



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - IG
CURSO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS

André Matos Pinto Cota

DETECÇÃO DE FOCO DE INCÊNDIO SUBTERRÂNEO EM TURFA POR CÂMERA
PORTÁTIL TERMAL

BRASÍLIA

2014

André Matos Pinto Cota

DETECÇÃO DE FOCO DE INCÊNDIO SUBTERRÂNEO EM TURFA POR CÂMERA
PORTÁTIL TERMAL

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Ambientais da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista.

BRASÍLIA

2014

COTA, André.

Detecção de foco de incêndio subterrâneo em turfa por câmera portátil Termal

Orientação: Prof. Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista.

38 páginas.

TCC em Ciências Ambientais – Instituto de Geociências – Universidade de Brasília.

Brasília – DF, 2014.

1. Cerrado -2. Turfa - 3. Incêndio Subterrâneo - 4. Infra Vermelho - 5. Radiômetro - 6. Detecção

**DETECÇÃO DE FOCO DE INCÊNDIO SUBTERRÂNEO EM TURFA POR
CÂMERA PORTÁTIL TERMAL**

André Matos Pinto Cota

Prof. Orientador: Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista

Brasília DF, 02 de dezembro de 2014

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista (Orientador)
Instituto de Geociências da Universidade de Brasília – IG

Prof. Dr. Pedro Henrique Zuchi da Conceição (Avaliador)
Departamento de Economia da Universidade de Brasília - FACE

Dedico este trabalho a todos que ajudaram no seu desenvolvimento, especialmente aqueles que devotam horas de suas vidas para estudar o meio ambiente afim de torná-lo melhor.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me dar saúde para desenvolver este trabalho.

Ao meu filho, Caio, que é a minha maior fonte de contentamento e felicidade, pois foi privado de momentos importantes de convivência com este genitor, em razão da necessidade de dedicação aos estudos durante a consecução deste curso.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista, por ter me motivado e facilitado na confecção deste trabalho. Deixo aqui registrado meu enorme apreço por este grande pesquisador, tendo dedicado boa parte de seu tempo em me orientar

Aos grandes amigos Maj. QOBM/Comb. André Maulaz Lacerda e Maj. QOBM\Comb. Daniela Rodrigues Ferreira, a quem chamo de amigos, oficiais a quem detenho grande admiração pela conduta serena, profissionalismo e costumeira cordialidade em sempre ajudar. A ele cabe meus mais sinceros agradecimentos, por me permitirem e incentivarem durante todo curso de graduação.

À minha querida amiga Karine, pelos momentos de descontração maravilhosos, bem como pela ajuda na revisão textual.

Aos amigos Cel. QOBM\Comb. Rogério Ribeiro Alvarenga, TC. QOBM\Comb. Alan Alexandre Araújo, TC. QOBM\Comb. Cleon José Silva Junior, Maj. QOBM\Comb. Paulo Silvano Silva Cordeiro, ST. QBMG-01 Resende, Sr. Rogério, chefe de brigada da Estação Ecológica do Jardim Botânico de Brasília pela colaboração direta na pesquisa, pois sem a colaboração destas pessoas a pesquisa não seria possível de realizar.

Aos amigos TC. QOBM\Compl. George Cajaty Barbosa Braga, Maj. QOBM\Comb. Ronaldo Lima de Medeiros, Maj. QOBM\Compl. Maria Luiza Spinelli Parca Tadeschi pelas conversas produtivas sobre o assunto deste trabalho.

“Sem amor, todo aprendizado é apenas
ignorância esplêndida.” - Charles Wesley.

RESUMO

Os incêndios subterrâneos em turfa ocorrem na região de campos úmidos no Bioma do cerrado do Distrito Federal na época da estiagem, geralmente se iniciam após um incêndio superficial e apresentam comportamento extremamente devastador para o ecossistema local e principalmente para o solo. Muitas vezes chegam a esterilizar o solo. A sua severidade pode se tornar tão grande, que se não controlado rapidamente pode queimar até que o período da estiagem chegue ao fim e que se apague somente com a chegada da chuva. A detecção dos focos deste tipo incêndio não é simples de visualizar no espectro visível, pois ocorrem no subsolo, além de que andar em um terreno instável, com fogo abaixo dos pés para identificar focos não é seguro. Assim, o objetivo deste trabalho é testar a potencialidade de se utilizar radiômetro que opera no infravermelho termal para observar a sua eficiência na detecção dos focos em incêndios reais, ou seja, não provenientes de queima controlada. A área de estudo foi delimitada por uma ocorrência de incêndio florestal que houve na Área de Proteção Ambiental Gama e Cabeça de Veado no dia 12 de setembro de 2014. Partindo-se de informações realizadas em experimentos anteriores, nos quais se obteve dados do comportamento da queima subterrânea em turfa, foram obtidas imagens no solo após o controle do incêndio superficial e imagens aéreas no dia seguinte à ocorrência, pela manhã, com a finalidade de analisar se os dados obtidos pelo radiômetro infravermelho possuem o mesmo comportamento. Observou-se que é nítida na identificação dos focos os padrões de comportamento de queima igual aos experimentos realizados por outros pesquisadores. As imagens aéreas não permitiram uma análise pontual do foco, porém permitem gerar um rápido reconhecimento para que as equipes de combate em solo possam se orientar quanto a localização e propagação do incêndio. A utilização do sensor termal possibilitou a rápida detecção, assim provendo as equipes de combate rápida ação para a extinção do incêndio.

Palavras-chaves: Cerrado, Turfa, Incêndio Subterrâneo, Infra Vermelho, Radiômetro, Detecção.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01 - Processo de formação de turfeiras em lagoas.	17
Figura 02 - formação de turfeiras em áreas de inundação.	17
Figura 03 - Imagens da queima de turfa realizada por Rein (2008).	19
Figura 04 - Temperatura x tempo da queima de turfa com umidade maior que 35%.	20
Figura 05 - Leitura do sensores de temperatura da queima de turfa com humidade de 2% com perda de 97% da biomassa.	20
Figura 06 - Temperatura medida em um ponto do solo a 10 cm de profundidade em que o incêndio subterrâneo se propagou.	21
Figura 07 – Área de estudo.	24
Figura 08. Localização do focos de incêndio subterrâneos.	26
Figura 09 - Umidade relativa do ar.	27
Figura 10 - Foco de incêndio subterrâneo (espectro visível).	28
Figura 11 - Foco de incêndio subterrâneo (espectro termal).	28
Figura 12 – Foco de incêndio subterrâneo no solo desnivelado.	29
Figura 13 – Foco de incêndio subterrâneo no solo nivelado.	29
Figura 14 – Foco de incêndio subterrâneo em raiz de árvore.	30
Figura 15 - Foco subterrâneo em solo nivelado e contínuo.	30
Figura 16 - Foco subterrâneo em solo nivelado e contínuo.	31
Figura 17 - Foco de incêndio em solo desnivelado, visada angulada.	31
Figura 18 - Foco subterrâneo na raiz em uma árvore.	32
Figura 19 - Foco subterrâneo na raiz da árvore. Temperatura adjacente menor que 100°C.	32
Figura 20 - Imagem de pontos quentes no incêndio.	33
Figura 21 - Imagem de pontos quentes no incêndio.	34
Figura 22 - Imagem de pontos quentes no incêndio e sentido da propagação.	34

ÍNDICE DE TABELA

Tabela 01 - Fitofisionomias associadas as áreas úmidas do Cerrado.....	12
Tabela 02 - Localização geográfica dos focos de incêndio subterrâneo identificados.....	22

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1 Cerrado.....	14
2.2 Áreas úmidas do Cerrado	15
2.3 Turfa.....	16
2.4 Incêndios subterrâneos em turfas	18
2.5 Experimentos realizados.....	19
2.6 Sensoriamento remoto no ambiente.....	22
2.7 Câmera Portátil Termal - T4MAX	23
3. METODOLOGIA DE TRABALHO	24
3.1 Área de Estudo.....	24
3.2 Materiais.....	Erro! Indicador não definido.
3.3 Métodos.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1 Análise das imagens capturadas no solo	27
4.2 Análise das imagens aéreas.....	33
5. CONCLUSÃO.....	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

1. INTRODUÇÃO

As áreas úmidas do cerrado do Distrito Federal compreendem uma região de grande relevância ecológica para manutenção do equilíbrio biológico, bem como o equilíbrio do ciclo hidrológico na região do bioma do cerrado (DUNGAN, 1990).

Os incêndios florestais subterrâneos em turfa ocorrem no período de estiagem e provocam enormes danos ao ciclo biológico de fauna, flora, ao solo e por consequência aos recursos hídricos da região. Por ser subterrâneo, o foco deste tipo de incêndio florestal não é visível aos olhos de quem está na superfície (REIN, 2008).

Dois estudos serviram de fonte de comparação de dados para analisar com os valores obtidos em estudo de campo. Rein, (2008) realizou um ensaio em laboratório para detectar padrões de comportamento da combustão em turfa obtendo dados de temperatura, umidade, perda de matéria orgânica e outros. Usup, (2004) realizou um estudo em campo em pontos diversos em floresta de turfa numa temporada de estiagem obtendo dados que corroboraram com o de Rein, (2008).

O objetivo da pesquisa é analisar se uma câmera portátil termal pode ajudar a realizar detecção de focos de incêndios subterrâneos em turfas de forma que as imagens geradas pelo sensor possa fornecer informações para a tomada de decisão das equipes que atuam no combate ao incêndio. A pesquisa foi realizada em um ambiente real de incêndio subterrâneo, no qual fatores adversos como limitação de luz para acessar a área de incêndio, horário e altura para obtenção de imagens aéreas o que tornam os resultados mais fidedignos com a realidade encontrada nos incêndios.

Partiu-se da hipótese que as informações obtidas na pesquisa de campo pudessem ser comparadas com os dados de duas pesquisas já realizadas, visto que ambas possuem os padrões de comportamento de incêndio em turfa bem similares e pode-se observar que os dados obtidos em campo também corroboraram com o comportamento da queima de turfa das pesquisas anteriores.

A importância de aumentar a eficiência no combate a incêndio nesse tipo de ambiente depende de uma atuação rápida que pode evitar que o incêndio perdure por dias, semanas ou até meses, gerando danos para o ecossistema. A detecção é realizada antes do combate ao incêndio subterrâneo, gerando informações que subsidiam a escolha da melhor estratégia pelas equipes que atuarão no incêndio.

Os métodos aplicados e a análise dos dados podem ser aplicados para uso em outros incêndios em regiões distintas, pois o comportamento da combustão demonstrou ser o mesmo em comparação a outros estudos realizados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cerrado

Myers et al. (2000) incluiu o cerrado brasileiro entre as 25 regiões no mundo consideradas como *hotspots*, ou seja região mais importante para preservar a biodiversidade na Terra.

O cerrado faz limite com as florestas Atlântica e Amazônica, com florestas da bacia do Paraná, com a Caatinga e o Pantanal, possuindo mais de 6.000 mil espécies em geral. Apresenta clima tropical com períodos de seca de aproximadamente cinco meses, podendo ficar períodos de mais de 30 dias sem chuva. O fogo é um fator determinante para a caracterização das fisionomias naturais (UNESCO, 2002).

Cerrado é uma savana floristicamente rica e também é considerado um dos biomas com maior superfície e biodiversidade de espécies de flora e fauna do mundo. Sendo o segundo maior bioma do Brasil e da América do Sul. Sua localização geográfica de cada bioma está relacionada aos fatores climáticos como a temperatura, a pluviosidade e a umidade relativa e, em menor escala, ao tipo de substrato. No Distrito Federal representa uma área de 5.802 km² (SANO et al., 2008).

As três principais unidades de conservação da capital federal são o Parque Nacional de Brasília, a Estação Ecológica de Águas Emendadas e a APA (Área de Proteção Permanente) Gama e Cabeça de Veado, que é constituída por três reservas: Fazenda Agua Limpa (FAL) da Universidade de Brasília (UNB), Reserva do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a Estação Ecológica do Jardim Botânico. Nestas áreas preservadas são realizadas inúmeras pesquisas sobre o cerrado (UNESCO, 2002).

2.2 Áreas úmidas do Cerrado

As áreas úmidas são responsáveis por gerar parcela dos recursos alimentares, área de reprodução, refúgio para diversas espécies. É um ecossistema com alta produtividade primária e atividade biogeoquímica. Sua conservação é de extrema importância para a sua capacidade de manutenção do regime hídrico dos rios, recarga de aquíferos e a perenização dos cursos d'água (DUNGAN, 1990).

Encontram-se no Bioma do Cerrado alguns tipos vegetacionais associados a áreas úmidas. Na tabela 01 está relacionado a definição da vegetação natural do Distrito Federal e relacionado as áreas úmidas no Cerrado, segundo Eiten (2001) como mostra na tabela 01.

Tabela 01 – Fitofisionomias associadas as áreas úmidas do Cerrado

Fitofisionomia	Descrição
Floresta de Galeria	Ocorrem margeando cursos d'água, com solo sempre bem drenado, estacional ou permanentemente saturado.
Campo Úmido	Frequentemente forma uma faixa horizontal sobre encostas de vales, a qual separa o cerrado do interflúvio da floresta-galeria do fundo do vale. Durante a estação chuvosa o lençol freático fica próximo à superfície e aflora, já durante a estação seca a porção superficial do solo mantém-se seca.
Campo de Murundus	Campo úmido com montículos naturais de terra em forma de abóbada (murundus), com cerrado nos seus topos. Os murundus são, provavelmente, o resultado de erosão diferencial por escoamento superficial por longo tempo.

Veredas	Uma unidade de vegetação composta de faixas paralelas com três tipos de vegetação diferentes, lado a lado: campo úmido, brejo permanente graminoso e buritizal.
---------	---

Fonte: (EITEN, 2001).

2.3 Turfa

A turfa é um sedimento orgânico recente, formado a partir da decomposição parcial da matéria vegetal em um ambiente úmido, ácido e de pouca oxigenação (COUILLARD, 1994 apud PETRONI, 1999). Ela faz parte do estágio inicial da formação do carvão mineral em decorrência da decomposição incompleta de material lenhoso, arbustivo, musgos e líquens nas áreas com muita umidade, desta forma a turfa está ligada a zonas alagadas (AGUIAR, 1987). Porém, a definição pode mudar dependendo do Estado ou Instituição, mas é consenso que turfa é um material que tem menos de 25% de massa inorgânica, com base na sua massa seca (ANDREJKO et al., 1983).

Segundo o IPT (1979), a formação dos depósitos de turfa ocorre de duas maneiras. Pela migração da vegetação ao redor de lagos ou lagoas para o centro, constituindo uma camada de plantas aquáticas que permite que outras plantas migrem para regiões mais estáveis nas margens do lago, assim ocorre o depósito de matéria orgânica morta na depressão desses lagos e lagoas conforme mostra a Figura 01.

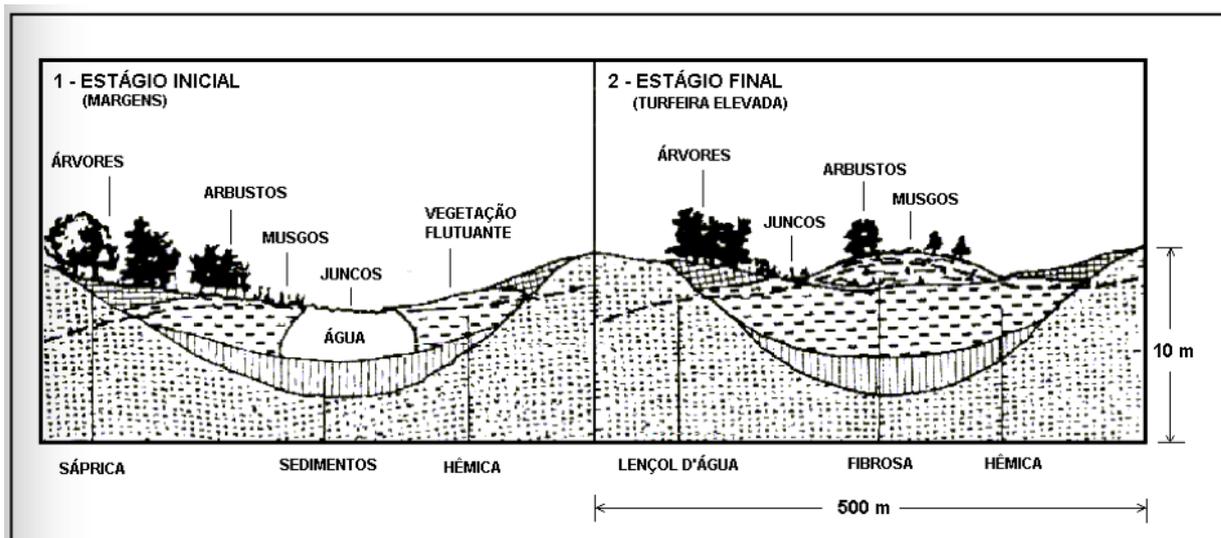


Figura 01 - Processo de formação de turfeiras em lagoas.

Fonte:(IPT, 1979)

A segunda maneira ocorre por inundação constante de regiões de baixa drenagem que possa haver o acúmulo de plantas mortas, folhas, galhos e outro tipo de matéria orgânica. Dessa forma, se dá o início do processo de acúmulo de material vegetal orgânico conforme Figura 02.

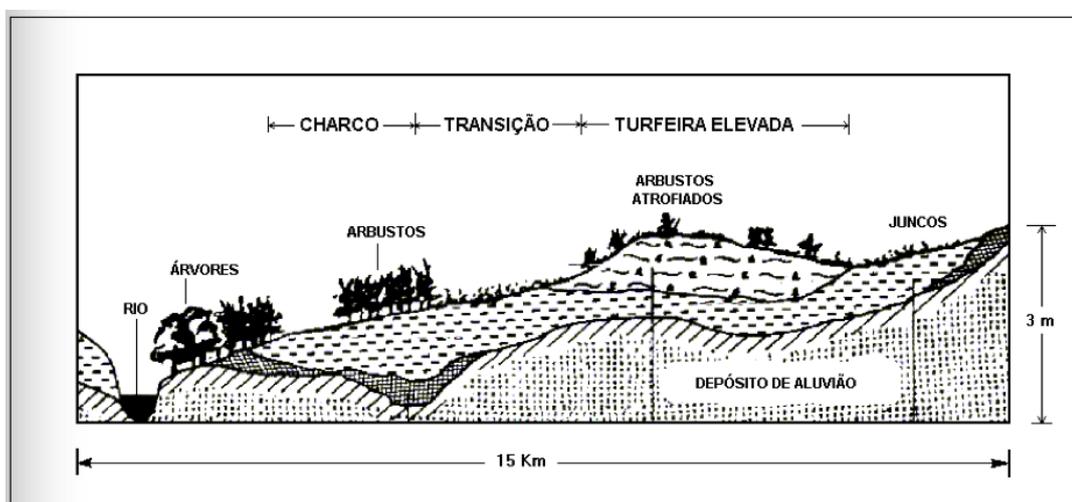


Figura 02 - formação de turfeiras em áreas de inundação.

Fonte:(IPT, 1979)

A baixa oxigenação do solo, que por estar em meio aquoso, gera condições especiais para a decomposição da matéria orgânica, que devido ações de bactérias, fungos e outros microrganismos, levam a perdas dos vegetais originais, perda de oxigênio e hidrogênio, assim enriquecendo o carbono (IPT,1979).

2.4 Incêndios subterrâneos em turfas

Os incêndios subterrâneos em turfa queimam verticalmente e depois lateralmente. O processo da queima é mais intenso no subsolo do que na superfície já que o oxigênio disponível no interior do solo é maior que a faixa mais próxima da superfície devido o produto da queima inferior subir e ocupar o espaço do oxigênio na superfície. Os focos de incêndio podem se propagar pelo subsolo e aparecer pontualmente na superfície em pontos a centenas de metros do ponto de ignição inicial. Uma das consequências desses incêndios é que as raízes das árvores queimam totalmente ou parcialmente até perder sua sustentação e que venham a cair (CHISTJAKOV, 1983).

Esses incêndios se propagam lentamente, sem chamas e causam severos danos físicos, químico e biológicos ao solo, podendo ocorrer em pequena ou grande proporção vindo até a destruir uma floresta inteira. A queima lenta e prolongada destrói raízes e sementes e gera uma enorme perda de biomassa em uma camada de solo. São incêndios que são difíceis de extinguir sem que haja chuvas fortes ou atendimento do Corpo de Bombeiros. (REIN, 2008).

A severidade desses incêndios é tão grande que Block (apud REIN,2008) descreve dois métodos de esterilização em ambiente hospitalar para eliminar microrganismos, um é realizado em autoclave com temperatura de 121°C por um período de tempo de 15 a 30 minutos e o outro é empregado calor a seco com uma temperatura de 150° C à 160° C por 2 horas. A relação de temperatura e tempo de exposição nesse caso é exponencial. Assim conclui-se que exposição do solo a esse tipo de incêndio gera a esterilização no solo sob efeitos muito mais severo, pois a temperatura e o tempo de exposição são muito maiores.

A perda de massa devido a queima da matéria orgânica e a evaporação da água pode chegar a uma taxa que varia de 20% à 75%, assim após observar uma região queimada nota-se que a camada visível do solo é marcada por alguns restos de matéria orgânica queimada ou por componentes minerais evitam a propagação (REIN, 2008).

2.5 Experimentos realizados

Rein (2008) realizou um ensaio no qual foram queimadas 25 amostras de turfa retiradas de uma região do sul de Edinburgh na Escócia, acondicionadas em plástico e posteriormente realizado a queima com diferentes índices de umidade em uma caixa de 100mm x 100mm x 100mm. A caixa foi preenchida com o material até uma altura de 50mm e foram colocados 5 medidores de temperatura para avaliar a temperatura da turfa durante a queima, a severidade da ignição e a taxa de propagação (Figura 3).



Figura 03 - Imagens da queima de turfa realizada por Rein (2008).
Fonte: (REIN, 2008)

Os experimentos mostraram que não houve ignição no material que possuía umidade maior que 35% e que nas queimas a umidade variou entre 15 e 35% a propagação não passou dos 40mm do ponto de ignição se extinguindo em 30 min e a temperatura não passou dos 450° C na região de combustão. Esse fato decorre de que o calor da queima orgânica nessa faixa de umidade é usado para evaporar a água, assim compromete a pré-queima da biomassa que está à frente interrompendo o processo de propagação conforme registros dos termômetros do experimento demonstrado na Figura 04.

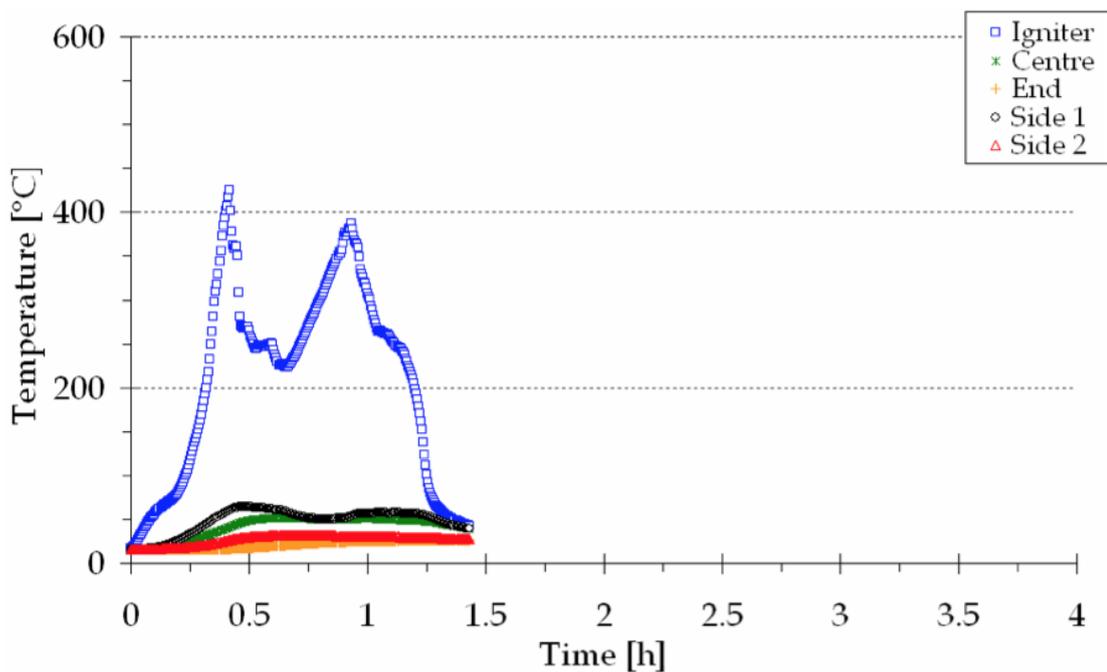


Figura 04 - Temperatura x tempo da queima de turfa com umidade maior que 35%.
Fonte: Adaptado de Rein (2008)

As temperaturas mais altas registradas variaram entre 400°C à 670°C, sendo a mais alta em contato com o material gerador da ignição e em nenhuma área adjacente a ignição se registrou uma temperatura superior a 80° C e nas regiões próximas ao ponto de combustão, após terem sido queimadas não apresentaram temperatura superior a 100°C. Esse padrão de queima foi aferido com a umidade de 2% (Figura 5).

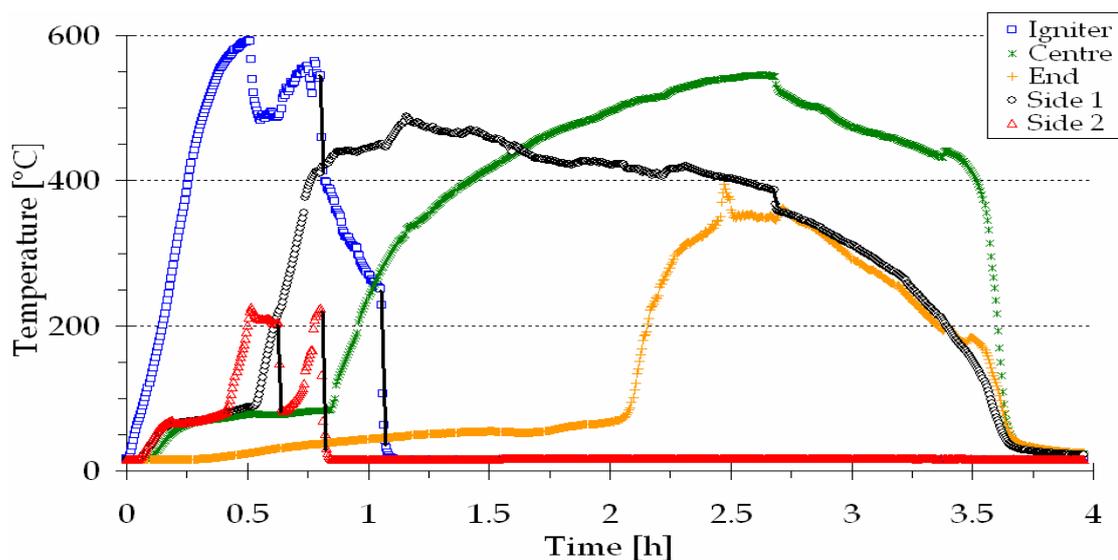


Figura 05 - Leitura dos sensores de temperatura da queima de turfa com humidade de 2% com perda de 97% da biomassa.
Fonte: (REIN, 2008)

Usup (2004) realizou um experimento na floresta de turfas na região de Kilimatan da Malásia, ao longo da rodovia Kilimatan durante a estiagem do ano de 2002. Foram escolhidos nove pontos que variam de 1 a 30 Km de distância entre um e outro.

Foram usados sensores para mediar a temperatura na faixa de profundidade de 0-20cm, 20-40cm e 40-60 cm. Foi usado uma fonte externa para atingir a temperatura de 500° C como ignição.

O experimento mostrou que a temperatura de volatilização do combustível variou de 256°C à 277°C conforme esperado pelo autor. Babraukas (2003 apud USUP, 2004) descreve que a temperatura de volatilização da turfa da região ocorre entre 210°C à 270°C.

A temperatura de ignição variou entre 340°C à 369°C e Roberts (1970 apud USUP, 2004) menciona em seu estudo que essa temperatura variaria entre 280°C à 500°C, ou seja, dentro do esperado.

Ainda foi demonstrado que em um dos eventos de fogo ocorrido entre o período de 21 a 26 de agosto de 2002 foi possível medir a temperatura máxima que a turfa atingiu e o comportamento da região antes e depois de sua propagação conforme a Figura 06.

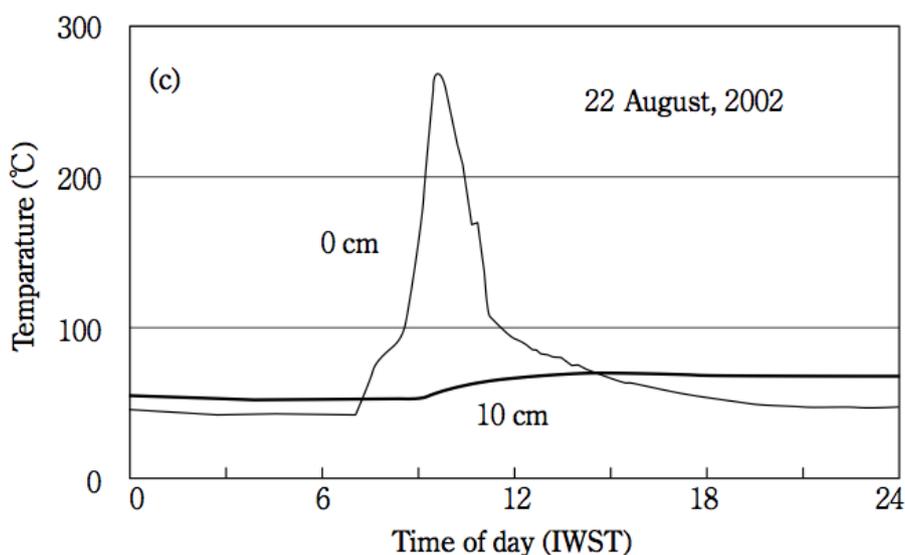


Figura 06 - Temperatura medida em um ponto do solo a 10 cm de profundidade em que o incêndio subterrâneo se propagou.
Fonte: (USUP, 2004)

A queima se inicia próximo das 7 horas da manhã e termina por volta das 12 horas da

tarde e a temperatura que precede a queima fica aproximadamente em 90°C. Depois da queima a temperatura diminui rapidamente.

2.6 Sensoriamento remoto no ambiente

Os corpos possuem temperatura acima de zero Kelvin e emitem energia eletromagnética, assim vegetação, solo, rocha, água e todos os elementos da paisagem são emissores de radiação eletromagnética infravermelha termal no espectro de 3,0 até 14,0 μm . (JENSEN, 2009).

Duas regiões muito importantes para o estudo do infravermelho termal é a faixa entre 3 μm à 5 μm e de 8 μm à 14 μm , pois nessas regiões é possível captar a energia eletromagnética que deixa o terreno. Na faixa de 5 μm à 7 μm a energia é absorvida pela água da atmosfera, assim não é possível os detectores identificarem (JENSEN, 2009).

A região de 3 μm à 5 μm se destaca para monitoramento de alvos com temperaturas mais elevadas como incêndios florestais e atividades geotermiais e a região de 8 μm à 14 μm para monitoramento de solo, vegetação e rochas. Esse fato se justifica com base na lei do deslocamento de Wien (JENSEN, 2009).

Wien descreve a relação onde pode-se determinar o comprimento de onda dominante emitido por um corpo pela (Equação 1):

$$\lambda = k/T \quad (1)$$

Onde k é uma constante igual a 2.898 $\mu\text{m K}$. Assim a relação do comprimento de onda e da temperatura são inversamente proporcionais (JENSEN, 2009).

Os corpos da superfície terrestre não são fontes geradoras de emissão de energia eletromagnética, são corpos que radiam seletivamente, ou seja radiam uma certa proporção da energia emitida por um corpo negro, como exemplo o sol. Assim o conceito de emissividade é importante para a análise de sensoriamento remoto termal (Equação 2)

$$E = m_r/m_b \quad (2)$$

Onde m_r é a radiância emitida por um corpo do mundo real e m_b é a radiância de um corpo negro (JENSEN, 2009).

Assim, é importante saber sobre emissividade ao conduzir uma investigação de sensoriamento remoto termal já que objetos que estejam próximos em um terreno podem ter temperatura cinética verdadeira iguais, mas terem temperaturas aparentes diferentes quando medidas por um radiômetro (Jensen, 2009).

2.7 Câmera Portátil Termal - T4MAX

O radiômetro pesa aproximadamente 1,67 Kg com a bateria, suas imagens apresentam uma resolução de 320x240 pixels, seu alcance espectral varia entre 7,5 – 14,0 μm , permitindo assim uma estabilidade termal na faixa de -20°C até 85°C com variação sensível de $0,05^\circ\text{C}$. Possui componentes eletrônicos para identificar temperaturas até 600°C com variação de erro de 25°C .

A câmera portátil possui em seu visor uma barra lateral que é o indicador de temperatura relativa – ITR. A precisão do indicador depende de alguns fatores como a sua distância do objeto, a emissividade do objeto. A precisão da temperatura diminui quando a distância do objeto ao sensor aumenta.

As especificações técnicas do radiômetro descrevem que há três padrões de colorização da imagem, visando a segurança do operador. A imagem será disposta em amarelo para alertar temperaturas de 260°C até 426°C , em alaranjado para temperaturas de 427°C até 537°C e em vermelho para temperaturas mais quentes que 538°C . Esses padrões não podem ser alterados, pois são medidas de segurança para o usuário (BULLARD, 2013).

3. METODOLOGIA DE TRABALHO

3.1 Área de Estudo

A área de estudo foi escolhida em função da ocorrência de um incêndio subterrâneo em área de turfa. No dia 12 de setembro de 2014, nas proximidades da Quadra 18/20 da região administrativa do Park Way que se localiza dentro da Área de Proteção Ambiental Gama e Cabeça de Veado, iniciou-se um incêndio florestal superficial que provocou o início do incêndio subterrâneo em turfa.

O local está localizado na bacia hidrográfica do Rio Paranoá, próximo ao limite oeste da Estação Ecológica do Jardim Botânico de Brasília que faz parte da Reserva da Biosfera do Cerrado e do Núcleo Rural Vargem Bonita que é considerado zona tampão da Reserva. O Córrego Mato Seco cruza a área de turfeira.

Devido estar cercada pela zona tampão conforme mostra a figura 07 é uma região com muitas chácaras ao redor.

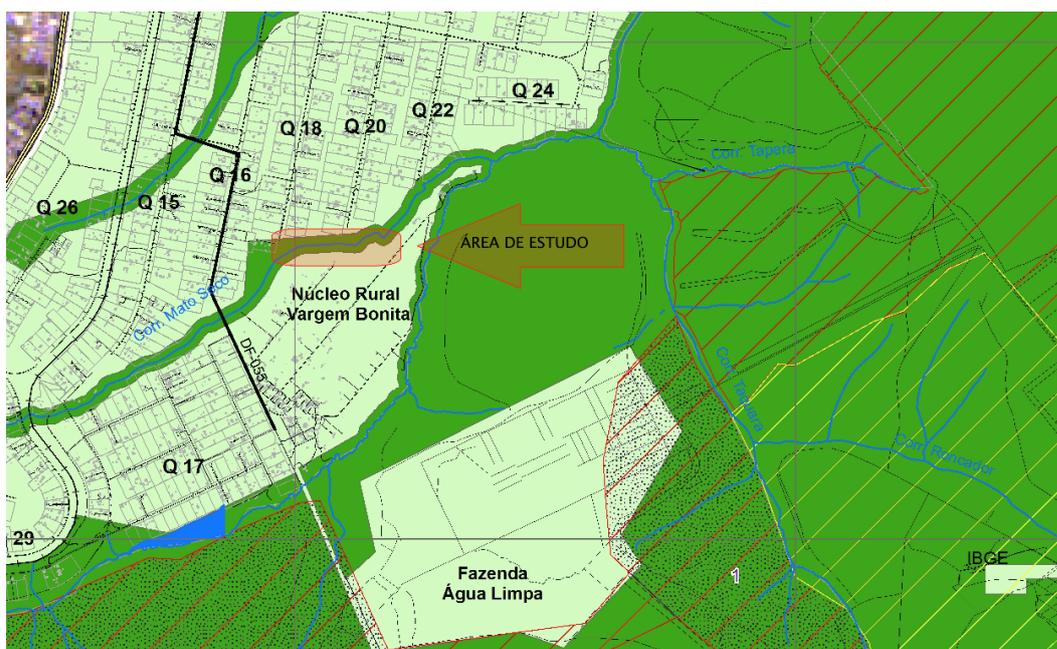


Figura 07 – Cartograma com a área de estudo.

3.2 Materiais

Utilizou-se um radiômetro modelo T4MAX *Thermal Imager* da Bullard, 320x240 pixel, não refrigerado e opera no espectro infravermelho de 7,5 μm – 14 μm para geração das imagens. GPS Garmin, modelo 76CSx foi utilizado para identificar as coordenadas geográficas dos focos de incêndios subterrâneos. As imagens aéreas foram feitas a partir de um helicóptero modelo EC 135 da Airbus Helicopter.

3.3 Métodos

A localização de focos no subsolo foi realizado após o controle do incêndio superficial e se deu de forma visual, visando descartar as queimas de troncos, galhos, despejos de origem antrópica que ainda queimam na superfície, de forma sensitiva, pois o fluxo de calor emitido pelo solo permite ao operador do radiômetro sentir as áreas mais quentes no corpo e por último a utilização do radiômetro termal para observar se o local apresentava padrões similares ao comportamento da queima realizada no experimento de Rein (2008) e da experiência de campo de Usup (2004). Os focos localizados foram lotados utilizando o GPS.

A distância a ser utilizada entre o radiômetro e o possível foco será variável entre 1m e a distância que operador possa se aproximar com segurança, devido à instabilidade do terreno, bem como o ângulo de visada entre o radiômetro e o foco será variável visando obter 90° dentro das possibilidades de segurança.

O radiômetro também foi utilizado para gerar imagens aéreas por meio de um sobrevoo de helicóptero sobre o local do evento, afim de verificar se as imagens geradas podem contribuir para realizar localização de focos de forma ampla. As imagens foram obtidas de forma manual, por meio do operador segurando o radiômetro e captando as imagens com a aeronave no pairado, com portas abertas e a uma altura mínima que não entre no efeito solo gerado pelo fluxo de ar das pás do rotor e não gere deslocamento excessivo da fuligem acomodada no solo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O incêndio superficial foi controlado por volta das 16 horas do dia 12 e posteriormente foi utilizado o radiômetro infravermelho para localizar os focos subterrâneos na área queimada. Foram identificados 11 focos, conforme mostram a Tabela 02 e a Figura 08. A atividade de detecção só pode ser realizada até o horário próximo ao pôr do sol, o que inviabilizou a localização de outros pontos devido a insegurança de andar em um terreno instável sem a claridade, por mais que a câmera térmica pudesse ser usada no período noturno. A hora registrada nas imagens capturadas estão com uma hora de atraso em relação ao horário correto.

Tabela 02. Localização geográfica dos focos de incêndio subterrâneo identificado

Foco	Coordenadas
1	15°55'03.60" S; 47°56'13.00" O
2	15°55'00.08" S; 47°56'09.80" O
3	15°55'01.20" S; 47°56'09.40" O
4	15°55'00.30" S; 47°56'08.90" O
5	15°55'04.70" S; 47°56'09.00" O
6	15°55'03.20" S; 47°56'15.30" O
7	15°55'03.70" S; 47°56'16.20" O
8	15°55'00.50" S; 47°56'11.00" O
9	15°55'00.40" S; 47°56'09.30" O
10	15°55'04.60" S; 47°56'13.80" O
11	15°55'01.00" S; 47°56'09.30" O



Figura 08. Localização dos focos de incêndio subterrâneos.

A umidade relativa do ar no dia era de aproximadamente 16% às 18 horas conforme registrado na estação meteorológica Brasília (Figura 09). Observa-se que a umidade relativa do ar começa a decair a partir do dia 04 de setembro e tem seu percentual mais baixo no dia em que o incêndio subterrâneo iniciou-se, no dia 12. Essa constante queda na umidade relativa influencia na umidade superficial do solo e conforme descrito no estudo de Rein (2008), a queima na turfa não acontece com umidade no solo acima de 35% e que quanto menor a umidade do solo, maior a severidade da combustão da turfa.

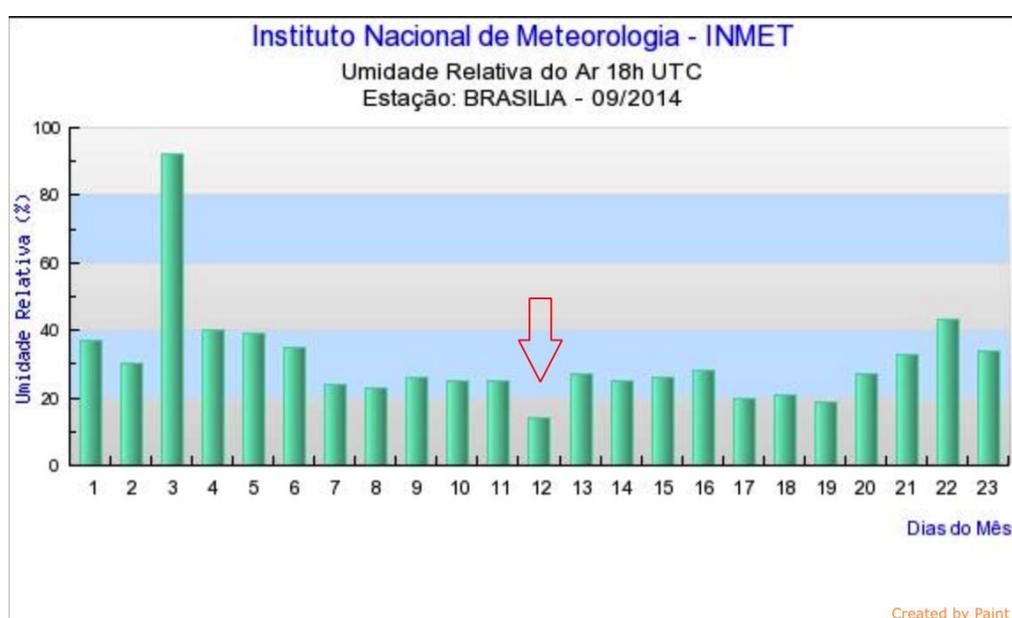


Figura 09 - Umidade relativa do ar.
Fonte: INMET

4.1 Análise das imagens capturadas no solo

As Figuras 10 e 11 são imagens geradas do foco de incêndio subterrâneo. A Figura 10 mostra como o foco é visto a olho nu, ou seja no espectro visível, na qual não há nenhum indício visual da presença de foco de incêndio, nem as cinzas, que se confundem com a presença de matéria orgânica presente na turfa. A Figura 11 mostra a atividade térmica por meio do espectro do infravermelho termal, na qual, na região vermelha, afere-se temperaturas superiores à 450°C. Compara-se com o ensaio de Rein (2008) que mostrou que a temperatura da queima da turfa varia entre 400°C à 670°C e nas suas regiões adjacentes não apresenta temperatura superior a 100°C, ou seja, o comportamento se adequa aos ensaios realizados por Rein (2008) e Usup (2004).



Figura 10 - Foco de incêndio subterrâneo (espectro visível).

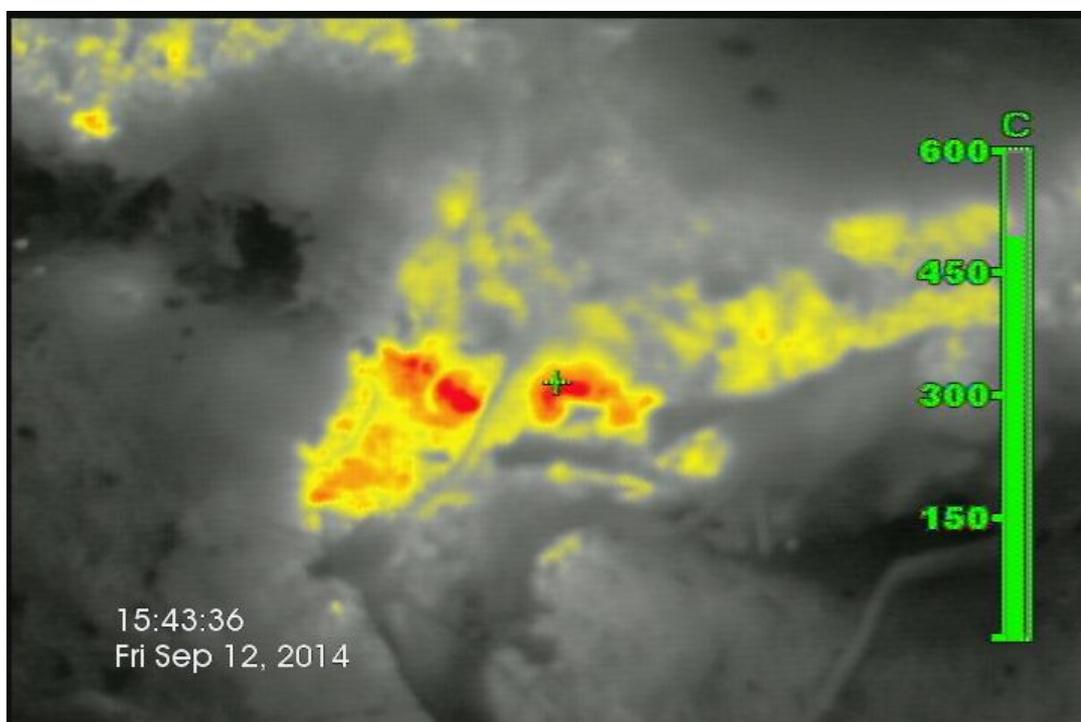


Figura 11 - Foco de incêndio subterrâneo (espectro termal).

As Figuras 12, 13, e 14 são de outros focos de incêndio subterrâneo capturadas pela câmera digital no espectro visível. A Figura 12 mostra um foco no solo desnivelado, a Figura 13, o foco no solo nivelado e na Figura 14, o foco queimando a raiz de uma árvore.



Figura 12 – Foco de incêndio subterrâneo no solo desnivelado.



Figura 13 – Foco de incêndio subterrâneo no solo nivelado.



Figura 14 – Foco de incêndio subterrâneo em raiz de árvore.

As Figuras 15, 16, 17, 18 e 19 foram obtidas nos focos de incêndio subterrâneo capturadas pelo radiômetro de infravermelho termal. As Figuras 15 e 16 são focos de incêndio que ocorrem numa região em que o solo está contínuo, ou seja, não apresenta falhas ou desníveis, sendo possível observar temperaturas superiores a 400°C chegando a quase 600°C.

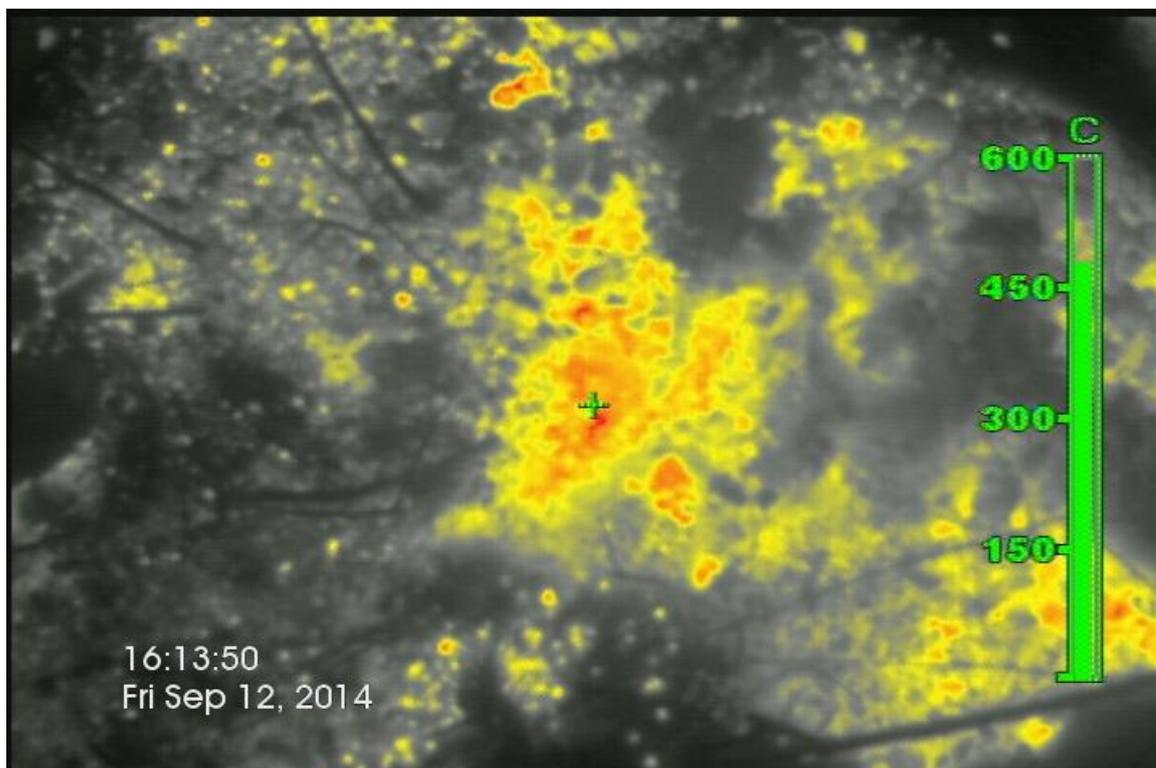


Figura 15 - Foco subterrâneo em solo nivelado e contínuo.

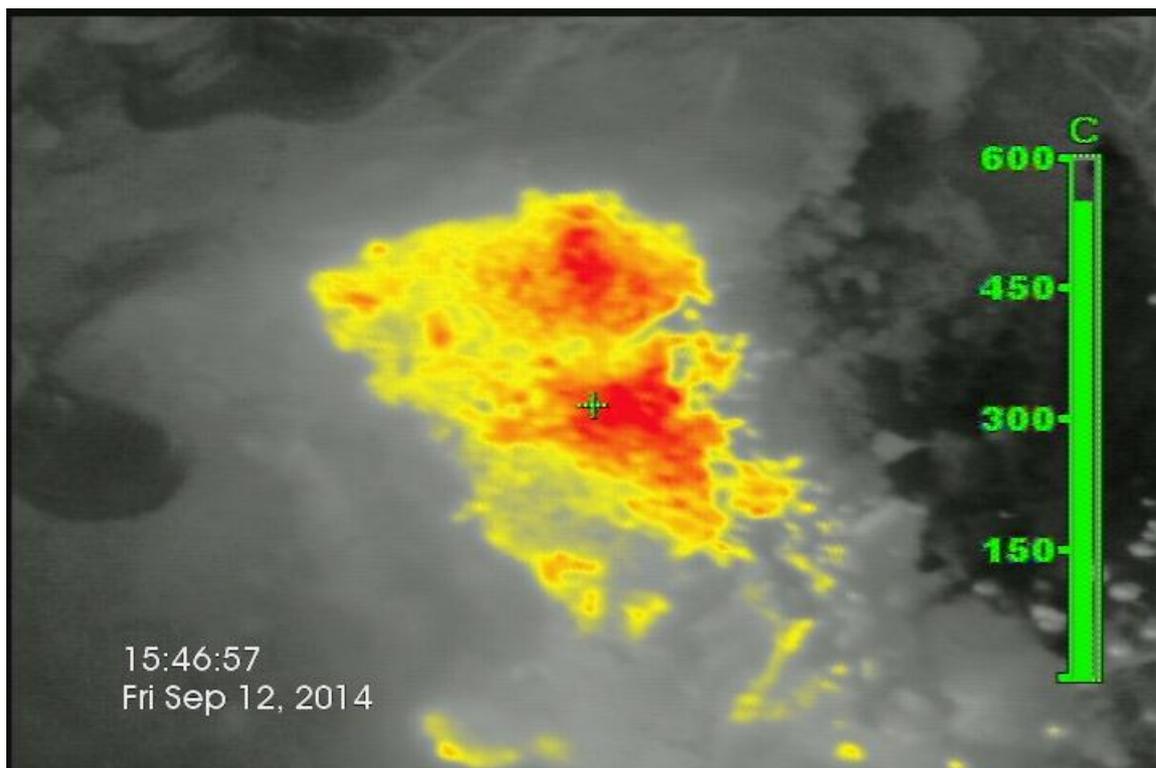


Figura 16 - Foco subterrâneo em solo nivelado e contínuo.

A Figura 17 observa-se um foco no solo que apresenta um desnível sendo aplicado a visada angulada do radiômetro termal. Nas Figuras 18 e 19 o foco atingiu a raiz de uma árvore e que a queima apresenta temperatura superior a 400°C (Figura 18) e na Figura 19 fica bem claro que logo na adjacência da queima a temperatura não passa dos 100°C .

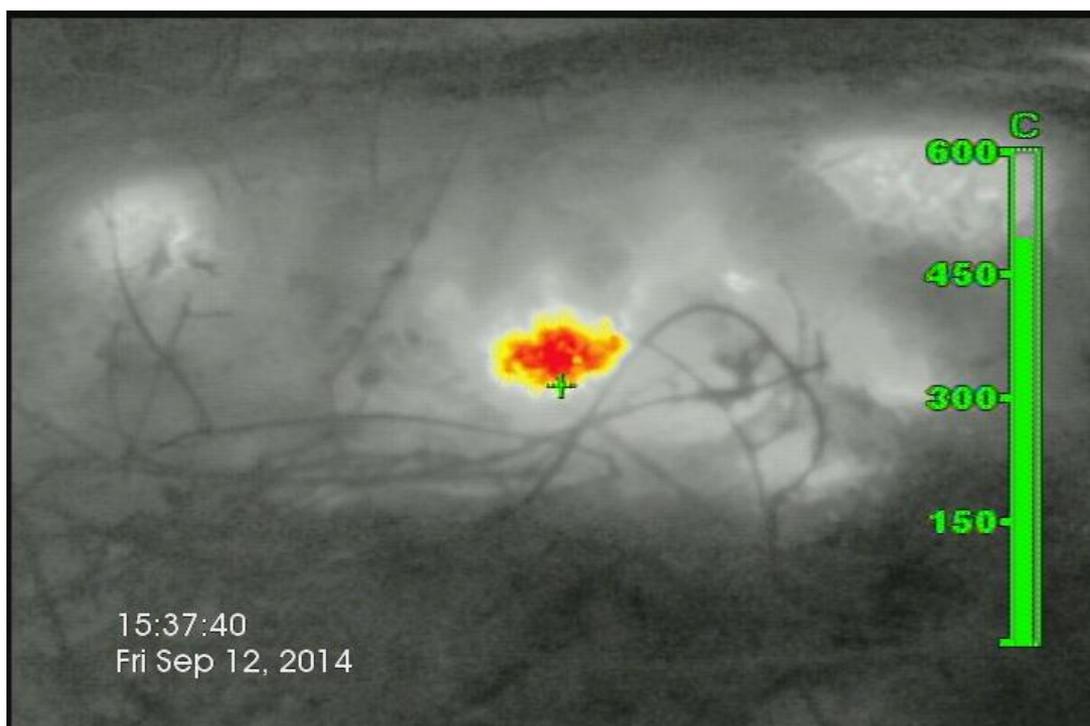


Figura 17 - Foco de incêndio em solo desnivelado, visada angulada.

Nas Figuras 18 e 19 o foco atingiu a raiz de uma árvore e que a queima apresenta temperatura superior a 400° C (Figura 18) e na Figura 19 fica bem claro que logo na adjacência da queima a temperatura não passa dos 100° C.

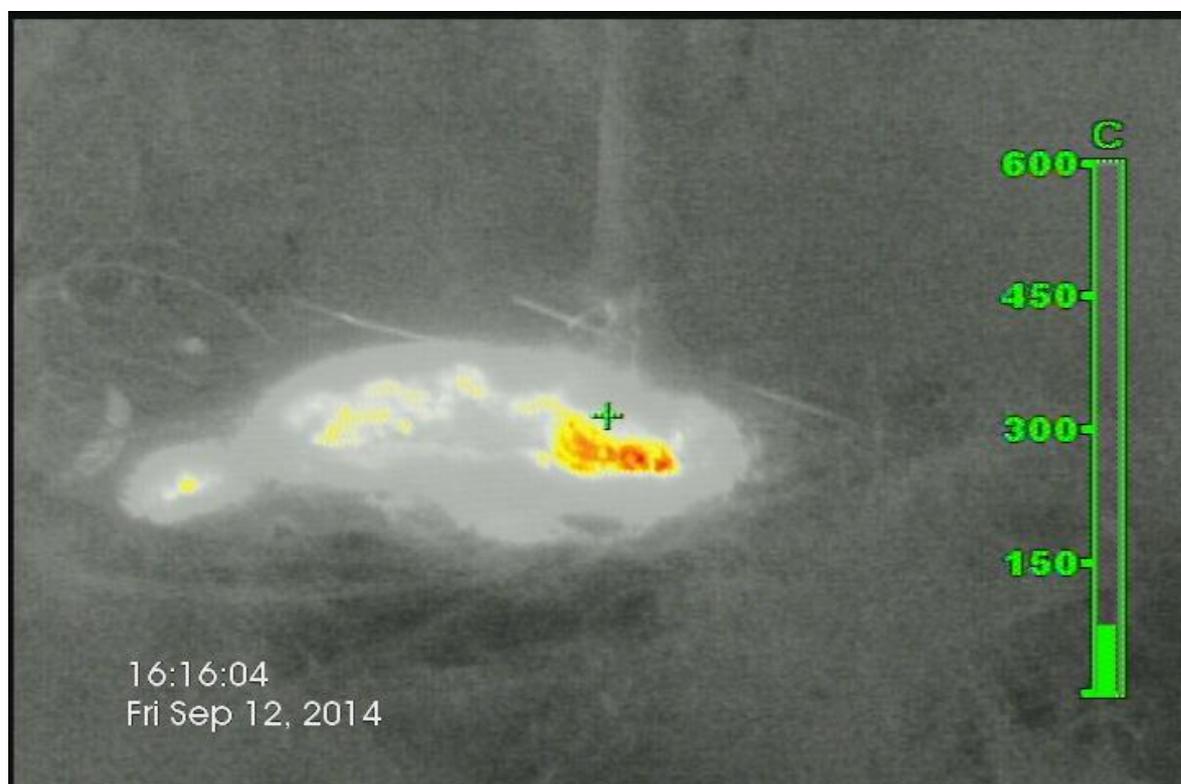


Figura 18 - Foco subterrâneo na raiz em uma árvore

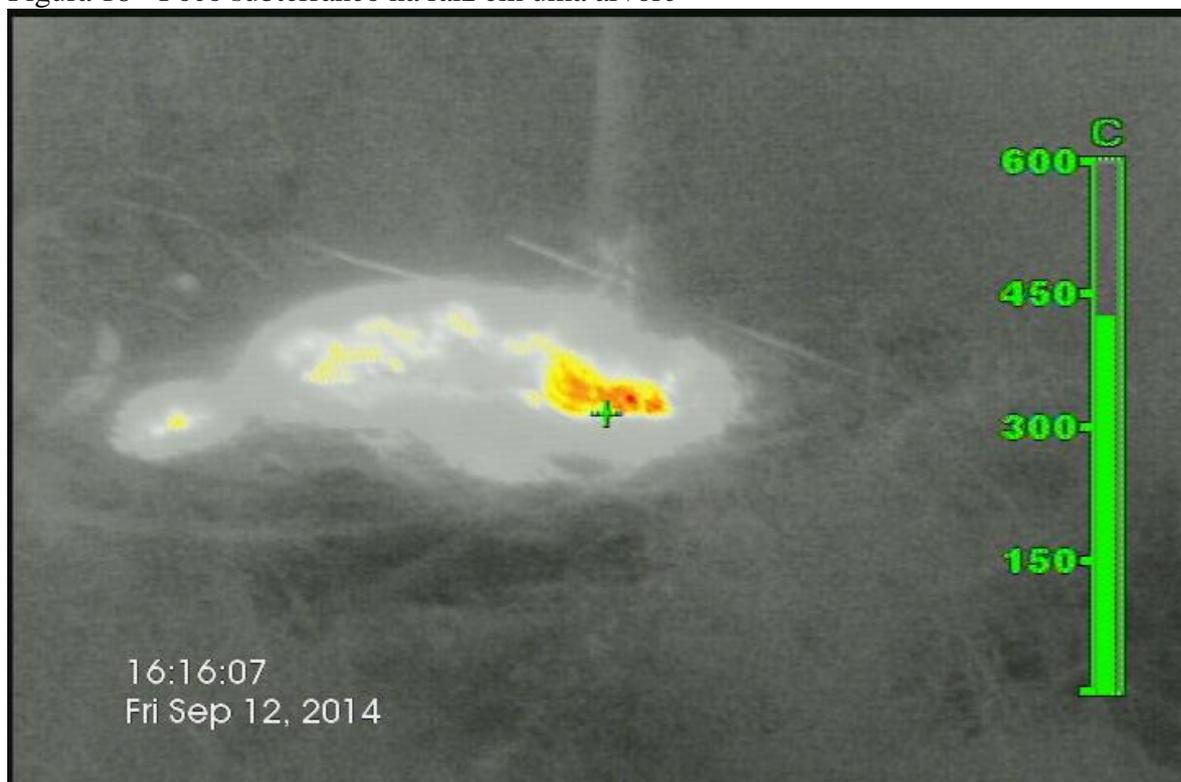


Figura 19 - Foco subterrâneo na raiz da árvore. Temperatura adjacente menor que 100°C.

4.2 Análise das imagens aéreas

As imagens aéreas foram obtidas por volta das 8 horas da manhã do dia seguinte ao início do incêndio. Foi possível detectar os pontos mais quentes de uma forma mais ampla que viabilizam a identificação de atividade termal subterrânea próximas em áreas ainda não afetadas e deduzir como o incêndio tende a propagar (Figura 22). Porém, devido a distância não é possível visualizar os detalhes do foco, mas, em uma análise de um foco pontual, como mostra nas Figuras 20 e 21, o radiômetro térmico pode ser apontado para um ponto próximo de um foco e a temperatura presente temperatura mais reduzida (Figura 21). No mesmo local, apontando-se para o centro do foco de incêndio é possível observar a elevação na temperatura (Figura 20).

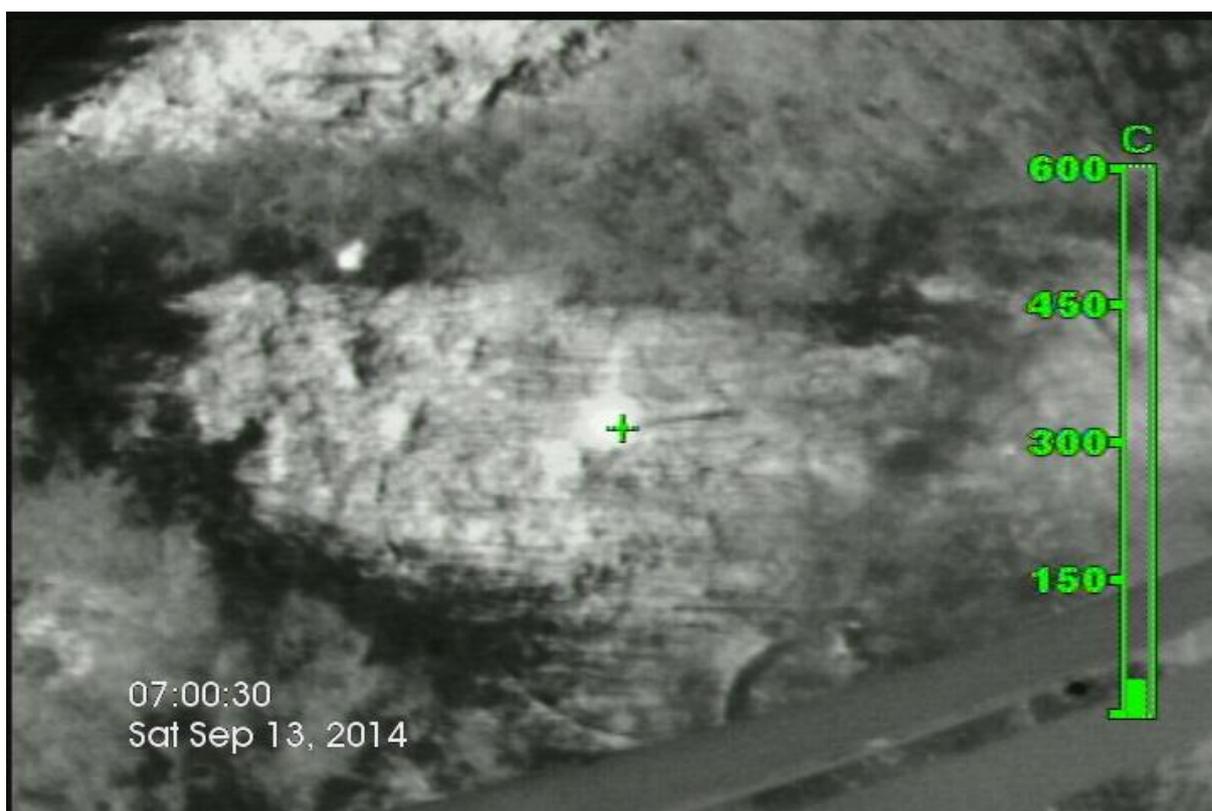


Figura 20 - Imagem de pontos quentes no incêndio obtida no sobrevoo.

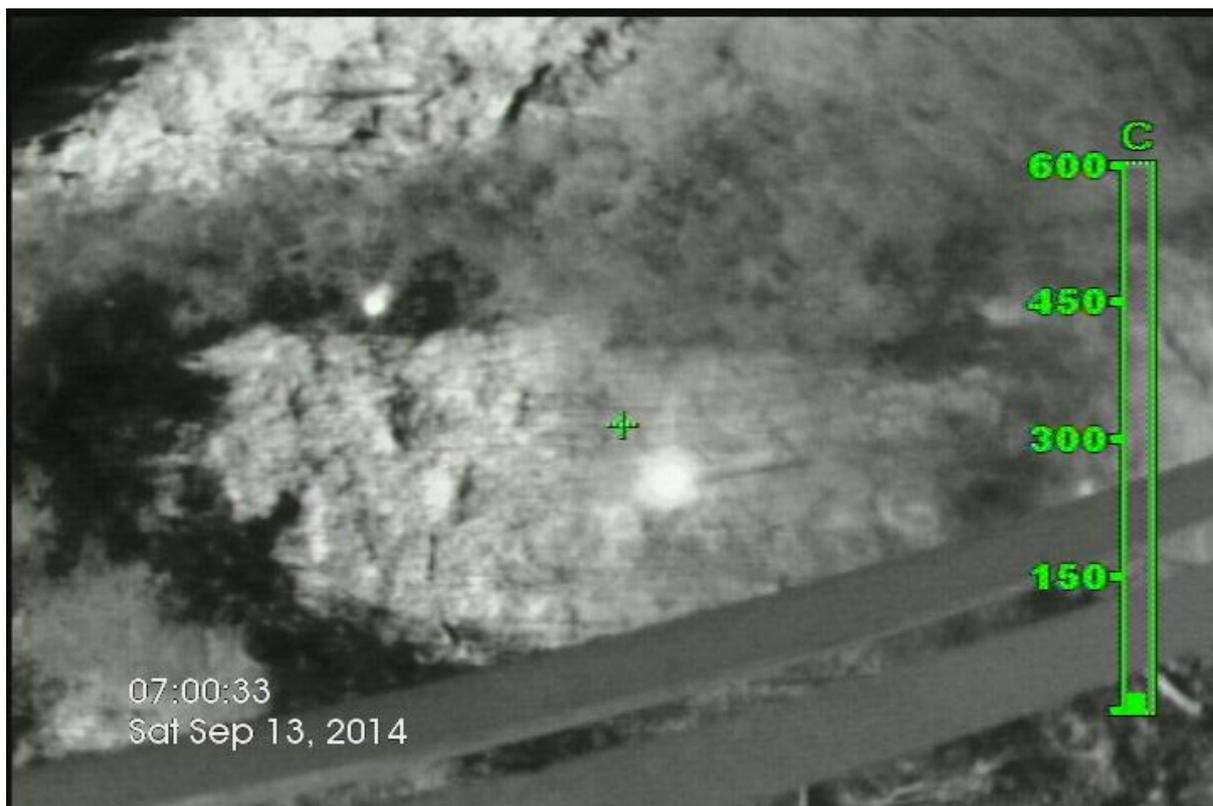


Figura 21 - Imagem de pontos adjacentes aos focos de incêndio obtida no sobrevoo.

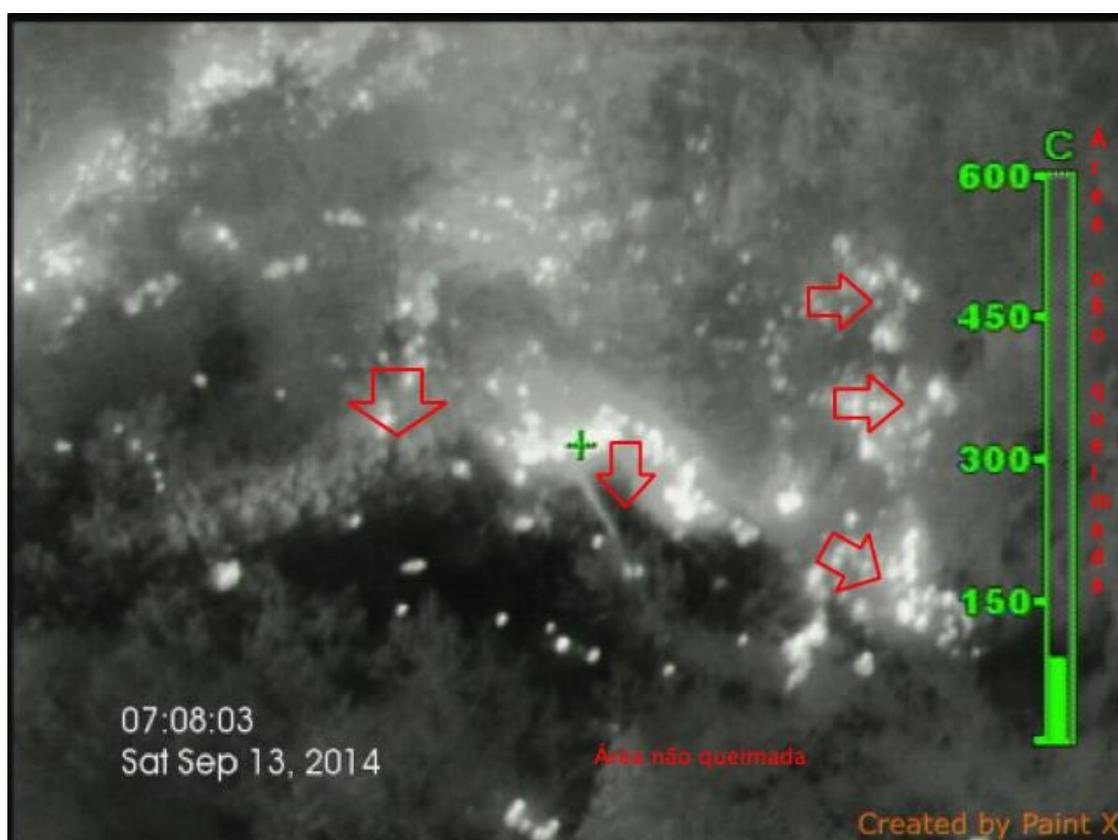


Figura 22 - Imagem de pontos quentes no incêndio e sentido da propagação.

Rein (2008), em seu ensaio, demonstra que nenhuma área adjacente a queima apresentou temperaturas superiores a variações de 80° C a 100° C, ou seja 353K a 373K, utilizando-se a lei de Wien, não se tem comprimentos de ondas dominantes menores que 8,209 μm à 7,769 μm .

Para as temperaturas mais altas, que variam entre 400°C a 670°C na experiência laboratorial de Rein (2008) e de 340°C à 369°C na experiência de campo de Usup (2004) os comprimentos de onda dominante variariam entre 4,306 μm até 3,073 μm para o experimento de Rein (2008) e de 4,72 μm até 4,51 μm no experimento de Usup (2004), ou seja, o comprimento dominante não atenderia os parâmetros do detector de infravermelho termal utilizado. Porém, conforme Bullard (2013), o radiômetro apresenta outros dispositivos eletrônicos que identificam temperaturas até 600°C com uma margem de erro de 25°C para mais ou para menos. Segundo Jensen (2009) o comprimento de onda entre 2,5 μm a 5 μm possui uma janela entre 3,5 μm a 4 μm que o CO₂ contido na fumaça absorve a energia nessa faixa e comprometeria o sensoriamento remoto, mesmo usando outro radiômetro térmico.

As imagens nas figuras de 15 à 19 mostram o mesmo padrão ao comportamento da queima nos experimentos de Rein (2008) e Usup (2004), com a mesma faixa de temperatura no local da queima e com a mesma variação de temperatura nas áreas adjacentes de pré queima e pós-queima.

Nas imagens aéreas torna-se mais difícil obter imagens com os padrões de queima dos estudos realizados, devido a distância do foco do incêndio para câmera portátil térmica, pois a definição de imagem do sensor é de 320x240 pixel. A altura da aeronave variou de 8 a 12 metros, assim cada pixel da imagem relata uma informação de uma área maior.

O sobrevoo na região, sem a claridade não pode ser realizado por fatores técnicos de segurança de voo, o horário ideal para o sobrevoo foi o mais cedo possível para evitar que a energia de ondas curtas provenientes do sol e refletidas para atmosfera pudessem criar interferências nas imagens. Outro fator são os ventos que no início do dia propiciam voos mais precisos evitando que as imagens borrem ou fiquem com faixas. (JENSEN, 2008).

A análise de sensoriamento remoto termal neste estudo não ocorre com comparação entre dois objetos de propriedades diferentes, como por exemplo: rio, vegetação, solo, mas

sim somente do solo com atividade de combustão ou sem atividade anômala termal, ou seja, um objeto com as mesmas propriedades.

As interpretações das imagens não devem ser realizadas unicamente por meio do sensor infravermelho. O conhecimento teórico sobre a dinâmica de incêndio subterrâneo em turfa e a observação da imagem gerada no espectro visível pelo olho do observador contribuem para que por meio da imagem da Figura 22 seja inferido e comprovado que a linha formada pelos pontos mais claro é uma frente de queima no subsolo que avança para uma área ainda não queimada. Assim o reconhecimento aéreo com o sensor de infravermelho pode definir áreas prioritárias de atuação para as equipes de combate ao incêndio atuem rapidamente nos focos do incêndio.

5. CONCLUSÃO

As áreas úmidas que pertencem ao bioma do cerrado são regiões sensíveis e de alta relevância para o ecossistema local e preservação do ciclo hidrológico, assim a severidade do incêndio subterrâneo em turfa, que pode gerar esterilização do solo, pode causar danos irreversíveis ao ecossistema local. Logo, realizar estudo a partir de queimadas controladas pode gerar uma grande perda para o meio ambiente o que dificulta a pesquisa na área.

Os padrões de combustão e propagação da queima da turfa apresentam um comportamento similar em diversos locais do mundo, possibilitando assim, pré-estabelecer o comportamento deste tipo de incêndio. Os padrões do comportamento da queima em turfa observados com a câmera portátil térmica apresentaram também os mesmos padrões. Desta forma, após a detecção seria possível realizar estudos de monitoramento do incêndio por si só, bem como ao longo do tempo para avaliar os danos causado ao ecossistema local.

O emprego do sensor térmico de infravermelho nas ações de detecção de focos de incêndio subterrâneo em turfas demonstrou ser de extrema importância para uma detecção mais precisa e o objetivo de localizar os focos foram atingidos, não somente para fins de estudo do ecossistema, mas as imagens geradas durante o sinistro geram uma informação

relevante para os órgãos de resposta, pois a tomada de decisão pode ser mais rápida e eficiente para uma atuação das equipes que trabalham no combate ao incêndio no local.

Os resultados desta pesquisa geram a possibilidade de desenvolver outros estudos para ampliar o conhecimento sobre o assunto. O monitoramento do incêndio subterrâneo em turfa por câmera térmica portátil pode ser feito durante o combate ao incêndio até sua extinção permitindo conhecer o comportamento do foco ao longo do tempo. O emprego do equipamento permite que sejam realizados estudos não somente em incêndios subterrâneos em turfa, mas em outros tipos de substratos no solo como lodo de esgoto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, Ludimila Moura de Souza; CAMARGO, Amábilio José Aires de. **Cerrado: ecologia e caracterização**. Brasília: Embrapa, 2004.

ANDREJKO, M. J.; FIENE, F.; COHEN, A. D. **Comparison of ashing techniques for determination of the inorganic content of peats**. In: SYMPOSIUM ON TESTING OF PEATS AND ORGANIC SOILS, Toronto, 1982. **Proceedings**. Toronto, ASTM, 1983.

BULLARD. **T4MAX Thermal Imager Bid Specifications**. Cynthiana, KY. USA, 2013.

CHISTJAKOV, V.I. et al. Measures for Fire-Prevention on Peat Deposits. In: Wein, R.W.; MacLean, D.A. **The role fire in northern circumpolar ecosystems**. USSR: SCOPE, 1983. Cap 14, p.259-271.

DUGAN, P. **Wetland Conservation**. IUCN, 1990. 95p.

EITEN, G. **Vegetação Natural do Distrito Federal**. Brasília: Universidade de Brasília/SEBRAE, 2001. 162p.

FRANCHI, José Guilherme. **Aplicação de turfa na recuperação de solos degradados pela mineração de areia**. Dissertação Mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Página consultada em 24 de setembro de 2014, <<http://www.inmet.gov.br>>

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Estudo das possibilidades de aproveitamento de turfa no Estado de São Paulo**. São Paulo, IPT, 1979. (Relatório 12.761)

JENSEN, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.

MYERS, N. **Biodiversity hotspots for conservation priorities**. NATURE, 2000. p. 853–858.

REIN, G. et al. **The severity of smouldering peat fires and damage to the forest soil**. Catena. 74 (3), p.304-309,2008.

SANO, Sueli Matiko; ALMEIDA, Semíramis Pedrosa de; RIBEIRO, José Felipe. **Cerrado - Ecologia e Flora**. Embrapa Informações Tecnológica, Brasília-DF, 2008.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E CULTURA. **Vegetação do Distrito Federal: tempo e espaço**. – 2.ed. – Brasília: UNESCO, 2002. 80p

PETRONI, Sérgio Luis Graciano; PIRES, Maria Aparecida Faustino; MUNITA, Casimiro Sepúlveda. **Adsorção de Zinco e Cádmio em colunas de turfa**. Química Nova, V.23, n.4, p.477- 481, 1999.

USUP, A. et al. **Combustion and thermal characteristics of peat fire in tropical peatland in Central Kalimantan, Indonesia**. Tropics. V. 14(1), 2004.