

# Fusão de dados de temperatura e luminosidade para detecção de queimadas em florestas

Osman S. da Penha Jr.<sup>1</sup>, Eduardo F. Nakamura<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Amazonas (UFAM)  
Est. do Contorno, 3000 – Manaus – AM – Brasil

<sup>2</sup>Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação Tecnológica  
Danilo Areosa, 381 – Manaus – AM – Brasil

**Abstract.** *Applications for event detection usually use appropriate sensors to identify the phenomenon occurrence in an environment. In this work, we propose and evaluate two algorithms, based on data fusion methods, for fire detection in rainforest when we have only light and temperature sensors. The idea is to detect fire even when we do not have other sensors that would lead to more accurate inferences. In this sense, we collect and analyze data from similar scenarios to real forest and we insert controlled fire to simulate event occurrences. The results indicate that light measures can be used to detect fire at night and to distinguish the heat resulting from sunbeam and fire. The state machine provides more stability on detection under different environmental conditions.*

**Resumo.** *Aplicações para detecção de eventos geralmente usam sensores apropriados para identificar a ocorrência de um fenômeno no ambiente. Neste trabalho, propomos e avaliamos dois algoritmos, baseados em métodos de fusão de dados, para detecção de fogo em florestas quando temos disponíveis apenas sensores de luz e temperatura. A idéia central é detectar fogo mesmo que sensores mais adequados ao tipo de evento não estejam disponíveis. Nesse sentido, coletamos e analisamos dados em cenários semelhantes às florestas e inserimos fogo controlado para simular os eventos. Os resultados indicam a utilidade da luz para detecção de fogo à noite e para distinguir o calor resultante do fogo e do sol. A máquina de estados forneceu maior estabilidade na detecção sob diferentes condições do ambiente.*

## 1. Introdução

A tarefa de detecção de evento é um processo de fusão de dados em sua essência [Nakamura et al. 2007], visto que a detecção é o resultado de algoritmos de inferência que combinam diferentes dados capturados por sensores. Neste trabalho, estamos interessados em utilizar sensores de luminosidade e temperatura para detecção de queimadas em florestas, que é uma importante questão ambiental na região Amazônica devido sua escala em termos de fauna e flora.

Atualmente a principal abordagem para detecção de queimadas é baseada no processamento de imagens de capturadas por satélites [Li et al. 2000]. Porém, existem sistemas mais simples que utilizam torres de observação ao longo da área que são ocupadas por humanos ou câmeras de vídeo para visualizar os focos de incêndio nas áreas adjacentes a cada torre, porém a escalabilidade deste sistema é limitada.

Recentemente, alguns trabalhos propõem o uso de Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) para detecção de queimadas em florestas visando menor tempo de resposta e maior resolução da área monitorada em comparação ao uso de satélites e torres de observação. Certamente, a eficácia de RSSFs depende dos tipos de sensores e dos algoritmos de fusão de dados utilizados para detecção do evento. Em alguns casos, podemos não ter os sensores apropriados por diferentes motivos: (1) sensores indisponíveis, (2) sensores muito caros, (3) sensores consomem muita energia. Nesses casos, a fusão de dados aparece como uma ferramenta líder em busca de resultados aceitáveis. Em poucas palavras, fusão de dados processa diferentes dados de entrada fornecendo uma saída com dados mais relevantes, onde a relevância depende da aplicação [Nakamura et al. 2007].

A maior contribuição deste trabalho é a proposta e avaliação de dois algoritmos, baseados em fusão de dados, para detecção de queimadas em florestas quando temos apenas sensores de temperatura e luminosidade disponíveis. Coletamos dados de ambientes em condições próximas às florestas para avaliar os algoritmos, utilizando como métricas de avaliação: falso-positivo, falso-negativo, *delay*, precisão and revocação.

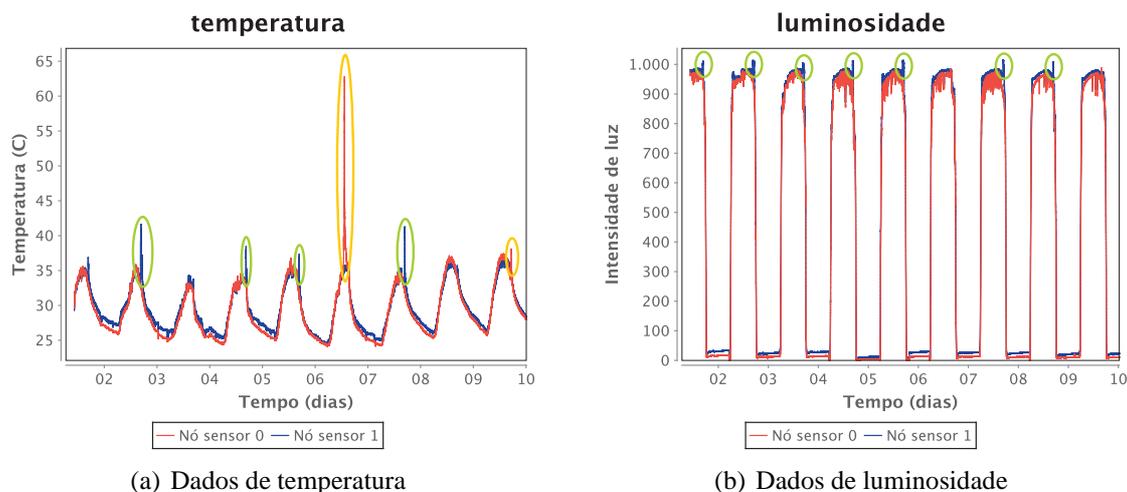
## 2. Trabalhos relacionados

Alguns sistemas de monitoramento de florestas são simples e utilizam torres de observação instaladas ao longo da área de interesse que são ocupadas por humanos ou equipadas com câmeras de vídeo para identificar focos de incêndio em toda região adjacente à torre que esteja dentro do alcance visual [Stipanicev et al. 2006, Fleming and Robertson 2003]. Visando diminuir a dependência de humanos, foram propostas técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI) para filtrar as imagens capturadas pelas câmeras de vídeo que contenham indícios de queimada [Breejen et al. 1998, Baumann et al. 2008]. Atualmente, a abordagem mais utilizada para detecção de queimadas consiste na análise de imagens geradas por satélites para definição das regiões que apresentam focos de incêndio [Li et al. 2000]. Porém, recentemente alguns trabalhos propõem RSSFs para detecção de queimadas, apesar das limitações tecnológicas existentes [Hart and Martinez 2006].

[Werner-Allen et al. 2005] e [Liang and Wang 2005] propuseram métodos de detecção de eventos específicos a partir das medições de sensores. Os métodos propostos utilizam janelas de medições com base no algoritmo de filtragem EWMA (*Exponential Weighted Moving Average*) [Nakamura et al. 2007] para amenizar o impacto de falhas e ruídos na tarefa de detecção.

[Doolin and Sitar 2005] realizaram experimentos com duas queimadas em uma vegetação local para verificar o comportamento das variáveis com uma RSSF no local. Com base nesse trabalho, [Antoine-Santoni et al. 2009] propõem uma proteção em volta do nó que mantenha a qualidade de comunicação do nós, protegendo-os do fogo.

[Li et al. 2000] propõe uma RSSF para detecção de queimadas em florestas. Eles supõem a detecção do evento utilizando limiares para variação de temperatura ou umidade, por exemplo, e analisam o impacto desta abordagem em uma RSSF. [Awang and Suhaimi 2007] propõem uma *framework* que simula uma RSSF para monitoramento de ambientes florestais. Nesse sistema, cada nó sensor é equipado com sensores de umidade, temperatura, acústicos e luminosidade para coletar dados do ambiente e disseminar à estação base, onde uma aplicação seria responsável pelo armazenamento e



- Mudanças nas medições causadas pela exposição ao sol
- Mudanças nas medições causadas pelo fogo

**Figura 1. Coleta de dados para análise do comportamento das medições sob diferentes condições do ambiente (normal ou evento).**

apresentação dos dados na forma de gráfico.

[Yu et al. 2005] e [Hefeeda and Bagheri 2007] organizaram RSSFs em *clusters* e propuseram algoritmos distribuídos para detecção de queimadas com base nas medições de temperatura, umidade relativa, chuvas e velocidade do vento. Tais abordagens exigem a utilização de muitos sensores, aumentando a complexidade e o custo (em nível de *hardware* e *software*) da RSSF.

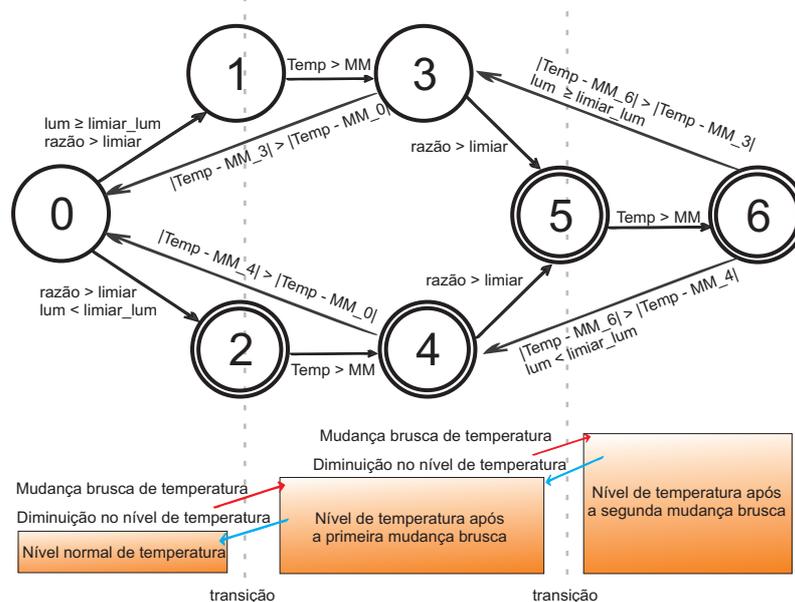
### 3. Detecção de queimadas em florestas

Nesta seção, identificamos propriedades do ambiente que permitem distinguir entre o evento (fogo) e as condições normais. Para isto, coletamos medições de temperatura e luminosidade durante alguns dias sem a ocorrência de eventos para entendermos como estas medições se comportam sob condições normais do ambiente. Depois, inserimos instâncias de fogo (criados artificialmente) em busca de diferenças no comportamento das medições coletadas anteriormente. Após análise dos dados, elaboramos dois algoritmos que são descritos e avaliados neste artigo. Na fase de coleta, utilizamos nós MICAz [Crossbow 2009] com placas de sensores MDA100 [Crossbow 2007] para coletar os dados do ambiente.

#### 3.1. Observações iniciais

Neste artigo usamos medições de temperatura e luminosidade para realizar a detecção de fogo. Tais sensores são comumente disponibilizados em diferentes plataformas de RSSF, porém, sensores adicionais (de fumaça ou umidade) poderiam ser utilizados para melhorar a exatidão do sistema, aumentando também o custo da rede.

A coleta de dados foi feita durante alguns dias (entre julho e novembro de 2009) em um local do próprio Campus Universitário, por motivos de segurança e viabilidade, com interferência mínima de artefatos urbanos. Os dados coletados neste período foram



**Figura 2. Máquina de estados utilizada para definir as condições do ambiente.**

analisados para identificação de propriedades que permitam a detecção de fogo no ambiente. A partir da coleta inicial apresentada na Figura 1 concluímos que:

- A incidência direta dos raios solares sobre o sensor é o único fator natural que altera as medições de forma semelhante ao fogo. Em ambos os casos, a intensidade de temperatura aumenta bruscamente inviabilizando o simples uso de limiares para detectar as queimadas.
- Em condições normais, as medições de luminosidade mantêm-se em um nível extremamente baixo à noite tornando-se em um forte indicador de fogo caso a luminosidade do ambiente exceda o valor de um limiar.
- As medições de cada dia são cíclicas, ou seja, as medições coletadas no mesmo horário são equivalentes, porém com certa "margem de erro" associada.
- É necessário distinguir os efeitos causados pelo sol e pelo fogo sobre as medições de temperatura. Neste sentido, identificamos duas propriedades:
  - Utilizar os dados de luminosidade, pois quando o sensor está exposto ao sol, as medições de luminosidade assumem valores altos e quase constantes, enquanto na presença de fogo, a luminosidade não atinge o mesmo patamar e há oscilação devido ao vento.
  - Comparar as medições atuais com as medições de dias anteriores que tendem a ser equivalentes, exceto quando houver mudanças climáticas.

Baseado nestas afirmações, propomos dois algoritmos para realizar detecção automática de queimadas em florestas: Método Limiar e Método Dempster-Shafer.

### 3.2. Método Limiar

Este método é baseado na máquina de estados da Figura 2 que é composta por 7 estados cujas transições são ativadas de acordo com as condições descritas em detalhes a seguir.

Cada estado na Figura 2 representa uma condição específica que o ambiente pode assumir entre o normal e a ocorrência do evento, incluindo os momentos de transição. O ESTADO 0 representa que o sensor encontra-se em um ambiente cuja condição é normal, ou seja, não há fogo nem exposição dos sensores ao sol. O ESTADO 1 e o ESTADO 2 são estados de transição que representam o momento inicial do fogo ou da exposição ao sol, respectivamente. O ESTADO 3 representa a condição natural do ambiente, porém os raios solares incidem sobre os sensores. O ESTADO 4 indica a ocorrência de fogo próximo ao sensor. O ESTADO 5 representa o momento inicial do fogo e da exposição ao sol simultaneamente. No ESTADO 6 as medições de temperatura atingem o maior nível possível, pois o sensor encontra-se sob influência do fogo e do sol ao mesmo tempo.

Inicialmente, quando o ambiente está em sua condição normal e o sensor não está exposto ao sol, a máquina de estados encontra-se no ESTADO 0. Para cada nova medição de temperatura ( $temp$ ) e luminosidade ( $lum$ ), calculamos a razão entre a temperatura atual e a média móvel (MM) das últimas medições, com janela de tamanho  $T$ , para comparação com um limiar  $L$ . Quando a razão é maior que o limiar tem-se o início de um evento que pode ser fogo ou a incidência direta dos raios solares. Para diferenciar tais eventos, verificamos a luminosidade do ambiente conforme proposto na Seção 3.1 e transitamos a máquina de estados para o ESTADO 1 ou ESTADO 2, respectivamente.

O ESTADO 1 e o ESTADO 2 são estados de transição que representam o início da exposição do sensor ao sol ou ao fogo, respectivamente, e permanecem ativos enquanto houver aumento de temperatura até que as medições se estabilizem em um novo patamar.

O ESTADO 3 é similar ao ESTADO 0, porém, neste caso, os raios solares incidem diretamente sobre o sensor, o que aumenta a intensidade das medições de temperatura. A partir deste estado, podemos voltar ao ESTADO 0 caso o nível de intensidade das medições de temperatura volte ao patamar anterior das medições do ESTADO 0 comparando a temperatura atual com a média móvel das últimas medições do ESTADO 0. Por outro lado, se houver uma variação brusca nas medições de temperatura neste estado, temos fogo que é detectado, à exemplo de como é feito no ESTADO 0, comparando o limiar  $L$  e a razão entre a temperatura atual e a média móvel das últimas medições.

O ESTADO 4 representa a ocorrência de fogo sem a exposição do sensor ao sol. As condições para transição a partir deste estado são semelhantes às condições do ESTADO 3.

O ESTADO 5 é outro estado de transição que representa o início da ocorrência de ambos os eventos ao mesmo tempo: fogo próximo ao sensor exposto ao sol. A máquina de estados permanece neste estado enquanto houver aumento da temperatura ambiente.

No ESTADO 6 temos o maior nível de temperatura que o ambiente pode assumir. A máquina de estados permanece no ESTADO 6 enquanto a temperatura atual estiver mais próxima da média móvel das últimas medições do que da última média móvel do ESTADO 3 ou ESTADO 4. Caso contrário, a máquina volta ao ESTADO 3 ou ESTADO 4 dependendo da intensidade da luminosidade para diferenciar o sol e o fogo.

### 3.3. Método Dempster-Shafer

O segundo algoritmo proposto neste artigo é baseado na Teoria Dempster-Shafer (TDS).

O quadro de discernimento compreende duas hipóteses,  $\theta = \{F, \neg F\}$ , onde  $F$  indica fogo e  $\neg F$  representa a normalidade. Com base nas observações da Seção 3.1,

definimos três evidências para atribuir as probabilidades básicas de cada hipótese ( $bpa$ ):

- **Evidência #1:** A probabilidade de fogo é definida pela comparação da razão ( $r_1$ ) entre a temperatura atual e a média móvel das últimas medições (janela de tamanho  $T$ ) com os limiares  $L_1$  e  $L_2$ , onde  $L_1 < L_2$ . Assim, o valor de  $bpa$  para cada hipótese obedece as seguintes regras: Se  $r_1 > L_2$  então  $bpa(F) = 100\%$ , se  $r_1 < L_1$  então  $bpa(\neg F) = 100\%$  e se  $L_1 < r_1 < L_2$ , então  $0\% < bpa(F) < 100\%$  proporcionalmente à “posição” de  $r_1$  dentro do intervalo  $[L_1, L_2]$ . As probabilidades de  $F$  e  $\neg F$  são complementares:  $bpa(F) = 100\% - bpa(\neg F)$ .
- **Evidência #2:** Outro fator para definir a probabilidade de fogo é a comparação da razão ( $r_2$ ) entre a temperatura atual e as medições correspondentes nos dias anteriores com os limiares  $L_3$  e  $L_4$ , onde  $L_3 < L_4$ . As medições de dias anteriores são representadas por uma função polinomial obtida por meio de regressão polinomial sobre as medições originais para minimizar o custo de armazenamento de dados antigos. Os valores de  $bpa(F)$  e  $bpa(\neg F)$  são atribuídos conforme feito na **Evidência #1**, porém com os novos valores  $r_2$ ,  $L_3$  e  $L_4$ .
- **Evidência #3:** Durante a noite, podemos comparar a luminosidade do ambiente com um limiar fixo para verificar a ocorrência de fogo. Esta evidência é baseada na propriedade da Seção 3.1 onde a luminosidade é o fator predominante para identificar focos de incêndio à noite. Neste trabalho, identificamos nos cenários simulados que um limiar igual a 50 é suficiente para detecção de fogo à noite.

Após as atribuições de  $bpa(F)$  e  $bpa(\neg F)$ , calculamos as Funções de Crença,  $Bel(F)$  e  $Bel(\neg F)$ , e as combinamos utilizando a regra Dempster-Shafer de combinação de evidências.

## 4. Avaliação dos métodos

### 4.1. Coleta dos dados

Neste trabalho, utilizamos a luminosidade e a temperatura do ambiente para definir ocorrências de fogo. Para isto, os dados foram capturados por sensores alocados no próprio Campus Universitário por motivos de segurança e viabilidade. O cenário de coleta possui mínima interferência de artefatos urbanos (oriundo apenas das construções da Universidade) para maior semelhança com florestas reais, pois o Campus está localizado dentro de uma enorme reserva florestal. Durante a fase de coleta, o ambiente permaneceu na maior parte do tempo em sua condição natural mantendo os sensores expostos somente às mudanças climáticas. Em certos momentos, introduzimos instâncias artificiais de fogo utilizando tochas próximas aos sensores para simular a ocorrência do evento



(a) Fogo à 50 centímetros de distância do sensor. (b) Fogo à 1 metro de distância do sensor.

**Figura 3. Simulação do evento utilizando tochas próximas aos sensores.**

em diferentes condições do ambiente. O fogo foi simulado de cinco a quinze minutos para cada evento, por meio de tochas colocadas à 0,5 ou 1,0 metro de distância do sensor (na Figura 3). Ao final da coleta, os dados foram devidamente rotulados e armazenados permitindo a reavaliação dos algoritmos utilizando diferentes métodos e parâmetros sobre uma condição específica do ambiente.

Ao final da coleta de dados obtivemos as amostras listadas na Tabela 1, das quais utilizamos a primeira amostra para treinamento dos algoritmos (ajustes de parâmetros), enquanto as amostras restantes foram usadas para validação.

#### 4.2. Ajustes de parâmetros

Basicamente, os parâmetros dos algoritmos são o tamanho ( $T$ ) da janela usada para cálculo da média móvel das medições e o limiar ( $L$ ) utilizado para indicar variações acentuadas nas medições. Assim, para ajuste dos parâmetros, executamos os algoritmos com diferentes tamanhos de janela, associados à diferentes limiares, para encontrar a melhor combinação entre  $T$  e  $L$ .

Para definir os parâmetros do método Limiar, variamos o tamanho da janela entre 60 e 600 segundos e, para cada janela, utilizamos limiares com valores entre 0.005 e 0.044. Os resultados mostraram que, para cada valor de  $T$ , quando  $L$  aumenta, o algoritmo converge para nenhum falso positivo, porém os casos de falsos negativos aumentam. Desta forma, selecionamos o limiar, para cada janela, com o mínimo de falsos negativos e com a menor taxa possível de falsos positivos, priorizando os erros do tipo falso negativo.

A seleção dos melhores parâmetros do método Dempster-Shafer é semelhante: calculamos, à cada nova medição, para cada tamanho de janela (entre 60 e 600) as razões apresentadas na 3  $r_1$  e  $r_2$  da **Evidência #01** e da **Evidência #02**, respectivamente. A definição dos melhores valores para os limiares  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  e  $L_4$  de cada janela corresponde ao menor e ao maior valor dentre as razões  $r_1$  e  $r_2$ , respectivamente.

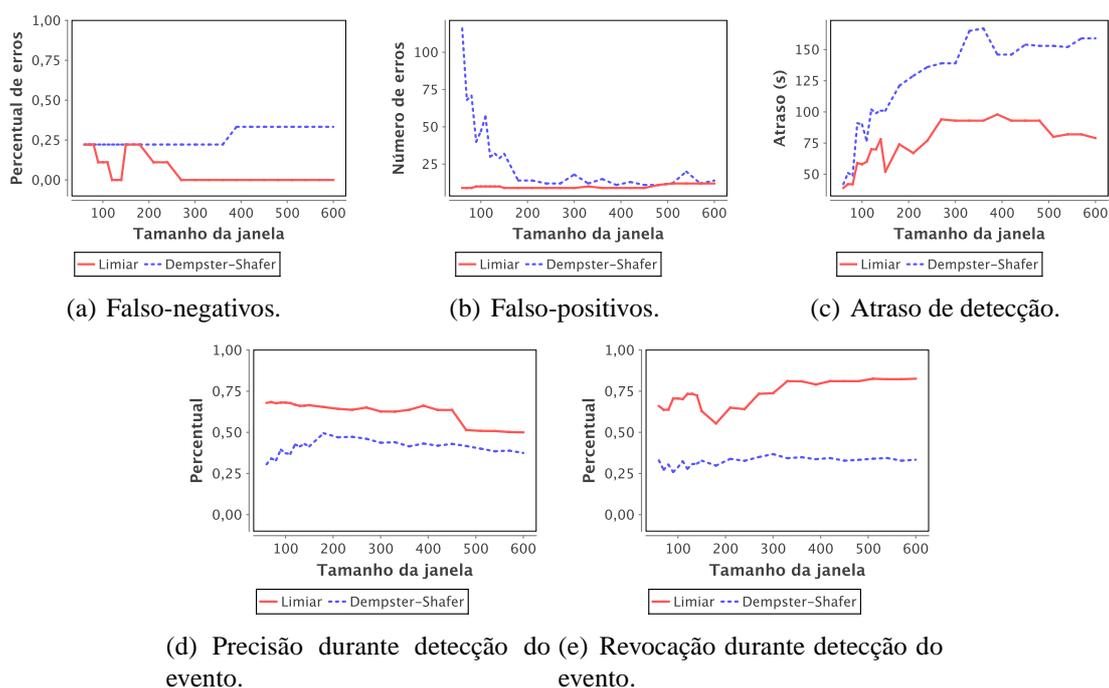
#### 4.3. Resultados

Após ajuste dos parâmetros, os algoritmos são capazes de definir as condições do ambiente com base somente nas medições de temperatura e luminosidade. Para analisar o desempenho dos métodos propostos, utilizamos as demais coleções de dados da Tabela 1.

As amostras utilizadas para avaliação dos algoritmos contêm 14 eventos de fogo que foram produzidos sob condições específicas do ambiente com o objetivo de maximizar a representatividade dos experimentos para aplicações reais. Dentre os 14 eventos, nove foram simulados até 0,5 metro de distância de modo similar aos eventos utilizados para treinamento dos métodos:

<i>ID</i>	<i>Início</i>	<i>Fim</i>	<i>Amostragem</i>	<i># eventos</i>
1	24/07/2009	04/08/2009	6 s	4
2	24/08/2009	02/09/2009	4 s	4
3	28/09/2009	08/10/2009	4 s	2
4	12/11/2009	17/11/2009	4 s	8

**Tabela 1. Amostras de dados após a fase de coleta.**



**Figura 4. Comparação entre os métodos propostos.**

- **Três eventos** foram produzidos à noite para validar o uso exclusivo da luminosidade na detecção de queimadas.
- **Um evento** foi simulado enquanto os sensores estavam expostos ao sol. Nesta situação, buscamos comprovar o aumento na intensidade das medições de temperatura, mesmo considerando que o sensor já esteja capturando altas temperaturas devido a incidência direta dos raios solares.
- **Três eventos** foram produzidos em três horários específicos (11:00, 15:00 e 17:00) que representam comportamentos distintos das medições de temperatura.
- **Dois eventos** foram produzidos em horários aleatórios para verificar a confiabilidade dos algoritmos em possíveis situações que não tenham sido consideradas.

Comparando ambos os métodos (na figura 4), notamos que o método Limiar apresenta melhores resultados em todas as métricas avaliadas. Podemos destacar o percentual de falso negativos do método Limiar que chegar a ser nulo ao considerarmos as janelas maiores e também o nível de revocação do método Limiar durante a ocorrência de fogo que chega a 80%, indicando o tempo em que o método permanece detectando o evento durante o fogo. A vantagem do método Limiar em relação a precisão e a revocação durante a ocorrência de fogo deve-se à utilização do conceito de estado do ambiente, permitindo que o algoritmo possa detectar o evento enquanto as medições de temperatura mantiverem o mesmo nível de intensidade.

Em números absolutos, a quantidade de falso positivos é maior no método Dempster-Shafer superando 120 casos de alarmes falso, enquanto o método Limiar apresenta, no máximo, somente 12 casos de falso positivos. Em termos percentuais, estes erros representam apenas 0,0162% e 0,0015% das medições coletadas nas amostras avaliadas, respectivamente, indicando um número relativamente baixo de falso positivos, pois cada medição coletada pode ocasionar um erro de falso positivo.

O atraso de detecção em ambos os algoritmos está abaixo de três minutos, o que é um valor aceitável para que ações de combate sejam tomadas antes que o fogo atinja grandes proporções, dependendo do local da aplicação. Em relação à escolha do tamanho de janela para cada método, podemos indicar o uso de janelas maiores para o método Limiar, enquanto o método Dempster-Shafer apresenta melhores resultados com janelas menores, apesar das oscilações encontradas nas métricas de precisão e revocação.

Quanto aos cinco eventos simulados à um metro de distância, apenas o fogo produzido à noite foi detectado por ambos os métodos independente do tamanho da janela. Isto indica a relevância da luz durante a noite para detecção de fogo, bem como a sensibilidade limitada dos métodos que depende da distância e intensidade do fogo. Visto que os eventos foram simulados em pequenas proporções em relação à eventos reais de queimadas, acreditamos que o método proposto é sensível o suficiente para identificar queimadas em tempo hábil, antes que o fogo destrua o sensor, por exemplo.

## 5. Conclusões e trabalhos futuros

Neste artigo, propomos dois algoritmos baseados em métodos de fusão de dados para detecção de queimadas em florestas que usam apenas as medições de temperatura e luminosidade para identificar a ocorrência do evento. Embora existam sensores que sejam mais apropriados para detecção de fogo como, por exemplo, vento, umidade e fumaça, é importante ter disponível métodos eficientes que manipulam menos informações principalmente devido às restrições de custo, além de possibilitar a reutilização de RSSFs já instaladas em florestas para outras finalidades que possam ajudar à detecção de queimadas da melhor forma possível.

Os métodos são baseados em observações das coleções de dados obtidas entre Julho e Novembro de 2009. Dentre as observações, destacamos que queimadas em florestas podem ser facilmente detectadas durante a noite por meio da simples análise da luminosidade do ambiente e que os raios solares são os principais fatores naturais do ambiente que provocam confusão para detecção da ocorrência do evento, pois afetam as medições de temperatura de modo semelhante ao fogo. Basicamente, para diferenciar os efeitos sobre a temperatura do ambiente causados pelo sol ou pelo fogo, podemos utilizar a intensidade de luz do ambiente, ou ainda, as medições de temperatura dos dias anteriores.

Os resultados dos experimentos mostraram restrições dos algoritmos quanto à sensibilidade de detecção, porém acreditamos que durante queimadas em florestas, o fogo atingirá proporções suficientes para que seja identificado pelo algoritmo, especialmente se considerarmos o uso de sensores em uma rede densa. Comparando os métodos propostos, o método Limiar é superior ao método Dempster-Shafer em todas as métricas avaliadas. Por outro lado, o método baseado na teoria Dempster-Shafer tem a vantagem de permitir uma rápida extensão do modelo com a adição de novas evidências assim que disponíveis, proporcionando maior eficiência.

Como trabalho futuro, planejamos experimentos adicionais com novas instâncias de fogo e identificar novas evidências para distinguir os efeitos do sol e do fogo sobre as medições de temperatura, especialmente quando ambos ocorrem simultaneamente. Também podemos analisar o impacto da inserção dos algoritmos em uma RSSF com relação ao tráfego de dados, modo de execução (local ou centralizado), correlação espacial dos dados e o grau de densidade dos nós da rede.

## Referências

- Antoine-Santoni, T., Santucci, J.-F., de Gentili, E., Silvani, X., and Morandini, F. (2009). Performance of a protected wireless sensor network in a fire. analysis of fire spread and data transmission. *Sensors*, 9(8):5878–5893.
- Awang, A. and Suhaimi, M. H. (2007). RIMBAMON: A forest monitoring system using wireless sensor networks. In *Proceedings of the International Conference on Intelligent and Advanced Systems (ICIAS)*, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Baumann, A., Boltz, M., Ebling, J., Koenig, M., Loos, H. S., Merkel, M., Niem, W., Warzelhan, J. K., and Yu, J. (2008). A review and comparison of measures for automatic video surveillance systems. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*. Article ID 824726. 30 pgs.
- Breejen, E., Breuers, M., Cremer, F., Kemp, R., Roos, M., Schutte, K., and Vries, J. (1998). Autonomous forest fire detection. In *Proceedings of the Third International Conference on Forest Fire Research and Fourteenth Conference on Fire and Forest Meteorology*, Luso, Portugal.
- Crossbow (2007). *MTS/MDA Sensor Board Users Manual*, Rev A edition.
- Crossbow (2009). *MICAz Wireless Measurement System Datasheet*, 6020-0060-04 Rev A edition.
- Doolin, D. M. and Sitar, N. (2005). Wireless sensors for wildfire monitoring. In *Proceedings of the SPIE Symposium on Smart Structures & Materials (NDE)*, volume 5765, San Diego, USA.
- Fleming, M. and Robertson, R. G. (2003). Fire management tech tips: The osborne fire finder. Technical Report TR-1311-SDTDC.
- Hart, J. K. and Martinez, K. (2006). Environmental sensor networks: A revolution in the earth system science? *Earth-Science Reviews*, 78:177–191.
- Hefeeda, M. and Bagheri, M. (2007). Wireless sensor networks for early detection of forest fires. *IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems Conference*, 0:1–6.
- Li, Z., Nadon, S., and j. Cihlar (2000). Satellite detection of canadian boreal forest fires: development and application of an algorithm. *International Journal of Remote Sensing*, 21:3057–3069.
- Liang, Q. and Wang, L. (2005). Event detection in wireless sensor networks using fuzzy logic system. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computational Intelligence for Homeland Security and Personal Safety (CIHSPS)*, pages 52–55, Orlando, FL, USA.
- Nakamura, E. F., Loureiro, A. A. F., and Frery, A. C. (2007). Information fusion for wireless sensor networks: Methods, models, and classifications. *ACM Computing Surveys*, 39(3):9.
- Stipanicev, D., Vuko, T., Krstinic, D., Stula, M., and Bodrozic, L. (2006). Forest fire protection by advanced video detection system - croatian experiences. In *The International Emergency Management Society (TIEMS)*, Trogir, Croatia.
- Vescoukis, V., Olma, T., and Markatos, N. (2007). Experience from a pilot implementation of an "in-situ" forest temperature measurement network. In *IEEE 18th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, pages 1–5, Athens, Greece.
- Werner-Allen, G., Johnson, J., Ruiz, M., Lees, J., and Welsh, M. (2005). Monitoring volcanic eruptions with a wireless sensor network. In *Proceedings of the Second European Workshop on Wireless Sensor Networks (EWSN)*, Istanbul, Turkey.
- Yu, L., Wang, N., and Meng, X. (2005). Real-time forest fire detection with wireless sensor networks. In *Proceedings of International Conference On Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WIMOB)*, pages 1214–1217, Montreal, QC, Canada.