



**VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO NO CERRADO E  
SUA CORRELAÇÃO COM A MUDANÇA NO USO DA  
TERRA**

**JULIANA DE OLIVEIRA CAMPOS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA- UnB**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO NO CERRADO E  
SUA CORRELAÇÃO COM A MUDANÇA NO USO DA  
TERRA**

**JULIANA DE OLIVEIRA CAMPOS**

**ORIENTADOR: Profº. Dr. HENRIQUE MARINHO LEITE CHAVES  
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**PUBLICAÇÃO: PPGEFL.DM - 318/2018  
BRASÍLIA/DF: MARÇO - 2018.**

**Brasília, 27 de março de 2018**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS


“VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO NO CERRADO E SUA CORRELAÇÃO  
COM A MUDANÇA NO USO DA TERRA”

**JULIANA DE OLIVEIRA CAMPOS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL, DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

APROVADA POR:

  
Prof. Dr. HENRIQUE MARINHO LEITE CHAVES (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB);  
(Orientador)

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> SAULO RODRIGUES PEREIRA FILHO (Centro de Desenvolvimento Sustentável – CDS/UnB);  
(Examinador Externo)

  
Prof. Dr. CARLOS HENRIQUE EÇA D'ALMEIDA ROCHA (Instituto Brasília Ambiental – IBRAM);  
(Examinador Externo)

Prof. Dr. MERCEDES MARIA DA CUNHA BUSTAMENTE (Departamento de Ecologia – ECO/UnB).  
(Examinador Suplente)

Brasília-DF, 27 de março de 2018.

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**CAMPOS, JULIANA DE OLIVEIRA.**

Variabilidade da precipitação no Cerrado e sua correlação com a mudança no uso da terra. Juliana de Oliveira Campos.

(PPGEFL.DM- 318/2018. Metre. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Florestal.

1. Precipitação
2. Desmatamento
3. Cerrado
4. Mudanças climáticas

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

CAMPOS, J. O. (2018). Variabilidade da precipitação no Cerrado e sua correlação com a mudança no uso da terra. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais. PPGENE.DM-318/2018. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 150f.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

Autora: Juliana de Oliveira Campos.

**TÍTULO:** Variabilidade da precipitação no Cerrado e sua correlação com a mudança no uso da terra.

**GRAU:** Mestre

**ANO:** 2018

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Juliana de Oliveira Campos  
Qd 107, Lt 5/6 apto 203 B, Águas Claras  
71.919-700 Brasília – DF – Brasil.

## AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, à Deus, é claro, que me guia pelos mais surpreendentes caminhos da vida. Com certeza você me dá mais do que eu mereço.

Aos meus amigos anjos protetores por sempre responderem aos meus chamados e por terem dado uma grande ajuda nessa caminhada.

Ao meu orientador, Henrique Chaves, por ter me ensinado tanto, profissionalmente e pessoalmente. Você, com certeza, incentivou o melhor de mim.

À Geilly, Ana, Evaldo e Cacau, sempre, por TODA paciência e amor diários. Vocês são o melhor presente da minha vida.

Ao meu Lucat, por tudo! Você tem sido grande suporte e motivação desde que conhecemos.

À toda minha família abençoada, que mesmo longe, se fazem presente, me dando amor e carinho.

Aos tantos amigos que sempre estão ali, levantando a minha bola, principalmente, ao Kayan, a Iza, a Nat, e a Tamy.

A todos outros professores e colegas do Departamento de Ciências Florestais, que de alguma forma ficaram marcados nessa etapa, especialmente, os professores Eraldo, Álvaro, Neander, Ricardo; e aos amigos do mestrado Vivi, Maria Tereza, Thaís, Vagney, José, Cris e Maitê. Além disso, ao Yuri e a Patrícia, por sempre me atenderem com sorrisos.

Ao Daniel e Adrienne, pelo apoio; bem como aos demais colegas da Dossel, por tanta alegria e gentileza, fundamental nessa reta final.

A CAPES, por ter concedido a bolsa de estudos. Eu espero retornar o investimento à sociedade da melhor forma possível.

## RESUMO

### VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO NO CERRADO E SUA CORRELAÇÃO COM A MUDANÇA NO USO DA TERRA

**Autora: Juliana de Oliveira Campos**

**Orientador: Henrique Marinho Leite Chaves**

**Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais**

**Brasília, 27 de março de 2018.**

Simulações com modelos climáticos indicam que a conversão do Cerrado natural em lavouras e pastagens tem o potencial de alterar a precipitação regional por meio de alterações nos processos biofísicos da vegetação, incluindo mudanças no albedo, rugosidade aerodinâmica e evapotranspiração. Entretanto, isso ainda não foi comprovado por dados observados. Uma vez que aquele bioma já perdeu metade da sua cobertura natural, faz-se necessário entender a relação vegetação – clima, e verificar se impactos da conversão do Cerrado na precipitação já são evidentes. Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar a variação da precipitação regional do Cerrado nas últimas décadas, e correlacioná-la com o desmatamento do bioma. Para tanto, foram realizadas diferentes análises de tendência de séries temporais de precipitação anual e mensal de 125 estações pluviométricas do Cerrado, no período entre 1977 e 2010, incluindo LOWESS (LW), Mann-Kendall (MK), Theil-Sen (TS), e Pettitt (PT). O estudo analisou o bioma Cerrado como um todo, bem como suas regiões Setentrional e Meridional separadamente, já que seus padrões de desmatamento são distintos. O teste de MK indicou que 71% dos postos analisados apresentaram tendência de queda em P anual, sendo que 14% apresentaram tendência significativa a 95% de probabilidade, predominantemente na região Meridional, com maior desmatamento. Apenas 28% dos postos apresentaram tendência de aumento, sendo que 1% desses foi significativo. Em média, a precipitação no Cerrado diminuiu 8,4% (125 mm) no período estudado, e 10,6% e 4,7% nas regiões Meridional e Setentrional, respectivamente. Apesar da correlação negativa ( $r = -0,31$ ) observada entre a precipitação média anual no bioma e o desmatamento não ter sido significativa ( $p = 0,07$ ) no período, outras evidências indicam uma relação já existente entre aquelas variáveis. Dentre elas estão a maior redução da precipitação nas áreas desmatadas em oposição às áreas com vegetação e a similaridade com os resultados esperados pelos modelos climáticos, como o prolongamento da estação seca.

**Palavras chave: precipitação, desmatamento, Cerrado, mudanças climáticas**

## **ABSTRACT**

### **PRECIPITATION VARIABILITY IN CERRADO AND ITS CORRELATION WITH LAND USE CHANGE**

**Author: Juliana de Oliveira Campos**  
**Advisor: Henrique Marinho Leite Chaves**  
**Post Graduate Program in Forest Sciences**  
**Brasília - DF, 27 March of 2018.**

Climate-modelling simulations have forecasted that the conversion of natural Cerrado to croplands and pastures has the potential to affect regional precipitation by altering biophysical process at the surface, including changes in albedo, roughness and evapotranspiration. However, this has not been observed by meteorological data. Since the Cerrado biome has lost half of its vegetation cover, it is necessary to understand the vegetation-climate interaction and verify if the changes in precipitation are already evident. The objective of the present study was to analyze the Cerrado precipitation variability in the last decades and correlate it with the deforestation in the biome. Time series tests were applied to rainfall data of 125 stations throughout the Cerrado, in the period 1977 – 2010, including LOWESS (LW), Mann-Kendall (MK), Theil-Sen (TS), and Pettitt (PT). The study analyzes all biome, as well as its northerly and southerly regions separately, since they present different deforestation patterns. The MK test suggested a negative trend in 71% of the stations and that 14% were significant at 95% probability ( $p= 0,05$ ). This was more evident in the southerly region, with higher vegetation conversion. Positive trends were found at 28% of the rain gauge stations and only 1% was significant. In average, Cerrado precipitation decreased 8,4% (125 mm) during the studied period, while southerly and northerly regions present 10,6% and 4,7% of reduction, respectively. Although the negative correlation ( $r = - 0,31$ ) observed between mean annual precipitation and deforestation area in the biome was insignificant ( $p\text{-value} = 0,07$ ), other evidences, such as major precipitation reduction concentrated in deforested areas and similarity with climate models results, as extension of the dry season, were noticed.

**Keywords: precipitation, deforestation, Cerrado, climate change**

# SUMÁRIO

1	Introdução.....	1
1.1	Contextualização.....	1
1.2	Estudos Prévios.....	3
1.3	O Problema Da Pesquisa.....	4
1.4	Questões De Pesquisa .....	5
1.5	Justificativa .....	5
1.6	Objetivo Geral.....	6
1.7	Objetivos Específicos .....	6
1.8	Hipóteses.....	6
1.9	Escopo Da Dissertação .....	7
2	Fundamentação Teórica .....	8
2.1	Cerrado.....	8
2.1.1	Clima Regional.....	9
2.1.2	Recursos Hídricos.....	13
2.1.3	Vegetação .....	16
2.1.4	Uso e Ocupação da Terra no Cerrado.....	18
2.2	Mudanças Climáticas Globais e o Cerrado.....	24
2.2.1	Mudanças Climáticas Globais e o Cerrado .....	26
2.3	Impactos das Mudanças do Uso e Cobertura da Terra no Clima do Cerrado.....	28
2.3.1	Processos Biofísicos .....	28
2.3.2	Variáveis Climáticas.....	32
2.3.3	Estudos Sobre a Mudança do Uso e Cobertura da Terra No Cerrado e Clima Regional36	
3	Material E Métodos.....	43
3.1	Desmatamento No Cerrado.....	43
3.1.1	Base de Dados Espaciais sobre Desmatamento.....	43
3.2	Organização dos Dados de Precipitação.....	45
3.2.1	Seleção das Estações e Obtenção dos Dados Pluviométricos .....	45
3.2.2	Identificação de Falhas nas Séries de Dados .....	46
3.2.3	Preenchimento das Falhas nas Séries Históricas .....	47



3.2.4	Análise de Consistência.....	48
3.3	Séries Históricas de Precipitação .....	49
3.4	Análise Exploratória dos Dados .....	51
3.5	Tendências nas Séries Históricas de Precipitação .....	51
3.5.1	Análise de Autocorrelação Serial .....	51
3.5.2	Teste de Tendência (Mann-Kendall) .....	52
3.5.3	Teste da Magnitude da Tendência (Theil-Sen).....	54
3.5.4	Teste de Ruptura da Tendência (Pettitt) .....	55
3.6	Correlação entre Desmatamento e Precipitação .....	57
4	Resultados e Discussão .....	58
4.1	Taxa de Desmatamento do Cerrado.....	58
4.2	Séries Históricas de Precipitação .....	60
4.2.1	Médias de Precipitação no Cerrado .....	60
4.2.2	Séries Temporais de Precipitação do Cerrado (LOWESS) .....	62
4.2.3	Teste de Mann-Kendall .....	64
4.2.4	Teste de Theil – Sen .....	73
4.2.5	Teste de Ruptura nas Séries Anuais de Precipitação (Pettitt).....	76
4.3	Relação entre as Séries Temporais de Precipitação e o Desmatamento do Cerrado 78	
4.4	Discussão .....	79
5	Considerações Finais.....	91

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1-1: Compilação de estudos realizados no Cerrado que envolvem efeitos climáticos das mudanças do uso e cobertura da terra (LUCC). T (temperatura), P (precipitação) e EVT (evapotranspiração). .....	4
Tabela 2-1. Estimativas do desmatamento anual do Cerrado feitas por diferentes instituições. ....	22
Tabela 2-2:Diferenças na precipitação e temperatura obtidas a partir da simulação devido ao SST, vegetação, e SST e vegetação em conjunto no norte (latitude: 5°S-5°N, longitude 70°W-60°W) e sul (latitude: 10°S-0°, longitude 60°W-50°W) da América do Sul. As observações foram obtidas a partir do GPCP para a precipitação e GHCN para a temperatura. Adaptado de LEE et al. (2011). .....	39
Tabela 3-1. Estimativas da taxa anual média de desmatamento do Cerrado.....	44
Tabela 4-1. Estações Pluviométricas com séries históricas significativas (95%), sendo 18 negativas e uma positiva, de acordo com o teste de Mann-Kendall.....	66
Tabela 4-2. Resultado da estatística de Mann-kendall sazonal mostrando a porcentagem de estações pluviométricas com tendência negativa significativa [– (*)], negativa [-], estacionária [0], positiva [+], e positiva significativa [+(*)] ( $\alpha=0,05$ ). .....	68
Tabela 4-3. Análise de Tendência de Mann-Kendall para as séries históricas mensais. *Estatisticamente significativo para $\alpha = 0,05$ .....	72
Tabela 4-4. Classes dos valores interpolados do teste de TS da Figura 4-13, com médias, desvios-padrão e respectivas áreas. ....	75
Tabela 4-5. Médias dos valores especializados de TS para as regiões Setentrional, Meridional e Cerrado.....	75
Tabela 4-6. Análise de magnitude de Theil-Sen para as séries históricas mensais ( $\alpha=0,05$ ) a) magnitude dada em mm e b) (%) para todo o período estudado. ....	76
Tabela 4-7. Estações pluviométricas com rupturas estatisticamente significativas nas séries históricas (teste de Pettitt).....	76
Tabela 4-8. Estações pluviométricas com rupturas estatisticamente significativas nas séries históricas (teste de Pettitt).....	78

Tabela 5-1. Variabilidade da precipitação no Cerrado encontrada (três primeiras linhas) e de acordo com outros estudos (três últimas linhas).....	86
---	----

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1. Mapa global das mudanças de temperatura observada entre 1901-2012 (a) e de precipitação entre 1951 e 2010 (b), com destaque para a região do Cerrado (círculo amarelo). Áreas em branco tiveram menos que 70% dos registros da série temporal, e por isso foram desconsideradas. Fonte: IPCC, 2014. ....	1
Figura 1-2: Alterações biofísicas e bioquímicas causada pela Conversão da Vegetação Nativa. EVT: evapotranspiração; GEE: Gases do Efeito Estufa. Fonte: adaptado de DEVARAJU et al., 2015. ....	3
Figura 2-1: Sazonalidade da precipitação característica do bioma Cerrado. Os dados são referentes à média mensal histórica de 107 estações pluviométricas localizadas em Goiás e Distrito Federal. Fonte: COSTA et al., (2012). ....	11
Figura 2-2. Precipitação média anual no Bioma Cerrado. Fonte: SILVA et al., 2008. ....	11
Figura 2-3. Fatores que transportam umidade para a América do Sul. Fonte: MARENGO et al., (2015). ....	12
Figura 2-4. Localização do Cerrado em relação as doze bacias hidrográficas brasileiras. Fonte: LIMA e SILVA, 2008. ....	13
Figura 2-5. Balanço hídrico mensal (janeiro de 2012 a março de 2014) de uma vegetação de Cerrado no Estado de São Paulo. As barras sombreadas em cinza (ao fundo do gráfico) marcam o período da estação seca. P é a precipitação, ET é a evapotranspiração, e $dS$ é o estoque de água na zona vadosa. (Fonte: OLIVEIRA e al. 2015). ....	15
Figura 2-6. Tipos de fitofisionomias do Cerrado. Fonte: MMA, 2015. ....	17
Figura 2-7: Uso e ocupação do solo do Cerrado em 2013. Fonte: MMA, 2015. ....	20
Figura 2-8: Área total do bioma e proporções de área desmatada e remanescente em 2010 nos Estados que compõem o Cerrado. Fonte: MMA, 2014. ....	23
Figura 2-9. Mapa global das mudanças de temperatura observada entre 1901-2012 (a) e de precipitação entre 1951 e 2010 (b), com destaque para a região do Cerrado (círculo amarelo). Áreas em branco tiveram menos que 70% dos registros da série temporal, e por isso foram desconsideradas. Fonte: IPCC, 2014. ....	26
Figura 2-10. Mudanças na temperatura devido à conversão da vegetação nativa em gramínea considerando os três componentes biogeofísicos em conjunto (a), e isoladamente, o impacto	

do albedo (b), da evapotranspiração (c); e da rugosidade (d). (Fonte: DAVIN e DE NOBLET-DUCOUDRÉ, 2010).....	33
Figura 2-11. Impactos globais/regionais do desmatamento sob a precipitação média global/regional. O símbolo positivo representa o dado de cada estudo, e o triângulo preto, a média. Fonte: PERUGINI et al., (2017). .....	35
Figura 2-12. Mudanças na temperatura anual média °C (A) e precipitação anual média (mm/ano-1) (B) em consequência da conversão das savanas tropicais em pasto. O Cerrado encontra-se no primeiro quadrante da figura A e B (fonte: HOFFMANN e JACKSON, 2000).....	36
Figura 2-13: Distribuição global das mudanças na precipitação (mm dia-1) nos meses chuvosos (quadro inferior esquerda) e nos meses da primavera (quadro inferior direita), devido a remoção da vegetação das savanas (quadro superior). Adaptado de SNYDER; DELIRE; FOLEY (2004). .....	37
Figura 2-14: (a) Variação na precipitação observada a partir do Projeto Climatológico de Precipitação Global (GPCP – sigla em inglês) (Adler et al., 2003); (b) a partir das simulações climáticas utilizando as variações de LUCC e SST; (c) somente os efeitos de SST (c); e (d) somente os efeitos de LUCC, considerando a diferença entre o NDVI de um cenário de vegetação sem interferência humana e NDVI obtido pela vegetação no ano de 2003. Áreas pontilhadas indicam uma diferença estatisticamente significativa ( $P < 0,05$ ). (Fonte: LEE et al., 2011.).....	38
Figura 2-15: Relação entre a conversão do Cerrado em agricultura e a evapotranspiração durante a estação seca (junho- agosto). Cada ponto representa um ano no período 2003-2013. Adaptado de SPERA et al., (2016) .....	40
Figura 2-16. Alterações nos processos biofísicos após o desmatamento no Cerrado. Fonte: Salazar et al. 2015.....	41
Figura 3-1. Síntese dos dados e análises de desmatamento. Fonte: a autora.....	45
Figura 3-2:Data de início das estações pluviométricas com períodos contínuos. Fonte: autora. ....	46
Figura 3-3. Exemplificação da análise de consistência a partir do Método Dupla Massa. Fonte: autora. ....	48
Figura 3-4: Localização das estações utilizadas no estudo com série temporal de 34 anos.	49

Figura 3-5:Correlograma para a estação “Vale do Gurgueia- PI”, durante o período de 1977-2010 apresentando série temporal independente (sem autocorrelação). Fonte: a autora ....	52
Figura 3-6. Resumo da metodologia aplicada para a análise de tendências de séries históricas nesse estudo. O fluxograma apresenta os principais estágios de uma análise estatística (modificado de KUNDZEWICZ; ROBSON, 2000).....	56
Figura 4-1. Bioma Cerrado e vegetação nativa remanescente em 2010. A linha preta divide o bioma nas regiões Setentrional e Meridional, de acordo com a intensidade de desmatamento. Fonte: a autora. ....	58
Figura 4-2. Estimativa anual de desmatamento do bioma Cerrado. Fonte: a autora. ....	59
Figura 4-3. Séries cronológicas de desmatamento acumulado e de vegetação remanescente no Cerrado entre 1970 e 2010.....	60
Figura 4-4. Médias anuais pluviométricas no Cerrado. Fonte: a autora.....	61
Figura 4-5. Média da precipitação mensal para as estações do Cerrado, e das Regiões Setentrional e Meridional. ....	62
Figura 4-6. Série Temporal de Precipitação Anual Regional do Cerrado (a), da Região Setentrional (b) e da Região Meridional (c) de 1977 a 2010 e curva de tendência LOWESS ( azul).....	63
Figura 4-7. Número de estações que apresentaram valores de tendência positiva, negativa (estatisticamente significativos ou não) no teste de Mann – Kendall. (+) Tendência de aumento na precipitação; (-) Tendência de redução. (*) Tendência significativa ( $\alpha =0,05$ ). ....	65
Figura 4-8. Resultado do teste de tendência Z (Mann-Kendall) da série histórica de 34 anos para as 125 estações do Cerrado, no período entre 1977 e 2010. *Tendência significativa ( $\alpha =0,05$ ).....	66
Figura 4-9. Número de estações pluviométricas com resultados de Z de Mann-Kendall Sazonal significativo. ....	69
Figura 4-10. Resultado do Teste de MK mensal para a série histórica de P 34 anos Triângulo vermelho escuro maior ( $Z = -3,80$ a $-1,96$ *); Triângulo vermelho claro menor ( $Z = -1,95$ a $0,00$ ); Triângulo azul claro menor ( $Z = 0,01$ a $1,95$ ); Triângulo azul escuro maior ( $Z = 1,96$ a $2,00$ *). *Tendência significativa ( $\alpha =0,05$ ).....	70

Figura 4-11. Resultado do Teste de MK mensal para a série histórica de P 34 anos Triângulo vermelho escuro maior ( $Z = -3,80$ a $-1,96 *$ ); Triângulo vermelho claro menor ( $Z = -1,95$ a $0,00$ ); Triângulo azul claro menor ( $Z = 0,01$ a $1,95$ ); Triângulo azul escuro maior ( $Z = 1,96$ a $2,00 *$ ). *Tendência significativa ( $\alpha = 0,05$ ).....	71
Figura 4-12. Teste de Theil-Sen para cada uma das 125 estações pluviométricas. Em vermelho é apresentada a porcentagem de decréscimo da de P em relação à média histórica, e em azul o acréscimo.....	73
Figura 4-13. Mapa das variações de P anual (TS) em $\text{mm.ano}^{-1}$ no Cerrado para o período 1977 a 2010, com as tendências de Z (MK) nas 125 estações. Fonte: a autora. ....	74
Figura 4-14: Estações com ruptura negativa (laranja) e positiva (azul) significativas obtidas pelo Teste de Pettitt. ....	77
Figura 4-15. Correlação entre as séries históricas de desmatamento e precipitação no Cerrado, entre 1977 e 2010.....	79
Figura 4-16. Variação na precipitação em função da latitude (a), e da continentalidade (b). Fonte: HOFFMANN E JACKSON, 2000; SALAZAR et al., 2016.....	82
Figura 4-17. Fonte: NOBRE, P. et al. apud LAWRENCE E VANDECAR, 2015. ....	83
Figura 4-18. Variação da evapotranspiração entre Cerrado e Agricultura no MATOPIBA. Fonte: SPERA et al., 2016.....	85

## LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CRS	Centro de Sensoriamento Remoto
EVT	Evapotranspiração
Funcate	Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais
GEE	Gases do Efeito Estufa
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Painel Intergovernamental Sobre Mudanças do Clima
LUCC	Mudanças do Uso e Cobertura da Terra
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MCG	Mudanças Climáticas Globais
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
P	Precipitação
PMDBBS	Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite
PROBIO	Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Biodiversidade
SST	Sea Surface Temperature / Temperatura da superfície do oceano
WMO	Organização Meteorológica Mundial



## APÊNDICE

APÊNDICE A. DADOS DAS 125 ESTAÇÕES UTILIZADAS NO ESTUDO. ....	107
APÊNDICE B. GRÁFICOS DAS SÉRIES PLUVIOMÉTRICAS DURANTE 1977 - 2010. LINHA AZUL CORRESPONDE AO LOWESS. ....	112
APÊNDICE C. RESULTADOS ESTATÍSTICOS PARA AS 125 ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS. ....	128

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Uma grande questão ambiental contemporânea diz respeito às mudanças climáticas globais. As projeções dos modelos climáticos para o final do século mostram que haverá um aumento da temperatura em quase todas as partes da Terra, e conseqüentemente o desencadeamento de um conjunto de impactos (IPCC, 2014; NOBRE, et al., 2011).

Esses incluem aumento dos eventos climáticos extremos, como furacões, precipitações intensas, enchentes e secas, e o aumento do nível do mar em consequência do derretimento do gelo das calotas polares, que em conjunto, causam impactos em diversas atividades humanas e no meio ambiente (MARENGO et al., 2010). Diante da magnitude dos impactos socioambientais, governos e instituições do mundo todo vêm trabalhando para estabelecer medidas de mitigação e adaptação face às mudanças climáticas globais.

Tais projeções são obtidas a partir de modelagens e de análises de registros históricos, as quais já detectaram alterações no clima passado e presente (LEE et al., 2011). No período de 1901 a 2012, foi registrado um aumento de  $0,85^{\circ}\text{C}$  na temperatura global, sendo que em algumas regiões do Brasil ocorreu um incremento médio de até  $2,5^{\circ}\text{C}$  (Figura 1-1 A) (IPCC, 2014).

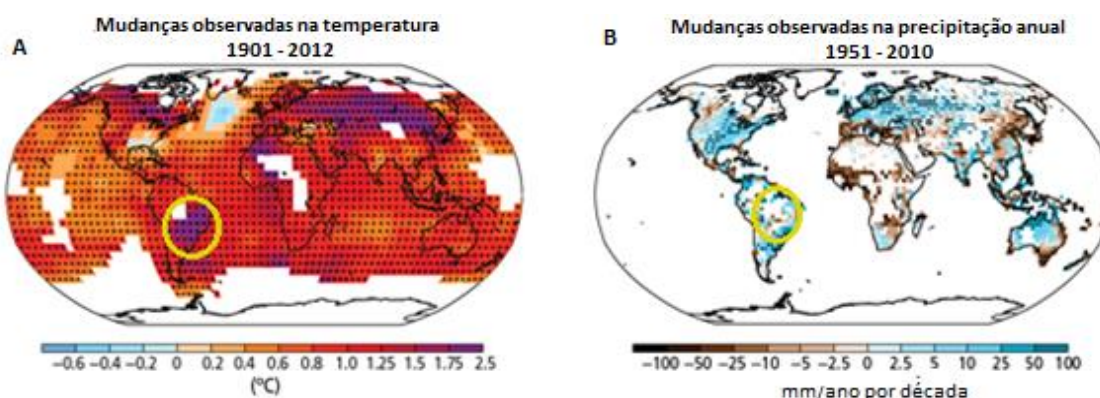


Figura 1-1. Mapa global das mudanças de temperatura observada entre 1901-2012 (a) e de precipitação entre 1951 e 2010 (b), com destaque para a região do Cerrado (círculo amarelo). Áreas em branco tiveram menos que 70% dos registros da série temporal, e por isso foram desconsideradas. Fonte: IPCC, 2014.

Essas variações climáticas vêm ocorrendo em grande parte pela elevada emissão de gases do efeito estufa (GEE) e pelas mudanças no uso e cobertura da terra (LUCC) no último século, que, em conjunto, alteram o balanço energético da troposfera (IPCC, 2014). Apesar da grande importância do LUCC no clima, o Quadro de Convenção de Mudanças Climáticas das Nações Unidas direciona seus estudos praticamente para os efeitos climáticos das emissões de GEE, dando menor importância a potenciais impactos do desmatamento (PERUGINI et al., 2017; CASTILHO; GURNEY, 2013).

Tendo em vista que quase metade da cobertura vegetal natural dos continentes já foi substituída ou sofreu algum tipo de alteração (SALAZAR et al., 2016), é importante entender melhor a relação entre vegetação e clima. No ciclo hidrológico, a vegetação tem papel fundamental na infiltração da água no solo, na retenção de umidade, e na devolução da água para a atmosfera através da evapotranspiração (ARAGÃO, 2012). Na floresta Amazônica, por exemplo, aproximadamente 50% da precipitação resultam dos processos de evapotranspiração das árvores (KEYS et al., 2016).

Sabe-se que o desmatamento pode afetar o clima por meio de dois processos bioquímicos e biofísicos (Figura 1-2). O primeiro diz respeito às alterações na composição química da atmosfera, o que nesse contexto, é representado pelo aumento das emissões dos GEE, as quais têm um impacto global (MAHMOOD et al, 2014). Já os processos biofísicos, incluem alteração nos processos radiativos (albedo) e não radiativos (rugosidade e evapotranspiração) (DEVARAJU et al., 2015; MAHMOOD et al, 2014). O somatório das alterações nos parâmetros bioquímicos e biofísicos levaria, assim, às variações na temperatura e nos padrões de precipitação (PERUGINI et al., 2017).

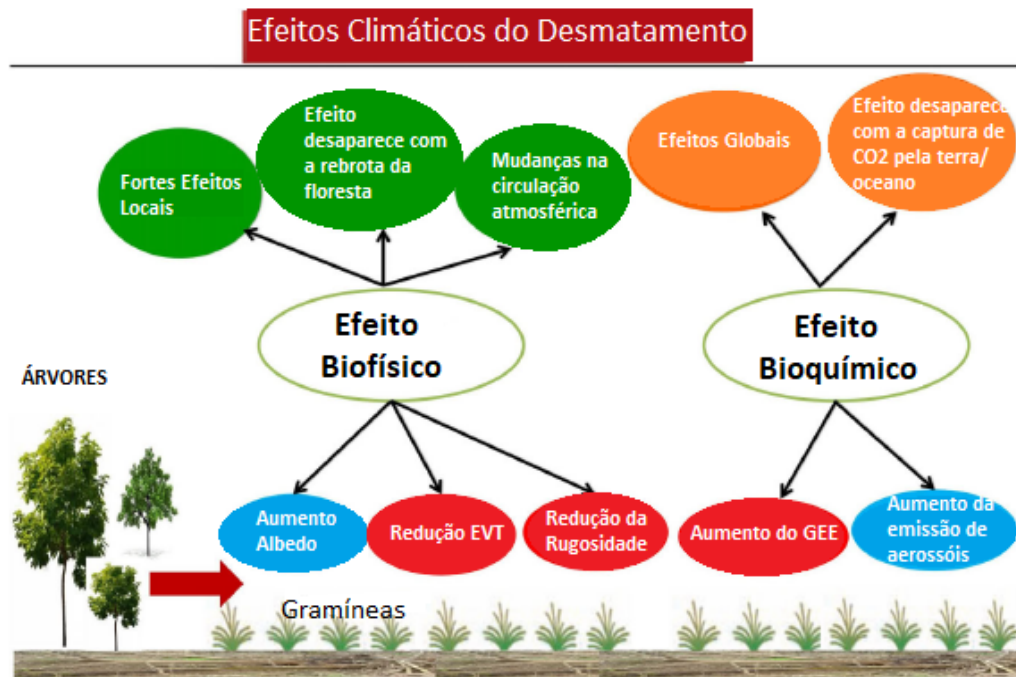


Figura 1-2: Alterações biofísicas e bioquímicas causada pela Conversão da Vegetação Nativa. EVT: evapotranspiração; GEE: Gases do Efeito Estufa. Fonte: adaptado de DEVARAJU et al., 2015.

Nesse contexto, destaca-se o bioma Cerrado, haja vista que este já perdeu mais de 900.000 Km<sup>2</sup> da sua vegetação (~ 50%), e o restante pode desaparecer até 2030, caso continuemos nos atuais moldes de exploração (MACHADO et al., 2004).

Apesar do enfoque no Brasil estar centrado nas consequências climáticas do desmatamento da Floresta Amazônica (SALAZAR et al., 2015), as grandes transformações do uso e cobertura do bioma Cerrado também podem impactar significativamente o clima regional e contribuir para as mudanças climáticas globais e/ou regionais (NOOJIPADY et al., 2017; ARANTES. FERREIRA; COE, 2016).

## 1.2 ESTUDOS PRÉVIOS

Alguns autores estudaram os efeitos do desmatamento do Cerrado no clima local e/ou regional. Como pode ser observado na Tabela 1-1, a maioria dos trabalhos usou modelos climáticos globais ou regionais acoplados à modelos de superfície terrestre (HOFFMAN e JACKSON, 2000; SNYDER et al. 2004; PONGRATZ et al., 2006; COSTA e PIRES., 2010; LEE et al., 2011; SALAZAR et al., 2016). Alguns deles utilizaram dados observados de mudanças do uso da terra do bioma (LEE et al., 2011; SALAZAR et al., 2016, DEBORTOLI,

et al., 2016), e poucos utilizaram observações de variáveis climáticas (LEE et al., 2011; DEBERTOLI et al., 2016).

Tabela 1-1: Compilação de estudos realizados no Cerrado que envolvem efeitos climáticos das mudanças do uso e cobertura da terra (LUCC). T (temperatura), P (precipitação) e EVT (evapotranspiração).

Referência	Tipo de estudo	LUCC analisado	Efeito climático		
			T	P	EVT
Hoffmann e Jackson, 2000	Modelagem	Cerrado → pastagem	+	-	-
Snyder et al., 2004	Modelagem	Cerrado → solo exposto	+	-	-
Prongratz et al., 2006	Modelagem	Cerrado → solo exposto / cultura / pastagem	+	ND	-
Costa e Pires., 2010	Modelagem	Cerrado → pasto	+	-	-
Lee et al., 2011	Modelagem / Observação	Cerrado → LUCC real	+	-	ND
Debortoli et al., 2016	Observação	Cerrado → LUCC real	+	- / +	-
Spera et al., 2016	Observação	Cerrado → Lavoura	+	-	-
Salazar et al., 2016	Modelagem / Observação	Cerrado → LUCC real	+	-	-

Apesar das variações nos modelos, nos cenários de conversão e na escala dos dados estudados, é possível verificar que existe um padrão de resposta climática frente às alterações no uso e cobertura da terra do Cerrado.

As alterações nos processos biofísicos devido ao LUCC resultam, principalmente, em aumento da temperatura, e em redução da evapotranspiração e da precipitação. Além disso, esses efeitos climáticos foram mais severos durante a estação seca ou nos meses de transição entre o período seco e chuvoso, quando as diferenças nos parâmetros entre a vegetação nativa e o uso antrópico subsequente são mais acentuadas (COSTA; PIRES, 2010; LEE et al., 2011; SPERA et al., 2016; SALAZAR et al., 2016).

### 1.3 O PROBLEMA DA PESQUISA

A grande área desmatada do Cerrado até o momento, aproximadamente 50% da área do bioma (ARANTES; FERREIRA; COE, 2016), e as tendências de continuação da expansão agropecuária, alimentadas pelas atuais legislações e programas, tendem a causar impactos irreversíveis para a biodiversidade e para a população que dele depende

(WARREN et al., 2011; STRASSBURG et al., 2017). A questão se agrava diante das evidências de que as mudanças do uso e cobertura da terra que ocorreram nos últimos 40 anos podem estar contribuindo para alterações climáticas, principalmente pelo aumento da temperatura e pelo aumento do período de estiagem (SALAZAR et al., 2015).

Há de se considerar ainda o atual cenário de Mudanças Climáticas Globais, com aumento dos eventos extremos de seca e chuva - como observados em São Paulo, e a vulnerabilidade do bioma Cerrado frente às mudanças climáticas, representada, principalmente, pela alta dependência hídrica de suas culturas, e pelo endemismo de suas espécies (IPCC, 2014; NOOJIPADY et al., 2017).

Apesar dessas questões ainda estarem em aberto, pouca atenção tem sido dada às variações climáticas do Cerrado comparativamente àquelas da Amazônia (SALAZAR et al., 2015). Não foi encontrado, por exemplo, nenhum estudo na literatura que verificasse com dados observados o padrão regional de tendências históricas climatológicas para todo o bioma Cerrado nas últimas décadas.

Dessa forma, embora existam evidências de alterações climáticas de locais específicos do bioma (DEBORTOLI, et al. 2016; MORGANA, 2015), cabe a seguinte pergunta: O desmatamento do Cerrado pode ter contribuído para alterações significativas na precipitação do próprio bioma, como sugerem os estudos com os modelos climáticos?

#### **1.4 QUESTÕES DE PESQUISA**

Conforme o exposto, o presente estudo teve como objetivo responder as seguintes questões:

- A precipitação no bioma Cerrado sofreu alterações significativas durante as últimas décadas?
- Existiu alguma estação ou mês específico que apresentou resultados mais significativos?
- O desmatamento do bioma apresenta alguma relação com as variações pluviométricas, caso essas tenham ocorrido?

#### **1.5 JUSTIFICATIVA**

A detecção de eventuais variações pluviométricas que ocorreram no bioma Cerrado nas últimas décadas facilitará as futuras projeções climáticas regionais, importante para a

elaboração de políticas públicas e gestão, principalmente para o Brasil, onde a agropecuária e a geração hidroelétrica, fortemente dependentes das chuvas, são importantes.

Além disso, o fortalecimento das evidências de que o processo histórico de desmatamento no bioma tem impactado o clima regional por meio de processos biofísicos pode fortalecer políticas de combate ao desmatamento no Cerrado e de mitigação das Mudanças Climáticas Globais. Segundo Perugini et al. (2017), praticamente nenhum país considera, para fins de políticas públicas, os efeitos climáticos advindos de alterações nos processos biofísicos após o desmatamento. Especificadamente para o Cerrado, os estudos até o momento estão mais direcionados às emissões de GEE (BUSTAMANTE, et al., 2012; ARANTES, FERREIRA; COE, 2016; NOOJIPADY, et al., 2017), estudos esses já sugerindo possíveis alterações climáticas futuras.

Assim, o presente estudo se justifica pela necessidade de preencher esse tipo de lacuna. Ao menos em três aspectos a atual pesquisa avança em relação às demais: 1. Analisa regionalmente as tendências pluviométricas do bioma Cerrado nas últimas décadas; 2. Apresenta uma série temporal de desmatamento acumulado do bioma desde de 1970, com base em dados secundários; 3. Correlaciona temporal e espacialmente alterações no uso e cobertura da terra com a variabilidade da chuva para todo o bioma.

## **1.6 OBJETIVO GERAL**

Analisar a variabilidade da precipitação no Cerrado no período entre 1977 e 2010 e sua relação com o desmatamento do bioma.

## **1.7 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar tendências de séries temporais de precipitação no Cerrado a partir de dados de postos pluviométricos situados no bioma nas últimas décadas;
- Estimar as taxas anuais e acumuladas de desmatamento do bioma Cerrado desde 1970, com base em dados secundários;
- Correlacionar temporal e espacialmente as tendências da precipitação com as mudanças no uso e cobertura do Cerrado entre 1977 e 2010;

## **1.8 HIPÓTESES**

Após uma revisão bibliográfica sobre o tema, os resultados de três estudos foram fundamentais para nortear as hipóteses esperadas. De acordo com Hoffmann e Jackson

(2000), caso o Cerrado fosse totalmente convertido em pastagem, haveria uma redução de 10% na precipitação, equivalente a 150 mm.

O segundo estudo, representado pelas simulações de Lee et al. (2011), indica que as mudanças do uso e cobertura da terra do Cerrado até 2001/2003 (com aproximadamente 40% do bioma desmatado) teriam sido responsáveis por uma redução de 70 mm em P. Ou seja, um resultado proporcional àquele encontrado por Hoffmann e Jackson (2000), considerando a proporção de vegetação convertida.

No terceiro estudo, Spera et al. (2016) encontraram uma relação negativa linear entre o uso da terra e quantidade de água reciclada para a atmosfera, sob a forma de evapotranspiração. Esses três estudos também identificaram um efeito climático do desmatamento mais severo durante a estação seca, comparativamente à chuvosa.

Com base no exposto, as seguintes hipóteses foram elaboradas para o presente trabalho:

- Hipótese 1: a precipitação no bioma Cerrado apresenta tendência de queda nas últimas décadas;
- Hipótese 2: as reduções de precipitação mais significativas ocorrem nos meses de transição para a estação chuvosa e nos meses de seca;
- Hipótese 3: há uma correlação espacial e temporal negativa entre o desmatamento e a precipitação no bioma no período estudado.

## **1.9 ESCOPO DA DISSERTAÇÃO**

Para facilitar a compreensão das etapas desenvolvidas no estudo, essa dissertação foi dividida em cinco capítulos. O Capítulo I compreende a Introdução, na qual é apresentada a motivação para o estudo; o Capítulo II é uma Revisão de literatura sobre a temática em questão e aborda primeiramente a caracterização do “Bioma Cerrado”; seguida de uma descrição das “Mudanças Climáticas no Cerrado”; e, na última parte, são apresentadas as bases científicas e as pesquisas recentes sobre “Os impactos climáticos do desmatamento”.

O Capítulo III descreve a Metodologia utilizada para alcançar os objetivos propostos. O Capítulo IV apresenta os Resultados, seguidos da Discussão. Por fim, no Capítulo V são apresentadas as Considerações Finais e Recomendações da autora. As referências bibliográficas e os apêndices não estão contidos em capítulos e são apresentadas ao final desse material.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 CERRADO

Com uma área de aproximadamente dois milhões de km<sup>2</sup>, o Cerrado localiza-se no Brasil Central (entre os paralelos 3° e 22° de latitude Sul e os meridianos 39° e 65° de longitude Oeste) e abrange nove estados brasileiros (Maranhão, Piauí, Tocantins, Bahia, Goiás, incluindo o Distrito Federal, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e São Paulo), que correspondem a área *core* do bioma (SILVA et al., 2008).

Embora sua definição seja complexa, pode-se dizer que o Cerrado é um bioma brasileiro, tipicamente representado por formações savânicas (80 - 90% área total), que lhe atribuem características específicas (SANO et al., 2010).

O Cerrado tem relevância ambiental, econômica e social ímpar para o Brasil. Em relação à biodiversidade, ele é considerado a savana mais rica do mundo, com 12.000 espécies de plantas e animais, das quais 4.800 espécies são endêmicas (STRASSBURG et al., 2017). Devido ao seu grau de endemismo e à perda de habitats, o Cerrado é considerado um dos *hotspots* globais de biodiversidade (MYERS et al., 2000).

A região também tem um papel fundamental para os recursos hídricos, contendo nascentes de três importantes bacias hidrográficas da América do Sul (Paraná, São Francisco e Tocantins), contribuindo com 14% dos recursos hídricos superficiais do país. Do ponto de vista econômico, o Cerrado vem se tornando a região mais importante na agropecuária nacional, representando mais 7% do PIB brasileiro em 2010 (MMA, 2014).

Atualmente, metade da vegetação nativa do bioma já foi convertida em pastos e lavouras, o que se deve principalmente às políticas públicas de incentivo à expansão agrícola, às políticas de redução do desmatamento no bioma Amazônico, e às características edafoclimáticas e topográficas da região (NOOJIPADY et al., 2017; MMA, 2015).

Essa condição, aliada a enorme importância ambiental do bioma, tem impulsionado estudos em diversas áreas do conhecimento, tais como os seus serviços ecossistêmicos e os efeitos da sua degradação, tais como os impactos climáticos (BUSTAMANTE et al., 2012; FALEIRO et al., 2013; SPERA et al., 2016; LAHSEN et al., 2017; STRARBURG et al., 2017;).

Nesse sentido, o entendimento sobre as características do Cerrado e sua dinâmica recente são fundamentais para a compreensão dos seus principais processos ecológicos, os

quais podem direcionar políticas públicas adequadas para a sua conservação e a produção agropecuária.

### **2.1.1 Clima Regional**

Segundo a classificação de Köppen, predominam dois tipos de clima no Cerrado: tropical úmido típico (Aw), com inverno seco e chuvas máximas no verão – ocupando a maior parte do bioma; e temperado quente com inverno seco (Cwa), com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C, ocorrendo principalmente no sudeste do estado de Minas Gerais e no extremo sul do Mato Grosso do Sul (SILVA et al., 2008).

A partir dessa classificação, extraem-se duas características climáticas marcantes do Cerrado: alta disponibilidade energética durante todo o ano, e duas estações bem definidas: verão chuvoso e inverno seco. Além dessa classificação mais geral, as variações espaço-temporais de cada parâmetro climático permitem entender melhor a relação entre o clima do bioma e os processos físico-bióticos que nele ocorrem (SILVA et al., 2008).

Os maiores valores de radiação solar encontram-se nas faixas de latitude média, devido a menor distância ao Sol. No Cerrado, há certa variação na radiação solar (6.000 a 8.800 cal.cm<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>), uma vez que este se estende da latitude 03°S a 22°S. Os valores de radiação mais altos são encontrados no sul do Maranhão, no Piauí, no Tocantins, no oeste da Bahia e no norte de Minas Gerais (SILVA et al., 2008).

Segundo Silva et al. (2008), a elevada radiação solar incidente no Cerrado contribuiu para grande biodiversidade do bioma. Sazonalmente, o mês com maior (380 – 620 cal.cm<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>) e menor (320 – 500 cal.cm<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>) valor de radiação é janeiro e junho, respectivamente. Em menor intensidade, existe também um gradiente longitudinal - de leste para oeste, ocasionado pela influência da umidade atmosférica e cobertura de nuvens da região Amazônica (SILVA et al., 2008).

A temperatura média anual do Cerrado (18-27 °C) aumenta no sentido de sul-norte, sendo que o estado de São Paulo concentra os menores valores de temperatura, e o Piauí, os maiores. As máximas de temperatura (24–36 °C) também seguem o padrão espacial das médias, com os valores mais altos ocorrendo na primavera e verão. Em relação às temperaturas mínimas médias (14 -23°C), observa-se que o no norte do bioma apresenta as médias mais altas, em oposição ao sul. É no inverno, principalmente nos meses de junho e julho, que a temperatura cai significativamente no sul do Cerrado (MG, GO, MS e MT); enquanto o restante da região permanece com temperaturas mínimas de 16°C a 23°C.

A umidade relativa do ar em 90% da área do Cerrado tem média anual entre 60 – 80%, o que, de acordo com Silva et al., 2008, pode ser considerado um valor moderado. Na porção leste do bioma, que faz divisa com a caatinga, e grande parte do estado de Goiás, estão os índices mais baixos; enquanto que na porção oeste encontram-se os maiores valores. Na época chuvosa (novembro - março), praticamente todo o bioma fica com a umidade entre 70% – 90%. Na estação seca, os valores médios caem para 50% - 60%, podendo chegar a valores extremamente baixos (9% – 11%) por curtos períodos de tempo (SILVA et al., 2008).

A evapotranspiração potencial no Cerrado é considerada alta, devido à elevada incidência solar e às altas temperaturas. Os maiores valores (1.800 – 1.900 mm/ano) se concentram no nordeste do bioma (Piauí, leste do Maranhão, e oeste da Bahia). Nessa região, a evapotranspiração potencial supera os índices pluviométricos em grande parte do ano. Já no sul de Minas Gerais, estão os valores mais baixos (1.400 – 1.500 mm/ano). Devido à elevada altitude, a evapotranspiração potencial no centro do bioma fica entre 1.600 – 1.700 mm/ano (SILVA et al., 2008).

#### 2.1.1.1 Precipitação

No que diz respeito à precipitação, o Cerrado tem um regime de chuva tropical, com volumes mínimos no período de inverno e máximos no verão, gerando duas estações bem definidas. A estação chuvosa se inicia em outubro e termina em março, sendo dezembro, janeiro e fevereiro os meses de maior precipitação. De acordo com Rao e Hada (1990), mais de 50% da precipitação anual da região ocorrem entre dezembro e fevereiro.

Por outro lado, entre abril e setembro há uma significativa redução da ocorrência de chuvas, caracterizando a estação seca, os quais os meses de julho e agosto são os mais críticos (SILVA et al., 2008). Rao e Hada (1990) consideram como períodos de transição entre as duas estações os meses março, abril e maio (fim das chuvas), e setembro, outubro e novembro (fim da seca). O padrão anual da precipitação no Cerrado tem um formato característico de “U”, como pode ser visualizado pela média mensal apresentada na Figura 2-1.

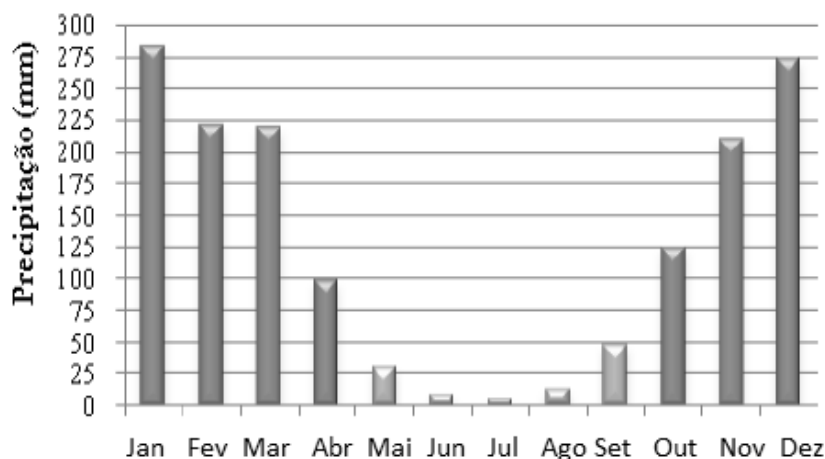


Figura 2-1: Sazonalidade da precipitação característica do bioma Cerrado. Os dados são referentes à média mensal histórica de 107 estações pluviométricas localizadas em Goiás e Distrito Federal. Fonte: COSTA et al., (2012).

A precipitação média anual no Cerrado é de aproximadamente 1.500 mm, mas com grande variação ao longo do bioma. O gradiente pluviométrico aumenta de leste para oeste, com os maiores índices próximos à fronteira com o bioma amazônico (2.000mm/ano), e os menores nos estados do Piauí, Bahia e nordeste de Minas Gerais, (700 mm por ano) (Figura 2-2). Além disso, o Cerrado apresenta alta variabilidade interanual (SILVA et al., 2008), característica esta que dificulta o estudo de tendências pluviométricas.

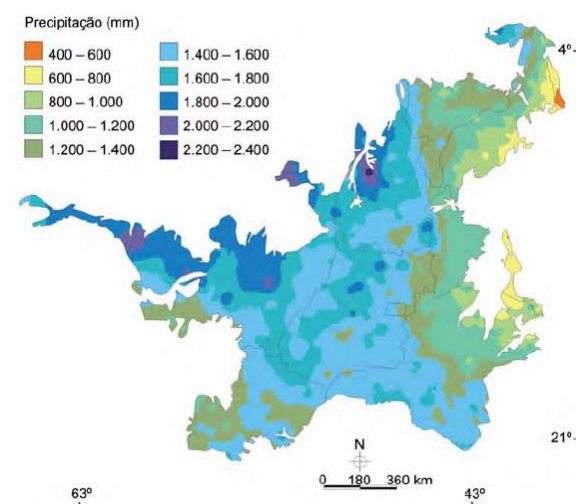


Figura 2-2. Precipitação média anual no Bioma Cerrado. Fonte: SILVA et al., 2008.

Segundo Assad et al., (1993), um evento climático comum no bioma é a ocorrência de veranicos, curtos períodos de estiagem durante a estação chuvosa. Esse fenômeno é particularmente crítico para as culturas agrícolas, sensíveis ao estresse hídrico, principalmente durante a fase reprodutiva. A ocorrência de veranicos é maior nos meses de janeiro e fevereiro, sendo mais comum na transição do bioma com a região semiárida.

O regime de precipitação no Cerrado é resultado das influências dos fatores de grande escala, em conjunto com os mecanismos regionais (Figura 2-3). No verão, as chuvas dependem, principalmente, da umidade trazida pela Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), conjuntamente com a Alta da Bolívia, gerada no oeste do Cerrado pelo aquecimento convectivo da atmosfera (VIRGI, 1981), e, pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (BOERS et al., 2017). Já no inverno, a presença de frentes polares e o movimento do anticiclone do Atlântico para o Nordeste brasileiro favorece a falta de chuva (SILVA et al., 2008).

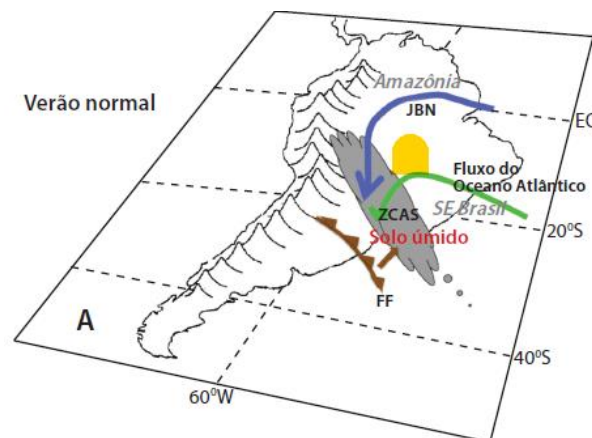


Figura 2-3. Fatores que transportam umidade para a América do Sul. Fonte: MARENGO et al., (2015).

Além da umidade trazida pelo oceano Atlântico, outros fatores contribuem para a precipitação no Cerrado. Na bacia amazônica, tanto a umidade reciclada na floresta, quanto a recebida do Atlântico, são direcionadas para o sul e sudeste do Brasil devido ao bloqueio ocasionado pela Cordilheira dos Andes, caracterizando os “Jatos de Baixos Níveis a leste dos Andes” (Figura 2-3) (VERA et al., 2006; MARENGO et al., 2015). Dessa forma, considerando que a ciclagem de água na Amazônia através da evapotranspiração é alta, o desmatamento desse bioma poderia contribuir para uma maior seca na região do Cerrado (VAN DER ENT et al., 2010).

Uma análise conjunta dos mapas obtidos a partir das modelagens de Van der Ent et al. (2010) e de Keys et al. (2016) permite inferir que, em média, aproximadamente 50% da precipitação que cai no Cerrado vem da evapotranspiração do continente Sul Americano, sendo que, desse valor, cerca de 30% poderiam ser atribuídos à evapotranspiração do próprio Cerrado brasileiro, e os outros 20% às demais regiões, principalmente da evapotranspiração da Amazônia.

No geral, os estudos sobre o clima do bioma indicam que a precipitação do Cerrado depende tanto da umidade do oceano quanto da umidade continental. Contudo, o papel dessas fontes de umidade varia de acordo com a época do ano. No verão, a ZCAS é dominante, principalmente no sentido oeste, sendo que a evapotranspiração do bioma nessa época não é tão determinante para as chuvas quanto no inverno e na transição entre as estações. Nesses últimos casos, a umidade continental é muito importante para as chuvas uma vez que a ZACS está enfraquecida (LEE et al., 2011; DEBERTOLI et al., 2015).

### 2.1.2 Recursos Hídricos

O Cerrado é conhecido como “Berço das Águas” por conter as nascentes de importantes bacias hidrográficas brasileiras e sul-americanas. A posição elevada no Planalto Central faz dessa região um ponto de distribuição dos recursos hídricos do país – o que permite a analogia a um “efeito guarda-chuva” (Figura 2-4) (LIMA, 2011). Ele contribui com nove das doze bacias hidrográficas brasileiras, das quais seis têm nascentes no bioma (MMA, 2014). Assim, com intuito de preservar a água para além de suas fronteiras, faz-se necessário entender os principais aspectos hidrológicos desse bioma (LIMA e SILVA, 2008).

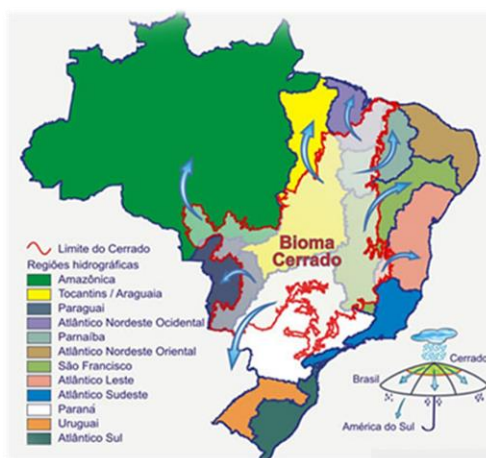


Figura 2-4. Localização do Cerrado em relação as doze bacias hidrográficas brasileiras. Fonte: LIMA e SILVA, 2008.

Em termos de água superficial, destaca-se a contribuição do Cerrado principalmente para as bacias Tocantins/Araguaia (65%), São Francisco (57%), Paraguai (50%), Paraná (49%), Parnaíba (46%), e Atlântico Nordeste Ocidental (46%) (LIMA, 2011). No total, o Cerrado contribui com 14% dos recursos hídricos superficiais nacionais (MMA, 2014). Em relação à água subterrânea, o bioma contribui para a recarga e ocupa metade da área do aquífero Guarani – o segundo maior aquífero do mundo (OLIVEIRA et al., 2014; RIBEIRO, 2008).

O Cerrado também alimenta os ‘rios voadores’ vindos da Amazônia que transportam umidade para o sudeste do país. Segundo CEPF (2016, p. 50) a umidade transportada por esse sistema só se mantém devido à contribuição da vegetação de outros locais, como a do Cerrado, que libera umidade por evapotranspiração. Assim, de uma certa forma, países vizinhos que se beneficiam dos ‘rios voadores’ da Amazônia (Bolívia, Paraguai, Argentina e Uruguai), também dependem da savana brasileira.

No que diz respeito ao balanço hídrico do Cerrado, sua caracterização é considerada complexa devido à heterogeneidade de paisagens que compõe o bioma e à escassez de estudos relativos ao tema (BARBOSA, 1996; OLIVEIRA et al., 2015). Cada combinação de vegetação, altitude e latitude interfere nos processos hidrológicos de maneira distinta. Além disso, a maioria dos estudos existentes para o Cerrado se dedicam às áreas já antropizadas, ao invés das áreas naturais, focando, principalmente, no componente “evapotranspiração” (OLIVEIRA et al., 2015).

Oliveira et al. (2015) obtiveram o balanço hídrico de uma área de cerrado *sensu stricto* denso (cobertura arbórea entre 50-70%; altura das árvores de 5-8m), localizada no estado de São Paulo. Anualmente, seus resultados indicaram que a maior parte da precipitação é reciclada em evapotranspiração (~ 65%), e o restante é percolado no perfil do solo, estocando-se na zona vadosa e nos aquíferos.

Nesse mesmo estudo, observou-se que a vegetação interceptou 4 – 20% da precipitação total, 1% escoou pelos troncos das árvores, e menos de 1% resultou em escoamento superficial. Como se pode observar pela Figura 2-5, o cerrado *sensu stricto denso* da área estudada apresentou um superávit hídrico na maioria do ano, com exceção para os meses de julho, agosto e setembro (estação seca). Nesse caso, o déficit hídrico é causado pelas taxas de evapotranspiração mantidas pela vegetação, mesmo no período sem chuvas (FRANCO et al., 2014).

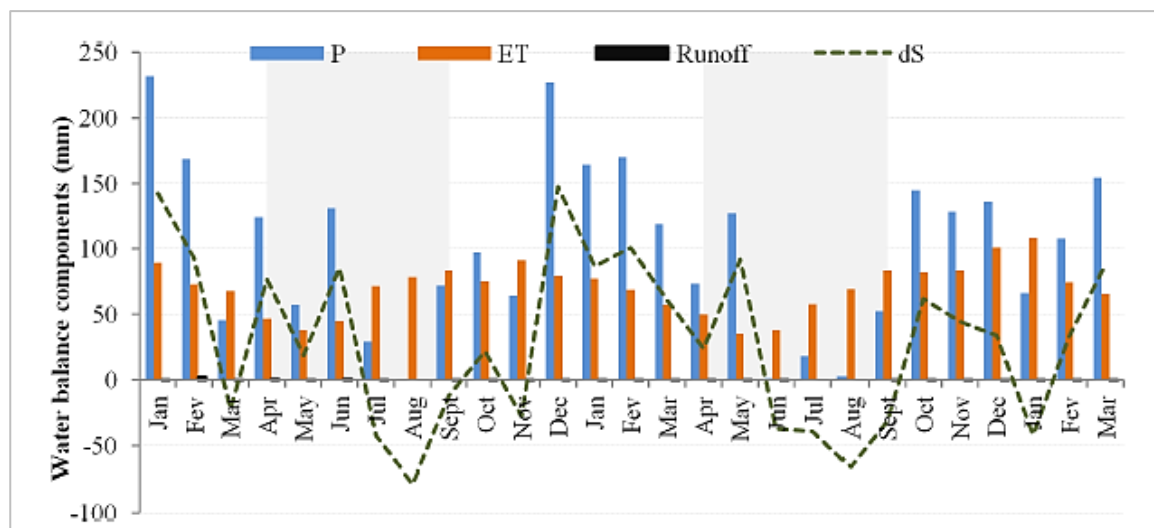


Figura 2-5. Balanço hídrico mensal (janeiro de 2012 a março de 2014) de uma vegetação de Cerrado no Estado de São Paulo. As barras sombreadas em cinza (ao fundo do gráfico) marcam o período da estação seca. P é a precipitação, ET é a evapotranspiração, e  $dS$  é o estoque de água na zona vadosa. (Fonte: OLIVEIRA e al. 2015).

Com isso, verifica-se que o Cerrado denso é fundamental para a reciclagem da água para a atmosfera. Ademais, essa fitofisionomia mantém alguma evapotranspiração durante a seca, o que só é possível devido à captação da água do solo pelas suas raízes profundas (ARANTES et al., 2016; FRANCO et al., 2014).

Em contrapartida, áreas cobertas com as fisionomias de campo limpo e campo sujo, que apresentam raízes mais rasas (10 - 15 cm), com nenhuma ou pequena densidade arbórea, têm uma redução significativa e abrupta da taxa de evapotranspiração no período de seca. Padrão similar também pode ser observado para o Cerrado *sensu stricto*, embora com valores de evapotranspiração bem superiores à composição herbácea. Por fim, em função do seu caráter caducifólio, as áreas de floresta decídua apresentam os maiores valores de evapotranspiração durante a estação chuvosa, e valores reduzidos na estação seca (ARANTES et al., 2016).

Desta maneira, o balanço hídrico do Cerrado é caracterizado por forte sazonalidade, dependente do equilíbrio entre evapotranspiração e infiltração de água no solo, os quais são fortemente influenciados pela cobertura vegetal (CEPF, 2016).

De uma forma geral, os solos do Cerrado apresentam alta infiltrabilidade e elevada capacidade de armazenamento de água (MALHEIROS, 2012; LAHSEN et al., 2016). Entretanto, as altas taxas de desmatamento do bioma podem alterar o seu balanço hídrico,



fazendo com que a água saia do sistema por meio do escoamento superficial, ao invés de ser reciclada pelos processos de infiltração e evapotranspiração (SPERA et al., 2016).

Apesar da sua relevância hidrológica, os recursos hídricos do Cerrado estão sob forte pressão. A primeira delas é a agricultura irrigada, que, embora permita a manutenção de culturas em período de estiagem (evitando que outras áreas sejam desmatadas), demanda uma grande quantidade de água. Os dados mostram que a irrigação consome aproximadamente 70% da água do país, sendo que 79% dos pivôs centrais estão concentrados no Cerrado (ANA, 2016).

Em segundo, o desmatamento nas regiões do Rio Araguaia (oeste do bioma), por exemplo, tem levado ao aumento da sedimentação dos cursos d'água e conseqüente alteração da morfologia do rio, trazendo tanto prejuízos ambientais, econômicos, quanto sociais (LATRUBESSE et al., 2009). Somam-se a isso, o uso de pesticidas, o crescimento das áreas urbanas e a falta de saneamento adequado, fatores que impactam tanto a qualidade como a quantidade de água (HUNKE et al., 2014).

Os déficits hídricos, historicamente observados na porção nordeste do bioma, tem se tornado cada vez mais frequentes e geograficamente ampliados. Em 2014, um conjunto de fatores, incluindo a falta de gestão adequada e a diminuição das chuvas, levou o reservatório Cantareira - que abastece 8,8 milhões de pessoas no estado de São Paulo e é alimentado pelo rio Piracicaba, com suas nascentes no Cerrado – à níveis críticos de água (LEITE, 2014; MARENGO et al., 2015). O trabalho de Almeida (2012) revela algumas estações pluviométricas dos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás com redução significativa da precipitação nas últimas décadas.

### **2.1.3 Vegetação**

Uma das características do Cerrado é a sua alta variabilidade espacial de fitofisionomias com três grandes formações distintas (Figura 2-6. Tipos de fitofisionomias do Cerrado. Fonte: MMA, 2015.), ocasionadas pelas variações nos fatores edáficos (solo, água e nutrientes) e regime de fogo (RIBEIRO; WALTER, 2008; FRANCO et al., 2014; EITEN, 1972; HARIDASAN, 2008; MMA, 2014; CEPF, 2016).

A palavra ‘Cerrado’ pode ser entendida de três formas diferentes: “Cerrado” (com letra maiúscula) se refere ao bioma; “Cerrado sentido amplo” (*lato sensu*) se refere a um conjunto de formações que vão desde florestas a campo sujo; e “Cerrado sentido restrito

(*stricto sensu*)” caracteriza a sua formação dominante, que é a savânica, (RIBEIRO; WALTER, 2008).

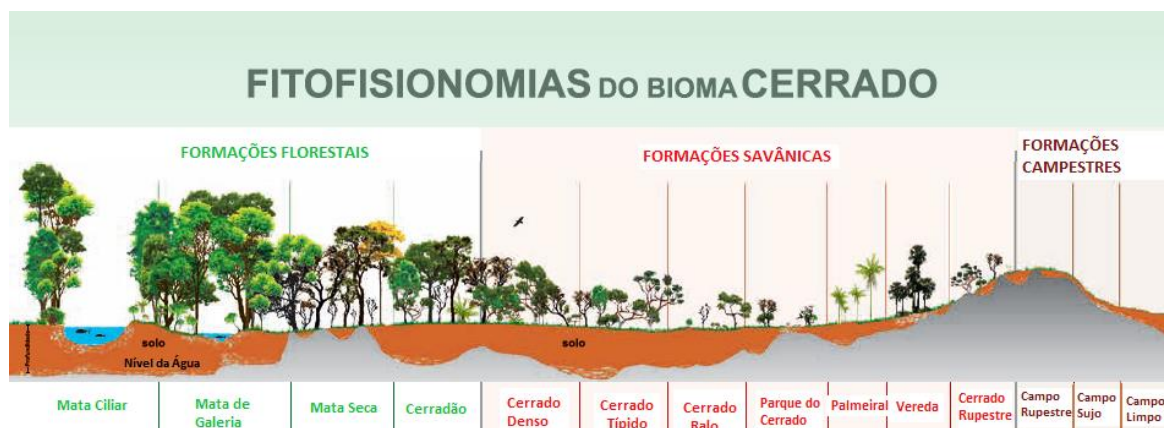


Figura 2-6. Tipos de fitofisionomias do Cerrado. Fonte: MMA, 2015.

Dentro das formações florestais do Cerrado podem ser identificados dois grupos. O primeiro está associado a cursos d’água, onde podem ser encontradas as Matas Ciliares (dossel mais aberto) e a Mata de Galeria (dossel fechado, formando corredores). O segundo grupo ocorre em solos mais ricos e bem drenados, distinguindo-se em Mata Seca e Cerradão, este composto de árvores menores (RIBEIRO e WALTER, 2008). Ao todo, as formações florestais compreendem 32% da área de vegetação natural do bioma (CEPF, 2016).

As formações savânicas reúnem fitofisionomias com densidade arbórea reduzida, as quais podem ser de quatro formas. O Cerrado sentido restrito (*stricto sensu*) é forma vegetacional mais conhecida (compreendendo 22% do bioma), sendo representada por uma vegetação arbórea esparsa, de baixa altitude, troncos tortuosos, e folhas rígidas, adicionado a um estrato arbustivo-herbáceo espalhado. Este ainda pode ser dividido em Cerrado Denso, Típico e Ralo, variando a densidade arbórea. As outras formações savânicas dividem-se em Parque de Cerrado, Palmeiral, e Vereda (RIBEIRO e WALTER, 2008). Ao todo, esse grupo ocupa 61% do Cerrado (CEPF, 2016).

O último grande grupo de fitofisionomias do Cerrado é a formação campestre, que abrange uma área de aproximadamente 7% do Cerrado (CEPF, 2016) e se subdivide em três classificações: Campo Sujo, Campo Limpo, e Campo Rupestre, este último diferenciando-se dos demais pelos afloramentos rochosos (RIBEIRO e WALTER, 2008).

Dentre as importantes funções ambientais da vegetação do Cerrado, destaca-se a manutenção do equilíbrio climático regional e global por meio do estoque de carbono, podendo chegar a mais de 100 t/ha de carbono no solo (MMA, 2014).

Ademais, as raízes do Cerrado tem grande papel no balanço hídrico. No bioma, o clima e o solo altamente permeável favoreceram as espécies com sistema radicular desenvolvido e profundo, capazes de manter certo grau de evapotranspiração durante a estação seca, através da captação de água dos solos mais profundos, e, de drenar a água para os reservatórios subterrâneos durante a estação chuvosa (LAHSEN et al., 2016).

Contudo, essas características hidrológicas variam entre suas fitofisionomias. Por exemplo, o Cerrado Denso tem maior taxa de evapotranspiração e retém mais umidade no solo do que o Campo Sujo (OLIVEIRA et al., 2005). Ainda assim, ressalta-se que ambas as formações apresentam densidade e distribuição radicular superior às culturas anuais e pastagens (OLIVEIRA et al., 2005).

Atualmente, o Cerrado é reconhecido como a savana mais biodiversa do mundo, contendo aproximadamente 12.000 espécies plantas (MENDONÇA et al., 2008), das quais 44% são consideradas endêmicas (KLINK, 2013). Segundo CEPF (2016), 32% das espécies de plantas e animais são endêmicas. Em função das pressões ocasionadas pelo desmatamento e de sua alta biodiversidade, o Cerrado foi classificado como um dos *hotspots* mundiais de biodiversidade (MYERS et al., 2000).

#### **2.1.4 Uso e ocupação da terra no Cerrado**

Embora existam registros da presença de populações humanas no Cerrado há mais de 12.000 anos (BARBOSA e SCHMITZ, 2008), a sua história socioeconômica inicia-se no século XVI, quando os bandeirantes começam sua marcha em direção ao centro do país, em busca de metais preciosos e índios, para mão de obra escrava (GANEM et al., 2008). Nesse período, com a descoberta do ouro, criadores de gado começam a migrar para região e acabam por levar a atividade de pastoreio consigo, a qual era conduzida em campos naturais do Cerrado. No início, a pecuária cresceu para suprir a demanda alimentícia dos mineradores, e posteriormente, com o declínio da mineração no final de 1770, tornou-se a atividade econômica predominante (RIBEIRO, 2005).

Foi a partir do século XX que o bioma começou a ser profundamente ocupado e modificado por uma série de razões. Em 1920 e 1930 houve um grande crescimento da produção de café no estado de São Paulo (KLINK, 2013), chegando inclusive ao Cerrado

paulista. Mais tarde, na década de 1950, ocorre um *boom* migratório devido à construção de Brasília e à rede de estradas que ligava o restante do país ao centro-oeste, com altas demandas por mão de obra (MMA, 2015; LAHSEN, et al., 2016).

Posteriormente, nas décadas de 1970 a 1980, vieram as políticas de desenvolvimento agrícola, as quais se destacam o crédito rural, a mecanização, e a substituição das culturas tradicionais pelas de exportação, emergindo assim uma agricultura com perfil comercial. Diversos programas de incentivo federais, como o PRODOESTE, Programa de Crédito Integrado e Incorporação dos Cerrados, POLOCENTRO e o PRODECER foram criados com o objetivo de explorar o potencial agrícola do Cerrado. Esses planos forneciam assistência técnica, crédito rural, estipulavam metas de produção, implantação de infraestrutura, e incentivavam a correção do solo com calcário e fertilizantes (GANEM et al., 2008; KLINK, 2013; MMA, 2015).

Essas políticas de incentivo, aliadas às características edafoclimáticas e geográficas do Cerrado, favoráveis à agricultura mecanizada e à pecuária extensiva, posicionou-o como um dos líderes mundiais em produção de carne e exportação de *commodities*, como a soja (KLINK, 2013).

Atualmente, a criação de gado nos estados do Cerrado representa 64% da produção nacional, o equivalente a 135 milhões de cabeças, sendo Mato Grosso o estado com a maior produção, seguido por Mato Grosso do Sul e Goiás (MMA, 2014). Essa significativa produtividade se deu à custa de sistemas extensivos de produção, baseados em pastagens cultivadas com gramíneas africanas, altamente adaptadas ao solo do bioma (GANEM, et al., 2008; LAHSEN, et al., 2016).

No que diz respeito à soja, seu crescimento no Cerrado se acelerou a partir de 1980, chegando a área plantada a atingir sete (07) milhões de hectares em 2001 (MMA, 2014). Atualmente, 60% da soja nacional é produzida no bioma, e o estado que concentra a maior produção é Mato Grosso (IBGE, 2016). Nas últimas duas décadas, com o aumento da agricultura irrigada, o oeste da Bahia também têm sido uma das grandes regiões produtoras de soja (RIBEIRO et al., 2005).

Além da soja, outras importantes atividades agropecuárias no Cerrado incluem culturas de cana-de-açúcar, milho (44% da produção nacional), algodão (84% da produção nacional), e extração de madeira para produção de carvão, esta última concentrada principalmente no Maranhão e Piauí (MMA, 2015) (Figura 2-7).

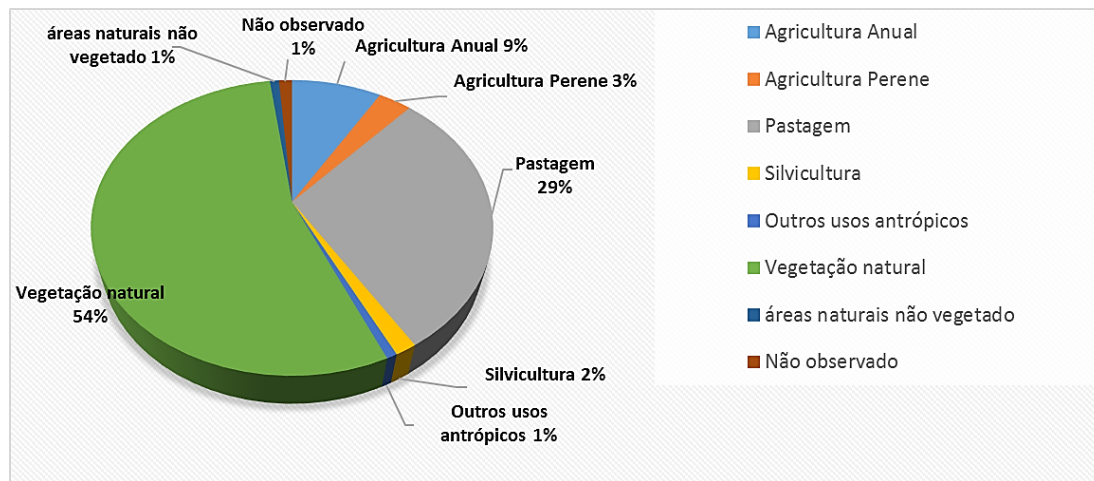


Figura 2-7: Uso e ocupação do solo do Cerrado em 2013. Fonte: MMA, 2015

A expansão agrícola e pecuária no Cerrado gerou efeitos econômicos, sociais e ambientais conflitantes. É indiscutível que o modelo aplicado no Cerrado trouxe um ganho econômico rápido para o país (CEPF, 2016). No entanto, Braga (1998) destaca que o sistema de modernização agrícola implantado, como os requisitos para aquisição de crédito rural, excluiu os pequenos agricultores desde o seu início. Além disso, as culturas plantadas foram majoritariamente destinadas para exportação, principalmente para conversão de proteína vegetal em animal, e mais recentemente para produção de biocombustíveis (GANEM et al., 2008). Isso significa que somente uma pequena porção de toda produção agrícola do Centro-Oeste tem suprido as demandas alimentícias do brasileiro.

A rápida transformação do Cerrado natural também trouxe algumas ameaças ambientais. Segundo Ganem et al., (2008), explora-se o Cerrado de uma forma muito similar à que a Mata Atlântica foi: se extrai do solo o máximo que ele pode oferecer, e posteriormente abandona-se a terra migrando para outras regiões. O MAPA (Ministério de Agricultura e Pecuária) e a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) estimam que entre 50-60% das pastagens do bioma estejam degradadas (MMA, 2014; LAHSEN et al., 2016). Essa degradação, por sua vez, quando ocorre em grandes extensões de terra, tende a afetar o ciclo hidrológico, seja pela redução da infiltração (LAHSEN et al., 2016), seja pela diminuição da evapotranspiração (SPERA et al., 2016).

#### 2.1.4.1 Desmatamento no Cerrado

O desmatamento do Cerrado acompanhou seu processo de ocupação, onde pouca mudança no uso da terra ocorreu até 1950, e somente depois da construção de Brasília e da

implementação dos programas de incentivo – por volta de 1970 -, que o desmatamento começou a ter proporções significativas (ARANTES et al., 2016; MMA, 2015).

As políticas de proteção da Amazônia e uma legislação ambiental mais transigente para o Cerrado têm favorecido o aumento das taxas de desmatamento no bioma (SPERA et al., 2016; STRASSBURG et al., 2017; NOOJIPADY et al., 2017). Em 2006, compradores de soja assinaram um pacto que proibia a aquisição de soja advindas de terras recém-desmatadas da Amazônia (GIBBS et al., 2015), pacto este que não se aplicava ao Cerrado (STRASSBURG et al., 2017).

Essa situação foi agravada pela reformulação do Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651/2012), mantendo 80% das áreas das propriedades da Amazônia como reserva legal e apenas 20% para as propriedades localizadas no Cerrado (SOARES-FILHO et al., 2014). As áreas protegidas da Amazônia representam 46% da sua área total, em comparação com 7,5% do Cerrado (STRASSBURG et al., 2017).

Além da fraca proteção ambiental do Cerrado, a crescente demanda do mercado por soja, carne e cana-de-açúcar constitui o principal vetor de desmatamento do bioma (NOOJIPADY et al., 2017; MMA, 2014). Segundo levantamento realizado por Noojipady et al. (2017), a pastagem foi o principal fator de conversão das florestas nativas do Cerrado entre 2003 - 2013, equivalente à 67% da área desmatada; em comparação com 21% devido à expansão agrícola. A cana-de-açúcar, por outro lado, tende a ocupar áreas já desmatadas, em grande parte ocupadas por outros usos (MMA, 2014). Caso esse cenário permaneça, o Cerrado pode perder entre 31-34% da vegetação nativa remanescente até 2050 (STRASSBURG et al., 2017).

Apesar da forte presença de investimentos tecnológicos em produção agropecuária desde 1950, somente a partir de 2002 que o desmatamento do Cerrado vem sendo monitorado de forma sistemática (MMA, 2014). Por essa razão, existem várias estimativas de desmatamento anteriores a esse período, como apresentado na Tabela 2-1. Mesmo mais recentemente, como por exemplo, em 2010, é possível observar estimativas distintas. A ausência de dados sistemáticos dificulta o entendimento sobre a dinâmica de ocupação e as influências socioeconômicas regionais do Cerrado (MMA, 2015).

Tabela 2-1. Estimativas do desmatamento anual do Cerrado feitas por diferentes instituições.

<b>Fonte</b>	<b>Período</b>	<b>Taxa Anual</b>	<b>Total desmatado por</b>
KLINK E MOREIRA, 2002	1970-1975	40.785	244.709
MUELLER e MARTHA, 2008	1976-1996	25.491	433.339
MCTI (MMA, 2014)	1988-1994	12.671	88.697
GANEM et al., 2008	1993-2001	13.663	122.966
FUNCATE (MMA, 2014)	1995 - 2002	15.702	125.616
PMDBBS (MMA, 2014)	2002 -2008	14.179	99.253
CSR/IBAMA, 2011a	2002-2008	14.275	99.923
CSR/IBAMA, 2011a	2009	7.545	7.545
CSR/IBAMA, 2011b	2010	6.526	6.526
PPCerrado 1ª Fase/INPE, 2015	2010	10.342	10.342
PPCerrado 1ª Fase/INPE, 2015	2011-2013	9.660	28.980
PPCerrado 2ª Fase/INPE, 2015	2014-2015	9.483	18.966

Fonte: a autora

Segundo MMA (2015), entre 45 - 50% dos dois (02) milhões de km<sup>2</sup> da cobertura original do Cerrado já foram convertidos em usos antrópicos até o momento (KLINK, 2013, ARANTES et al., 2016; MMA, 2015; IBAMA, 2015; STRASSBURG et al., 2017).

Conforme indica a Figura 2-8, a dinâmica de uso e ocupação do Cerrado é espacialmente variável. Como a ocupação do bioma se iniciou pelos estados de MG e SP, estes contam somente com 44 e 10% da vegetação nativa do bioma, respectivamente (MMA, 2014). Com a expansão da ocupação para os estados de MT, MS e GO, o desmatamento aumentou na região.

Em termos absolutos, os estados com as maiores áreas desmatadas são Goiás (214.132 Km<sup>2</sup>), Minas Gerais (186.109 Km<sup>2</sup>), Mato Grosso do Sul (163.093 Km<sup>2</sup>) e Mato Grosso (154.210 Km<sup>2</sup>). Até 2002, a região centro sul do bioma (MT, GO, MG, SP, MS) era a responsável pelas maiores taxas de desmatamento, onde restavam somente 35% da cobertura natural em 2010 (MMA, 2014).

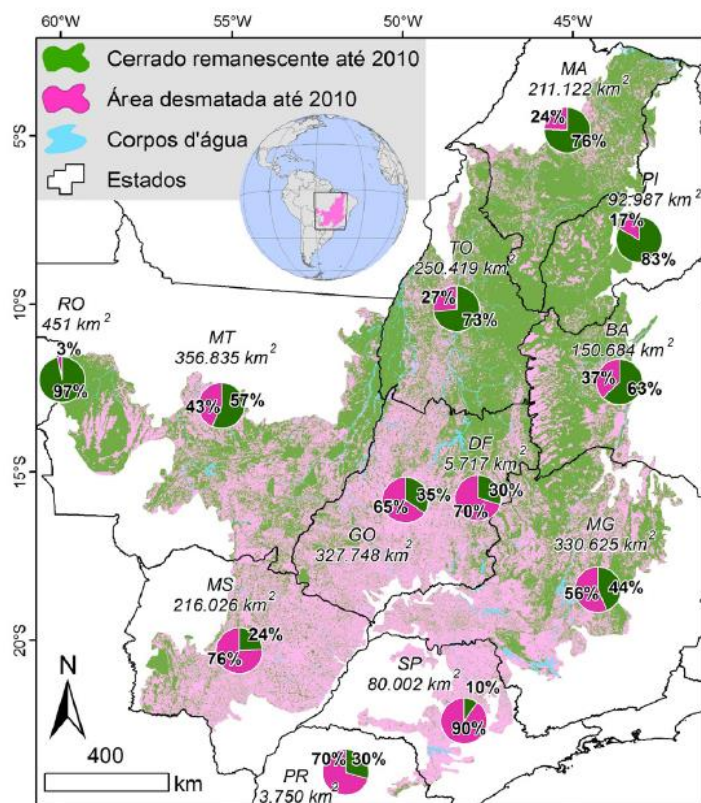


Figura 2-8: Área total do bioma e proporções de área desmatada e remanescente em 2010 nos Estados que compõem o Cerrado. Fonte: MMA, 2014.

Por outro lado, o norte do Cerrado estava majoritariamente conservado até início dos anos 2000, quando o esgotamento das terras ao sul do bioma incentivou o avanço da agropecuária naquela direção (NOOJIPADY, et al., 2017; MMA 2014). Considerada como uma nova frente de expansão do desmatamento, essa região, denominada MATOPIBA (fração do Cerrado nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), está perdendo rapidamente sua vegetação nativa para agricultura (SPERA et al., 2016). Segundo MMA (2014), o MATOPIBA contribuiu com 46% do desmatamento do Cerrado entre 2002 e 2008, com 70% em 2009, e 66% em 2010.

De acordo com esses últimos dados, com a quantidade de cobertura natural que ainda pode ser desmatada e com os incentivos governamentais, é esperado que o MATOPIBA mantenha as atuais tendências de desmatamento no futuro próximo (AGUIAR, 2016).

Para mitigar o rápido processo de conversão do bioma Cerrado, foi instituído, em 2009 o *PPCerrado* (Plano de ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Bioma Cerrado), o qual teve a sua segunda fase iniciada em 2014 (MMA, 2014; 2015). Em 2013, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) implementou o Projeto



*TerraClass Cerrado*, que mapeou as áreas naturais e antrópicas na escala de 1:250.000 (MMA, 2015).

Para garantir um desenvolvimento sustentável do Cerrado, especialistas afirmam que, além de zerar o desmatamento, deve-se restaurar parte da vegetação natural perdida (STRASSBURG et al., 2017). Isso decorre do fato de que as atuais pressões que afetam muitas espécies do bioma – incluindo mudanças climáticas e fragmentação da paisagem - podem ser suficientes para causar sua extinção (FRANCO et al., 2014; NEIL et al., 2017; FALEIRO et al., 2013; WWF, 2012).

Além do mais, apesar das incertezas envolvidas nos processos físico-bióticos relativos ao clima, os impactos climáticos causados pela atual eliminação de aproximadamente 50% da vegetação nativa do Cerrado podem induzir um efeito de retroalimentação (*feedback*) ainda pior, afetando mais ainda o já degradado bioma (HOFFMANN e JACKSON, 2000; FRANCO et al., 2014).

No entanto, duas políticas públicas recentes vão à contramão de uma maior proteção do bioma. No caso do Código Florestal (2012), como apenas 20% da área das propriedades devem ser preservadas como Reserva Legal, este limite permite que 400.000 km<sup>2</sup> de vegetação nativa do Cerrado sejam futuramente desmatados. Isto representa 20% da área original do bioma (LAHSEN et al., 2016).

Contraditoriamente, a Política Nacional do Clima (Decreto nº 7.390/2010) estabelece que, para alcançar as metas de redução de emissões de GEE, a taxa anual de desmatamento do Cerrado teria que cair 40% relativamente à média do período 1999-2008, ou seja, o que permite manter uma taxa de desmatamento anual de 9.400 km<sup>2</sup> de Cerrado Nativo. Contudo, esse valor (9.400 km<sup>2</sup>) já é superior às últimas estimativas 7.545 km<sup>2</sup> (2009), e 6.525 km<sup>2</sup> (2010), deixando uma oportunidade para incorporar mais áreas desmatadas (LAHSEN et al., 2016).

## **2.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E O CERRADO**

As mudanças climáticas globais (MCG) se referem a um conjunto de alterações climáticas que vem ocorrendo na Terra nas últimas décadas (NOBRE et al., 2011). Globalmente, o quadro mostra anomalias de aquecimento tanto na atmosfera quanto nos oceanos desde 1950, em níveis jamais registrados antes, o que tem ocasionado o derretimento das calotas polares e aumento dos níveis dos mares (MASTRANDREA et al., 2010).

Mais precisamente, os estudos indicam que houve um aumento da temperatura terrestre média de 0,85 °C no período de 1980–2012, sendo que 90% desse aquecimento ocorreram nos oceanos (IPCC, 2014); um aumento do nível médio do mar de 50 mm, e redução do gelo da Groelândia em 0,7% por década (SOARES, 2011). Outro agravante é o aumento de eventos extremos observados, como secas, precipitações intensas, furacões e enchentes, os quais se acreditam serem consequência das MCG (MARENGO, 2007; MARENGO et al., 2010; NOBRE et al., 2011).

A principal causa MCG é o efeito estufa antrópico (NOBRE et al., 2011; IPCC, 2014). Apesar de ser um processo natural, o efeito estufa tem sido potencializado, dentre outras razões, pela emissão de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera desde a era industrial (SOARES, 2011), incluindo o metano (CH<sub>4</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), e o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (NOBRE et al., 2011).

Até 2010, as atividades antrópicas que mais contribuíram para a elevação da concentração dos GEE mundialmente foram o setor de energia (37%), seguido pela mudança no uso da terra (21%), indústria (21%), transporte (14%), e setor de construção (7%) (TUBIELLO, et al., 2015). No caso do Brasil, 75% das emissões de GEE vêm das mudanças no uso e cobertura da terra (LUCC – sigla em inglês para *Land Use and Cover Change*), as quais podem ser separadas em agropecuária e outras mudanças (desmatamento, fogo e silvicultura) (CEPF, 2016; SOARES, 2011; NOOJIPADY et al., 2017).

O LUCC contribui para o aumento da concentração de GEE na atmosfera tanto liberando o carbono estocado na vegetação, como pela retirada da vegetação nativa e pelo fogo, quanto deixando de captar carbono da atmosfera, já que a vegetação atua como sumidouro de dióxido de carbono durante o processo de fotossíntese (TUBIELLO, et al., 2015).

Sabe-se que a projeção de cenários climáticos futuros é uma das formas mais eficientes para lidar com as MCG, pois disponibiliza informações que subsidiam programas e políticas de mitigação e adaptação (BETTS, et al., 2011). Para tanto, são desenvolvidas uma variedade de modelos climáticos globais e regionais que, através de cálculos, predizem as respostas climáticas aos diferentes cenários de emissões de GEE.

Essas emissões futuras, por sua vez, dependem dos cenários escolhidos, que se diferenciam pela intensidade e dinâmica das transformações projetadas, como por exemplo, taxa de crescimento populacional (MARENGO et al., 2011). Por isso, uma maneira eficiente

de lidar com as incertezas nas previsões em razão das particularidades de cada modelo, é trabalhar com a média deles, como é feito na maioria dos relatórios do IPCC (IPCC, 2014; CHOU et al., 2011).

### 2.2.1 Mudanças Climáticas Globais e o Cerrado

Os registros históricos indicam que a temperatura no Brasil aumentou em média 0,5°C no último século (LITRE et al., 2016). Na Figura 2-9 A observa-se um aumento da temperatura em todas as regiões do Brasil, sendo que, para a maior parte do Cerrado, pode-se inferir que houve um incremento médio entre 1,0 e 2,5° C (IPCC, 2014).

No que diz respeito à precipitação, os estudos observacionais apresentam resultados distintos. Por exemplo, de acordo com os dados do IPCC (2014), apresentados na Na Figura 2-9 B observa-se uma grande variabilidade nas tendências de precipitação do bioma nas últimas décadas, onde há áreas com aumento de chuva, outras com redução, e outras sem informação.

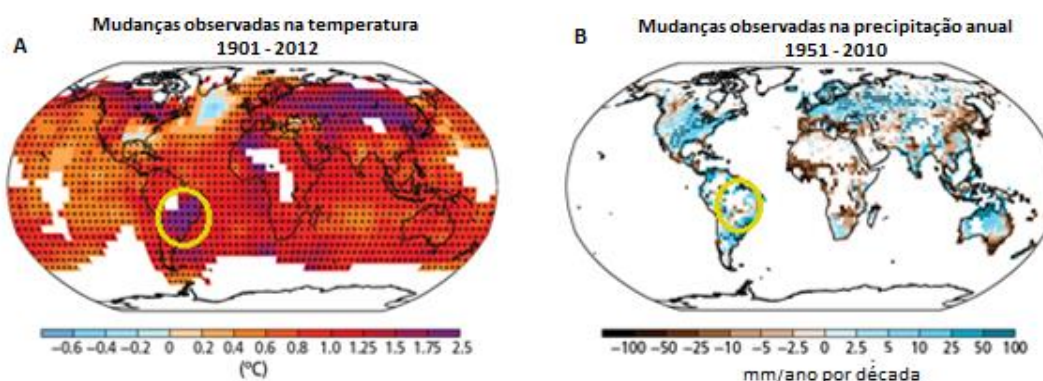


Figura 2-9. Mapa global das mudanças de temperatura observada entre 1901-2012 (a) e de precipitação entre 1951 e 2010 (b), com destaque para a região do Cerrado (círculo amarelo).

Áreas em branco tiveram menos que 70% dos registros da série temporal, e por isso foram desconsideradas. Fonte: IPCC, 2014.

Analisando 33 estações distribuídas em seis estados do Cerrado, Almeida (2012) não encontrou nenhum padrão espacial das tendências de precipitação, ocorrendo tanto aumento quanto reduções significativas nas séries históricas. Litre et al., (2016) reportaram níveis de precipitação estáveis no estado de Mato Grosso durante 3 décadas (1980-2010).

Por outro lado, Dufek e Ambrizzi (2008) relataram um aumento na intensidade das chuvas em São Paulo nos últimos 50 anos. Já os dados do Projeto Climatológico da

Precipitação Global indicam que houve uma redução de aproximadamente 70 mm na precipitação na região do Cerrado, considerando a diferença entre as médias de 1993-2006 e 1979-1992 (LEE et al., 2011)

No que diz respeito às projeções para o futuro, o AR5 (IPCC, 2014) indica que poderá ocorrer aumento de temperatura de 2 a 5°C para a América do Sul no cenário mais pessimista. Para a precipitação, os estudos do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) indicam uma redução de aproximadamente 10% até 2040, podendo alcançar reduções de até 45% no final do Século (PBMC, 2014).

O LUCC no Cerrado tem potencial de contribuir com as MCG porque o solo do bioma apresenta grande estoque de carbono, principalmente nas raízes da vegetação nativa e matéria orgânica (BUSTAMANTE et al., 2012; NOOJIPADY et al., 2017). Durante a década de 2003 – 2013 a conversão da vegetação nativa em agricultura no Cerrado emitiu aproximadamente 179 Tg C.ano<sup>-1</sup>. No entanto, esse valor ainda é muito maior, pois a conversão da vegetação em agricultura representa somente 21% de toda a mudança no uso da terra que ocorreu no bioma durante o período (NOOJIPADY et al., 2017), como conversão em pastagens, desmatamento e fogo.

Considerando o perfil agropecuário do Cerrado, há de se considerar ainda as emissões de outros GEE, como o óxido nitroso, liberado a partir do uso de fertilizantes, e o metano, cuja principal fonte de emissão é a fermentação entérica do gado (BRASIL, 2016). Somente em 2010, essa fonte emitiu 90% do CH<sub>4</sub> do setor agropecuário (BRASIL, 2016).

Alguns estudos já vêm alertando para as consequências das MCG para o Cerrado. O aumento da temperatura e o déficit hídrico irá reduzir o processo fotossintético, e consequentemente a produtividade primária bruta (BUSTAMANTE et al., 2012). Além do mais, o prolongamento da estação seca irá aumentar a vulnerabilidade do bioma ao fogo, devido à maior liberação de carbono, que atua como combustível, e à redução da umidade (PBMC, 2014). Segundo Simon et al., (2013), várias espécies de plantas comuns no Cerrado terão suas áreas de distribuição reduzidas. Atualmente, 38 - 45% das espécies de plantas do bioma estão com grandes riscos de extinção somente devido ao aquecimento observado (WARREN et al., 2011).

Ressalta-se que as variações climáticas detectadas no Cerrado não podem ser atribuídas exclusivamente às MCG, resultante do aumento da concentração de GEE na atmosfera. Há que se considerar o papel de outros *forçantes* de origem antrópica, tais como

as alterações biofísicas na superfície causadas pelo LUCC, o aumento da concentração de aerossóis, além dos *forçantes* radiativos naturais (IPCC, 2014; LEE et al. 2011; PBMC, 2014). Entretanto, pouca atenção tem sido dada a esses fatores, principalmente, aos efeitos do LUCC sobre o clima (DIRMEYER et al., 2014).

## **2.3 IMPACTOS DAS MUDANÇAS DO USO E COBERTURA DA TERRA NO CLIMA DO CERRADO**

O clima regional do bioma Cerrado pode ser impactado pelo LUCC, pois este altera os processos biofísicos na superfície da terra, tais como o albedo, a rugosidade aerodinâmica, e a evapotranspiração. Dentre as variáveis climáticas potencialmente afetadas estão a temperatura e a precipitação (HOFFMANN; JACKSON, 2000).

### **2.3.1 Processos biofísicos**

O impacto climático local e regional das mudanças no uso e cobertura da terra (LUCC) é uma resposta às alterações nos processos biofísicos e bioquímicos que ocorrem na superfície da terra afetando, assim, o fluxo de energia e o balanço hídrico (MAHMOOD et al, 2014).

Os processos bioquímicos dizem respeito às modificações nos fluxos dos GEE, como o dióxido de carbono, ao passo que os biofísicos são relativos às variações no balanço energético da atmosfera (PERUGINI et al., 2017) (Figura 1-2). A vegetação tem um papel fundamental na intermediação desses processos, através das trocas de radiação, calor e água entre a terra e a atmosfera e, por isso, mudanças na sua estrutura podem alterar esses fluxos e impactar o clima (DAVIN e NOBLET-DUCOUDRE, 2010).

Nos processos biofísicos relacionados ao clima, destacam-se os seguintes parâmetros: albedo, rugosidade aerodinâmica e evapotranspiração. Alterações causadas em cada um desses componentes apresentam efeitos adversos na temperatura, precipitação, e no armazenamento água. Essas relações são complexas, variam de acordo com a escala, com a cobertura da terra e com a localização da área geográfica analisada (SALAZAR et al., 2015). Por essa razão, é relativamente comum encontrar estudos que apresentem resultados contraditórios.

As equações de Pielke (2001), revisadas por Mahmood et al. (2014), oferecem um entendimento geral sobre os mecanismos pelos quais esses processos se inter-relacionam,

com as respectivas consequências da alteração da cobertura do solo para o balanço de energia e umidade na superfície terrestre:

$$R_N = Q_G + H + L(E + T) \quad (2-1)$$

$$R_N = Q_S(1 - A) + Q_{LW}^{\downarrow} - Q_{LW}^{\uparrow} \quad (2-2)$$

$$P = E + T + RO + I \quad (2-3)$$

Onde: RN é o fluxo de radiação líquido, QG = fluxo de calor na superfície; H = fluxo de calor sensível, L (E + T) = fluxo de calor latente; L = calor latente de vaporização; E = evaporação física, ou seja, transformação da água líquida em vapor d'água sem participação de processos biológicos; T = transpiração, que se refere à conversão da água líquida em vapor por meio de processos biológicos; P = precipitação; RO = escoamento superficial; I = infiltração; QS = radiação de onda curta; A = albedo;  $Q_{LW}^{\downarrow}$  = radiação de onda longa descendente;  $Q_{LW}^{\uparrow}$  = radiação de onda longa ascendente.

Esta última pode ser obtida por  $(1 - \varepsilon) Q_{LW}^{\downarrow} + \varepsilon \sigma T_s^4$ ; onde  $\varepsilon$  é a emissividade da superfície;  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ); e  $T_s$  é a temperatura na superfície. Ou seja, a radiação que retorna é função da emissividade e da temperatura da superfície.

Como será visto nos próximos itens, qualquer tipo de mudança no LUCC que altera uma das variáveis nas equações acima, necessariamente altera todos os outros parâmetros, e tem o potencial de afetar o clima local diretamente (MAHMOOD et al., 2014).

#### 2.3.1.1 Albedo

O albedo é a proporção entre a radiação refletida por uma superfície e a radiação incidente sobre a mesma. Corpos mais escuros, com maior quantidade de água e matéria orgânica, têm menor albedo, e, portanto, absorvem mais energia (calor e radiação) se comparados com corpos de superfícies mais brilhosa e clara (PBMC, 2014, página 19). Assim, florestas têm menor albedo do que outros tipos de cobertura do solo, como gramíneas, lavouras ou solo exposto. Por isso, pode se dizer que, de uma forma geral, o desmatamento leva ao aumento do albedo da superfície (ALTON, 2009).

A equação 2-1 sugere que o aumento do albedo leva à redução do fluxo de radiação líquida ( $R_N$ ) e, conseqüentemente, à diminuição da quantidade de energia disponível para as variáveis  $Q_G$ ,  $H$ ,  $E$  e  $T$  (MAHMOOD et al., 2014). Em outras palavras, a quantidade de radiação normalmente absorvida pela vegetação nativa seria parcialmente refletida para a atmosfera, quando esta é convertida para usos antrópicos, de menor albedo. Considerando unicamente esse fator, o efeito climático do aumento do albedo devido ao Lucc seria um resfriamento da superfície terrestre (DAVIN e NOBLET-DUCOUDRE, 2010).

A magnitude da mudança no albedo pode variar de acordo com a localização, uso e manejo do solo. As modelagens realizadas por Davin e de Noblet-Ducoudré (2010) mostraram que, em altas latitudes, principalmente nas proximidades dos polos, os efeitos de alterações no albedo são significativamente maiores do que nos trópicos. A explicação é que em altas latitudes existe um efeito de retroalimentação positiva devido à presença da neve/gelo.

Em um estudo realizado na planície do Chaco (América do Sul), Houspanossian et al. (2017) estimaram que 83% das alterações observadas no albedo ocorreram devido ao desmatamento, e 17% foram reflexos do tipo de cobertura e manejo do solo. Nesse estudo, a substituição da vegetação nativa por culturas anuais resultou num maior albedo do que substituição por pasto. Isso acontece pois, na pastagem, o solo fica coberto por gramíneas durante todo o ano, em oposição à lavoura, que cobre o solo por alguns meses do ano. Por essa mesma razão, os sistemas silvopastoris e o uso de duas culturas anuais alteram menos o albedo do que a pastagem e uma cultura anual (HOUSPANOSSIAN et al., 2017).

#### 2.3.1.2 Fluxos de Calor Latente e de Calor Sensível

O consumo da energia solar na forma de calor sensível aumenta a temperatura da superfície, enquanto que na forma de calor latente, resfria (equação 2.1). A razão entre o fluxo de calor sensível e o de calor latente é a razão de Bowen (TANG et al., 2014).

Os impactos do Lucc sobre o fluxo de calor estão fortemente relacionados com a capacidade da superfície terrestre em realizar evaporação e transpiração, que por sua vez dependem da energia disponível e do tipo de vegetação em estudo, respectivamente. Dessa forma, considerando a mesma quantidade de radiação incidente, a razão de Bowen é menor em áreas de florestas do que em vegetação herbácea, devido às raízes mais profundas, maior índice de área foliar, e maior rugosidade aerodinâmica das primeiras, que liberam mais umidade, favorecendo a dissipação de energia na forma de calor de latente e resfriando o

ambiente. O desmatamento, ao contrário, leva ao aquecimento local, devido ao aumento do fluxo de calor sensível (PERUGINI et al., 2017; DAVIN e DE NOBLET –DUCOUDRÉ, 2010).

#### 2.3.1.3 Rugosidade Aerodinâmica

A rugosidade aerodinâmica é altura a partir da superfície onde começa a ocorrer turbulência do ar, e, quanto mais fricção existe entre o ar e a cobertura, maior a rugosidade (DEVARAJU et al., 2015). Assim, a rugosidade aerodinâmica tende a diminuir com a conversão de florestas em lavouras/pastagens, mais baixas e superficialmente homogêneas que as primeiras (DAVIN e DE NOBLET-DUCOUDRÉ, 2010).

A redução da rugosidade aerodinâmica da superfície leva, por sua vez, à diminuição da turbulência do ar na camada limite, e, por conseguinte, diminuição do fluxo de calor, de energia e vapor d'água para a atmosfera (DEVARAJU et al., 2015). Como essa energia disponível não pode ser transportada para a atmosfera, a superfície tende a aquecer (LEE et al., 2011; DAVIN e DE NOBLET-DUCOUDRÉ, 2010).

#### 2.3.1.4 Evapotranspiração

O LUCC pode reduzir a evapotranspiração (EVT) por diversas vias. De uma forma direta, a evapotranspiração diminui com a substituição da vegetação natural, porque lavouras e pastos têm menor densidade e profundidade de raízes, menor índice de área foliar, e menor ciclo de vida do que a vegetação natural (COE, et al, 201; DAVIN e DE NOBLET-DUCOUDRÉ, 2010). Indiretamente, o aumento do albedo causado pelo desmatamento reduz a absorção de energia na superfície necessária para o processo de EVT, e a diminuição da rugosidade aerodinâmica reduz a turbulência do ar, também reduzindo a EVT (KANAE et al., 2001).

A redução na evapotranspiração faz com que uma menor quantidade de energia seja dissipada na forma de calor latente, aumentando o fluxo de calor sensível, e consequentemente, aquecendo o ar. A redução na evapotranspiração também cria uma atmosfera mais seca, prejudicando a formação de nuvens, e assim, reduzindo a precipitação (DEVARAJU et al., 2015).

O impacto climático é mais significativo quando maior for a variação da evapotranspiração depois da mudança do uso da terra, a qual depende dos tipos de vegetação antes e depois da conversão. Por exemplo, florestas tropicais tem o índice de área foliar muito maior do que as florestas subtropicais, consequentemente, considerando



exclusivamente esse aspecto, a redução da evapotranspiração e os efeitos no clima na primeira serão maiores do que na segunda região (DAVIN e DE NOBLET-DUCOUDRÉ, 2010).

Há de se considerar, ainda, a influência da sazonalidade no processo de evapotranspiração. Nas regiões tropicais, o efeito do LUCC sobre a EVT é maior durante o inverno porque a vegetação nativa mantém suas folhas, evapotranspirando continuamente através da retirada de água do solo pelas raízes profundas, ao contrário das culturas anuais e pastagens, fazendo com que a EVT caia abruptamente (BONAN, 2008; SPERA et al., 2017). O mesmo efeito não ocorre nas florestas boreais (alta latitude), pois a vegetação natural perde suas folhas no inverno, igualando às taxas de evapotranspiração das culturas (DAVIN e DE NOBLET-DUCOUDRÉ, 2010).

### **2.3.2 Variáveis Climáticas**

#### **2.3.2.1 Temperatura**

As alterações nos processos biofísicos da superfície (albedo, rugosidade aerodinâmica e evapotranspiração) influenciam a temperatura de maneiras distintas. O aumento do albedo depois da conversão da vegetação nativa faz com que uma menor quantidade de radiação solar seja absorvida na superfície, levando a diminuição da temperatura (Figura 2-10 B) (DAVIN e DE NOBLET-DUCOUDRÉ, 2010); enquanto que a redução da rugosidade aerodinâmica e da evapotranspiração, depois do LUCC, levam ao aumento da temperatura (Figura 2.10 C e D) (PERUGINI et al., 2017). O impacto final na temperatura será definido pela combinação entre esses três fatores (Figura 2-10 A).

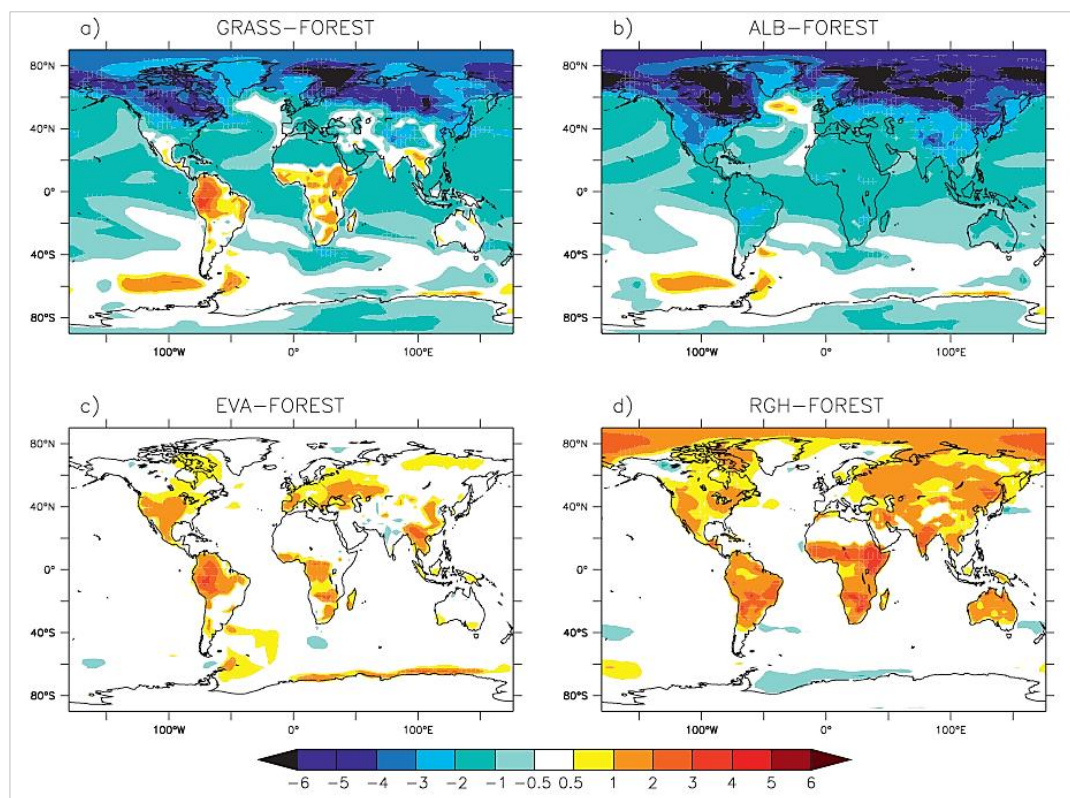


Figura 2-10. Mudanças na temperatura devido à conversão da vegetação nativa em gramínea considerando os três componentes biogeofísicos em conjunto (a), e isoladamente, o impacto do albedo (b), da evapotranspiração (c); e da rugosidade (d). (Fonte: DAVIN e DE NOBLET-DUCOUDRÉ, 2010).

A Figura 2-10 A mostra que, para um mesmo tipo de mudança do uso da terra (conversão de floresta para gramínea), o efeito na temperatura devido ao LUCC, é altamente dependente da latitude (PERUGINI et al., 2017; BONAN, 2008; DAVIN e DE NOBLET-DUCOUDRÉ, 2010). No hemisfério norte, onde o albedo tem efeito dominante, o impacto biofísico do desmatamento é o resfriamento da superfície. Já na região tropical, haverá um aquecimento, porque a rugosidade aerodinâmica e evapotranspiração prevalecem sobre o albedo (SNYDER et al., 2004; DAVIN; DE NOBLET-DUCOUDRÉ, 2010; PERUGINI et al., 2017).

Mesmo que a remoção da floresta tropical leve a uma redução da radiação absorvida (por causa do aumento do albedo), a temperatura da superfície aumenta porque a perda da radiação é compensada pela redução do efeito de resfriamento do calor latente (SNYDER, et al., 2004). No hemisfério norte, a redução do efeito de resfriamento do calor latente depois do LUCC não é tão significativa por conta da pequena modificação da taxa da EVT. Nessa

região, isso ocorre porque, de um modo geral, o índice de área foliar varia menos entre vegetação nativa e gramíneas, além da queda das folhas da vegetação natural durante o inverno (DAVIN e DE NOBLET-DUCOUDRÉ, 2010).

#### 2.3.2.2 Precipitação

O efeito do LUCC sobre a precipitação em áreas tropicais não é tão evidente como no caso da temperatura, uma vez que os estudos disponíveis apresentam resultados distintos (HOFFMANN e JACKSON, 2000; SNYDER, et al., 2004; SPRACKLEN et al., 2012; LEE et al., 2011; LAWENRENCE; VANDECAR, 2014; DEVARAJU et al., 2015; BATHIANY, et al., 2010; ALMEIDA et al., 2017).

Isso decorre do fato de que a precipitação é uma variável determinada por fatores regionais e locais, tais como, a vegetação, a topografia, o balanço hídrico, além dos processos climáticos (convecção, formação de nuvens, interações dos aerossóis, influência de processos de grande escala), fatores esses que dificultam sua adequada representação em modelos climáticos (LAWENRENCE; VANDECAR, 2014).

Apesar disso, simulações com modelos climáticos permitem entender os principais mecanismos e efeitos na precipitação regional causados pelo LUCC. Após a substituição da vegetação nativa por pastagens e lavouras, o aumento do albedo diminui o fluxo de energia na superfície, resfriando a atmosfera superior e favorecendo uma circulação termo-induzida que resulta em movimento descendente de massas de ar (ELTAHIR, 1996).

A redução da rugosidade aerodinâmica, por sua vez, implica na redução do fluxo de vapor d'água para camadas superiores da atmosfera e dos processos convectivos (DAVIN; DE NOBLET-DUCOUDRÉ, 2010; SALAZAR et al., 2016). Tanto a umidade liberada através da evapotranspiração quanto a atividade convectiva na atmosfera são fundamentais para a formação e desenvolvimento das nuvens, e conseqüentemente, da ocorrência da precipitação (MAKARIEVA et al., 2014).

Ressalta-se que a sensibilidade da precipitação regional ao LUCC é dependente de alguns fatores, tais como latitude, continentalidade, padrões e escalas de desmatamento e escala de análise (LAWENRENCE; VANDECAR, 2014).

Em termos de latitude, a resposta da precipitação ao LUCC depende das diferenças entre as taxas de evapotranspiração da vegetação nativa e a antrópica. Por exemplo, nas regiões tropicais e temperadas, o impacto na precipitação é maior (Figura 2-11), porque em períodos de estiagem a vegetação nativa desses locais tem acesso ao conteúdo de água no

solo, devido à maior profundidade das suas raízes, o que não ocorre para as lavouras e pastagens (PERUGINI et al., 2017). Já nas florestas boreais (alta latitude), o impacto do LUCC é menor, porque a evapotranspiração nas coníferas é limitada pelos mesmos fatores que reduzem a EVT nas gramíneas (após a substituição): limitação de radiação solar e raízes superficiais (PERUGINI et al., 2017).

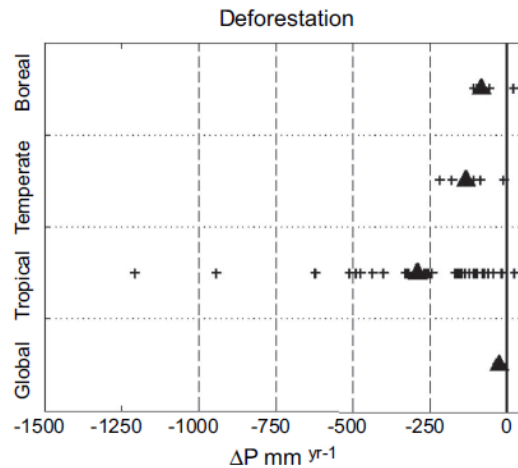


Figura 2-11. Impactos globais/regionais do desmatamento sob a precipitação média global/regional. O símbolo positivo representa o dado de cada estudo, e o triângulo preto, a média. Fonte: PERUGINI et al., (2017).

Na medida em que se avança em direção ao interior dos continentes, as reduções na precipitação devido às mudanças no uso e cobertura da terra tendem a aumentar (SALAZAR et al., 2016). Isso ocorre porque nas regiões continentais a umidade liberada pela evapotranspiração representa uma fonte de umidade indispensável para a ocorrência de chuvas, ao contrário das regiões litorâneas, mais influenciadas pela umidade trazida do oceano (KEYS et al., 2016; VAN DER ENT et al., 2010).

Outras complexidades dizem respeito à escala de estudo, ao padrão de desmatamento e ao tamanho da área desmatada. Numa pequena escala, como uma bacia hidrográfica, a precipitação pode ser vista apenas como uma externalidade (VAN DER ENT et al., 2010), pois é bem provável que qualquer contribuição da evapotranspiração venha de outro local, próximo ou não. Esse efeito é corroborado pelo estudo de Debortoli et al. (2016), que identificou um aumento da relação entre variação na precipitação e a área desmatada.

No que diz respeito ao padrão da paisagem, nota-se que, quanto maior o aumento da fragmentação na vegetação, maior o impacto na precipitação, para uma mesma quantidade de área desmatada. Isso indica a importância de grandes manchas de vegetação nativa para

sustentar as chuvas na direção predominante do vento (NOBRE et al., 2009 apud LAWRENCE; VANDECAR, 2014)

Por fim, sabe-se que a variação em P depende também do tamanho da área natural convertida em outros usos. O aumento do ar quente sob pequenas áreas desmatadas reduz a pressão atmosférica local, estimulando o influxo de umidade das áreas florestadas circundantes. Em consequência, há aumento da convecção e formação de nuvens que agem favorecendo a precipitação naquele local (SAAD et al., 2010; KHANNA et al., 2017). No entanto, à medida que a áreas desmatadas aumentam, esse sistema se enfraquece pela redução da umidade vinda da vegetação nativa, resultando numa queda de P (LAWRENCE; VANDECAR., 2014).

### 2.3.3 Estudos sobre a Mudança do Uso e Cobertura da Terra no Cerrado e Clima Regional

Mais recentemente, observa-se um número crescente de estudos que avaliam o impacto climático do LUCC no bioma Cerrado. No trabalho pioneiro de Hoffmann e Jackson (2000), um modelo climático de circulação geral foi acoplado a um modelo de superfície terrestre, e o cenário usado foi a substituição das savanas tropicais do mundo por pastagens.

Para o Cerrado brasileiro, os autores reportaram que a substituição radical da vegetação natural resultaria em aumento de 0,5°C na temperatura média, numa redução de 151 mm (9,5%) da chuva média anual, de 93 mm (8,6%) da evapotranspiração anual ( $\alpha = 0,05$ ). Além disso, os autores prognosticaram também um prolongamento da estação seca no bioma, com redução da precipitação nos meses de março e dezembro (Figura 2-12).

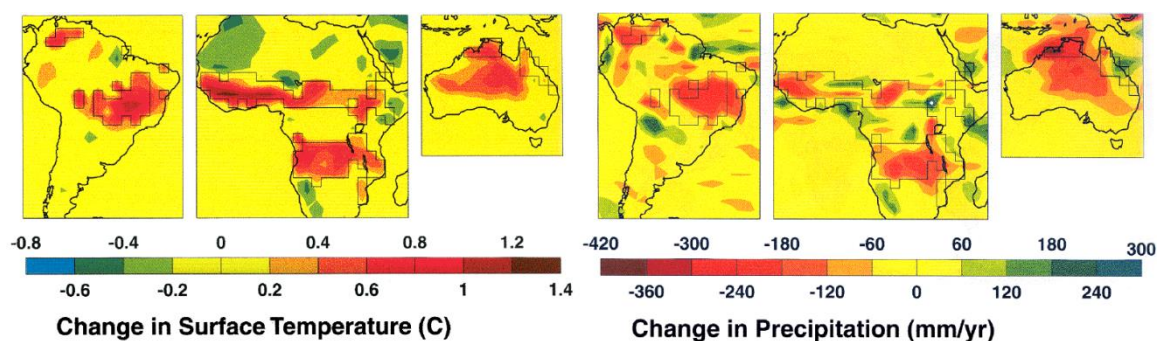


Figura 2-12. Mudanças na temperatura anual média °C (A) e precipitação anual média (mm/ano-1) (B) em consequência da conversão das savanas tropicais em pasto. O Cerrado encontra-se no primeiro quadrante da figura A e B (fonte: HOFFMANN e JACKSON, 2000).

Utilizando um cenário mais pessimista, Synder et al.(2004) verificaram que a conversão de todas as savanas mundiais (incluindo o Cerrado) em deserto (solo exposto) impactaria principalmente a precipitação. Esse cenário levaria a redução de  $1,1\text{mm dia}^{-1}$  (32%) da precipitação global, e maior redução absoluta nos meses chuvosos (DJF), média de  $2,1\text{ mm dia}^{-1}$ . A região do Cerrado teria  $1,0\text{ mm.dia}^{-1}$  (29%) a menos de chuva, considerando a média anual, e  $2,4\text{ mm.dia}^{-1}$  (~ 70%) de redução na estação chuvosa (DJF).

Os mesmos autores observaram que, proporcionalmente à área do bioma, a precipitação média global foi mais afetada pelo desmatamento das savanas do que o desmatamento em qualquer outro bioma, inclusive das florestas tropicais. A maior parte dessa redução aconteceu no interior das próprias savanas desmatadas, o que indica o importante papel da vegetação no clima local, em oposição às florestas tropicais, que influenciam também o ciclo hidrológico de larga escala (SNYDER et al., 2004) (Figura 2-13).

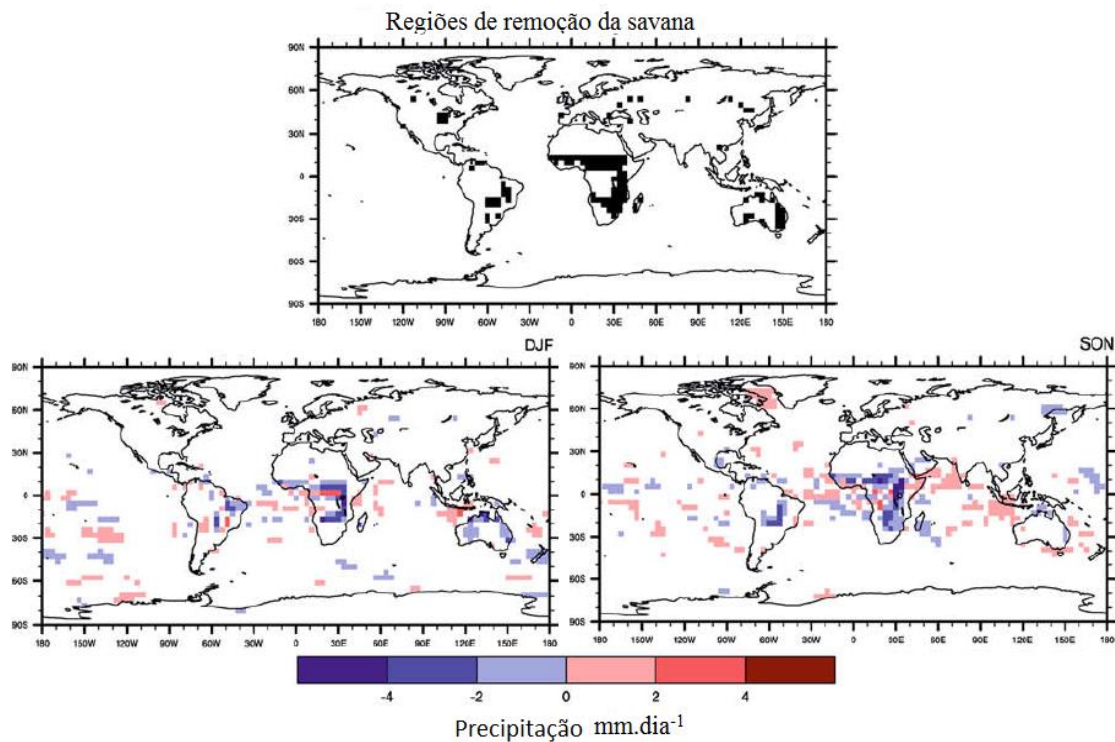


Figura 2-13: Distribuição global das mudanças na precipitação ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) nos meses chuvosos (quadro inferior esquerda) e nos meses da primavera (quadro inferior direita), devido a remoção da vegetação das savanas (quadro superior). Adaptado de SNYDER; DELIRE; FOLEY (2004).

A análise conjunta de dados observacionais e modelos climáticos, elaborada por Lee et al. (2011), constitui uma forte evidência de que o LUCC no Cerrado contribui para as

alterações climáticas regionais. Esses autores avaliaram a variação da precipitação nas áreas *cores* do Cerrado e Amazônia entre os períodos 1979-1992 e 1993-2006 a partir de uma combinação de dados estimados (sensores infravermelho e micro-ondas) e observados (pluviômetros) de P, obtidos do Projeto Climatológico de Precipitação Global – PGCP (ADLER et al., 2003). A diferença entre as médias desses dois períodos resultou na redução em P na região do Cerrado, quadrado marrom (Figura 2-14 A).

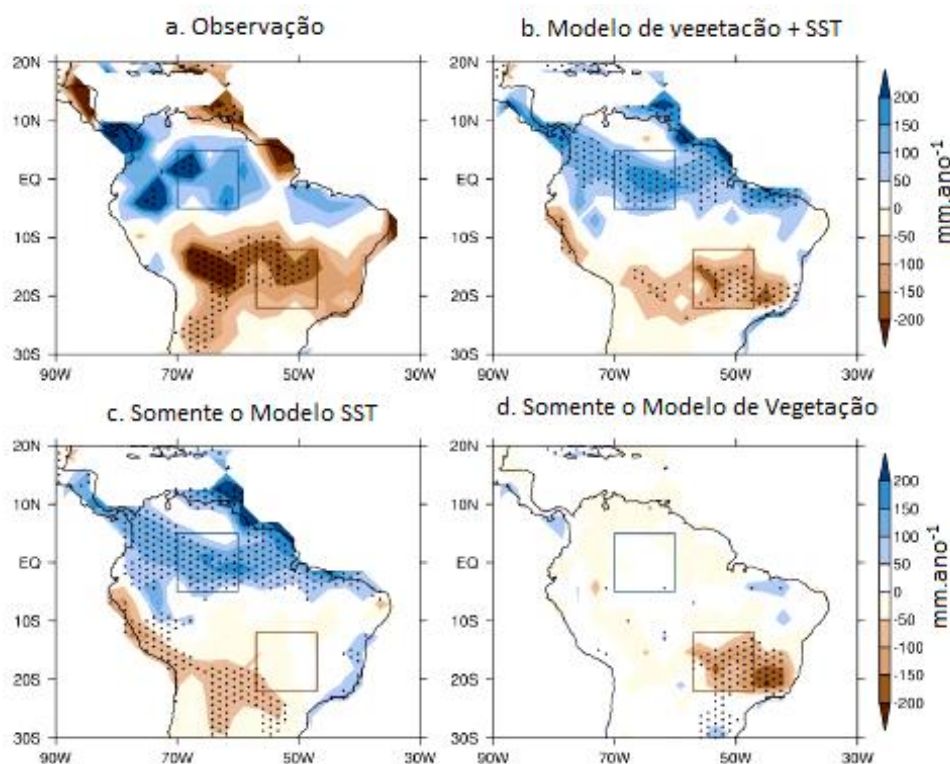


Figura 2-14: (a) Variação na precipitação observada a partir do Projeto Climatológico de Precipitação Global (GPCP – sigla em inglês) (Adler et al., 2003); (b) a partir das simulações climáticas utilizando as variações de LUCC e SST; (c) somente os efeitos de SST (c); e (d) somente os efeitos de LUCC, considerando a diferença entre o NDVI de um cenário de vegetação sem interferência humana e NDVI obtido pela vegetação no ano de 2003. Áreas pontilhadas indicam uma diferença estatisticamente significativa ( $P < 0,05$ ). (Fonte: LEE et al., 2011.)

Para entender as causas dessa queda em P, esses mesmos autores utilizaram modelos climáticos, incluindo efeitos de variações naturais - aquecimento da superfície do oceano (SST – sigla em inglês para Sea Surface Temperature) - e antrópicas (LUCC), este último estimado por variações no NDVI da vegetação entre o Cerrado original e o Cerrado em 2001/2003.

As simulações (Figura 2-14 B-D) só se aproximam dos resultados observacionais (Figura 2-14 A) quando ambos os forçantes foram considerados conjuntamente: variações

na SST e no LUCC no período (Figura 2-14 B). Adicionalmente, o LUCC no Cerrado foi responsável por 85% da redução da precipitação modelada (Figura 2-14 D) (Tabela 2-2). Por último, as simulações também indicaram aumento da frequência de meses secos ( $P < 10$  mm.mês<sup>-1</sup>) durante o período observado, o qual foi causado predominantemente, pela conversão do Cerrado (LEE et al., 2011).

Tabela 2-2:Diferenças na precipitação e temperatura obtidas a partir da simulação devido ao SST, vegetação, e SST e vegetação em conjunto no norte (latitude: 5°S-5°N, longitude 70°W-60°W) e sul (latitude: 10°S-0°, longitude 60°W-50°W) da América do Sul. As observações foram obtidas a partir do GPCP para a precipitação e GHCN para a temperatura. Adaptado de LEE et al. (2011).

		$\Delta P$ (mm/ano) entre 79-92 e 93-06		$\Delta T$ (°C)
		Amazônia	Cerrado	Sul
Modelo Climático	SST	+108 ( $\pm 160$ )	-12 ( $\pm 124$ )	+0.2 ( $\pm 0.34$ )
	Vegetação	+13 ( $\pm 150$ )	-70 ( $\pm 131$ )	+0.5 ( $\pm 0.40$ )
	Total	+125 ( $\pm 160$ )	-82 ( $\pm 132$ )	+0.7 ( $\pm 0.35$ )
Observação (GPCP)		+127 ( $\pm 148$ )	-70 ( $\pm 146$ )	+0.5 ( $\pm 0.22$ )

Num estudo mais recente, Salazar et al. (2016) compararam o impacto das alterações biofísicas sobre o clima do Cerrado devido ao LUCC caracterizado pela mudança entre o Cerrado sem alteração e o bioma atual (dados de 2005). Os autores reportaram que a conversão do Cerrado em lavouras/pastagens reduziu o índice de área foliar (LAI), a rugosidade aerodinâmica, e aumentou o fluxo de calor sensível e o albedo. Essas mudanças biofísicas, por sua vez, causaram aumento da temperatura (+0,68°C), redução na evapotranspiração (-8%) e na precipitação (-5%) do bioma, embora esta última variável tenha apresentado poucos pixels com redução significativa. Novamente, todas as alterações foram mais significativas durante a estação seca (SALAZAR et al., 2016).

Em relação aos estudos baseados em dados observacionais destacam-se dois trabalhos: Debortoli et al. (2016) e Spera et al., (2016). O primeiro analisou as tendências históricas de 207 estações pluviométricas durante 1971 - 2010 distribuídas na faixa de transição entre o bioma Amazônia e Cerrado, e posteriormente correlacionou com a cobertura florestal nas proximidades de cada estação (raio de 1-50 km). A maior parte das séries com tendências negativas estavam localizadas no noroeste de Rondônia e demais regiões do Cerrado, o que coincidia nas áreas mais afetadas pelo desmatamento.

Spera et al. (2016), por sua vez, analisaram as possíveis alterações climáticas ocasionadas pelo LUCC exclusivamente na região do MATOPIBA (parte setentrional do bioma Cerrado). A Figura 2-15 mostra que a evapotranspiração apresentou uma correlação



linear negativa significativa com a conversão da vegetação nativa para agricultura. O plantio de duas culturas num mesmo ano (soja seguido de milho, por exemplo) impactou menos as taxas de evapotranspiração do que o plantio de uma cultura somente (somente soja).

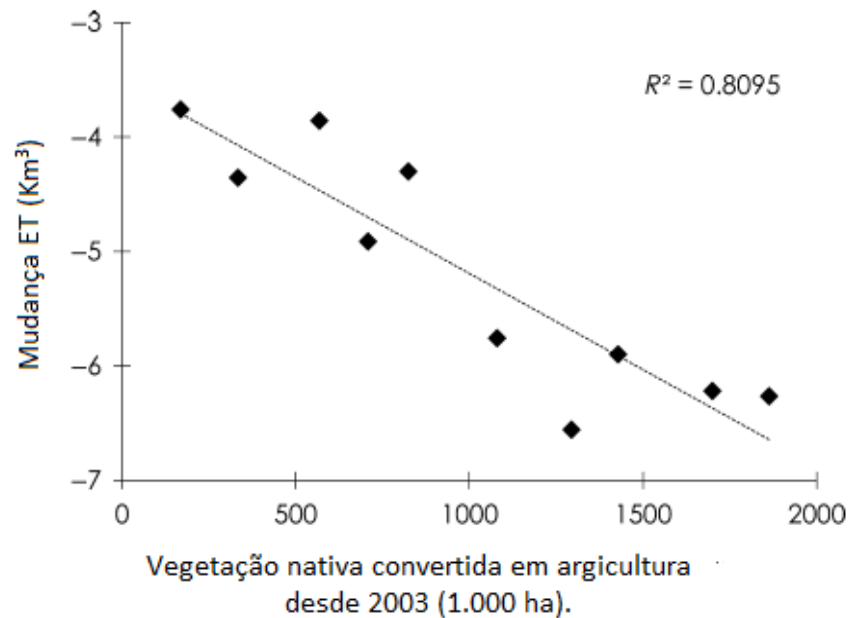


Figura 2-15: Relação entre a conversão do Cerrado em agricultura e a evapotranspiração durante a estação seca (junho- agosto). Cada ponto representa um ano no período 2003-2013. Adaptado de SPERA et al., (2016)

A Figura 2-16 resume as alterações que ocorrem na camada limite entre a superfície terrestre e atmosfera resultante do LUCC. Com exceção do albedo que aumenta, ocorre a redução em todos os outros parâmetros biofísicos (comprimento da rugosidade, fluxo de energia e evapotranspiração) por causa da modificação na cobertura natural do Cerrado.

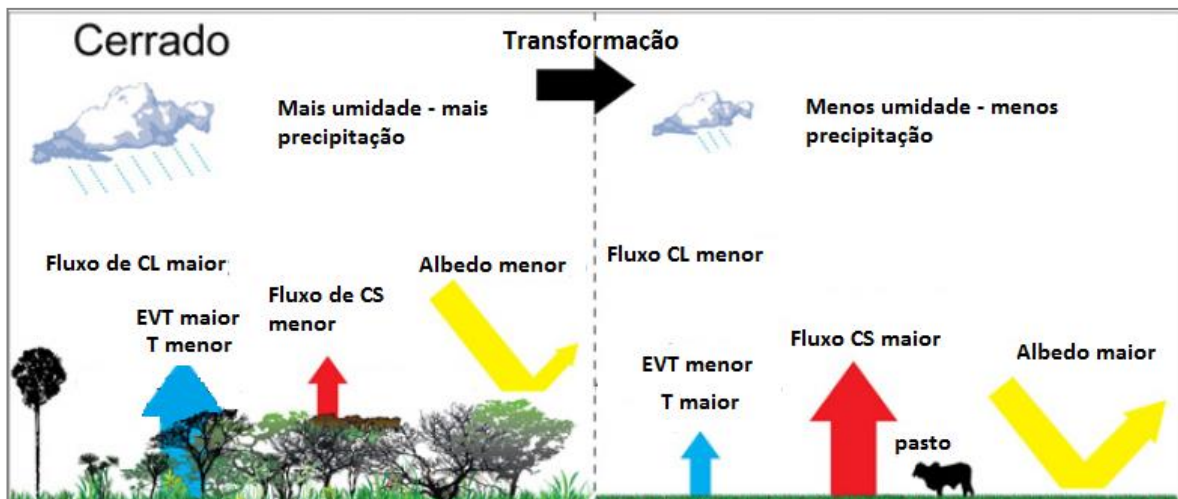


Figura 2-16. Alterações nos processos biofísicos após o desmatamento no Cerrado. Fonte: Salazar et al. 2015.

Em função da localização geográfica e das características morfológicas da vegetação do Cerrado, a evapotranspiração apresenta ser, dentro os parâmetros biofísicos, o mais impactado, e, portanto, com maior relevância para o clima regional (COSTA; PIRES, 2010; GEORGESCU et al., 2013; SPERA et al., 2016). As principais causas da alteração da evapotranspiração no Cerrado após o LUCC incluem a redução na densidade e profundidade das raízes (HOFFMANN; JACKSON, 2000; COSTA; PIRES, 2010), e a redução do LAI (LEE et al., 2011).

Os efeitos climáticos são conspícuos para a temperatura, que aumentou em todas análises e variaram de + 0.5°C até + 1.2°C. Já para a precipitação, existem mais evidências da sua redução em função do LUCC (HOFFMANN; JACKSON, 2000; SNYDER et al., 2004; COSTA; PIRES, 2010; LEE et al., 2011; DEBERTOLI et al., 2016; SALAZAR et al., 2015; 2016), do que ausência de efeito (PONGRATZ et al., 2006). Mesmo assim, os resultados dos estudos acima apresentam grande variabilidade das respostas de P (- 3% até - 29%).

De acordo com os estudos supracitados, a redução na precipitação após o LUCC ocorre principalmente nos meses de estiagem, provavelmente devido ao maior papel da evapotranspiração/umidade continental durante essa época do ano, em função do bloqueio dos fenômenos climáticos de grande escala, causadores de chuva no bioma (KANAE; OKI; MUSIAKI, 2001; SNYDER et al., 2004; VANDER ENT et al., 2010; LEE et al., 2011; KEYS et al., 2016).

Ainda nesse contexto, destaca-se o preocupante processo de *feedback* positivo que pode ocorrer entre clima e vegetação. A redução na precipitação devido ao desmatamento do Cerrado - como previsto pelos modelos - poderia ser suficiente para induzir uma redução arbórea bem como mudanças na fitofisionomia da vegetação. Esta por sua vez, impactaria nos processos biofísicos, levando a um ecossistema mais seco, configurando o *feedback* positivo entre vegetação - clima (MALHADO; PIRES; COSTA, 2010).

Tendo em vista a rápida mudança no uso da terra do bioma Cerrado nos últimos 50 anos, bem como as evidências científicas de que a chuva no bioma já está sofrendo alterações, a presente dissertação objetivou verificar se a precipitação no bioma já sofreu alguma alteração nas últimas décadas, usando dados observados em postos representativos, e se esta alteração está relacionada com o desmatamento da região.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 DESMATAMENTO NO CERRADO**

##### **3.1.1 Base de dados espaciais sobre desmatamento**

Os dados espaciais de cobertura vegetal do Cerrado utilizados nesse estudo foram produzidos no âmbito do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Biodiversidade - PROBIO - pelo Centro de Sensoriamento Remoto (CSR) do IBAMA. Os mapas estavam em formato vetorial e escala de 1:250.000, e foram obtidos a partir de imagens *Landsat 5*, sensor ETM+, para o ano de 2010 (CSR/IBAMA, 2011b). Os dados dos limites do bioma Cerrado e dos estados foram obtidos a partir de *shapes* do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O total desmatado para cada área de interesse foi obtido através da tabela de atributos.

##### **3.1.2 - Taxa Anual de Desmatamento e Série Temporal de Desmatamento**

O monitoramento do bioma Cerrado a partir de imagens de satélites é relativamente recente (BRANNSTROM et al., 2008), o que acaba prejudicando estudos que necessitam de dados mais antigos. Além disso, as estimativas das classes de uso e cobertura da terra do bioma, obtidas por imagens de satélite, diferem entre os trabalhos disponíveis, o que provavelmente é resultado das diferentes escalas e projeções utilizadas em cada estudo (MMA, 2015), ou pela acurácia das tecnologias dos levantamentos.

Dentre as propostas dessa pesquisa, está a construção de uma série temporal de desmatamento do Cerrado para posterior correlação com a série pluviométrica regional. No entanto, só existem registros de monitoramento anual contínuo por imagens de satélite do bioma a partir de 2002 (MMA, 2014). Os dados disponíveis na literatura, que antecedem o monitoramento, compreendem valores de desmatamento acumulado por um período de tempo. Em vista dessa limitação, fez-se necessário estimar as taxas anuais de desmatamento do Cerrado desde o seu início até a data em que o monitoramento iniciou-se de fato.

Dessa maneira, para obter as taxas anuais de desmatamento e, por conseguinte, a série temporal de desmatamento acumulado do bioma, adotou-se as seguintes premissas:

1. O desmatamento significativo no Cerrado teve início em 1970; Antes desse período, o uso da terra no bioma era basicamente representado pela pecuária, a qual utilizava pastagem nativa, e, por isso, apresentava pouca modificação da paisagem do Cerrado. (ARANTES et al., 2016; SALAZAR et al., 2015).

## 2. Área do bioma: 2.039.243 Km<sup>2</sup>

Nessa etapa, buscou-se por dados mais recentes, uma vez que, somente os valores numéricos eram suficientes para os cálculos das taxas anuais de desmatamento e da série temporal. Dessa forma, utilizou-se os valores do projeto TerraClass Cerrado (MMA, 2105), obtidos por imagens de 2013 do satélite *Landsat 8*, sensor *OLI*. Conforme explicado anteriormente, é possível encontrar valores que diferem da área utilizada (2.039.243 Km<sup>2</sup>) em função dos aspectos inerentes a cada tecnologia utilizada para o levantamento das informações espaciais.

## 3. Área total desmatada estimada até 2010

A série temporal de desmatamento foi elaborada até o ano de 2010, que equivale ao mesmo período da série temporal pluviométrica disponível, como será explicado mais adiante. A área total desmatada até 2010 teve como limite máximo 928.025 Km<sup>2</sup> (45,5% da área total do Cerrado), já que esse valor se refere ao total desmatado para o ano de 2013 (dados do TerraClass – MMA, 2015). Ou seja, a área desmatada acumulada até 2010 tinha que ser inferior à área obtida para o ano de 2013.

## 4. Adoção de estimativas das taxas anuais

As estimativas de taxas anuais de desmatamento anteriores a 2002 foram provenientes da literatura (Tabela 3-1). Vale ressaltar que existem outras estimativas (Tabela 2-1) - como as apresentadas no relatório PPcerrado (MMA, 2014) - mas que essas foram escolhidas em razão da maior adequação (da área) às premissas adotadas nos itens acima (1, 2 e 3).

Tabela 3-1. Estimativas da taxa anual média de desmatamento do Cerrado.

Período	Taxa média (Km <sup>2</sup> . ano <sup>-1</sup> )	Total do Período Km <sup>2</sup>	Fonte
1970 -1975	40.784	244.709	KLINK e MOREIRA (2002)
1976 - 1992	25.490	433.339	MUELLER e MARTHA ( 2008)
1993 - 2001	13.662	122.966	GANEM; DRUMMOND e FRANCO, (2008)
2002 - 2008	14.274	99.922	(CSR/IBAMA, 2011a)
2008 - 2009	7.545	7.545	(CSR/IBAMA, 2011a)
2009 - 2010	6.525	6.525	(CSR/IBAMA, 2011b)

Para a construção da série temporal de desmatamento de 1970 – 2010, os valores referentes às taxas anuais obtidos anteriormente foram plotados e acumulados ano a ano, utilizando o software MS-Excel. Também foi construída a série temporal da vegetação

remanescente, através da subtração da área total (2.039.243 Km<sup>2</sup>) pela área desmatada anualmente.

A seguir é apresentado um fluxograma que esclarece os dados utilizados para cada uma das análises relacionadas ao desmatamento do bioma.

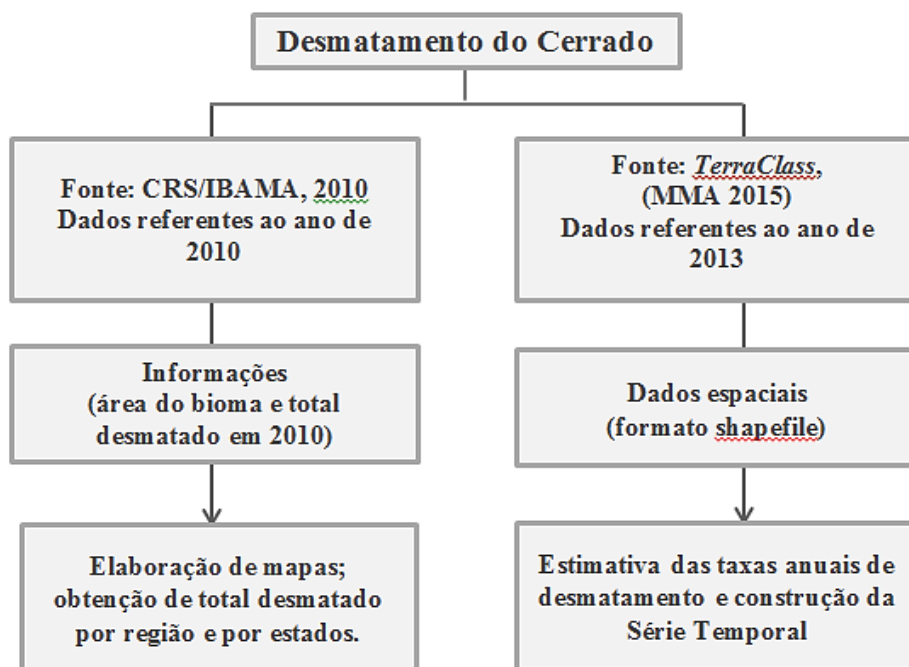


Figura 3-1. Síntese dos dados e análises de desmatamento. Fonte: a autora.

## 3.2 ORGANIZAÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO

Dados pluviométricos de estações contidas no Cerrado foram levantados para o período do processo de desmatamento (1970 - presente), incluindo postos nos nove estados core do bioma: Maranhão, Piauí, Tocantins, Bahia, Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

### 3.2.1 Seleção das estações e obtenção dos dados pluviométricos

As estações pluviométricas com dados diários de precipitação acumulados mensalmente foram obtidas pela plataforma Hidroweb da Agência Nacional das Águas - ANA ([www.hidroweb.ana.gov.br](http://www.hidroweb.ana.gov.br)). Na plataforma, foi feita uma busca de todas as estações que se localizavam dentro da área de estudo. Após o download dos dados das estações, foram selecionadas aquelas com séries históricas que cobriam o período de interesse e que não apresentassem erros grosseiros ou falhas significativas nos dados (ANA, 2012). Obteve-se um total de 125 estações com diferentes tamanhos de séries, e registros iniciando a partir de 1950 (Figura 3-2).

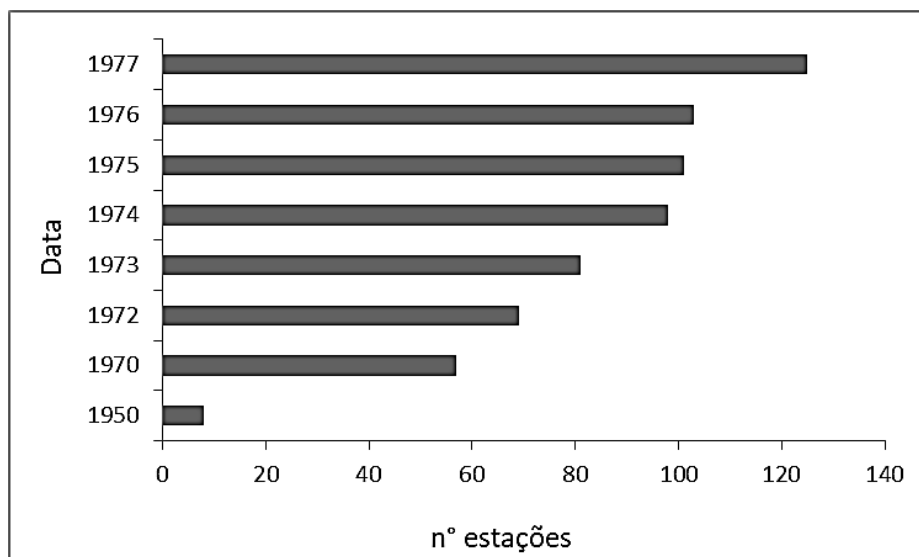


Figura 3-2: Data de início das estações pluviométricas com períodos contínuos. Fonte: autora.

Com o intuito de trabalhar com uma maior representação temporal e espacial, bem como com séries temporais com períodos idênticos e contínuos, optou-se por utilizar os 125 postos pluviométricos com 34 anos de dados contínuos (01/01/1977 - 31/12/2010). Assim, o tamanho da série utilizada neste estudo satisfaz o período mínimo de 30 anos recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (WMO) para obtenção de normais climatológicas (WMO, 1989).

### 3.2.2 Identificação de falhas nas séries de dados

É comum encontrar inconsistências nos registros de precipitação, devido principalmente ao mau funcionamento do equipamento por um período, obstrução do posto de observação pelo crescimento da vegetação, mudança de local, e anotações erradas de dados no caso de postos convencionais (TUCCI, 2009; DI PIAZZA et al., 2011). Por isso, após a seleção e organização dos dados em totais mensais, as séries históricas de precipitação das estações selecionadas foram submetidas à verificação visual, estação por estação, para a identificação de falhas, e posterior preenchimento. Valores muito discrepantes (outliers) em relação à média histórica mensal e à média das estações vizinhas foram descartados (TUCCI, 2009).

Para o conjunto das 125 estações com 34 anos de dados, foram constatadas 163 falhas mensais, de um total 51.000 meses, o que corresponde a 0,31% das séries de dados. As falhas identificadas se dividiram da seguinte forma: 62 estações (50% do total) estavam com a série temporal completa; 53 estações (42%) apresentaram algum ano com no máximo dois meses faltantes; e somente 10 estações (8%), tiveram falha em mais de dois meses em um único

ano. Nesse último caso, 6 (seis) estações apresentaram um único ano com três meses faltantes (0,73% falha); 3 (três) estações tiveram um único ano com seis a oito meses faltantes (1,7%); e somente uma (01) estação teve um ano completo faltante.

Dessa forma, foram descartadas as séries pluviométricas com mais de 3% de falha mensal (RÍO et al., 2011). O percentual de integridade de cada estação pluviométrica pode ser visualizado no Apêndice A.

### 3.2.3 Preenchimento das falhas nas séries históricas

Foram usados dois métodos distintos para o preenchimento das falhas nas séries pluviométricas: o de DEBORTOLI et al. (2015) e RÍO et al. (2011); e outro, comumente utilizado por pesquisadores brasileiros (ANA, 2012). O processo de preenchimento foi feito na escala mensal, da seguinte forma:

a) Média Histórica Mensal: se o posto pluviométrico analisado apresentava falhas de até dois meses num determinado ano “x”, esses meses eram preenchidos pela média histórica mensal do posto (DEBORTOLI et al., 2015; RÍO et al., 2015).

b) Regressão Linear Simples: quando existiam mais de dois (02) meses faltantes em um único ano, usando dados de uma estação próxima, com características físicas e climáticas semelhantes da estação com dados faltantes (ALEXANDRE et al., 2010; TUCCI, 2009; ANA, 2012). A partir dos dados que essas estações tinham em comum (período mínimo de 10 anos), obteve-se uma regressão linear do tipo:

$$y = \alpha + \beta x + e \quad (3-1)$$

Onde,

y é a precipitação mensal a ser estimada na estação Y (mm);

x é a precipitação mensal da estação X (mm)

$\alpha$  e  $\beta$  são os coeficientes de ajuste do modelo;

e “e” representa o erro.

O modelo acima foi então utilizado para obter o valor estimado do mês faltante a partir do mês observado na estação com dados conhecidos. Vale ressaltar que foi utilizada uma equação para cada mês faltante de cada par de estações. O resultado do preenchimento das séries foi considerado satisfatório quando o coeficiente de determinação foi superior a 0,7 (OLIVEIRA et al., 2010; VILANOVA, 2014). Se o  $r^2$  entre os dados das estações foi



inferior a 0,7, as estações foram submetidas à análise de consistência, a fim de verificar a confiabilidade dos dados.

### 3.2.4 Análise de Consistência

A análise de consistência dos dados de chuva é fundamental para avaliar a existência de erros sistemáticos e a coerência dos valores do posto pluviométrico. Com ela, verifica-se se os valores do posto de comparação são consistentes com os valores do posto analisado. A análise de Dupla Massa (ALEXANDRE et al., 2010; TUCCI, 2009) foi aplicada nesse estudo, por ser um método bastante utilizado para essa finalidade (ANA, 2012).

Dessa forma, o primeiro passo consistiu em dividir as 125 estações em blocos, de acordo com a proximidade e semelhança entre as médias anuais de precipitação. Dentro dos blocos, cada estação foi comparada com as vizinhas da seguinte maneira: os valores da precipitação acumulados anualmente da estação a ser consistida foram plotados no eixo das ordenadas, e a média dos valores anuais acumulados das demais estações dentro do bloco foi plotada no eixo das abscissas.

A Figura 3-3 ilustra o gráfico de consistência esperado para análise, o qual foi obtido a partir estação Itacajá (SP). A garantia de consistência satisfatória dos dados foi verificada pelo ajuste dos pontos em uma linha aproximadamente reta e pelo valor de  $R^2$  (SAYEMUZZAMAN, M.; JHA, 2014; FURLAN, 2009; TUCCI, 2009).

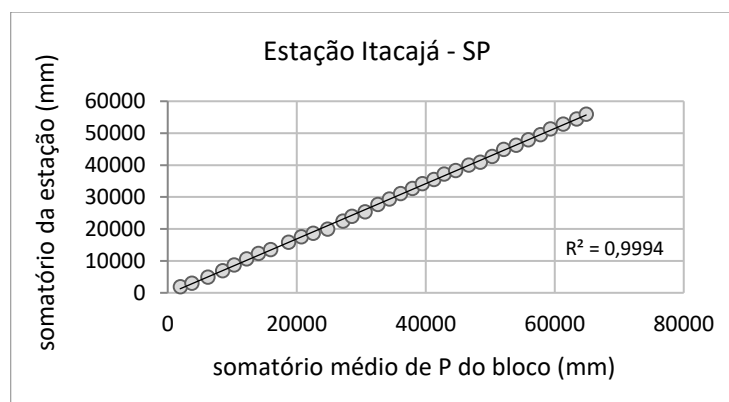


Figura 3-3. Exemplificação da análise de consistência a partir do Método Dupla Massa. Fonte: autora.

O resultado individual da análise de consistência dos postos selecionados pode ser visualizado no Apêndice A, onde se observa que todos os postos pluviométricos atenderam ao critério de  $r^2 > 0,99$ . Ou seja, os postos utilizados apresentam homogeneidade entre si.

Portanto, após o preenchimento de falhas e análise de consistência, as 125 estações foram consideradas adequadas para os tratamentos estatísticos subsequentes.

Na Figura 3-4 é possível ver a espacialização das estações utilizadas no estudo. Outros detalhes, como coordenada geográfica e código do posto podem ser verificados no Apêndice A.

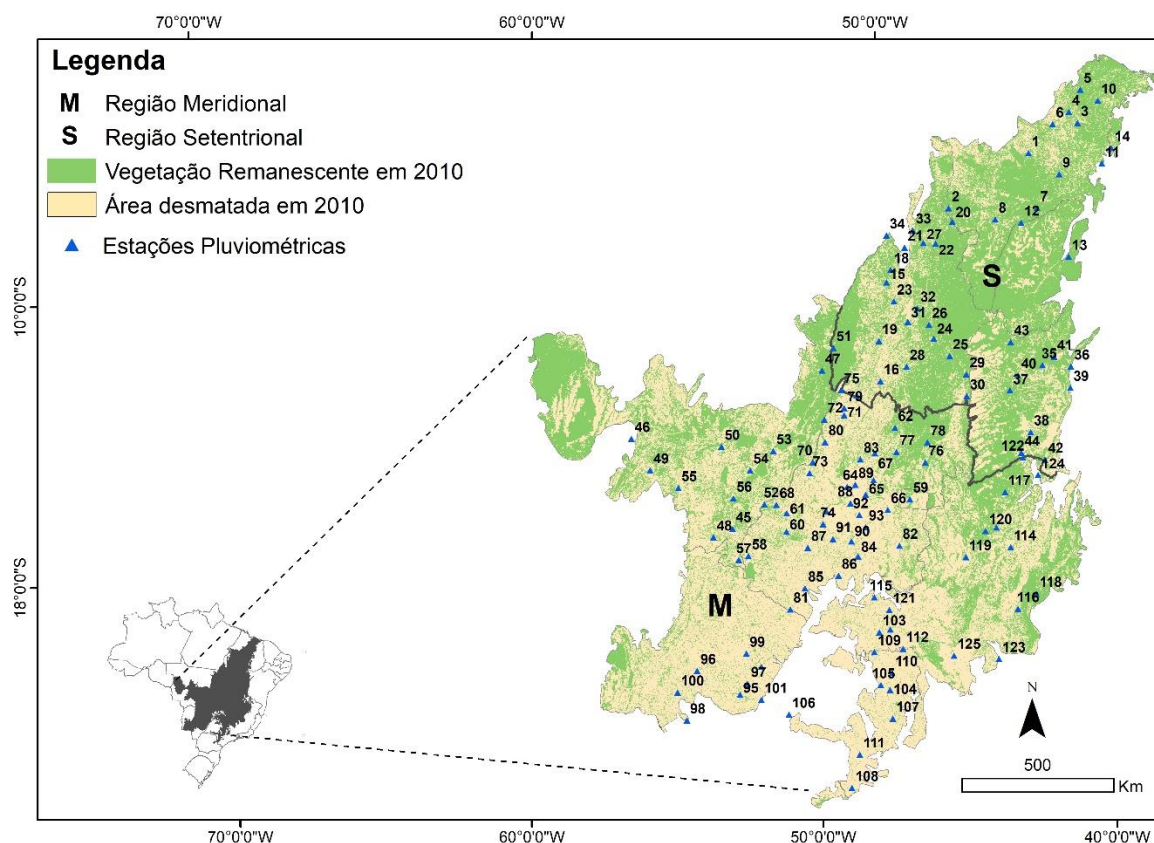


Figura 3-4: Localização das estações utilizadas no estudo com série temporal de 34 anos. Fonte: a autora.

### 3.3 SÉRIES HISTÓRICAS DE PRECIPITAÇÃO

Após a definição das estações pluviométricas e respectivos preenchimentos de falhas e análises de consistência, foram elaboradas as séries temporais de precipitação, anuais e mensais, individuais e regionais, todas com 34 anos de dados.

A série anual de cada posto foi obtida a partir da soma de todos os valores de precipitação mensal total para cada ano. No caso das séries mensais individuais, os valores de precipitação de cada mês durante o período de 34 anos foram selecionados para construção da série. Por exemplo, para o posto pluviométrico, “Sítio Grande – BA” foram

geradas uma série anual e doze (12) séries mensais, uma para cada mês do ano. Ao todo, obteve-se 1.500 séries individuais mensais (125 postos pluviométricos x 12 meses).

Além dessas, foram elaboradas três (3) séries regionais anuais, englobando todo o Cerrado, sua Região Setentrional e sua Região Meridional, as quais foram obtidas a partir das médias aritméticas anuais de precipitação das estações contidas em seus limites, conforme reportado por Almeida et al. (2017). Assim, as séries das regiões Setentrional e Meridional foram o resultado da média de 44 e 81 estações, respectivamente, enquanto que a série do Cerrado englobou a média de todas as 125 estações do bioma.

Para construção das séries regionais mensais procedeu-se da mesma forma, sendo essas resultado da média mensal de precipitação das estações contidas em seus limites. Ao final, obteve-se 36 séries regionais mensais (3 regiões x 12 meses).

O objetivo de analisar as regiões (Setentrional e Meridional) separadamente foi verificar se o processo de uso da terra que ocorreu em cada uma impactou de forma diferente nos regimes de chuva das mesmas. Assim, foram analisadas as seguintes séries:

- a) Série histórica anual individual (125);
- b) Série histórica mensal individual (1.500);
- c) Série histórica anual do Cerrado, Região Setentrional e Região Meridional (3);
- d) Série histórica mensal do Cerrado, Região Setentrional e Região Meridional (36).

De acordo com Kanae, Oki e Musiake (2001), os estudos do efeito climático do LUCC devem considerar as características climáticas de cada período do ano da região em estudo. Isso decorre do fato de que o papel da vegetação (evapotranspiração) na precipitação é muito mais facilmente identificado quando não há fatores climáticos de larga escala atuando (KANAE, OKI E MUSIAKE, 2001).

Essa informação é fundamental para o Cerrado, que apresenta alta sazonalidade, sendo o período chuvoso (DJF) determinado pela ZCAS e ZCIT (SILVA, 2008), e o seco (JJA), predominantemente dependente da evapotranspiração reciclada (VAN DER ENT et al., 2010; COSTA; PIRES, 2010; GIMENO et al., 2012). Por essa razão, as análises de séries de precipitação mensal foram realizadas.

### 3.4 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS

A análise exploratória dos dados (EAD) diz respeito a um conjunto de métodos gráficos que permite avaliar tendências e explorar visualmente os dados. A EAD é muito útil, em um primeiro momento, para identificar *outliers* e falhas, fazer suposições necessárias para levantar hipóteses e aplicar os testes estatísticos necessários, e, posteriormente, uma forma objetiva de representar os resultados e melhorar a compreensão (KUNDZEWICZ; ROBSON, 2000).

Dentre as ferramentas da EAD está a regressão LOWESS (*Locally Weighted Scatterplot Smoothing*), que permite entender melhor a relação entre as variáveis dependente e independente, a partir de uma função suavizadora (KUNDZEWICZ; ROBSON, 2000). A curva do LOWESS é obtida a partir da atribuição de um peso para um conjunto de vizinhos próximos a  $xt$ , (quanto maior for a proximidade, maior o peso) e uma regressão baseada no peso para obter o valor de  $y$  estimado. Dessa forma, quanto maior o número de vizinhos selecionados, maior a suavização (SHUMWAY; STOFFER, 2011).

No presente estudo, a regressão LOWESS foi utilizada em séries anuais de precipitação e calculada pelo pacote R (versão 3.3.3, função LOWESS), utilizando a média dos três vizinhos mais próximos. O principal objetivo do seu emprego foi observar graficamente o padrão da precipitação ao longo da série - por meio da redução de flutuações locais - e eventuais mudanças abruptas (TAXAK; ARYA, 2014; AHMAD et al., 2015).

### 3.5 TENDÊNCIAS NAS SÉRIES HISTÓRICAS DE PRECIPITAÇÃO

Diferentes testes estatísticos são utilizados para detecção de tendências e rupturas em séries temporais hidrológicas e meteorológicas, as quais são classificadas em dois grupos: paramétricos e não paramétricos.

Os testes paramétricos são mais poderosos quando há certeza quanto à normalidade da distribuição dos dados. Já os testes não paramétricos requerem independência dos dados, mas são mais resistentes aos efeitos dos *outliers* em comparação aos paramétricos (AHMAD et al., 2015). Assim, como raramente os dados pluviométricos apresentam uma distribuição normal (MAIDMENT, 1992), análises não paramétricas foram usadas no presente estudo.

#### 3.5.1 Análise de autocorrelação serial

O uso de testes não paramétricos requer que os dados sejam não correlacionados serialmente, ou seja, independentes. A autocorrelação em séries temporais hidrológicas ocorre quando um dado no tempo  $t$  depende de outro dado  $t-k$ , para  $k = 1, 2, \dots$ . Embora seja

incomum, pode ocorrer autocorrelação de séries históricas anuais e mensais de precipitação quando essas forem não homogêneas (MAIDMENT, 1992).

A detecção de autocorrelação foi verificada graficamente pela função “*acf*” no pacote estatístico *R* (versão 3.3.3), a partir do cálculo da função de autocorrelação para o lag 1(*r*), considerando o nível de significância de 5%. Essa função produz um correlograma, onde o eixo x apresenta o valor de *lag*, e o eixo y, o coeficiente de autocorrelação (*rk*) para cada *lag*. Para que não haja autocorrelação na série, as barras devem ficar dentro dos limites de confiança (linhas pontilhadas), representados pelo valor de *rk* para o nível de significância de 5% (COWPERTWAIT; METCALFE, 2009).

A Figura 3-5 ilustra o resultado obtido para uma das estações. Pode-se observar que as autocorrelações são aproximadamente zero, com exceção da primeira (*lag* = 0) que por definição é sempre igual a 1. Esse cálculo foi aplicado para todas as estações, no qual não foi identificada nenhuma série autocorrelacionada em relação ao tempo, permitindo que os testes não paramétricos fossem aplicados às mesmas.

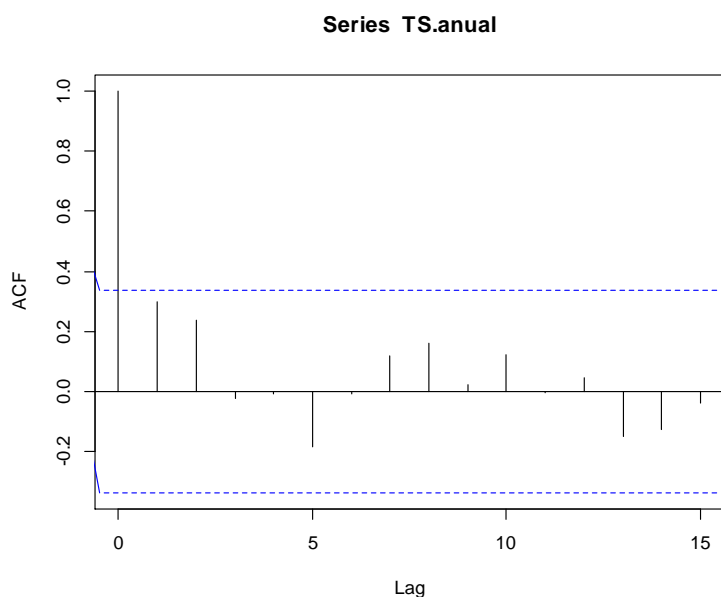


Figura 3-5: Correlograma para a estação “Vale do Gurgueia- PI”, durante o período de 1977-2010 apresentando série temporal independente (sem autocorrelação). Fonte: a autora

### 3.5.2 Teste de tendência (Mann-Kendall)

O teste não paramétrico de Mann-Kendall (MK) foi utilizado para detectar tendências nas séries temporais de precipitação, independentemente do tipo de função de

tendência. Este teste é amplamente utilizado na literatura (MOURATO et al. 2010; AHMAD et al., 2015; BISHT et al., 2017; SANOGO et al., 2015; DEBORTOLI et al. 2014).

Tomando-se uma série temporal de  $n$  dados, onde cada valor da série ( $x_i$ ) é comparado com o valor subsequente ( $x_j$ ), a soma dos sinais ( $sgn$ ) de todas as diferenças consideradas representa a variável estatística  $S$  do teste de MK (MANN, 1945; KENDALL, 1975):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n sgn(x_j - x_i) \quad (3-2)$$

$$sgn(x_j - x_i) = \begin{cases} +1; & \text{se } x_j > x_i \\ 0; & \text{se } x_j = x_i \\ -1; & \text{se } x_j < x_i \end{cases} \quad (3-3)$$

A variância nos dados é calculada pela seguinte equação:

$$V(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m i(i-1)(2i+5)}{18} \quad (3-4)$$

Onde,  $m$  é o número de grupos contendo valores iguais na série de dados,  $i$  representa a quantidade de repetições de uma extensão  $i$ .

Mesmo para poucos dados ( $n \geq 10$ ), se pode supor uma distribuição normal, na qual o índice  $Z_{MK}$  pode ser obtido com base nos sinais de  $S$ , dada pela relação:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{V(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{V(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (3-5)$$

Valores positivos de  $Z_{MK}$  indicam uma tendência crescente na série, ao passo que valores negativos de  $Z_{MK}$  indicam uma tendência decrescente. A hipótese nula - de que não há tendência - é rejeitada quando  $Z_{MK} > Z_{1-\alpha/2}$ . Nesse estudo, o teste de MK foi usado para detectar tendência na série temporal para intervalo de confiança igual 95% de probabilidade ( $\alpha = 0,05$ ), o que faz necessário que o valor crítico de  $Z_{MK}$  fosse maior ou igual a 1,96.

O teste de MK foi calculado no software R (*version 3.3.3*), pacote *Trend* (POHLERT, 2018) e empregado para:

a) avaliar tendências nas séries anuais para as 125 estações, Cerrado, Região Setentrional e Meridional;

b) avaliar tendências mensais (para cada um dos 12 meses do ano) para todas as 125 estações e séries regionais (Cerrado, Setentrional e Meridional).

### 3.5.3 Teste da magnitude da tendência (Theil-Sen)

Com o objetivo de avaliar a magnitude da tendência das séries temporais de P, foi aplicado o teste não paramétrico de Theil – Sen (TS) (THEIL, 1950; SEN, 1968). O estimador de declividade de TS ( $\beta$ ) é calculado a partir da mediana de todas as declividades entre todos os pares de pontos na série, representado pela equação:

$$\beta = \text{mediana} \left( \frac{x_j - x_i}{j - i} \right) \text{ para todo } i < j < n \quad (3-6)$$

Onde  $x_i$  e  $x_j$  representam os pontos na série temporal  $i$  e  $j$ , respectivamente ( $i < j$ ). O valor absoluto de  $\beta$  indica a declividade da tendência da série, enquanto o sinal negativo indica decréscimo na tendência, e o positivo, aumento.

A redução/aumento de P em milímetros (mm) no período (1977 – 2010) foi obtida multiplicando a variação anual média de P ( $\beta$  de TS) pelo número de anos (34 anos). Já a magnitude da mudança da precipitação em porcentagem foi obtida de acordo com a equação a seguir (BISHT et al., 2017; TAXAK; MURUMKAR; ARYA, 2014):

$$\Delta x = \frac{T \times \beta}{E(x)} \quad (3-7)$$

Onde T se refere ao tamanho do período, no caso, 34 anos, e E(x), corresponde a média de precipitação respectiva.

Visando espacializar as informações das magnitudes das tendências de P (TS) das estações (dados pontuais), estes foram interpolados no SIG (ArcGIS 10.2) nas áreas do Cerrado, Regiões Setentrional e Meridional, usando-se a função Ponderação pelo Inverso da Distância (IDW) (SHARMA; SAHA, 2017; SAYEMUZZANMAN; JHA, 2014; TAXAK; MURUMKAR; ARYA, 2014). Dessa forma, a variação de P média ao longo dos 34 anos para cada região (Cerrado, Setentrional e Meridional) foi obtida pela estatística da interpolação (média) e não pelo o valor de  $\beta$  (TS) derivado da série regional correspondente.

### 3.5.4 Teste de ruptura da tendência (Pettitt)

Para avaliar o ponto de ruptura nas séries temporais de P, foi utilizado o teste de Pettitt (PETTITT, 1979). Neste teste, a série original é dividida em duas outras séries estacionárias, que contêm distribuição e média diferentes (KUNDZEWICZ; ROBSON, 2000).

A hipótese nula ( $H_0$ ) é de que não há ruptura na série, e a alternativa ( $H_1$ ) de que ela ocorre. O método proposto por Pettitt (1979) se baseia numa reformulação do teste de Mann-Whitney, e pode ser descrito da seguinte maneira:

$$U_t = \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^T \text{sgn}(X_i - X_j) \quad (3-8)$$

Onde,  $\text{sgn}(X) = 1$  se  $X > 0$ ;  $0$  se  $X = 0$  e  $-1$  se  $X < 0$ . O ponto de ruptura mais significativo é identificado onde o valor de  $|U_t|$  é máximo:

$$K_T = \max |U_T| \quad (3-9)$$

Finalmente, a probabilidade aproximada para o ano de ruptura, é dada por:

$$P = 2 \exp^{-6K^2/(T^3+T^2)} \quad (3-10)$$

A estatística foi aplicada para todas as 125 estações do Cerrado, e separadamente para as séries do Cerrado e das Regiões Setentrional e Meridional, utilizado o nível de significância de 5%.

## 3.8 - SÍNTESE DOS MÉTODOS

As etapas usadas nas análises de tendências das séries, descritas acima, seguem as recomendações da WMO (KUNDZEWICZ; ROBSON, 2000), e são resumidas na Figura 3-6.



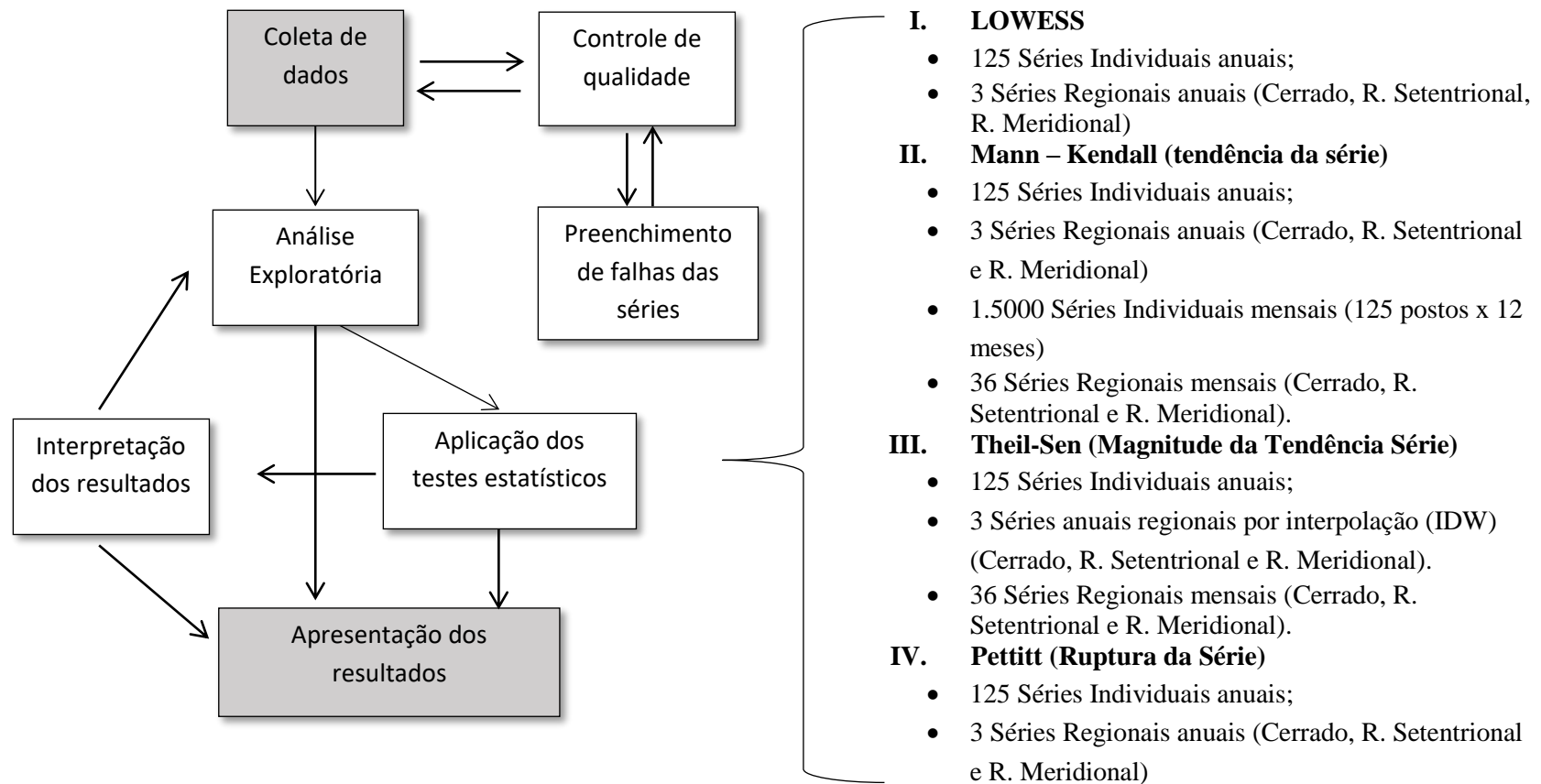


Figura 3-6. Resumo da metodologia aplicada para a análise de tendências de séries históricas nesse estudo. O fluxograma apresenta os principais estágios de uma análise estatística (modificado de KUNDZEWICZ; ROBSON, 2000).

### 3.6 CORRELAÇÃO ENTRE DESMATAMENTO E PRECIPITAÇÃO

Para investigar se o desmatamento estava relacionado com a variação da precipitação do Cerrado ao longo do período entre 1977 e 2010, foi feita uma análise de correlação entre a série temporal de desmatamento acumulado do bioma e a precipitação média anual utilizando o coeficiente de Spearman ( $r$ ), obtido por:

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 \sum y^2}} \quad (3-11)$$

Para testar se a correlação entre as duas variáveis foi significativa, foi feito o teste de T, e calculado o respectivo valor de p, ou seja:

$$Tc = \left| \frac{\sqrt{N-2}}{r \sqrt{1-r^2}} \right| > T_{1-\alpha/2, v} \quad (3-12)$$

Onde  $r$  é o coeficiente de correlação entre as sequências  $y_1, \dots, y_N$  (precipitação) e  $1, \dots, N$ , e  $T_{1-\alpha/2, v}$  é o valor da distribuição do T Student com  $v = N - 2$  graus de liberdade. O valor crítico de  $t$  para  $n-2 = 32$  graus de liberdade e 5% de nível de significância é 2,0423 (bilateral).

Metodologias similares, com análises de correlação temporal entre a cobertura da terra e variáveis climáticas (precipitação, evapotranspiração e temperatura), também já foram propostas por outros pesquisadores (SPERA et al., 2016; DEBORTOLI et al., 2016).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 TAXA DE DESMATAMENTO DO CERRADO

A Figura 4-1 apresenta o produto dos dados obtidos do PROBIO/IBAMA (IBAMA, 2015) para a cobertura de Cerrado nativo em 2010. A linha escura que divide o bioma em duas partes, usando as divisas estaduais, foi colocada propositalmente para destacar a diferença da dinâmica de desmatamento entre as regiões Setentrional e Meridional.

Em 2010, 86.358.200 hectares (65%) da vegetação nativa já haviam sido convertidos em usos antrópicos na Região Meridional, enquanto que 21.590.600 hectares (30%) haviam sido convertidos na Região Setentrional do bioma (MMA, 2014).

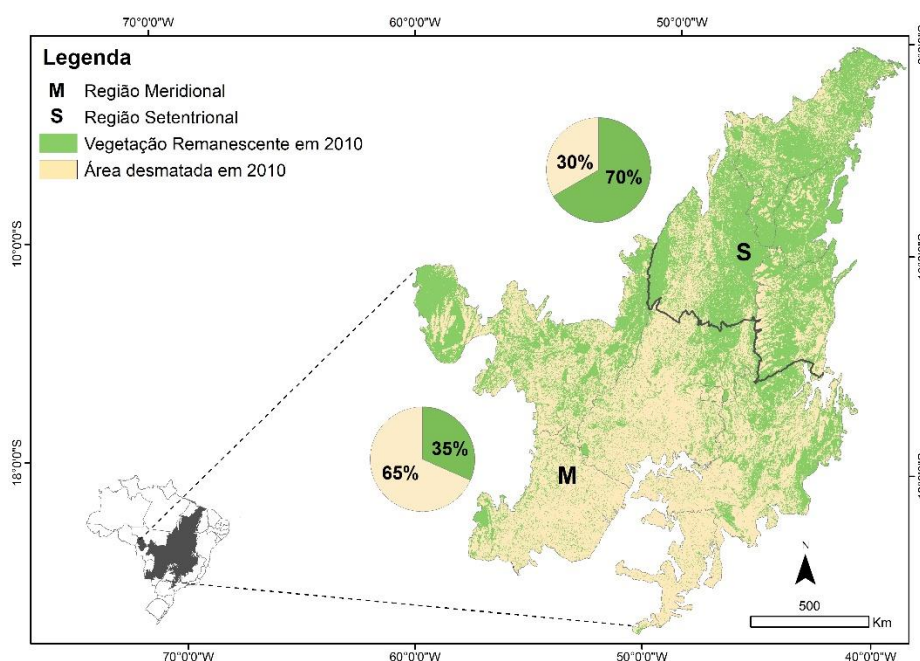


Figura 4-1. Bioma Cerrado e vegetação nativa remanescente em 2010. A linha preta divide o bioma nas regiões Setentrional e Meridional, de acordo com a intensidade de desmatamento. Fonte: a autora.

O estado de São Paulo é o que, proporcionalmente, mais havia sido convertido até 2010, e o estado do Piauí, o de menor conversão. No oeste do estado do Mato Grosso e nordeste do estado de Goiás, observa-se uma grande mancha remanescente, que corresponde a uma porção do Parque do Xingu e ao Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. A fronteira entre o Cerrado e o Pantanal se mostrou bastante fragmentada. O Cerrado foi convertido predominantemente em pastagem em Goiás, no Mato Grosso do Sul e em São Paulo; e em agricultura anual no Mato Grosso, no oeste da Bahia e no sul de Goiás (MMA, 2015).

As taxas anuais de desmatamento do Cerrado de 1970 a 2010 podem ser visualizadas na Figura 4-2. Os altos valores da década de 1970 justificam-se pela ausência de registros anteriores, sendo este ano adotado pela maioria dos autores como sendo o início do processo (LEE et al., 2011; SALAZAR et al., 2016; ARANTES; FERREIRA; COE, 2016). Já as taxas constantes apresentadas para diferentes anos ocorreram devido às limitações dos dados disponíveis na literatura, que compreendiam a identificação da área total desmatada por um período de vários anos (Tabela 2-1).

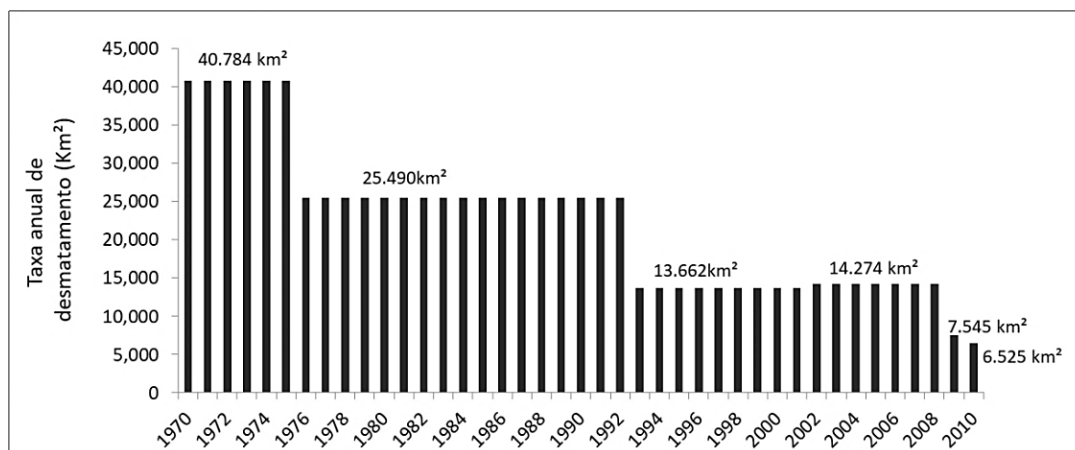


Figura 4-2. Estimativa anual de desmatamento do bioma Cerrado. Fonte: a autora.

A partir da figura acima, nota-se que desmatamento foi mais intenso até 1990. Tendência similar também foi encontrada por Debortoli et al. (2016), que avaliaram algumas áreas do oeste do Cerrado. Até o início da década de 1990 ainda existia uma grande oferta de terras e incentivos para a agricultura na região Meridional do Cerrado, enquanto que no período posterior ela foi reduzida, resultando no deslocamento do desmatamento para a porção setentrional do bioma, região posteriormente conhecida como MATOPIBA (MMA, 2014; SPERA et al, 2016; NOOJIPADY et al., 2017). Entre 2002 e 2008, os dados demonstram um ligeiro aumento da taxa de desmatamento no bioma, e uma subsequente queda em 2009 e 2010.

Por fim, a Figura 4-3 apresenta os valores acumulados de desmatamento e de vegetação remanescente no Cerrado entre 1970 e 2010. De acordo com esses dados, até 2010 já haviam sido desmatados 915.018 Km², o que equivale à aproximadamente 45% da área total do bioma.

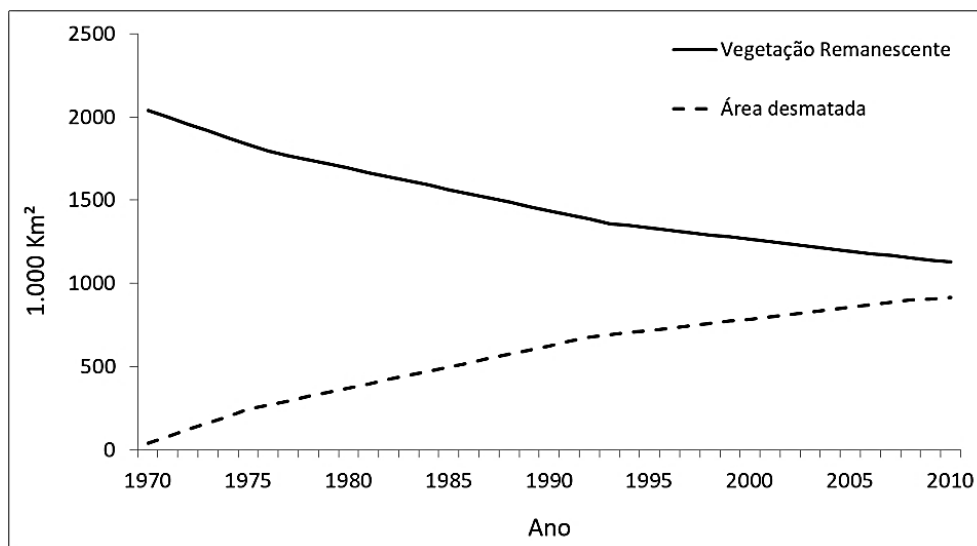


Figura 4-3. Séries cronológicas de desmatamento acumulado e de vegetação remanescente no Cerrado entre 1970 e 2010. Fonte: a autora.

Conforme proposto, este resultado é coerente (inferior) ao valor mapeado pelo projeto *TerraClass* em 2013 (928.025 Km<sup>2</sup>) (MMA, 2015). Ressalta-se que podem existir valores diferentes dos empregados, como por exemplo, os dados do IBAMA utilizados por Salazar et al. (2015), os quais indicam que a área convertida até 2011 correspondia a 52% do bioma (1.052.038 Km<sup>2</sup>). Essa diferença entre os dados era esperada, tendo em vista a utilização de diferentes metodologias de imageamento, resolução espacial, e limites geográficos usados nos mapeamentos (SALAZAR et al., 2015).

Considerando as limitações apresentadas acima e a concordância com o valor mapeado recentemente pelo *TerraClass*, acredita-se que as estimativas empregadas estejam muito próximas da realidade. Essas suposições poderão ser validadas no futuro, através dos dados que estão sendo elaborados no âmbito do Projeto MapBiomias (link: <http://mapbiomas.org/>).

## 4.2 SÉRIES HISTÓRICAS DE PRECIPITAÇÃO

### 4.2.1 Médias de Precipitação no Cerrado

A partir dos dados das 125 estações pluviométricas estudadas no Cerrado (Figura 4-4), obteve-se, no período compreendido entre 1977 e 2010, uma precipitação média anual no bioma de 1.486 mm ± 146,8 mm. Para a Região Setentrional do Cerrado, esta média foi de 1.345 mm ± 392 mm, e de 1.508 mm ± 158,8 mm para a Região Meridional.

A Figura 4-4 indica que o Cerrado apresenta uma alta variabilidade espacial na precipitação anual, observando-se, entretanto, grupos de estações com médias semelhantes. A região *core* do Cerrado, principalmente o estado de Goiás, concentrou os valores médios de precipitação das séries (1.442 – 1.780 mm), os quais são característicos do bioma. Valores inferiores à média regional estão localizados nos estados do Piauí, Bahia e Norte de Minas Gerais, na faixa de transição com a Caatinga.

A precipitação anual no Cerrado aumenta de leste para oeste, com a proximidade da Amazônia. Um conjunto de estações com altos valores de precipitação (azul claro e escuro) no oeste do Tocantins, incluindo médias pluviométricas atingindo 2.400 mm/ano, mostra essa transição.

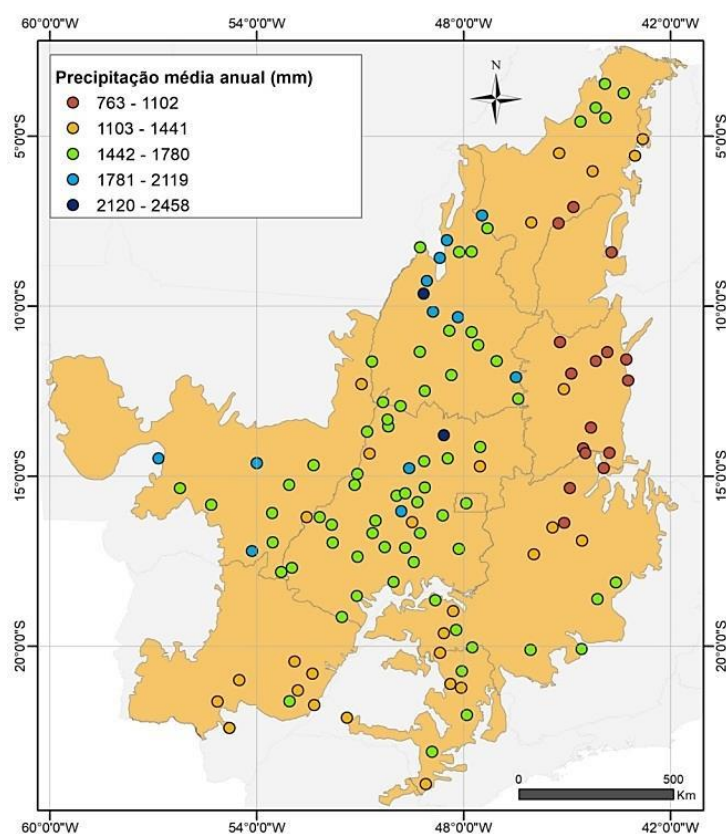


Figura 4-4. Médias anuais pluviométricas no Cerrado. Fonte: a autora.

Observa-se uma alta amplitude de P mensal considerando as 125 estações do Cerrado, durante o período analisado. No período chuvoso (DJF), a média mensal mais alta ocorreu no mês de dezembro, 466 mm (Posto 1348000 / Campinaçu – GO). Por outro lado, a média mais baixa deste mês foi 93 mm, (Posto 82382 / Chapadinha – MA).

Durante a estação seca (JJA), o mês de julho teve a menor média pluviométrica mensal, próxima à zero em algumas estações: 1144005 (Cotegipe – BA), 1444015 (Cocos –

BA), 1243011(Ibotirama- BA), 844008 (Cristino Castro – PI), 1443001 (Manga – MG). Por outro lado, a estação Itaberá – SP (2449001) apresentou a maior média mensal para o mesmo mês (79 mm).

Em termos regionais, os dados analisados também indicam o padrão sazonal em formato de “u”, característico do bioma Cerrado. O deslocamento das Regiões Setentrional (para a direita) e Meridional (para a esquerda) em relação às médias do Cerrado (linha sólida) também ocorreram de acordo com o esperado (SILVA et al., 2008).

Os meses de maior volume pluviométrico na Região Meridional foram dezembro, janeiro e fevereiro, enquanto que na Região Setentrional, esses corresponderam a dezembro, janeiro e março (Figura 4-5).

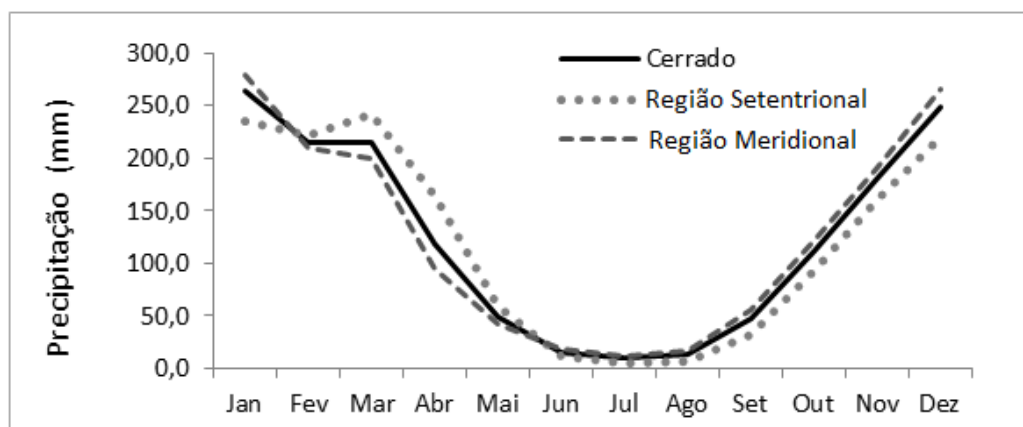
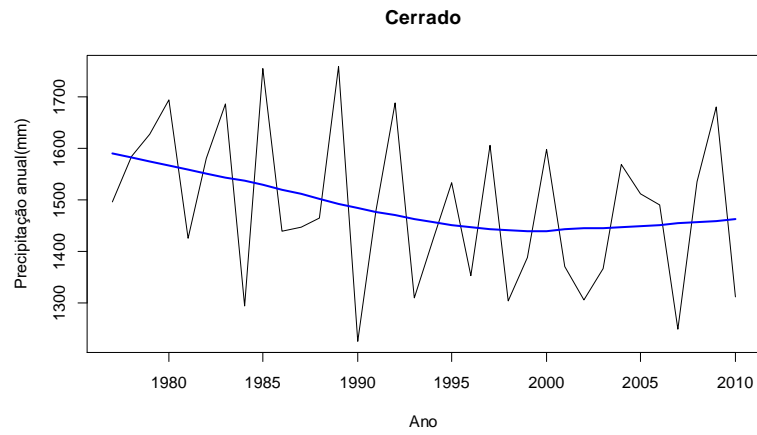


Figura 4-5. Média da precipitação mensal para as estações do Cerrado, e das Regiões Setentrional e Meridional. Fonte: a autora.

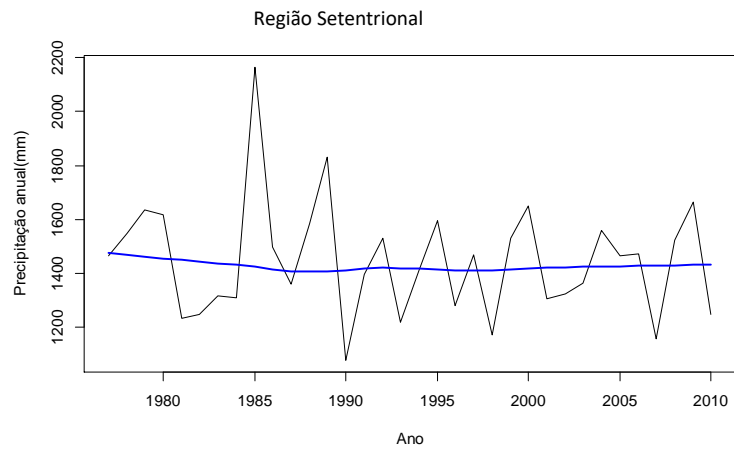
#### 4.2.2 Séries Temporais de Precipitação do Cerrado (LOWESS)

Na Figura 4-6 são apresentadas as séries pluviométricas regionais do Cerrado, Região Setentrional e Região Meridional no período entre 1977 e 2010, utilizando a média anual de P das 125, 44 e 81 estações, respectivamente.

a)



b)



c)

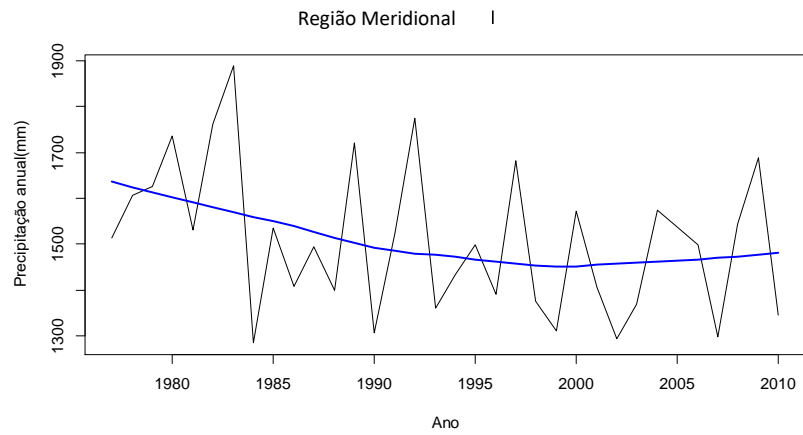


Figura 4-6. Série Temporal de Precipitação Anual Regional do Cerrado (a), da Região Setentrional (b) e da Região Meridional (c) de 1977 a 2010 e curva de tendência LOWESS ( azul). Fonte: a autora.



Inicialmente, observa-se nas três séries da Figura 4-6 uma variabilidade interanual inerente da precipitação (OBREGON; MARENGO 2011). De uma forma geral, as três séries apresentam baixos valores de precipitação nos anos de 1984, 1990 e 2007, os quais podem estar associados ao fenômeno El-Niño (OLIVEIRA et al., 2004; DEBERTOLI et al., 2015). Por outro lado, valores elevados, superiores à média pluviométrica de longo termo, foram observados nos anos de 1985 e 1989.

A série história do Cerrado apresentou uma linha de tendência LOWESS decrescente entre os anos de 1977 e 1998, nivelando em seguida para um valor constante (Figura 4-6 a). A Região Meridional apresentou comportamento semelhante (Figura 4-6 c), enquanto a Região Setentrional apresentou uma situação mais estacionária, onde a quebra na série histórica foi mais sutil (Figura 4-6 b). Devido ao maior peso (81 estações) da Região Meridional em comparação com a Região Setentrional (44 estações), é provável que a primeira tenha influenciado o comportamento de queda inicial e estabilização posterior, observada na série média do Cerrado.

Alexandre et al. (2010), analisando séries temporais de P anual em Belo Horizonte, encontraram resultados semelhantes aos da Figura 4-6, com tendência de queda nas séries históricas. Assim como em Ahmad et al. (2015) e Taxak et al. (2014), esses autores utilizaram um período análise (70 anos) superior ao adotado nessa pesquisa, o que lhes possibilitaram verificar mais flutuações decadais.

As séries históricas de precipitação média anual de cada uma das 125 estações estudadas podem ser visualizadas no Apêndice B.

### **4.2.3 Teste de Mann-Kendall**

#### **4.2.3.1 Teste de Mann-Kendall das Séries Anuais de Precipitação**

Os resultados do teste de Mann-Kendall das séries anuais de precipitação do Cerrado para as 125 estações, no período entre 1977 e 2010, indicam que a maior parte delas não apresentou tendências significativas de queda ou aumento, embora 71% dos postos analisados apresentassem indícios de redução da precipitação no período (Figura 4.7). Esses resultados são consistentes com os reportados por Debortoli et al., 2015, que não encontram tendências significativas na maioria das estações anuais no Cerrado.

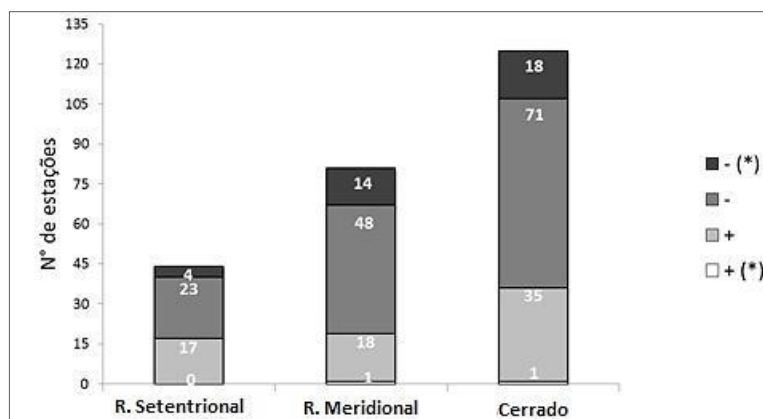


Figura 4-7. Número de estações que apresentaram valores de tendência positiva, negativa (estatisticamente significativos ou não) no teste de Mann – Kendall. (+) Tendência de aumento na precipitação; (-) Tendência de redução. (\*) Tendência significativa ( $\alpha = 0,05$ ).

Contudo, dentre as 19 estações que apresentaram resultados de aumentos ou reduções significativas em P, a maioria (18 estações, ou 95%) apresentou tendências de redução da precipitação, e apenas uma (5%) apresentou tendência de aumento significativo em P (Figura 4.7).

Na Região Setentrional, 61% das estações (27) apresentaram tendências negativas, das quais quatro (4) foram significativas no teste de MK. Na região meridional, 76% das estações (62) tiveram tendência de redução da precipitação, e 14 foram estatisticamente significativas. Considerando a proporção entre o número de estações, os dados indicam que houve uma tendência mais forte de redução da precipitação na Região Meridional em comparação com a Região Setentrional.

A Figura 4-8 permite identificar espacialmente as tendências de aumento ou diminuição da precipitação no período analisado, bem como as respectivas significâncias estatísticas, obtidas pelo teste de Mann-Kendall.

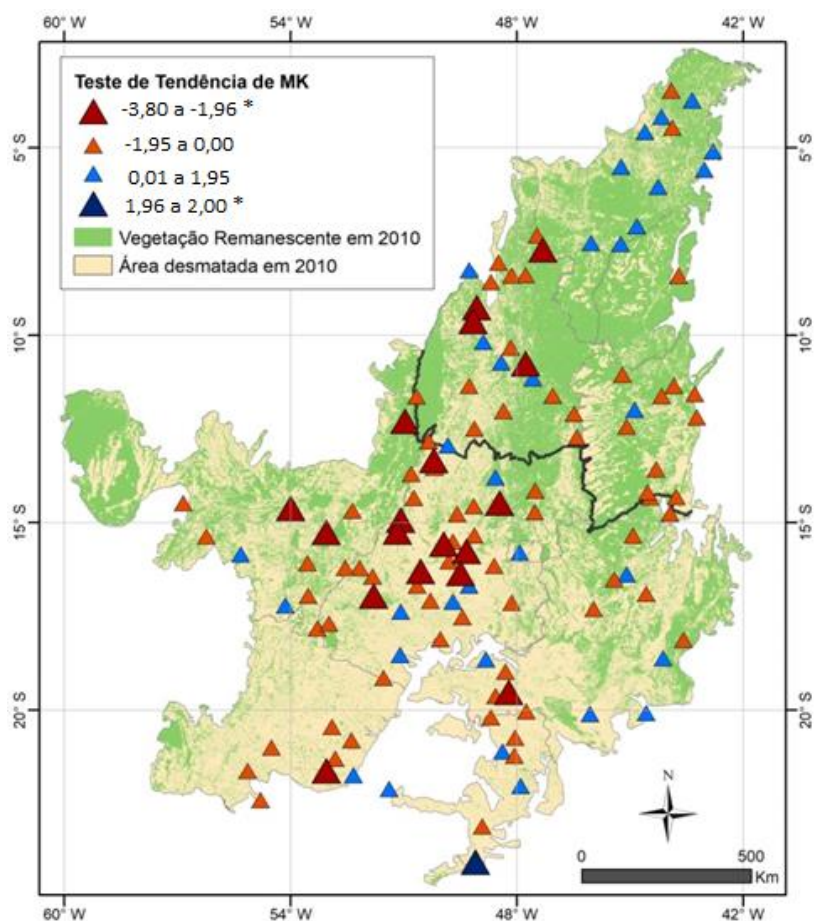


Figura 4-8. Resultado do teste de tendência Z (Mann-Kendall) da série histórica de 34 anos para as 125 estações do Cerrado, no período entre 1977 e 2010. \*Tendência significativa ( $\alpha = 0,05$ ). Fonte: a autora.

Em relação à direção (aumento ou diminuição) das tendências nas séries temporais de P, observa-se na Figura 4-8 uma heterogeneidade espacial ao longo do bioma. Entretanto, nota-se que a área central do Cerrado é caracterizada por estações com diminuição da precipitação, especialmente o estado de Goiás, onde 44% dos postos (9) apresentam tendências significativas de redução de chuva, seguido pelos estados do Tocantins (4), Mato Grosso (3), São Paulo (1) e Mato Grosso do Sul (1) (Tabela 4-1).

Tabela 4-1. Estações Pluviométricas com séries históricas significativas (95%), sendo 18 negativas e uma positiva, de acordo com o teste de Mann-Kendall.

Estação Pluviométrica	Código Estações	UF	Z (MK)
Caiapônia	1651000	GO	-2,6
Itapuranga	1549002	GO	-2,7
Jaraguá	1549003	GO	-1,9
Córrego do Ouro	1650001	GO	-3,2

<b>Estação Pluviométrica</b>	<b>Código Estações</b>	<b>UF</b>	<b>Z (MK)</b>
Aruanã	1451000	GO	-1,9
Britânia	1551000	GO	-2,0
Niquelândia	1448001	GO	-2,1
São Miguel do Araguaia	1350002	GO	-2,5
Inhumas	1649006	GO	-3,5
Abreulândia	949000	TO	-3,5
Dois Irmaãos	949001	TO	-2,4
Goiantins	747001	TO	-1,9
Porto Gilândia	1047002	TO	-2,1
Santo Antônio do Leverger	1250001	MT	-2,5
Passagem da BR-39	1453000	MT	-3,8
Toriqueje	1552002	MT	-3,7
Porto Pindaíba	2153000	MS	-2,0
Cosmorama	2049010	SP	- 3,3
Engenheiro Maia	2449001	SP	+ 2,0

O Estado do Maranhão se diferencia dos demais estados pela predominância de estações com tendências de aumento de P (embora não significativas) durante o período estudado. Dessas estações, cinco haviam sido investigadas por Silva et al., (2016), que encontraram resultados similares de tendências de aumento da precipitação, com exceção da estação Chapadinha, a qual apresentou uma pequena tendência negativa na série. Esse acréscimo em P no estado do Maranhão provavelmente está associado à influência do aumento da SST no Oceano Atlântico (LEE et al., 2011).

A única estação pluviométrica no Cerrado com tendência significativa de aumento da precipitação está localizada no extremo sul do bioma (Itaberá – SP). Segundo Dufek e Ambrizzi (2008), o estado de São Paulo, incluindo a região desse posto pluviométrico, apresentou, entre 1950 – 1999, um aumento significativo da precipitação anual, o qual foi associado ao aumento do número de chuvas intensas no período.

Os valores de Z (Mann-Kendall) das séries anuais regionais de precipitação foram -1,6, -0,3 e -1,5, para as Regiões Meridional e Setentrional, e Cerrado, respectivamente. Considerando que o limite de significância de 95% era 1,96 (positivo ou negativo), nenhuma delas apresentou tendências significativas.

Comparando os valores regionais de Z de Mann-Kendall acima, com as tendências da média móvel LOWESS (Figura 4-6) observa-se uma boa concordância, ou seja,

tendências de reduções de P na Região Meridional e Cerrado, e de estacionariedade na Região Setentrional.

Esses resultados são consistentes com os de Debortoli et al., (2015) que indicaram uma predominância das tendências não significativas (78% das 207 estações analisadas) e a presença de tendências negativas significativas em 17%, sendo algumas localizadas no oeste do Cerrado. Salviano, Groppo e Pellegrino (2016) também encontraram tendências em P não significativas na maioria do território brasileiro, para um período semelhante.

#### 4.2.3.2 Teste de Mann-Kendall das Séries Mensais

No que diz respeito às tendências das séries mensais de precipitação, os resultados do teste de Mann-Kendall (Z sazonal) são apresentados na Tabela 4-2, na Figura 4-9 e na Figura 4-11.

Dois meses do ano se destacam dos demais em relação à quantidade tendências significativas de aumento ou redução de precipitação: janeiro (25 estações) e maio (29 estações) (Figura 4-9). Já os meses de junho, julho, agosto e setembro (estação seca) tiveram uma predominância de tendências de queda de P (significativas e não significativas); enquanto que fevereiro e março tiveram uma maior quantidade de estações com tendência de aumento de precipitação (significativo e não significativo) (Tabela 4-2).

Tabela 4-2. Resultado da estatística de Mann-kendall sazonal mostrando a porcentagem de estações pluviométricas com tendência negativa significativa [- (\*)], negativa [-], estacionária [0], positiva [+], e positiva significativa [+(\*)] ( $\alpha=0,05$ ).

<b>Tendência</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>
- (*)	14,4	1,6	4,8	6,4	14,4	7,2	8,0	9,6	8,8	6,4	4,8	4,0
-	60,0	33,6	36,8	47,2	41,6	76,8	59,2	66,4	68,8	56,8	47,2	52,8
0	1,6	6,4	7,2	3,2	2,4	4,8	4,8	3,2	7,2	5,6	4,0	5,6
+	18,4	56,8	49,6	41,6	32,8	11,2	28,0	20,8	15,2	29,6	40,8	36,8
+ (*)	5,6	1,6	1,6	1,6	8,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	3,2	0,8

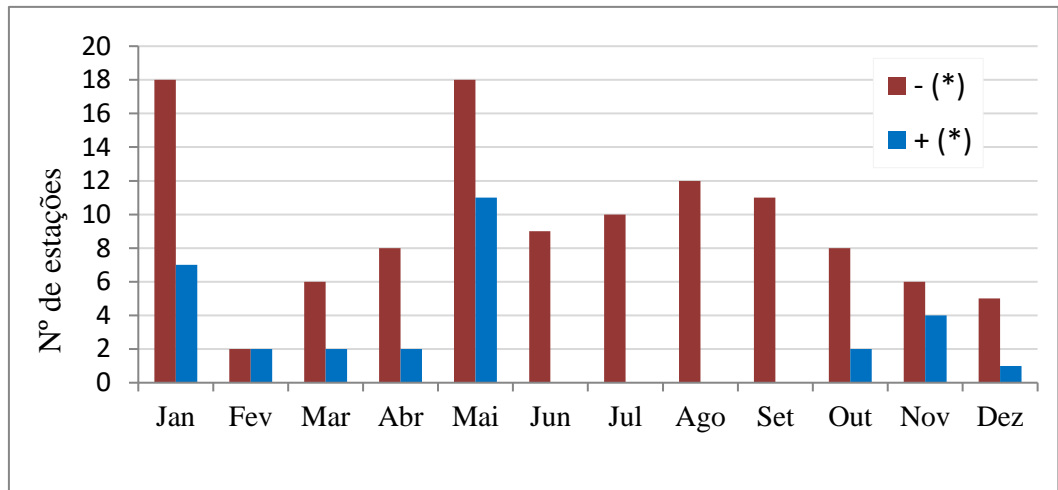


Figura 4-9. Número de estações pluviométricas com resultados de Z de Mann-Kendall Sazonal significativo.

A Figura 4-11, por sua vez, apresenta a distribuição das tendências das séries de precipitação das estações estudadas, em cada mês do ano, no período compreendido entre 1977 e 2010.

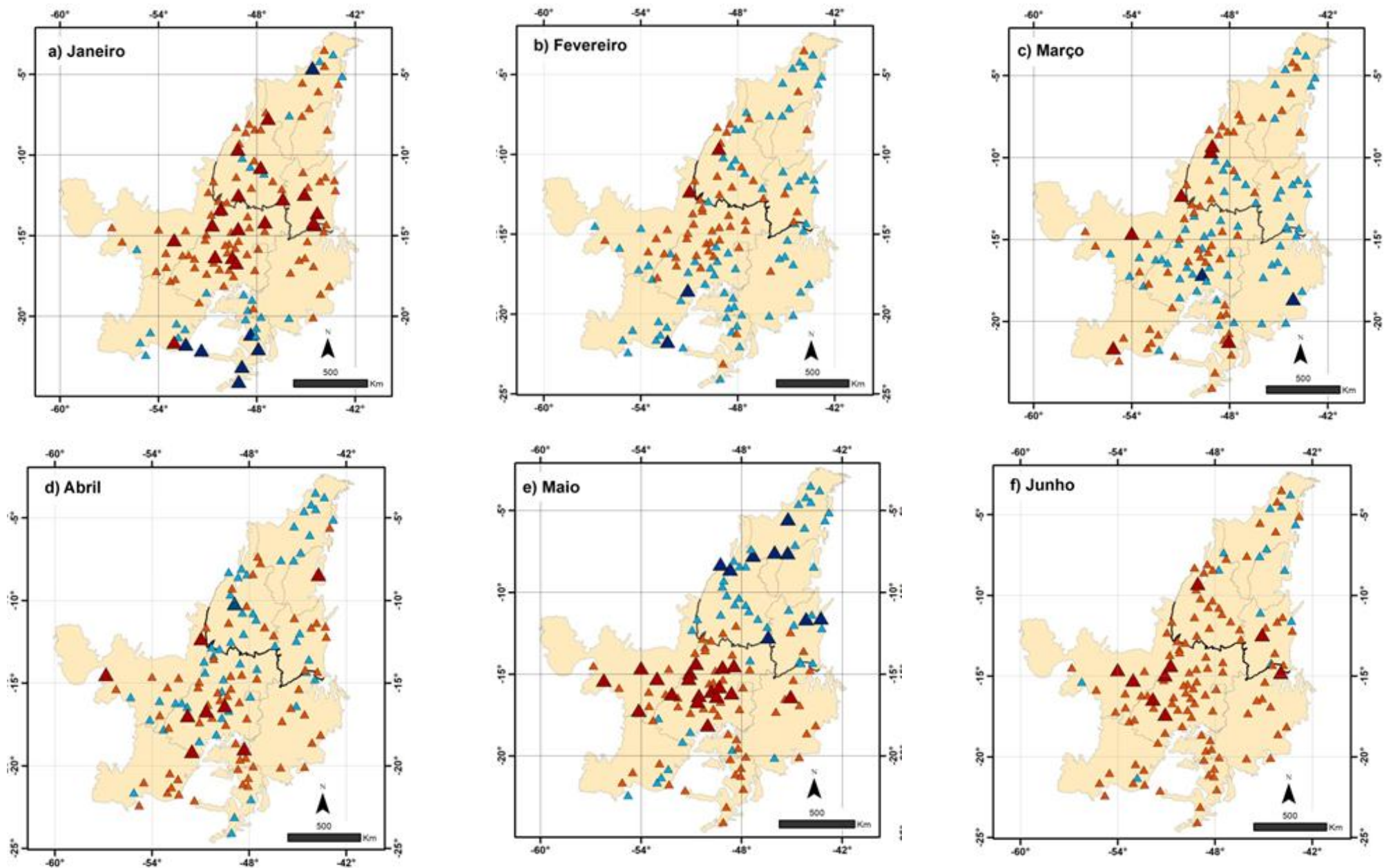


Figura 4-10. Resultado do Teste de MK mensal para a série histórica de P 34 anos Triângulo vermelho escuro maior ( $Z = -3,80$  a  $-1,96^*$ ); Triângulo vermelho claro menor ( $Z = -1,95$  a  $0,00$ ); Triângulo azul claro menor ( $Z = 0,01$  a  $1,95$ ); Triângulo azul escuro maior ( $Z = 1,96$  a  $2,00^*$ ). \*Tendência significativa ( $\alpha=0,05$ ). Fonte: a autora

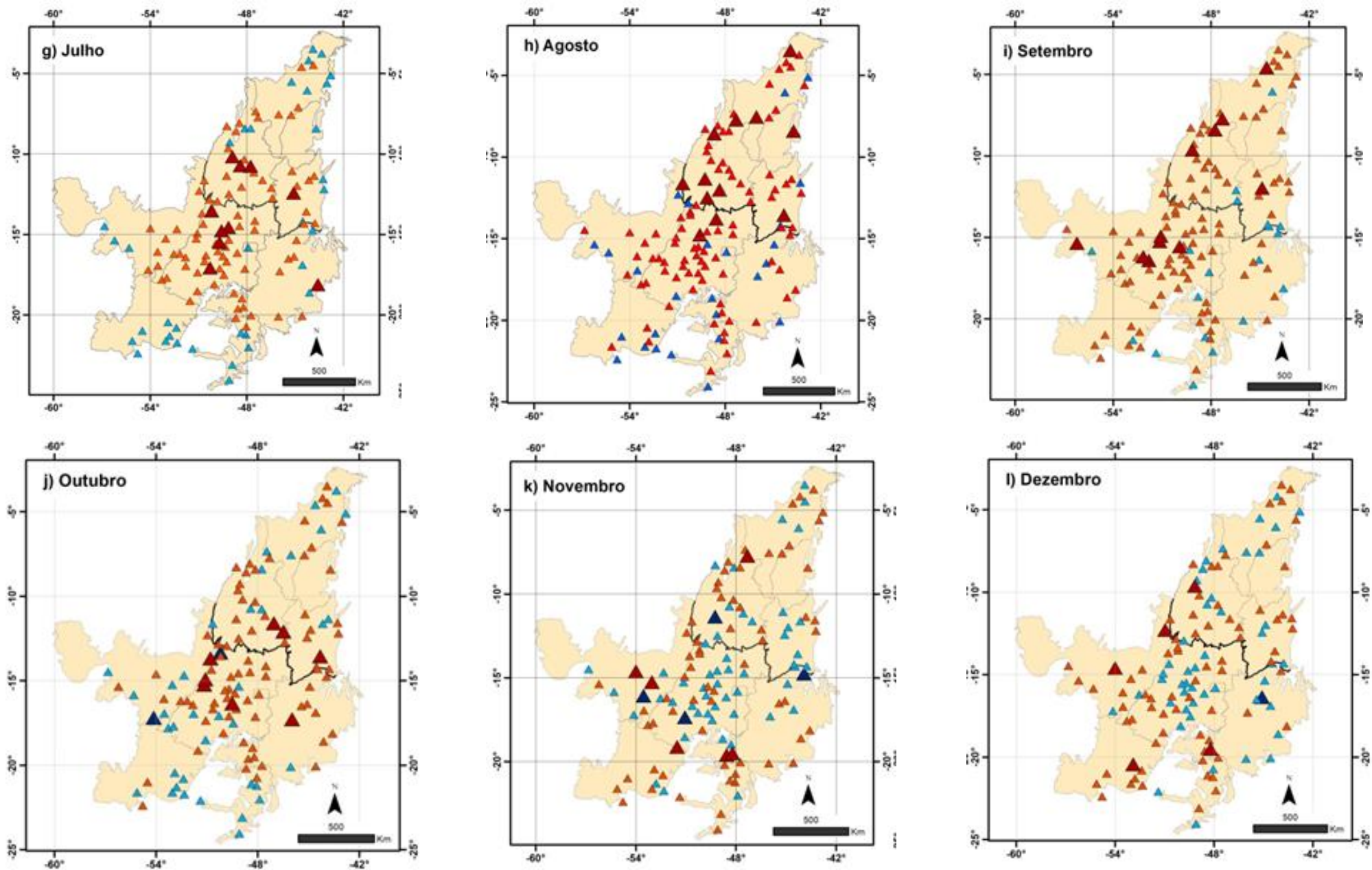


Figura 4-11. Resultado do Teste de MK mensal para a série histórica de P 34 anos Triângulo vermelho escuro maior ( $Z = -3,80$  a  $-1,96^*$ ); Triângulo vermelho claro menor ( $Z = -1,95$  a  $0,00$ ); Triângulo azul claro menor ( $Z = 0,01$  a  $1,95$ ); Triângulo azul escuro maior ( $Z = 1,96$  a  $2,00^*$ ). \*Tendência significativa ( $\alpha=0,05$ ). Fonte: a autora



No mês de janeiro, as estações com tendências negativas de precipitação estão distribuídas na maior parte do Cerrado, enquanto que as estações com tendências positivas significativas estão concentradas na porção sul do bioma.

Apesar de não serem significativas, as tendências de aumento da precipitação se mantem na porção meridional do bioma durante o mês de fevereiro, e se distribuem em março. Em maio, existe uma divisão clara nas tendências de precipitação ao longo do período: aumentos significativos em P (9 estações) exclusivamente na Região Setentrional do bioma, em oposição à Região Meridional, que concentra todas as séries com tendências negativas significativas (18 estações).

A maioria dos meses da estação seca (junho, julho, agosto e setembro), apresenta tendência de redução da precipitação em grande parte do Cerrado (Figura 4-11), evidenciado não só pela quantidade de séries com tendências de queda (uma média de 76% das estações), mas também pela ausência de séries com aumentos significativos em todos esses meses (Tabela 4-2). Por fim, os meses de dezembro, março, abril, outubro e novembro são caracterizados pela alta heterogeneidade nas tendências das séries mensais, não sendo evidenciado um padrão definido (Figura 4-11).

Considerando as séries regionais mensais do Cerrado como um todo (média das 125 estações), os índices sazonais de Mann-Kendall não apresentam tendências significativas de aumento ou queda nos doze meses do ano. Por outro lado, as séries regionais mensais Setentrionais e Meridionais somente apresentaram decréscimos significativos em P nos meses de agosto e maio, respectivamente (Tabela 4-3).

Tabela 4-3. Análise de Tendência de Mann-Kendall para as séries históricas mensais.  
\*Estatisticamente significativo para  $\alpha = 0,05$ .

Região	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Cerrado	-1,2	0,10	0,00	-0,20	-0,7	-1,3	0,10	-0,80	-1,10	-1,20	-0,30	-0,70
R. Setentrional	-1,40	-0,20	0,10	0,60	1,70	-0,50	0,00	-2,2 *	-1,20	-1,00	-0,20	-0,40
R. Meridional	-1,10	0,40	0,00	-0,90	-2,00*	-1,30	0,10	-0,30	-1,10	-0,60	-0,40	-0,70

Dos resultados de Z (MK) mensal da Tabela 4-3, 72% apresentaram valores negativos, e apenas 28% foram positivos ou zero, indicando uma tendência geral de redução de P mensal no bioma. Os resultados dos testes de Mann-Kendall das séries históricas de cada estação pluviométrica são apresentados no Apêndice C.

## 4.2.4 Teste de Theil – Sen

### 4.2.4.1 Teste de Theil-Sen Anual

O teste de Theil-Sen, que analisou a magnitude da variação (*slope*) da precipitação nas séries históricas anuais, identificou estações com reduções desde – 27,5 mm/ano ou - 60% em relação à média histórica (Posto 1552002 – Toriqueje / Barra do Garça - MT), até aumentos de +9,4 mm/ano ou +29% em relação à média histórica (Posto 82571 / Barra do Corda - MA), no período estudado (Figura 4-12).

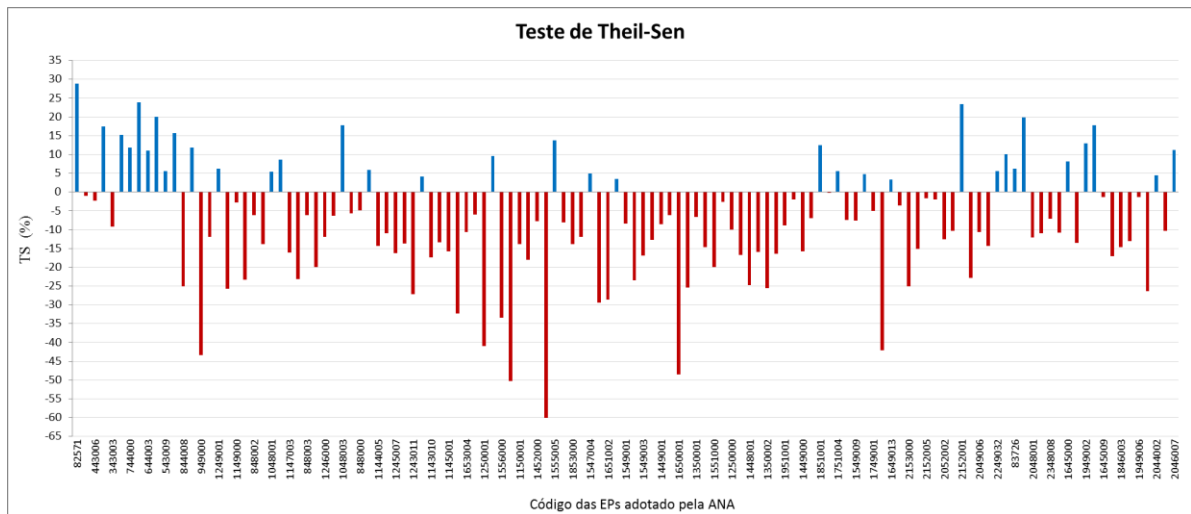


Figura 4-12. Teste de Theil-Sen para cada uma das 125 estações pluviométricas. Em vermelho é apresentada a porcentagem de decréscimo da de P em relação à média histórica, e em azul o acréscimo.

O mapa da Figura 4-13 mostra a variação da precipitação (média anual considerando os 34 anos), medida pelo  $\beta$  de TS, para todo o bioma do Cerrado no período 1977-2010).

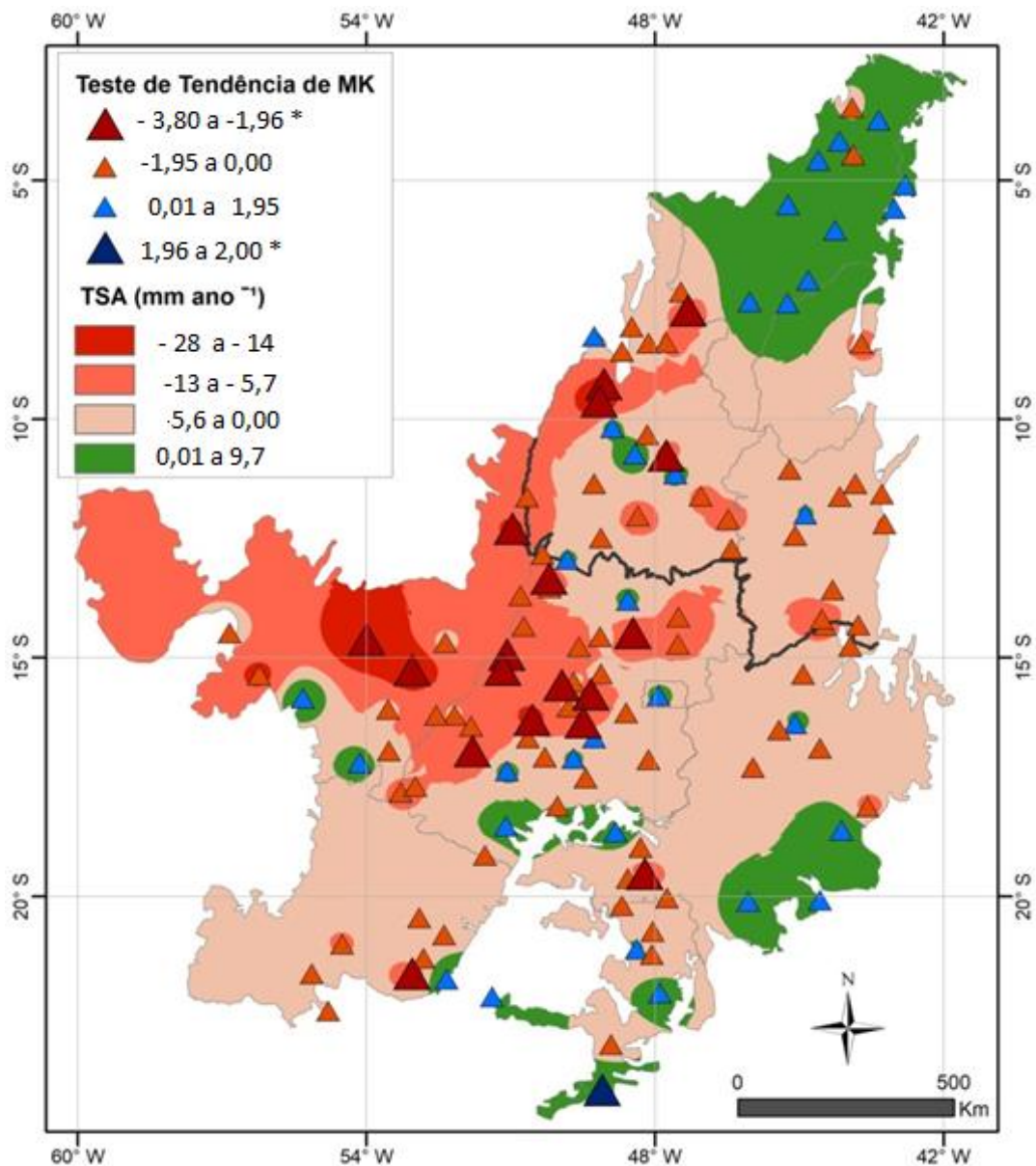


Figura 4-13. Mapa das variações de P anual (TS) em  $\text{mm}\cdot\text{ano}^{-1}$  no Cerrado para o período 1977 a 2010, com as tendências de Z (MK) nas 125 estações. Fonte: a autora.

Na Figura 4-13 e Tabela 4-4, observamos que 83% da região do Cerrado apresentaram redução da precipitação entre 1977 a 2010. Dessa área, 27% apresentaram reduções entre  $-28$  a  $-5,7 \text{ mm}\cdot\text{ano}^{-1}$ , principalmente a área oeste do bioma. Considerando todo o período entre 1977 e 2010, esses valores correspondem a uma redução de  $-952 \text{ mm}$  a  $-194 \text{ mm}$ .

Por outro lado, 17% da área do Cerrado apresentaram aumentos ( $+0 \text{ mm}\cdot\text{ano}^{-1}$  a  $+9,7 \text{ mm}\cdot\text{ano}^{-1}$ ) na precipitação no mesmo período, aumentos esses concentrados principalmente no Maranhão, sudeste Minas Gerais e sul São Paulo.

Tabela 4-4. Classes dos valores interpolados do teste de TS da Figura 4-13, com médias, desvios-padrão e respectivas áreas.

Classe (TS – mm.ano <sup>-1</sup> )	Média da classe (mm.ano <sup>-1</sup> )	Desvio Padrão (mm.ano <sup>-1</sup> )	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
-28 a -14	-18,38	3,61	57.364	3
-13 a -5,7	-8,08	1,73	482.872	24
-5,6 a 0	-3,22	1,35	1.143.990	56
0,01 a 9,7	3,26	2,09	355.015	17
Total	-3,72	4,74	2.039.241	100

Os resultados da interpolação dos valores de Theil-Sen (Figura 4-13) para o Cerrado e as Regiões Setentrional e Meridional são apresentados na

Tabela 4-5. Para o Cerrado como um todo houve uma redução média de 8,4% na precipitação, considerando a média do  $\beta$  (T). A Região Meridional, por sua vez, apresentou o dobro do decréscimo da precipitação (-10,6%) em relação à Região Setentrional (- 4,7%). Os altos valores de desvio padrão observados refletem a alta variabilidade entre o padrão da precipitação ao longo do bioma.

Tabela 4-5. Médias dos valores especializados de TS para as regiões Setentrional, Meridional e Cerrado.

Região	Area (km <sup>2</sup> )	TS médio (mm ano <sup>-1</sup> )	Desvio Padrão (mm.ano <sup>-1</sup> )	TS total (mm)	TS %
Norte	709.736	-1,84	4,57	-62,56	-4,7
Sul	1.329.056	-4,72	4,53	-160,48	-10,6
Cerrado	2.038.792	-3,7	4,74	-125,8	-8,4

#### 4.2.4.2 Teste de Theil-Sen Mensal

No teste de TS mensal regional, onde os valores absolutos das séries regionais foram usados (e não os valores interpolados, como no caso anual), foi observado que o mês de janeiro apresentou a maior redução absoluta em P no bioma Cerrado, ou seja, -68,3 mm, equivalentes a uma redução de 26% da precipitação média no período analisado (Tabela 4-6).

Por outro lado, observou-se no mês de junho uma redução média de - 9,5 mm, equivalentes a uma redução de 61% da precipitação média no período analisado; ou seja, um maior percentual de redução do que no mês de janeiro (Tabela 4-6 b). Essa redução de P em

junho foi influenciada pela forte diminuição da precipitação no oeste de Goiás e no estado do Mato Grosso (Figura 4-11).

Tabela 4-6. Análise de magnitude de Theil-Sen para as séries históricas mensais ( $\alpha=0,05$ ) a) magnitude dada em mm e b) (%) para todo o período estudado.

a)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Cerrado	-68,1	6,8	2,4	-3,4	-5,1	-9,5	0,5	-2,5	-17,1	-24,8	-5,6	-13,9
Norte	-60,2	-13,0	8,2	24,5	30,3	-2,1	0,0	-4,8	-16,1	-23,4	-3,0	-17,9
Sul	-55,6	19,4	-0,5	-15,6	-24,8	-12,7	0,5	-1,1	-20,1	-17,7	-11,2	-13,6

b)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Cerrado	-26	3	1	-3	-11	-61	5	-19	-36	-22	-3	-6
Norte	-26	-6	3	15	51	-18	0	-74	-50	-25	-2	-8
Sul	-20	9	0	-16	-59	-71	4	-7	-36	-15	-6	-5

No geral, as variações de P para a séries regionais mensais do Cerrado foram menos severas quando comparadas mês a mês com as séries mensais da Região Setentrional e Meridional, isoladamente. Isso ocorreu porque, em alguns meses, as direções (aumento e diminuição) das tendências entre as duas regiões foram opostas (fevereiro, abril, maio), ou apresentaram magnitudes muito diferentes, parcialmente cancelando as variações regionais (Tabela 4-6 a e b).

#### 4.2.5 Teste de Ruptura nas Séries Anuais de Precipitação (Pettitt)

O teste de Pettitt indicou que 13 das 125 séries temporais anuais de precipitação analisadas apresentaram rupturas significativas ao longo do período de estudo ( $\alpha < 0,05$ ). Dentre essas, 12 tiveram tendências de redução em P depois da ruptura, e somente uma apresentou aumento da precipitação após a quebra (Tabela 4-7 e Figura 4-14).

Nas séries anuais de precipitação com rupturas significativas, essas ocorreram entre 1983 e 1998, sendo este último o ano com maior número de rupturas significativas observadas (3).

Tabela 4-7. Estações pluviométricas com rupturas estatisticamente significativas nas séries históricas (teste de Pettitt).

Estação Pluviométrica	UF	Ano Ruptura	p-value (Pettitt)	Z (MK)
Abreulândia	TO	1989	0,00	- 3,50
Dois Irmãos	TO	1989	0,00	- 2,40
Passagem da BR-39	MT	1994	0,00	- 3,80
Inhumas	GO	1992	0,00	- 3,50

Estação Pluviométrica	UF	Ano Ruptura	p-value (Pettitt)	Z (MK)
Cosmorama	SP	1993	0,00	- 3,30
Torriqueje	MT	1998	0,01	- 3,70
Porto Nacional	TO	1998	0,01	+1,40
Nossa Senhora da Guia	MT	1983	0,02	- 1,80
Córrego do Ouro	GO	1983	0,02	- 3,20
Santo Antônio do Leverger	MT	1990	0,02	- 2,50
Goiantins	TO	1995	0,03	- 1,96
Caiapônia	GO	1989	0,03	- 2,60
Niquelândia	GO	1992	0,05	- 2,10

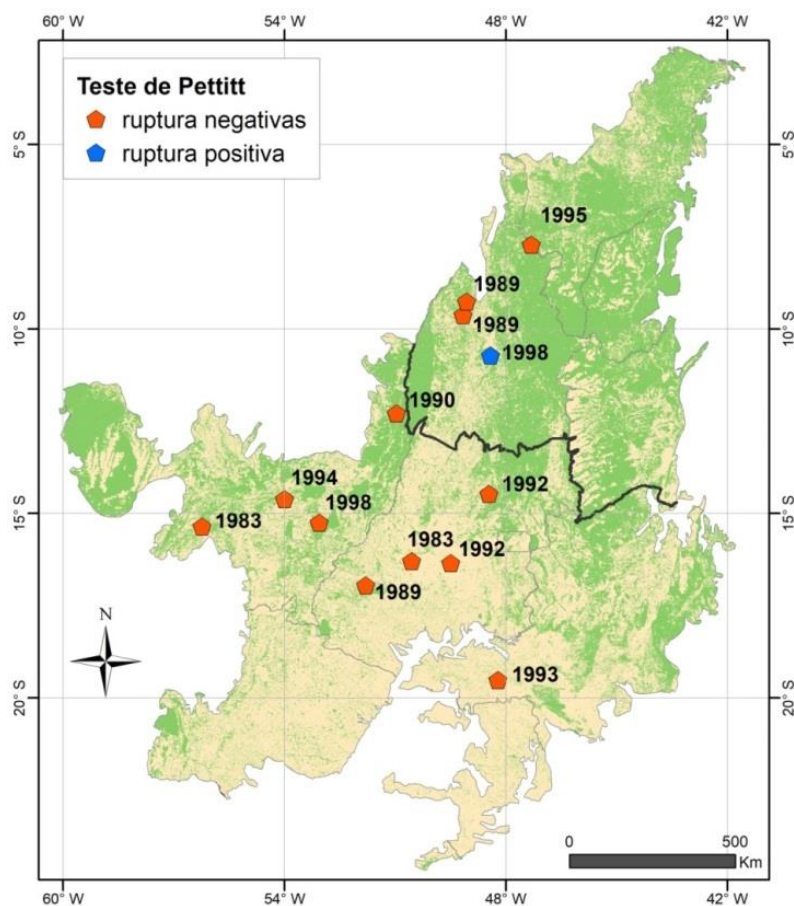


Figura 4-14: Estações com ruptura negativa (laranja) e positiva (azul) significativas obtidas pelo Teste de Pettitt. Fonte: a autora

Para as séries regionais (Cerrado, R. Setentrional e R. Meridional) anuais, nenhuma ruptura significativa foi encontrada (Tabela 4-8). Entretanto, observa-se que a região Meridional contém um maior número de séries com rupturas (9 estações) (Figura 4-14).

Tabela 4-8. Estações pluviométricas com rupturas estatisticamente significativas nas séries históricas (teste de Pettitt).

<b>Região</b>	<b>Ano de Ruptura</b>	<b>valor de p</b>
Cerrado	1989	0,263
Região Setentrional	1989	0,947
Região Meridional	1983	0,157

Geralmente, as rupturas encontradas nas séries pluviométricas estão associadas a interferências nos registros dos dados pluviométricos ou a fenômenos naturais (CAVALCANTI et al., 2013 apud DEBERTOLI et al., 2015). No entanto, não foram encontradas inconsistências nos dados de P e não foram investigados outros fatores, como realocação de postos, os quais poderiam justificar a ruptura.

Em termos de fenômenos naturais durante o período estudado (1977 – 2010), foram registrados eventos de El-Niño nos anos de 1982/83, 1991/92, 1994/95, 1997/98, 2004/05, 2007, 2010 (CAVALCANTI et al., 2013 apud DEBERTOLI et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2014). Dessa forma, observa-se que sete das treze séries pluviométricas com quebras significativas apresentaram rupturas em anos de El Niño, sendo que em alguns dos anos de quebra (1983, 1994/95 e 1998) ocorreram outros eventos naturais, como enfraquecimento da ZCAS, e anomalias negativas na SST do Oceano Atlântico, que favorecem redução da precipitação no período (DEBERTOLI et al., 2015; LEE et al., 2011).

#### **4.3 RELAÇÃO ENTRE AS SÉRIES TEMPORAIS DE PRECIPITAÇÃO E O DESMATAMENTO DO CERRADO**

A Figura 4-15 apresenta graficamente a relação entre a área desmatada acumulada e a precipitação anual média do Cerrado, no período entre 1977 e 2010. Observa-se, nessa Figura, um decréscimo de P com o aumento do desmatamento no Cerrado. Entretanto, a correlação não foi significativa a 95% ( $p = 0,07$ ).

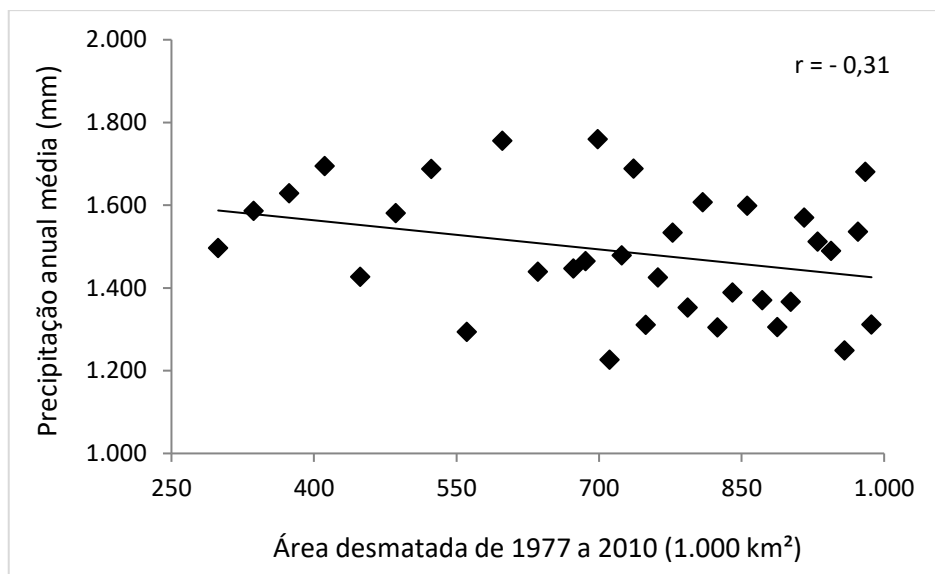


Figura 4-15. Correlação entre as séries históricas de desmatamento e precipitação no Cerrado, entre 1977 e 2010.

Tomando-se os valores inicial (1580 mm) e final (1420 mm) da linha de tendência linear da Figura 4-15, obtém-se uma diferença de precipitação de 160 mm no período estudado, redução esta, próxima àquela encontrada no teste de Theil-Sen (125 mm) para a região do Cerrado (Tabela 4-5).

#### 4.4 DISCUSSÃO

No conjunto, os testes de tendência aplicados às séries temporais de precipitação no Cerrado (LOWESS, Mann - Kendall, Theil – Sen e Pettitt,), apesar de utilizarem enfoques distintos, mostraram resultados consistentes entre si, sugerindo uma tendência geral de redução em P ao longo do tempo, considerando-se o bioma como um todo.

Apesar de muitas das séries temporais (individuais e regionais) não terem mostrado tendências de redução estatisticamente significativas, em 18 delas a redução foi significativa. Além disso, a série regional do Cerrado, e o respectivo mapa de TS (Figura 4-6 A e Figura 4-13, respectivamente) mostram claramente uma tendência de redução de P na região. A redução média de 8,4% (125 mm) observada na precipitação no bioma Cerrado no período entre 1977 e 2010 é relevante, já que a relativamente longa duração da série (34 anos) tende a neutralizar eventuais variabilidades interanuais, mantendo a série temporal estacionária.



Destaca-se que os resultados supracitados são corroborados por vários estudos que analisaram o impacto das mudanças do uso e cobertura da terra na precipitação regional, com base em modelos climáticos, tanto para o Cerrado quanto para outras regiões.

Além da correlação negativa entre o desmatamento no Cerrado e a redução na precipitação no período entre 1977 e 2010, a porção meridional do bioma, onde foi obtida a maior intensidade de queda na precipitação ao longo dos 34 anos (-10,6%), foi exatamente aquela onde houve maior desmatamento (aproximadamente 65% já convertida), e com início mais precoce (meados de 1970). A Região Setentrional, por sua vez, apresentou menor intensidade de queda na precipitação (- 4,7%), tendo menor área convertida (30%) e processo mais tardio de desmatamento (meados de 2000).

Esses resultados também são evidenciados pela regressão LOWESS em ambas as séries regionais (Figura 4-6). A clara tendência de queda na série da Região Meridional (Figura 4-6 c), de 1977 até sua relativa estabilização em meados de 1990, pode estar relacionada ao fato de que mais de 70% da área total desmatada no bioma - majoritariamente nessa região - ocorreu exatamente entre as décadas de 70 e 90 devido aos incentivos financeiros para ocupação e desenvolvimento agrícola (KLINK; MOREIRA, 2005, GANEN; DRUMMOND; FRANCO, 2008; ARANTES; FERREIRA; COE, 2016).

Por outro lado, a estacionariedade da precipitação média da Região Setentrional do Cerrado no período analisado (Figura 4-6 b) pode ter resultado da combinação de alguns fatores. Primeiro, o desmatamento menos intenso nessa região não teria sido suficiente para causar uma diminuição na precipitação regional média. De fato, essa área conservava até 2010, aproximadamente 65% da sua vegetação natural (MMA, 2014). Segundo, as tendências de aumento da precipitação observadas na parte maranhense do Cerrado, possivelmente causadas pelo maior aquecimento da superfície do Oceano Atlântico (LEE et al., 2011), podem ter contribuído para contrabalançar uma eventual redução de P médio na série da porção Setentrional.

Ressalta-se, entretanto, que foram observadas reduções em P em áreas da Região Setentrional (Figura 4-13). Em concordância, Spera et al. (2016) inferiram decréscimos de 3% na precipitação anual nessa região (MATOPIBA), em função de reduções significativas na evapotranspiração, causadas pela conversão da vegetação nativa em agricultura durante o período 2003-2013.

Em termos biofísicos, a retirada das árvores do Cerrado e sua substituição por pastagens e lavouras levou a um aumento do albedo na superfície do solo, reduzindo a absorção da radiação solar, responsável pelos processos de evapotranspiração e convecção (SALAZAR et al., 2015; 2016). Além disso, a redução da rugosidade aerodinâmica da vegetação, após o processo de conversão, pode ter contribuído para um aumento da velocidade do vento, facilitando a exportação da umidade, gerada pela evapotranspiração, para outras regiões a jusante (*downwind*). (ELTHAIR, 1996; COSTA; PIRES, 2010).

No caso da conversão de quase 50% da vegetação natural, savânica e florestal, para culturas anuais e pastagens, tanto a profundidade radicular como o índice de área foliar são reduzidos, diminuindo a evapotranspiração no bioma, que é um dos fatores responsáveis pela precipitação regional (HOFFMANN; JACKSON, 2000). Adicionalmente, as reduções nos processos de convecção e na umidade atmosférica, resultantes da conversão do Cerrado, dificultam a formação e o desenvolvimento de nuvens e, conseqüentemente, a ocorrência de chuvas na região (HOFFMANN; JACKSON, 2000; SNYDER et al., 2004; COSTA; PIRES, 2010; LEE et al., 2011; SALAZAR et al., 2016).

Dessa forma, é possível que o elevado percentual de conversão da vegetação no estado de Goiás, com a conseqüente redução na evapotranspiração local (ARANTES et al., 2016), tenha influenciado a redução da precipitação na faixa oeste do Cerrado (COSTA; PIRES, 2010), a qual também pode ter sofrido impacto da mudança do uso do terra no ‘Arco do Desmatamento’ amazônico (COSTA; PIRES, 2010; KEYS et al., 2016).

Outro ponto de convergência entre o presente estudo e aqueles realizados usando modelos climáticos diz respeito ao padrão da resposta de P em diferentes latitudes. Hoffmann e Jackson (2000) observaram que a maior redução em P regional devido à conversão da vegetação savânica ocorreu na latitude de 15° sul (Figura 4-16 a), exatamente na área do Cerrado onde houve uma maior queda de P no presente estudo (ver Figura 4-13).

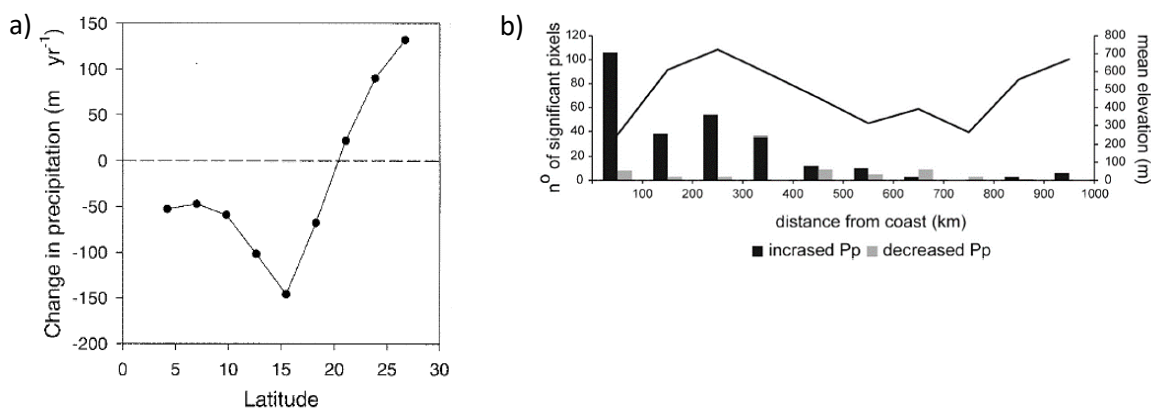


Figura 4-16. Variação na precipitação em função da latitude (a), e da continentalidade (b).  
 Fonte: HOFFMANN E JACKSON, 2000; SALAZAR et al., 2016.

O efeito de continentalidade pode ter contribuído para a redução de P nas áreas core do Cerrado, conforme indicado na Figura 4-13 (este estudo), e como indica a Figura 4-16 (b). A redução da rugosidade após o desmatamento aumenta a velocidade do vento (menor resistência aerodinâmica), que em conjunto com a diminuição da EVT, reduz o fluxo de calor latente e, conseqüentemente, P. Já em regiões mais próximas do oceano, o fluxo de calor latente aumenta com a redução da rugosidade devido a disponibilidade ilimitada de umidade (HAHMANN; DICKINSON, 1997).

Em 5° de latitude sul (Figura 4-16 a), a redução de P ocorreu, mas em magnitude inferior à redução observada a 15° S. Todavia, para a primeira, que corresponde ao estado do Maranhão (MA), a presente investigação encontrou uma tendência de aumento em P, ao invés de uma pequena redução (ver Figura 4-13).

A explicação é que, ao contrário dos autores que consideraram a conversão de toda área do Cerrado, o Maranhão, em 2010, continha aproximadamente 76% da sua vegetação nativa de Cerrado. Além disso, a já mencionada influência da SST favoreceu as chuvas nessa região (LEE et al., 2011). Este fenômeno natural não foi considerado nos modelos de Hoffmann e Jackson (2000). É provável que, com o aumento do desmatamento no estado no futuro, venha a ocorrer uma redução em P.

Já a partir de 22°S, aproximadamente, Hoffmann e Jackson (2000) encontraram um aumento da precipitação regional com o desmatamento do bioma (Figura 4-16 a). Mais uma vez, o mapa da variação de P na ver Figura 4-13 indica leve tendência de redução em P em

algumas áreas, e aumento em outras, como a tendência de aumento estatisticamente significativa no extremo sul de São Paulo.

De acordo com Salazar et al. (2016), as reduções pluviométricas significativas após o desmatamento aumentam a medida em que se avança para o interior do continente devido, entre outras razões, à redução da umidade convergente vinda do oceano (Figura 4-16 b). Isso pode ser uma das explicações para o oeste do bioma ter apresentado as maiores reduções em P se comparado com a porção mais a leste (Figura 4-13).

Segundo Lawrence e Vandecar (2015), as variações em P causadas pelo desmatamento dependem, além do tamanho da área, do padrão de fragmentação da vegetação remanescente (Figura 4-17). Isso porque manchas de vegetação maiores conseguem sustentar certa quantidade de umidade que contribuirá para a formação de nuvens em áreas desmatadas adjacentes.

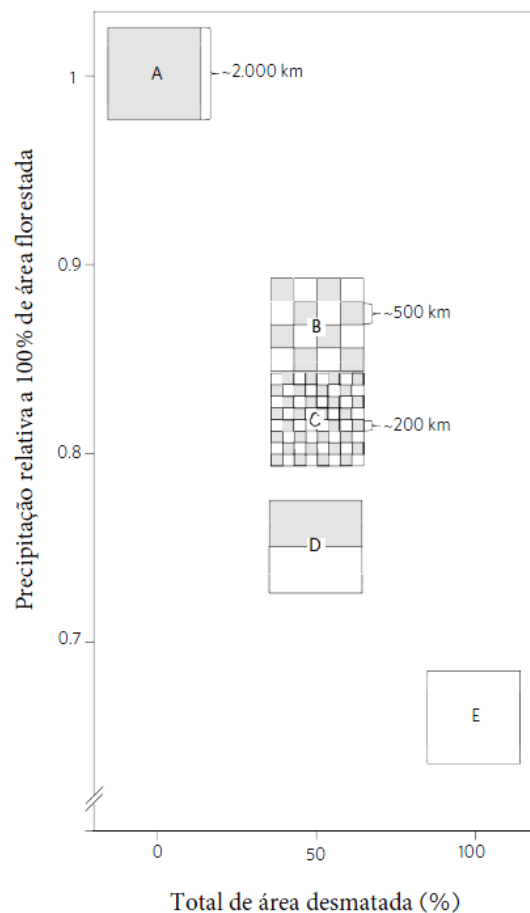


Figura 4-17. Fonte: NOBRE, P. et al. apud LAWRENCE E VANDECAR, 2015.

Nesse sentido, o Cerrado contava em 2010 com aproximadamente 55% da sua vegetação natural. Esta, altamente fragmentada, apresentando um quadro de fragmentação semelhante ao padrão B na Figura 4-17. Sob essas condições, a magnitude de redução da precipitação para o Cerrado encontrada, no presente estudo (-8,4%), foi próxima dos valores indicados pela Figura 5-2 (10%), para 50% de desmatamento.

Esses mesmos autores observaram o aumento da precipitação em áreas desmatadas circundadas por áreas de florestas. Nessa situação, o aumento do ar quente sob pequenas áreas desmatadas reduz a pressão atmosférica local, o qual estimula o influxo de umidade das áreas florestadas vizinhas. Isto pode ter sido o caso de alguns postos que apresentaram tendências positivas em P, provavelmente localizados em áreas menos fragmentadas.

No que diz respeito às tendências sazonais obtidas a partir séries mensais de P, observou-se que as reduções mais acentuadas ocorreram nos meses de maio (transição da estação chuvosa para a seca) para a região meridional, e nos meses de estiagem (JJAS), considerando o bioma como um todo (Figura 4-9 e Tabela 4-2).

Como reconhecido por vários autores, isto deve ter resultado da redução na evapotranspiração pela retirada da vegetação arbórea, uma vez que, durante a estação seca, a EVT da savana para é uma importante fonte de umidade para a formação de nuvens no Cerrado (HOFFMANN; JACKSON, 2000; LEE et al., 2011; COSTA; PIRES., 2010; SALAZAR et al., 2016).

O mesmo impacto não foi observado para os meses da estação chuvosa em função de dois aspectos. Em primeiro lugar, nessa época do ano, a precipitação do Cerrado é determinada por processos de grande escala, como jatos de baixa atmosfera, trazendo umidade do oceano e da Amazônia (SILVA et al., 2008), reduzindo assim a participação da EVT regional no processo de geração de chuva. Em segundo lugar, durante o período de verão chuvoso, a vegetação antrópica está em seu período de máxima produtividade primária (máxima EVT), permitindo que pastagens e lavouras mantenham taxas de evapotranspiração próximas as da vegetação natural (SPERA et al., 2016; ARANTES; FERREIRA; COE, 2016). O mesmo não ocorre durante a estação seca.

Especificadamente, Hoffmann e Jackson (2000) observaram em seu estudo reduções significativas em P nos meses de março e dezembro, fim e início da estação chuvosa, respectivamente. Costa e Pires (2010) observaram prolongamento em um mês na estação seca na região do Arco do Desmatamento, após a conversão no Cerrado e Amazônia.

Arantes, Ferreira e Coe (2016) encontraram 22% a menos de EVT anual produzida por pastagens e lavouras, se comparada com o Cerrado natural. A Figura 4-18 abaixo, elaborada por Spera et al. (2016) destaca essa diferença sazonal na resposta da evapotranspiração.

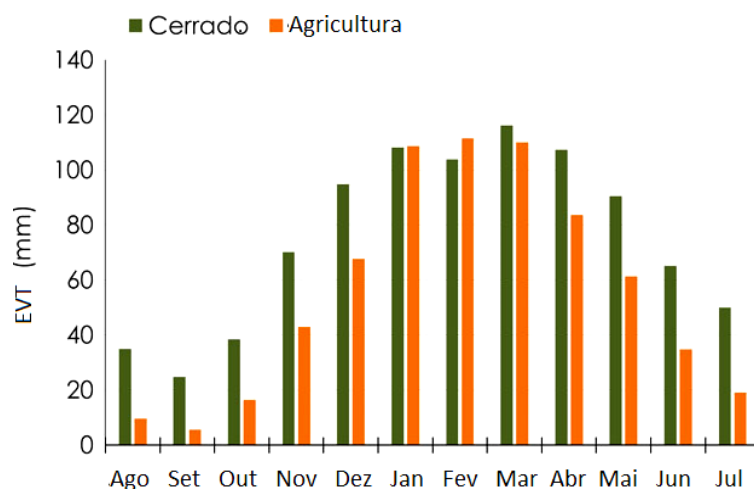


Figura 4-18. Variação da evapotranspiração entre Cerrado e Agricultura no MATOPIBA. Fonte: SPERA et al., 2016

Outra possível explicação para a maior redução relativa em P durante a estação seca é que nessa época do ano existe maior ocorrência de fogo (HOFFMANN e JACKSON, 2000), o qual libera grande quantidade de aerossóis na atmosfera. Essas partículas se agregam a partículas de água e dificultam a formação e o desenvolvimento de nuvens (KANAE; OKI; MUSIAKE 2001).

Observou-se, no presente estudo, uma grande tendência de redução em P no mês de janeiro (período chuvoso), indicando uma possível intensificação dos eventos de veranico no bioma. De acordo com Hoffmann e Jackson (2000), que observaram a mesma ocorrência, o desmatamento poderia estar, de alguma forma, reduzindo a intensidade dos processos de convecção durante aquele mês chuvoso.

Considerando que após a conversão da vegetação nativa, a mudança da evapotranspiração durante o período chuvoso no Cerrado é relativamente pequena (SPERA et al., 2016; ARANTES, FERREIRA; COE 2016), e tendo em vista a reduzida influência do aumento do albedo na região (DAVIN; DE NOBLET-DUCOUDRÉ, 2010), acredita-se que a diminuição da rugosidade aerodinâmica estaria sendo um dos principais agentes responsáveis pela redução dos processos convectivos, e consequentemente da precipitação, no período chuvoso.

A redução média em P para o Cerrado durante os 34 anos na presente pesquisa foi comparada com outros estudos (Tabela 4-9). Para tanto, considerou-se três aspectos distintos no presente estudo: a) a redução média em P obtida a partir da interpolação do valor  $\beta$  (TS) das 125 estações pluviométricas (-125 mm); b) a redução média em P obtida a partir do valor  $\beta$  (TS) para a série regional Cerrado (-160 mm); e c) a redução em P obtida pela diferença entre a média do último período (1994 - 2010) e aquela do primeiro período (1977 - 1993) da série histórica (-80 mm).

Tabela 4-9. Variabilidade da precipitação no Cerrado encontrada (três primeiras linhas) e de acordo com outros estudos (três últimas linhas).

<b>FONTE</b>	<b><math>\Delta P</math> (mm)</b>	<b><math>\Delta P</math> (%)</b>	<b>CENÁRIO</b>
Estudo $\beta$ (TS) Interpolado	- 125	8,4	Cerrado 1977 → LUCC Cerrado 2010
Estudo $\beta$ (TS) Série Regional	-160	10,7	LUCC 1977 → LUCC Cerrado 2010
Estudo $\bar{P}$ (1994 – 2010) – $\bar{P}$ (1977 – 1993)	-80	5,3	LUCC 1977 → LUCC Cerrado 2010
Hoffman e Jackson, 2000	- 151	9,4	Cerrado Original → 100% Gramínea
Lee et al., 2011	-82	5,3	Cerrado Original → LUCC Cerrado 2003
PGCP	- 70	-	-

Os dados do Projeto Climatológico de Precipitação Global – PGCP (ADLER et al. 2003 apud LEE et al., 2011), reportaram uma redução de 70 mm na precipitação do bioma durante 1979–2003.

Lee et al. (2011), usando o mesmo conjunto de dados do PGCP (ADLER et al., 2013), mas levando em conta tanto os *forçantes* antrópicos (LUCC) e naturais (SST), obtiveram uma redução média de 82 mm na precipitação da área core do Cerrado. Ambos os resultados são muito similares ao encontrado, se considerarmos a variação mais conservadora (-80 mm); ou proporcionalmente próximos (-125), considerando a série temporal mais longa do presente estudo.

No caso da redução em P encontrada por Hoffmann e Jackson (2000) para o Cerrado (-151 mm), deve-se ressaltar que esta resultou de um cenário com 100% de desmatamento no bioma, não levando em conta outros *forçantes* antrópicos e naturais, como o aumento da concentração de GEE, *feedback* positivo clima-vegetação, e fenômenos El Niño e La Niña.

A não significância obtida no teste de correlação linear ( $\alpha=0,05$ ) entre a precipitação média anual e o desmatamento no Cerrado, no período estudado (Figura 4-15) deve ser interpretada sob uma perspectiva mais ampla. Embora uma abordagem similar, realizada por Spera et al. (2016), tenha identificado uma correlação linear significativa entre a evapotranspiração e o LUCC na R. Setentrional do Cerrado (MATOPIBA), existe uma diferença entre as variáveis e os processos de EVT e P. Ao contrário da EVT, que, em áreas continentais, é diretamente determinada pela cobertura do solo, a precipitação é influenciada por vários fatores, tais como eventos de larga escala (GIMENO et al., 2012). Essa característica, em conjunto com a alta variabilidade interanual, inerente de P (NOBRE et al., 2011), faz com que seja improvável encontrar uma correlação linear significativa entre a precipitação e o desmatamento.

Mesmo em modelos climáticos, onde é possível isolar a influência do LUCC sobre o clima, verificou-se diferentes sensibilidades deste aos diferentes fatores. Assim, HOFFMANN & JACKSON (2000) encontraram uma relação de não linearidade entre a rugosidade aerodinâmica e P, enquanto que esta respondeu linearmente a variações no albedo e na evapotranspiração (DIRMEYER; SHUKLA, 1994 *apud* HOFFMANN E JACKSON; SPERA et al., 2016).

Semelhantemente ao presente estudo, DeBortoli et al. (2016) encontraram correlação linear significativa entre LUCC e P na minoria das clareiras estudadas. Além disso, as correlações mais significativas aumentavam à medida que maiores áreas desmatadas eram consideradas.

Considerando que diferentes *forçantes*, naturais (SST) e antrópicas (LUCC e MCG) podem ter contribuído para a redução de 8,4% da precipitação no Cerrado no presente estudo, seu aninhamento dificulta a definição das contribuições individuais no processo de variabilidade climática regional. Entretanto, experimentos conduzidos por Lee et al. (2011), analisando os efeitos isolados da variação da SST no Atlântico Sul e do desmatamento no Cerrado, concluíram que 85% da variação observada em P no bioma (- 82 mm) foi causada pelo desmatamento, e apenas 15% pela variação no SST.

No tocante aos efeitos interanuais de meso-escala, como o El Niño/La Niña, nas séries temporais de precipitação, as quebras significativas identificadas pelo método de de Pettitt foram apenas pontuais, afastando a hipótese de um impacto generalizado do fenômeno em nível regional, como observado por DeBortoli et al. (2015).



No caso da correlação entre P e desmatamento, a falta de uma série de dados temporais e espaciais realística pode ter contribuído para a não significância daquela. Ao menos, taxas de desmatamento do bioma como um todo, como as obtidas por imagens de satélite para a Amazônia desde a década de 1980, já melhoraria a série temporal de desmatamento do Cerrado utilizada.

Uma maior disponibilidade de dados pluviométricos, com maior cobertura espacial e temporal, reforçaria os resultados já observados. A tendência geral de redução em P no Cerrado observada é confirmada por uma série de estudos, os quais detectaram redução na umidade relativa no Centro-Oeste brasileiro (ALMEIDA, 2012); antecipação do fim da estação chuvosa (DEBORTOLI et al., 2105); redução na evapotranspiração no MATOPIBA (ARANTES; FERREIRA; COE, 2016; SPERA et al., 2016), e reduções em P (ADLER et al., 2003 *apud* LEE et al., 2011).

O quadro de desmatamento atual e as projeções futuras sinalizam o caminho crítico pelo qual o Cerrado está sendo direcionado (SPERA et al., 2016; ARANTES et al., 2016; SALAZAR et al., 2016). Apesar de ser praticamente impossível discorrer sobre todos os impactos ambientais e sociais recorrentes da redução da precipitação, pode-se listar alguns.

Uma das consequências diretas da redução da precipitação, principalmente durante o período de estiagem, é o aumento da frequência e intensidade do fogo, que por sua vez impacta a densidade arbórea (FRANCO et al., 2014). Como consequência, mais alterações nos processos biofísicos ocorrem, e maiores reduções em P são induzidas, gerando um processo de *feedback* positivo clima-vegetação (HOFFMANN; JACKSON, 2000). Mesmo sem o fogo, esse *feedback* positivo já ocorre em decorrência da redução da densidade de árvores que não suportam estresses hídricos mais acentuados (LEE et al., 2011; MALHI et al., 2009).

Tanto a flora quanto a fauna serão intensamente ameaçados de extinção e/ou terão sua área de distribuição reduzida em razão do impacto nos recursos ambientais, como água (FRANCO et al., 2014). A continuarem os impactos no bioma, como a redução da precipitação, sua resiliência frente a outras pressões (regionais e /ou globais), garantida pelas funções ecossistêmicas prestadas pela vegetação, estaria comprometida. A consequência disso seria um aumento da exposição do Cerrado a incêndios, a erosões, a inundações e a variações bruscas na temperatura (MENDES et al., 2010).

A conversão da vegetação no Cerrado ameaça não só os que dele diretamente dependem, mas outras regiões do país. De acordo com Costa e Pires (2010), o desmatamento do Cerrado tem grande potencial de reduzir a umidade convergente, e conseqüentemente, a precipitação na região do Arco do Desmatamento (sudeste da Amazônia), podendo induzir a savanização nessa região (MALHADO; PIRES; COSTA, 2010). Keys et al. (2016) destacam também a importância da evapotranspiração da vegetação do Mato Grosso para precipitação em regiões mais distantes, como as metrópoles do sudeste brasileiro.

Dentre as várias conseqüências econômicas, destacam-se os riscos relacionados ao setor do agronegócio, tendo em vista que o Cerrado representa grande parte da produção agropecuária nacional (MMA, 2014 KLINK, 2013). Somente em 2016, variações climáticas no estado de Mato Grosso resultaram em uma queda na produção de soja de 5,7% (IBGE, 2016). Ademais, um declínio na produção das *commodities* brasileiras também teria um impacto no mercado global (MARENGO et al., 2012).

Em decorrência do seu papel nos recursos hídricos nacionais o impacto no balanço hídrico do Cerrado provavelmente afetará a distribuição de água para est e diversas outras partes do país (LIMA, 2011). Além do potencial impacto sobre a precipitação, o desmatamento, por si só, reduz a infiltração e armazenamento da água, aumenta o escoamento superficial e, conseqüentemente, os processos erosivos (ARAGÃO, 2012). A forte inter-relação entre tais fatores, com agravamento das suas conseqüências, poderá comprometer o abastecimento das bacias hidrográficas que dependem do Cerrado (principalmente, Tocantins/Araguaia, São Francisco, Paraná).

Os resultados do presente estudo, entretanto, não devem ser vistos puramente como uma profecia de catástrofe climática e ambiental. O impacto do desmatamento sobre a precipitação regional pode ser mitigado pela adoção de um conjunto de ações, incluindo as que minimizam as reduções nas taxas de evapotranspiração.

A medida de longe mais eficaz seria a conservação da vegetação natural do Cerrado. Esta está mais adaptada às condições biofísicas do bioma, apresentando papel único no equilíbrio do balanço hídrico. A conservação de grandes áreas de floresta, ao invés de áreas muito fragmentadas, é fundamental para produção de umidade adequada (LAWRENCE; VANDECAR, 2015); além da manutenção das outras funções ecossistêmicas, como manutenção da biodiversidade.

Nesse contexto, é imprescindível incluir a reformulação do Código Florestal, não somente para o aumento dos percentuais de reserva legal no Cerrado, mas para uma maior proteção das Áreas de Preservação Permanente (APP); aumento das Unidades de Conservação, principalmente na porção meridional que está mais degradada (STRASSBURG et al., 2017); reformulação das políticas de que subsidiam o agronegócio, como as que atualmente ocorrem para o MATOPIBA; valorização da biodiversidade do bioma, com destaque para seus produtos (pequi, cagaita, siriguela, buriti), que poderiam reverter para a conservação da savana; além da inserção dos impactos biofísicos do LUCC nas políticas relacionadas às mudanças do clima.

Para as áreas já destinadas à agropecuária, uma série de práticas sustentáveis mitigariam os impactos climáticos da retirada da vegetação nativa. Essas incluem os sistemas de Integração Lavoura – Pecuária – Floresta, o plantio direto (HOUSPANOSSIAN et al., 2017), plantio de culturas duplas em um mesmo ano (SPERA et al., 2016), além do reflorestamento e a restauração da vegetação natural (DAVIN; DE NOBLET-DUCOUDRÉ, 2010).

De acordo com esses estudos, em comparação com sistemas tradicionais de produção agropecuária, as alternativas de uso e manejo do solo mencionadas contribuem para o aumento da evapotranspiração, redução da velocidade do vento na baixa atmosfera, e para redução do albedo, diminuindo os efeitos biofísicos do desmatamento, indicados anteriormente no presente estudo.

É extremamente importante que políticas públicas apropriadas sejam capazes de incentivar uma maior cobertura do solo e a implantação de coberturas permanentes, inclusive arbóreas. A regulamentação do Art. 41 do Código Florestal, por exemplo, que estabelece o pagamento por serviços ambientais relativos ao reflorestamento, seria um primeiro passo. Para ter sucesso, entretanto, é necessário que o governo e a sociedade conheçam os benefícios socioeconômicos e ambientais desse tipo de política, através de um processo transparente de quantificação e valoração de serviços ambientais, como aquele utilizado no Programa Produtor de Água (CHAVES et al., 2004).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal desse trabalho foi verificar se o desmatamento ocorrido no bioma Cerrado até 2010 provocou variações de longo prazo na precipitação regional. Apesar dessa hipótese ser corroborada por diversos estudos (HOFFMAN e JACKSON, 2000; SNYDER et al. 2004; PONGRATZ et al., 2006; COSTA e PIRES., 2010; LEE et al., 2011; SALAZAR et al., 2016; NOOJIPADY et al., 2017; DAVID; DU-CONDRE, 2010; DEBERTOLI et al., 2016), faltava ainda um estudo que analisasse a tendência da precipitação no bioma como um todo, e sua correlação com o desmatamento.

Assim, no presente estudo constatou-se que:

1. A precipitação média no Cerrado diminuiu aproximadamente 8,4% (125 mm) no período entre 1977 e 2010, enquanto que para a Região Setentrional e Meridional, essa queda na precipitação correspondeu a 4,7% (62 mm) e 10,6% (160 mm), respectivamente.

2. 83% da área total do Cerrado apresentaram redução na precipitação no período estudado, e apenas 17% mostraram um aumento, sendo estes principalmente nas áreas limítrofes do bioma, sujeitos a padrões climáticos distintos. De uma forma geral, os resultados sugerem tendências de redução da precipitação nos meses de estiagem (JJAS), com janeiro e maio apresentando o maior número de tendências significativas de queda em P.

3. Em nível regional, o desmatamento do Cerrado não apresentou uma correlação temporal significativa com a precipitação anual entre 1977 e 2010, mas uma clara correlação negativa entre essas variáveis foi observada. Além disso, outros indícios reforçam tal relação.

4. Evidências na literatura corroboram a maioria dos resultados encontrados no presente estudo, tais como a dominância do efeito do LUCC na redução da precipitação regional, comparativamente a outros forçantes (LEE et al., 2001).

Entretanto, considerando a alta variabilidade inter-anual do processo climático regional, bem como a participação dos diferentes forçantes (naturais e antrópicos) no processo, mais pesquisas são necessárias para esclarecer as lacunas não exploradas neste estudo, bem como outros processos não avaliados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, A. S. Modelagem dinâmica do desmatamento na região do MATOPIBA até 2050. 2016. 97 f. Dissertação. Mestrado em (Ciências Florestais), Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília. Brasília – DF.
- AHMAD, I.; TANG, D.; WANG, T. F.; WANG, M.; WAGAN, B. Precipitation Trends over Time Using Mann-Kendall and Spearman's rho Tests in Swat River Basin, Pakistan. **Advances in Meteorology** (*on-line*), 2015. DOI: 10.1155/2015/431860.
- ALEXANDRE, G. R.; BAPTISTA, M. B.; NAGHETTINI, M. Estudo para identificação de tendências do regime pluvial na Região Metropolitana de Belo Horizonte a partir de métodos estatísticos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, p115-126, 2010.
- ALMEIDA, C. T.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; DELGADO, R. C.; CUBO, P.; RAMOS, M. C. Spatiotemporal rainfall and temperature trends throughout the Brazilian Legal Amazon, 1973 – 2013. **International Journal of Climatology**, v.37, p.2013-2026, 2017.
- ALMEIDA, J. M. V. Índices de monitoramento e detecção de mudanças climáticas na região centro-oeste do Brasil. 2012. 236 f. Dissertação. Mestrado em (Meteorologia), Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande. Brasília – DF.
- ALTON, P. A simple retrieval of ground albedo and vegetation absorptance from MODIS satellite data for parameterisation of global land-surface models. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.149, p. 1769–1775, 2009.
- ANA- Agência Nacional de Águas. Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil - 2014: relatório síntese / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2016.33 p.
- ANA- Agência Nacional de Águas; SGH- Superintendência de Gestão da Rede hidrometeorológica. Diretrizes e análises recomendadas para a consistência de dados pluviométricos. Brasília: ANA, SGH, 2011. 18p.
- ARAGÃO, L. E. O. C. Environmental science: The rainforest's water pump. **Nature**, v. 489, n. 7415, p. 217, 2012.
- ARANTES, A. E.; FERREIRA, L. G.; COE, M. T. The seasonal carbon and water balances of the Cerrado environment of Brazil: Past, present, and future influences of land cover and land use. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.117, p 66-78, 2016.
- ASSAD, E. D.; SANO, E. E.; MASUTOMO, R.; CASTRO, L. H. R.; SILVA., F. A. M. Veranicos na região dos cerrados brasileiros: frequência e probabilidade de ocorrência. Pesquisa **Agropecuária Brasileira**, v.28, p. 993-1.003, 1993.

- BARBOSA, A. S. Sistema biogeográfico do Cerrado: alguns elementos para sua caracterização. Goiânia, UCG, 1996, 43p.
- BAYAZIT, M.; ÖNÖZ, B. To prewhiten or not to prewhiten in trend analysis? **Hydrological Sciences Journal**, v. 52, n. 4, p. 611-624, 2007.
- BERTRAN, P. História da terra e do homem no Planalto Central: eco-história do Distrito Federal - do indígena ao colonizador. Brasília: Solo. 1994.
- BETTS, R.; NOBRE, C. A.; KAY, G.; SAMPAIO, G.; HOU, S. C. **Como modelamos o clima**. In: MARENGO, J. A.; BETTS, R.; NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; KAY, G.; CHOU, S. C.; TOMASELLA, J.; ALVES, L. M.; OBREGÓN, G. O.; SOAREAS, W. R. Riscos das Mudanças Climáticas no Brasil: análise conjunto Brasil - Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento da Amazônia. INPE, 2011. 56p.
- BISHT, D., S.; CHATTERJEE, C.; RAGHUWANSHI, N., S.; SRIDHAR, V. Spatio-temporal trends of rainfall across Indian river basins. **Theoretical and Applied Climatology**, p.1-18, 2017.
- BOERS, N.; MARWAN, N.; BARBOSA, H. M. J.; KURTHS, J. A deforestation-induced tipping point for the South American monsoon system. **Scientific Reports**, v. 7, p. 41489, 2017.
- BONAN, G. B. Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. **Science**, v.320, p. 1444 – 1449, 2008.
- BRAGA, M. L. de S. As políticas desenvolvimentistas e ambientais brasileiras e seus impactos na região dos cerrados. In: DUARTE, M. L. G. & BRAGA, M. L. de S. (orgs.) **Tristes cerrados: sociedade e biodiversidade**. Brasília: Paralelo 5. 1998. p. 93-123.
- BRANNSTROM, C.; JEPSON, W.; FILIPPI, A. M.; REDO, D.; XU, Z.; GANESH, S. Land change in the Brazilian Savanna (Cerrado), 1986–2002: Comparative analysis and implications for land-use policy. **Land Use Policy**, v. 25 p. 579–595, 2008.
- BRASIL. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**: 2013. Agência Nacional de Águas: ANA.
- BUSTAMANTE, M. M. C.; NARDOTO, G. B.; PINTO, A. S.; RESENDE, J. C. F.; TAKAHASHI, F. S. C.; VIEIRA, L. C. G. Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. **Brazil Journal of Biology**, v. 72, n. 3, p. 655-671, 2012.
- BUSTAMANTE, M. M. C.; NOBRE, C. A.; SMERALDI, R.; AGUIAR, A. P. D.; BARIONI, L. G.; FERREIRA, L. G.; LONGO, K.; MAY, P.; PINTO, A. S.;

- OMETTO, J. P. H. B. Estimating greenhouse gas emissions from cattle raising in Brasil. **Climatic Change**, v. 115, p. 559-577. 2012.
- CEPF – CRITICAL ECOSYSTEM PARTNERSHIP FUND. **Ecosystem profile: Cerrado biodiversity hotspot**. 2016. 479p.
- CHOU, S. C.; MARENGO, J. A.; LYRA, A. A.; SUEIRO, G.; PESQUERO, J. F.; LINCOLN, M. A.; KAY, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D. J. GOMES, J. L.; BUSTAMANTE, F. TAVARES, P. Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs. **Climate Dynamics (on-line)**. 2011. DOI 10.1007/s00382-011-1002-8.
- COE, M. T. LATRUBESSE, E. M.; FERREIRA, M. E.; AMSLER, M. L. The effects of deforestation and climate variability on the streamflow of the Araguaia River, Brazil. **Biogeochemistry**, v. 105, p.119 -131, 2011.
- COSTA, H. C. MARCUZZO, F. F. N.; FERREIRA, O. M.; ANDRADE, L, R. Espacialização e sazonalidade da precipitação pluviométrica no estado de Goiás e Distrito Federal. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 1, p. 87-100, 2012.
- COWPERTWAIT, P.S.P.; METCALFE, A. V. **Introductory Time Series with R, Use R**. New York: Springer Science, 2009. 262p.
- CSR/IBAMA. **Monitoramento do bioma Cerrado 2008-2009**. Brasília. 2011a.
- CSR/IBAMA. **Monitoramento do bioma Cerrado 2009-2010**. Brasília. 2011b.
- CSR/IBAMA. **Relatório técnico de monitoramento do desmatamento no Cerrado, 2002 a 2008: dados revisados**. Brasília. 2009.
- DAVIN, E. L.; DE NOBLET-DUCOUDRÉ, N. Climatic Impact of Global-Scale Deforestation: Radiative versus Nonradiative Processes. **American Meteorological Society**, v. 23, p. 97- 111, 2010.
- DEBORTOLI, N. S.; DUBREUIL, V.; HIROTA, M.; RODRIGUES-FILHO, S.; LINDOSO, D. P.; NABUCET, J. Detecting deforestation impacts in Southern Amazonia rainfall using rain gauges. **International Journal of Climatology**. v. 37, n. 6, p. 2889-2900, 2016.
- DEBORTOLI, N. S.; DUBREUIL, V.; FUNATSU, B. DELAHAYE, F.; OLIVEIRA, C. H.; RODRIGUES-FILHO, S.; SAITO, C. H.; FETTER, R. Rainfall patterns in the Southern Amazon: a chronological perspective (1971–2010). **Climatic Change**, v. 132, n. 2, p. 251-264, 2015.
- DEVARAJU, N.; BALA, G.; NEMANI, R. Modelling the influence of land-use changes on biophysical and biochemical interactions at regional and global scales. **Plant, Cell and Environment**, v. 38, p. 1931–1946, 2015.

- DI PIAZZA, A.; LO CONTI, F.; NOTO, L.V.; VIOLA, F.; LA LOGGIA, G. Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially complete monthly time series of precipitation for Sicily, Italy. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 13, p. 396–408, 2011.
- DIRMEYER, P. A.; NIYOGI, D.; NOBLET-DUCOUDRÉ, N. E.; DICKINSON, R. E.; SNYDER, P. K. Editorial: Impacts of Land Use Change on Climate. **International Journal of Climatology**, v. 30, p. 1905-1907, 2010.
- DUFEK, A. S.; AMBRIZZI, T. Precipitation variability in São Paulo State, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 93, p. 167-178, 2008.
- EITEN, G. The Cerrado vegetation of Brazil. **Botanical Review**, v.38, p 201 -341, 1972.
- ELLISON, D.; MORRIS, C. E.; LOCATELLI, B.; SHEIL, D.; COHEN, J. MURDIYARSO, D.; GUTIERREZ, V.; NORRDWIJK, M; V.; CREED, I. F.; POKORNY, J.; GAVEAU, D.; SPRACKLEN, V.; TOBELLA, A. B.; ILSTEDT, U.; TEULING, A. J.; GEBREHIWOT, S. G.; SANDS, D. C.; MUYS, B.; VERBIST, B.; SPRINGGAY, E.; SUGANDII, Y.; SULLIVAN, C A. Trees, forest and water: Cool insights for a hot world. **Global Environmental Change**, v. 43, p. 51-61, 2017.
- ELTAHIR, A. B. E. Role of vegetation in sustaining large-scale atmospheric circulations in the tropics. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 101, p. 4255-4268, 1996.
- FALEIRO, F. V.; MACHADO, R. B.; LOYOLA, R. D. Defining spatial conservation priorities in the face of land-use and climate change. **Biological Conservation**, v. 158, p. 248–257, 2013.
- FRANCO, A. C.; ROSSATTO, D. R.; SILVA, L. C. R.; FERREIRA C. S. Cerrado vegetation and global change: the role of functional types, resource availability and disturbance in regulating plant community responses to rising CO<sub>2</sub> levels and climate warming. **Theoretical Experimental Plant Physiology (on-line)**. 2014. DOI 10.1007/s40626-014-0002-6.
- FURLAN, D. N. **Variabilidade temporal e espacial das chuvas e do balanço hídrico no estado de Rondônia: caracterização e análise de tendência**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, SP. 2009,129p.
- GANEM, R. S., DRUMMOND., J. A.; FRANCO., J. L. A. **Ocupação humana e impactos ambientais no bioma Cerrado: dos Bandeirantes à política dos biocombustíveis**. IV Encontro Nacional da Anppas, Brasília – DF, junho 2008. 20 p.



- GEORGESCU, M., LOBELL, D., B., FIELD, C., B., MAHALOV, A., Simulated hydroclimatic impacts of projected Brazilian sugarcane expansion. **Geophysics Research Letter**, v. 40, n.5, p. 972–977, 2013.
- GIBBS, H. K.; RAUSCH, L.; MUNGER, J.; SCHELLY, I. MORTON, D. C.; NOOJIPADY.; SOARES-FILHO, B.; BARRETO, P.; MICOL, L.; WALKER, N. F. Brazil's soy Moratorium. **Science**, v.23, p. 377-378, 2015.
- GIMENO, L.; STOHL, A.; TRIGO, R. M.; DOMINGUEZ, F.; YOSHIMURA, K.; YU, L.; DRUMOND, A.; DURÁN-QUESADA, A. M. NIETO, R. Oceanic and terrestrial sources of continental precipitation. **Reviews of Geophysics**, v. 50, n. 4, 2012.
- HAHMANN, A. N.; DICKINSON, R. E. RCM2-BATS model over tropical South America: Applications to tropical deforestation. *Journal of Climate*, v.10, P 1944-1964.
- HOFFMANN, W. A.; JACKSON, R. B. Vegetation- Climate feedbacks in the Conservation of Tropical Savanna to Grassland. **American Meteorological Society**, v. 13, p. 1593- 1602, 2000.
- HOUSPANOSSIAN, J.; GIMÉNEZ R.; JOBBÁGY, E.; NOSETTO, M. Surface albedo raise in the South American Chaco: Combined effects of deforestation and agricultural changes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 232, p. 118–127, 2017.
- HUNKE, P.; MUELLER, E. N.; SCHÖDER, B.; ZEILHOFER, P. The Brazilian Cerrado: assessment of water and soil degradation in catchments under intensive agricultural use. **Ecohydrology (on-line)**. 2014. DOI: 10.1002/eco.1573.
- IBAMA. **Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite —PMDBB**. (2015). Disponível em: [http://siscom.ibama.gov.br/monitora\\_biomass/PMDBB%20-%20CERRADO.html](http://siscom.ibama.gov.br/monitora_biomass/PMDBB%20-%20CERRADO.html). Acessado em: 09/01/2018.
- IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. Rio de Janeiro, v. 43, 2016. 62p.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (Projeto Prodes, 2015)**. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>. Acessado em 10.01.2018.
- IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014. 151 pp.
- KANAE S.; OKI, T.; MUSIAKE, K. Impact of Deforestation on Regional Precipitation over the Indochina Peninsula. **American Meteorological Society**, v.2, p. 51-70. 2001.

- KENDALL, M. G. Rank Correlation Methods. **4o ed. Charles Griffin**, London, 1975.
- KEYS, P. W; WANG-ERLANDSSON, L.; GORDON, L. J. Revealing invisible water: moisture recycling as an ecosystem service. **PlosOne** (on-line). 2016. DOI: 0.1371/journal.pone.0151993
- KHANNA, J.; MEDVIGY, D.; FUEGLISTALER, S.; WALKO, R. Regional dry-season climate changes due to three decades of Amazonian deforestation. **Nature Climate Change**, v.7, p. 1-7, 2017
- KLINK, C. A.; MOREIRA, A. G. Past and current human occupation and land-use. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. **The Cerrado of Brazil**. New York: Columbia University Press, 2002. p. 69-88.
- KLINK., C. A. Policy Intervention in the Cerrado Savannas of Brazil: Changes in Land-Use and Effects on Conservation. In: CONSORTE –MCCREA, A. G.; SANTOS, E. F. (Orgs.) **Ecology and Conservation of the Maned Wolf: Multidisciplinary Perspectives**. Editora CRC Press, 2013. 322p.
- KOHLER, M.A. Double-mass analysis for testing the consistency of records and for making adjustments. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 30, p. 188–189, 1949.
- KUNDZEWICZ, Z. W.; ROBSON, A. Detecting trend and Other Changes in Hydrological Data. **World Climate Programme-Water, World Climate Programme Data and Monitoring, WCDMP-45, WMO/TD**, n.1013, 2000, 158p.
- LAHSEN M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; DALLA-NORA, E. L. Underevaluating and overexploiting the Brazilian Cerrado at our Peril. **Environment: Science and Policy for Sustainable Development**, v. 58, n. 6, p. 4-15, 2016.
- LATRUBESSE E. M.; AMSLER, M.; MORAIS, M.; AQUINO, S. The geomorphological response of a large pristine aluvial river to tremendous deforestation in the South American Tropics: the case of the Araguaia River. **Geomorphology**, v. 113, p. 239-252, 2009.
- LEE, J.-E., B. R. LINTNER, C. K. BOYCE, AND P. J. LAWRENCE. Land use change exacerbates tropical South American drought by sea surface temperature variability. **Geophysical Research Letter**, v. 38, p. 1-6, 2011. doi:10.1029/2011GL049066.
- LEITE, M. Tudo sobre crise da água. **Folha de São Paulo**, São Paulo. Disponível em: <http://infograficos.estadao.com.br/especiais/passado-futuro-cantareira/>. Acesso: 23/10/2017. 2014.
- LIMA, J. E. F. W. Situação e perspectivas sobre as águas do Cerrado. **Ciência e Cultura**, v. 63, n. 3, p. 27-29, 2011. Disponível em:

<<http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v63n3/a11v63n3.pdf>>. Acesso em: 9/10/2017.

- LIMA, J.E.F.W.; SILVA, E. M. Recursos Hídricos do bioma Cerrado: Importância e situação. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (Ed.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina: Embrapa Cerrados, v.1,2008, 406p.
- LITRE, G.; SILVA, C. J.; SIMONI, J. NOGUEIRA, P. FAÇANHA, C. L.; SAITO, C. H.; FETTER, R.; FREITAS, S.; NAPOLIS. Estudos de caso – Cerrado. In: BURSZTYN, M.; RODRIGUES-FILHO, S. (Orgs.). **O Clima em transe: vulnerabilidade da agricultura familiar**. Brasília, DF: IABS & Garamond, 2016. 356 p.
- MACHADO, R.B.; NETO, M. B. R.; PEREIRA, P. G. P.; CALDAS, E. F.; GONÇALVES, D. A.; SANTOS, N. S.; TABOR, K.; STEININGER, M. **Estimativas de perda da área do Cerrado Brasileiro. Relatório técnico não publicado**. Conservação Internacional, Brasília, DF. 2004.
- MAHMOOD, R.; PIELKE, R. A.; HUBBARD, K. G.; NIYOGI, D.; DIRMEYER, P. A.; MCALPINE, C.; CARLETON, A. M.; HALE, R.; GAMEDA, S.; BELTR'AN-PRZEKURAT, A.; BAKER, B.; MCNIDER, R.; LEGATES, D. R.; SHEPHERD, M. DU, J.; BLENKEN, P. D.; FRAUENFELD, O. W.; NAIR, U. S. FALL, S. Land cover changes and their biogeophysical effects on climate. **International Journal of Climatology**, v. 34, p. 929–953, 2014.
- MAKARIEVA, A. M.; GORSHKOV, V. G.; SHEIL, D.; NOBRE, A. D.; BUNYARD, P.; LI, B. L.; Why Does Air Passage over Forest Yield More Rain? Examining the Coupling between Rainfall, Pressure, and Atmospheric Moisture Content. **American Meteorological Society**, v. 15, p. 411-426. 2014.
- MALHADO, A. C. M.; PIRES, G. F.; COSTA, M. H. Cerrado Conservation is Essential to Protect the Amazon rainforest. **AMBIO**, v. 39, p. 580-584, 2010.
- MALHEIROS, R. A influência da sazonalidade na dinâmica da vida no Bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 19, p. 113-128, 2012.
- MALHI, Y., L.E.O.C. ARAGÃO, D. GALBRAITH, C. HUNTINGFORD, R. FISHER, P. ZELAZOWSKI, S. SITCH, C. MCSWEENEY, AND P. MEIR. 2009. Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. v. 106, n. 49, p. 20610-20615, 2009.
- MANN, H. B. Non-parametric test against trend, **Econometrica**, v. 13, p. 245-259, 1945.
- MARENGO J. A.; RUSTICUCCI, M.; PENALBA, O.; RENO, M. Na intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half

of the twentieth century: part 2: historical trends. **Climatic Change**, v. 98, p. 509 – 529, 2010.

MARENGO, J. A. Caracterização do clima do Brasil no século XX e cenários climáticos no Brasil e na América do Sul para o século XXI derivados dos modelos globais de clima do IPCC. **CPTEC/INPE**, São Paulo, Brasil. 2007. 185p.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília: MMA, 2006. 212 p.

MARENGO J. A.; LIEBMANN, A. B.; GRIMM, B A. M.; MISRA Review: Recent Developments on South America Monsoon System

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; SELUCHI, M. E. CUARTAS, A.; ALVES, L. M.; MEDIONDO, E. M.; OBREGÓN, G.; SAMPAIO, G. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, São Paulo, n. 106, p. 31- 44, 2015.

MASTRANDREA, M.D., C.B. FIELD, T.F. STOCKER, O. EDENHOFER, K.L. EBI, D.J. FRAME, H. HELD, E. KRIEGLER, K.J. MACH, P.R. MATSCHOSS, G.K. PLATTNER, G.W. YOHE AND F.W. ZWIERS. **Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties**. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva, Switzerland, 2010. 4 pp.

MENDONÇA, R.; FELFILI, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA-JÚNIOR, M. C.; REZENDE, A.V.; FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P. E. N.; FAGG, C. W. Flora vascular do bioma Cerrado: checklist com 12.356 espécies. p. 287– 556. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: ecologia e flora**. Embrapa Informações Tecnológicas, v.2, 1297p, 2008.

MENEZES, L. S.; CHOU, S. C.; ALMEIDA, J. M. V.; SOUZA, S. A.; BEZERRA, W. A.; RODRIGUES, L. N.; ROCHA, C. H. E. D. **Mudanças Climáticas no DF e RIDE: Detecção e projeções das mudanças climáticas para o Distrito Federal e Região Integrada de desenvolvimento do DF e entorno**. Brasília, DF: Secretaria do Meio Ambiente, 2016. 173p.

MILLON, C. P.Y. **Quantificação experimental da alteração no balanço hídrico e erosão em um neossolo quartzarênico devido à substituição de pastagem por cana-de-açúcar**. 2013. 100p. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil, 2013.

MMA. **Mapeamento do uso e cobertura do Cerrado: projeto TerraClass Cerrado 2013**. Brasília, DF, 2015. 67p.

MMA. **PPCerrado – Plano de Ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas no Cerrado:2ª fase (2014-2015)**. Brasília: DF, 2014. 132 p.

- MOURATO, S.; MOREIRA, M.; CORTE-REAL, J. Interannual variability of precipitation distribution patterns in Southern Portugal. **International Journal of Climatology**, v. 30, p. 1784–1794, 2010.
- MUELLER, C. C.; MARTHA, G. B. **A agropecuária e o desenvolvimento socioeconômico recente do Cerrado**. Simpósio Nacional Cerrado. Brasília: Embrapa Cerrados. 2008. p. 1- 41.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. **Biodiversity Hotspots for Conservation Priorities**. *Nature*, v. 403, nº. 6772, p. 853–858. 2000.
- NEILL, B. C. O.; OPPENHEIMER, M.; WARREN, R.; HALLEGATTE, S.; KOPP, R. E.; PÖRTNER, H. O.; SCHOLLES, R.; BIRKMAN, J.; FODEN, W.; LICKER, R.; MACH, K. J.; MARBAIX, P.; MASTRANDREA, M. D.; PRICE, J.; KAKAHASHI, J.; YPERSELE, J. P. V.; YOHE, G. IPCC reasons for concern regarding climate change risks. **Nature Climate Change**, v. 7, n. 1, p. 28-37, 2017.
- NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A.; SAMPAIO, G.; BETTS, R.; KAY, G. **Mudanças Climáticas Globais e Regionais**. In: MARENGO, J. A.; BETTS, R.; NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; KAY, G.; CHOU, S. C.; TOMASELLA, J.; ALVES, L. M.; OBREGÓN, G. O.; SOAREAS, W. R. Riscos das Mudanças Climáticas no Brasil: análise conjunto Brasil - Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento da Amazônia. INPE, 2011. 56p.
- NOOJIPADY, P.; MORTON, D. C.; MACEDO, D. C.; HUANG, C.; GIBBS, H. K.; BOLFE, E. L. Forest carbon emissions from cropland expansion in the Brazilian Cerrado biome. **Environmental Research Letters**, v.12, p. 1-11, 2017.
- OBREGÓN, G. O.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. “Rainfall and Climate Variability: Long-term Trends in the Metropolitan Area of São Paulo in the 20th Century”, in *Climate Research*, v.61, n. 2, p. 93-107, 2014.
- OBREGON, G.; MARENGO, J. **Variabilidade e tendências climáticas**. In: MARENGO, J. A.; BETTS, R.; NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; KAY, G.; CHOU, S. C.; TOMASELLA, J.; ALVES, L. M.; OBREGÓN, G. O.; SOAREAS, W. R. Riscos das Mudanças Climáticas no Brasil: análise conjunto Brasil - Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento da Amazônia. INPE, 2011. 56p.
- OLIVEIRA, L. F. C.; FIOREZE, A. P.; MEDEIROS, A. M. M.; SILVA, M. A. S. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluviométrica anual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.11, p.1186–1192, 2010.

- OLIVEIRA, P. T. S.; WENDLAND, M. A.; NEARING, R. L.; SCOTT, R. R.; ROCHA, H. R. The water balance components of undisturbed tropical woodlands in the Brazilian cerrado. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 19, n. 6, p. 2899, 2015.
- OLIVEIRA, P.T. S.; NEARING, M. A.; MORAN, M. S.; GOODRICH, D. C.; WENDLAND, E. GUPTA, H. V. Trends in Water Balance components across the Brazilian Cerrado. **Water Resources Research**, v. 50, p. 7100- 7114, 2014.
- OLIVEIRA, R. S.; BEZERRA, L.; DAVIDSON, E. A.; PINTO, F.; KLINK, C. A.; NEPSTAD, D. C.; MOREIRA, A. Deep root function in soil water dynamics in cerrado savannas of central Brazil. **Functional Ecology**, v. 19, p. 574 – 581, 2005
- PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. AMBRIZZI, T.; ARAÚJO, M. (Org.). **Base científica das mudanças climáticas: Grupo de Trabalho 1 - Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas**. Rio de Janeiro: COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2014. 464p.
- PERUGINI, L.; CAPORASO, L.; MARCONI, S.; CESCATTI, A.; QUESADA, B.; DE NOBLET-DUCOUDRÉ, N.; HOUSE, J. I.; ARNETH, A. Biophysical effects on temperature and precipitation due to land cover change. **Environmental Research Letters**, v.12, p. 1-13, 2017.
- PETTITT, A.N. A non-parametric approach to the change point problem. **Journal of the Royal Statistical Society Series C, Applied Statistics**, v.28, p. 126-135, 1979.
- PIELKE, R. A.; ADEGOKE, J.; BELTRAN-PRZEKURAT, A.; HIEMSTRA, C. A.; LIN, J.; NAIR, U. S.; NIYOGI, D.; NOBIS, T. E. . An overview of regional land use and land cover impacts on rainfall. Tellus Series B: **Chemical and Physical Meteorology**, v. 59, p. 587–601, 2007.
- PIELKE, R.A. Influence of the spatial distribution of vegetation and soils on the prediction of cumulus convective rainfall. **Reviews of Geophysics**, v. 39, p. 151–177, 2001.
- POHLERT, T. (2018). **Trend: Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection**. R package version 1.1.0. <https://CRAN.R-project.org/package=trend>
- PONGRATZ, J.; BOUNOUA, L.; DEFRIES, R. S.; MORTON, D. C.; ANDERSON, L. O. The impact of Land Cover Change on Surface Energy and Water Balance in Mato Grosso, Brazil. **Earth Interactions**, v.10, p.1-17, 2006.
- PROJETO MAPBIOMAS – Coleção (Versão 2.3) da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, acessado em 09.01.2017 através do link: (<http://mapbiomas.org/>). 2017.

- RAO, V. B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: Annual variations and connection with the Southern Oscillation. **Theoretical Applied Climatology**, v.42, p. 81- 92, 1990.
- RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S.; RATTER, J. A. & SOUSA-SILVA, J. C. Ocupação do bioma Cerrado e conservação da sua diversidade vegetal. *In*: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C. & FELFILI, J. M. (Orgs.). **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 2005, p. 383-399.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. *In*: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (Ed.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008, v.1, p. 151 -212.
- RIBEIRO, W. C. Aquífero Guarani: gestão compartilhada e soberania. **Estudos Avançados**, v.22, n.64. 2008
- RÍO, S. del.; HERRERO, L.; FRAILE, R.; PENAS, A. Spatial distribution of recent rainfall trends in Spain (1961–2006). *International Journal of Climatology*, v. 31, n. 5, p. 656-667, 2011.
- SAAD, S. I., DA ROCHA, H. R., SILVA DIAS, M. A. F.; ROSOLEM, R. Can the deforestation breeze change the rainfall in Amazonia? A case study for the BR-163 highway region. **Earth Interaction**, v. 14, n.18, p. 1-25, 2010.
- SALAZAR, A.; BALDI, G.; HIROTA, M.; SYKTUS, J.; MCALPINE, C. Land use and land cover change impacts on the regional climate of non-Amazonian South America: A review. **Global and Planetary Change**, v. 128, p. 103–119, 2015.
- SALAZAR, A.; KATZFEY, J.; THATCHER, M.; SYKTUS, J.; WONG, K.; MCALPINE. Deforestation changes land–atmosphere interactions across South American biomes. *Global and Planetary Change*, v. 139, p. 97-108, 2016.
- SALVIANO, M. F.; GROppo, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 64-73, 2016.
- SANOGO, S. FINK, A. H.; OMOTOSHO, J. A.; BA, A.; REDL, R; ERMERT, V. Spatial – temporal characteristics of the recent rainfall recovery in West Africa. **International Journal of Climatology**, v. 35, p. 4589–4605, 2015.
- SATO, M. N.; GARDA, A. A.; MIRANDA, H. S.; Effects of fire in the mortality of woody vegetation in Central Brazil. **Proceedings of the 14th International Conference on Forest Fire Research**, University of Coimbra, 1998. p.1777 – 1784.

- SAYEMUZZAMAN, M.; JHA, M. K. Seasonal and annual precipitation time series trend analysis in North Carolina, United States. **Atmospheric Research**, v. 137, p. 183–194, 2014.
- SEN, P. K. Estimates of the regression coefficients based on Kendall's tau. **Journal of American Statistical Association**, Alexandria, v. 63, p. 1379-1389, 1968.
- SHARMA, S.; SAHA, A. K. Statistical analysis of rainfall trends over Damodar River basin, India. **Arabian Journal of Geoscience**, v.10, n. 15, p.319, 2017.
- SHUMWAY, R. H; STOFFER, D. S. Time Series Analysis and its application with R examples. Ed.3. New York: **Springer Science**, 2011. 609p.
- SILVA, F. A. M.; ASSAD, E. D.; STEINKE, E. T.; MÜLLER, A. G. Clima do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (Ed.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008, v.1, p. 93 – 148.
- SILVA, F. B.; SANTOS, J. R. N.; FEITOSA, F. E. C. S.; SILVA, I. D. C.; ARAÚJO, M. L. S.; GUTERRES, C. E.; SANTOS, J. S.; RIBEIRO, C. V.; BEZERRA, D. S.; NERES, R. L. Evidências de Mudanças Climáticas na região de transição da Amazônia-Cerrado no estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, p. 330-336. 2016.
- SIMON, L. M.; OLIVIRA, G.; BARRETO, B. S.; NABOUT, J. C.; RANGEL, T. F. L. V. B.; DINIZ-FILHO, J. A. Effects of global climate changes on geographical distribution patterns of economically important plant species in Cerrado. **Revista Árvore**, v.37, n.2, p.267-274, 2013.
- SNYDER, P. K.; DELIRE, C.; FOLEY, J. A. Evaluating the influence of different vegetation biomes on the global climate. **Climate Dynamics**, v. 23, p. 279–302. 2004.
- SOARES, W. R. **Impacto das Mudanças Climáticas na região centro oeste do Brasil**. In: JUNIOR, E. M.; D'ANTONA, A. O.; OJIMA, R (Orgs.). População, ambiente e desenvolvimento: mudanças Climáticas e urbanização no Centro-Oeste. Campinas: Núcleo de Estudos de População- Nepo/ Unicamp; Brasília, 2011. 192p.
- SOARES-FILHO, B.; RAJÃO, R.; MACEDO, M.; CARNEIRO, A.; COSTA W.; COE, M.; RODRIGUES, H.; ALENCAR, A. Cracking Brazil's Forest Code. **Science**, v. 4, p. 344-363. 2014.
- SPERA. A. S.; GALFORD, G. L; COE, M. T.; MACEDO, M. N.; MUSTARD, J. F. Land use change affects water recycling in Brazil's last agricultural frontier. **Global Change Biology**, v. 22, p. 3405–3413, 2016



- STRASSBURG, B. B. N.; BROOKS, T.; FELTRAN-BARBIERI, R.; IRIBARREM, A.; CROUZEILLES, R.; LOYOLA, R.; LATAWIEC, A. E.; FILHO, F. J. B. O.; SCARAMUZZA, M. C. A.; SCARANO, F. R. SOARES-FILHO, B.; BALMFORD, A. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, v.1 p.1-3, 2017.
- TANG, Y.; WEN, X.; SUN, X.; WANG, H. Interannual Variation of the Bowen Ratio in a Subtropical Coniferous Plantation in Southeast China, 2003-2012. *Plos One*, v.9, p. 1-10, 2014.
- TAXAK, A. K.; MURUMKAR, A.R.; ARYA, D.S. Long term spatial and temporal rainfall trends and homogeneity analysis in Wainganga basin, Central India. **Weather and Climate Extremes**, v. 4, p. 50 – 61, 2014.
- THEIL, H. A rank-invariant method of linear and polynomial analysis, Part 3. **Proceedings of Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen A**, v. 53, p. 1397-1412, 1950.
- TUBIELLO, F. N.; SALVATORE, M.; FERRARA, A. F.; JO, H.; FEDERICI, S.; ROSSI, S.; BIANCALANI, R.; GOLEC, R. D. C.; JACOBS, H.; FLAMMINI, A.; PROPERI, P.; CARDENAS-GALINDO, P.; SCHMIDHUBER, J.; SANCHEZ, M. J. S.; SRIVASTAVA, N.; SMITH, P. The contribution of agriculture, forestry and other land use activities to Global Warming, 1990-2012. **Global Change Biology**, v.21, p. 2655-2660, 2015.
- TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência de aplicação. **Editora da UFRGS/ABRH**, Porto Alegre, RS. 2009.
- VAN DER ENT, R. J.; SAVENIJE, H. H. G.; SCHAEFLI, B.; STEELE-DUNNE, S. C. Origin and fate of atmospheric moisture over continents. **Water Resources Research**, v.46, p. 1-12. 2010.
- VILANOVA, M. R. N. Tendências hidrológicas na região do alto rio Mogi-guaçu, sul de Minas Gerais. **Revista Agrogeoambiental**, v.6, n. 3, 2014.
- VIRGI, H. A preliminar study of summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from cloud winds. **Monthly Weather Review**, v. 109, p.549-610. 1981.
- WARREN, R; PRICE, J; FISCHLIN, A; SANTOS, S. N.; MIDGLEY, G. Increasing impacts of climate change upon ecosystem with increasing global mean temperature rise. **Climatic Change**, v. 106, p 141 – 177, 2011.
- WMO. Calculation of monthly and annual 30-year standard normals. **WCDP**, n. 10, p. 341. Geneva, 1989.
- WWF. **Cerrado: Berço das Águas**. Brasil. 2012. 4p.



## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A. DADOS DAS 125 ESTAÇÕES UTILIZADAS NO ESTUDO.

id	Código	Nome da Estação	UF	Operador a	Coordenadas		Integridad e (%)	Consistênci a
					Y	X		
1	82571	Barra do Corda	M A	INMET	-5,50	- 45,23	99,5	0,9992
2	747003	Carolina	M A	INMET	-7,33	- 47,46	99,0	0,9989
3	443006	Codó	M A	SUDENE	-4,45	- 43,88	100,0	0,9996
4	444001	Coroatá	M A	CPRM	-4,16	- 44,17	100,0	0,9997
5	343003	Nina Rodrigues	M A	CPRM	-3,46	- 43,90	99,8	0,9993
6	444005	Pedreiras II	M A	CPRM	-4,57	- 44,61	100,0	0,9996
7	744000	São Felix das Balsas	M A	CPRM	-7,08	- 44,81	100,0	0,9991
8	82768	Balsas	M A	INMET	-7,53	- 46,03	99,8	0,9983
9	644003	Colinas	M A	CPRM	-6,03	- 44,25	100,0	0,9987
10	82382	Chapadinha	M A	INMET	-3,73	- 43,35	99,8	0,9994
11	543009	Fazenda Veneza	PI	CPRM	-5,57	- 43,02	100,0	0,9993
12	745003	Ribeiro Gonçalves	PI	CPRM	-7,56	- 45,24	100,0	0,9988
13	844008	Vale do Gurgueia	PI	CPRM	-8,41	- 43,71	99,3	0,9983
14	542012	Teresina- CHESF	PI	CPRM	-5,09	- 42,80	95,8	0,999
15	949000	Abreulândia	TO	CPRM	-9,62	- 49,16	99,5	0,9972
16	1249000	Alvorada	TO	CPRM	- 12,48	- 49,12	98,8	0,9995
17	1249001	Araguaçu	TO	CPRM	- 12,93	- 49,83	99,8	0,9979
18	949001	Dois Irmãos	TO	CPRM	-9,26	- 49,06	99,0	0,999
19	1149000	Duere	TO	CPRM	- 11,34	- 49,27	99,5	0,9996
20	747001	Goiantins	TO	CPRM	-7,71	- 47,31	100,0	0,9935
21	848002	Itaporã do Tocantins	TO	CPRM	-8,57	- 48,69	100,0	0,9996
22	847001	Itacaja	TO	CPRM	-8,39	- 47,76	99,8	0,9994
23	1048001	Paraíso do Tocantins	TO	CPRM	- 10,17	- 48,89	99,8	0,999
24	1147002	Pindorama do Tocantins	TO	CPRM	- 11,14	- 47,58	100,0	0,9988
25	1147003	Porto Alegre	TO	CPRM	- 11,61	- 47,05	100,0	0,9983
26	1047002	Porto Girândia	TO	CPRM	- 10,76	- 47,76	99,3	0,9966
27	848003	Tupiratins	TO	CPRM	-8,40	- 48,13	99,0	0,9998
28	83228	Peixe	TO	CPRM	- 12,02	- 48,35	98,8	0,9996

29	1246000	Ponte Alta do Bom Jesus	TO	CPRM	-	-	96,8	0,9994
					12,09	46,48		
30	1246001	Aurora do Norte	TO	CPRM	-	-	96,8	0,9988
					12,71	46,41		
31	1048003	Palmas	TO	INMET	-	-	100,0	0,9973
					10,72	48,42		
32	1048005	Taquarassu do Porto	TO	CPRM	-	-	99,5	0,9984
					10,31	48,16		
33	848000	Colinas do Tocantins	TO	CPRM	-8,05	-	100,0	0,9993
						48,48		
34	849000	Conceição do Araguaia	PA	CPRM	-8,26	-	99,8	0,9981
						49,26		
35	1144005	Faz. Macambira	BA	CPRM	-	-	99,5	0,999
					11,61	44,16		
36	1143002	Morpará	BA	CPRM	-	-	99,8	0,9996
					11,56	43,28		
37	1245007	Sítio Grande	BA	CPRM	-	-	100,0	0,9986
					12,43	45,09		
38	1344015	Colônia do Formoso	BA	CPRM	-	-	99,8	0,9992
					13,57	44,31		
39	1243011	Ibotirama	BA	CPRM	-	-	99,8	0,9996
					12,18	43,22		
40	1144014	São Sebastião	BA	CPRM	-	-	99,8	0,999
					11,98	44,88		
41	1143010	Boqueirão	BA	CPRM	-	-	99,8	0,9995
					11,34	43,83		
42	1443002	Cariranha	BA	CPRM	-	-	99,8	0,9993
					14,30	43,77		
43	1145001	Formosa do Rio Preto	BA	CPRM	-	-	99,8	0,9995
					11,05	45,20		
44	1444015	Cocos	BA	CPRM	-	-	99,8	0,9995
					14,18	44,53		
45	1653004	Alto Garças	MT	CPRM	-	-	99,8	0,9997
					16,94	53,53		
46	1456001	Arenópolis	MT	CPRM	-	-	100,0	0,9938
					14,47	56,85		
47	1250001	Santo Antônio do Leverger	MT	CPRM	-	-	98,5	0,9976
					12,29	50,97		
48	1754000	Itiquira	MT	CPRM	-	-	99,8	0,9993
					17,20	54,14		
49	1556000	Nossa Senhora da Guia	MT	CPRM	-	-	99,8	0,9909
					15,36	56,23		
50	1453000	Passagem da BR-39	MT	CPRM	-	-	100,0	0,998
					14,61	54,00		
51	1150001	São Felix do Araguaia	MT	CPRM	-	-	98,8	0,9976
					11,62	50,66		
52	1652002	Torixoreu	MT	CPRM	-	-	98,8	0,9995
					16,20	52,55		
53	1452000	Xavantina	MT	CPRM	-	-	100,0	0,9975
					14,67	52,35		
54	1552002	Torriqueje	MT	CPRM	-	-	100,0	0,9965
					15,25	53,06		
55	1555005	São José da Serra	MT	CPRM	-	-	99,8	0,9938
					15,84	55,32		
56	1653000	Tesouro	MT	CPRM	-	-	100,0	0,9972
					16,08	53,55		
57	1853000	Fazenda Taquari	MT	CPRM	-	-	99,3	0,9995
					17,81	53,29		
58	1752002	Fazenda São Bernado	GO	CPRM	-	-	99,0	0,9997
					17,69	52,98		
59	1547004	Brasília	GO	INMET	-	-	100,0	0,9993
					15,79	47,92		
60	1651000	Caiapônia	GO	CPRM	-	-	98,8	0,9986
					16,95	51,80		
61	1651002	Piranhas	GO	CPRM	-	-	99,5	0,9988
					16,42	51,82		

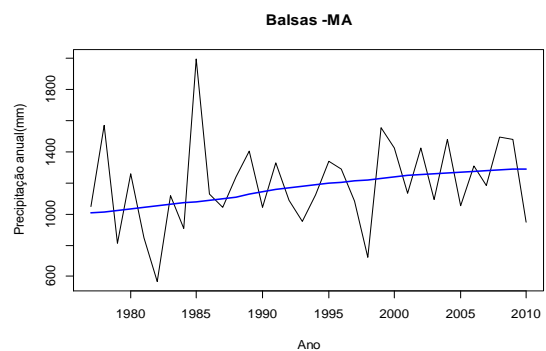
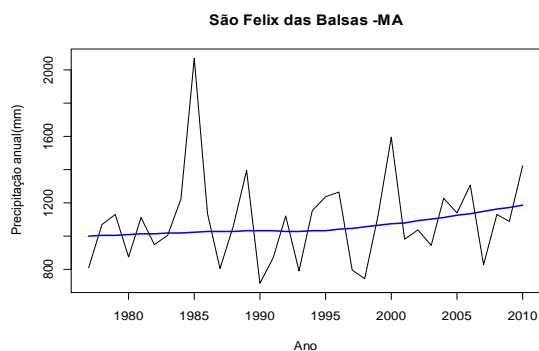
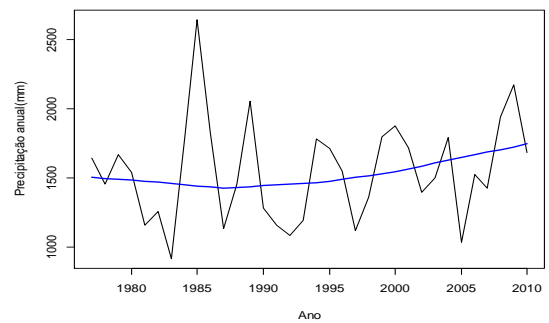
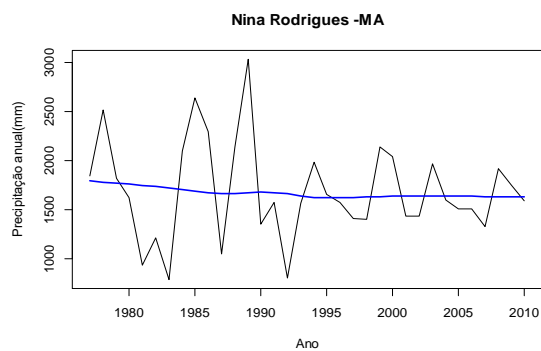
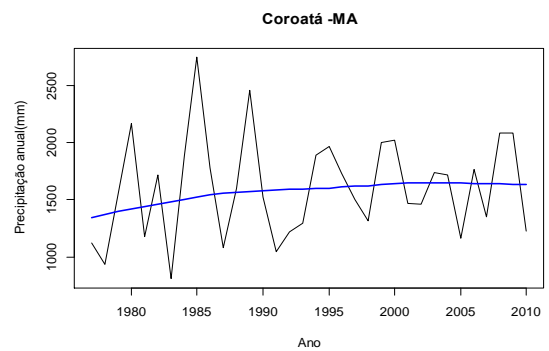
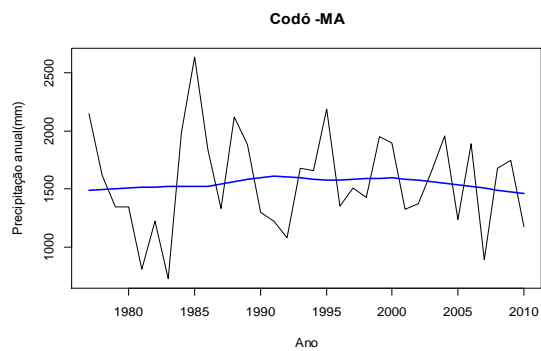
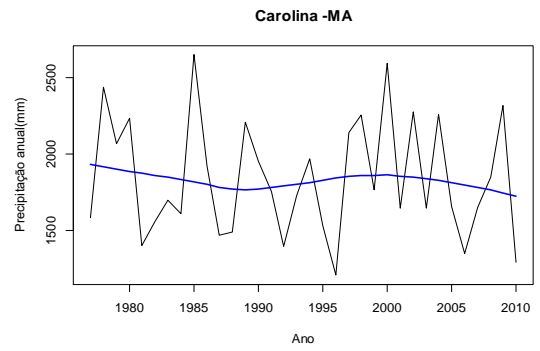
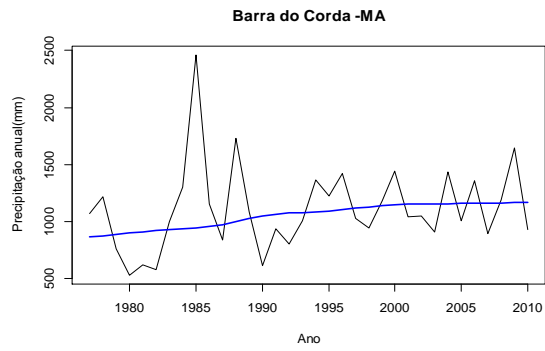
<b>62</b>	1348000	Campinaçu	GO	CPRM	-	-	100,0	0,9974
					13,79	48,57		
<b>63</b>	1549001	Goianésia	GO	CPRM	-	-	100,0	0,9994
					15,33	49,12		
<b>64</b>	1549002	Itapuranga	GO	CPRM	-	-	100,0	0,9994
					15,56	49,94		
<b>65</b>	1549003	Jaraguá	GO	CPRM	-	-	100,0	0,9995
					15,76	49,34		
<b>66</b>	1648001	onte Anápolis - Brasília	GO	CPRM	-	-	100,0	0,9998
					16,14	48,60		
<b>67</b>	1449001	Porto Uruaçu	GO	CPRM	-	-	100,0	0,9987
					14,56	49,14		
<b>68</b>	1652000	Bom Jarim de Goiás	GO	CPRM	-	-	99,3	0,9995
					16,20	52,17		
<b>69</b>	1650001	Córrego do Ouro	GO	CPRM	-	-	99,3	0,9983
					16,30	50,56		
<b>70</b>	1451000	Aruanã	GO	CPRM	-	-	99,3	0,9993
					14,93	51,08		
<b>71</b>	1350001	RioPintado - Fazenda Pontal	GO	CPRM	-	-	100,0	0,9994
					13,53	50,19		
<b>72</b>	1350000	Bandeirantes	GO	CPRM	-	-	98,0	0,9991
					13,69	50,80		
<b>73</b>	1551000	Britânia	GO	CPRM	-	-	100,0	0,9995
					15,25	51,16		
<b>74</b>	1650000	Cachoeira de Goiás	GO	CPRM	-	-	99,8	0,9992
					16,67	50,64		
<b>75</b>	1250000	Fazenda Piratinga	GO	CPRM	-	-	99,3	0,9982
					12,82	50,34		
<b>76</b>	1447002	São João D'Aliança	GO	CPRM	-	-	100,0	0,9992
					14,71	47,52		
<b>77</b>	1448001	Niquelândia	GO	CPRM	-	-	100,0	0,9998
					14,48	48,46		
<b>78</b>	1447000	Alto Paraíso de Goiás	GO	CPRM	-	-	100,0	0,9998
					14,13	47,51		
<b>79</b>	1350002	São Miguel do Araguaia	GO	CPRM	-	-	99,8	0,9982
					13,33	50,20		
<b>80</b>	1450000	Lagoa da Flecha	GO	CPRM	-	-	100,0	0,9994
					14,33	50,73		
<b>81</b>	1951001	Itajá	GO	CPRM	-	-	99,3	0,9987
					19,14	51,53		
<b>82</b>	1748005	UHECorumbá I Rio Piracamjuba	GO	FURNAS	-	-	100,0	0,9992
					17,13	48,14		
<b>83</b>	1449000	Pilar de Goiás	GO	FURNAS	-	-	100,0	0,9989
					14,76	49,58		
<b>84</b>	1749004	Pontalina	GO	CPRM	-	-	99,8	0,9997
					17,52	49,44		
<b>85</b>	1851001	Campo Alegre	GO	CPRM	-	-	99,8	0,9981
					18,52	51,09		
<b>86</b>	1850001	Fazenda Aliança	GO	CPRM	-	-	99,8	0,9992
					18,10	50,03		
<b>87</b>	1751004	Montividu	GO	CPRM	-	-	100,0	0,9985
					17,36	51,08		
<b>88</b>	1649007	Itaberaí	GO	CPRM	-	-	100,0	0,9977
					16,03	49,80		
<b>89</b>	1549009	Uruana	GO	CPRM	-	-	100,0	0,9996
					15,50	49,69		
<b>90</b>	1749001	Fazenda Boa Vista	GO	CPRM	-	-	99,8	0,9997
					17,11	49,69		
<b>91</b>	1749001	Fazenda Nova do Turvo	GO	CPRM	-	-	99,5	0,9989
					17,08	50,29		
<b>92</b>	1649006	Inhumas	GO	CPRM	-	-	99,5	0,9974
					16,35	49,50		
<b>93</b>	1649013	Goiânia	GO	INMET	-	-	100,0	0,9997
					16,67	49,26		
<b>94</b>	2152000	Porto Velho	MS	CPRM	-	-	99,5	0,9984
					20,80	52,39		

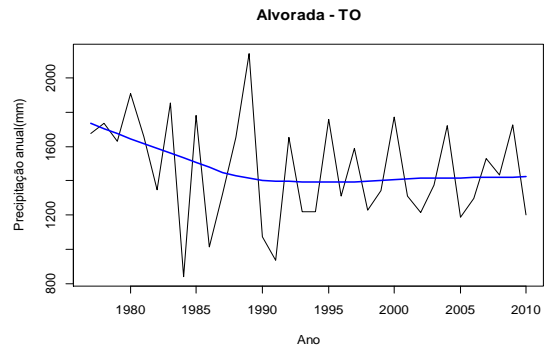
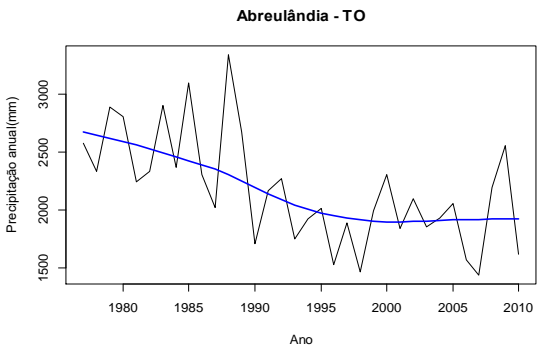
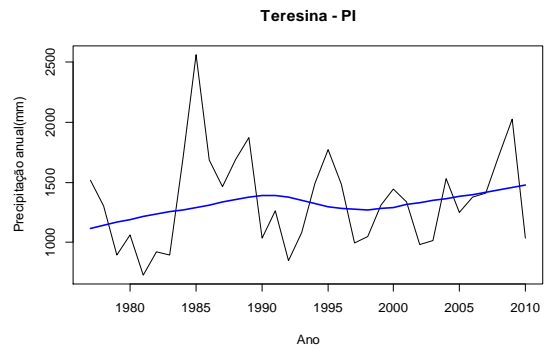
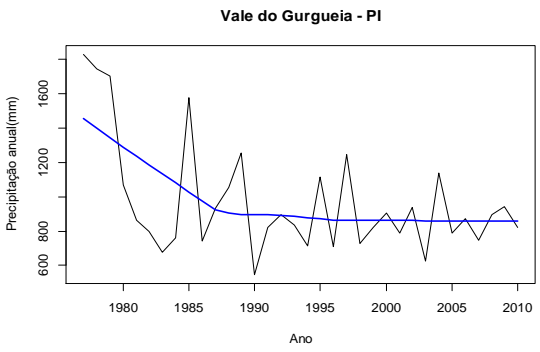
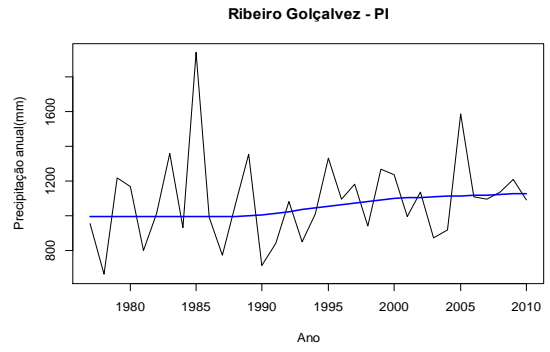
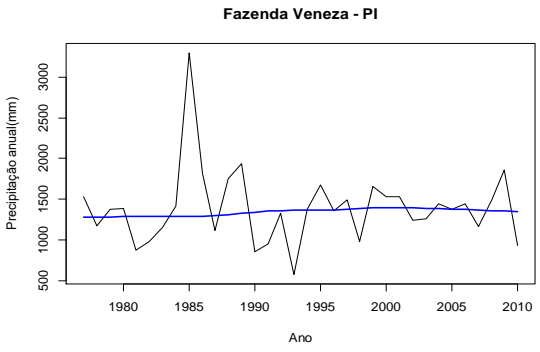
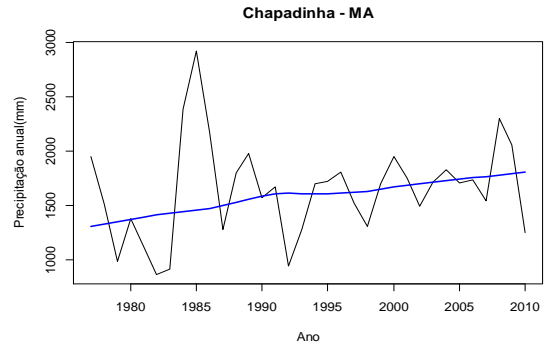
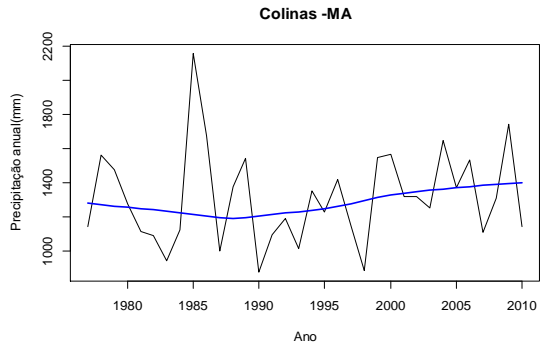
95	2153000	Porto Pindaíba	MS	CPRM	-	-	99,3	0,9966
					21,62	53,05		
96	2154002	Vau do Balsamo	MS	CPRM	-	-	99,8	0,9991
					20,99	54,51		
97	2152005	Xavantina do Sul	MS	CPRM	-	-	99,5	0,9996
					21,30	52,81		
98	2254001	Dourados	MS	CPRM	-	-	99,8	0,9998
					22,40	54,79		
99	2052002	Água Clara	MS	CPRM	-	-	99,8	0,9997
					20,45	52,90		
100	2155000	Maracaju	MS	CPRM	-	-	99,0	0,9993
					21,62	55,14		
101	2152001	Porto Uerê	MS	CPRM	-	-	99,8	0,9993
					21,73	52,33		
102	2049010	Cosmorama	SP	DAEE-SP	-	-	100,0	0,999
					19,52	48,22		
103	2049006	Palestina	SP	DAEE-SP	-	-	100,0	0,9993
					19,62	48,57		
104	2249028	Ribeirão do Sul	SP	DAEE-SP	-	-	100,0	0,9994
					21,22	48,07		
105	2249032	Santa Cruz do Rio Pardo	SP	DAEE-SP	-	-	99,8	0,9992
					21,10	48,38		
106	2251066	Presidente Prudente	SP	DAEE-SP	-	-	100,0	0,9996
					22,10	51,38		
107	2247060	São Carlos	SP	INMET	-	-	99,5	0,9992
					22,02	47,90		
108	2048001	Colômbia (CPEF)	SP	DAEE-SP	-	-	100,0	0,9991
					20,18	48,68		
109	2048023	Morro Agudo	SP	DAEE-SP	-	-	100,0	0,9999
					20,73	48,05		
110	2348008	Avaré	SP	DAEE-SP	-	-	100,0	0,9987
					23,10	48,92		
111	2047002	Igarapava	SP	DAEE-SP	-	-	100,0	0,9982
					20,03	47,75		
112	2449001	Engenheiro Maia	SP	DAEE-SP	-	-	100,0	0,9975
					24,05	49,10		
113	1645000	São Romão	M	CPRM	-	-	100,0	0,9994
			G		16,37	45,08		
114	1745001	Cachoeira do Paredão	M	CPRM	-	-	100,0	0,9995
			G		16,89	44,56		
115	1949002	Fazenda Buriti do Prata	M	CPRM	-	-	100,0	0,997
			G		18,64	48,82		
116	0194500	Barra do Funchal	M	CPRM	-	-	100,0	0,9953
			G		18,61	44,12		
117	1645009	Cachoeira da Manteiga	M	CPRM	-	-	100,0	0,9995
			G		15,34	44,92		
118	1944007	Fazenda Escola Florestal	M	CPRM	-	-	99,8	0,9953
			G		18,12	43,58		
119	1846003	Major do Porto	M	CPRM	-	-	100,0	0,9991
			G		17,29	45,96		
120	1746007	Ponte da BR-040 - Paracatu	M	CPRM	-	-	100,0	0,9996
			G		16,50	45,42		
121	1949006	Ponte do Prata	M	CPRM	-	-	100,0	0,9996
			G		18,96	48,30		
122	1444000	São Gonçalo	M	CPRM	-	-	100,0	0,9996
			G		14,31	44,46		
123	2044002	Itaúna Montante	M	CPRM	-	-	99,8	0,9997
			G		20,07	44,57		
124	1443001	Manga	M	CPRM	-	-	100,0	0,9993
			G		14,76	43,93		
125	2046007	Fazenda Ajudas	M	CPRM	-	-	100,0	0,9997
			G		20,10	46,06		

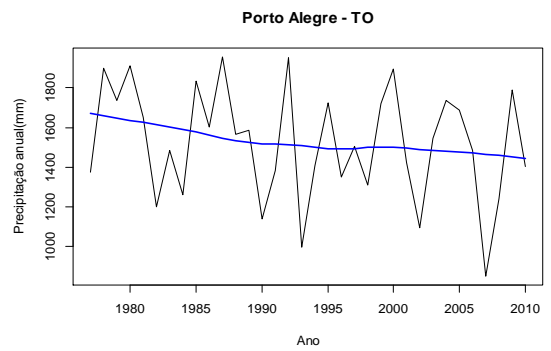
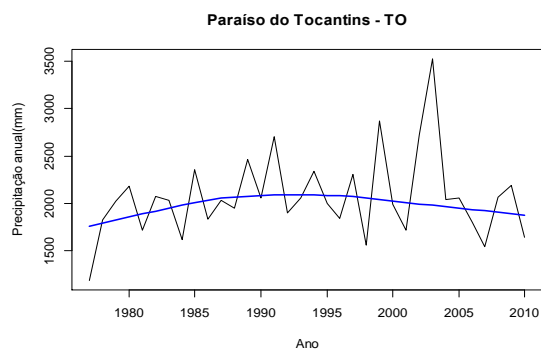
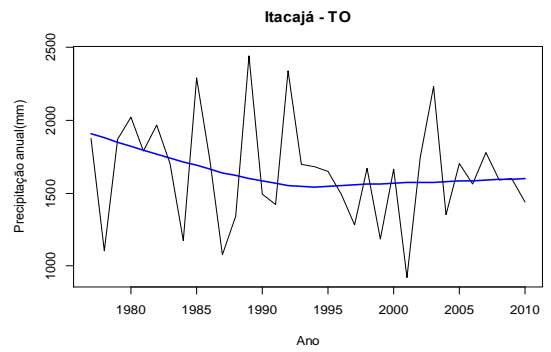
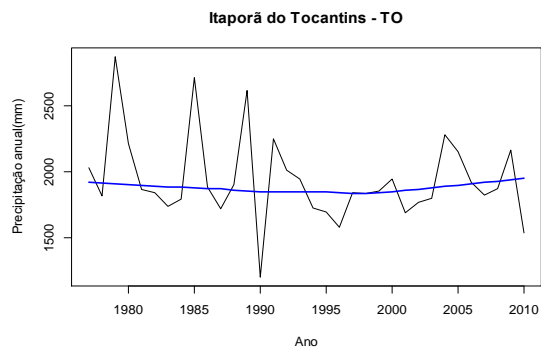
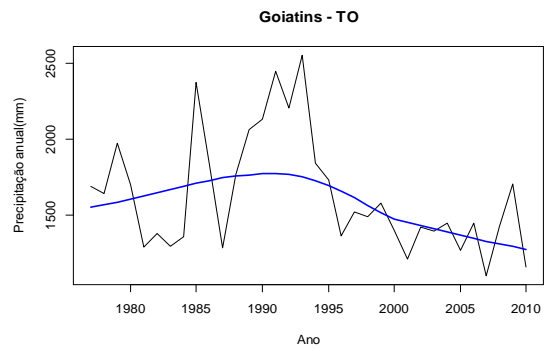
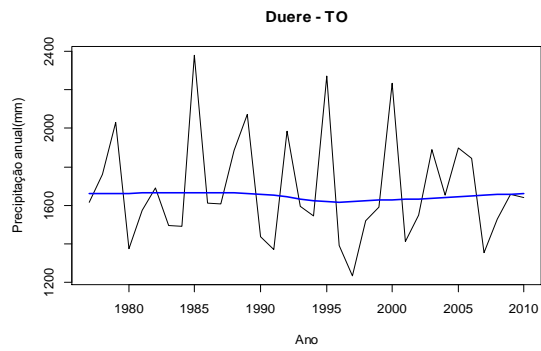
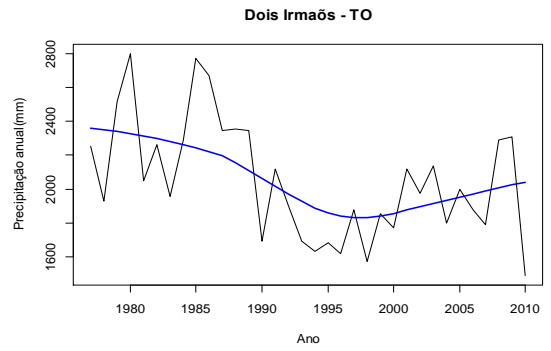
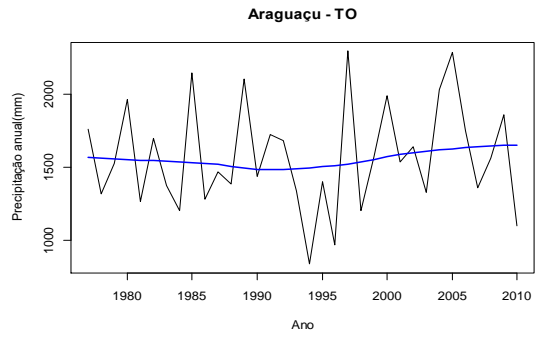


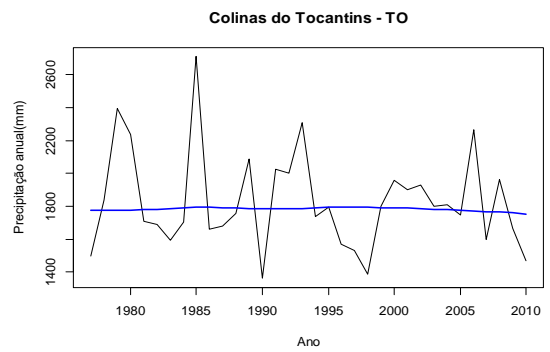
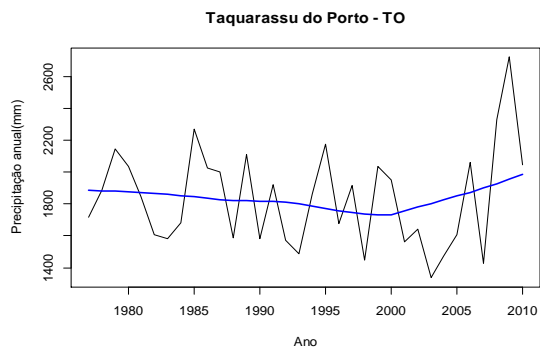
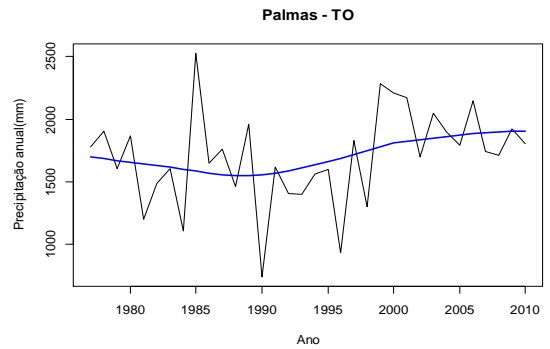
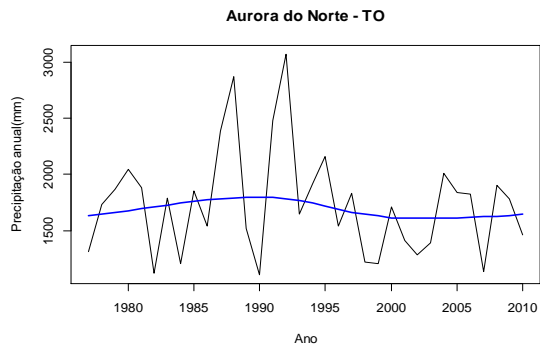
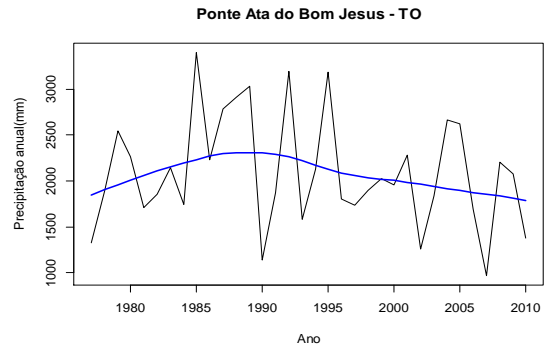
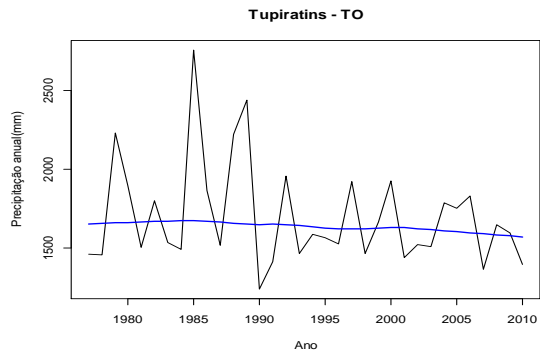
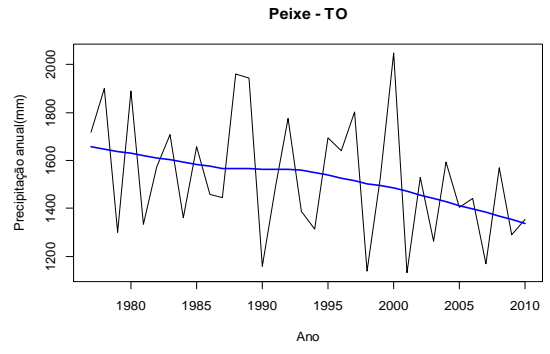
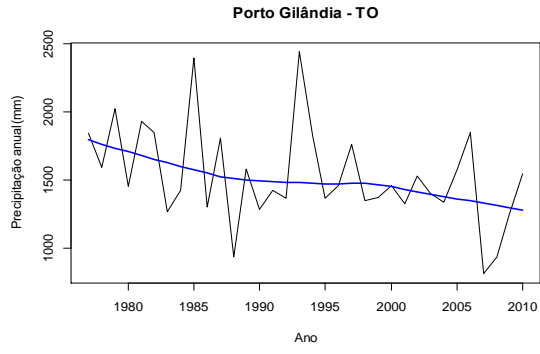


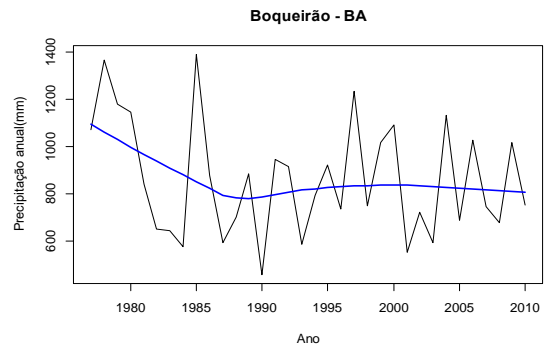
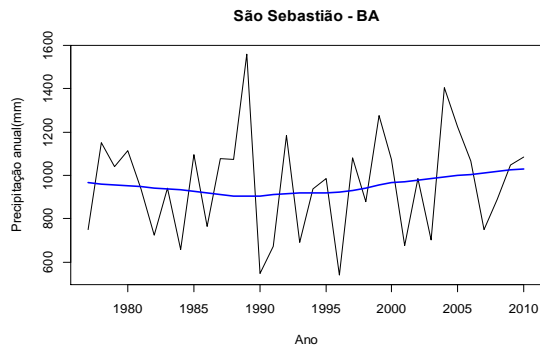
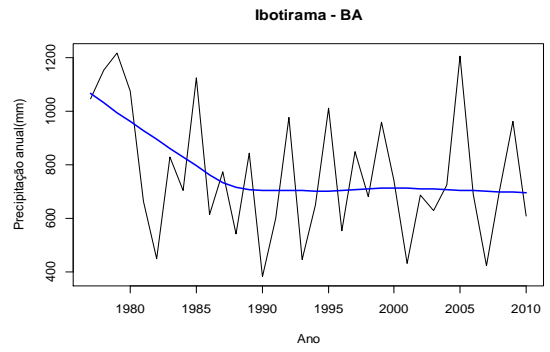
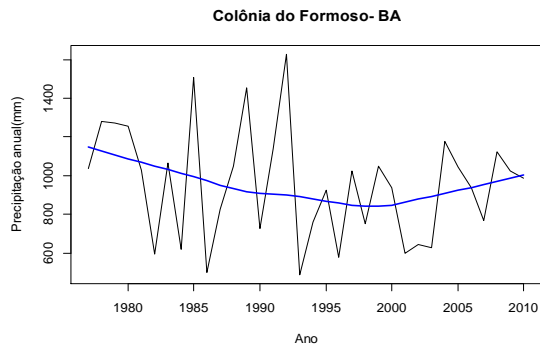
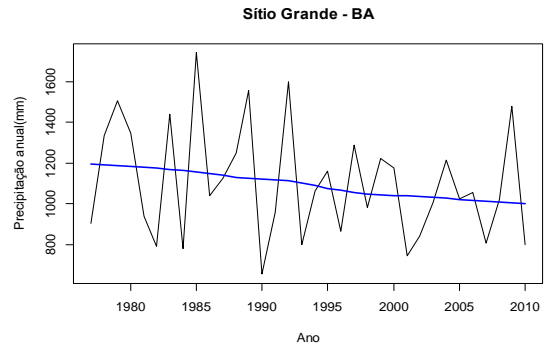
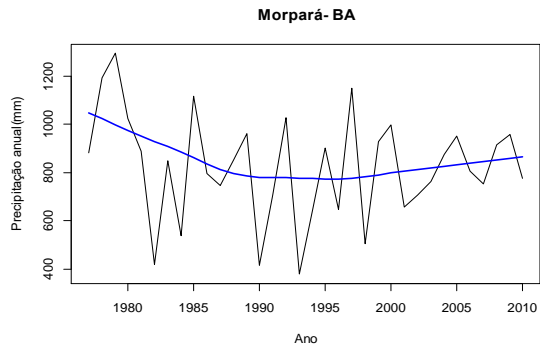
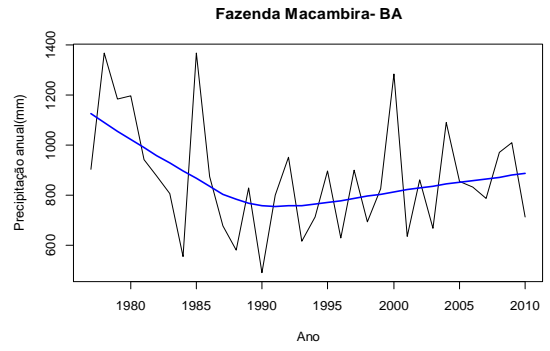
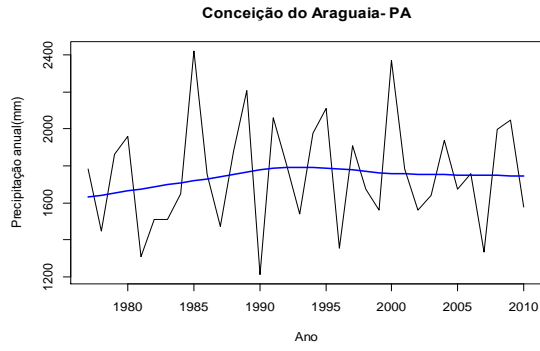
## APÊNDICE B. GRÁFICOS DAS SÉRIES PLUVIOMÉTRICAS DURANTE 1977 - 2010. LINHA AZUL CORRESPONDE AO LOWESS.

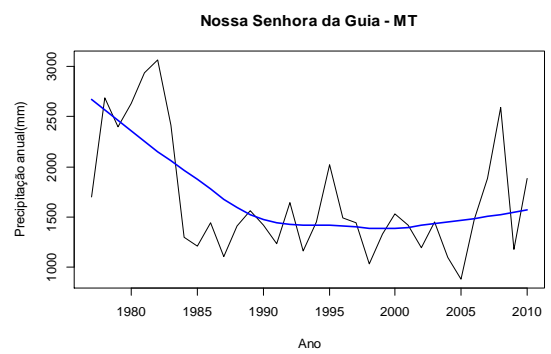
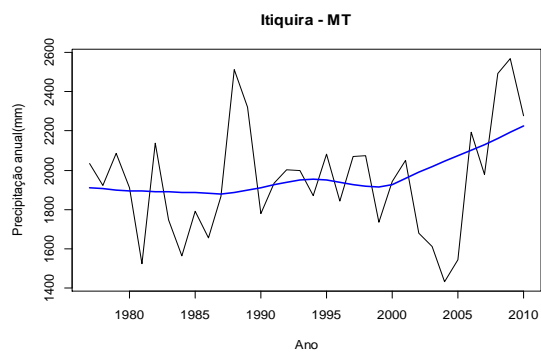
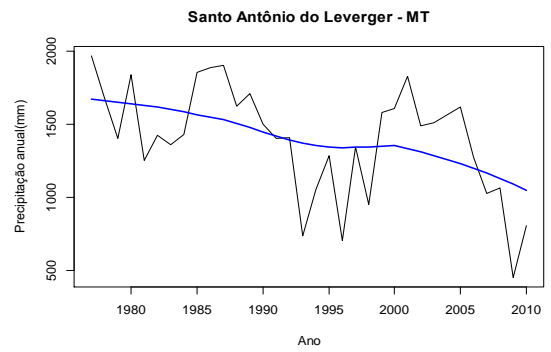
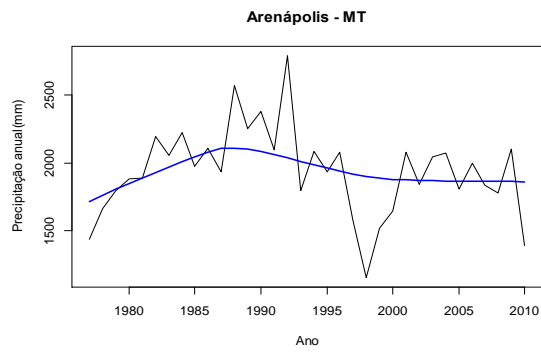
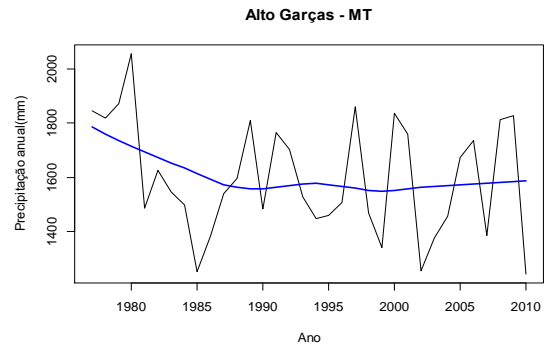
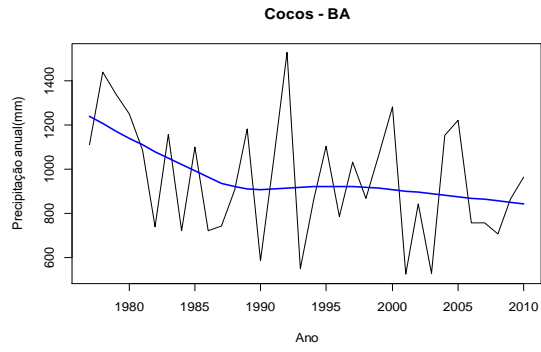
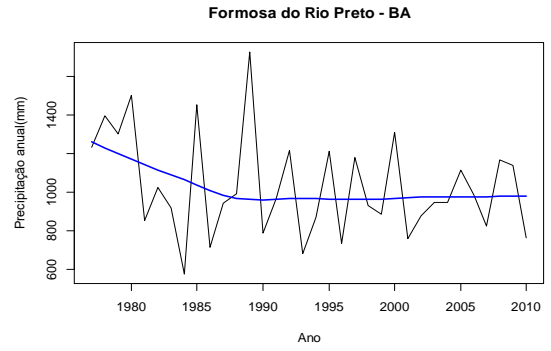
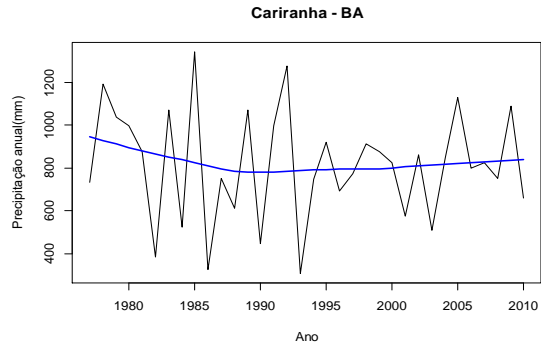




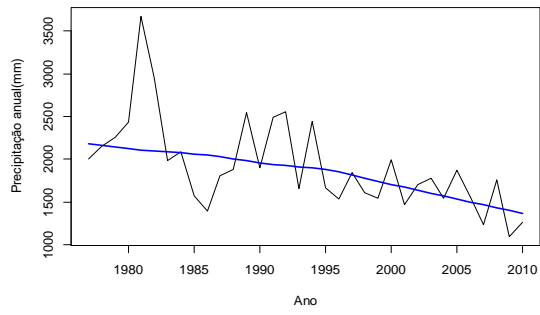




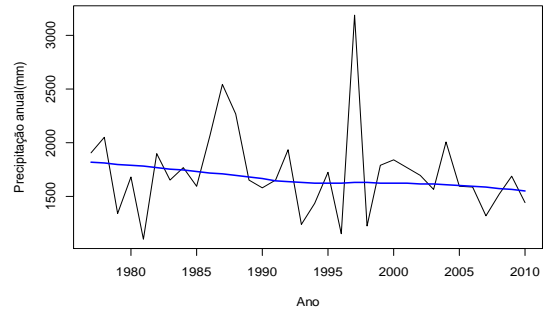




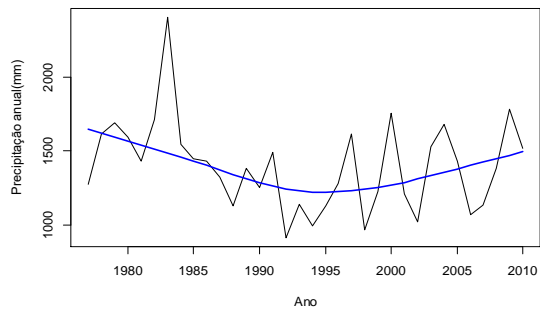
**Passagem da BR-39 - MT**



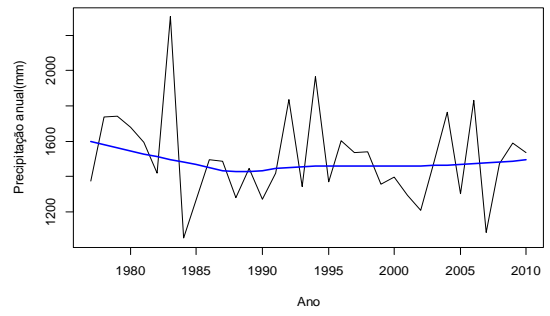
**São Felix do Araguaia - MT**



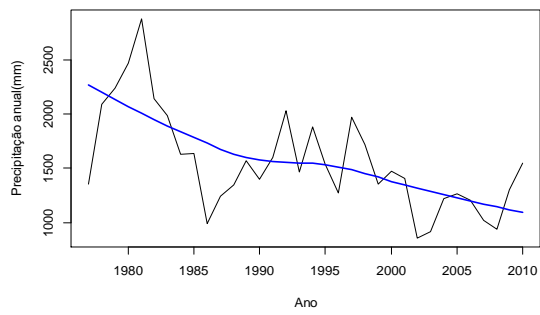
**Torixoreu - MT**



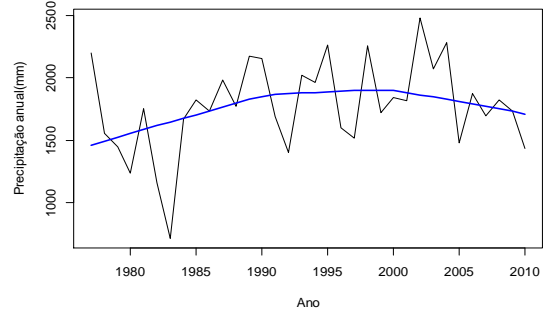
**Xavantina - MT**



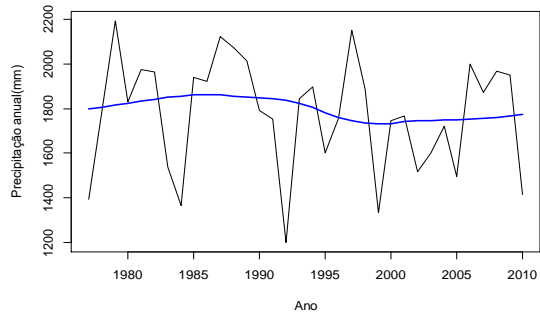
**Torizeje - MT**



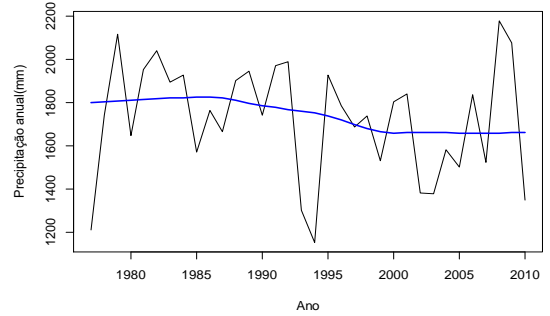
**São José da Serra - MT**



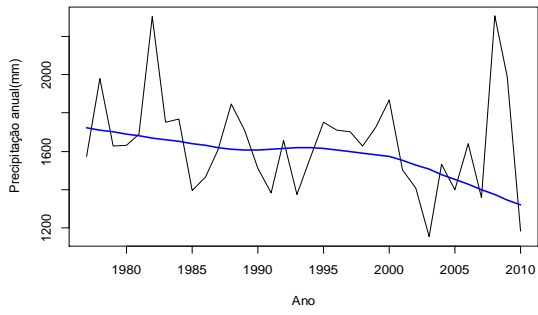
**Tesouro - MT**



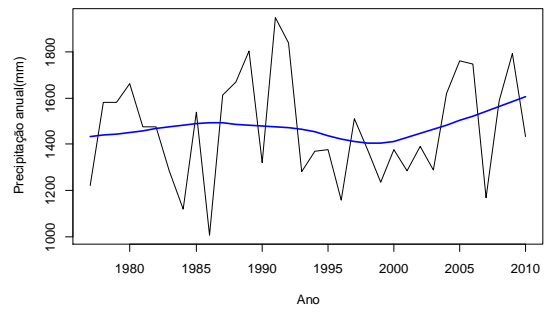
**Fazenda Taquari - MT**



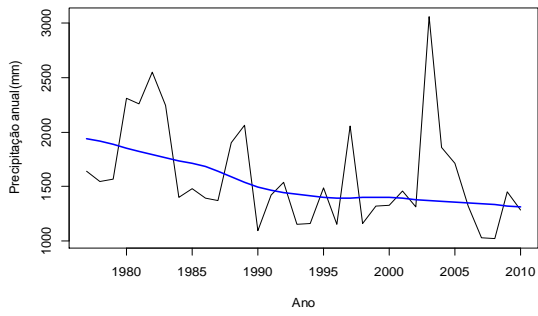
Fazenda São Bernardo - GO



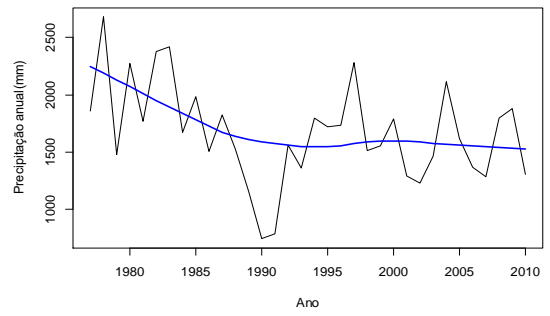
Brasília - DF



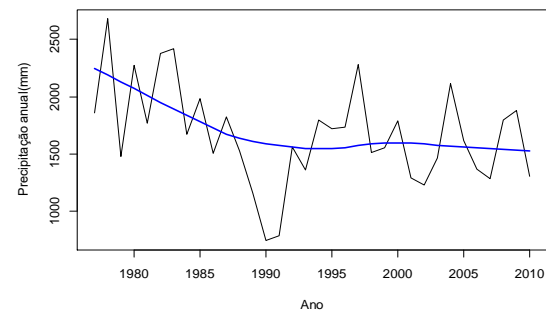
Caiaipônia - GO



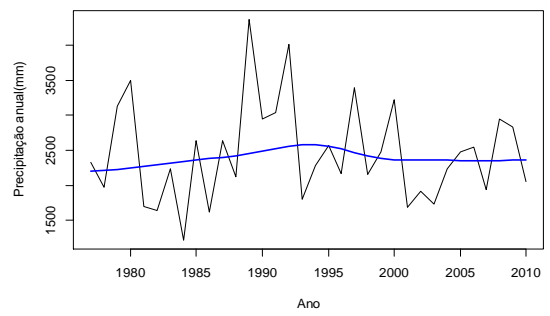
Piranhas - GO



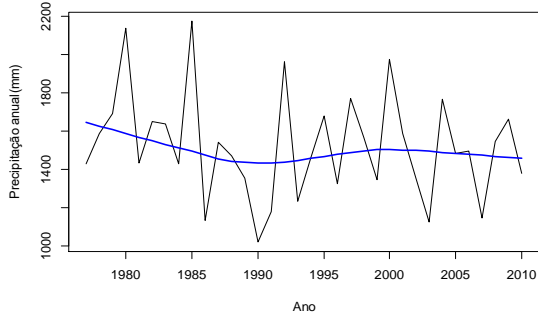
Piranhas - GO



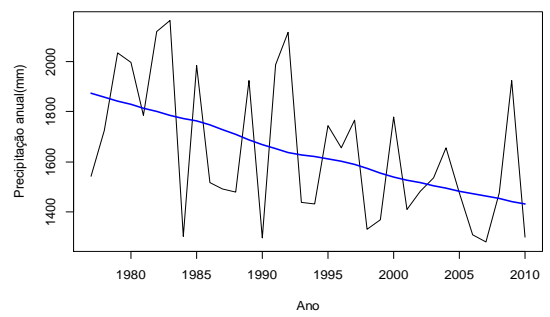
Campinaçu - GO



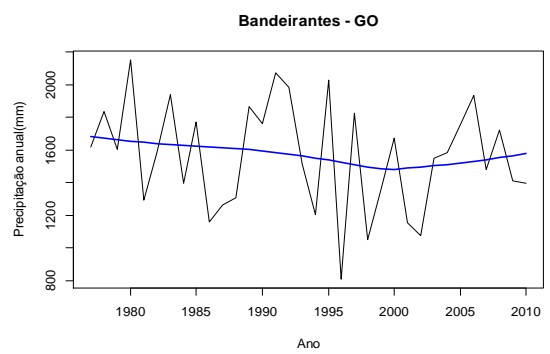
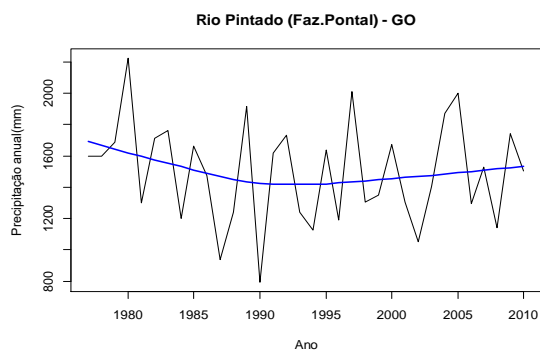
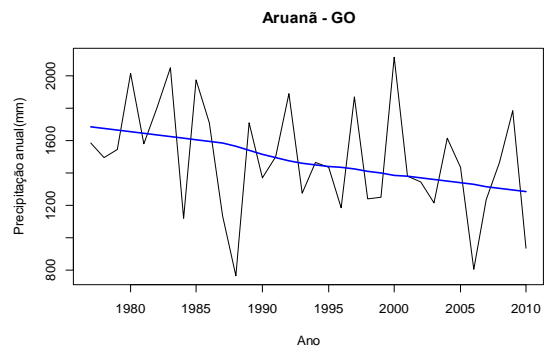
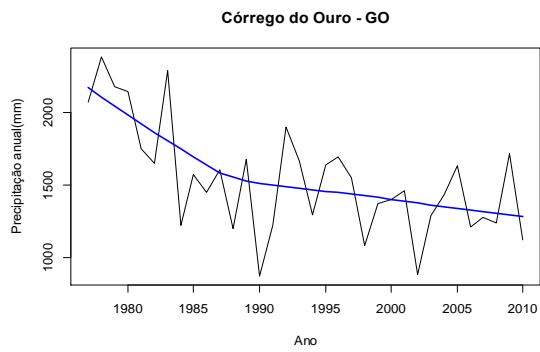
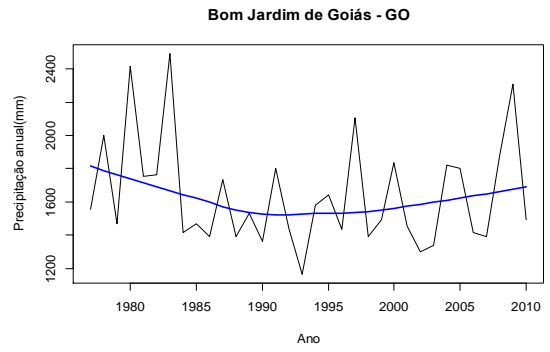
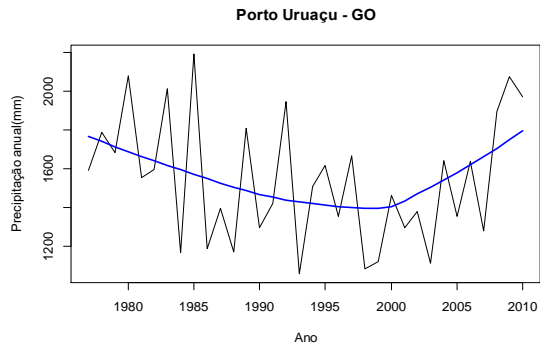
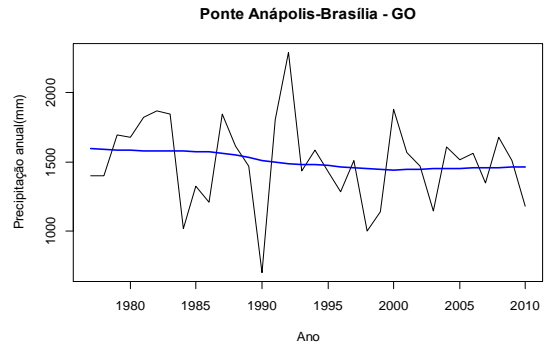
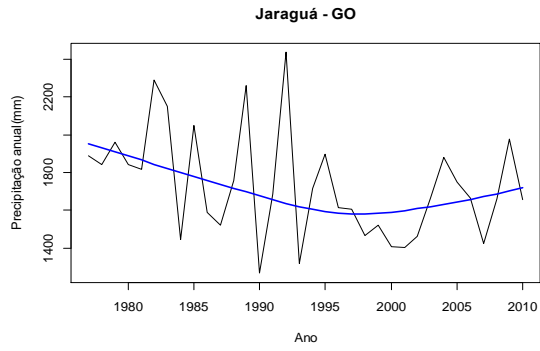
Goianésia - GO

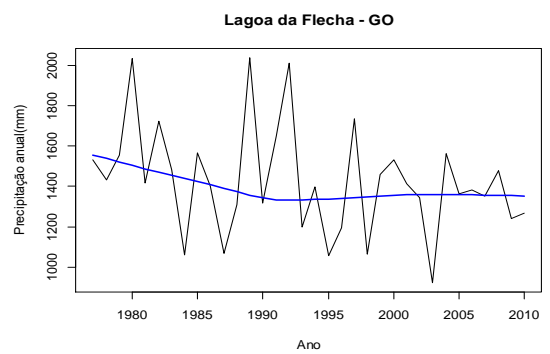
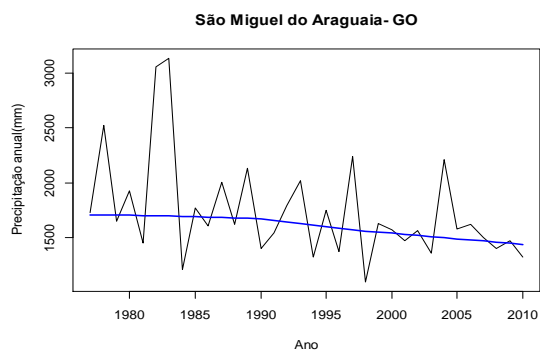
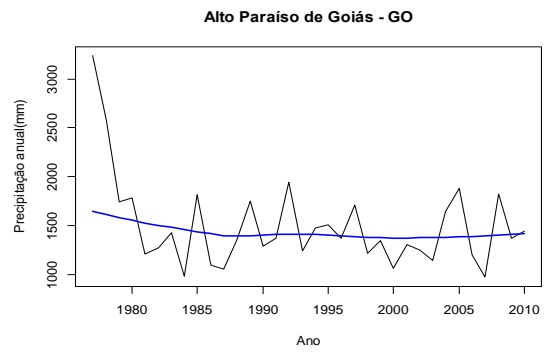
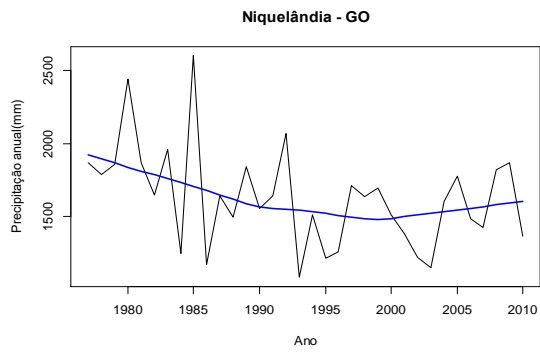
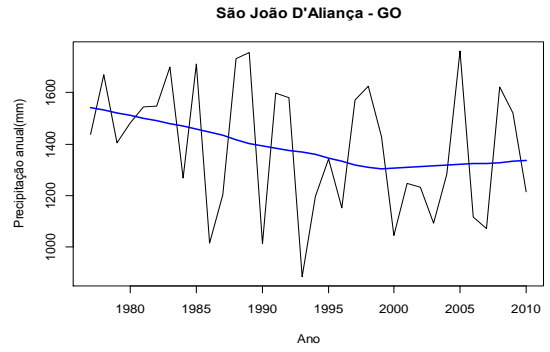
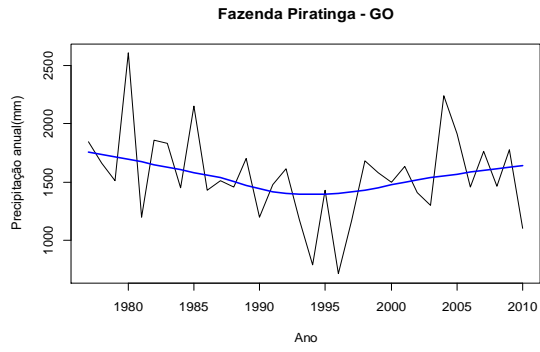
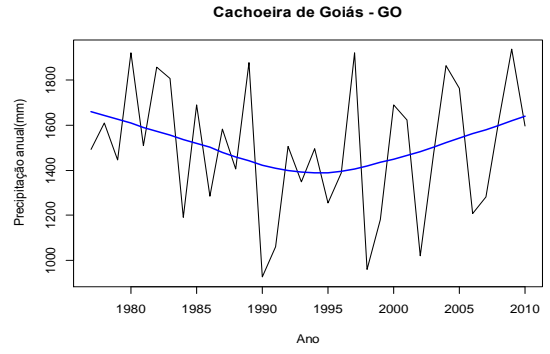
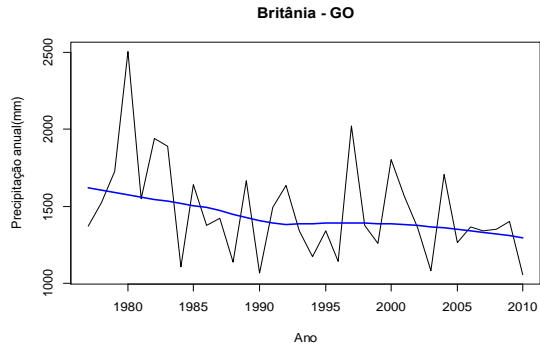


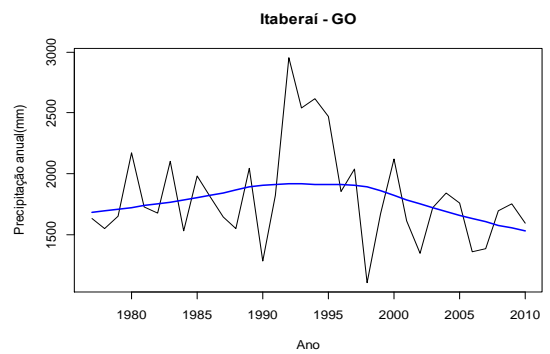
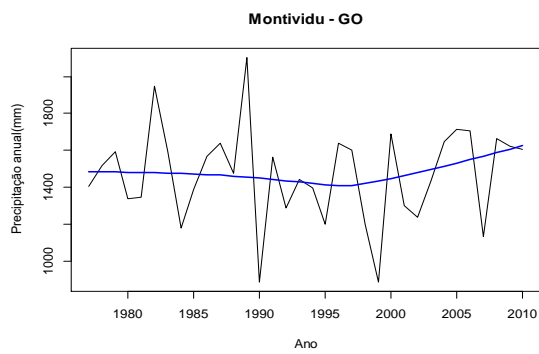
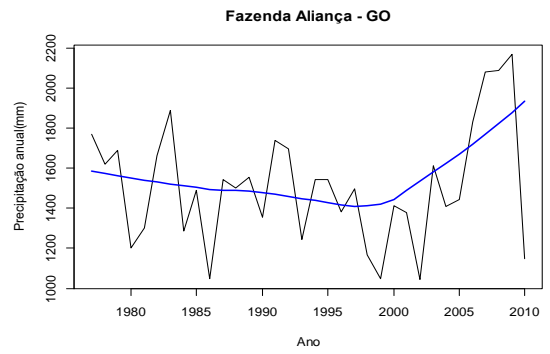
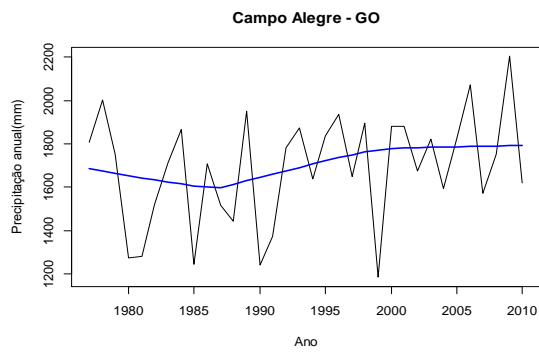
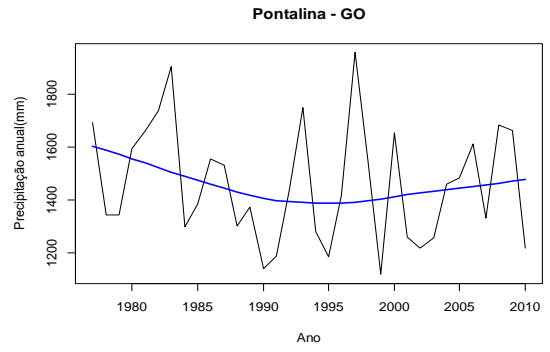
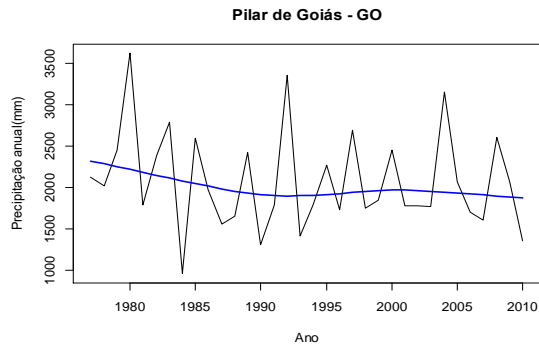
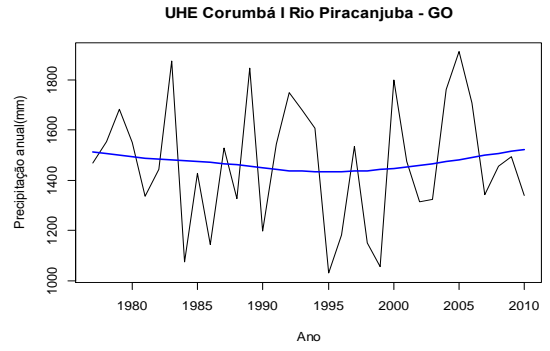
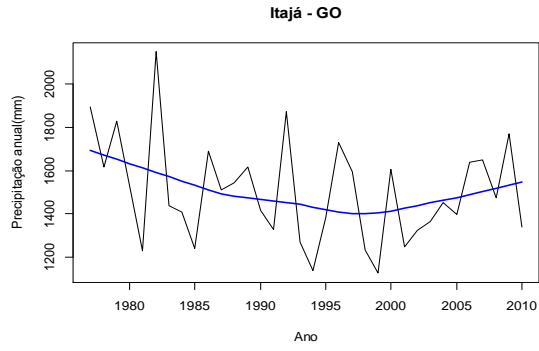
Itapuranga - GO

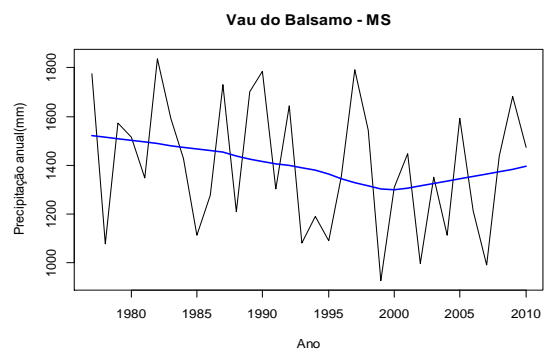
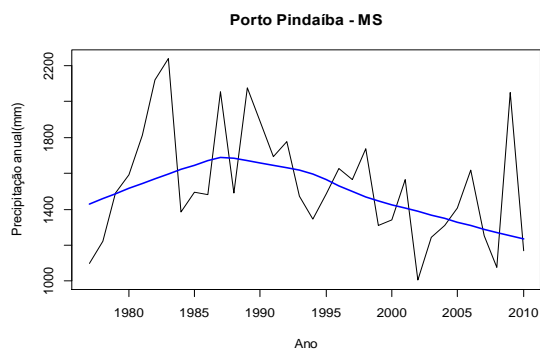
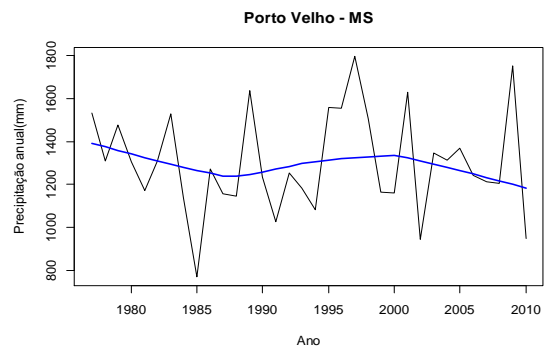
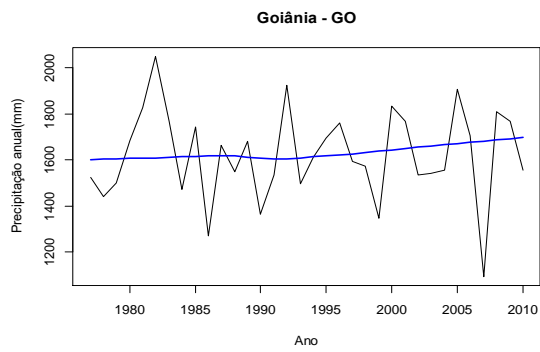
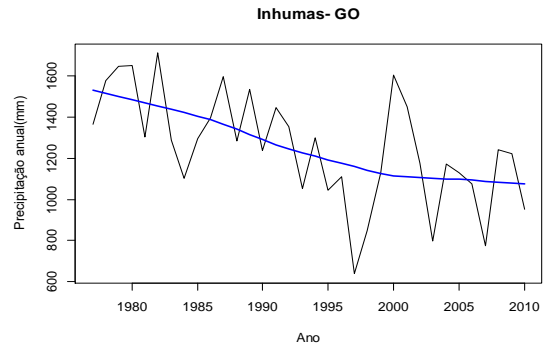
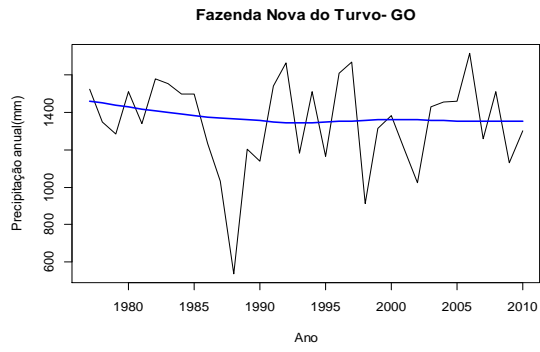
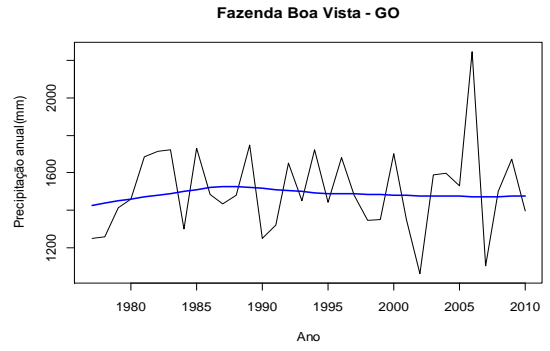
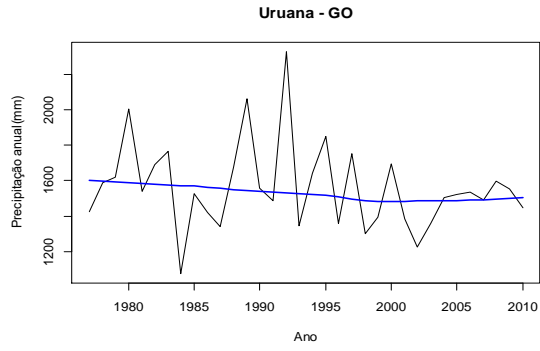




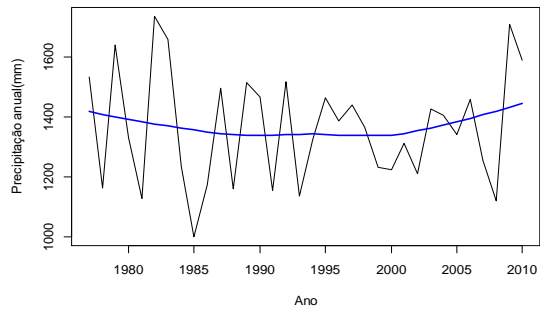




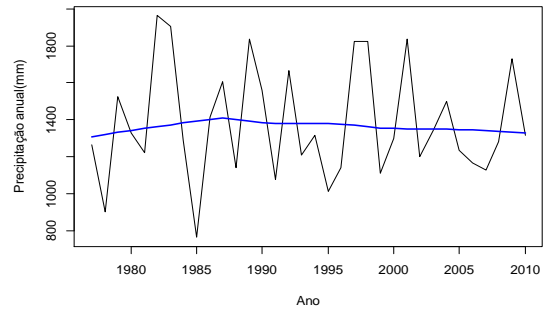




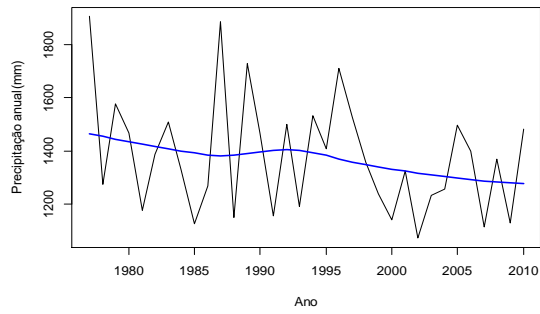
**Xavantina do Sul - MS**



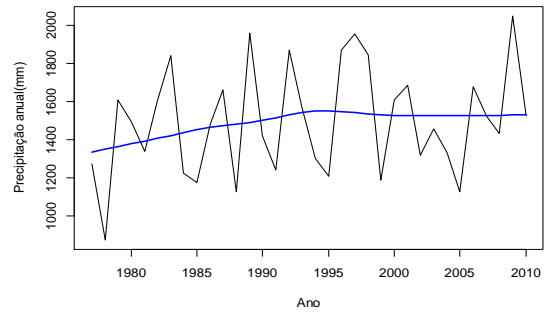
**Dourados - MS**



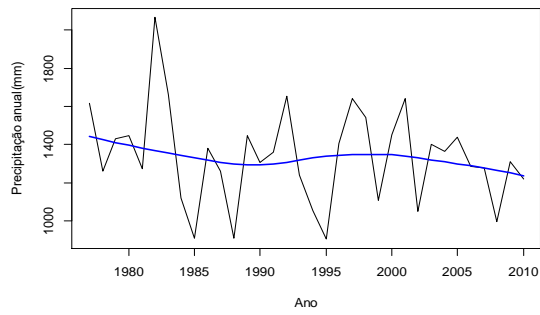
**Água Clara - MS**



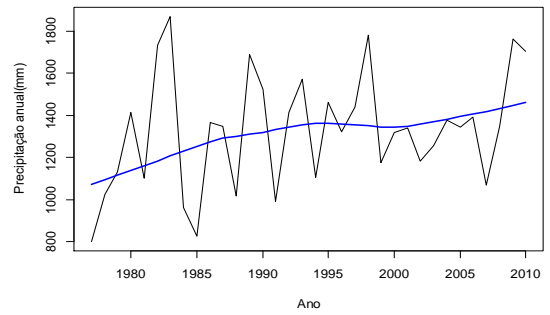
**Glória de Dourados - MS**



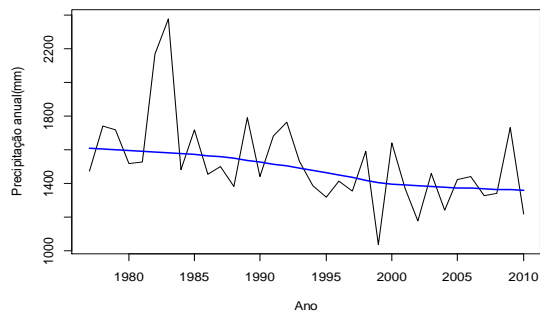
**Maracaju - MS**



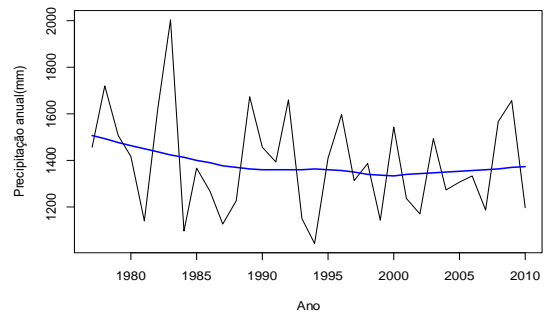
**Porto Uerê - MS**

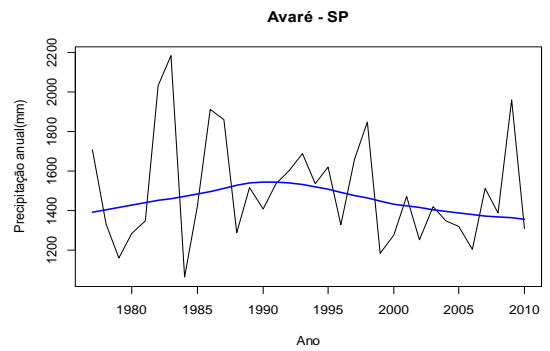
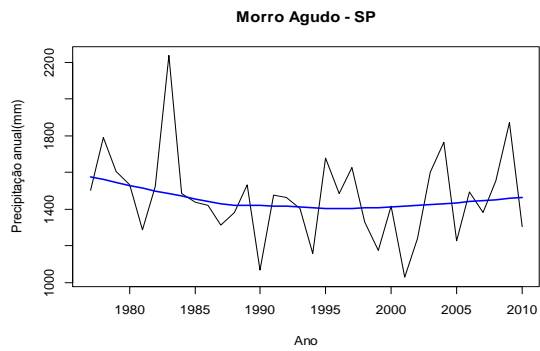
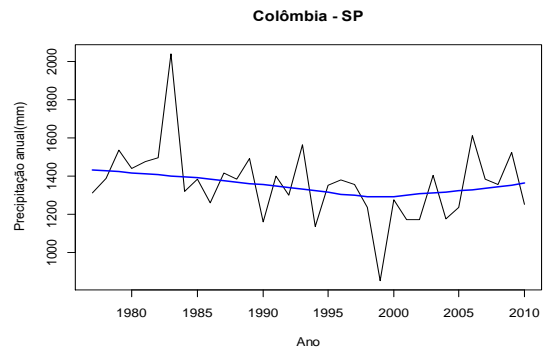
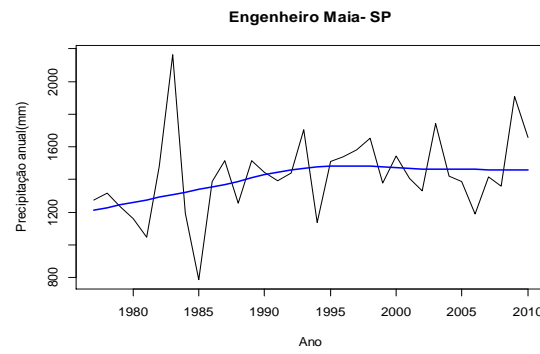
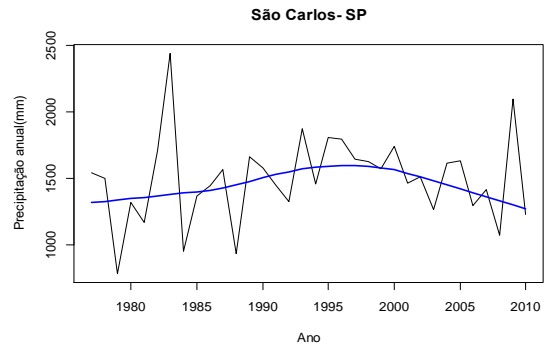
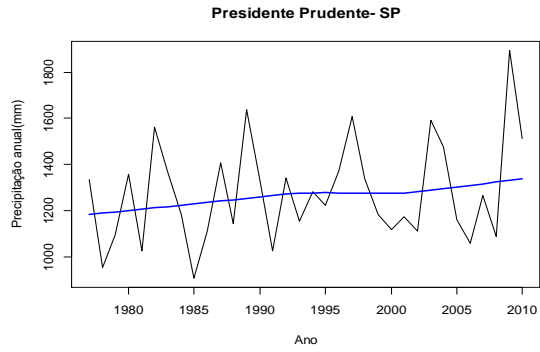
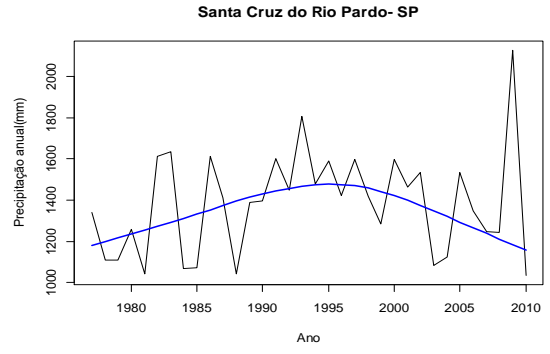
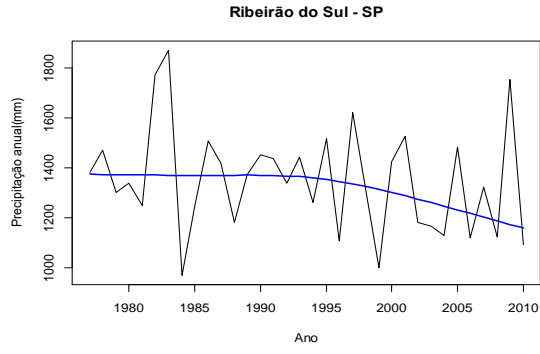


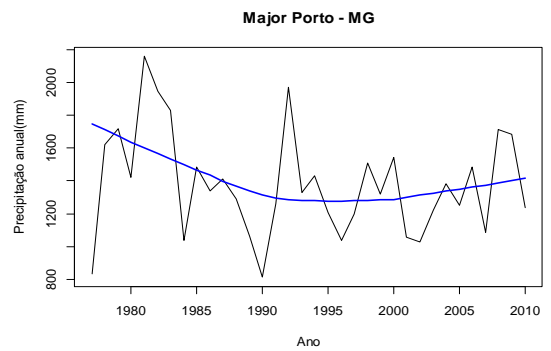
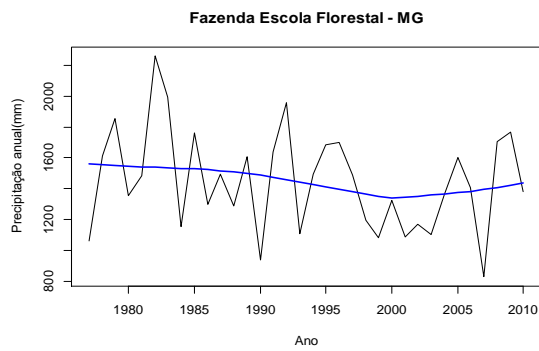
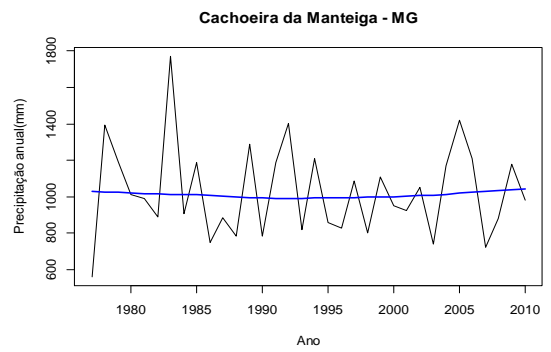
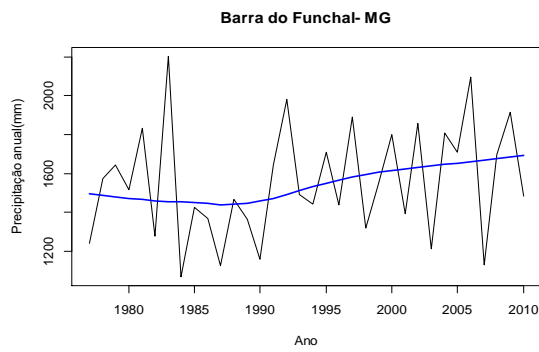
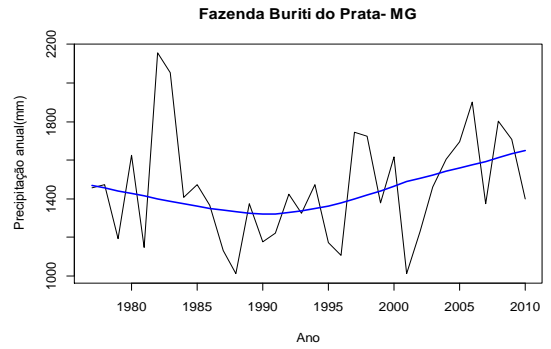
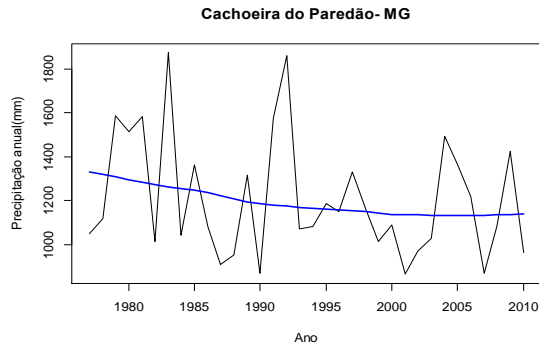
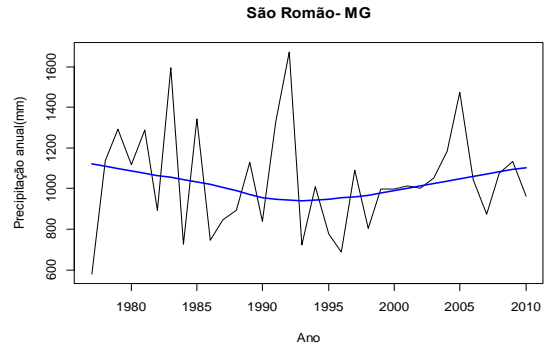
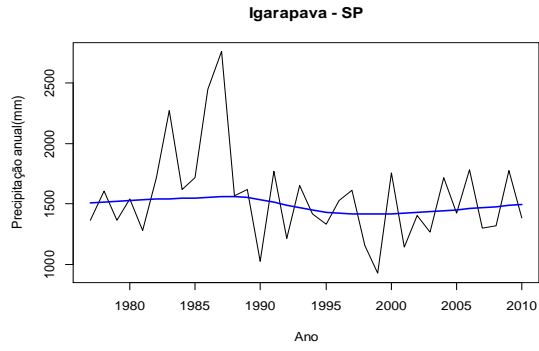
**Cosmorama - SP**



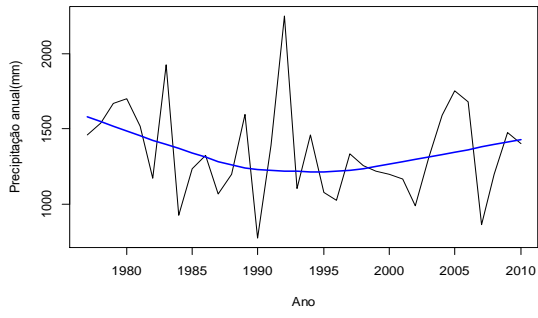
**Palestina - SP**



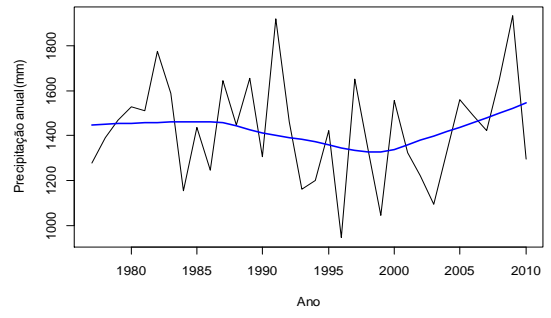




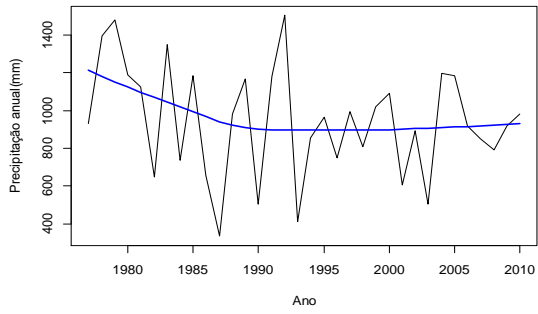
**Ponte da BR-040 - Paracatu - MG**



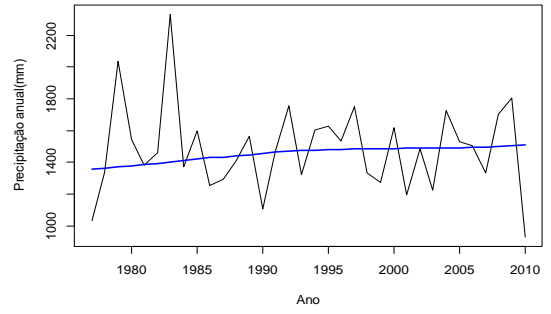
**Ponte do Prata - MG**



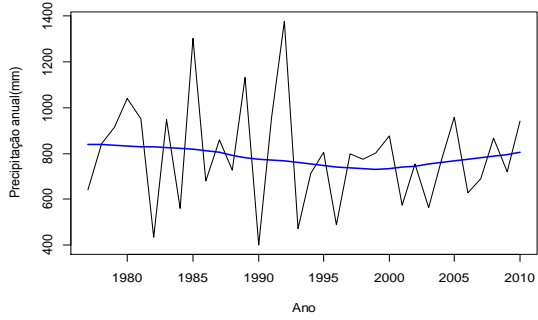
**São Gonçalo - MG**



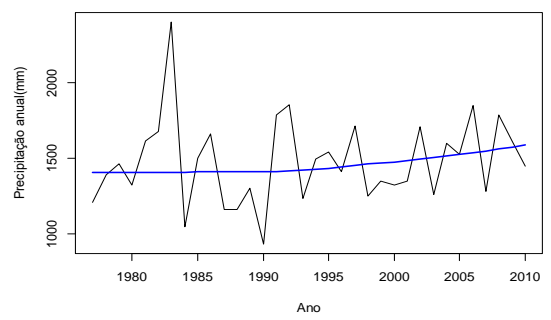
**Itaúna Montante - MG**



**Manga - MG**



**Fazenda Ajudas - MG**





## APÊNDICE C. RESULTADOS ESTATÍSTICOS PARA AS 125 ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS.

id	Código	Z (MK)	(TS)	Pettitt		Teste de Mann Kendall - Z											
				Shift	P-value	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	82571	1,40	9,4	1983	0,34	-0,70	1,50	1,10	0,30	2,30	-0,10	0,50	-0,30	-1,10	-0,30	1,10	0,60
2	747003	0,00	-0,5	1996	1,21	-0,50	0,40	-0,70	-0,50	1,10	0,20	-0,10	-1,40	0,00	1,00	-1,20	1,20
3	443006	-0,10	-1,0	1983	0,87	-1,00	0,10	-0,70	1,00	0,50	0,50	-0,70	-0,80	0,00	-0,70	0,10	-0,10
4	444001	1,10	8,2	1983	0,79	0,80	1,10	0,00	1,60	0,90	0,00	0,10	-0,80	-1,10	-1,80	-1,20	0,30
5	343003	-0,50	-4,6	1989	0,91	-1,10	-1,10	0,10	1,30	0,60	0,00	0,90	-2,20	-1,30	-0,90	0,20	0,00
6	444005	1,10	6,9	1998	0,60	1,90	1,30	0,20	0,80	0,70	1,10	-0,30	-0,20	-2,20	0,50	-0,10	-0,30
7	744000	1,10	3,8	1993	0,87	-0,30	0,80	-0,40	0,80	1,90	0,90	-0,50	-0,10	-0,10	0,00	0,00	-0,10
8	82768	1,70	8,3	1998	0,27	0,20	1,60	-0,10	0,80	2,30	-0,70	-0,70	-2,20	-1,60	0,70	-0,10	0,70
9	644003	0,90	4,3	1998	0,38	-1,10	0,00	0,00	0,80	0,40	-0,60	0,90	0,10	0,20	1,00	1,10	0,90
10	82382	1,30	9,7	1983	0,21	1,00	0,70	0,70	1,40	0,50	1,10	0,10	-1,80	-1,00	1,00	-0,30	-0,10
11	543009	0,30	2,3	1983	1,15	-0,30	0,50	0,20	0,00	1,40	0,60	1,20	-1,00	-1,00	-0,40	-0,50	-0,20
12	745003	1,20	5,0	1994	0,40	-0,40	0,50	1,10	1,00	3,50	1,20	-1,70	-0,20	-1,40	-0,70	-0,10	0,40
13	844008	-1,50	-7,1	1980	0,33	-0,80	-0,90	-0,80	-2,00	1,10	1,00	1,10	-2,10	-0,50	-0,20	-0,90	-0,40
14	542012	0,70	4,7	1983	0,30	0,40	0,10	0,40	1,10	0,70	-0,60	0,70	0,60	-0,10	0,30	-1,20	0,90
15	949000	-3,50	-27,8	1989	0,00	-2,50	-2,40	-1,90	0,20	1,30	-1,30	-1,30	-1,50	-1,90	-1,10	-0,50	-2,80
16	1249000	-1,20	-5,1	1989	0,28	-2,10	-0,40	0,00	0,30	-0,20	-0,90	-1,40	-2,10	-0,20	-0,50	1,30	-1,00
17	1249001	0,40	2,9	1996	0,85	-1,40	0,20	-0,20	1,30	-1,00	-1,30	-0,80	-1,30	-0,10	0,00	0,70	0,70
18	949001	-2,40	-15,5	1989	0,00	-1,40	-0,70	-2,10	-0,50	0,90	-1,90	0,20	-1,00	-0,20	-1,20	0,00	0,50
19	1149000	-0,30	-1,4	1989	1,19	-0,50	-0,30	-0,40	-0,20	0,80	-1,30	-1,60	-2,90	-1,10	-0,90	1,90	-0,30
20	747001	-1,90	-11,2	1995	0,03	-2,00	-0,70	-0,40	-0,50	2,50	-1,00	-0,20	-2,10	-2,10	-1,20	-2,60	-0,20
21	848002	-0,90	-3,5	1993	0,55	-0,90	-0,70	-0,70	1,50	2,40	-1,40	-1,10	-2,40	-0,80	-1,60	-0,70	0,30
22	847001	-1,20	-6,7	1986	0,51	-1,30	0,10	-0,90	-0,80	1,80	0,40	0,50	-1,20	-1,90	0,60	-0,80	-1,10
23	1048001	0,70	3,3	1988	0,85	0,40	1,10	1,60	2,30	1,60	-1,10	-2,20	-1,60	-0,40	-0,60	-0,40	-1,80

24	1147002	0,90	4,1	1993	0,37	0,80	0,20	1,00	0,20	1,00	-0,10	-1,50	-1,40	-0,10	-0,90	0,20	0,60
25	1147003	-1,20	-7,2	1989	0,65	-0,80	-1,70	0,90	-0,10	1,90	-1,00	-0,90	-0,80	0,00	-2,10	0,20	-1,10
26	1047002	-2,10	-10,4	1985	0,28	-2,20	-1,50	-1,60	0,30	1,60	-0,50	-2,10	-1,20	-0,80	0,10	-1,40	-1,50
27	848003	-0,70	-3,087	1989	0,69	-0,80	0,20	-1,60	0,30	1,20	-1,70	0,70	-1,70	-1,70	-1,70	0,20	-0,80
28	83228	-1,80	-8,967	2000	0,20	-0,70	-1,00	0,10	0,70	-0,20	-1,30	-1,50	-2,50	-0,90	-1,20	-1,30	-0,30
29	1246000	-0,70	-7,363	1995	0,69	-1,20	0,30	-0,50	-0,10	1,70	-1,30	-1,50	-0,70	0,20	-1,90	-0,50	-1,00
30	1246001	-0,70	-3,256	1995	0,50	-2,30	-0,20	1,00	1,90	2,00	-0,80	-1,30	-1,40	0,30	-0,70	-0,30	-1,40
31	1048003	1,40	8,857	1998	0,01	0,80	0,30	0,30	0,40	1,50	-0,30	-2,00	-1,70	-0,70	0,80	0,70	0,20
32	1048005	-0,50	-3,077	2007	0,72	-0,80	0,30	1,50	0,00	0,30	-0,10	-1,00	-1,50	-0,60	-0,10	-0,40	0,10
33	848000	-0,40	-2,588	1993	1,36	-0,40	-0,90	-0,20	1,50	0,70	0,00	-0,90	-1,60	-1,00	-1,00	-1,00	0,90
34	849000	0,70	3,024	1984	0,93	-0,10	0,00	0,00	1,70	2,40	-0,90	-0,90	-1,00	-1,50	-0,40	0,70	-1,10
35	1144005	-0,80	-3,64	1982	0,25	-0,80	1,20	0,20	-1,80	2,10	-0,30	-0,20	-0,10	-1,30	0,20	0,40	-1,00
36	1143002	-0,60	-2,641	1981	0,47	-1,30	1,10	0,80	-0,10	2,40	0,30	1,10	0,90	-1,80	0,00	-0,40	-1,00
37	1245007	-1,00	-5,295	1989	0,65	-1,90	-0,30	0,20	0,10	-0,30	-1,90	-2,20	-0,90	-1,00	-1,20	0,30	0,20
38	1344015	-0,90	-3,848	1992	0,24	-2,20	-0,20	0,70	0,70	-0,60	-0,50	-1,40	-2,00	0,00	-1,90	1,60	-0,20
39	1243011	-1,30	-6,1	1985	0,32	-1,80	0,30	0,30	-0,30	1,00	-0,20	0,50	-0,80	-1,10	-0,30	-1,40	-1,60
40	1144014	0,40	1,16	2003	1,11	-0,90	0,50	0,70	0,30	1,50	-1,20	-1,30	-1,30	-1,90	0,00	0,70	1,20
41	1143010	-0,80	-4,421	1981	0,41	-0,80	0,40	0,30	-0,60	0,70	-0,70	-1,20	-1,20	-0,20	0,40	-0,30	-0,70
42	1443002	-0,50	-3,217	1985	1,15	-0,70	0,60	0,70	-1,20	0,20	-1,50	-1,80	-1,10	0,20	-1,20	0,40	0,50
43	1145001	-1,00	-4,762	1980	0,43	-1,30	1,30	-0,20	-0,30	0,60	0,30	-0,50	-0,30	-1,40	-1,60	0,40	-1,20
44	1444015	-1,70	-9,086	1981	0,34	-2,40	-0,30	0,50	-0,70	1,40	0,50	0,70	0,30	0,80	-1,40	1,10	-0,60
45	1653004	-1,60	-4,96	1980	0,31	-0,80	1,30	-0,40	-1,60	-1,50	-1,40	-0,90	0,20	-0,90	1,70	-1,10	-0,80
46	1456001	-0,80	-3,413	1986	0,10	-0,30	1,20	0,00	-1,90	-1,80	-1,70	1,00	-1,00	-1,60	0,50	0,20	-1,00
47	1250001	-2,50	-16,82	1990	0,02	-1,10	-2,40	-2,10	-1,90	0,70	0,00	-1,50	0,40	-0,90	0,00	-1,30	-1,90
48	1754000	0,80	5,472	2005	0,30	-0,30	0,50	1,60	0,80	-2,90	-0,70	-1,00	-0,20	-1,70	3,10	0,30	0,50
49	1556000	-1,80	-16,36	1983	0,02	-1,30	-1,50	-0,60	-1,60	-2,40	0,30	0,80	0,30	-3,00	-0,90	-0,60	-1,70
50	1453000	-3,80	-28,37	1994	0,00	-1,10	0,40	-1,90	-1,70	-2,70	-2,90	-1,10	-0,80	-0,50	-1,10	-2,80	-3,00
51	1150001	-1,40	-6,98	1988	0,54	-0,50	-0,60	-0,40	-0,50	0,10	-0,30	-1,60	-2,20	-1,60	0,20	-0,80	-0,80

52	1652002	-1,20	-7,391	1986	0,10	-1,80	0,00	0,80	1,80	-1,80	-0,70	0,00	-1,80	-1,70	-0,30	0,50	0,20
53	1452000	-0,60	-3,418	1983	0,52	-0,90	-0,30	0,20	-1,10	-1,40	-1,10	-0,60	-1,60	-1,00	0,40	1,30	-0,50
54	1552002	-3,70	-27,51	1998	0,01	-2,90	-0,90	-0,80	-1,70	-2,90	-2,20	0,00	-1,30	-1,20	1,00	-3,00	-1,20
55	1555005	1,20	7,21	1984	0,22	0,40	1,70	1,40	0,90	0,00	-0,10	1,80	1,00	0,10	1,70	0,70	-1,20
56	1653000	-1,10	-4,2	1989	0,44	-1,20	-0,10	0,20	0,20	-1,80	-1,00	-1,40	-0,50	-1,60	-0,70	2,10	-1,20
57	1853000	-1,10	-7,036	1992	0,27	-0,70	0,20	1,20	0,50	-0,60	-1,50	-0,20	-0,20	-1,40	1,30	-1,20	-0,80
58	1752002	-1,20	-5,755	1984	0,51	-1,00	-0,10	0,00	-0,30	0,10	-1,50	-0,60	0,00	-1,70	1,10	-1,30	0,00
59	1547004	0,60	2,117	2003	0,83	-1,70	-0,30	0,90	1,10	-1,10	-0,90	0,10	0,70	-0,60	-0,40	1,20	1,10
60	1651000	-2,60	-13,8	1989	0,03	0,00	-0,50	0,00	-2,70	-0,30	-1,60	0,00	-0,50	-1,20	0,40	-1,70	-1,10
61	1651002	-1,80	-14,03	1987	0,06	-1,30	-1,10	0,70	0,30	-1,30	-1,90	-0,50	-0,50	-2,10	-0,30	0,30	-0,80
62	1348000	0,10	2,478	1986	0,89	-0,50	0,00	0,60	0,40	-0,20	-1,70	-1,70	-2,40	-0,90	-0,20	1,10	1,40
63	1549001	-0,70	-3,748	1985	0,52	-1,30	0,00	-0,20	-0,40	-0,80	-1,00	-0,60	0,70	-0,60	0,30	0,90	-0,20
64	1549002	-2,70	-11,33	1992	0,06	-1,80	-0,60	-0,50	0,00	-1,80	-1,30	-1,80	-1,50	-2,40	-0,40	0,30	0,30
65	1549003	-1,90	-8,614	1992	0,11	-0,60	0,30	-1,30	0,00	-2,80	-1,00	-1,60	-0,50	0,20	-0,90	-0,30	0,20
66	1648001	-0,90	-5,592	1983	0,59	-1,40	1,10	-0,20	-0,30	-3,10	-0,80	-0,90	-0,10	-0,70	-0,50	0,40	0,40
67	1449001	-0,60	-3,847	1985	0,37	-1,90	-0,80	0,10	-0,40	-2,40	-1,50	-2,50	-0,80	-0,90	-0,20	0,30	1,10
68	1652000	-0,70	-2,946	1983	0,32	-0,50	1,60	0,70	0,30	-2,40	-0,90	-0,70	-1,40	-2,80	-0,80	0,00	-0,50
69	1650001	-3,20	-21,93	1983	0,02	-2,10	-1,10	-0,50	-1,80	-1,90	-0,10	-1,30	-1,30	-1,60	-0,70	-1,10	-1,80
70	1451000	-1,90	-11,08	1986	0,18	-0,90	-0,50	0,00	-0,70	-2,10	-2,20	-0,50	-1,60	-2,20	-2,50	-0,90	0,80
71	1350001	-0,40	-2,891	1983	0,72	-0,20	-0,10	0,50	-0,40	-1,70	-1,60	-2,90	-1,30	-0,70	-0,60	-0,30	0,00
72	1350000	-1,10	-6,7	1995	0,47	-1,10	0,00	0,00	1,00	-1,50	-1,30	-1,10	-0,90	-0,50	-2,10	0,00	-0,20
73	1551000	-2,00	-8,633	1983	0,17	-1,30	0,00	0,20	-1,70	-2,30	-1,30	-1,50	-0,80	-1,90	-2,00	0,20	1,00
74	1650000	-0,20	-1,154	1989	0,79	-0,30	1,30	0,20	-2,80	-2,80	-1,20	-1,50	-0,10	-1,00	-0,60	1,00	0,40
75	1250000	-1,00	-4,53	1985	0,34	-0,80	-1,70	-0,30	1,20	-1,00	-0,70	-1,50	0,40	-0,90	-1,30	-0,20	-0,20
76	1447002	-1,20	-6,842	1992	0,31	-1,10	-0,60	-0,30	-0,80	-0,80	-1,00	-0,20	-1,20	-0,40	-0,40	0,80	-0,80
77	1448001	-2,10	-10,87	1992	0,05	-1,40	-0,70	-0,60	-0,90	-2,10	-1,60	-1,70	-1,30	-0,60	-0,70	0,40	-0,20
78	1447000	-1,10	-7,021	1980	0,43	-2,40	-0,50	0,60	0,90	0,20	-1,20	-1,30	-1,30	-0,50	-1,10	-0,50	-1,20
79	1350002	-2,50	-13,03	1993	0,10	-2,20	-0,60	-1,30	0,20	-0,60	-1,40	-0,80	-0,90	-1,10	2,00	-0,10	-1,20

<b>80</b>	1450000	-1,80	-6,9	1992	0,16	-1,90	-1,40	0,10	0,30	-1,90	-2,30	-0,40	-1,00	-1,00	-0,40	-0,50	0,60
<b>81</b>	1951001	-0,90	-3,946	1992	0,48	-1,10	0,70	-0,10	-2,10	1,00	-0,60	-0,30	-0,20	-1,50	0,00	-2,20	-0,40
<b>82</b>	1748005	-0,10	-0,831	2003	1,19	-0,70	0,50	0,40	-0,90	-1,40	-0,50	-1,30	-0,60	0,90	-1,20	0,60	0,00
<b>83</b>	1449000	-1,00	-9,6	1983	0,50	-1,70	-0,40	0,40	0,30	-1,50	-1,10	-2,60	-2,20	-0,50	-0,20	0,10	0,30
<b>84</b>	1749004	-0,80	-3,108	1983	0,44	-0,70	0,60	0,40	-0,40	-1,40	-1,40	-0,70	-0,20	-0,90	0,20	1,20	0,10
<b>85</b>	1851001	1,20	6,195	1991	0,28	0,60	1,90	1,70	0,50	1,00	-0,80	-0,70	0,10	-1,20	1,60	0,70	-1,10
<b>86</b>	1850001	0,00	-0,12	2005	0,59	-0,60	1,30	0,10	0,30	-1,90	-1,70	-1,10	-0,20	-0,60	-0,50	-0,60	1,50
<b>87</b>	1751004	0,70	2,383	2003	0,47	-0,90	1,60	0,20	-1,10	-1,40	-2,30	-1,40	-0,30	-1,20	-0,20	2,10	-0,40
<b>88</b>	1649007	-0,60	-3,994	1997	0,28	-1,70	-0,50	-0,20	-0,70	-2,40	-1,00	-0,70	-1,80	-0,10	-0,10	0,10	1,50
<b>89</b>	1549009	-1,00	-3,515	1995	0,39	-0,20	-0,70	0,30	0,10	-1,80	-0,40	-1,90	-0,90	-0,20	-0,30	-1,30	0,70
<b>90</b>	1749001	0,30	2,102	1980	1,05	-1,10	1,10	2,00	0,10	-0,90	-0,60	-0,80	-1,00	-1,40	-1,40	0,60	1,00
<b>91</b>	1749001	-0,60	-1,98	1985	0,59	-0,70	-0,10	1,10	-0,90	-0,90	-0,70	-2,00	-1,50	-1,20	0,50	1,80	-0,50
<b>92</b>	1649006	-3,50	-15,45	1992	0,00	-2,00	-1,00	-0,40	-2,00	-2,40	-1,40	-1,70	-1,20	-0,70	-2,00	-1,30	-1,20
<b>93</b>	1649013	0,70	1,584	1979	1,15	-2,20	1,30	0,80	0,40	-0,90	0,00	-1,60	-0,60	-1,00	-0,50	1,30	0,80
<b>94</b>	2152000	-0,20	-1,395	1994	0,81	1,10	1,70	-0,30	-1,10	0,20	-0,80	0,20	0,10	0,00	0,70	-1,30	-1,30
<b>95</b>	2153000	-2,00	-11,39	1998	0,06	-2,50	1,70	-0,30	-1,10	0,20	-0,80	0,20	0,10	0,00	0,70	-1,30	-1,30
<b>96</b>	2154002	-1,10	-6,204	1992	0,35	0,60	0,50	-1,60	-0,70	-0,50	-0,60	0,50	0,10	-0,50	-0,40	-0,80	-1,00
<b>97</b>	2152005	-0,20	-0,638	1983	1,19	1,10	0,30	-0,40	-1,30	0,10	0,30	0,40	-0,10	0,20	0,30	0,30	-1,40
<b>98</b>	2254001	-0,10	-0,789	1990	1,50	0,80	0,70	-1,10	-0,10	0,30	-0,20	0,90	0,40	-0,80	-0,20	-0,60	-1,00
<b>99</b>	2052002	-1,70	-5,121	1997	0,18	0,20	1,20	-0,50	-0,70	-0,80	-0,60	0,70	0,00	-0,70	0,30	-1,20	-1,90
<b>100</b>	2155000	-1,10	-4,029	1983	0,55	0,20	1,60	-2,00	0,30	-1,20	-0,60	0,90	-0,20	-0,70	0,20	-0,10	-1,20
<b>101</b>	2152001	1,50	9,124	1988	0,54	2,60	2,40	0,70	-1,30	-0,60	-0,50	0,10	0,20	0,00	0,20	0,20	-0,10
<b>102</b>	2049010	-3,30	-10,24	1993	0,00	-0,40	1,00	-1,40	-0,80	-0,70	-1,30	-0,80	-0,20	-0,20	-0,60	-2,30	-2,30
<b>103</b>	2049006	-0,80	-4,333	1983	0,57	0,30	0,90	-0,60	-0,90	0,30	-0,70	-0,30	0,10	-0,40	0,00	-1,90	-1,00
<b>104</b>	2249028	-1,40	-5,7	1995	0,62	0,70	-0,60	-1,90	-0,80	-0,80	-0,80	0,40	-0,30	-1,20	1,60	-0,30	-1,10
<b>105</b>	2249032	0,40	2,3	1990	0,57	2,10	0,90	-1,80	-0,70	-0,60	-0,30	0,30	0,20	0,70	1,60	-0,50	0,00
<b>106</b>	2251066	0,90	3,786	1986	0,85	1,90	1,40	-0,30	-1,40	-0,90	-0,70	0,60	0,40	0,20	1,00	-1,30	0,10
<b>107</b>	2247060	0,50	2,73	1988	0,51	2,30	1,30	-0,30	0,40	-0,90	-1,10	0,50	-0,30	0,30	0,50	0,10	-1,30

<b>108</b>	2048001	2,00	8,3	1988	0,14	2,50	0,40	-0,20	0,10	-0,60	-0,40	1,30	0,10	0,50	1,40	-0,40	0,40
<b>109</b>	2048023	-1,80	-4,824	1989	0,09	1,30	0,10	0,70	-1,70	-0,80	-0,60	-1,00	-0,50	-0,60	-1,20	-1,30	-0,80
<b>110</b>	2348008	-1,10	-4,744	1984	0,43	1,50	0,80	-0,30	-1,70	-0,40	-1,10	-0,40	-0,40	-0,70	-1,20	-1,10	0,90
<b>111</b>	2047002	-0,80	-3,12	1998	0,29	2,00	-1,20	-0,80	0,20	-1,00	-0,50	0,90	0,00	-0,50	0,50	-1,00	-0,90
<b>112</b>	2449001	-0,90	-4,963	1989	0,30	0,10	1,30	0,10	-1,00	-0,70	-1,00	-1,00	-0,90	-0,10	-0,90	-1,30	0,00
<b>113</b>	1645000	0,30	2,511	1983	1,19	-0,80	0,20	1,20	0,10	-2,00	-0,40	-1,50	-0,40	0,80	-1,10	-1,30	1,90
<b>114</b>	1745001	-1,20	-4,794	1985	0,65	-1,80	0,50	1,40	-1,30	-1,00	-0,10	0,80	-0,20	-0,70	-0,10	0,30	0,20
<b>115</b>	1949002	0,90	5,561	1996	0,31	0,80	0,50	0,90	-0,50	-0,40	-1,20	0,00	0,50	1,00	-1,70	0,40	-0,10
<b>116</b>	01945002	1,40	8,143	1990	0,27	-0,30	0,50	2,30	-0,30	-0,50	-0,70	0,20	-0,40	-0,40	-0,10	0,00	1,10
<b>117</b>	1645009	-0,20	-0,38	1985	1,36	-1,10	0,30	0,50	-0,40	-1,30	-0,70	-0,40	0,50	-0,40	-0,70	0,40	1,20
<b>118</b>	1944007	-1,00	-7,239	1997	0,41	-0,80	0,60	0,80	-0,40	0,00	-0,30	-2,10	-0,50	0,60	-0,70	-1,10	0,00
<b>119</b>	1846003	-1,00	-5,922	1983	0,34	-1,30	0,00	1,60	-0,50	-1,10	-0,50	-0,40	0,30	-0,20	-2,10	0,60	-0,40
<b>120</b>	1746007	-0,80	-5,2	1983	0,37	-1,70	0,10	0,50	-1,20	-1,20	-1,00	-0,90	0,20	0,00	-1,10	-0,20	0,80
<b>121</b>	1949006	-0,20	-0,582	1992	0,67	0,50	0,90	-0,10	-2,40	-1,40	-0,50	0,00	-0,10	-0,20	-0,10	0,60	-0,50
<b>122</b>	1444000	-1,10	-7,329	1983	0,47	-2,20	0,40	1,10	0,10	0,50	-0,90	-1,00	-1,40	1,20	-1,70	1,70	0,20
<b>123</b>	2044002	0,30	1,92	1978	1,54	0,00	0,40	0,70	-0,80	-0,90	0,00	-0,70	0,30	0,00	-0,50	-1,50	0,40
<b>124</b>	1443001	-0,40	-2,416	1992	0,67	-1,50	0,50	0,90	1,40	0,00	-1,90	0,60	-1,40	0,70	-0,50	1,90	-1,20
<b>125</b>	2046007	1,10	4,87	1990	0,67	0,40	1,60	0,20	-0,80	0,40	-1,10	0,00	0,00	0,50	0,40	-0,80	0,80