

Zoneamento de risco de incêndios florestais em municípios cortados pela rodovia BR-116 no Rio Grande do Sul, Brasil

Forest fire risk zoning in municipalities crossed by the BR-116 highway in Rio Grande do Sul, Brazil

Neuceli Aparecida **KLECHOWICZ**^{1,4}; Antonio Carlos **BATISTA**¹; Eduardo Henrique **REZENDE**¹; Nilton José **SOUSA**¹; Marcos **GIONGO**²; Eduardo **RATTON**³; & LEONARDO DE MARINO **TREML**³

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estabelecer o zoneamento de risco de incêndio florestal em função do volume de material combustível arbóreo em comparação com o número de focos de calor em municípios de um segmento da rodovia BR-116, no estado do Rio Grande do Sul (RS). A área de estudo compreendeu 24 municípios do Rio Grande do Sul, distribuídos ao longo de um segmento de 390 km da BR-116. A quantidade de material combustível arbóreo foi obtida do inventário da vegetação do extrato arbóreo existente na faixa de domínio da BR-116 ao longo do segmento avaliado. Para a realização do inventário, instalaram-se parcelas, utilizando a amostragem aleatória simples. O risco de incêndio foi estimado com base no volume de material combustível arbóreo por hectare e no número de focos de calor em cada município. Atribuíram-se cinco classes que correspondem aos riscos baixo, moderado, alto, muito alto e extremo. Os maiores riscos de incêndio foram verificados nos municípios localizados ao norte do segmento da BR-116, no trecho que vai de Vacaria a Dois Irmãos. Nesses municípios, que apresentam níveis de risco de incêndio extremo e muito alto, devem ser priorizadas ações de prevenção de incêndios florestais no trecho do segmento da BR-116.

Palavras-chave: foco de incêndio florestal; focos de calor; material combustível.

ABSTRACT

This work aimed to establish the forest fire risk zoning according to the volume of forest fuel in comparison with the number of sources of heat in municipalities of a segment of the BR-116 highway, in Rio Grande do Sul State (RS). This work was developed in 24 municipalities of RS, distributed along a segment of 390 km of BR-116. The amount of forest fuel was obtained from the forest inventory of the vegetation existing in the highway's domain along the evaluated segment. To carry out the inventory, plots were installed, using simple random sampling. The fire risk was estimated based on the volume of forest fuel per hectare and on the number of sources of heat in each municipality. Five classes have been assigned which correspond to low, moderate, high, very high and extreme risk. The greatest fire risks were found in the municipalities located to the north of the BR-116 segment, on the stretch from Vacaria to Dois Irmãos. In these municipalities that present extreme and very high fire risk levels, forest fire prevention actions in the stretch of the BR-116 segment should be prioritized.

Keywords: forest fire outbreak; forest fuel; sources of heat.

Recebido em: 11 nov. 2018

Aceito em: 14 fev. 2020

¹ Universidade Federal do Paraná (UFPR), Departamento de Ciências Florestais, Avenida Prof. Lothário Meissner, n. 632, Jardim Botânico – CEP 80210-170, Curitiba, PR, Brasil.

² Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus Universitário de Gurupi, Centro de Monitoramento Ambiental e Manejo do Fogo (CeMAF), Gurupi, TO, Brasil.

³ UFPR, Instituto Tecnológico de Transportes e Infraestrutura (ITTI/UFPR).

⁴ Autor para correspondência: vkts2011@gmail.com.

INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais provocam danos às florestas de todo o mundo. A frequência de tais eventos tem aumentado por causa do crescimento da população, acúmulo de material combustível e incêndios causados pelo homem (SOARES *et al.*, 2009; HERAWATI & SANTOSO, 2011; TETTO, 2012).

Estudos em áreas propensas a incêndios em todo o mundo indicam que ignições de incêndios florestais se agregam nas proximidades das atividades humanas, especialmente em interfaces rodoviárias e florestais. No sudeste da França, os bancos de dados de incêndios florestais indicam que cerca de 50% das ocorrências estão localizadas nas margens de estradas de todas as categorias, por conta do grande número de fontes de ignição induzidas pelo homem, tais como cigarro, fogo causado por acidentes de carro e por escapamentos e obras rodoviárias. Consequentemente, ignições dentro de corredores rodoviários levam a um considerável perigo de incêndio para florestas vizinhas e áreas silvestres (CURT & DELCROS, 2010).

A ocorrência e a propagação dos incêndios florestais em uma região dependem de vários fatores ligados ao fenômeno da combustão, entre eles o material combustível. Este é um dos elementos fundamentais para a ocorrência e a propagação dos incêndios, por ser um dos componentes do triângulo de fogo e pelo fato de sua quantidade afetar diretamente a intensidade do fogo. A quantidade de combustível em uma área de floresta natural pode variar, dependendo do tipo, idade e nível de degradação da vegetação (CHANG *et al.*, 2015; SOARES *et al.*, 2017).

O material combustível arbóreo, ou seja, árvores com diâmetros maiores, também está presente no ambiente florestal e, apesar de não apresentar grande potencial de risco para o início de um incêndio, pode tornar o incêndio, depois de iniciado, mais perigoso, fornecendo grandes quantidades de combustível e, por conseguinte, tornando mais intensos os incêndios (ALEXANDER & CRUZ, 2011).

O material combustível arbóreo pode ser estimado utilizando-se informações dendrométricas e que fazem parte da rotina dos inventários florestais. Variáveis dendrométricas têm sido empregadas em vários trabalhos para estimar o risco de incêndios em função do material combustível arbóreo em florestas (ARMENTERAS-PASCUAL *et al.*, 2011).

A análise detalhada das variáveis relacionadas aos incêndios permite estabelecer graus ou níveis de risco, de acordo com a influência da variável sobre o comportamento do fogo em uma área. Esses níveis podem auxiliar na construção de mapas temáticos de risco de incêndio para uma determinada região (KOPROSKI *et al.*, 2011).

Os mapas de zoneamento possibilitam a distribuição espacial do risco de incêndios, ao identificar as regiões com maior e menor probabilidade de ocorrência de incêndios, permitindo dessa maneira que as ações de prevenção e combate sejam distribuídas pela área de forma mais racional e planejada, otimizando os recursos e mão de obra disponível (BORGES *et al.*, 2011).

Diante disso, o objetivo do presente trabalho foi estabelecer o zoneamento de risco de incêndio florestal em função do volume de material combustível arbóreo em comparação com o número de focos de calor nos 24 municípios de um segmento da rodovia BR-116, no Rio Grande do Sul, Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende o trecho da rodovia BR-116 no estado do Rio Grande do Sul, composto por um segmento de 390,0 km, sendo: 270,4 km da divisa de Santa Catarina (SC) com o Rio Grande do Sul até o entroncamento com as rodovias BR-290 e BR-386 em Porto Alegre, aí incluso o segmento de 1,2 km de extensão coincidente com a BR-285 e o segmento de 8,8 km de extensão coincidente com a rodovia BR-386; 101,1 km do entroncamento com a rodovia RS-703 até o entroncamento com as rodovias BR-470 e RS-350; 15,5 km desde o entroncamento com a rodovia BR-448 até o entroncamento com as rodovias BR-448, BR-116 e BR-290, sendo coincidente com a BR-448; e 3,0 km de rodovia pavimentada desde o entroncamento com a BR-116 até a ligação com a Avenida dos Farrapos, no município de Porto Alegre.

O trecho de estudo passa por 24 municípios, respectivamente: Vacaria, Campestre da Serra, São Marcos, Flores da Cunha, Caxias do Sul, Nova Petrópolis, Picada Café, Morro Reuter, Dois Irmãos, Ivoti, Estância Velha, Novo Hamburgo, São Leopoldo, Sapucaia do Sul, Esteio, Canoas, Porto Alegre, Guaíba, Mariana Pimentel, Barra do Ribeiro, Tapes, Sentinela do Sul, Arambaré e Camaquã (figura 1).

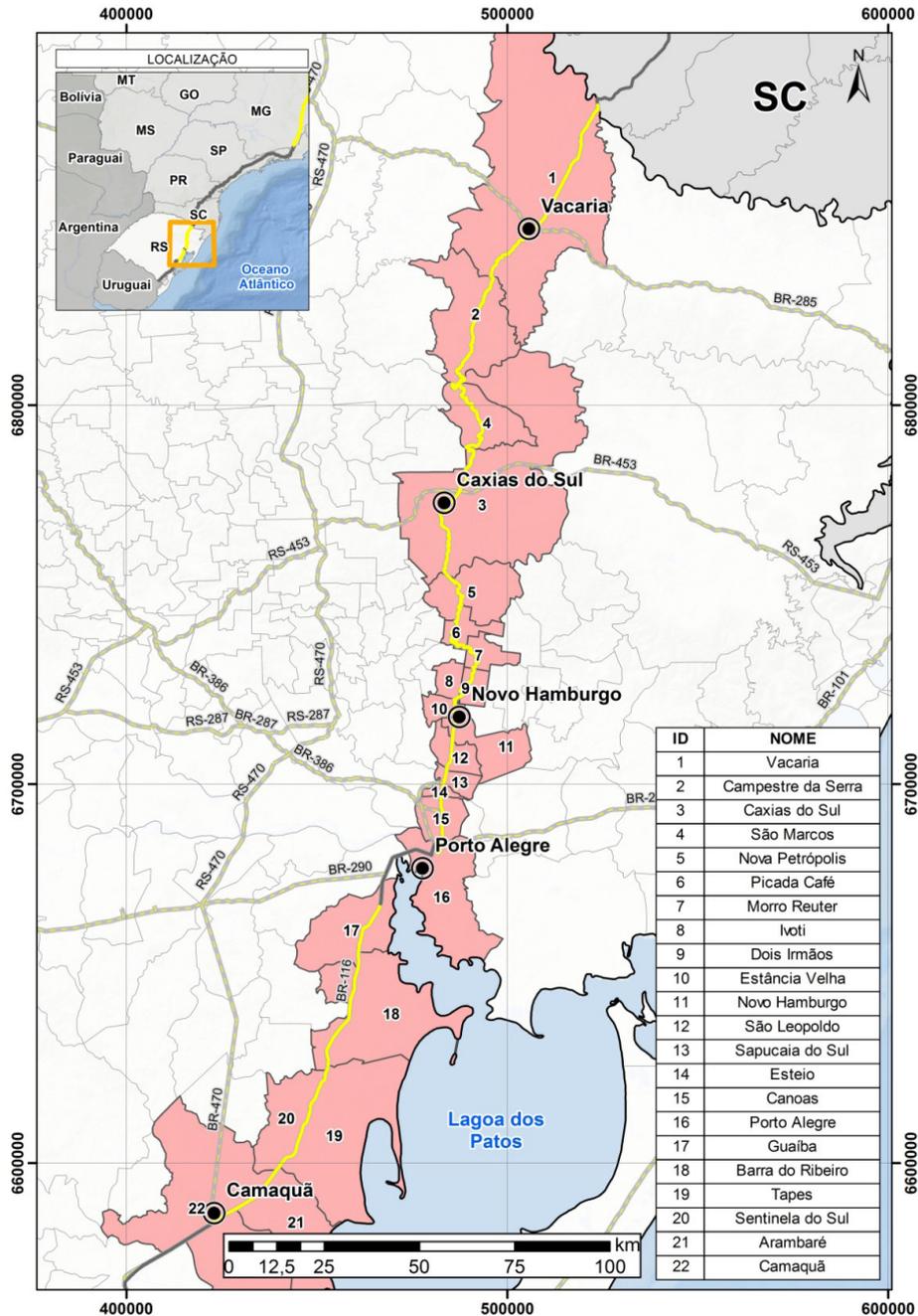


Figura 1 – Localização do segmento avaliado na faixa de domínio da rodovia BR-116, no estado do Rio Grande do Sul. Fonte: ITTI (2017).

O volume de material combustível arbóreo foi estimado com base na vegetação do extrato arbóreo existente na faixa de domínio da rodovia BR-116 ao longo do segmento avaliado. Foi considerada a faixa de domínio da porção de 40 metros simétricos de cada lado, a partir do eixo central da rodovia. Como cada pista de rolamento da rodovia tem 3,60 m e o acostamento 2,5 m, existem no máximo 33,90 m em que ocorrem os fragmentos florestais em cada margem. A figura 2 exemplifica a delimitação da faixa de domínio e uma unidade amostral instalada.



Figura 2 – Exemplo da delimitação da faixa de domínio na rodovia BR-116, no Rio Grande do Sul. Fonte: ITTI (2017).

Para estimar o volume de material combustível existente, realizou-se um inventário florestal nos fragmentos florestais com rendimento lenhoso que ocorrem nas duas margens laterais de domínio público da rodovia BR-116. O segmento foi separado por fitofisionomias, com base nas informações contidas no Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 2012) e na 3.^a edição do Mapa de Distribuição Regional da Vegetação Natural – Mapa de Vegetação do Brasil (IBGE, 2004), que apresenta a terminologia oficialmente reconhecida para os tipos de vegetação existentes no Brasil.

Para a realização do inventário, instalaram-se parcelas ao longo do segmento. A amostragem foi do tipo aleatória simples, pois esse tipo de amostragem é o mais indicado para formações florestais nativas de pequeno porte e de fácil acesso. Definida a amostragem a ser utilizada, considerou-se a recomendação de Sanquetta *et al.* (2009), que afirmam que, quando se opta por essa amostragem, uma das exigências para sua utilização é o uso de fotografias aéreas para estabelecer a estrutura de amostragem, com base nas quais será obtida a amostra aleatoriamente.

Desse modo, obtiveram-se imagens por drones para a correta visualização dos limites das unidades amostrais instaladas e para a confirmação das tipologias vegetais encontradas ao longo da faixa de domínio da rodovia BR-116, no estado do Rio Grande do Sul.

Instalaram-se 43 unidades amostrais de 1.000 m² (20 m x 50 m), onde todas as árvores do estrato arbóreo eram identificadas preliminarmente, e encontraram-se o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura total. Todas as árvores com DAP \geq 10 cm foram consideradas pertencentes ao estrato arbóreo.

Em relação à determinação do volume das árvores, foi considerado como fator de forma o valor de 0,6. O fator de forma também está relacionado com o DAP, o qual, por sua vez, está associado à idade das árvores. Na região central do estado do Rio Grande do Sul, Spathelf *et al.* (2001) e Selle & Vuaden (2010) ajustaram modelos de regressão para estimar o fator de forma em função do DAP para espécies nativas da floresta estacional decidual/floresta estacional mista. Para a espécie *Citharexylum montevidense* (tarumã-de-espinho), Spathelf *et al.* (2001) ajustaram o modelo $ff=b_0+b_1DAP+b_2DAP^2$ para estimar o fator de forma em função do DAP. Em florestas nativas, a distribuição diamétrica tem a forma de um “J” invertido, em que as maiores frequências

se encontram nas menores classes diamétricas. No inventário dos fragmentos florestais da rodovia BR-116 no estado do Rio Grande do Sul, estimou-se que 72,96% das árvores estão na primeira classe diamétrica (0,10-0,20 cm). O fator de forma utilizado para florestas nativas deve contemplar as classes com maior ocorrência de árvores. Com um centro de classe de 15 cm, foi estimado um fator de forma próximo a 0,6 com o modelo de regressão de *Citharexylum montevidense*.

Para a estimativa de volume, os dados coletados foram processados com o software Mata Nativa versão 4.02, conforme a relação de espécies e seus parâmetros. Em seguida, obteve-se o volume total de material combustível arbóreo por parcela, que depois foi transformado para volume por hectare para facilitar a visualização do efeito da quantidade de material combustível em cada município. Os volumes por hectare obtidos foram distribuídos em cinco classes de risco – baixo (1), moderado (2), alto (3), muito alto (4) e extremo (5) –, gerando o mapa do zoneamento de incêndios florestais em função do material combustível por município.

Com base em tais informações, calcularam-se os diferentes coeficientes de risco de incêndio de acordo com a variável. Em relação à fitofisionomia, o coeficiente de risco de incêndio para cada município foi determinado de acordo com a fitofisionomia encontrada, sendo atribuídos valores de 1 a 5.

Por meio dessa informação, foram também calculados os coeficientes de risco de incêndio em cada município, levando em consideração o volume de material combustível e a fitofisionomia encontrada. Para isso, multiplicou-se o volume total de material combustível de cada município por um peso, variando de 1 a 5, que foi atribuído de acordo com a fitofisionomia verificada. Em seguida, os valores obtidos foram distribuídos em classes para determinar os coeficientes de risco de incêndio.

Realizou-se a análise de correlação simples entre os coeficientes de risco de incêndio das variáveis focos de calor, volume de material combustível, fitofisionomia e volume x fitofisionomia, das variáveis que apresentaram maior correlação, sendo gerados mapas temáticos para melhor visualização dos resultados.

Para comparação dos resultados obtidos no zoneamento em função do volume de material combustível arbóreo, foi também elaborado o mapa de risco de incêndios em função dos focos de calor, registrados nos 24 municípios diretamente atingidos pelo segmento da BR-116. Os focos de calor diários de um período de 10 anos (2007-2016) foram obtidos do banco de dados de queimadas detectadas pelo satélite de referência Acqua sensor Modis, por meio do monitoramento do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Inpe (2017). Os totais registrados por município foram distribuídos em cinco classes, que correspondem aos riscos baixo (1), moderado (2), alto (3), muito alto (4) e extremo (5), segundo Batista *et al.* (2002) (tabela 1). Posteriormente foi gerado o mapa de risco de incêndio segundo os focos de calor.

Tabela 1 – Risco de incêndio em função do número de focos de calor.

Classe de focos de calor	Risco	Coefficiente
Até 10	Baixo	1
11-20	Moderado	2
21-30	Alto	3
31-40	Muito alto	4
Acima de 40	Extremo	5

Fonte: Batista *et al.* (2002).

Foram gerados os mapas temáticos somente para as variáveis volume de material combustível e focos de calor com base em informações georreferenciadas contidas no banco de dados digital, estabelecido pelo Instituto Tecnológico de Transportes e Infraestrutura – ITTI (2017), no ato da elaboração do programa de rodovias federais ambientalmente sustentáveis, desenvolvido pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT). Toda a análise espacial e a produção cartográfica foram realizadas utilizando-se sistemas de informações geográficas com o auxílio do programa Arcgis – versão 10.3.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontradas quatro fitofisionomias nos municípios cortados pelo trecho da rodovia BR-116 no estado do Rio Grande do Sul – floresta ombrófila mista montana (FOM MON), floresta estacional decidual montana (FED MON), floresta estacional decidual submontana (FED SUB) e floresta estacional semidecidual de terras baixas (FES TB) –, corroborando as informações contidas no Mapa de Vegetação do Brasil (IBGE, 2004) e no Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 2012). Em alguns municípios, ocorreu somente um tipo de vegetação, em outros ocorreu mais de um tipo. Foram também observados trechos com áreas urbanizadas, com total ausência de vegetação.

Como se vê na figura 3, nos municípios de Vacaria e Flores da Cunha se identificaram remanescentes da floresta ombrófila mista montana (FOM MOM), em Morro Reuter floresta estacional decidual montana (FED MON), em Nova Petrópolis, Picada Café e Dois Irmãos floresta estacional decidual submontana (FED SUB) e nos municípios de Guaíba, Mariana Pimentel, Barra do Ribeiro, Sentinela do Sul e Tapes remanescentes da floresta estacional semidecidual de terras baixas (FES TB). Nos municípios de São Marcos e Caxias do Sul, verificaram-se remanescentes da floresta estacional decidual montana e da floresta estacional submontana (FED MON/FED SUB) ocorrendo simultaneamente; da mesma forma, no município de Campestre da Serra encontraram-se remanescentes da floresta ombrófila mista montana e também a floresta estacional decidual montana (FOM MON/FED MON).

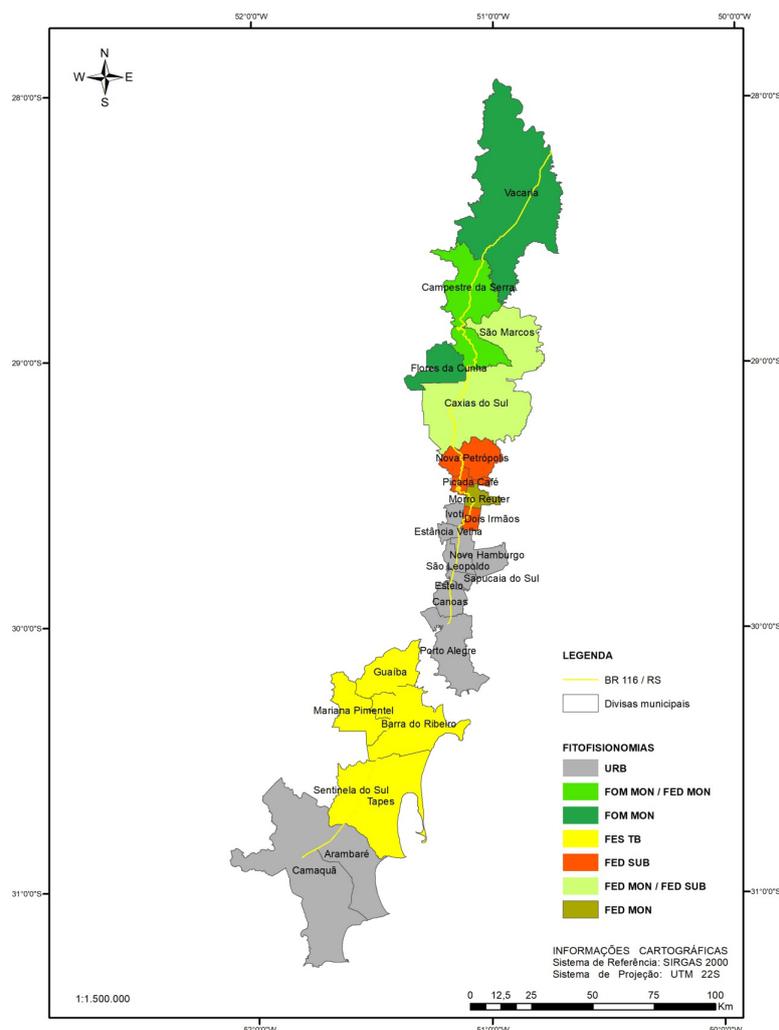


Figura 3 – Distribuição das fitofisionomias nos municípios diretamente atingidos pelo segmento da rodovia BR-116. Legenda: FOM MON (floresta ombrófila mista montana); FED MON (floresta estacional decidual montana); FED SUB (floresta estacional decidual submontana); FES TB (floresta estacional semidecidual de terras baixas); URB (área urbanizada). Fonte: Primária.

Na tabela 2 são apresentados os coeficientes de risco de incêndio de acordo com as fitofisionomias encontradas.

Tabela 2 – Risco de incêndio em função da fitofisionomia. *Legenda: FOM MON (floresta ombrófila mista montana); FED MON (floresta estacional decidual montana); FED SUB (floresta estacional decidual submontana); FES TB (floresta estacional semidecidual de terras baixas); URB (área urbanizada).

Fitofisionomia*	Risco	Coefficiente
Áreas urbanas	Baixo	1
FOM MON	Moderado	2
FED MON	Alto	3
FED SUB	Muito alto	4
FED TB	Extremo	5

A fitofisionomia e o volume de material combustível arbóreo encontrado com cada município são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Relação dos municípios, volume e fitofisionomias encontrados nas parcelas. *Legenda: FOM MON (floresta ombrófila mista montana), FED MON (floresta estacional decidual montana), FED SUB (floresta estacional decidual submontana), FES TB (floresta estacional semidecidual de terras baixas), URB (área urbanizada), ao longo do segmento da faixa de domínio da rodovia BR-116 no estado do Rio Grande do Sul.

	Município	Volume (m ³)	Fitofisionomia*
1	Arambaré	0,00	URB
2	Barra do Ribeiro	9,78	FES TB
3	Camaquã	0,00	URB
4	Campestre da Serra	10,14	FOM MON/FED MON
5	Canoas	0,00	URB
6	Caxias do Sul	11,5	FED MON/FED SUB
7	Dois Irmãos	11,3	FED SUB
8	Estância Velha	0,00	URB
9	Esteio	0,00	URB
10	Flores da Cunha	12,59	FOM MON
11	Guaíba	6,487	FES TB
12	Ivoti	0,00	URB
13	Mariana Pimentel	0,00	FES TB
14	Morro Reuter	9,46	FED MON
15	Nova Petrópolis	8,80	FED SUB
16	Novo Hamburgo	0,00	URB
17	Picada Café	13,08	FED SUB
18	Porto Alegre	0,00	URB
19	São Leopoldo	0,00	URB
20	São Marcos	9,82	FED MON/FED SUB
21	Sapucaia do Sul	0,00	URB
22	Sentinela do Sul	8,25	FES TB
23	Tapes	0,00	FES TB
24	Vacaria	15,35	FOM MON

Na tabela 4 podem ser observados os coeficientes de risco de incêndio, levando em conta a multiplicação do volume de material combustível em cada município por peso atribuído, de acordo com a fitofisionomia.

Tabela 4 – Risco de incêndio em função do volume de material combustível x fitofisionomia.

Volume x fitofisionomia	Risco	Coefficiente
Até 20	Baixo	1
21-30	Moderado	2
31-40	Alto	3
41-50	Muito alto	4
Acima de 50	Extremo	5

O volume total de material combustível arbóreo de acordo com a fitofisionomia é apresentado na tabela 5.

Tabela 5 – Volumes obtidos nas fitofisionomias floresta ombrófila mista montana, floresta estacional decidual montana, floresta estacional decidual submontana e floresta estacional semidecidual de terras baixas, ao longo de um segmento da faixa de domínio da rodovia BR-116 no estado do Rio Grande do Sul. *Legenda: FOM MON (floresta ombrófila mista montana); FED MON (floresta estacional decidual montana); FED SUB (floresta estacional decidual submontana); FES TB (floresta estacional semidecidual de terras baixas).

Fitofisionomia*	Área total (ha)	Volume (m ³ /ha)	Volume total (m ³)
FOM MON	149,98	133,07	19.957,83
FED MON	141,01	97,14	13.697,71
FED SUB	189,29	105,55	19.979,55
FES TB	61,00	86,42	5.271,62
Total geral	541,28		58.906,71

A vegetação arbórea de maior representatividade no segmento avaliado foi a floresta estacional decidual submontana, com 189,29 ha de área, seguida da floresta ombrófila mista montana e da floresta estacional decidual montana, que apresentaram 149,98 ha e 141,01 ha, respectivamente. A fitofisionomia da floresta estacional semidecidual de terras baixas foi a que apresentou menor área, com 61 ha.

A maior quantidade de volume por hectare foi encontrada na floresta ombrófila mista montana, que apresentou 133,07 m³/ha, seguida pela vegetação da floresta estacional decidual submontana (105,55 m³/ha), floresta estacional decidual montana (97,14 m³/ha) e floresta estacional semidecidual de terras baixas (86,42 m³/ha).

Em relação ao volume total por fisionomia, a floresta ombrófila mista montana apresentou os maiores volumes, com 19.979,55 m³, e o volume total foi similar ao obtido para a floresta estacional decidual submontana, com 19.957,83 m³. A floresta estacional decidual montana apresentou 13.697,71 m³ no total, e a floresta estacional semidecidual de terras baixas foi a que obteve o menor volume total, com 5.271,62 m³.

Os volumes verificados nas parcelas variaram de 3,60 m³/ha a 18,86 m³/ha. Nos municípios onde havia área urbana na faixa de domínio da rodovia – e por essa razão não foram instaladas parcelas –, o valor de volume de material combustível arbóreo considerado foi zero. Atribuíram-se cinco classes de risco de acordo com o volume de material combustível arbóreo, que correspondem aos riscos baixo, moderado, alto, muito alto e extremo. A cada classe foi concedido um coeficiente que demonstra o nível de risco (tabela 6).

Tabela 6 – Risco de incêndio em função do volume de material combustível.

Volume (m ³ /ha)	Risco	Coefficiente
0-3	Baixo	1
3-6	Moderado	2
6-9	Alto	3
9-12	Muito alto	4
>12	Extremo	5

Na tabela 7 são apresentados os coeficientes de riscos de incêndio obtidos em cada município para as variáveis: focos de calor, material combustível, fitofisionomia e volume do material combustível x fitofisionomia.

Com base nos coeficientes determinados, pode ser observada a correlação entre os coeficientes de risco de incêndio das variáveis analisadas (tabela 8). A variável que apresentou a maior correlação com focos de calor foi o volume, com valor de 0,64. As variáveis fitofisionomia e volume x fitofisionomia apresentaram correlação de valor menor com focos de calor, demonstrando que o volume pode ter maior influência nos incêndios na região estudada.

Tabela 7 – Risco de incêndio em função do número de focos de calor, volume de material combustível, fitofisionomia e volume x fitofisionomia.

Classes de risco de incêndio				
Município	Focos de calor	Volume de material combustível	Fitofisionomia	Volume x fitofisionomia
Arambaré	2	1	1	1
Barra do Ribeiro	2	4	5	4
Camaquã	3	1	1	1
Campestre da Serra	5	4	3	2
Canoas	1	1	1	1
Caxias do Sul	5	4	3	3
Dois Irmãos	3	4	4	4
Estância Velha	1	1	1	1
Esteio	1	1	1	1
Flores da Cunha	2	5	2	2
Guaíba	2	3	5	3
Ivoti	1	1	1	1
Mariana Pimentel	3	1	5	1
Morro Reuter	5	4	3	2
Nova Petrópolis	5	3	4	3
Novo Hamburgo	1	1	1	1
Picada Café	2	5	4	5
Porto Alegre	1	1	1	1
São Leopoldo	1	1	1	1
São Marcos	5	4	3	2
Sapucaia do Sul	1	1	1	1
Sentinela do Sul	2	3	5	4
Tapes	2	1	5	1
Vacaria	5	5	2	3

Tabela 8 – Correlação entre os coeficientes de perigo de incêndio obtido entre as variáveis analisadas: número de focos de calor, volume de material combustível, fitofisionomia e volume x fitofisionomia.

Variáveis	Focos de calor	Volume	Fitofisionomia	Volume x fitofisionomia
Focos de calor	1	0,64	0,35	0,36
Volume		1	0,46	0,80
Fitofisionomia			1	0,66
Volume x fitofisionomia				1

Diante disso, observa-se na figura 4 o mapa de risco de incêndios em função do volume do material combustível arbóreo, nos municípios pertencentes ao segmento da rodovia BR-116 avaliado.

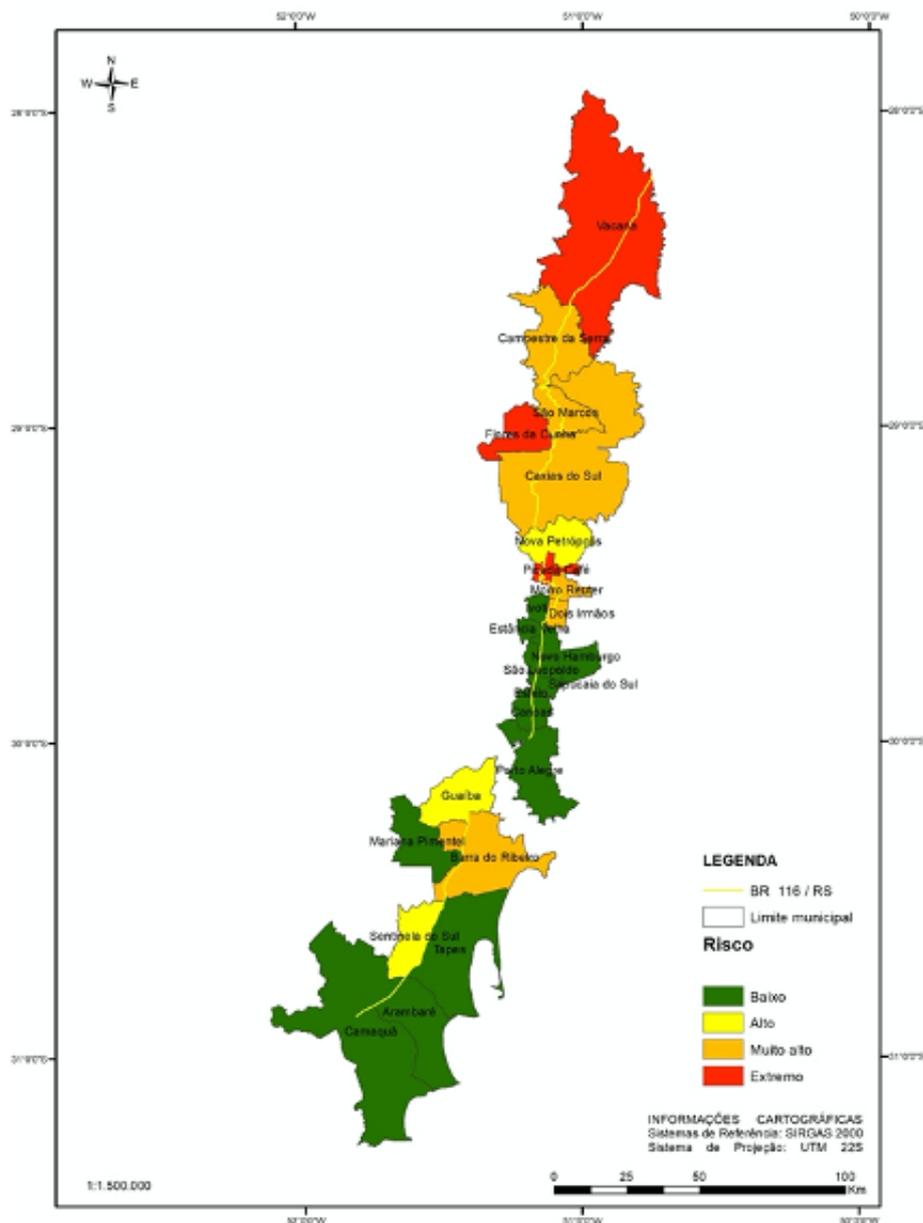


Figura 4 – Mapa de zoneamento de risco de incêndios em função do volume de material combustível arbóreo nos municípios diretamente atingidos por um segmento da rodovia BR-116, no estado do Rio Grande do Sul. Fonte: Primária.

Os maiores riscos de incêndio em função do material combustível arbóreo foram verificados em Vacaria, Flores da Cunha e Picada Café. Esses três municípios apresentaram o risco 5 (extremo), o mais alto dentre as classes de risco do zoneamento. Nessas cidades foram verificadas as maiores quantidades de material combustível arbóreo nas parcelas instaladas ao longo da faixa de domínio do segmento da rodovia BR-116 avaliado.

A vegetação dos municípios de Vacaria e Flores da Cunha é típica da floresta ombrófila mista montana, a qual normalmente não é uma vegetação que apresenta elevadas ocorrências de incêndios florestais. De acordo com Ribeiro *et al.* (2008), essa floresta é menos suscetível aos incêndios, em função do microclima e da maior umidade do material vegetal.

Entretanto é interessante ressaltar as elevadas quantidades de material combustível arbóreo existente nesse tipo de vegetação, que é característica nos municípios que apresentaram risco de incêndio mais elevado. Tal vegetação foi a que apresentou o maior volume por hectare de material combustível arbóreo neste trabalho.

No caso de incêndios de grandes proporções, ocasionados em um período prolongado de seca, os municípios que obtiveram risco de incêndio extremo no zoneamento seriam potenciais para apresentar incêndios perigosos, com altas intensidades. Nessas localidades, os danos seriam maiores em comparação com os demais municípios do segmento da rodovia BR-116 avaliados. Segundo Batista *et al.* (2014), a quantidade de material combustível total influencia diretamente a intensidade do fogo.

Picada Café também apresentou risco de incêndio 5 (extremo), sendo a vegetação arbórea de floresta estacional decidual submontana predominante nesse município. Tal fitofisionomia apresentou menores quantidades de material combustível arbóreo por hectare em relação ao encontrado para a floresta ombrófila mista montana, entretanto em Picada Café a vegetação da faixa de domínio está mais preservada, advindo daí o risco extremo obtido por esse município.

Em seguida, os maiores riscos de incêndio foram verificados em Campestre da Serra, São Marcos, Morro Reuter, Dois Irmãos, Barra do Ribeira e Caxias do Sul, que apresentaram risco 4 (muito alto) de incêndio, de acordo com a classificação do zoneamento. Nessas cidades, as fitofisionomias variaram, e o maior risco de incêndio decorreu da maior conservação da vegetação.

Os lugares que, no zoneamento, apresentaram risco de incêndio 4 (muito alto) e 5 (extremo) são os que devem alocar maior atenção, caso eventualmente ocorram incêndios ao longo da área percorrida pelo segmento avaliado da rodovia BR-116. Nesses municípios, que estão localizados ao norte do segmento avaliado, devem ser priorizadas ações de prevenção de incêndios florestais.

Apesar de o combustível arbóreo/florestal, em condições naturais, não oferecer grande risco de início de incêndios, por conta da espessura do material, esses ambientes são grandes fontes de material combustível e devem ser estudados. Assim, é constante o relato de ocorrência de incêndios em áreas com florestas, como verificado por Seger *et al.* (2012) para o estado do Paraná.

O zoneamento de risco de incêndios é de grande auxílio, pois, quanto mais se entende sobre o comportamento do fogo e o de todas as suas variáveis, maior a probabilidade de antecipar situações perigosas ou impactos de grande magnitude, viabilizando melhores caminhos para a tomada de decisão na gestão dos incêndios (LINN *et al.*, 2012).

Os municípios de Nova Petrópolis, Guaíba e Sentinela do Sul apresentaram risco de incêndio 3 (alto), dentro das classes de risco do mapa de zoneamento. Em Guaíba e Sentinela do Sul, esse grau de risco é devido ao fato de os municípios estarem entre duas grandes áreas urbanizadas.

No trecho localizado no centro do segmento da rodovia BR-116, que vai desde Ivoti até Porto Alegre, os municípios de Mariana Pimentel, Tapes, Arambaré e Camaquã apresentaram os menores riscos de incêndio em função do material combustível arbóreo, com risco 1 (baixo).

Em relação aos focos de calor, foi compilado um total de 1.000 observações no período compreendido entre 2007-2016, nos 24 municípios, variando de 0 a 431 focos por município, pelo sistema de monitoramento de queimadas do Inpe. Essa detecção é utilizada como um indicador da frequência dos incêndios florestais (COELHO & GUASSELLI, 2009; PEREIRA *et al.*, 2013). Em muitas regiões do Brasil, em virtude da ausência dos registros de ocorrências de incêndios florestais, o número de focos de calor detectados pelo Inpe serve como referência para indicar o nível de risco de incêndios florestais (BATISTA, 2004). Tal número pode ter diferentes aplicações e ser utilizado por instituições governamentais, pesquisadores e mídia.

Baseando-se nas cinco classes de riscos de incêndio, elaboradas conforme Batista *et al.* (2002), observa-se na figura 5 o mapa do zoneamento de risco de incêndios em função do número de focos de calor, nos municípios pertencentes ao segmento avaliado da rodovia BR-116.

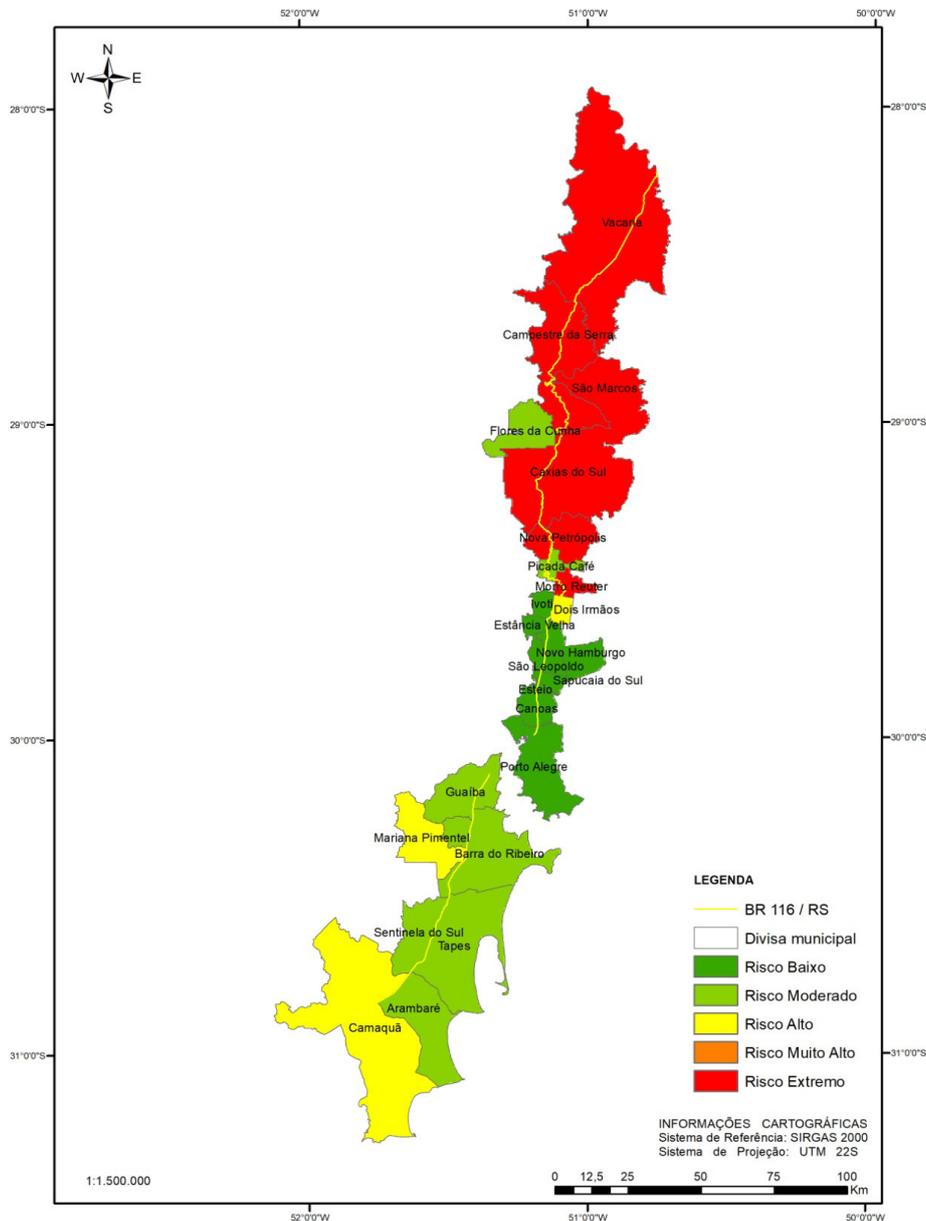


Figura 5 – Mapa de zoneamento de riscos de incêndio em função dos focos de calor nos municípios diretamente atingidos por um segmento da rodovia BR-116, no Rio Grande do Sul. Fonte: Primária.

Os maiores riscos de incêndio em função dos focos de calor foram verificados em Vacaria, Campestre, São Marcos, Caxias do Sul e Morro Reuter. Esses municípios apresentaram o risco 5 (extremo), o mais alto dentre as classes de risco do zoneamento. Neles foram verificados os maiores números de focos de calor ao longo do segmento avaliado da rodovia BR-116.

Em seguida, os municípios que apresentaram os maiores riscos de incêndio em função dos focos de calor foram Dois Irmãos, Mariana Pimentel e Camaquã, com risco de incêndio 3 (alto). Flores da Cunha, Guaíba, Barra do Ribeira, Sentinela do Sul, Picada Café e Arambaré apresentaram risco 2 (moderado). No trecho do segmento da rodovia BR-116 de Ivoti até Porto Alegre, todos os municípios apresentaram risco de incêndio 1 (baixo).

Ao analisar a comparação entre os riscos de incêndio apresentados pelos municípios para as duas variáveis – volume de material combustível e focos de calor –, observou-se a mesma tendência, ou seja, as cidades localizadas ao norte do segmento obtiveram os maiores riscos de incêndio, variando de muito alto a extremo, exceto para Flores da Cunha e Picada Café. Os locais que apresentam níveis de risco de incêndio alto e extremo geralmente são aqueles onde os incêndios, quando ocorrem, são de maiores proporções e causam maiores danos (SOARES *et al.*, 2017).

Outra tendência verificada na comparação entre os riscos de incêndio observados nos municípios para as variáveis focos de calor e volume de material combustível é que, no trecho que vai de Ivoti até Porto Alegre, todos os municípios possuem risco baixo para as duas variáveis. Isso pode ter ocorrido pelo fato de tais municípios apresentarem extensas áreas urbanas e, conseqüentemente, baixos volumes de material combustível.

A ocorrência e a propagação de incêndios florestais em uma região dependem de vários fatores ligados ao fenômeno da combustão, tendo como um dos elementos fundamentais o material combustível, por ser um dos componentes do triângulo de fogo e pelo fato de sua quantidade afetar diretamente a intensidade do fogo (CHANG *et al.*, 2015).

CONCLUSÃO

A variável material combustível apresentou maior correlação com os dados reais de focos de calor na área estudada. Sendo assim, os maiores riscos de incêndio em função do material combustível arbóreo, nos municípios diretamente atingidos pelo segmento da rodovia BR-116 avaliado, são verificados nos locais ao norte do segmento, no trecho que vai desde Vacaria até Dois Irmãos. Esses resultados coincidem em grande parte com aqueles obtidos com o mapa de risco de incêndios verificado com os focos de calor do Inpe, comprovando haver maior risco de incêndio nas áreas com maior volume de combustível e localizadas ao norte da região estudada.

Assim, as zonas localizadas ao norte do mapa de zoneamento, que apresentam níveis de riscos de incêndio extremo e muito alto, devem ser priorizadas em ações de controle de prevenção de incêndios florestais no trecho do segmento da rodovia BR-116.

REFERÊNCIAS

- Alexander, M. E. & Cruz, M. G. Crown fire dynamics in conifer forests. USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station. General Technical Report-854; 2011. 39 p.
- Armenteras-Pascual, D., Retana-Alumbreros, J., Molowny-Horas, R., Roman-Cuesta, R. M., Gonzalez-Alonso, F. & Morales-Rivas, M. Characterizing fire spatial pattern interactions with climate and vegetation in Colômbia. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2011; 151: 279-289.
- Batista, A. C. Detecção de incêndios florestais por satélites. *Revista Floresta*. 2004; 34(2): 237-241.
- Batista, A. C., Oliveira, D. S. & Soares, R. V. Zoneamento de risco de incêndios florestais para o estado do Paraná. Curitiba: FUPEF, 2002. 86 p.
- Batista, A. C., Tetto, A. F., Deppe, F., Grodzki, L. & Grassi, J. T. Análise dos impactos das mudanças climáticas sobre o risco de incêndios florestais no estado do Paraná. *Scientia Forestalis*. 2014; 42(104): 491-501.
- Borges, T. S., Fiedler, N. C., Santos, A. R., Loureiro, E. B. & Mafia, R. G. Desempenho de alguns índices de risco de incêndios em plantios de eucalipto no norte do Espírito Santo. *Floresta e Ambiente*. 2011; 18(2): 153-159.
- Chang, Y., Zhu, Z., Bu, R., Li, Y. & Hu, Y. Environmental controls on the characteristics of mean number of forest fires and mean forest area burned (1987-2007) in China. *Forest Ecology and Management*. 2015; 356: 13-21.

- 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. Anais. 14 Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal: INPE; 2009. p. 5151-5158.
- Curt, T. & Delcros, P. Managing road corridors to limit fire hazard. A simulation approach in Southern France. *Ecological Engineering*. 2010; 36: 457-465.
- Herawati, H. & Santoso, H. Tropical forest susceptibility to and risk of fire under changing climate: a review of fire nature, policy and institutions in Indonesia. *Forest Policy and Economics*. 2011; 13: 227-233.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa de vegetação do Brasil. 3. ed. Brasília: IBGE – Diretoria de Geociências; 2004.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico da vegetação brasileira. Rio de Janeiro: IBGE; 2012. 272 p.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Programa de Queimadas. 2017. [Acesso em: 9 mar. 2017]. Disponível em: https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/estatistica_estados.
- ITTI – Instituto Tecnológico de Transportes e Infraestrutura. Órgão vinculado ao Departamento de Transportes (DTT), da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Inventário Florestal no Rio Grande do Sul (BR-116). Programa de Rodovias Federais Ambientalmente Sustentáveis-Profas, Meta 3, versão 02. Relatório técnico. Curitiba; 2017. 28 p.
- Koproski, L., Ferreira, M. P., Goldammer, J. G. & Batista, A. C. Modelo de zoneamento de risco de incêndios para unidades de conservação brasileiras: o caso do parque estadual do cerrado (PR). *Revista Floresta*. 2011; 41(3): 551-562.
- Linn, R. R., Canfield, J. M., Cunningham, P., Edminster, C., Dupuy, J. L. & Pimont, F. Using periodic line fires to gain a new perspective on multi-dimensional aspects of forward fire spread. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2012; 157: 60-76.
- Pereira, A. A., Acerbi Júnior, F. W., Teixeira, M. D., de Oliveira, T. A. & Scolforo, J. R. S. Análise espacial de focos ativos nas áreas prioritárias para conservação e áreas antropizadas no estado de Minas Gerais durante o período de 2000 a 2011. Anais. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Foz do Iguaçu; 2013. São José dos Campos: INPE; 2013. p. 6409-6416.
- Ribeiro, L., Koproski, L. de P., Stolle, L. P., Lingnau, L., Soares, C. R. V. & Batista, A. C. Zoneamento de riscos de incêndios florestais para a fazenda experimental do Canguiri, Pinhais (PR). *Revista Floresta*. 2008; 38(3): 561-572. doi: <http://dx.doi.org/10.5380/RF.V38I3.12430>
- Sanquetta, C. R., Watzlawick, L. F., Côrte, A. P. D., Fernandes, L. de A. V. & Siqueira, J. D. P. Inventários florestais: planejamento e execução. 2. ed. Curitiba; 2009. 316 p.
- Segger, C. D., Batista, A. C., Vashchenko, Y. & Lorenzetto, D. Análise dos incêndios florestais em vegetação nativa de vinte e dois municípios da região leste do estado do Paraná – Brasil. *Caminhos de Geografia*. 2012; 13(43): 30-40.
- Selle, G. L. & Vuaden, E. Crescimento de seis espécies nativas na região central do estado do Rio Grande do Sul. *Ambiência*. 2010; 6(1): 169-192.
- Soares, R. V., Batista, A. C. & Nunes, J. R. S. Incêndios florestais no Brasil: o estado da arte. Curitiba: UFPR; 2009. p. 53-108.
- Soares, R. V., Batista, A. C. & Tetto, A. F. Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo. 2 ed. Curitiba; 2017. 255 p.
- Spathelf, P., Berger, R., Vaccaro, S., Tonini, H. & Borsoi, G. A. Crescimento de espécies nativas de uma floresta estacional decidual / ombrófila mista do Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal*. 2001; 11(2): 103-119.
- Tetto, A. F. Comportamento histórico dos incêndios florestais na Fazenda Monte Alegre no período de 1965 a 2009 [Tese de Doutorado]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2012.