



ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO PERIGO METEOROLÓGICO DE FOGO  
NA AMÉRICA DO SUL UTILIZANDO DADOS DE REANÁLISE ERA - INTERIM PARA O  
PERÍODO DE 1979-2005

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/INPE/CNPq)

Thaís Morais Ruffo ( UFRJ, Bolsista PIBIC/CNPq)  
E-mail: [thaisruffo@gmail.com](mailto:thaisruffo@gmail.com)

Dr. Alberto W. Setzer (INPE, Orientador)  
E-mail: [alberto.setzer@cptec.inpe.br](mailto:alberto.setzer@cptec.inpe.br)

Dr. Renata Libonati (LASA /UFRJ, Orientadora).  
Email: [renata.libonati@igeo.ufrj.br](mailto:renata.libonati@igeo.ufrj.br)

COLABORADORES

Tatyane Paz Dominguez (UFRJ)

Marcolino Nascimento (UFRJ)

Julho de 2017



## LISTA DE SÍMBOLOS

A	Parâmetro de vegetação
a, b, d	Constantes
D	Temperatura do ponto de orvalho
FP	Fator de precipitação
FT	Fator de temperatura
FU	Fator de umidade
PSE	Índice de secura
RB	Risco básico
RF	Risco de fogo
T, Tmax	Temperatura máxima
U, UR	Umidade relativa



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Área de estudo
Figura 2	Mapa de classificação de risco de fogo
Figuras 3 a 9	Dados diários dos parâmetros FT, FU, RB e RF.
Figura 10 e 11	Comparação entre os biomas para o parâmetro RF.
Tabela 1	Valores assumidos para a constante A para os sete tipos de vegetação
Tabela 2	Classificação meteorológica de fogo
Tabela 3	Classificação da vegetação brasileira de acordo com níveis de risco de fogo



## SUMÁRIO

### RESUMO

<b>1-INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 RESUMO DO PLANO INICIAL DE TRABALHO.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.3 RESUMO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS.....	2
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>3</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>4</b>
3.1 DESCRIÇÕES DA AQUISIÇÃO DE DADOS.....	4
3.2 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DO RISCO DE FOGO .....	4
3.3ÁREA DE ESTUDO.....	5
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>5</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>12</b>
<b>6.REFERÊNCIAS .....</b>	<b>13</b>



## RESUMO

Os incêndios são uma das mais importantes fontes de danos aos ecossistemas florestais nas regiões em desenvolvimento. Além disso, tem importância ecológica fundamental devida sua influência sobre a poluição atmosférica e mudanças climáticas, que têm impactos diretos e indiretos sobre os habitats e os ecossistemas. Devido à tamanha importância do estudo da ocorrência de fogo, essa análise baseia-se no Índice de Perigo de Fogo Meteorológico desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A América do Sul é um continente marcado por ampla diversidade de biomas, dessa forma é crucial analisar e entender os padrões climáticos que aumentam a suscetibilidade de queima.

Neste contexto o presente trabalho tem como objetivo a reconstrução histórica do risco de fogo meteorológico na América do Sul utilizando dados da reanálise ERA-INTERIM para o período 1979 - 2005, com 0.01° de resolução espacial e através de mapas de cobertura vegetal provenientes do produto IGBP derivado do sensor orbital MODIS (1 km de resolução espacial). Foram obtidos dados de temperatura máxima, temperatura do ponto de orvalho para calcular a umidade relativa e precipitação. Através desses dados foi possível calcular para cada bioma, fatores imprescindíveis ao cálculo final do risco de fogo (RF), a saber: fator de umidade (FU), fator de temperatura (FT), risco básico (Rb). Os resultados permitem identificar os tipos de vegetação e biomas brasileiros com maior predisposição climática ao fogo, assim como caracterizar as tendências e variações espaço-temporais ocorridas ao longo das últimas três décadas.

## 1-Introdução

### 1.1-Resumo do plano de trabalho inicial

A queima da vegetação causa substanciais impactos ecológicos, atmosféricos e climáticos. Os biomas brasileiros são afetados pelo fogo todos os anos, constituindo-se em importantes fontes regionais e globais de emissões de gases do efeito estufa e aerossóis (Bowman et al., 2009; Pivello, 2011; Libonati et al., 2015). Para mitigar os efeitos do fogo no Brasil é necessário caracterizar a vulnerabilidade de cada ecossistema relativamente ao fogo, ou seja, quantificar a susceptibilidade de cada tipo de vegetação à ocorrência de incêndios. Paralelamente à contribuição antropogênica e ao tipo de cobertura do solo, a predisposição de uma determinada região ao fogo é influenciada diretamente pelo clima. Para quantificar a vulnerabilidade climática da vegetação para a ocorrência de queimadas pode-se utilizar índices de risco de fogo baseados em variáveis meteorológicas e no tipo de vegetação (Field et al, 2015).

Índices de risco ou perigo meteorológico de fogo são rotineiramente utilizados para identificar condições favoráveis ao início de incêndios na vegetação. A metodologia consiste em modelar a umidade da vegetação em resposta às variáveis meteorológicas, quantificando a suscetibilidade ao fogo de cada tipo de vegetação de acordo com as condições do tempo. O Índice de Risco de Fogo Meteorológico, desenvolvido internamente pelo Grupo de Monitoramento de Queimadas/INPE Brasil (Sismanoglu e Setzer, 2004), tem sido amplamente utilizado de forma operacional pelo INPE para fornecer informações em tempo real sobre do risco de incêndio diário observado (utilizando dados medidos em estações meteorológicas in situ) e previsto (utilizando modelos de previsão do tempo) no Brasil.

A análise histórica da variabilidade do risco meteorológico de fogo no Brasil é crucial para compreender as relações históricas entre a predisposição meteorológica aos incêndios e o regime de fogo observado à escala continental, identificar fenômenos atmosféricos e oceânicos de grande escala que controlam o risco de fogo, quantificar as incertezas do Índice de Risco de Fogo Meteorológico e introduzir modificações nos seus limiares, além de fornecer informações históricas sobre o comportamento do fogo, contribuindo para analisar projeções do índice de fogo em diversos cenários de mudanças climáticas. Este tipo de análise histórica pode ser feita utilizando-se dados diários medidos em estações meteorológicas de superfície. Neste caso, porém, além da reconstrução de falhas temporais nos dados, torna-se necessário uma interpolação espacial para construção de mapas de risco de fogo contínuos no espaço e no tempo. Uma maneira de solucionar o problema é a utilização de dados de reanálises. Apesar do viés associado quando comparado com observações in situ, este conjunto de dados modelados é a única forma possível de calcular o risco de fogo de forma consistente e contínua (ao longo do tempo e do espaço) à escala continental (Field et al, 2015).

Neste contexto o presente trabalho tem como objetivo a reconstrução histórica do risco de fogo meteorológico no Brasil utilizando dados da reanálise ERA-INTERIM (Dee et al.,2011) para o período 1979 - 2005. Para tal, utilizam-se dados diários de temperatura máxima, umidade relativa e precipitação, provenientes de reanálises do ERA-INTERIM com 0,01° de resolução espacial e mapas de cobertura vegetal provenientes do produto IGBP derivado do sensor orbital MODIS (1 km de resolução espacial).



## 1.2-Objetivos

O presente estudo tem por finalidade realizar uma reconstrução histórica da susceptibilidade climática dos diversos biomas brasileiros à ocorrência de incêndios usando dados diários de temperatura, umidade e precipitação. Além de promover uma avaliação do comportamento das queimadas no Brasil, e de que maneira a vegetação influenciou em sua ocorrência durante o período de estudo.

## 1.3-Resumo das atividades desenvolvidas

A primeira etapa do trabalho engloba:

- ✓ Revisão bibliográfica
- ✓ Download dos dados globais diários de temperatura do ar a 2 metros, precipitação e temperatura do ponto de orvalho provenientes da reanálise ERA-INTERIM para o período 1979 – 2005, com 0,01° de resolução espacial;
- ✓ Download de dados tipo de cobertura vegetal derivados de satélites (IGBP-MODIS)
- ✓ Identificação das inconsistências nos dados;
- ✓ Remoção e correção de dados espúrios para homogeneizar os dados;
- ✓ Recorte dos dados para a região do Brasil;

A segunda etapa do trabalho engloba:

- ✓ Calcular o índice de risco de fogo observado de acordo com (Sismanoglu e Setzer, 2004) na região de estudo utilizando observações de Temperatura, Umidade e Precipitação utilizando dados de reanálises (ERA-INTERIM) para o período de 1979-2005.
- ✓ Identificar os tipos de cobertura do solo através do uso de dados de sensoriamento remoto e relacionar com o risco de fogo.
- ✓ Definir e calcular classes de risco de fogo (risco muito baixo, baixo, médio, alto, crítico) para todo o período;



- ✓ Gerar mapas do risco de fogo observado no período 1979-2005;
- ✓ Avaliar e quantificar através de técnicas estatísticas os principais padrões associados ao risco de fogo na região de estudo através da análise dos padrões espaços-temporais das observações de Temperatura, Umidade, Precipitação e do risco de fogo.
- ✓ Analisar a evolução temporal e espacial do risco de fogo e das variáveis climáticas através do das três décadas analisadas, por tipo de cobertura vegetal e bioma.  
Finalmente a terceira etapa do Projeto considera a publicação de artigos científicos e a redação final com a avaliação e conclusões do projeto

## **2-Fundamentação Teórica**

O continente brasileiro apresenta uma diversidade de biomas que são fortemente impactados pelo efeito das queimas, tornando-se uma principal fonte de gases de efeito estufa e aerossóis em escala regional e global. Além disso, condições climáticas locais influenciam no manejo solo de forma a utilizar o fogo como ferramenta principal em períodos de estiagem. (LIBONATI, R. et al., 2015).

Os incêndios são uma das mais importantes fontes de danos aos ecossistemas florestais nas regiões em desenvolvimento. A avaliação do risco de incêndio depende do chamado Perigo meteorológico de fogo que foi desenvolvido internamente no CPTEC / INPE com base na ocorrência de centenas de milhares de eventos de incêndio nos principais biomas brasileiros. A avaliação do risco de fogo está paralelamente relacionada à contribuição antropogênica e ao tipo de cobertura vegetal, já que o clima diretamente o regime de fogo. Sendo assim, a identificação de fatores climáticos que favorecem os incêndios na vegetação são cruciais. (Sismanoglu e Setzer, 2004)



### **3-Materiais e Métodos**

#### **3.1- Descrições da aquisição de dados**

A avaliação do risco de incêndio baseia-se no chamado Índice de Perigo de Fogo Meteorológico, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), cujo objetivo é representar quantitativamente a predisposição da vegetação à ignição do fogo baseado em variáveis climáticas relevantes. A reconstrução histórica do risco de fogo meteorológico no Brasil é realizada através de informações diárias sobre precipitação, temperatura máxima e umidade relativa do ar provenientes das reanálises do ERA-INTERIM, que fornece dados com 0,01° de resolução espacial e também através de mapas de cobertura vegetal provenientes do produto IGBP derivado do sensor orbital MODIS com 1 km de resolução espacial para o período de 1979-2005 e modelado para a região brasileira.

#### **3.2- Definição e classificação do risco de fogo**

O conceito de risco de fogo é uma idealização. O risco de fogo ou perigo meteorológico de fogo é um indicador da proporção do acumulado de 120 dias consecutivos sem chuva com o maior risco que a vegetação possui à queima. Para mitigar os efeitos do fogo no Brasil é necessário caracterizar a vulnerabilidade de cada ecossistema à combustão. Entretanto o Brasil é um continente que apresenta uma ampla diversidade de biomas, sendo crucial analisar e entender como seus padrões climáticos influenciam a suscetibilidade de queima. Isto é feito através do cálculo de Risco de fogo desenvolvido pelo CETEP/INPE.

O cálculo do risco meteorológico de fogo baseia-se em informações sobre a cobertura vegetal e sobre os valores diários da temperatura máxima, umidade relativa mínima e precipitação acumulada. Inicialmente, o chamado “Dias de securas” (PSE) é avaliado para cada dia com base nos fatores de precipitação acumulada, que está vinculado à uma função exponencial específica, como o propósito de reduzir o efeito da precipitação à medida em que sua ocorrência fica mais distante do passado.

Esta função está representada pela figura abaixo.

$$PSE = 105 * fp1 * fp2 * fp3 * fp4 * fp5 * fp6a10 * fp11a15 * fp16a30 * fp31a60 * fp61a90 * fp91a120$$



$$\begin{aligned} fp1 &= e^{-0.14+prec}; fp2 = e^{-0.07+prec}; fp3 = e^{-0.04+prec}; fp4 = e^{-0.03+prec}; \\ fp5 &= e^{-0.02+prec}; fp6a10 = e^{-0.01+prec}; fp11a15 = e^{-0.008+prec}; \\ fp16a30 &= e^{-0.004+prec}; fp31a60 = e^{-0.002+prec}; fp61a90 = e^{-0.001+prec}; \\ fp91a120 &= e^{-0.0007+prec}. \end{aligned}$$

O risco básico é então calculado para cada período, combinando o PSE com os diversos tipos de biomas da região de estudo.

$$Rb_{n=1,7} = \frac{0.9 \cdot [1 + \sin(A_{n=1,7} + PSE)]}{2}$$

Onde A é um parâmetro que varia de acordo com a vegetação descrita abaixo.

CLASSVGET (N=1,5)	VEGET.1	VEGET.2	VEGET.3	VEGET.4	VEGET.5
TipoVeget	Omr.densa	Omr.Aberta	Contato+Campinarana	Estacional+Decídua+Semi-Decidual	Não Floresta
Conste. A	1.715	2	2.4	3	4

Tabela 1: Valores assumidos para a constante A para os 7 tipos de vegetação

O perigo de incêndio aumenta para valores de umidade abaixo de 40% e de temperatura acima de 30° C. Sendo também levados em conta, os efeitos da umidade e temperatura, obtidas através das seguintes expressões:

$$Fator\ Umidade = FU = UR * -0.006 + 1.3$$

$$Fator\ Temperatura = FT = Tmax * 0.02 + 0.4$$



Para o caso deste estudo não foi possível calcular o fator de umidade diretamente pela equação de ajuste do FU, logo se fez uso de dados de temperatura de ponto de orvalho e também da temperatura máxima das 18 UTC.

$$U(T, D) = 10 \left[ \frac{(c-c_1)^{+b} / (D+d)^{-b_1}}{(T+d)} \right] (D+d)^a (T+d)^{-a_1}$$

Por fim, é obtido o valor de Risco de fogo final, multiplicando o risco básico com os fatores de umidade e temperatura.

$$RF = Rb * FT * FU,$$

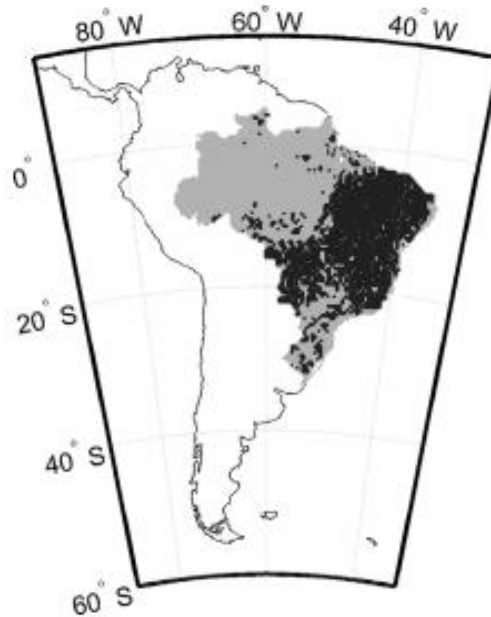
Como o RF varia entre zero e valor um pouco acima da umidade, é classificado em 5 classes de risco, descritas abaixo na tabela 2.

RISCO	Valores RF
Mínimo	> 0.15
Baixo	> 0.15 < 0.40
Médio	> 0.40 < 0.70
Alto	> 0.70 < 0.95
Critico	> 0.95

Tabela 2: Classificação meteorológica de fogo

### 3.3. Área de estudo

A classificação do perigo meteorológico de fogo tem como foco os biomas presentes nas regiões brasileiras. As informações necessárias para essa classificação foram obtidas do mapa de cobertura vegetal proveniente do produto IGBP adaptado para o Brasil.



Fonte: Patrícia Silva, 2016.  
Figura 1: área de estudo

## 4-Resultados

Através desses dados descritos acima foi possível calcular para cada bioma, fatores de suma importância ao cálculo final do perigo meteorológico de fogo (RF), conhecendo: fator de umidade (FU), fator de temperatura (FT) e risco básico (Rb). Os resultados mostram que grande parte dos biomas brasileiros tem seus maiores valores de RF entre agosto e setembro, que compreende a estação mais seca do ano.

### Risco de Fogo Meteorológico Médio - Histórico 1979-2005

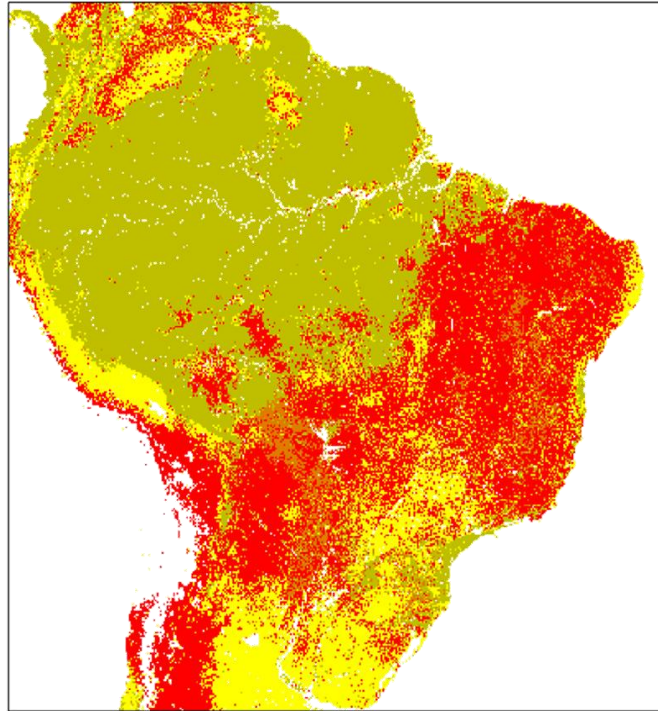


Figura 2: Mapa de classificação de risco de fogo

<b>Classes vegetação IGBP</b>	<b>Média (Desvio Padrão) Histórica (1980-2005)</b>	<b>Classe Risco de Fogo</b>
<b>1 - Grasslands</b>	<b>0,65 (0,04)</b>	<b>Médio</b>
<b>2 - Croplands</b>	<b>0,65 (0,04)</b>	<b>Médio</b>
<b>3 - Savanna</b>	<b>0,75 (0,04)</b>	<b>Alto</b>
<b>4-Closed shrublands</b>	<b>0,67 (0,04)</b>	<b>Médio/Alto</b>
<b>5 - Mixed forest</b>	<b>0,36 (0,05)</b>	<b>Baixo</b>
<b>6-Deciduous Broadleaf forest</b>	<b>0,74 (0,04)</b>	<b>Alto</b>
<b>7-Evergreen Broadleaf forest</b>	<b>0,31 (0,06)</b>	<b>Baixo</b>

Tabela 3: Classificação da vegetação brasileira de acordo com níveis de risco de fogo

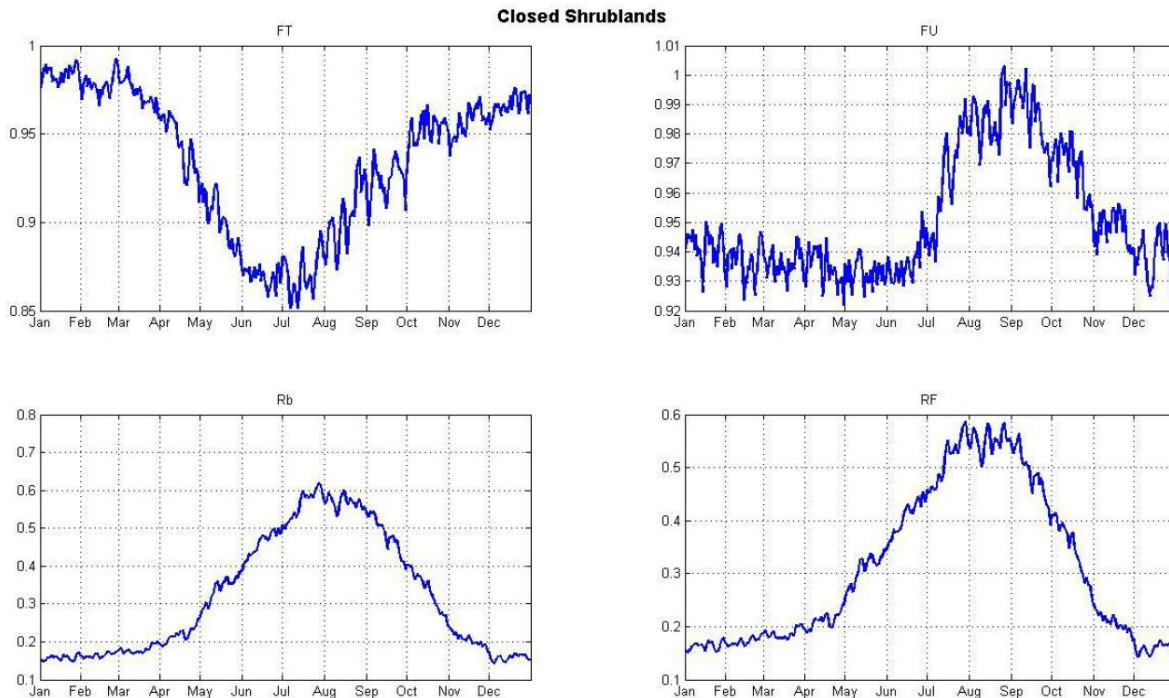


Figura 3: Variação do ciclo sazonal do bioma Close Shrublands para os fatores de temperatura (FT) e umidade relativa (FU), risco básico (Rb) e o risco meteorológico de fogo (RF). Respetivos ao período de estudo de 1879 – 2005

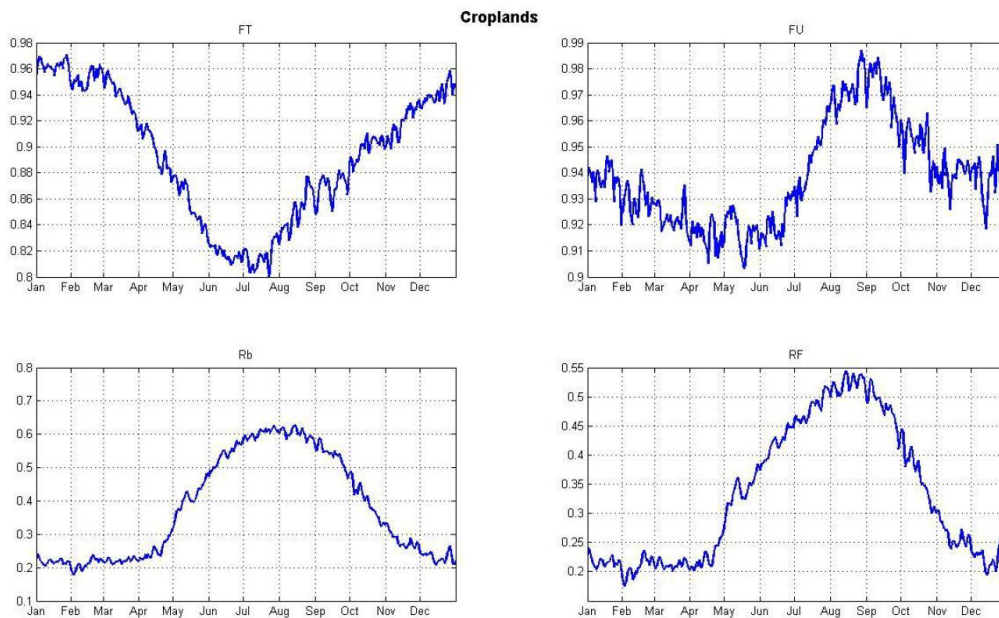


Figura 4: Variação do ciclo sazonal do bioma Croplands para os fatores de temperatura (FT) e umidade relativa (FU), risco básico (Rb) e o risco meteorológico de fogo (RF). Respetivos ao período de estudo de 1879 – 2005.

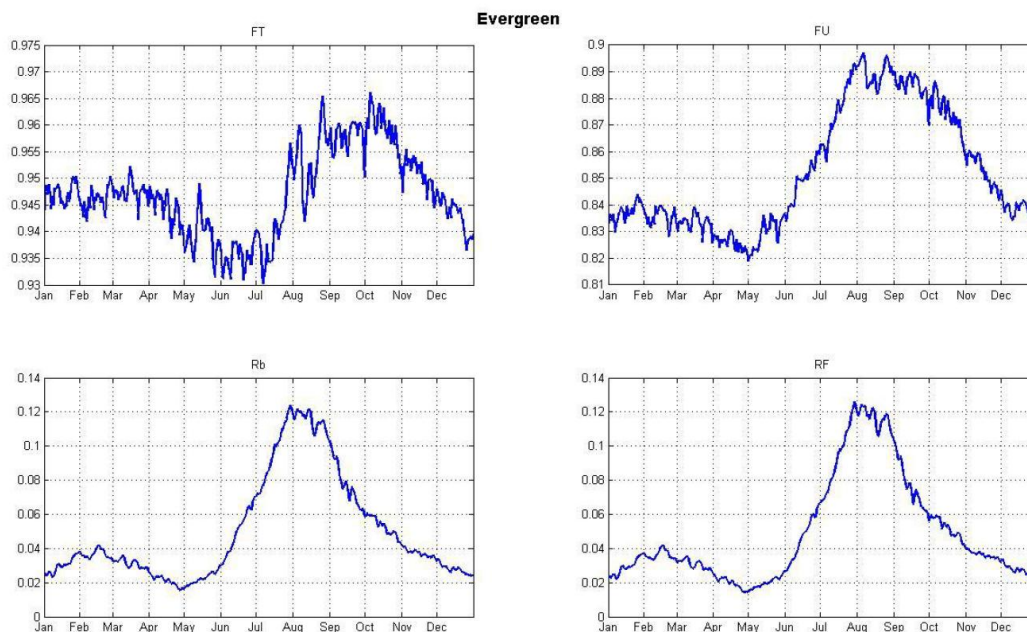


Figura 5: Variação do ciclo sazonal do bioma Evergreen para os fatores de temperatura (FT) e umidade relativa (FU), risco básico (Rb) e o risco meteorológico de fogo (RF). Respetivos ao período de estudo de 1879 – 2005.

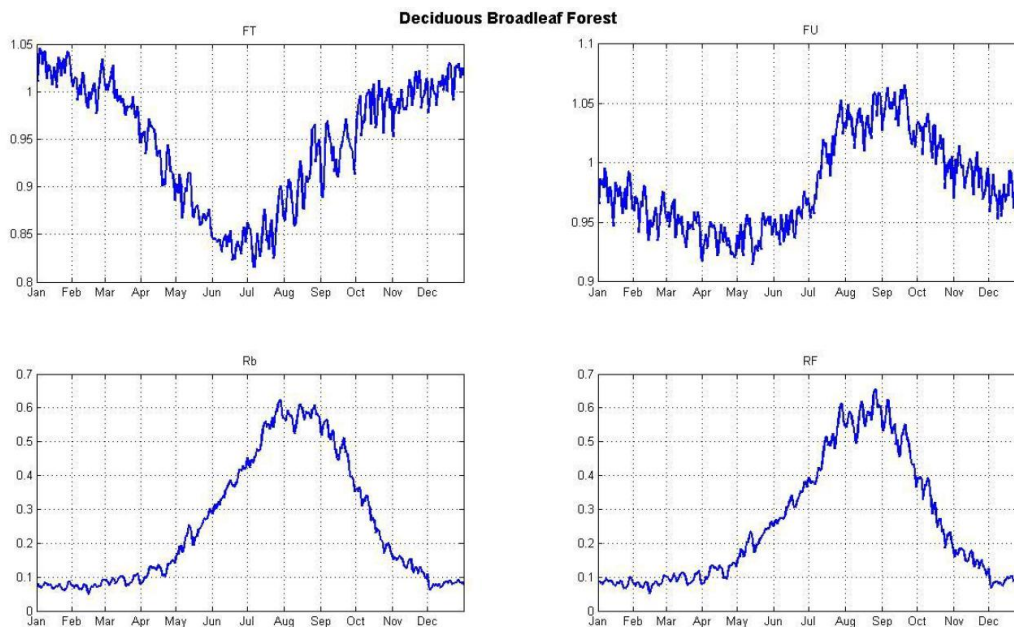


Figura 6: Variação do ciclo sazonal do bioma Deciduos Broadleaf Forest para os fatores de temperatura (FT) e umidade relativa (FU), risco básico (Rb) e o risco meteorológico de fogo (RF). Respetivos ao período de estudo de 1879 – 2005.

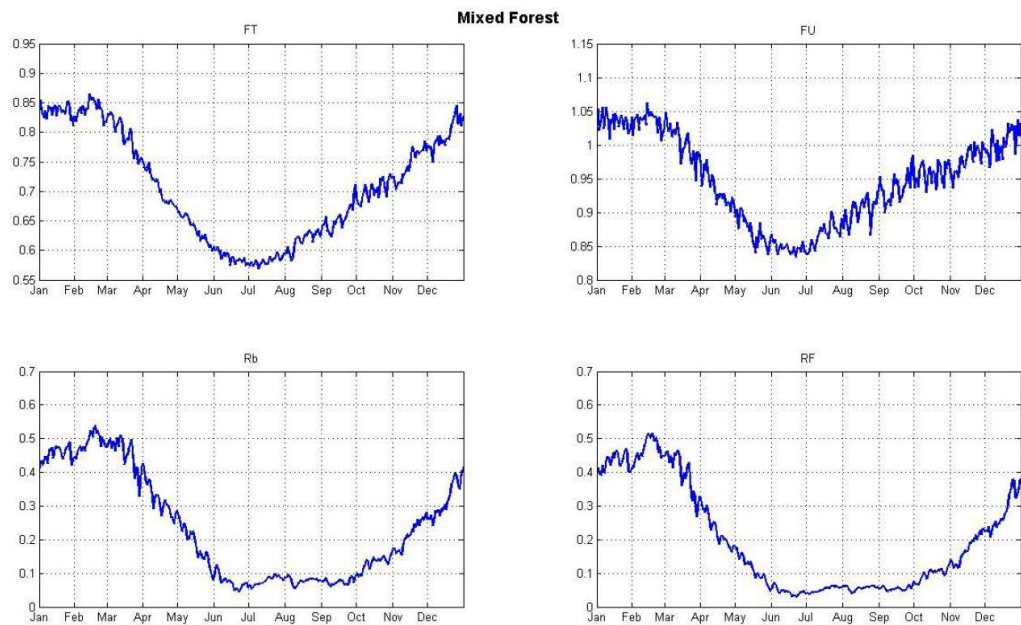


Figura 7: Variação do ciclo sazonal do bioma Mixed Forest para os fatores de temperatura (FT) e umidade relativa (FU), risco básico (Rb) e o risco meteorológico de fogo (RF). Respeitos ao período de estudo de 1879 – 2005.

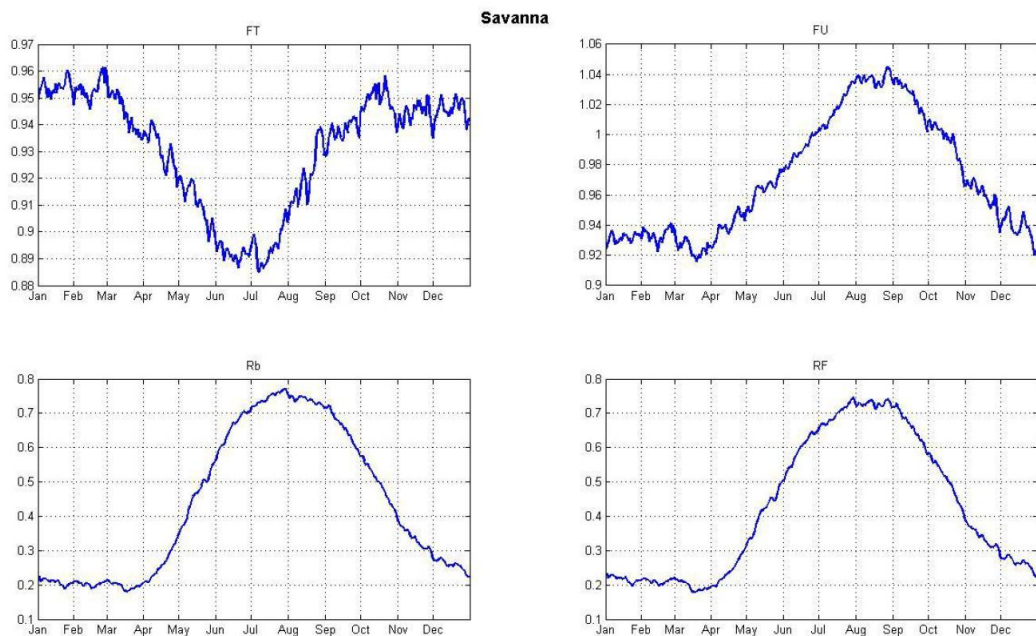


Figura 8: Variação do ciclo sazonal do bioma Savanna para os fatores de temperatura (FT) e umidade relativa (FU), risco básico (Rb) e o risco meteorológico de fogo (RF). Respeitos ao período de estudo de 1879 – 2005.



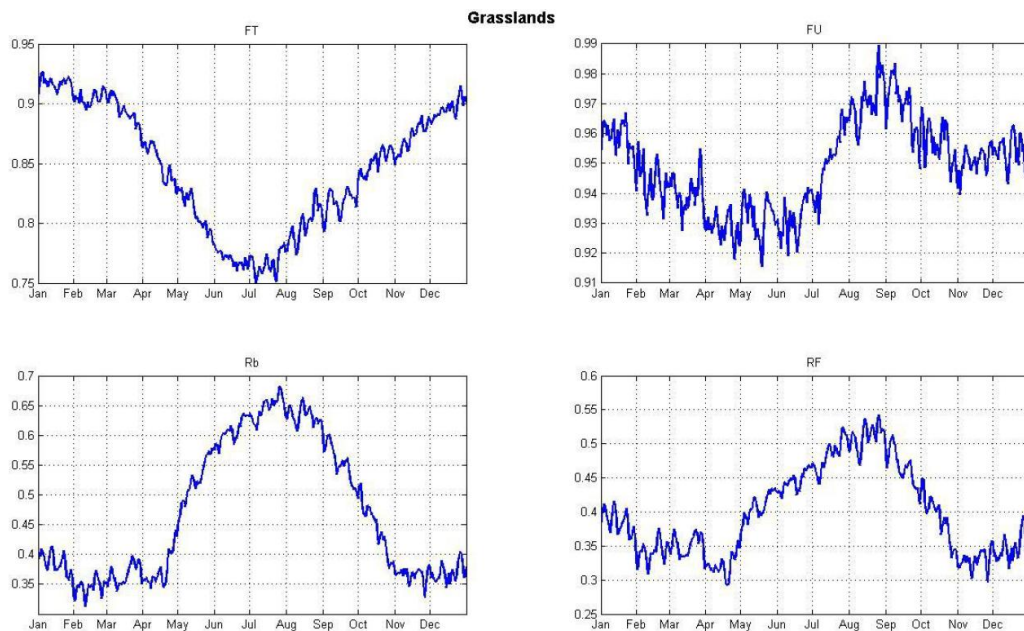


Figura 9: Variação do ciclo sazonal do bioma Grasslands para os fatores de temperatura (FT) e umidade relativa (FU), risco básico (Rb) e o risco meteorológico de fogo (RF). Respetivos ao período de estudo de 1879 – 2005.

A partir das análises acima, as figuras 8 e 9 mostram uma comparação das principais variáveis de grande influência para o RF e suas respectivas evoluções entre todos os biomas ao longo do ano, apresentando a predisposição que cada tipo de vegetação possui para um mesmo período do ano.

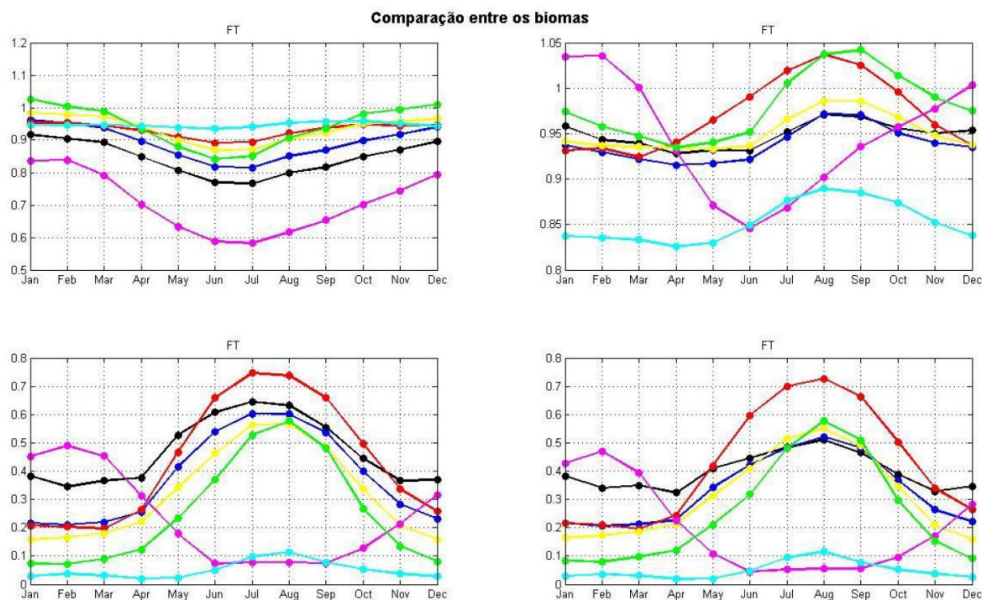


Figura 10: Comparação entre os biomas.

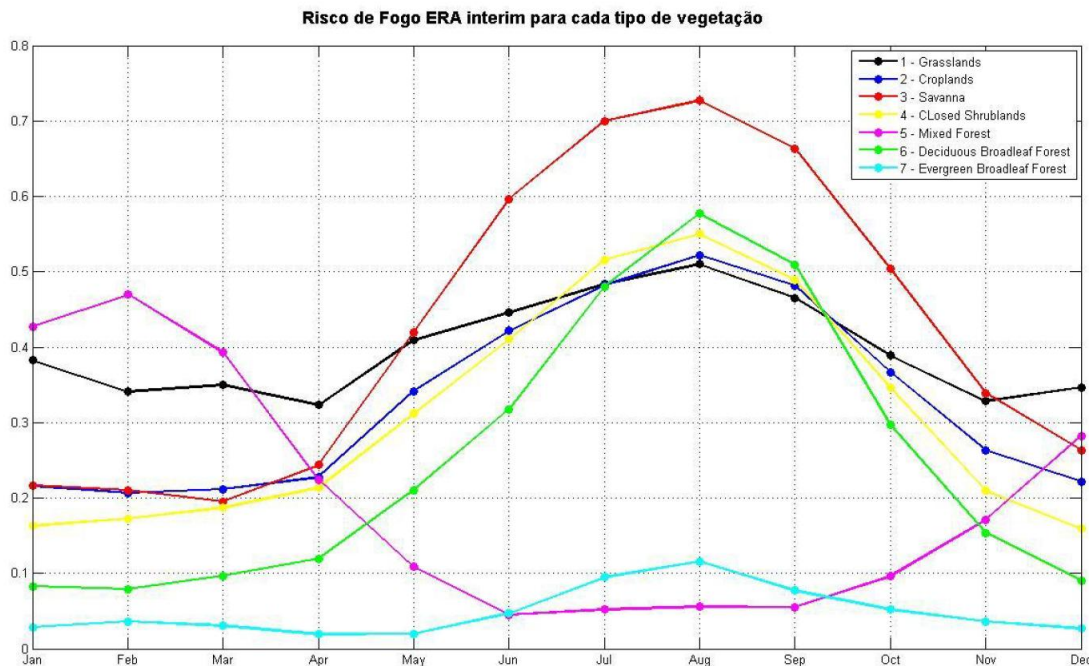


Figura 11: Risco de fogo para cada tipo de vegetação

## 5-Conclusões

Os resultados permitem identificar os tipos de vegetação e biomas brasileiros com maior predisposição climática ao fogo, e analisar as tendências do regime do risco de fogo e variações espaços-temporais ocorridas ao longo das últimas três décadas.

Observa-se que para longos períodos de estiagem há um maior prolongamento da estação meteorológica de fogo.

Vegetações como savana, mais ao norte e centro-oeste do Brasil, e Evergreen, que compõe grande parte do norte do Brasil, foram classificadas respectivamente com altos e baixos índices de risco de fogo, ambas compreendendo o mesmo período de estação seca.



## Referências:

DEE, D.P.; UPPALA, S.M.; SIMMONS, A.J.; BERRISFORD, P.; POLI, P.; et al.. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v. 137(656), p. 553-597, 2011

LIBONATI, R.; DACAMARA, C.C.; SETZER, A.W.; MORELLI, F.; MELCHIORI, A.E. An Algorithm for Burned Area Detection in the Brazilian Cerrado Using 4 m MODIS Imagery. Remote Sensing, v. 7, p. 15782-15803, 2015.

SISMANOGLU, R.A.; SETZER, A.W. Risco de fogo para a vegetação da América do Sul: comparação de duas versões para 2003. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, SBMET, Fortaleza, CE, set. 2004. Available at: [http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/documentos/200409\\_sismanoglu&setzer\\_cbmet8\\_fortaleza\\_636.pdf](http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/documentos/200409_sismanoglu&setzer_cbmet8_fortaleza_636.pdf). Accessed on: 25 nov. 2015. FUTURE PROJECTIONS OF FIRE OCCURRENCE IN BRAZIL USING EC-EARTH CLIMATE MODEL