazônia: indicadores de mudanças no uso da terra. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), Natal, Brasil*, páginas 6353–6360.