

# ANÁLISE TEMPORAL E ESPACIAL DOS FOCOS DE CALOR NO MUNICÍPIO DE SÃO FRANCISCO DE PAULA, RS, NO PERÍODO ENTRE 2003 E 2012

Temporal and Spatial Analysis of Fire Zones in São  
Francisco de Paula Municipality, RS, between 2003 and  
2012

Daniela Zanetti Bittencourt<sup>1</sup>  
Thiago Bazzan<sup>2</sup>  
Regis Alexandre Lahm<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Tratamento de Imagens e  
Geoprocessamento, Departamento de  
Geografia/Pontifícia Universidade Católica  
do Rio Grande do Sul

<sup>2</sup>Engenharia Ambiental e  
Sanitária/Faculdade Dom Bosco

---

## Resumo

O objetivo deste trabalho consiste em utilizar técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para a identificação, análise e monitoramento temporal e espacial dos focos de calor registrados no município de São Francisco de Paula, no período de 2003 a 2012. Os dados de focos de calor foram detectados pelo sensor MODIS do satélite AQUA Tarde e AQUA UMD Tarde. Tratando-se da análise temporal, notou-se que os meses mais suscetíveis a queimadas foram os de inverno e os de primavera. Em uma análise espacial e de densidade, foram identificadas maiores ocorrências de focos de calor próximos a estradas da zona rural do município e maiores densidades no interior do município. Em relação às Unidades de Conservação, encontraram-se maiores números de ocorrências de focos de calor naquelas que são estaduais. Com as análises obtidas, denotou-se uma avaliação mais detalhada através do MODIS do satélite AQUA UMD Tarde.

**Palavras-chave:** Focos de Calor; São Francisco de Paula; AQUA Tarde; AQUA UMD Tarde; Unidades de Conservação.

## Abstract

The objective of this work is to use remote sensing and GIS for identification, monitoring and analysis of spatial and temporal hotspots recorded in São Francisco de Paula, in the period 2003-2012. The data of hotspots were detected by MODIS satellite Aqua Afternoon and Aqua UMD Afternoon. In the case of temporal analysis, it was noted that the months were more susceptible to burn belonged the winter and spring. In an analysis of spatial and density were identified higher occurrences of hotspots near roads in the rural area and higher densities within the municipality. Regarding Protected Areas, the largest number of occurrences of hotspots was found in those that are state. With analyzes obtained, it was denoted up a more detailed assessment by the MODIS Aqua UMD Afternoon satellite, it was presented a number of records possibly closer to reality.

**Keywords:** Hotspots; São Francisco de Paula; Aqua Afternoon; Aqua UMD Afternoon; Protected Areas.

## Correspondência:

Daniela Zanetti Bittencourt  
Pontifícia Universidade Católica do Rio  
Grande do Sul - Departamento de Geografia  
- Laboratório de Tratamento de Imagens e  
Geoprocessamento. Avenida Ipiranga, 6681,  
Partenon, Porto Alegre, RS.  
Email: daniela.bittencourt@acad.pucrs.br

Recebido em setembro de 2013  
Aprovado em outubro de 2013  
Artigo disponível em  
[www.cadegeo.uff.br](http://www.cadegeo.uff.br)

## INTRODUÇÃO

As queimadas no Brasil têm sido objeto de grande preocupação, inclusive em regiões com ecossistemas florestais como a Floresta Amazônica e Mata Atlântica. Atingem os mais diversos sistemas ecológicos e tipos de agricultura, gerando impactos ambientais em escala local e regional.

O Rio Grande do Sul, apesar de não estar entre os estados brasileiros com maior número e risco de focos de calor, apresenta grande preocupação nesse tema pelo fato de que os focos atingem diversos sistemas ecológicos, principalmente a Mata Atlântica, encontrada na região de Campos de Cima da Serra.

A área de estudo adotada é o município de São Francisco de Paula, localizado a nordeste do estado do Rio Grande do Sul. Em primeira instância este município, estava vinculado ao COREDE (Conselho Regional de Desenvolvimento) Região Campos de Cima da Serra, entretanto, em 2011, devido a sua modificação de características socioeconômicas, passa a ser da região das hortênsias, de acordo com o FEE (2011). Este município, segundo INPE (2012), é o que apresenta maior número de queimadas registradas no estado do Rio Grande do Sul no período entre 2003 e 2011. Deve-se comentar que a prática de queimadas no Rio Grande do Sul, principalmente na região de Campos de Cima da Serra, é bastante utilizada na agropecuária para renovação de pastagens, limpeza de áreas, queima de resíduos, entre outros (COELHO e GUASSELLI, 2009).

Considerando a paisagem natural da região de estudo, deve-se observar a importância da identificação de ocorrências de focos de calor, pois o bioma é o da Mata Atlântica, que apresenta poucos remanescentes florestais. Nesta região do estado do Rio Grande do Sul o ecossistema é único, caracterizando uma zona ecótona, de transição de campos nativos com diferentes tipos de floresta. A condição ambiental da área de estudo é de extrema relevância quando se tem o conhecimento do desmatamento que ocorre, advindo do uso de métodos que levam ao impacto ambiental negativo: práticas da agropecuária. Ainda sim, deve-se considerar que esse ecossistema é influenciado por fatores climáticos e topográficos. Estes últimos são reconhecidos como um perfil de altitudes elevadas, pois a área se encontra no Planalto Serra Geral, com características de relevo em colinas. Portanto, compreende-se a preocupação de preservação ambiental destes ecossistemas encontrados na região, através do grande número de Unidades de Conservação, totalizando cinco: APA Rota do Sol, ESEC Estadual Aratinga, PE do Tainhas, PARNA da Serra Geral e FLONA de São Francisco de Paula. Além disso, há o Centro de Pesquisas e Conservação da Natureza Pró-Mata.

Unidade de Conservação, conforme a Secretaria Estadual do Meio Ambiente, SEMA, (2012), é o espaço territorial definido por seus recursos ambientais: águas jurisdicionais e características naturais relevantes. A Unidade de Conservação é legalmente instituída pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos e sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção, de acordo com a definição presente na Lei Federal nº 9.985, de 18/07/2000, que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), regulamentação pelo Decreto Federal nº 4.340, de 22/08/2002.

O Sistema Estadual de Unidades de Conservação (SEUC) do Rio Grande do Sul foi criado pelo Decreto nº 34.256/1992 e regulamentado pelo Decreto nº 38.814/1998, sendo constituído pelo conjunto de Unidades de Conservação estaduais e municipais. O uso do fogo em florestas e demais formas de vegetação natural é proibido segundo o Artigo 28 da Lei 9.519 que institui o Código Florestal Estadual do Rio Grande do Sul, que está em vigor desde 21 de janeiro de 1992. Como forma de exceção, admite-se o uso de fogo em Unidades de Conservação somente quando empregado com autorização do IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) para a construção de aceiros visando evitar a propagação de incêndios conforme a resolução do CONAMA nº 11 de 14 de dezembro de 1988.

A identificação de queimadas é uma tarefa de extrema importância, pois permite o monitoramento e acompanhamento das áreas atingidas e das áreas que estão sujeitas a ação do fogo. De acordo com Granemann e Carneiro (2009), o avanço tecnológico tornou-se possível utilizar imagens de satélites, obtidas a partir de sensores remotos a bordo de satélites, para detectar e localizar, em tempo real, focos de incêndio. Uma forma de diminuir a incerteza na detecção de superfícies queimadas, de acordo com Piromal *et al.*, (2008), é a utilização de dados de sensores que apresentem características geométricas e radiométricas apropriadas à localização e discriminação de áreas queimadas.

O objetivo deste estudo consiste em elaborar uma análise temporal de focos de calor no município de São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, entre os anos 2003 a 2012. Este estudo fará a comparação dos dados referentes aos satélites que possuem o sensor MODIS do qual faz um imageamento global a cada dois dias e possui 36 bandas espectrais. Além disso, possui uma resolução espacial de 250 (2 bandas) a 1000 metros (29 bandas). Segundo Wolfe (2002), o MODIS “imagea”, simultaneamente, em cada banda 10 fileiras (separadamente as fileiras correspondem a uma simples linha imageada dos dados MODIS, a qual é nominalmente composta de 1354, 2708, e 5416 observações dos dados de 1km, 500 e 250 metros; respectivamente) de pixels para os detectores de 1km, 20 para os detectores de 500 metros e 40 para os detectores de 250 metros de resolução espacial. Essas informações sobre o sensor podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características do sensor MODIS.

<b>Banda (s)</b>	<b>Usos Principais</b>	<b>Tamanho do Pixel em Terra (m)</b>	<b>Pixels na Imagem</b>	<b>Nº de Linhas da Imagem</b>
<b>1 a 2</b>	Limites de terra, nuvens e aerossol	250	5416	> 20000
<b>3 a 7</b>	Propriedades da Terra, nuvens e aerossol	500	2708	> 10000
<b>8 a 16</b>	Biogeoquímica, cor do oceano e fitoplâncton	1000	1354	> 5000
<b>17 a 19</b>	Vapor de água atmosférico			
<b>20 a 23</b>	Temperatura da superfície e nuvens			
<b>24 a 25</b>	Temperatura atmosférica			
<b>26 a 28</b>	Vapor de água			
<b>29</b>	Propriedades das nuvens			
<b>30</b>	Ozônio			
<b>31 a 32</b>	Temperatura da superfície e nuvens			
<b>33 a 36</b>	Altitude máxima das nuvens			

Adaptado de ENGESAT (2006).

Os detectores do MODIS são agrupados em quatro planos focais: infravermelho termal, infravermelho médio, infravermelho próximo e visível. Estes são distribuídos nos planos focais na direção de voo, de modo a obter a mesma localização da Terra ao ser amostrada em diferentes bandas e horários.

Os produtos gerados pelo sensor incluem aqueles de balanço de energia e radiação terrestre, vegetação e ecologia, como também, cobertura e uso da terra. Sendo que este último produto é referente ao tema do estudo desta pesquisa: anomalias termais e fogo – queimadas. Assim, deste produto, deriva-se o MOD 14 que diz respeito às queimadas ou focos de calor, sendo

que, os focos de calor detectados pelo sensor indicam a existência de fogo em um pixel (menor elemento de resolução de uma imagem).

A relação entre foco de calor e queimada não é direta, já que um foco de calor pode corresponder a uma queimada ou a várias queimadas dentro de um mesmo pixel. Por outro lado, uma queimada muito extensa é detectada por um grupo de pixels vizinhos, resultando em vários focos de calor associados a uma única queimada. Os diferentes satélites utilizados para a detecção de focos de calor podem detectar uma frente de fogo com aproximadamente 30 metros de extensão e 1 metro de largura, nos casos de satélites de órbita polar como o TERRA e o AQUA (INPE, 2012).

Além da análise temporal como objetivo do estudo, outro objetivo é a análise da distribuição dos focos de calor no município, com maior ênfase em áreas que necessitam de maior observação e atenção: as Unidades de Conservação. Isto significará a espacialização na forma de pontos representados em mapas dos focos de calor e da densidade dos mesmos.

## **2. MATERIAIS, TÉCNICAS E MÉTODOS UTILIZADOS**

Os principais recursos utilizados foram levantamentos de dados de ocorrências de queimadas ou focos de calor que foram obtidas a partir da consulta ao site do INPE na página eletrônica de queimadas (<http://www.inpe.br/queimadas/>), voltadas para a área em questão. Estas ocorrências corresponderam aos registros realizados pelo sensor MODIS dos satélites AQUA tarde e AQUA UMD tarde. Estes dois satélites oferecem uma série de dados sobre as interações que ocorrem entre a atmosfera, oceano e continente, como por exemplo; umidade e temperatura da atmosfera, evaporação, nuvens, precipitação, temperatura na superfície do oceano, umidade do solo, gelo, neve, entre outros dados incluindo energia radiante e aerossóis.

Deve-se compreender que o AQUA UMD Tarde, satélite de referência, analisa tendências espaciais e temporais dos focos de regiões de interesse, este indica uma fração do número real de focos por usar o mesmo método e o mesmo horário de imageamento, sendo característica de satélite de órbita geoestacionária (aparente estagnação de movimento relativo a um ponto fixo), gerando dados de hora em hora. Já o AQUA Tarde é um satélite com órbita polar (movimento longitudinal de polo a polo, pelas revoluções), gera um conjunto de dados por dia, pois dentro de um período de 24 horas, passa pelo mesmo local cerca de 4 a 6 vezes (INPE, 2012). Esses dados são processados e estão disponíveis para acesso diariamente três horas após sua detecção, o que permite o monitoramento em tempo quase real, como também, para identificar áreas com baixa umidade do solo que apresentam predisposição para queimadas.

Os gráficos foram produzidos no software Microsoft Excel onde foi possível realizar uma análise da distribuição temporal dos focos de calor registrados pelo sensor MODIS nos satélites AQUA Tarde e AQUA UMD Tarde. Esta análise se baseava em quantidade anual, mensal e sazonal do período de 2003 a 2012 de cada satélite em separado. Além disso, foram realizados gráficos de comparação dos números de focos de calor anuais, mensais e sazonais entre o satélite de referência e o AQUA Tarde.

Outros levantamentos de dados foram realizados para a geração de mapas de espacialização e densidade de focos de calor: o download do limite municipal de São Francisco de Paula e as estradas estaduais, em formato shapefile, adquiridas no site do IBGE, na página de downloads (<http://downloads.ibge.gov.br/>). Além disso, o download das Unidades de Conservação, em formato shapefile, no site do IBAMA, na página SisCom (<http://siscom.ibama.gov.br/>) e das manchas urbanas de São Francisco de Paula, adquiridas em Hasenack e Weber (2010).

Os mapas de espacialização dos focos de calor foram realizados através do software ArcGIS 9.3, sendo possível importar pelo formato shapefile o limite do município, os focos de calor do

AQUA Tarde e AQUA UMD Tarde, as áreas de Unidade de Conservação e as manchas urbanas. Portanto, realizaram-se sobreposições de camadas de informação espacial de acordo com o objetivo de cada estudo, a partir disso, foram gerados quatro mapas.

Os mapas de densidade dos focos de calor foram realizados no software ArcGIS 9.3, tendo-se os mesmos processos iniciais: importação do limite do município e os focos de calor respectivos do AQUA Tarde e AQUA UMD Tarde em formato shapefile. Estes produtos resultantes tiveram uma resolução espacial de 250 metros que corresponde a resolução espacial das imagens do sensor MODIS. Portanto, a partir dos dados de focos de calor importados, foram efetuadas estimativas de densidade dos mesmos, a partir do número de focos de calor por km<sup>2</sup>, aplicando o estimador de densidade Kernel, encontrado nas funções da extensão do Spatial Analyst.

O estimador demarca uma área circular ao redor de cada registro de foco de calor, correspondendo ao raio de influência e então é aplicada uma função matemática que varia de 1, na posição do ponto, a 0, na fronteira da área de influência. O valor para a célula (foco de calor e área de influência) é a soma dos valores kernel sobrepostos, e divididos pela área de raio de pesquisa, como pode ser observado em Souza *et al.*, (2013). Assim, o raio de busca utilizado foi 2,5 km, através do default dessa ferramenta da extensão Spatial Analyst do software ArcGIS 9.3. A partir da densidade de Kernel, foram realizadas classificações apresentando os níveis de densidade que variam de acordo com uma extensão em km<sup>2</sup>. A escala cartográfica pretendida para a representação dos focos de calor foi de 1:250000.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

#### **3.1. Análise Temporal dos Focos de Calor do Satélite AQUA Tarde**

Em primeira instância através de observações do número de focos de calor, nota-se, a predominância do processo no ano de 2003 – total de 57. Em 2006, observa-se um segundo aumento das ocorrências, sendo assim, o segundo ano com um total de 31 registros. Além disso, é possível analisar os anos de queda das quantidades de focos de calor: 2005, 2007, 2008, 2009 e 2011. Sendo que em 2011, tem-se um total de 2 ocorrências. Já em 2010 é o ano do qual se nota um novo aumento de focos de calor. Entretanto, com menos da metade dos mesmos compilados no ano de 2006. Novamente em 2012, observa-se um crescimento dos registros, porém com pouca diferença em relação a 2010. É importante ressaltar que essas informações anteriores, das quais informam o quadro quantitativo dos focos de calor, estão representadas através do gráfico que apresenta o número dos mesmos, de acordo com os dados do AQUA Tarde no município de São Francisco de Paula, RS (Figura 1).

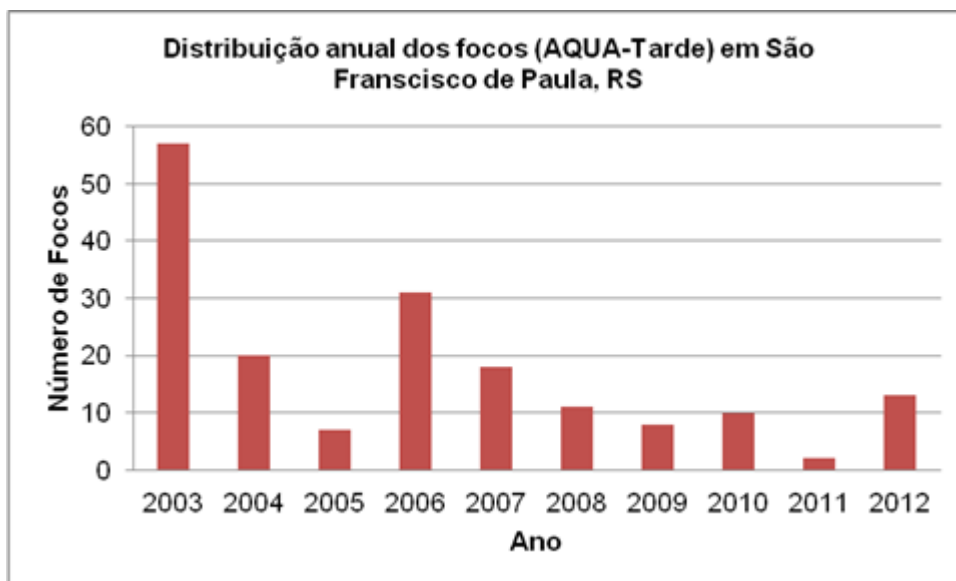


Figura 1. Número de focos de calor (AQUA Tarde) no município de São Francisco de Paula, RS.

A partir da análise anual do número de focos de calor na área de estudo, para o aprofundamento da pesquisa baseada em observação de dados, foi realizado um gráfico para comparar a quantidade dos focos em relação aos meses de cada ano (Figura 2). O objetivo deste foi verificar a existência de um padrão ou alguma peculiaridade nos registros de foco de calor, para confirmar ou criar hipóteses novas. Para que uma nova análise fosse realizada, determinaram-se meses com mais registros de focos de calor e os que menos tiveram registros ou não tiveram. Assim, é possível perceber que os meses de agosto (total de 79 focos de calor) e setembro (total de 30 focos de calor) possuem uma ênfase maior em relação ao objetivo analisado. Já novembro também possui certo destaque, pois é o terceiro mês que registrou mais focos de calor, com um total de 24. Entretanto, ao longo do período estudado, meses como janeiro, fevereiro, abril, julho, outubro e dezembro estabelecem uma média de 6,8 focos de calor. Já o que ocorre no mês de março é bem mais abaixo que a média, apenas um registro entre 2003 e 2012, o semelhante ocorre no mês de maio, com apenas dois focos de calor neste período. No período analisado não ocorreu registros de focos de calor em junho entre 2003 a 2012.

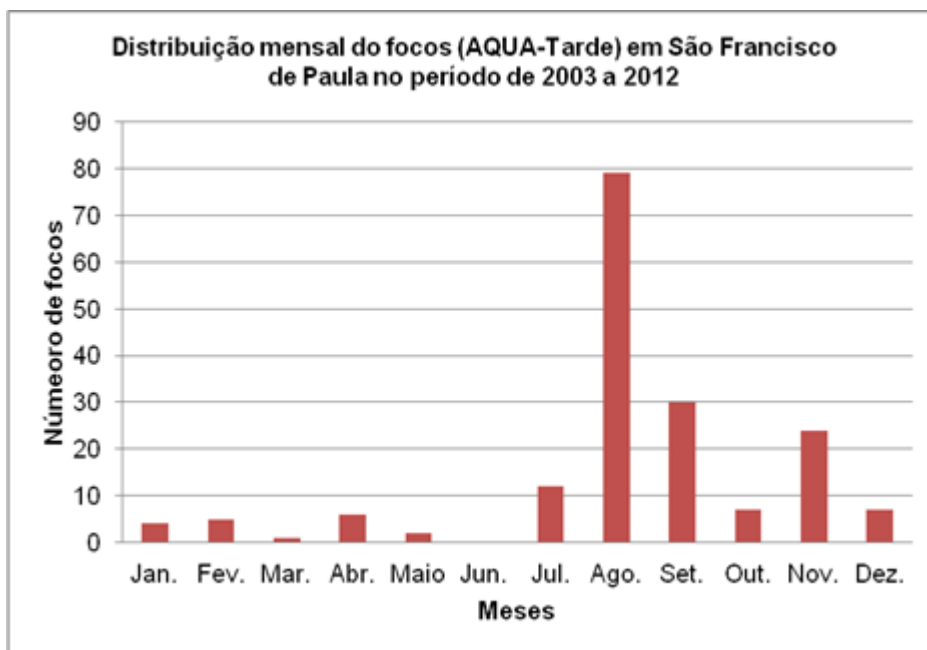


Figura 2. Número de focos de calor (AQUA Tarde) no município de São Francisco de Paula, RS.

Através dos dados levantados e por meio de gráficos, os dados foram organizados, e para que se obtivessem melhor conclusão destas primeiras análises, foi construído um novo gráfico sazonal. Este apresenta de forma mais imediata as peculiaridades que se evidenciariam no gráfico mensal de acordo com o observado, certa adequação por determinados meses. Portanto, ao longo do período de 2003 a 2012, o satélite AQUA Tarde possui mais registros em meses de inverno (total de 118 focos de calor) e primavera (total de 40 focos de calor). Meses de outono possuem poucos dados, como também, os de verão, respectivamente 6 e 11 focos de calor. Observam-se as informações sobre a distribuição sazonal dos focos de calor no gráfico abaixo (Figura 3):

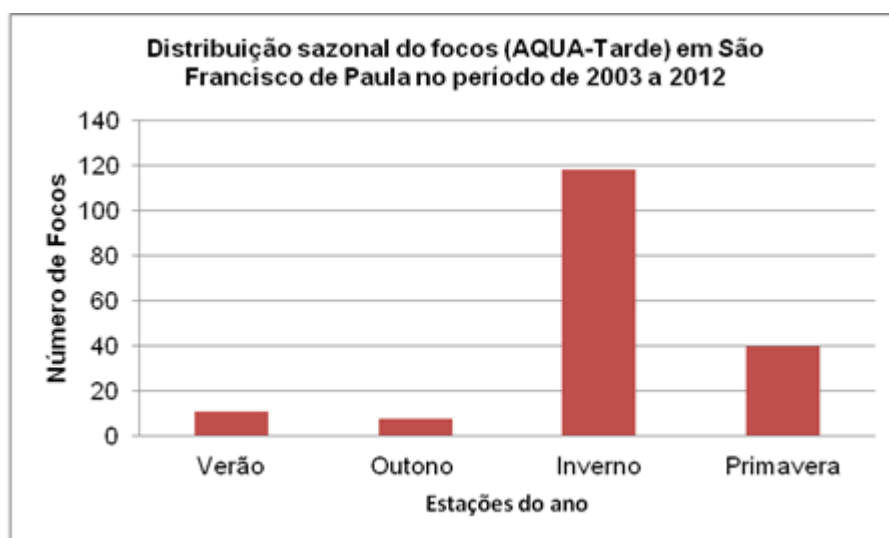


Figura 3. Número de focos de calor (AQUA Tarde) no município de São Francisco de Paula, RS.

No presente momento da pesquisa, observou-se que era necessário espacializar os focos de calor de origem do satélite AQUA Tarde, para que fossem localizadas as áreas de maiores ou menores ocorrências dentro de todo o limite do município de São Francisco de Paula no período de 2003 a 2011. Observa-se através do mapa de distribuição de focos de calor (Figura 4), em

primeira instância, que ao norte do município há mais registros acumulados. Entretanto, no restante do município não há nenhum padrão, ou seja, ocorre uma variabilidade espacial de locais que possuem focos de calor. Além disso, percebe-se que as regiões próximas de manchas urbanas apresentam registros reduzidos. Já em algumas áreas que seguem os fluxos viários (centro-sul de São Francisco de Paula) – estradas estaduais -, é notável que os focos de calor seguem estes mesmos fluxos.

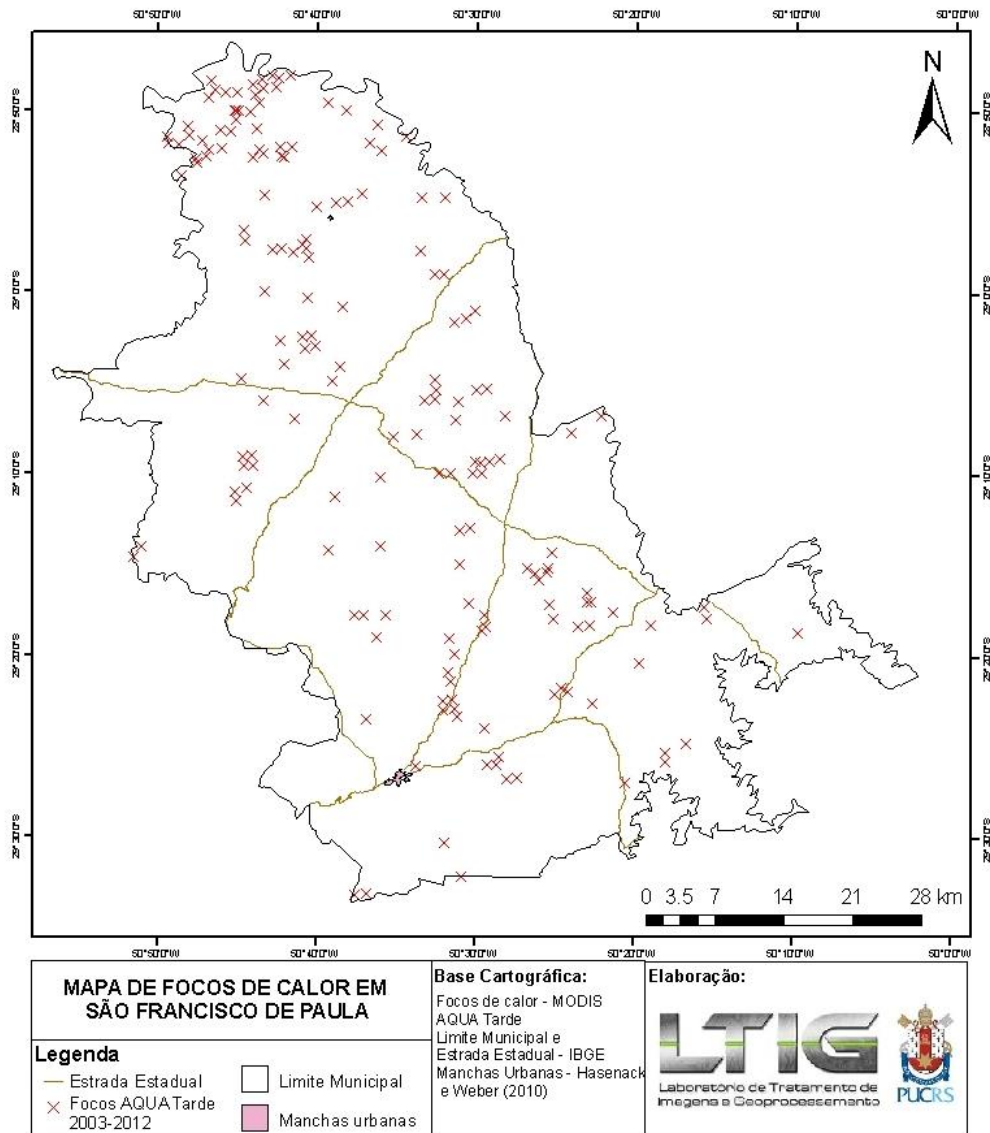


Figura 4. Focos de calor do satélite AQUA Tarde em São Francisco de Paula no período de 2003 a 2012.

### 3.2. Análise Temporal dos Focos de Calor do Satélite AQUA UMD Tarde

A partir da coleta de dados do satélite AQUA UMD Tarde, nota-se que há um registro com maior densidade dos focos de calor dos quais são detectados pelo sensor MODIS. Observando o primeiro gráfico construído em relação a este satélite – distribuição anual dos focos em São Francisco de Paula no período de 2003 a 2012 (Figura 5) – percebe-se predominância de focos no ano de 2003, com um total de 334. Já no ano de 2005, o número de focos é bem mais baixo, obtendo um total de 34. Nota-se que é possível analisar anos de queda de registros: 2004, 2005, 2008, 2010 e 2011, como também anos de aumento: 2006, 2007, 2009 e 2012. Entre os anos



2006 e 2007 se percebe certa estabilidade. Estes em conjunto com o ano de 2009 estabelecem uma média de 170,6 focos de calor. Nota-se que no último ano de análise o aumento de registros é pequeno, pois entre 2011 e 2012 se estabelece uma média de 95 focos de calor.

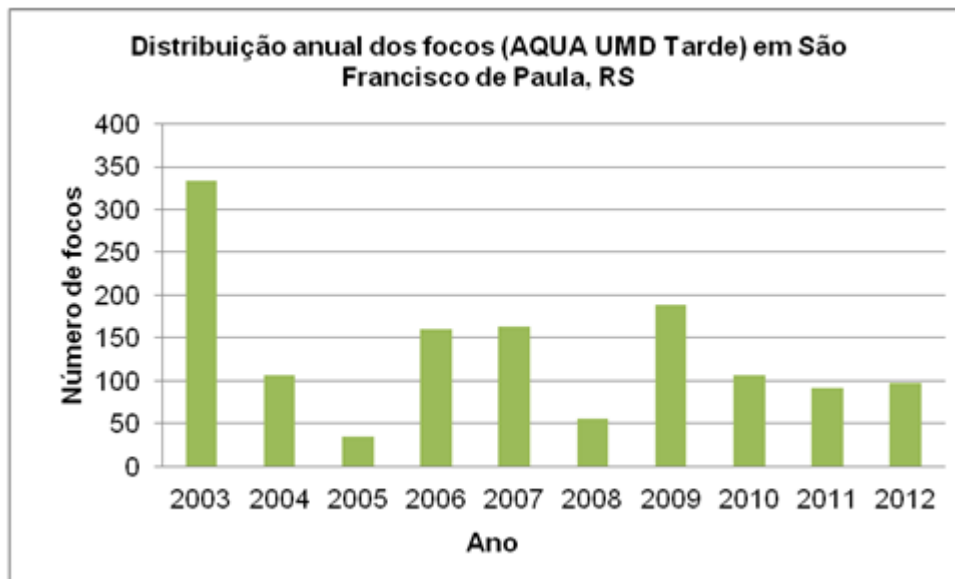


Figura 5. Número de focos de calor (AQUA UMD Tarde) no município de São Francisco de Paula, RS.

Assim, como foi realizado com o satélite anterior, para que a análise seja aprofundada, foi construído um segundo gráfico contendo os focos mensais de cada ano. Com este, podem ser estabelecidas respostas e criação de mais hipóteses, baseadas na quantificação dos dados temporalmente. De mesma forma, determinaram-se meses com mais registros de focos de calor, os que possuem menos registros e os que não possuem. Assim, é possível perceber que os meses de agosto (total de 764 focos) e setembro (total de 355) obtêm uma ênfase maior para o objetivo analisado, ou seja, maior número de registros de focos de calor no período de 2003 a 2012. Os outros meses não possuem um destaque tão acentuado quanto estes já citados, porém, percebem-se semelhanças quantitativas entre determinados meses, sendo que julho e outubro possuem uma média de 62 focos de calor em todo o período de estudo. Os meses de janeiro, novembro e dezembro possuem uma média de 21,6 focos de calor. Já os restantes dos meses: fevereiro, março, abril, maio e junho possuem uma média de 6 focos de calor no período de 2003 a 2012. As informações resultantes explicadas anteriormente fazem referência ao gráfico de distribuição mensal de focos (AQUA UMD Tarde) em São Francisco de Paula (Figura 6).

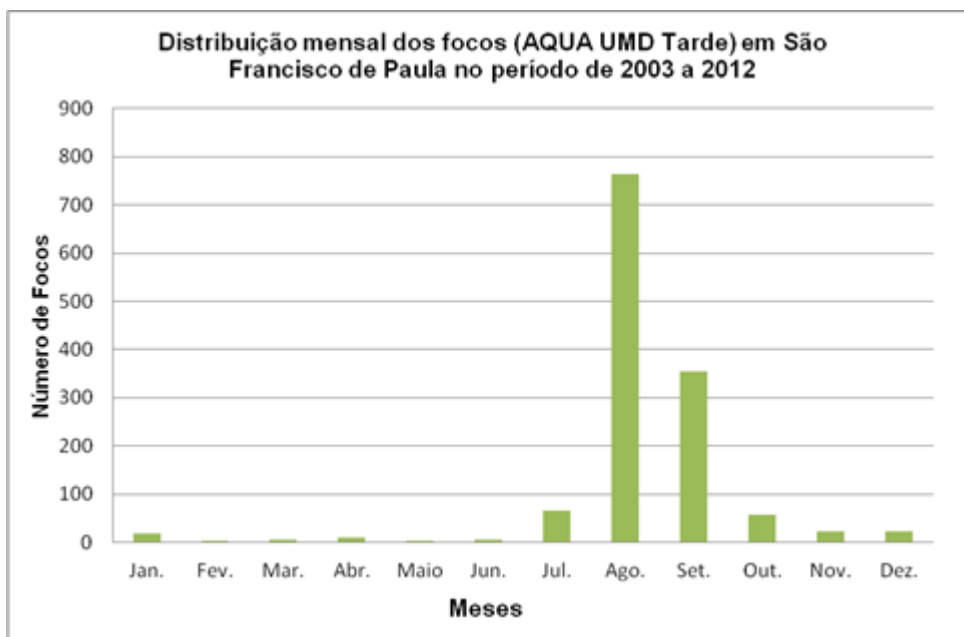


Figura 6. Número de focos de calor (AQUA UMD Tarde) no município de São Francisco de Paula, RS.

Baseando-se na Figura 5, foi elaborado um terceiro gráfico: número de focos de calor sazonais (AQUA UMD Tarde) no município de São Francisco de Paula, RS (Figura 7). Percebe-se que a estação do inverno (total de 1153 focos) é o ponto de entendimento em relação aos objetivos estudados: mensal e sazonal. Em segundo lugar a primavera (total de 131 focos) que está mais evidenciada. Já o verão (total de 34 focos) aparece em reduzida quantidade. Por último, o outono (total de 20), sendo a época do ano da qual ocorre menos focos de calor, segundo os registros de focos de calor no satélite AQUA UMD Tarde do período de 2003 a 2012.

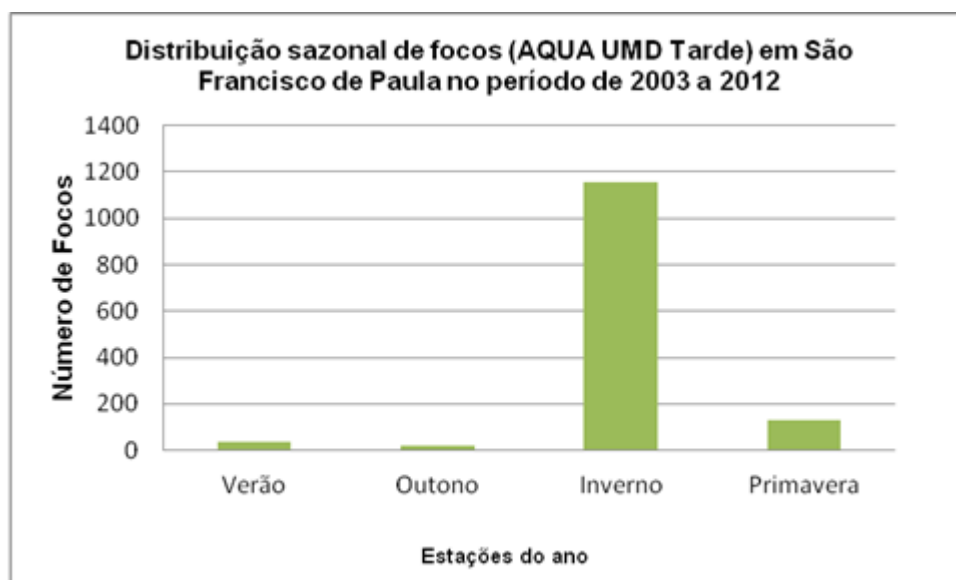


Figura 7. Distribuição sazonal de focos de calor (AQUA UMD Tarde) no município de São Francisco de Paula, RS.

Para um estudo mais detalhado do caso, como já foi realizado com o satélite AQUA Tarde, outro mapa de distribuição dos focos foi elaborado (Figura 8). Este teve como base, portanto, os focos registrados pelo satélite de referência, que foram espacializados na área do município de São Francisco de Paula. Assim, foi possível verificar se alguns padrões eram perceptíveis ou

maiores e menores áreas de ocorrência dos focos de calor. A partir de uma primeira análise, o mapa mostra de uma maneira mais objetiva aquilo que o gráfico anual de focos de calor pretendia demonstrar: a grande quantidade de focos de calor registrados no período de 2003 a 2011. Além disso, estes se apresentam bem distribuídos por todo o município neste período, porém é notável que mais ao sul e a sudoeste do município a quantidade de focos de calor diminua e para o norte aumenta. Outro detalhe importante é que no entorno próximo à maior mancha urbana (cidade) ocorrem poucos registros de focos de calor.

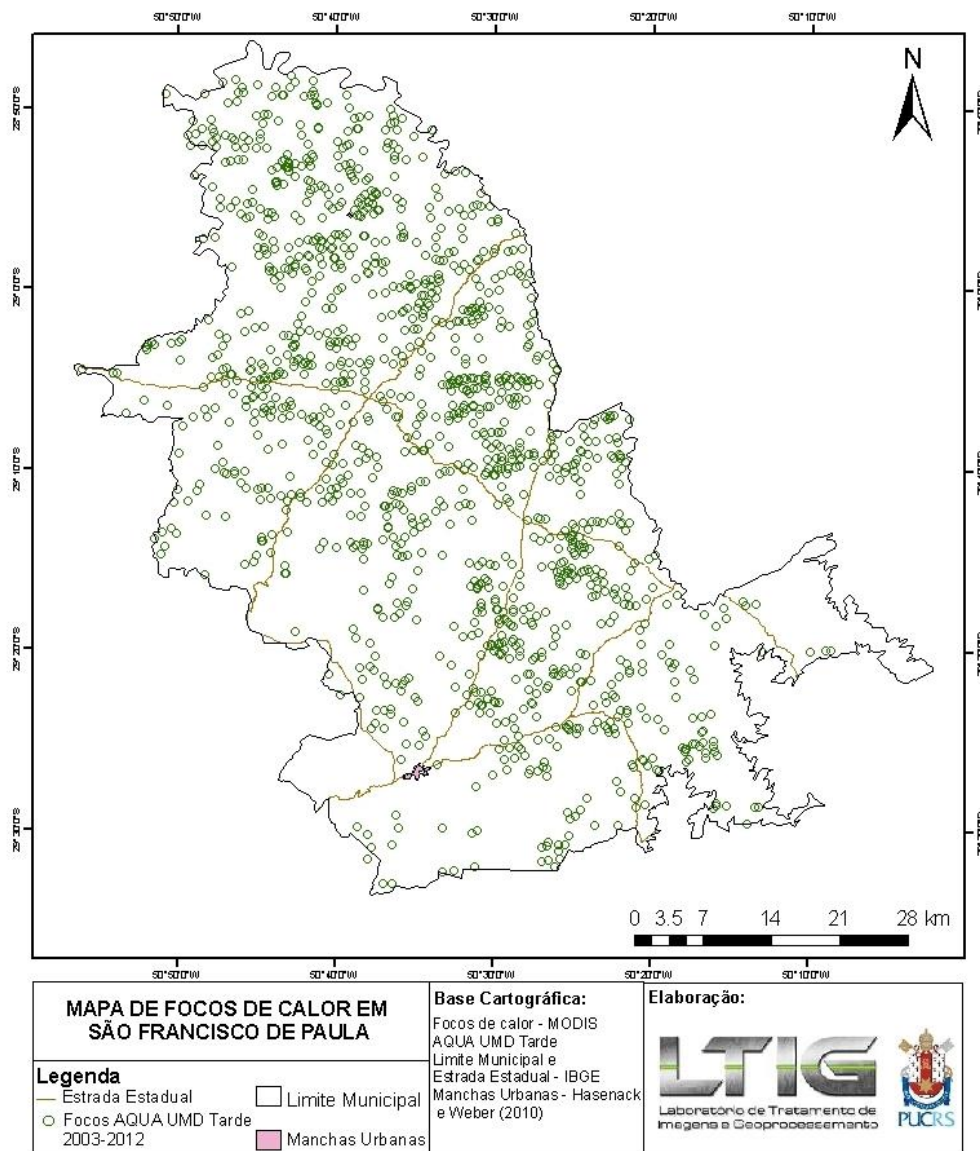


Figura 8. Focos de calor do satélite AQUA UMD Tarde em São Francisco de Paula no período de 2003 a 2012.

### 3.3. Relação entre Focos de Calor do AQUA Tarde e AQUA UMD Tarde

Através da interpretação do gráfico de distribuição anual de focos do qual faz relações com os satélites do estudo, no período de 2003 a 2012 (Figura 9), nota-se que as quantidades de registros do satélite AQUA UMD Tarde (referência) se mostram em maior número, ou seja, maior ocorrência de focos de calor do que no satélite AQUA Tarde. Uma análise quantitativa em cada ano se observa que ambos os satélites neste período estudado de 2003 a 2012, apresentam a

maior ocorrência no primeiro ano de estudo. A partir de 2004 há uma grande queda dos registros de queimadas tanto no satélite AQUA Tarde como o satélite AQUA UMD Tarde. Este fato ocorre com mais ênfase no ano de 2005. Já em 2006 em ambos os satélites há um aumento de grande proporção nas ocorrências de focos de calor. Entretanto, em 2007, as mudanças quantitativas são diferentes nos dois casos: pequeno aumento no satélite de referência – de 160 queimadas em 2006 a 163 em 2007 – e queda no satélite AQUA Tarde – de 31 queimadas em 2006 para 18 em 2007. Já no ano de 2008 há uma nova queda de registros em ambos os casos de estudo. Em 2009 ocorre nova diferença em relação a queda e aumento de focos de calor anuais entre os dois satélites: queda no satélite AQUA Tarde com apenas 8 registros. Já o que acontece com o satélite de referência é um aumento relevante nos registros de focos de calor, de 56 em 2008 para 183 em 2009. No ano de 2010, outra diferença: aumento de registros no satélite AQUA Tarde e queda de registros do satélite de referência. Já em 2011, ocorre uma queda em ambos os satélites dos registros analisados. Novamente em 2012 ocorre aumento de registros de focos de calor tanto recebido pelo AQUA Tarde quanto no satélite AQUA UMD Tarde.

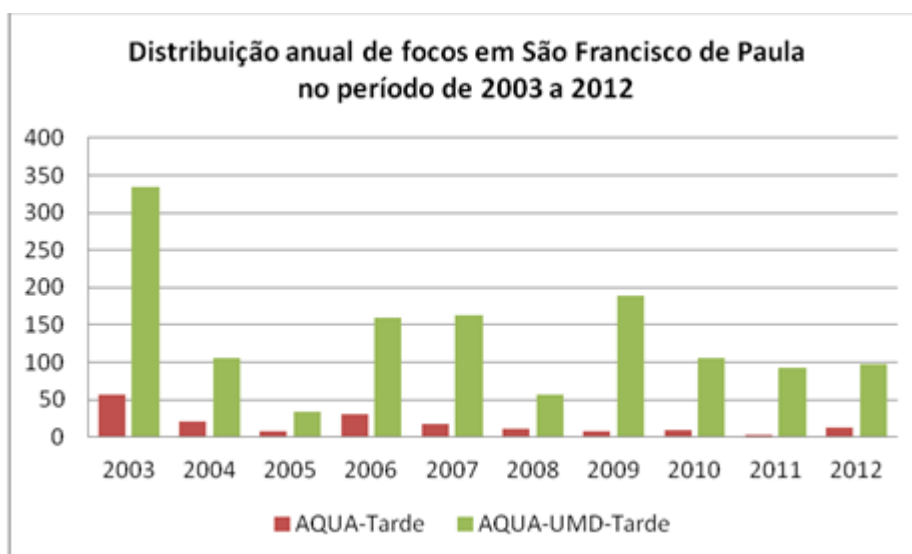


Figura 9. Número de focos de calor no município de São Francisco de Paula, RS.

De acordo com a quantidade em cada ano de registros de focos de calor, diferentes em ambos os satélites, percebe-se uma notável característica, o satélite de referência apresenta maiores valores de registros que o satélite AQUA Tarde. A partir daí se estabelece uma comparação mensal: distribuição de focos de calor por mês no período de 2003 a 2012 (Figura 10). Através da análise do gráfico, nota-se que em ambos os satélites o maior registro de focos de calor se concentra em agosto e setembro. No satélite AQUA UMD Tarde outros meses de destaque são julho e outubro. As ocorrências de registros nos restante dos meses são bem menores. Nota-se que maio e junho não possuem quase nenhuma ocorrência no satélite AQUA UMD Tarde, já no AQUA Tarde, junho não possui nenhum registro. Outro ponto importante a se levar em conta é que no mês de novembro, os dois satélites registram a mesma quantidade de focos de calor, 24 para cada.

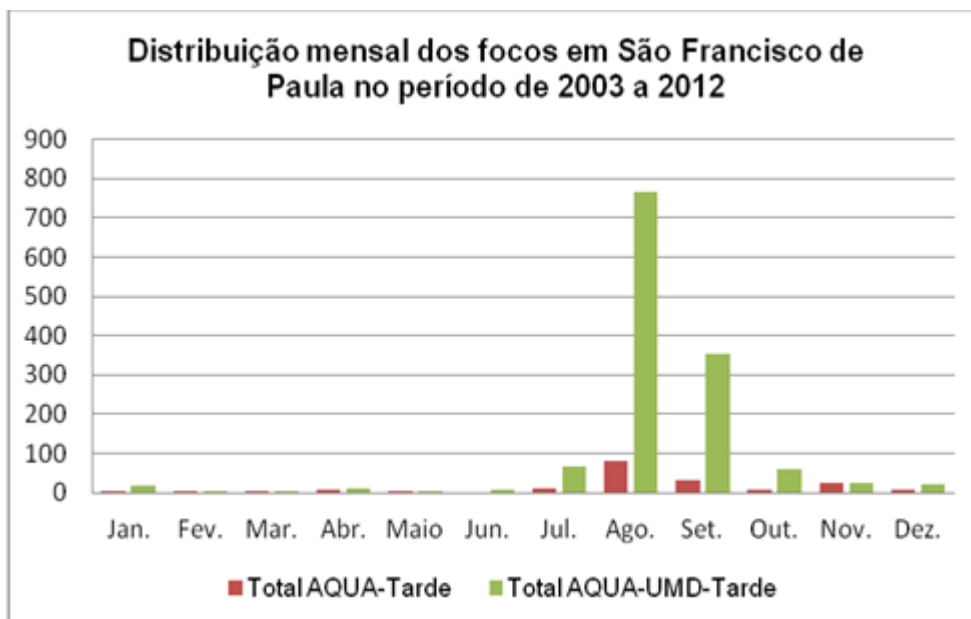


Figura 10. Número de focos de calor no município de São Francisco de Paula, RS.

Através da análise mensal e quantitativa dos dados de ambos os satélites, nota-se a maior presença de registros de focos de calor nos meses de agosto e setembro. Com estes fatos, foi construído um gráfico para a análise da distribuição sazonal dos focos de calor em São Francisco de Paula no mesmo período de estudo (Figura 11). Assim, percebem-se ocorrências em meses de época de inverno e primavera, estas são predominantes em todos os anos. Contradizendo-se a esses valores, na época do outono poucas ocorrências são registradas. A partir disso, conclui-se que meses de inverno e primavera aumentam relativamente os registros de focos de calor em ambos os satélites, considerando-se assim, um padrão mais sazonal. Entretanto, de acordo com as análises, ocorrem queimadas em todas as épocas, porém, com exceção do fato dito anteriormente, ocorrem com quantidades bem menores.

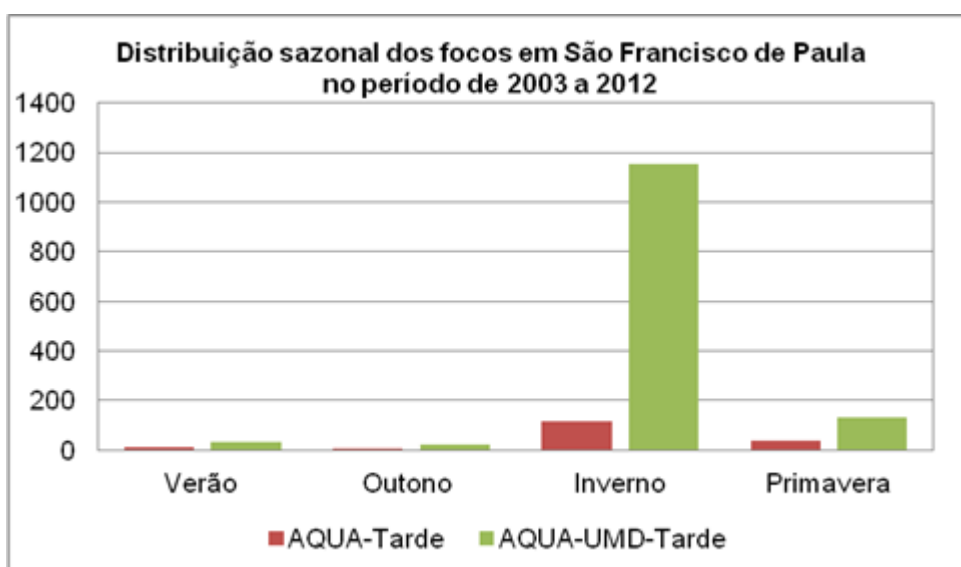


Figura 11. Número de focos de calor no município de São Francisco de Paula, RS.

Para um estudo comparativo em relação à distribuição dos focos de calor no município de São Francisco de Paula no período de 2003 a 2011, foi elaborado um terceiro mapa deste tema (Figura 12). Entretanto, este possui o objetivo de caracterizar semelhanças e diferenças entre os

satélites AQUA UMD Tarde e AQUA Tarde, em relação aos focos de calor espacializados. Uma das semelhanças reconhecidas é a redução de focos de calor ao sul do município, como também, a concordância das regiões contidas no perímetro de estudo que apresentam mais quantidades de focos de calor agrupados, entre os dois satélites. É importante compreender que estes focos de calor mais agrupados, encontram-se muito próximos às estradas estaduais. Outra semelhança é relativa às poucas ocorrências de focos de calor no entorno próximo à mancha urbana (cidade). Nota-se que a diferença objetiva é a quantidade diferencial entre os registros dos satélites AQUA Tarde e o de referência, sendo que este último é o que possui maior número.

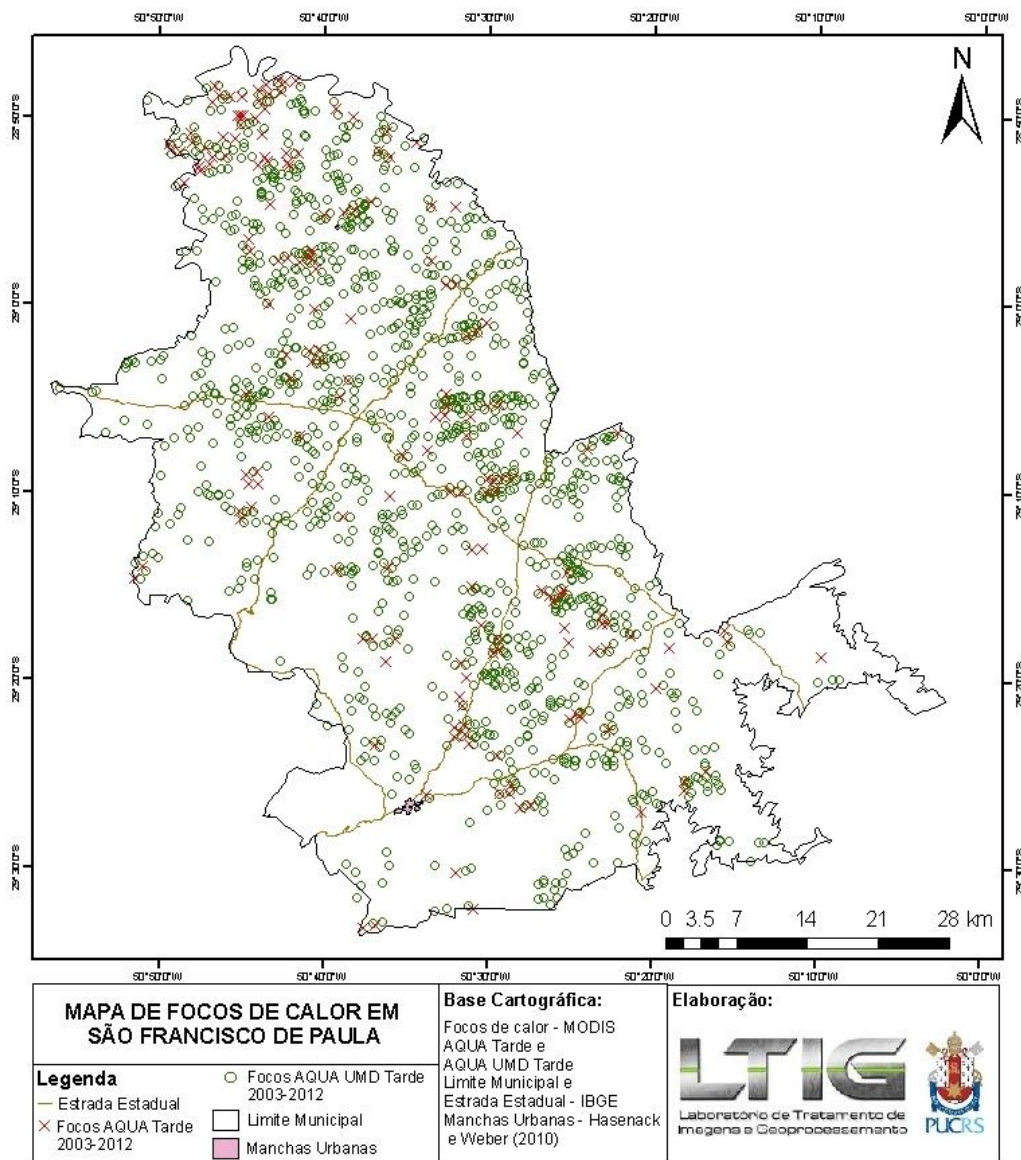


Figura 12. Focos de calor dos satélites AQUA Tarde e AQUA UMD Tarde em São Francisco de Paula no período de 2003 a 2012.

### 3.4. Focos de Calor em Unidades de Conservação

O município de São Francisco de Paula está inserido no Bioma da Mata Atlântica e apresenta duas Unidades de Conservação Federal: Floresta Nacional (FLONA) de São Francisco de Paula e o Parque Nacional (PARNA) da Serra Geral. Apresenta também três Unidades de Conservação Estadual: Área de Proteção Ambiental (APA) Rota do Sol, Estação Ecológica (ESEC)

Aratinga e Parque Estadual (PE) do Tainhas. Neste município ocorre ainda o Centro de Pesquisas e Conservação da Natureza (CPCN) Pró-Mata. Assim, com um número relativamente elevado das áreas de preservação, criando-se uma grande preocupação em relação a este meio ambiente, fez-se uma análise de possíveis focos de calor que estivessem presentes dentro destas áreas no período de 2003 a 2011 – advindos do sensor MODIS dos satélites AQUA Tarde e AQUA UMD Tarde. Para que os pontos de focos de calor fossem localizados, foi necessário o estudo através do mapa de distribuição dos mesmos no município de São Francisco de Paula (Figura 13). Através de uma primeira análise com ênfase nos focos de calor registrados pelo satélite AQUA Tarde, nota-se que apesar de menor quantidade, apresenta focos em Unidades de Conservação – APA Rota do Sol, ESEC Aratinga e PE do Tainhas. Em áreas de Unidades de Conservação Estaduais, os registros de focos de calor aparecem em maior quantidade do que em áreas de Unidades de Conservação Federais. Ao norte da FLONA São Francisco de Paula, notam-se vários focos de calor, apenas do satélite AQUA UMD Tarde. Já a PARNA da Serra Geral não apresenta nenhum registro. É importante perceber pelo mapa que o CPCN Pró-Mata apresenta um foco de calor à oeste, em seu perímetro dentro do município. Além de comentar sobre os focos registrados dentro destas áreas, é importante salientar que ocorrem estes nos perímetros próximos das mesmas.

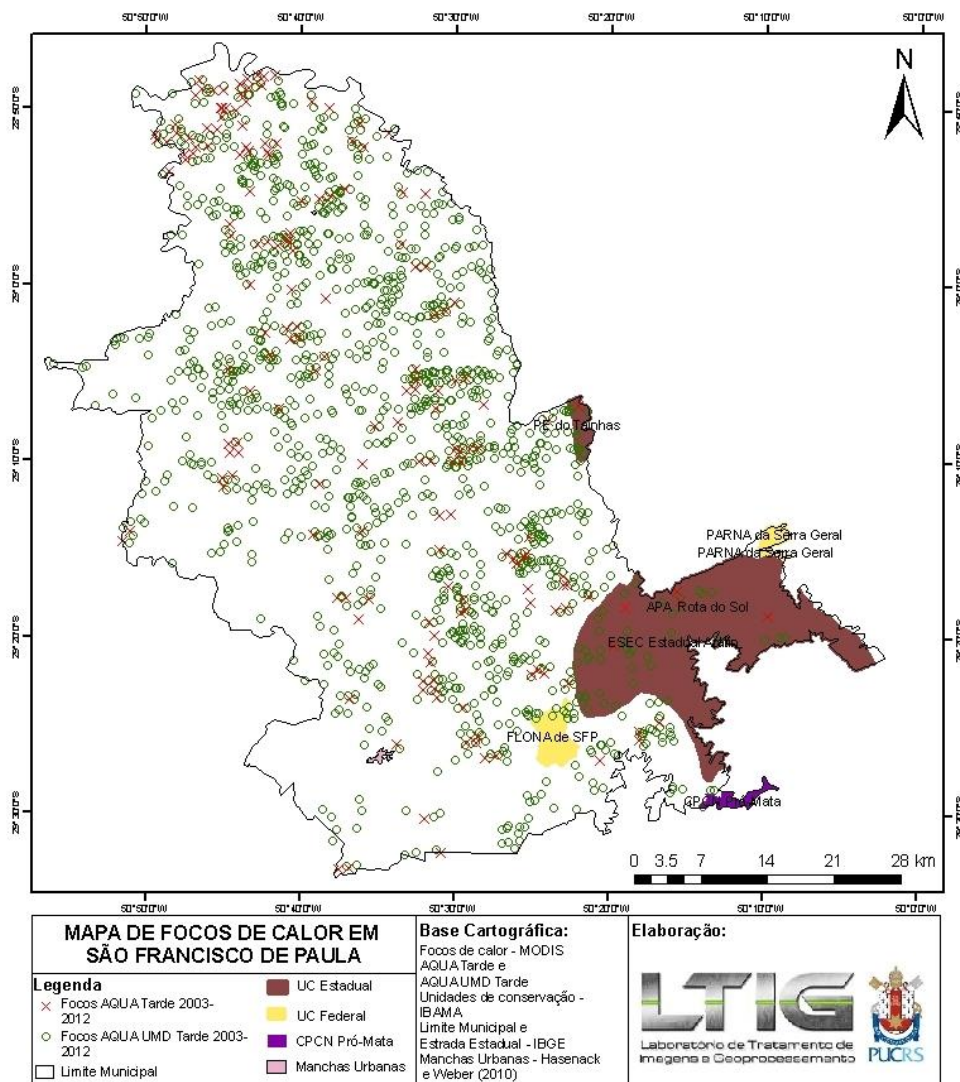


Figura 13. Focos de calor dos satélites AQUA Tarde e AQUA UMD Tarde em São Francisco de Paula no período de 2003 a 2012 em relação às Unidades de Conservação.

### 3.5. Densidade da Ocorrência dos Focos de Calor do AQUA Tarde no Período de 2003 a 2012

Observando-se no mapa de densidade de focos de calor correspondente ao sensor MODIS do satélite AQUA Tarde (Figura 14), foi verificada que a densidade de 0,7 focos por km<sup>2</sup>, neste período, ocorre no extremo norte de São Francisco de Paula, encontra-se uma pequena porção identificada. Além disso, nota-se que, na extensão norte-sul do município predominam as áreas de concentrações muito baixas (0 focos/km<sup>2</sup>), algumas destas, circundando as áreas de baixas, médias e altas densidades.

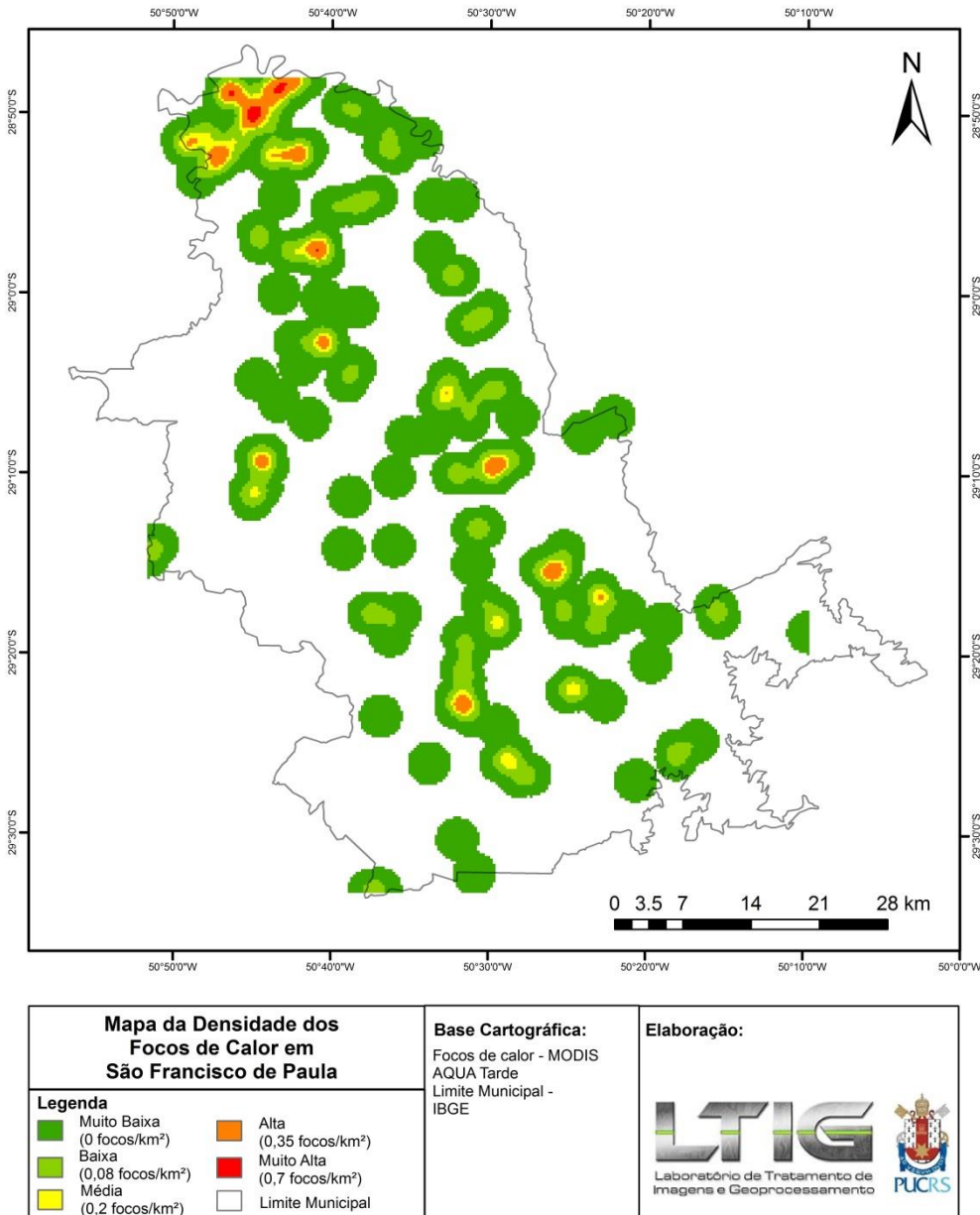


Figura 14. Densidade dos focos de calor do satélite AQUA Tarde em São Francisco de Paula no período de 2003 a 2012.

### 3.6. Densidade da Ocorrência dos Focos de Calor do AQUA UMD Tarde no Período de 2003 a 2012

Através da análise do mapa de densidade de focos de calor correspondente ao sensor MODIS do satélite AQUA UMD Tarde (Figura 15), percebe-se que as regiões de densidade muito baixas (0 focos/km<sup>2</sup>) predominam quase toda a área de São Francisco de Paula neste período.



Nota-se, que a densidade baixa (0,5 focos/km<sup>2</sup>) compreende, com abrangência, a extensão norte-sul do município.

Observa-se que as regiões de densidade média (1,5 focos/km<sup>2</sup>), alta (3 focos/km<sup>2</sup>) e muito alta (5 focos/km<sup>2</sup>) estão localizadas numa área que compreende o norte, o centro e o leste de São Francisco de Paula. Essas áreas são circundadas por densidades baixas e muito baixas de focos de calor.

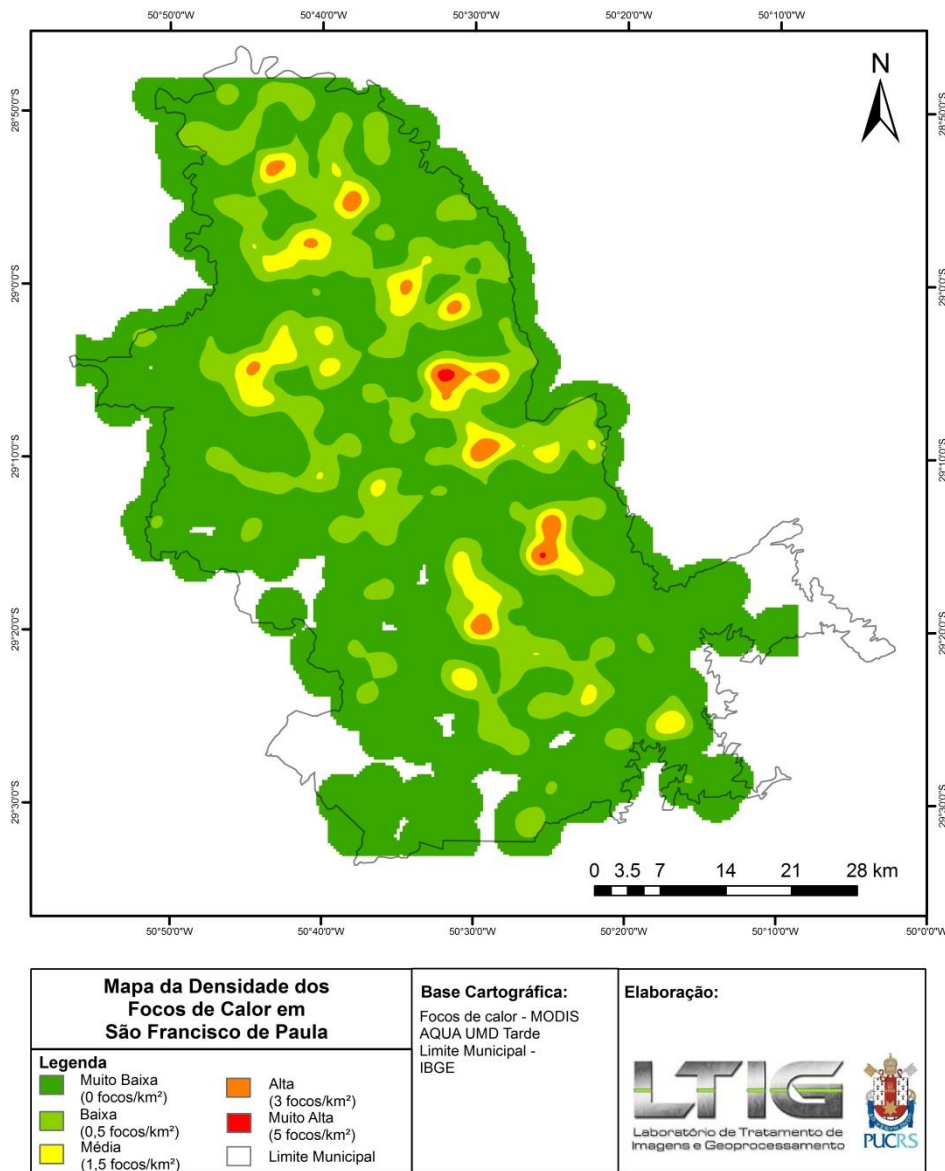


Figura 15. Densidade dos focos de calor do satélite AQUA UMD Tarde em São Francisco de Paula no período de 2003 a 2011.

#### 4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, pôde-se perceber em primeira instância a diferença em quantidade de focos de calor captados pelos satélites AQUA Tarde e AQUA UMD Tarde, sendo que este último apresentou maiores ocorrências. Além disso, foi possível determinar que não houve um padrão anual de ocorrências de focos de calor numa avaliação conjunta entre os satélites. Entretanto, determinou-se um padrão mensal e sazonal de focos de calor, sendo que o primeiro padrão definiu os meses com mais ocorrência: agosto, setembro, julho e outubro. Assim,

o padrão sazonal definiu que a época que mais ocorre focos de calor corresponde a estação de inverno e depois, primavera.

Através da análise espacial dos focos de calor no município de São Francisco de Paula, obtidos pelos satélites de estudo, foi visto que não apresentou um padrão bem definido de regiões de ocorrência, porém, o que se observou foi uma maior quantidade de focos de calor ao longo das estradas estaduais e diminuição de focos de calor ao sul do município e próxima à manchas urbanas. Entretanto, deve-se constar que a análise da espacialidade do objetivo de estudo em Unidades de Conservação reconheceu que houve uma maior ocorrência de focos de calor em UC's estaduais, comparando com as federais. Além disso, é importante considerar que grande número de focos de calor foi registrado próximo aos perímetros das Unidades de Conservação.

Com relação à análise espacial de focos de calor, a densidade dos focos de calor, de mesma forma, não apresentou um padrão definido de regiões de ocorrência. Entretanto, percebeu-se que as áreas de maior densidade se localizavam no interior do município. Já as áreas de menor densidade que apresentaram maior predominância, localizavam-se numa extensão norte-sul do município.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAZZAN, T.; JÚNIOR, M. A. S.; LACRUZ, M. S. P.; FILHO, W. P. Monitoramento e Análise de Focos de Calor na Porção Nordeste do estado do Rio Grande do Sul no Período 2003-2006 Utilizando Técnicas de Geoprocessamento de Sensoriamento Remoto. In: V SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO E I SEMINÁRIO ÍBERO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 2008, Santa Maria. Anais... Santa Maria: 2008. p, 4116-4186.

COELHO, F. F.; GUASSELLI, L. A. Análise espacial dos focos de calor, no período entre 2000 e 2006, no Estado do Rio Grande do Sul. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Anais... Natal: INPE, 2009. p, 5151-5158.

ENGESAT. MODIS: Ficha Técnica Resumida. Disponível em: <<http://www2.engesat.com.br/?system=news&action=read&id=533>>. Acesso em: 24/10/2013.

EMBRAPA. AQUA: AQUA Project Science. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/aqua.htm>>. Acesso em: 03/04/2013.

FEE. Resumo estatístico RS. Porto Alegre, 2011. Disponível em: <[http://www.fee.tche.br/sitefee/pt/content/resumo/pg\\_coredes.php](http://www.fee.tche.br/sitefee/pt/content/resumo/pg_coredes.php)>. Acesso em: 03/04/2013.

GRANEMANN, D. C.; CARNEIRO, G. L. Monitoramento de focos de incêndio e áreas Queimadas com a utilização de imagens de Sensoriamento remoto. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 1, n. 1, p, 55-62, 2009.

- HASENACK, H.; WEBER, E. (org.). Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul – escala 1:50.000. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). ISBN 978-85-63483-00-5 (livreto) e ISBN 978-85-63843-01-2 (DVD).
- INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Perguntas freqüentes. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas/faq.php>>. Acesso em: 3 de abr. 2013.
- INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios. Disponível em: <<http://queimadas.cptec.inpe.br>>. Acesso em: 1º de jun. 2012.
- LATORRE, M. L.; ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, Y. E.; JÚNIOR, O. A. C. Sensor MODIS: características gerais e aplicações. Espaço e geografia, v. 6, n. 1, p, 91-121, 2003.
- PIROMAL, R. A. S.; RIVERA-LOMBARDI, R. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; FORMAGGIO, A. R.; KRUG, T. Utilização de dados MODIS para a detecção de queimadas na Amazônia. Acta Amazônica, v. 38, n. 1, p, 77-84, 2008.
- SEMA – SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. Unidades de Conservação Estadual. Disponível em <http://www.sema.rs.gov.br/>. Acesso em: 01/06/2012.
- SOUZA, N. P. de; SILVA, E. M. G. C.; TEIXEIRA, M. D.; LEITE, L. R.; REIS, A. A. dos; SOUZA, L. N. de; JUNIOR, F. W. A.; RESENDE, T. A. Aplicação do Estimador de Densidade Kernel em Unidades de Conservação na Bacia do Rio São Francisco para análise de focos de desmatamento e focos de calor. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2013, Lavras. Anais... Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p, 4958-4964.
- WOLFE, R. E., NISHIHAMA, M., FLEIG, A. J., KUYPER, J. A., ROY, D. P., STOREY, J. C., PATT, F. S. Achieving sub-pixel geolocation accuracy in support of MODIS land science. Remote Sensing Environ, v. 83, n. 1, p. 31– 49, 2002.