

MARIA HELENA DE CARVALHO RODRIGUES SILVA

**BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA: ANÁLISE DA DINÂMICA
POPULACIONAL, MUDANÇAS NO USO DO SOLO E IMPACTOS NA
DISPONIBILIDADE HÍDRICA**

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Programa de Pós-Graduação
em Meteorologia Agrícola, para obtenção
do título de *Magister Scientiae*

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S586b
2012

Silva, Maria Helena de Carvalho Rodrigues, 1974-
Bacia hidrográfica do Rio Paranaíba : análise da dinâmica
populacional, mudanças no uso do solo e impactos na
disponibilidade hídrica / Maria Helena de Carvalho Rodrigues
Silva – Viçosa, MG, 2012.
xxiii, 149f. : il. (algumas color.) ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Aristides Ribeiro

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Recursos hídricos. 2. Evapotranspiração. 3. Solo - Uso.
4. Cana-de-açúcar. 5. Balanço hidrológico. 6. Análise
multivariada. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento
de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-Graduação em
Meteorologia Agrícola. II. Título.

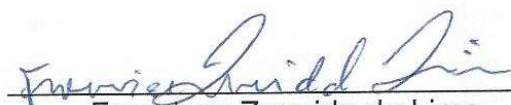
CDD 22. ed. 630.25148

MARIA HELENA DE CARVALHO RODRIGUES SILVA

**BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA: ANÁLISE DA DINÂMICA
POPULACIONAL, MUDANÇAS NO USO DO SOLO E IMPACTOS NA
DISPONIBILIDADE HÍDRICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 11 de dezembro de 2012.


Francisca Zenaide de Lima


Suely de Fátima Ramos Silveira
(Coorientadora)


Aristides Ribeiro
(Orientador)

Em memória da minha querida mãe Helena e do meu irmão José Maria,
que estiveram comigo no início desta etapa, sempre torcendo por mim.

Tenho certeza de que nos encontraremos um dia. Muitas saudades!

*“De tudo, ficaram três coisas:
A certeza de que sempre estamos recomeçando...
A certeza que precisamos continuar...
A certeza que sempre seremos interrompidos antes de terminar...
Portanto devemos fazer da interrupção um caminho novo...
Da queda um passo de dança...
Do medo, em escada...
Do sonho, uma ponte...
Da procura, um encontro...”.*

(Fernando Sabino, “Encontro Marcado”)

AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de tudo e de todos, por sua presença sempre.

Ao professor Aristides Ribeiro pela confiança, pela oportunidade e pela experiente e incansável orientação.

À professora Suely Ramos, pela atenção, pelos conselhos e pela convivência.

A Carla Cristina (DAD), com muito carinho por toda dedicação e atenção.

Ao professor André Quintão de Almeida (UFRPE), por toda dedicação em me ajudar desde o início dessa jornada, pela ajuda incondicional, essencial e constante.

Aos meus novos e velhos amigos do SOPA (Sala dos Orientados do Professor Aristides), pelo carinho e pela atenção a mim dispensada nos momentos difíceis. Não poderei me esquecer de vocês: Aline, Yhasmin, Robson, Robert, Carla, Aloísio, Jorge, Valéria e Luciano,

Ao professor Pruski, pela gentileza e atenção. Aos seus orientandos Aline e Antônio (Toninho), pelo apoio e pelos valiosos ensinamentos.

Ao meu querido esposo Valdemir, pela paciência nos momentos de angústia e por estar sempre ao meu lado.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, especialmente à Graça, por sua dedicação, profissionalismo e carinho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE QUADROS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS	xvii
RESUMO	xx
ABSTRACT	xxii
INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO 1	3
CARACTERIZAÇÃO AGRÍCOLA E SOCIOECONÔMICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA	3
1. INTRODUÇÃO	3
1.1. Objetivo.....	4
2. A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR	4
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	9
3.1. Biomas	9
3.2. Desenvolvimento sustentável	10
4. METODOLOGIA	15
4.1. Bacia hidrográfica do rio Paranaíba	16
4.1.1. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento	16
4.2. Fonte e coleta de dados.....	17
4.2.1. Variáveis selecionadas	18
4.3. Tratamento de dados	19
4.4. Modelo analítico	20
4.4.1. Análise fatorial (AF).....	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1. Análises estatísticas multivariadas (1990-1999)	25
5.1.1. Análise de cluster (AC)	31
5.1.2. Caracterização dos agrupamentos	35
5.1.2.1. Cluster 1	35
5.1.2.2. Cluster 2.....	38
5.1.2.3. Cluster 3.....	39
5.1.2.4. Cluster 4.....	40
5.1.2.5. Cluster 5.....	41

5.2. Análises estatísticas multivariadas (2000-2009)	42
5.2.1. Análise de cluster	45
5.2.2. Caracterização dos agrupamentos	50
5.2.2.1. Cluster 1	50
5.2.2.2. Cluster 2	53
5.2.2.3. Cluster 3	55
5.2.2.4. Cluster 4	56
5.2.2.5. Cluster 5	58
5.3. Análise das duas décadas	59
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
7. REFERÊNCIAS	65
8. APÊNDICE	70
CAPÍTULO 2	74
ESTUDO DOS IMPACTOS NOS RECURSOS HÍDRICOS DA EXPANSÃO DA LAVOURA DE CANA-DE-AÇÚCAR NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA	74
1. INTRODUÇÃO	74
2. REVISÃO DE LITERATURA	75
2.1. Cerrado e expansão agrícola	75
2.2. Bacia hidrográfica, unidades de planejamento e ocupação	77
2.3. Características da cana-de-açúcar	79
2.5. Mudança do uso da terra	81
2.6. Evapotranspiração da cana-de-açúcar e da pastagem	83
3. MATERIAL E MÉTODOS	85
3.1. Área de estudo e base de dados	85
3.1.1. Caracterização da área de estudo	85
3.1.2. Dados hidrometeorológicos	87
3.2. Indicadores para análise de vazão	89
3.3. Determinação da evapotranspiração da cultura	89
3.3.1. Variação da demanda da evapotranspiração da cana-de-açúcar e da pastagem	91
3.4. Justificativa para escolha das sub-bacias de análise	91
3.5. Seleção do período para análise	92
3.6. Preenchimento de falhas	93
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	93
4.1. Expansão da cana-de-açúcar na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba	93

4.2. Bacia hidrográfica dos rios Turvo e dos Bois (BHRTB)	94
4.2.1. Ciclo de outono: abril a março	96
4.2.2. Ciclo de inverno: junho a maio	99
4.2.3. Ciclo de primavera: outubro a novembro	100
4.3. Bacia hidrográfica do rio Araguari (MG)	102
4.3.1. Ciclo de outono: abril a março	103
4.3.2. Ciclo de inverno: junho a maio	105
4.3.3. Ciclo primavera: novembro a outubro	106
4.4. Bacia hidrográfica do Rio Tijuco (MG)	108
4.4.1. Ciclo de outono: abril a março	110
4.4.2. Ciclo de inverno: junho a maio	112
4.4.3. Ciclo de primavera: novembro a outubro	113
4.4.4. Vazões	115
4.4.5. Avaliação do impacto da evapotranspiração real da cana-de-açúcar e da pastagem na vazão da bacia hidrográfica do rio Tijuco (MG)	118
4.5. Bacia hidrográfica do rio Arantes (MG)	123
4.5.1. Ciclo de outono: abril a março	124
4.5.2. Ciclo de inverno: junho a maio	126
4.5.3. Ciclo de primavera: novembro a outubro	127
4.5.4. Vazões	129
4.5.5. Avaliação do impacto da evapotranspiração real da cana-de-açúcar e da pastagem na vazão da bacia hidrográfica do rio Arantes	131
5. CONCLUSÕES	139
6. REFERÊNCIAS	140
7. APÊNDICE	147
CONCLUSÃO GERAL	148

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1 - Variáveis selecionadas.....	19
Tabela 2 - Qualidade da análise fatorial em relação ao KMO.....	21
Tabela 3 - Estatística descritiva das variáveis selecionadas (1990 a 1999).....	26
Tabela 4 - Características dos fatores extraídos pelo método dos componentes principais (1990 a 1999).....	27
Tabela 5 - Matriz de componentes após rotação ortogonal.....	28
Tabela 6 - Estatística descritiva dos fatores por agrupamento (1990 a 1999).....	32
Tabela 7 - Municípios que compõem o cluster 1 (1990 a 1999).....	33
Tabela 8 - Município do cluster 2(1990 a 1999).....	34
Tabela 9 -Município do cluster 3 (1990 a 1999).....	34
Tabela 10 -Município do cluster 4(1990 a 1999).....	34
Tabela 11 - Município do cluster 5(1990 a 1999).....	34
Tabela 12 - População dos municípios do cluster 1 (período 1990 a 1999).....	36
Tabela 13 - Análise descritiva das variáveis (2000 a 2009).....	43
Tabela 14 - Características dos fatores extraídos pelo método dos componentes principais (2000 a 2009).....	43
Tabela 15 - Matriz de componentes após rotação ortogonal (2000 a 2009).....	44
Tabela 16 - Municípios que compõem o cluster 1 (2000 a 2009).....	46
Tabela 17 - Municípios do cluster 2(2000 a 2009).....	47
Tabela 18 - Municípios do cluster 3(2000 a 2009).....	47
Tabela 19 - Municípios do cluster 4(2000 a 2009)	47
Tabela 20 - Municípios do cluster 5(2000 a 2009)	47

Tabela 21 - Estatística descritiva dos fatores por agrupamento (2000 a 2009).....	49
Tabela 22 - População do Cluster 1 e IFDM* (2000 a 2009).....	51
Tabela 23 - População dos municípios do cluster 1 (2000 a 2009).....	52
Tabela 24 - População do cluster 3 (2000 a 2009).....	55
Tabela 25 - População do cluster 4 (2000 a 2009).....	57
Tabela 26 - População cluster 5 (2000 a 2009).....	58
Tabela 1A - Municípios que extrapolam aos limites da bacia.....	71

CAPÍTULO 2

Tabela 1 - Análise estatística da vazão da estação fluviométrica Ponte do Prata - bacia hidrográfica do rio Tijuco (MG) para os períodos 1990 a 1999 e 2000 a 2009.....	115
Tabela 2 - Impacto da evapotranspiração na vazão de acordo com as simulações do ciclo de outono correspondente aos meses de abril a março: 1990 a 2010: bacia hidrográfica do rio Tijuco (MG).....	119
Tabela 3 - Impacto da evapotranspiração na vazão de acordo com as simulações do ciclo de inverno correspondente aos meses de junho a maio - 1990 a 2010: bacia hidrográfica do rio Tijuco (MG).....	120
Tabela 4 - Impacto da evapotranspiração na vazão de acordo com as simulações do ciclo de primavera correspondente aos meses de novembro a outubro - 1990 a 2010: bacia hidrográfica do rio Tijuco (MG). ..	121
Tabela 5 - Análise estatística da vazão da estação fluviométrica Ponte São Domingos - bacia hidrográfica do rio Arantes (MG) para os períodos 1990 a 1999 e 2000 a 2009.....	129
Tabela 6 - Impacto da evapotranspiração na vazão de acordo com as simulações do ciclo de outono correspondente aos meses de abril a março: 1990 a 2010: bacia hidrográfica do rio Arantes (MG).....	132
Tabela 7 - Impacto da evapotranspiração na vazão de acordo com as simulações do ciclo de inverno correspondente aos meses de junho a maio -1990 a 2010: bacia hidrográfica do rio Arantes (MG).....	133
Tabela 8 - Impacto da evapotranspiração na vazão de acordo com as simulações do ciclo de primavera correspondente aos meses de novembro a outubro - 1990 a 2010: bacia hidrográfica do rio Arantes (MG).....	134

Tabela 1A - Estações pluviométricas das bacias hidrográficas dos rios Arantes, Araguari, Tijuco e Turvo e dos Bois.....	146
---	-----

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO 1

Quadro 1 - Etapas para realizar a análise de cluster.....	24
---	----

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1 - Balanço energético da produção de etanol a partir de diferentes matérias-primas.....	6
Figura 2 - Biomas do Brasil: localização geográfica da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.....	9
Figura 3 - Plantio médio da cana-de-açúcar em hectares nas décadas de 1990 e 2000.....	30
Figura 4 - Área da bacia do rio Paranaíba, nos Estados de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul, dividida em cinco clusters para a década de 1990.....	35
Figura 5 - PIB Serviços, Indústria e Agropecuário dos 5 clusters formados na primeira década.....	37
Figura 6 - Área destinada ao cultivo da cana-de-açúcar na década de 1990.....	38
Figura 7 - Área destinada em hectares para o cultivo de cana-de-açúcar nos cinco clusters na década de 1990.....	41
Figura 8 - Área da Bacia do Rio Paranaíba, nos Estados de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul, dividida em cinco clusters para a década de 2000.....	48
Figura 9 - Expansão da cana-de-açúcar das décadas de 1990 e 2000 nos municípios do cluster 1.....	53
Figura 10 - PIB Serviços, Indústria e Agropecuário dos 5 clusters formados na primeira década.....	54
Figura 11 - Expansão da cana-de-açúcar nos municípios do cluster 3, nas décadas de 1990 e 2000.....	56
Figura 12 - Cafeicultura em hectares (2000 a 2009) cluster 4.....	58
Figura 13 - Evolução do Produto Interno Bruto da bacia ao longo das décadas de 1990 e 2009.....	60
Figura 14 - Evolução da área planta de soja e milho na bacia do rio Paranaíba nas décadas de 1990 e 2000.....	62
Figura 15 - Expansão das culturas agrícolas na bacia do rio Paranaíba ao longo das décadas de 1990 e 2000.....	62

Figura 16 - Expansão das culturas agrícolas no Brasil durante as décadas de 1990 e 2000.....	63
Figura 1A - Municípios pertencentes à bacia do Rio Paranaíba.....	70
Figura 2A - Biomas na Bacia Hidrográfica do Paranaíba.....	72
Figura 3A - Pecuária da bacia do Rio Paranaíba.....	72

CAPÍTULO 2

Figura 1 - Brasil: localização geográfica da bacia do Rio Paranaíba.....	86
Figura 2 - Relevo e hidrografia da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.....	86
Figura 3 - Temperatura anual (mm) e precipitação anual (mm) da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (1990 a 2010).....	87
Figura 4 - Média mensal da umidade relativa (%) no período compreendido entre 1990 a 2010.....	87
Figura 5 - Variação do Kc (coeficiente de cultura).....	89
Figura 6 - Sub-bacias hidrográficas selecionadas para estudo que apresentaram maior crescimento de área cultivada com cana-de-açúcar..	91
Figura 7 - Valor médio da expansão do cultivo da cana-de-açúcar em hectares durante as décadas de 1990 e 2000.....	93
Figura 8 - Valores anuais de precipitação pluvial e evapotranspiração de referência na bacia hidrográfica do Rio Turvo e dos Bois (GO) no período compreendido entre 1990 a 2010.....	94
Figura 9 - Bacia hidrográfica dos Rios Turvo e dos Bois (GO). Municípios e área cultivada com cana-de-açúcar para o período de 1990 a 2010.....	95
Figura 10 - Médias mensais da evapotranspiração real e desvio padrão da cana-açúcar e da pastagem durante o período de 1990 a 2010 para o ciclo de outono: bacia hidrográfica dos Rios Turvo e dos Bois (GO).....	96
Figura 11 - Diferença entre a evapotranspiração real mensal da cana-de-açúcar e da pastagem no ciclo de outono: bacia hidrográfica dos Rios Turvo e dos Bois (GO) - 1990 a 2010.....	97
Figura 12 - Médias mensais da evapotranspiração real e desvio padrão da cana-açúcar e da pastagem durante o período de 1990 a 2010 para o ciclo de inverno - bacia hidrográfica dos Rios Turvo e dos Bois (GO).....	98

Figura 13 - Diferença entre a evapotranspiração real da cana-de-açúcar e pastagem no ciclo de inverno: bacia hidrográfica dos Rios Turvo e dos Bois (GO) - 1990 a 2010.....	99
Figura 14 - Médias mensais da evapotranspiração real e desvio padrão da cana-açúcar e da pastagem durante o período de 1990 a 2010 para o ciclo de primavera: bacia hidrográfica dos Rios Turvo e dos Bois (GO).....	100
Figura 15 - Diferença entre a evapotranspiração real da cana-de-açúcar e da pastagem no ciclo de primavera: bacia hidrográfica dos Rios Turvo e dos Bois (GO) - 1990 a 2010.....	100
Figura 16 - Valores anuais da precipitação pluvial e da evapotranspiração de referência na bacia hidrográfica do Rio Araguari (MG) no período compreendido entre 1990 a 2010.....	101
Figura 17 - Bacia hidrográfica do Rio Araguari (MG): municípios abrangidos pela bacia e área cultivada com cana de açúcar.....	102
Figura 18 - Médias mensais da evapotranspiração real e desvio padrão da cana-açúcar e da pastagem durante o período de 1990 a 2010 para o ciclo de outono: bacia hidrográfica do Rio Araguari (MG).....	103
Figura 19 - Diferença entre a evapotranspiração real da cana-de-açúcar e da pastagem no ciclo de outono: bacia hidrográfica do Rio Araguari (MG) - 1990 a 2010.....	103
Figura 20 - Médias mensais da evapotranspiração real e desvio padrão da cana-de-açúcar e da pastagem durante o período de 1990 a 2010 para o ciclo de inverno: bacia hidrográfica do Rio Araguari (MG).....	104
Figura 21 - Diferença entre a evapotranspiração real da cana-de-açúcar e da pastagem no ciclo de inverno: bacia hidrográfica do Rio Araguari (MG) - 1990 a 2010.....	105
Figura 22 - Médias mensais da evapotranspiração real e desvio padrão da cana-açúcar e da pastagem durante o período de 1990 a 2010 para o ciclo de primavera: bacia hidrográfica do Rio Araguari (MG).....	106
Figura 23 - Diferença entre a evapotranspiração real da cana-de-açúcar e da pastagem no ciclo de primavera: bacia hidrográfica do Rio Araguari (MG): 1990 a 2010	107
Figura 24 - Valores anuais da precipitação pluvial e da evapotranspiração de referência na bacia hidrográfica do Rio Tijuco (MG) no período compreendido entre 1990 a 2010.....	108
Figura 25 - Bacia hidrográfica do Rio Tijuco (MG) recortada a partir do ponto de vazão. Apresentação da ocupação da cana-de-açúcar a partir de 1990 e os municípios inseridos na área de drenagem analisada.....	109

Figura 26 - Médias mensais da evapotranspiração real e desvio padrão da cana-de-açúcar e da pastagem para o ciclo de outono - 1990 a 2010: bacia hidrográfica do Rio Tijuco (MG).....	110
Figura 27 - Diferença entre a evapotranspiração real da cana e da pastagem no ciclo de outono: bacia hidrográfica do Rio Tijuco (MG) - 1990 a 2010.....	110
Figura 28 - Médias mensais da evapotranspiração real e desvio padrão da cana-de-açúcar e da pastagem para o ciclo de inverno: 1990 a 2010 - bacia hidrográfica do Rio Tijuco (MG).....	111
Figura 29 - Diferença entre a evapotranspiração real da cana-de-açúcar e da pastagem no ciclo inverno: bacia hidrográfica do Rio Tijuco (MG) - 1990 a 2010.....	112
Figura 30 - Médias mensais da evapotranspiração real e desvio padrão da cana-de-açúcar e da pastagem para o ciclo de primavera - 1990 a 2010: bacia hidrográfica do Rio Tijuco (MG).....	113
Figura 31 - Diferença entre a evapotranspiração real da cana-de-açúcar e da pastagem no ciclo de primavera: bacia hidrográfica do Rio Tijuco (MG) - 1990 a 2010.....	114
Figura 32 - Médias mensais da precipitação pluvial e da vazão na bacia hidrográfica do Rio Tijuco (MG) - período 1: 1990 a 1999 e período 2: 2000 a 2009.....	115
Figura 33 - Indicador de sazonalidade e de escoamento da bacia hidrográfica do rio Tijuco (MG) para o período compreendido entre 1990 a 2010.....	117
Figura 34 - Área da bacia hidrográfica do rio Arantes (MG): municípios e área cultivada com cana-de-açúcar a partir de 1990.....	122
Figura 35 - Valores anuais de precipitação pluvial e de evapotranspiração de referência da bacia hidrográfica do rio Arantes (MG) no período compreendido entre 1990 a 2010.....	123
Figura 36 - Médias mensais da evapotranspiração real e desvio padrão da cana-de-açúcar e da pastagem para o ciclo de outono: 1990 a 2010 - bacia hidrográfica do rio Arantes (MG).....	124
Figura 37 - Diferença entre a evapotranspiração real da cana-de-açúcar e da pastagem no ciclo de outono: bacia hidrográfica do rio Arantes (MG) - 1990 a 2010.....	125
Figura 38 - Médias mensais da evapotranspiração real e desvio padrão da cana-de-açúcar e da pastagem para o ciclo de inverno: 1990 a 2010 - bacia hidrográfica do rio Arantes (MG).....	125

Figura 39 - Diferença entre a evapotranspiração real da cana-de-açúcar e da pastagem no ciclo de inverno: bacia hidrográfica do rio Arantes (MG) - 1990 a 2010.....	126
Figura 40 - Médias mensais da evapotranspiração real e desvio padrão da cana-de-açúcar e da pastagem para o ciclo de primavera: 1990 a 2010 - bacia hidrográfica do rio Arantes (MG).....	127
Figura 41 - Diferença entre a evapotranspiração real da cana-de-açúcar e da pastagem no ciclo de primavera: bacia hidrográfica do rio Arantes (MG) - 1990 a 2010.....	127
Figura 42 - Médias mensais da vazão e precipitação na bacia hidrográfica do rio Arantes (MG) - período 1: 1990 a 1999 e período 2: 2000 a 2009.....	128
Figura 43 - Indicador de sazonalidade e escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Arantes (MG) no período compreendido entre 1990 a 2010.....	129
Figura 44 - Diferença entre a evapotranspiração real (ETR) da cana-de-açúcar e da pastagem nos ciclos de outono, inverno e primavera na bacia hidrográfica dos rios Turvo e dos Bois (GO) no período compreendido entre 1990 a 2010.....	135
Figura 45 - Diferença entre a evapotranspiração real (ETR) da cana-de-açúcar e da pastagem nos ciclos de outono, inverno e primavera na bacia hidrográfica do rio Araguari (MG) no período compreendido entre 1990 a 2010.....	135
Figura 46 - Diferença entre a evapotranspiração real (ETR) da cana-de-açúcar e da pastagem nos ciclos de outono, inverno e primavera na bacia hidrográfica do rio Tijucu (MG) no período compreendido entre 1990 a 2010.....	136
Figura 47 - Diferença entre a evapotranspiração real (ETR) da cana-de-açúcar e da pastagem nos ciclos de outono, inverno e primavera na bacia hidrográfica do rio Arantes (MG) no período compreendido entre 1990 a 2010.....	136

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

AC – Análise de Cluster
AF – Análise fatorial
ANA – Agência Nacional das Águas
AO – Área ocupada
ARM – Armazenamento de água no solo
BHR Arantes – Bacia hidrográfica do rio Arantes
BHR Araguari – Bacia hidrográfica do rio Araguari
BHRP – Bacia hidrográfica do rio Paranaíba
BHRT – Bacia hidrográfica do rio Tijuco
BHRTB – Bacia hidrográfica dos rios Turvo e dos Bois
C – Carbono
CAD – Capacidade de água disponível
C₄ – Vegetais cujo primeiro composto orgânico estável da fotossíntese é uma molécula de 4 carbonos
CO₂ – Dióxido de Carbono
CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento
DEF – Déficit hídrico
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ea – Pressão parcial de vapor média diária (kPa)
es – Pressão de saturação do vapor média diária (kPa)
ET – Evapotranspiração
ETc – Evapotranspiração da cultura
ETRc – Evapotranspiração real da cana-de-açúcar
ETRp – Evapotranspiração real da pastagem
ET0 – Evapotranspiração de referência
ETR – Evapotranspiração real
EXC – Excedente hídrico
FAO 56 – FAO Irrigation and Drainage Paper 56
FBDS – Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável
FIRJAN – Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
G – Fluxo de calor no solo (MJ m⁻² d⁻¹)
GEE – Gases de efeito estufa

ha – Hectare
 hab – Habitante
 IAF – Índice de área foliar
 IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
 IEL – Instituto Euvaldo Lodi
 IFDM – Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal
 IPEADATA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
 IE% – Indicador de geração de escoamento
 IS% – Indicador de sazonalidade
 Kc – Coeficiente de cultura (adimensional)
 KMO – Kaiser-Meyer-Olkin
 L – Litro
 MDE – Modelo digital de elevação
 NCEP – National Centers for Environmental Prediction
 n – Número de estações usadas para o preenchimento
 PNMC – Política Nacional de Mudanças Climáticas
 PIB – Produto Interno Bruto
 PNB – Produto Nacional Bruto
 PNMC – Política Nacional sobre Mudanças Climáticas
 PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
 P_{tot} – Precipitação total
 P_y – Precipitação na estação em estudo (mm mês^{-1})
 $P_{X1 \text{ a } Xn}$ – Precipitação nas estações de apoio (mm mês^{-1})
 Q – Vazão
 Q_{LP} – Vazão média
 Q_{95} – Vazão mínima
 R_n – Saldo de radiação total diário ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)
 r_{yxi} – Coeficiente de correlação entre os postos citados
 SRTM – Shuttle Radar Topography Mission
 t – Tonelada
 T_{med} – Temperatura média diária do ar a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$)
 UDOP – União dos Produtores de Bioenergia
 UHE – Usina hidrelétrica
 u_2 – Velocidade do vento média diária a 2 m de altura (m s^{-1})

γ – Coeficiente psicrométrico ($\text{kPa}^\circ\text{C}^{-1}$)

ZAE – Zoneamento agroecológico

Δ – Declividade da curva de pressão de saturação de vapor ($\text{kPa}^\circ\text{C}^{-1}$)

ΔET – Diferença entre a evapotranspiração

RESUMO

SILVA, Maria Helena de Carvalho Rodrigues, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2012. **Bacia hidrográfica do rio Paranaíba: análise da dinâmica populacional, mudanças no uso do solo e impactos na disponibilidade hídrica.** Orientador: Aristides Ribeiro. Coorientadora: Suely de Fátima Ramos Silveira.

A bacia hidrográfica do rio Paranaíba está na rota de expansão da cana-de-açúcar. Possui 222.767 km² e ocupa 2,6% do território nacional; 68,4% da sua área localizam-se na região Centro-Oeste e 31,6% no estado de Minas Gerais. Essa tendência ocorre em função das características da região serem favoráveis à produção da cana-de-açúcar, como o relevo suave que facilita a mecanização da lavoura, além dos fatores climáticos com estações bem definidas e temperaturas elevadas durante todo o ano. Este trabalho teve como objetivo geral analisar a evolução temporal, no espaço geográfico da expansão da lavoura canavieira e quantificar a alteração da vazão e os impactos da substituição da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do rio Paranaíba. O trabalho foi dividido em dois capítulos. No primeiro buscou-se apresentar um cenário dos municípios da bacia ao longo das décadas de 1990 e 2000, observando o comportamento da lavoura da cana-de-açúcar. Para a caracterização socioeconômica da bacia utilizou-se dados secundários do IBGE e IPEADATA composto por população, agricultura, pecuária e PIB para os 197 municípios da bacia. Para análise dos dados utilizou-se a análise fatorial e análise de cluster. Os principais resultados apontaram vocação agrícola com destaque para produção de grãos e expansão da cana-de-açúcar. O objetivo do capítulo 2 foi quantificar a diferença entre a evapotranspiração real da cana-de-açúcar e da pastagem e o impacto da mudança do uso do solo nos recursos hídricos atentando para possível alteração da vazão entre 1990 a 2010. Buscou-se relacionar a evapotranspiração real da cana-de-açúcar e da pastagem com objetivo de analisar a demanda hídrica de cada cultura. Essa análise baseou-se no princípio de conversão de uso da terra. A metodologia consistiu em estimar as perdas de água pela cana e pela pastagem através do balanço hídrico, com simulações para três cenários de safra da cana. A cana-

de-açúcar apresentou maior evapotranspiração em relação a pastagem especialmente no ciclo de inverno.

ABSTRACT

SILVA, Maria Helena de Carvalho Rodrigues, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2012. **The Paranaíba river basin: analysis of the population dynamics, changes in land use and impacts in water availability.** Adviser: Aristides Ribeiro. Co-adviser: Suely de Fátima Ramos Silveira.

The Paranaíba River basin is on the sugar cane expansion route. It has 222,767 km² and occupies 2.6% of the national territory; 68.4% of its area is located in the Brazilian Midwest Region and 31.6% in the state of Minas Gerais. This trend occurs due to the characteristics of the region are favorable for the sugar cane production, for example the mild relief, which facilitates farming mechanization, in addition to the climatic factors, with well-defined seasons and high temperatures throughout the year. This study aimed to analyze the temporal evolution in the geographical space of the expansion of sugarcane production, and quantify the change in flow rate and the impact of the replacement of vegetation cover in the Paranaíba River basin. The work was divided in two chapters. In the first one the goal was to present a scenario of counties in the basin over the decades of 1990 and 2000, observing the behavior of the culture of sugar cane. For the socioeconomic characterization of the basin, secondary data from the IBGE and IPEADATA were used, composed of population, agriculture and the gross national product (GDP) for the 197 municipalities along the basin. For data analysis the factorial and the cluster analysis were used. The main results showed the agricultural vocation with emphasis on grain production and on the cane sugar expansion. In chapter 2 the difference between the actual evapotranspiration of sugar cane and pasture and the impact of land use change on water resources was quantified, paying attention to the possible change in its flow rate between 1990 and 2010. We tried to correlate the real evapotranspiration of sugar cane and pasture in order to analyze the water demand for each crop. This analysis was based on the land use conversion principle. The methodology used in this research consisted in estimating the water losses by the sugar cane and pasture through the water balance, with simulations for three scenarios of sugar cane harvest. It was

verified that sugar cane showed higher relative evaporation than pasture, particularly in the winter cycle.

INTRODUÇÃO GERAL

Atualmente o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar (*Saccharum sp*) do mundo, matéria prima para a produção de açúcar, álcool, rapadura e cachaça. De acordo com a UDOP (União dos Produtores de Bioenergia), o Brasil destinou até o mês de junho de 2011 9.498.860 de hectares ao cultivo da cana e uma produção de 682.273.384 de toneladas. Dessa produção foram originados 27.602.684 m³ de álcool e 38.17.371 toneladas de açúcar.

Segundo Shikida (2011), o Brasil também é o maior exportador sucroalcooleiro do mundo, tendo exportado 28 milhões de toneladas de açúcar em 2010, o que gerou uma receita de aproximadamente 13 bilhões de dólares, e quase 2 bilhões de litros de álcool etílico. Além disso, os veículos flexfuel, que possibilitam tanto o uso de gasolina como de álcool, ou de um mix entre ambos, representam um fator primordial para dinamização da agroindústria alcooleira nacional.

Em 2008, o setor sucroalcooleiro gerou riqueza de US\$ 28,15 bilhões, equivalente a quase 2% do Produto Interno Bruto do Brasil. Quando considerada a soma total das vendas dos diversos elos que compõem o sistema de produção agroindustrial da cana, o valor alcança US\$ 86,8 bilhões. A tendência é que o PIB do setor continue crescendo. Etanol e açúcar ainda representam as receitas mais relevantes, com valores de US\$ 12,5 bilhões e US\$ 9,8 bilhões, respectivamente, mas novos produtos que compõem o faturamento do setor se tornarão mais importantes (NEVES et al., 2010b).

O Zoneamento Agroecológico da cana-de-açúcar apontou que o país dispõe de cerca de 64,8 milhões de hectares de áreas aptas à expansão do cultivo com cana-de-açúcar, desses 37,2 milhões de hectares estão ocupados por pastagens (MANZATTO, 2009).

São Paulo lidera a produção de cana, no entanto, a região Centro-Oeste tem despontado nas últimas safras como nova área de expansão do cultivo, sobretudo, o estado de Goiás. Segundo Lima (2010), o crescimento da produção de cana-de-açúcar é acentuado no Centro-Oeste. A análise realizada para o período de 1990 a 2007 apresenta as maiores taxas de crescimento entre a média inicial e a média final do período. O Estado de Mato Grosso

apresentou um crescimento de 311,92%, Mato Grosso do Sul de 166,88% e Goiás de 232,83%.

As bacias hidrográficas têm sido adotadas como unidade de estudo e planejamento. Isso decorre em função do caráter integrador de suas características sociais e ambientais. Nesse sentido, buscando uma análise socioeconômica e da expansão agrícola no Cerrado brasileiro, a bacia hidrográfica do rio Paranaíba foi adotada para esse estudo.

A importância do rio Paranaíba confere-lhe a necessidade de garantir o uso sustentável de toda a sua bacia hidrográfica. Do ponto de vista hidrológico, por conter zonas de planalto, a região de Cerrado possui diversas nascentes de rios e, conseqüentemente, importantes áreas de recarga hídrica, que contribuem para a formação de grande parte das bacias hidrográficas brasileiras. Isso ressalta a importância do uso racional dos recursos naturais nestas áreas. As águas pluviais captadas nesta região abastecem nascentes que formam rios das bacias do Amazonas, Tocantins, Parnaíba, São Francisco, Paraguai e Paraná.

Considerando como região economia, abrange e está próxima a importantes centros financeiros e industriais do país, entre eles, Brasília, Goiânia, Uberaba, Uberlândia e São Paulo. Constitui um dos maiores polos de crescimento agrícola e industrial da região Centro-Oeste.

As perspectivas na produção da cana-de-açúcar para fins de desenvolvimento do combustível renovável são evidentes uma vez que a crescente instalação de usinas e projetos para novas instalações. O crescimento populacional e expansão da fronteira agrícola na bacia são observados nas revisões de literatura e nos resultados do presente trabalho. O conhecimento do estado atual do uso e ocupação do solo consiste, portanto, de grande importância para subsidiar as ações de planejamento e gerenciamento da área e do uso dos recursos hídricos.

CAPÍTULO 1

CARACTERIZAÇÃO AGRÍCOLA E SOCIOECONÔMICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, especialmente na primeira década dos anos 2000, o Brasil vem se despontando entre as demais economias emergentes do mundo fazendo parte do grupo denominado BRICs (Brasil, Rússia, Índia e China). Vem conquistando espaço no cenário mundial, despertando a atenção dos países desenvolvidos e ganhando a confiança de seus líderes.

O Brasil vem melhorando seus indicadores sociais e econômicos com o aumento da renda da população, avanços na redução da desigualdade e importante ampliação da oferta de crédito.

De acordo com Torres Filho e Puga (2009), o país possui capacidade de liderar o mercado mundial de alimentos e energia. Tem potencial de expandir suas fronteiras agrícolas sem agredir o meio ambiente e excelência em produção de biocombustíveis como o etanol. Possui dimensões continentais, abundância em terras agricultáveis, recursos hídricos e energia solar.

Embora tenham ocorrido avanços, para que o Brasil alcançasse o nível atual de desenvolvimento, as alterações ambientais se intensificaram profundamente devido a forma predatória e irracional com que os recursos naturais foram utilizados para atender as crescentes demandas por alimentos (VIANNA, 2009).

Nas perspectivas do último autor, as questões ambientais serão o grande desafio do século XXI, e o desenvolvimento da economia será reflexo das escolhas dos usos do capital natural, ou seja, velocidade, intensidade e formas de consumo.

Nesse sentido, um estudo com foco ambiental e socioeconômico de uma bacia hidrográfica e da sua população pode trazer importantes informações para pesquisadores, técnicos e para a sociedade em geral.

Na natureza, existe uma relação muito forte entre a floresta, a água e a população que habita o espaço. O entendimento do estágio do desenvolvimento social e econômico da população que vive em uma área de abrangência de uma bacia hidrográfica constitui-se em importante fonte de informação para direcionar as investigações ambientais.

A importância do rio Paranaíba confere à população o dever de garantir o uso sustentável de toda a sua bacia hidrográfica, principalmente por sua posição geográfica estratégica situada em áreas das regiões Centro-Oeste e Sudeste. Essa última considerada a mais desenvolvida do país devido ao grande setor industrial, produção agropecuária, PIB elevado (55,3%) e possuir o maior contingente populacional do país. Já a região Centro-Oeste se configura como o novo polo agropecuário, que apresentou o maior crescimento do PIB desde 2002 com 8,8% para 9,6% em 2009. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), grande parte desse crescimento está ligado à agroindústria. Para tanto, tornam-se imprescindíveis pesquisas que fomentam diagnósticos, análises e avaliações das formas de uso e ocupação do solo na área da bacia, bem como das condições socioeconômicas e ambientais.

1.1. Objetivo

Essa pesquisa tem como objetivos analisar a dinâmica populacional e econômica dos municípios da bacia do rio Paranaíba em face da evolução temporal e espacial da mudança do uso do solo pela expansão da lavoura canavieira.

2. A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Tradicionalmente a cana-de-açúcar é utilizada no mundo todo para a produção de açúcar. Historicamente, as suas taxas de expansão, produção e consumo se comparam à do crescimento da população mundial. O Brasil, desde a década de 1970, está utilizando o etanol da cana-de-açúcar como combustível automotivo. Recentemente, o País voltou a ser um grande consumidor de álcool combustível, devido à adoção da tecnologia flex-fuel nos

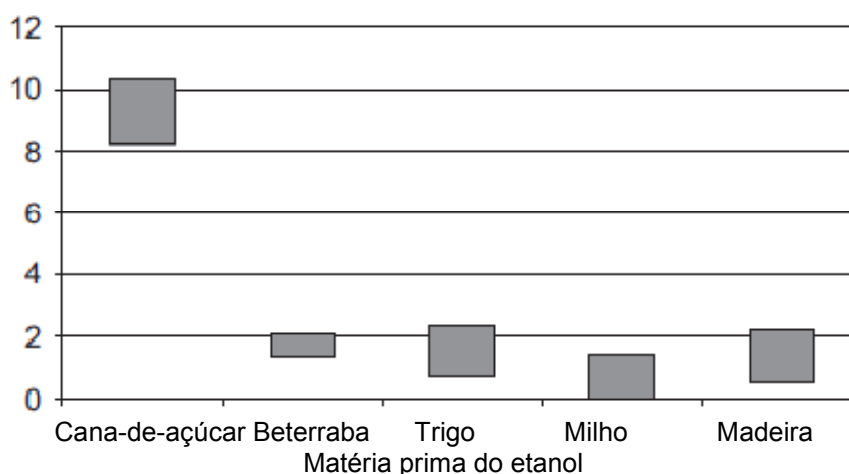
motores dos automóveis, que permite a mistura de gasolina e álcool em qualquer proporção (SCHLESINGER, 2008).

A cana-de-açúcar é uma planta rústica e muito resistente e pode ser produzida em muitos ambientes. O tipo climático favorável para seu desenvolvimento requer uma precipitação entre 1.100 e 1.500 milímetros e amplitude térmica entre 21 e 34°C. Nesse caso, o Brasil apresenta condições favoráveis na maior parte do seu território (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2008). A posição do País no globo terrestre lhe concede uma grande variedade de climas que possibilitam a produção em escala econômica da maior parte de suas lavouras. Esses fatores possibilitam a produção da cana em diversas regiões e em diferentes períodos do ano (CONAB, 2010).

O crescimento da indústria canavieira encontra-se em um patamar sem precedentes na história do Brasil. A força de expansão se encontra ao grande mercado interno representado pelos motores bicompostíveis e pelas forças externas devido ao compromisso em reduzir o CO₂, responsável pelas emissões de gases que alteram o efeito estufa. Esse compromisso foi firmado pelos países desenvolvidos junto ao Protocolo de Quioto. Para atender esse crescimento, a expansão das fronteiras agrícolas em direção a monoculturas e seus impactos sociais e ambientais no território nacional demandam atenção da sociedade civil para serem mitigados (RODRIGUES; ORTIZ, 2006). Segundo a Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS, 2010), o etanol de cana-de-açúcar, produzido nas condições corretas, é um combustível renovável que tem claras vantagens sobre a gasolina no que diz respeito às emissões de gases do efeito estufa. A metodologia do estudo leva em consideração a biodiversidade, solos, recursos hídricos, clima global, segurança alimentar, geração de emprego e condições de trabalho.

Para Goldemberg et al. (2008), o que torna o etanol da cana-de-açúcar um grande atrativo como substituto para a gasolina é que ele é essencialmente um combustível renovável, enquanto a gasolina derivada do petróleo não é. O uso da cana para produção de etanol não resulta em emissão líquida significativa de GEE (principalmente CO₂). A razão para isso é que o CO₂ da queima de etanol e do bagaço em caldeiras é reabsorvido pela fotossíntese durante o crescimento da cana na próxima temporada. Toda a energia

necessária para sua produção (calor e eletricidade) vem a partir da queima do bagaço que é usado para gerar eletricidade. Além disso, quando comparado com a produção de etanol derivado de outras matérias-primas o etanol produto da cana tem balanço muito favorável às reduções das emissões dos GEE, como mostrado na Figura 1.



Fonte: Macedo (2005), Ukdti (2003) e USDA(1995), citados por GOLDEMBERG et al. (2008).

Figura 1 - Relação de saída/entrada de energia. Balanço energético da produção de etanol a partir de diferentes matérias-primas.

Visando melhores oportunidades, os tradicionais produtores nordestinos têm direcionado seus investimentos para o Sudeste e Centro-Oeste, pois, nessas regiões, encontram-se melhores condições ambientais, climáticas e maior variedade e qualidade de material genético para suas lavouras. Atualmente as novas áreas e unidades de produção estão se instalando estados de São Paulo, Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Goiás, sem previsão de que a direção deste movimento se modifique no futuro próximo (RODRIGUES; ORTIZ, 2006).

A previsão do total de cana na safra 2012/2013 é de 602,18 milhões de toneladas, com aumento de 5,4% em relação à safra 2011/2012. São Paulo lidera a produção nacional com 51,66%, contudo a lavoura está em franca expansão nos estados de Minas Gerais com 8,97%, Goiás com 8,54% e Mato Grosso do Sul com 6,31%. Goiás acrescentou 115.792 hectares e Minas

Gerais 106.640 hectares com novas áreas destinadas ao plantio da cana (CONAB, 2012).

O Instituto Euvaldo Lodi (IEL, 2005) divulgou resultados sobre o avanço da lavoura canavieira nas regiões brasileiras. Constatou-se que o Centro-Oeste brasileiro é a região que mais tem crescido nas últimas décadas. Essa região tem sido considerada a nova área da expansão dessa cultura, especialmente o estado de Goiás, onde o aumento foi de 81% da área plantada entre as safras de 1999/2000 e 2003/2004. Nesse período, o estado respondia por 6,6% da produção canavieira no Brasil. Os resultados da referida pesquisa apontam também para as possibilidades da cana manter seu crescimento nas áreas antes destinadas para pastagem e poderá ocupar áreas anteriormente destinadas ao cultivo da soja. Esse quadro é parecido com o que ocorreu em São Paulo na década de 1990 quando áreas ocupadas pelas lavouras de laranja foram substituídas pela canavieira.

As estimativas realizadas até 2020/2021 para o agronegócio no Brasil indicam que a cana-de-açúcar e a soja irão agregar mais de 8 milhões de hectares em 2021, sendo 2,1 milhões para a cana-de-açúcar. A expansão de área de soja e cana-de-açúcar deverá ocorrer pela incorporação de áreas novas e também pela substituição de outras lavouras que deverão ceder área. Essas são as duas culturas que mais competem por área no Brasil. As projeções regionais estão indicando que o maior aumento de produção, 42,1%, e de área, 41,8% da cana de açúcar, deve ocorrer no Estado de Goiás, embora este ainda seja um estado de produção pequena (BRASIL, 2011).

O Zoneamento Agroecológico (ZAE) para o cultivo da cana-de-açúcar segue a estratégia para o cultivo em regime sequeiro para produção de etanol e açúcar com base para o planejamento de uso sustentável das terras. As estimativas são de que o Brasil possuía 64,8 milhões de hectares aptos à expansão do cultivo, sendo que 19,3 milhões são considerados com alto potencial produtivo. As áreas aptas à expansão cultivadas com pastagens, em 2002, representam cerca de 37,2 milhões de hectares (MANZATTO, 2009).

Os resultados do ZAE indicaram que as áreas que compreendem a bacia hidrográfica do rio Paranaíba apresentam alta e média aptidão para o cultivo da cana-de-açúcar, especialmente a região do Triângulo Mineiro, no

estado de Minas Gerais. Entretanto todas as áreas aptas ainda estão ocupadas com pastagem.

Segundo Macedo (2005), a ocupação agrícola do Cerrado é muito recente, incluindo áreas ocupadas por pecuária, exploração de lenha e carvão. Seu crescimento deve ser planejado considerando a conservação da biodiversidade e dos recursos hídricos, principalmente em áreas sensíveis (nascentes dos rios que vertem para o Pantanal e as regiões de recarga do Aquífero Guarani). O referido autor salienta que a cultura da cana-de-açúcar tem se expandido em áreas mais pobres (principalmente “cerrados fortemente antropizados”, na sua maioria pastagens extensivas).

Apesar do curto período de ocupação e expansão da agricultura nos Cerrados, Machado (2004) apresenta um estudo realizado em 2002, que utilizou imagens do satélite MODIS conclui que 55% da vegetação nativa já haviam sido desmatados e transformados pela ação humana. A conclusão é de que se o atual modelo de ocupação continuar o Cerrado brasileiro deverá desaparecer até 2030, restando apenas unidades de conservação e terras indígenas.

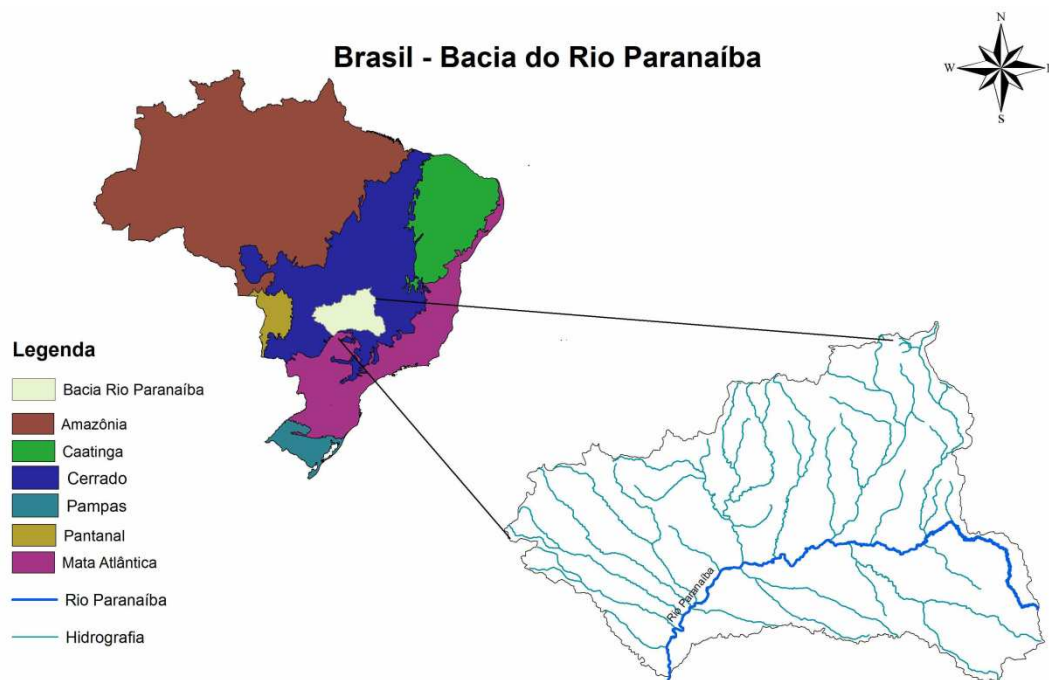
A extensa transformação antrópica do Cerrado tem o potencial de produzir grandes perdas de biodiversidade, especialmente em vista das limitações das áreas protegidas, pequenas em número e concentradas em poucas regiões. O grau de endemismo da biota dessa vegetação é significativo e pouco se conhece sobre a distribuição das espécies dentro do bioma, embora esforços importantes de pesquisa tenham sido iniciados na década de 1980 (BRASIL, 2007).

Embasado no exposto, a promissora expansão da lavoura canavieira no Bioma Cerrado, especialmente na área que compreende a bacia hidrográfica do rio Paranaíba deverá ser conciliada ao desenvolvimento socioeconômico dos municípios inseridos na bacia, a preservação e valorização dos seus recursos naturais. Essa conciliação exige informação atualizada e ferramentas adequadas de análise desse contexto. Em uma visão de futuro observando as tendências da agroindústria na região Centro-Oeste, é seguro afirmar que o Cerrado continuará atraindo elevados investimentos tanto para produção de grãos quanto para biocombustíveis.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Biomas

O Brasil é um país com dimensões continentais, ocupando quase a metade do continente sul-americano. Possui vários tipos climáticos o que favorece a maior diversidade de formações vegetais. A Figura 2 apresenta a distribuição dos biomas no território brasileiro e a localização da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2007).

Figura 2 - Biomas do Brasil: localização geográfica da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

A bacia do rio Paranaíba encontra-se na abrangência de dois biomas. Encontram-se 91% no Cerrado e 9% na Mata Atlântica (Figura 3 Apêndice). Mata Atlântica e Cerrado são considerados significativos em termos de importância mundial e os biomas mais ameaçados do mundo.

O bioma Mata Atlântica ocupa toda a faixa litorânea do país e além dos Estados litorâneos, passa também pelos territórios dos Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais, abrangendo total ou parcialmente 17 estados brasileiros.

O bioma Cerrado apresenta vegetação cujas fisionomias englobam formações florestais, savânicas e campestres. Em sentido fisionômico, floresta é a área com predominância de espécies arbóreas, onde há formação de dossel, contínuo ou descontínuo. As formações florestais são representadas por Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão (AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA, 2010).

Originalmente, o Cerrado ocupava uma área de 2 milhões de km². É o segundo bioma do Brasil e abrange 12 estados brasileiros (Pará, Maranhão, Piauí, Bahia, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Rondônia e Tocantins). Sua vegetação é composta de dois estratos, um inferior composto de gramíneas e um superior, formado por arbustos e árvores retorcidas. Essa vegetação é bem adaptada a acidez natural dos solos. O Cerrado é considerado como a savana tropical.

Entre 1990 e 2005, o Cerrado perdeu áreas extensas (20% da área original) em função da expansão do cultivo de grãos e da pecuária (BRASIL, 2008a). Machado (2004) verificou, por meio de imagens de satélite, que aproximadamente 55% dos cerrados já tenham sido convertidos em áreas agrícolas e pecuária. Sano (2007) observou, pelo mesmo método, valores de desmatamento na ordem de aproximadamente 39%.

Este bioma foi explorado durante muito tempo pela pecuária. Atualmente, as tecnologias modernas para correção dos solos ácidos possibilitaram a intensificação da produção agrícola.

3.2. Desenvolvimento sustentável

A necessidade de produção e comercialização de grandes volumes de alimentos se deve ao processo crescente da população mundial. A busca para atender as maiores demandas de alimento, vestuário, abrigo e biocombustíveis tem levado o homem a aprofundar cada vez mais sua interferência nos recursos naturais com bases insustentáveis. As consequências do atual e agressivo modelo de exploração ambiental são visíveis em áreas degradadas e abandonadas no campo, cursos d'água poluídos e com baixa disponibilidade em seus reservatórios, lixo e poluição das áreas urbanas.

As dependências entre o desenvolvimento e o meio ambiente foram discutidas em um encontro preparatório para a Conferência de Estocolmo em 1972. O Encontro de Founex ocorreu na Suíça em 1971 projetada para explorar a relação entre meio ambiente e desenvolvimento (SACHS, 2008). A Conferência de Estocolmo foi o primeiro encontro mundial a reunir representantes dos países desenvolvidos e em desenvolvimento para discutir as questões relacionadas ao meio ambiente e ao desenvolvimento do planeta. Os resultados foram a criação da PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) e posteriores discussões acerca dos temas sobre moradia, população, direitos humanos e meio ambiente. No México, em 1974, aconteceu a Conferência das Nações Unidas sobre o Comércio e Desenvolvimento, onde foi elaborada a declaração de Cocoyoc, que é considerada por muitos como fundamental na discussão e percepção entre sociedade e natureza (MELLO et al., 2004).

Após diversos encontros e debates, surgiu o termo GRO BRUNDTLAND produziu o relatório Nosso Futuro Comum (1987) e criou a expressão “desenvolvimento sustentável”. As crescentes dúvidas sobre o futuro do planeta surgiram frente a fortes desastres ambientais ocorridos entre os anos 1960 e 1980. Entre eles se destacam o acidente nuclear de Chernobyl, na extinta União Soviética, o vazamento de petróleo do Exxon Valdez na América do Norte, acidente com gases letais de Bopal, na Índia e o na baía de Minamata, no Japão. Esses acontecimentos repercutiram na Europa e fizeram crescer um forte movimento e conscientização dos problemas ambientais (BELLEN, 2006). Além dos acontecimentos citados, Modak (1999) recorda que o livro Primavera Silenciosa, escrito na década de 1960, sobre o uso dos pesticidas tenha sido um marco sobre os problemas ambientais no mundo. Foi também nesse período que alguns cientistas norte-americanos começaram a divulgar alertas sobre a possibilidade de aquecimento global devido o uso excessivo de combustíveis fósseis.

As preocupações com a poluição atmosférica foi associada a crise do petróleo em 1973. Até esse momento, o preço do barril de petróleo custava em torno de 2 dólares, sendo fator importante para o aumento da frota de veículos. Após o choque do petróleo os ecologistas perceberam as consequências do intenso tráfego de veículos movidos com petróleo, que escurecia os céus do

mundo desenvolvido. A poluição e o possível esgotamento desse recurso repercutiram em pesquisas sobre fontes de energia alternativas. Foi nesse período que a defesa do meio ambiente tanto no oriente quanto no ocidente passou a fazer parte de campanhas ambientalistas (HOBSBAWM, 1995).

A sequência de relatórios, reuniões, conferências mundiais a partir desse período colocou para a sociedade a necessidade de repensar, agir e formular estratégias frente à urgência dos problemas ambientais. A partir de então o conceito de desenvolvimento sustentável tem sido empregado, analisado, reformulado e repensado não somente em consideração às questões econômicas e ambientais, mas sociais, já que o ser humano é parte integrante da natureza e sua sobrevivência corre risco de se extinguir. De acordo com Veiga (2010), a capacidade do ser antrópico é tão grande que o próprio homem ameaça seus alicerces vitais, como um parasita arrisca a sobrevivência do seu hospedeiro.

A partir do surgimento do termo desenvolvimento sustentável foi elaborado o conceito mais disseminado pela sociedade desde então "*O desenvolvimento sustentável é aquele que satisfaz as necessidades da geração presente sem comprometer as possibilidades das gerações futuras em satisfazer as suas necessidades*". Os discursos sobre sustentabilidade surgem num período de forte crescimento econômico na década de 1970 e de grande movimento dos grupos ambientalistas (SILVA, 2005).

Veiga (2010) se posiciona e discute a questão do PIB em considerar como indicador de desenvolvimento enquanto a sustentabilidade é deixada e desconsidera-se a qualidade de vida da população. As mazelas do PIB têm sido severamente criticadas principalmente por abranger somente questões mercantis e desconsiderar o uso e degradação dos recursos naturais e humanos. Silva (2004, p. 27 *apud* SILVA, 2005) argumenta que o desenvolvimento deve proporcionar qualidade de vida para a população e satisfazer suas necessidades essenciais para ser considerado como sustentável. No caso de não eliminar as disparidades econômicas não poderá ser qualificado como sustentável.

Nas considerações de Merico (1996), o aumento nos indicadores como PIB e PNB pode mascarar a degradação ambiental que muitas vezes ocorre para promover o crescimento de um país, pois os problemas ambientais não

são contabilizados nas contas nacionais. Portanto, o PIB e PNB perdem sua validade para medir qualidade de vida, bem estar e progresso.

Para Sachs (2007), já não se pode mais pensar em desenvolvimento econômico que apenas externaliza os custos sociais e os problemas ambientais e que faz aumentar a desigualdade entre social e econômico. O referido autor aponta a necessidade de disponibilizar para os pequenos produtores tecnologias para capacitá-los a participarem da segunda revolução verde auxiliados por políticas complementares e também da química verde como complementar ou, até mesmo substituir a petroquímica por biocombustíveis. Neste caso, os países tropicais estão em vantagem, pois permitem maiores produtividades que os temperados. Ele ainda ressalta que uma combinação de recursos naturais, força de trabalho qualificada e conhecimento moderno resultam em uma vantagem comparativamente inigualável.

O desenvolvimento sustentável é uma etapa do desenvolvimento social. Silva e Lima (2010) entendem o desenvolvimento sustentável como um conjunto de interações, comportamentos e o cumprimento de etapas para alcançar a sustentabilidade como condições sustentáveis de ensino e renda, atividade econômica, cultura, espacialidade, política, entre outras. Podendo verificar a condição de desenvolvimento sustentável através das atividades econômicas, culturais, sociais, preocupação ambiental, ou seja, observação do espaço estudado como um todo.

Nesse caso, a conservação ambiental, crescimento econômico e equidade social, necessitam da interferência do Estado como agente regulador, assegurando que a dinâmica econômica não comprometa a sustentabilidade em longo prazo, pois costuma comprometer os recursos naturais, concentrar os benefícios sociais e a riqueza espacial. O mercado tem competência somente para assegurar a viabilidade econômica, no entanto, se mostra incapaz de lidar com o novo paradigma do desenvolvimento: conservação ambiental, equidade social e equilíbrio espacial (BUARQUE, 2004).

O Cerrado vem sendo ocupado e explorado de forma rápida e intensiva, principalmente para o desenvolvimento do setor agrícola. Devido às aptidões naturais e às tecnologias desenvolvidas e amplamente difundidas

para o aproveitamento agropecuário da região. Em pouco tempo de exploração, o Cerrado já ocupa posição de destaque no cenário agrícola brasileiro, sendo responsável por aproximadamente 25% da produção de grãos e 40% do rebanho nacional (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, 2002).

O crescimento econômico e populacional no domínio do Cerrado requer um repensar em termos de sustentabilidade de forma que os abundantes recursos existentes não sejam ameaçados. O potencial agrícola da região e a tecnologia incorporada fazem do Cerrado um cenário susceptível a fortes transformações e exerce forte atração entre os empresários agrícolas. Como bom e claro exemplo que temos ao que ocorreu com a Mata Atlântica, enquanto maior o crescimento na região maior será a degradação. Ainda deve-se levar em consideração a fragilidade do Cerrado em relação à Mata Atlântica.

Sachs (2007) enfatiza que qualquer planejamento deve-se considerar as seguintes dimensões de sustentabilidade: sustentabilidade social, com o objetivo de diminuir as dimensões entre ricos e pobres; sustentabilidade econômica, que visa o melhor planejamento e gerenciamento dos recursos econômicos; sustentabilidade ecológica, potencializar o uso dos recursos, limitar o uso dos combustíveis fósseis, desenvolver pesquisa para obtenção de tecnologias de baixo custo, diminuir resíduos e poluição, definir normas para proteção ambiental; e sustentabilidade espacial, que deve promover o equilíbrio entre urbano-rural reduzindo a concentração urbana, promoção de práticas modernas, regenerativas e eficientes na agricultura, melhorar a distribuição territorial e dar ênfase às indústrias da biomassa.

As considerações feitas por Sachs (2007) podem ser relacionadas com as metas que a Política Nacional sobre Mudanças Climáticas (PNMC) elaborou para equilibrar economia e sustentabilidade. A fim de atender os objetivos da PNMC, o país adotará, como compromisso nacional voluntário, ações de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, com vistas a reduzir entre 36,1% e 38,9% suas emissões projetadas até 2020.

A maioria das decisões de políticas públicas é baseada em considerações econômicas. O conhecimento das potencialidades dos recursos naturais é uma forma contemporânea de promover o desenvolvimento

sustentável e garantir que a variável ambiental tenha peso nos planejamentos e execuções de políticas públicas (ALMEIDA et al., 2004).

Conforme Almeida et al. (2004), um dos maiores problemas ambientais a serem enfrentados são os padrões de consumo e produções insustentáveis, que acabam resultando em degradação ambiental, problemas sociais relacionados à pobreza e desigualdade entre as nações. As metas para alcançar o desenvolvimento sustentável deverá ser baseada em mudanças nos padrões de consumo, eficiência e otimização no uso dos recursos naturais e promover políticas públicas que visam o estímulo e transição da sociedade para o padrão de consumo e práticas sustentáveis.

Para melhorar o padrão de vida e o bem estar social de uma população seria quase inevitável aumentar os GEE. É nessa perspectiva que práticas sustentáveis deverão ser difundidas, especialmente aos pequenos agricultores. Estes deveriam ser encorajados e orientados a valorizar o potencial natural existente em sua propriedade. O grau de desconhecimento sobre as consequências negativas do uso insustentável de suas terras levará a exaustão dessas rapidamente. A compensação por proteger as nascentes, matas nativas, recuperação de pastagens e áreas degradadas e reflorestamento deverá ser proporcional ao ganho que o proprietário teria ao explorar tais recursos.

E a sustentabilidade cultural, na qual se consideram que qualquer plano, programa ou projeto deva ser concebido sob a perspectiva de uma continuidade cultural, com apoio e participação da sociedade, respeitados seus costumes e valores.

É sob a perspectiva do desenvolvimento, considerando as dimensões da sustentabilidade, que se propõe uma análise das características socioeconômicas dos municípios da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

4. METODOLOGIA

Esta seção apresenta informações sobre a área da bacia estudada, assim como a fonte de dados e a abordagem multivariada utilizada na pesquisa.

4.1. Bacia hidrográfica do rio Paranaíba

Este estudo foi realizado na bacia hidrográfica do rio Paranaíba, situada entre os paralelos 15° e 20° de latitude sul e entre os meridianos 45° e 53° de longitude oeste. O rio Paranaíba nasce na serra da Mata da Corda a uma altitude de 1.100 m aos arredores do município de Rio Paranaíba e da cabeceira do rio Abaeté, tributário do rio São Francisco. A bacia do Paranaíba é a segunda maior da região hidrográfica da bacia do rio Paraná (25,4% de sua área), sendo essa a terceira maior bacia hidrográfica do país. A bacia do Paranaíba drena uma área de 222.767 km² e ocupa 2,6% do território nacional.

Abrange parte dos estados de Goiás (63,27%), Minas Gerais (31,67%), Distrito Federal (1,65%) e do Mato Grosso do Sul (3,41%), envolvendo no total, 198 municípios sendo, 137 em Goiás e Brasília, no Distrito Federal, 56 em Minas Gerais e 4 em Mato Grosso do Sul. O rio Paranaíba é o divisor natural dos estados de Minas Gerais e Goiás e, na sua foz, divide Minas Gerais com Mato Grosso do Sul (Figura 1 do Apêndice).

Está localizada na região geoeconômica Centro-Sul do Brasil, de maior dinamismo econômico, industrial e agroindustrial. Possui centros com elevada taxa de urbanização e nível industrial importante e que polarizam os demais municípios de menor influência na região. Dentre os mais importantes, pode-se destacar Brasília, Goiânia, Uberlândia e Uberaba. Dos 198 municípios 30 não possuem sua sede dentro dos limites da bacia. Apesar disso, todas as informações foram pesquisadas e analisadas integralmente (Tabela 1 do Apêndice).

Brasília foi excluída da análise por ser considerado um *outlier*. Posto isso, a análise contemplará 197 municípios.

4.1.1. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento

Uma bacia hidrográfica consiste em um conjunto de terras com altitudes elevadas em seu entorno e que recebe a água escoada das chuvas em forma de funil. Durante esse percurso, parte da água se infiltra alimentando o lençol freático e a outra parte segue pela superfície do relevo em direção a parte mais baixa do relevo formando um curso de água principal que drena o

maior volume desta água. Toda essa água interage diretamente com os demais componentes do local, como vegetação, solo e relevo.

Segundo Coelho et al. (2004), a economia de uma região depende, dentre outros fatores, dos recursos hídricos disponíveis como insumo para o atendimento da produção rural e industrial, do abastecimento dos centros urbanos, da produção de energia e outros usos. Os eixos de desenvolvimento econômico e as demandas sociais influem sobremaneira nos usos das águas em uma bacia. Portanto, os fatores socioeconômicos devem ser considerados na definição dos limites para o planejamento e gestão das bacias hidrográficas.

A gestão de recursos hídricos baseada no recorte territorial das bacias hidrográficas ganhou força no início dos anos 1990 quando os Princípios de Dublin foram acordados na reunião preparatória à Rio-92. Diz o Princípio n.º1 que a “gestão dos recursos hídricos, para ser efetiva, deve ser integrada e considerar todos os aspectos, físicos, sociais e econômicos” (PORTO, 2008).

Neste contexto, é fundamental o conhecimento em conjunto da dinâmica social e ambiental em uma bacia hidrográfica. A população local é ao mesmo tempo causadora e vítimas dos problemas ambientais. Por isso as bacias hidrográficas têm sido adotadas como unidades físicas de reconhecimento, caracterização e avaliação, a fim de facilitar a abordagem sobre os recursos hídricos. Pode-se considerar que em uma bacia hidrográfica ocorrem ao longo do tempo fatores de origem natural e de origem antrópica. As atividades exercidas pelos seres humanos interferem na dinâmica natural do ecossistema, comprometendo especialmente os recursos hídricos. Isso ocorre devido à relação direta e dependente de todas as atividades necessitarem de água para sua realização.

A partir dos resultados apresentados será possível observar o grau homogeneidade e a partir da análise integrada de indicadores representando características socioeconômicas e, posteriormente, relacioná-las aos recursos hídricos.

4.2. Fonte e coleta de dados

Para a caracterização socioeconômica da bacia do rio Paranaíba, utilizou-se os dados do PIB agropecuário, industrial e serviços, população

urbana e rural, lavouras de cana-de-açúcar, milho, soja, café e laranja, e da pecuária. Utilizou-se uma série histórica de 20 anos, compreendendo o período de 1990 até 2009. Os dados são provenientes de informações secundárias disponibilizadas nos sites do IBGE (Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios e Censos Demográficos), IFDM (Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal), ANA (Agência Nacional das Águas) e do IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada), no site IPEADATA.

O Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (IFDM) referente ao consolidado de Emprego e Renda, Saúde e Educação foi utilizado nas discussões da segunda década. O Índice IFDM acompanha o desenvolvimento socioeconômico dos municípios do Brasil.

Segundo o Índice, mais de 90% dos municípios do país apresentaram crescimento nessa década. O Centro-Oeste se destacou ao aumentar sua participação entre os municípios com índice de desenvolvimento moderado (entre 0,6 e 0,8) e alto (acima de 0,8): de 50% em 2006 para 83,4% em 2009.

O índice varia de 0 a 1. Quanto mais próximo de 1 mais desenvolvido é o município. Desenvolvimento moderado entre 0,6 a 0,8, desenvolvimento regular 0,4 a 0,6 e baixo desenvolvimento são os valores abaixo de 0,4.

4.2.1. Variáveis selecionadas

Os objetos do estudo são os municípios e as variáveis são apresentadas na Tabela 1. Elas somam um total de 23 variáveis disponíveis para todos os 197 municípios da bacia no período de 1990 a 2009.

Durante a pesquisa foram observadas na base de dados do IBGE as culturas praticadas nos municípios e feita a opção pelas mais representativas na bacia.

Tabela 1 - Variáveis selecionadas

Variável	Categoria
População urbana (hab) População rural (hab)	População
PIB municipal de agropecuária (R\$) PIB municipal indústria (R\$) PIB municipal setor serviços (R\$)	Produto
Lavoura de cana-de-açúcar (ha) Lavoura de cana de açúcar (t) Lavoura de cana-de-açúcar (R\$)	Setor sucroalcooleiro
Lavoura de café (ha) Lavoura de café (t) Lavoura de café (R\$)	Café
Lavoura citrus laranja (ha) Lavoura citrus laranja (t) Lavoura citrus laranja (R\$)	Citrus
Lavoura de milho (ha) Lavoura de milho (t) Lavoura de milho (R\$) Lavoura de soja (ha) Lavoura de soja (t) Lavoura de soja (R\$)	Grãos
Pecuária bovina (cabeças) Pecuária suína (cabeças) Aves (cabeças)	Pecuária

4.3. Tratamento de dados

Optou-se por dividir a série em duas e fazer uma média de 10 anos, resultando em duas análises. Foram utilizados os censos populacional 1991e 1996 para a primeira década e os de 2000 e 2007 para a segunda década.

Para as análises estatísticas foi utilizado o programa SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*).

Devido à disponibilidade das variáveis PIB municipal agropecuário, indústria e serviços somente a partir do ano de 1999, foi necessário calcular um índice municipal para estimar o PIB dessas variáveis para o período de 1990 a

1998. O cálculo desse índice foi feito a partir do primeiro ano disponível no site (ano 1999).

4.4. Modelo analítico

4.4.1. Análise fatorial (AF)

A Análise Fatorial (AF) consiste em uma técnica multivariada que busca determinar um número relativamente pequeno de fatores comuns que podem representar relações entre um grande número de dados, ou seja, tornar os dados mais facilmente observáveis (FÁVERO et al., 2009). Na visão de Pestana e Gageiro (2008), a finalidade da Análise Fatorial é explicar as variáveis próximas entre as observáveis, resultando em dados mais simples de forma a explicar a maior quantidade de variância com o menor número de fator.

Na análise fatorial, os fatores são estimados como combinações lineares das variáveis observáveis. A expressão geral para o j -ésimo fator (F_j) é:

$$F_j = \sum_{i=1}^p w_{ij} x_i = w_{1j} x_1 + w_{2j} x_2 + \dots + w_{pj} x_p$$

em que w_{ij} são os coeficientes fatoriais; x_i , as variáveis observáveis; e p , o número de variáveis.

Para que as variáveis sejam consideradas multivariadas, elas devem ser aleatórias e inter-relacionadas, de forma que seus dados não possam ser interpretados separadamente (HAIR, 2009). Ela compreende em identificar a estrutura inerente de um conjunto de variáveis com capacidade de medir, explicar e prever o grau de relação existente entre as variáveis na busca de um fator comum.

O grande número de variáveis dificulta a análise e interpretação dos dados. Respeitando então o princípio da parcimônia, o uso da AF na matriz de dados deste trabalho se justifica pela necessidade de diminuir o seu número de forma que sua seleção contemple tanto a sua relevância como seu poder de discriminação face aos objetos estudados.

Fávero et al. (2009) exemplificam os dois tipos de AF: exploratória e confirmatória. Nessa última é necessário que o pesquisador tenha um conhecimento prévio da realidade. No presente estudo utilizou-se a análise fatorial exploratória devido ao conhecimento insuficiente dos dados.

Para garantir que a matriz de dados tenha correlações suficientes para justificar a utilização da AF, é necessária a aplicação dos testes de KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) e de Bartlett. Ambos indicam a adequação dos dados para a continuação da análise fatorial e qual é o nível de confiança e correlação que se pode esperar dos dados tratados durante a análise multivariada.

O teste KMO consiste em realizar um ajuste nos dados obedecendo a uma escala que varia de zero a um. Os valores mais próximos de 1 indicam que a amostra é mais adequada à aplicação da análise fatorial. Já valores próximos de zero indicam uma correlação ineficiente entre as variáveis (FÁVERO et al., 2009).

O resultado dessa estatística deve ser interpretado de acordo com a escala de variação apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Qualidade da análise fatorial em relação ao KMO

KMO	Grau de ajuste a análise fatorial
1 - 0,9	Muito boa
0,8 - 0,9	Boa
0,7 - 0,8	Média
0,6 - 0,7	Razoável
0,5 - 0,6	Má
<0,5	Inaceitável

Fonte: Pestana e Gageiro (2005).

O segundo teste, o de Esfericidade de Bartlett testa a hipótese da matriz de correlação ser igual a uma matriz de identidade, isso significa que as inter-relações entre as variáveis são iguais a 0 (PESTANA; GAGEIRO, 2005). O resultado desse teste confirmou a continuação da AF nas duas décadas estudadas.

A análise fatorial inclui o método da análise dos componentes principais (ACP) que foi utilizada com esses dados como uma forma de analisar as inter-relações entre o grande número de informações contidas na tabela primária e explicar essas variáveis através de um conjunto menor resultando em grupo de fatores em que as informações estarão condensadas. De acordo com Maroco (2007), a Análise de Componentes Principais (ACP) é uma técnica de análise exploratória multivariada em que as correlações existentes entre esses dados produzirão um novo conjunto de fatores.

As componentes principais são calculadas por ordem decrescente de importância, isto é, a primeira explica a máxima variância dos dados. A segunda a máxima ainda não explicada pela primeira e assim sucessivamente. A última componente será a que menos contribui para a explicação da variância total dos dados (PESTANA et al., 2005).

A análise fatorial exploratória foi feita pelo método das componentes principais com utilização do método Varimax ortogonal (produzir fatores com dados correlacionados), com objetivo de maximizar as informações mais relevantes do conjunto de dados, auxiliando na melhor visualização da interpretação dos dois primeiros fatores.

Finalmente a decisão sobre o número de componentes é crucial na ACP. Essa análise é realizada pelo método *ScreePlot*, que consiste na retenção de fatores. A seleção dependerá da quantidade de informação é possível desprezar durante a rotação. Esse processo ocorre em função da necessidade de reduzir os dados originais em fatores (MAROCO, 2007). Foram retidos seis fatores tanto na primeira década quanto na segunda.

4.3.2 Análise de Cluster (AC)

A análise de clusters é uma técnica de análise multivariada para a definição dos agrupamentos de maior similaridade. Segundo Hair (2009), essa técnica desenvolve subgrupos, baseando-se nas suas similaridades, sendo o objetivo classificar uma amostra de entidades (indivíduos ou objetos) em um número menor de grupos mutuamente excludentes e explorar as similaridades entre esses indivíduos ou casos entre variáveis.

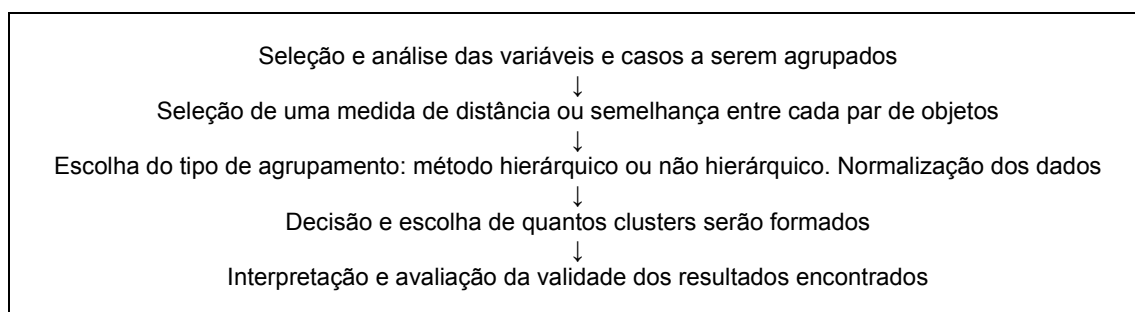
Conforme Mingote (2007), a análise de cluster tem a função de dividir os elementos dos dados originais em grupos de amostra, que conterão variáveis similares entre si, respeitando suas características, e muito distantes dos outros grupos que serão formados com as demais variáveis. Consiste em um procedimento que engloba uma variedade de uso em diversas áreas da ciência. Essa técnica se faz presente na Geografia, por exemplo, para a classificação de cidades, em questões demográficas, econômicas, sociais, físicas e ambientais; Psicologia, para classificação de pessoas de acordo com suas personalidades; em pesquisas de mercado para observação do perfil dos consumidores e da concorrência; em Ecologia, para a segmentação de espécies; em Geoquímica, para classificação de minerais.

Maroco (2007) recorda que a análise de cluster é muito parecida com a análise fatorial, pois ambas buscam identificar grupos de variáveis relacionadas. Entretanto essa última assume que as relações estruturais entre as variáveis são devidas à existência de fatores comuns latentes. Já a análise de cluster agrupa os sujeitos semelhantes, que no caso deste trabalho são os municípios com variáveis semelhantes. Na AF, ocorre uma transformação das variáveis dando origem a fatores.

Na técnica de cluster, as variáveis são mantidas e agrupadas de acordo com sua semelhança ou dissemelhança, originando clusters que contém variáveis homogêneas, contudo, o cluster seguinte apresentará informações sobre as mesmas variáveis, no entanto com características diferentes/distantes das contidas no primeiro cluster e assim sucessivamente. Clusters são heterogêneos externamente, contudo contendo internamente as mesmas variáveis. Dessa forma, os municípios no interior de uma bacia hidrográfica, como neste trabalho, poderão ser analisados na forma de grupos, permitindo uma melhor visualização do seu universo socioeconômico dos municípios inseridos na bacia.

A análise de cluster compreende etapas a serem selecionadas pelo pesquisador a fim de obter resultados confiáveis e validados, pois os clusters formados refletirão as características mais importantes dos objetos estudados. Os seguintes procedimentos devem ser realizados cuidadosamente (Quadro 1).

Quadro 1 - Etapas para realizar a análise de cluster



Fonte: Adaptado de Fávero (2009).

Para a obtenção dos clusters, dois métodos de classificação se aplicam. O método hierárquico, no qual os objetos são classificados em grupos em diferentes etapas, de modo hierárquico, produzindo uma árvore de classificação e o método não-hierárquico, no qual o critério mais utilizado é o K-means, que permite que se faça a escolha prévia do número de clusters a serem formados. Neste trabalho, utilizou-se o método hierárquico aglomerativo de Ward, que consiste em minimizar as diferenças internas de grupos.

Os procedimentos hierárquicos resultam de uma série de decisões a serem tomadas pelo pesquisador a fim de obter uma estrutura na forma de hierarquia ou árvore. Esses procedimentos são utilizados quando não se sabe a priori quantos clusters serão formados. Portanto, consiste em um procedimento exploratório já que as medidas de similaridades e de agrupamentos são selecionadas pelo pesquisador (FÁVERO, 2009).

A opção pelo método hierárquico se deve em função de atingir um agrupamento de acordo com as similaridades entre os municípios. Cada passo desse processo diminui uma dimensão da matriz de semelhança pela reunião de pares semelhantes até reunir todos os pontos em um único grupo. O método hierárquico fornece medidas de semelhança e dissemelhança e vários caminhos de transformação dos dados, evitando problemas causados por escalas diferentes de forma que cada grupo de variáveis mais semelhantes formarão seu próprio cluster.

O próximo passo para o agrupamento é a seleção de uma medida de semelhança e dissemelhança. As mais usadas em clusters são a Distância Euclidiana, a Distância Minkowski, a Distância de Mahalanobis, Medida de

Semelhança do Coseno e Jaccard e Russel e Rao (MAROCO, 2007). Para esse trabalho adotou-se a Distância Euclidiana.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para uma análise mais acurada dos municípios da bacia do rio Paranaíba, optou-se pelo uso de técnicas de agrupamento a partir de semelhanças e dissemelhanças entre os indivíduos. Ao identificar grupos semelhantes em um espaço o potencial de planejamento aumenta, pois os casos podem ser estudados separadamente segundo uma proposta de intervenções de políticas que vise melhor qualidade de vida para a população local.

Esta seção traz uma discussão sobre os procedimentos estatísticos adotados na análise multivariada, destacando o processo de redução dos dados e os agrupamentos dos municípios. Em seguida, a caracterização socioeconômica da bacia será discutida baseando-se nos 5 clusters gerados para cada década, totalizando 10 clusters. Os resultados serão discutidos em duas seções contemplando os resultados para os períodos 1990-1999 e 2000-2009.

5.1. Análises estatísticas multivariadas (1990-1999)

Inicialmente, para conhecer as características do conjunto de dados analisados e verificar se as variáveis selecionadas são adequadas ao estudo proposto procedeu-se a análise descritiva das variáveis selecionadas. Na Tabela 3 são apresentadas as estatísticas descritivas das variáveis utilizadas na AF.

Tabela 3 - Estatística descritiva das variáveis selecionadas (1990 a 1999)

Variáveis	Média	Desvio Padrão	Assimetria	Curtose
População urbana (hab)	22.387	79.876	9	98
População rural (hab)	3.407	3.580	2	7
PIB agropecuário (R\$)	25.621	34.908	2	6
PIB indústria (R\$)	34.776	110.218	6	46
PIB serviços (R\$)	112.985	460.174	9	97
Laranja - área plantada (ha)	84	310	6	40
Laranja - quantidade produzida (t)	4.891.807	17.362.164	7	49
Laranja - valor da produção (R\$)	142.391	512.967	6	46
Cana-de-açúcar - área plantada (ha)	773	2.276	4	18
Cana-de-açúcar - quantidade produzida (t)	54.101.412	168.653.250	4	19
Cana-de-açúcar - valor da produção (R\$)	453.826	1.434.858	5	23
Milho - área plantada (ha)	5.593	8.489	4	18
Milho - quantidade produzida (t)	20.642.511	35.617.761	4	19
Milho - valor da produção (R\$)	1.279.396	2.297.576	4	15
Soja - área plantada (ha)	7.449	16.433	4	21
Soja - quantidade produzida (t)	16.083.217	36.662.485	4	21
Soja - valor da produção (R\$)	156.990.681	373.364.116	4	19
Café - área plantada (ha)	706	2.582	6	37
Café - quantidade produzida (t)	1.226.947	4.646.109	5	29
Café - valor da produção (R\$)	1.060.816	4.183.689	5	33
Bovino (cabeças)	84.267	89.982	2	5
Suíno (cabeças)	6.934	7.235	3	13
Aves (cabeças)	113.290	301.787	7	58

Na análise do desvio padrão, observa-se que algumas variáveis possuem desvios padrões elevados, ou seja, os valores da distribuição não estão próximos da média. Este fato indica a alta heterogeneidade dos municípios estudados.

As variáveis utilizadas não apresentam distribuição normal para o conjunto de municípios pesquisados. Observa-se que os dados apresentam assimetria acentuada a direita, isto significa que a grande maioria dos municípios que compõem a bacia do rio Paranaíba é de pequeno porte, com baixo produto interno bruto e valores pouco expressivos para as atividades agropecuárias. Com relação aos valores apresentados pelo coeficiente de curtose percebe-se a existência de municípios com valores muito elevados para todas as variáveis analisadas, o que faz com que a distribuição dos dados apresente uma forma leptocúrtica, isto é, em cume.

Após a análise exploratória dos dados, efetuou-se a análise fatorial (AF) visando potencializar a interpretação das 23 variáveis selecionadas. Para

a seleção de quantos fatores gerar torna-se necessário identificar os valores da raiz característica (*eigenvalue*). Considerando-se apenas as raízes características superiores a um identificou-se a presença de seis fatores que explicam 90,91% da variância total das 23 variáveis originais, conforme apresentado na Tabela 4. Com este resultado, simplifica-se em estudar seis fatores ao invés de 23 variáveis.

Tabela 4 - Características dos fatores extraídos pelo método dos componentes principais (1990 a 1999)

Fator	Raiz característica	% da variância explicada pelo fator	Variância acumulada (%)
1	8,15	35,44	35,44
2	3,75	16,28	51,72
3	3,27	14,21	65,93
4	2,72	11,82	77,75
5	1,85	8,03	85,78
6	1,18	5,13	90,91

Deve-se ressaltar que apenas o critério de raízes características superiores a um (1) e percentual da variância explicada não são suficientes para garantir a qualidade dos resultados da análise fatorial. Para avaliar a validade e qualidade da análise fatorial utilizou-se o teste KMO, que apresentou um coeficiente de 0,786 e nível de significância de 0,000 pelo Teste de Bartlett, o que pode ser considerado como uma boa recomendação da AFE.

Como já mencionado, uma das possibilidades do uso da análise fatorial consiste em reduzir a dimensionalidade de um conjunto de variáveis aproveitando-se das vantagens das suas intercorrelações. Para esta análise foi utilizado o método dos componentes principais a fim de reduzir o grupo de variáveis em um número menor de fatores.

Visto que o interesse do estudo é proporcionar uma visão espacial da bacia, as informações contidas na Tabela 5 apresentam as matrizes de componentes após rotação ortogonal usando o método Varimax com o objetivo

de apresentar mais corretamente os grupos de variáveis intercorrelacionadas com cada fator. São apresentadas as cargas fatoriais mais acentuadas de cada variável no primeiro período de 1990-1999, ou seja, os maiores coeficientes de correlação entre a variável e o fator.

Tabela 5 - Matriz de componentes após rotação ortogonal (1990 a 1999)

	Componentes (Fatores)					
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Milho - área plantada	0,90					
Milho - quantidade produzida	0,94					
Milho - valor da produção	0,94					
Soja - área plantada	0,97					
Soja - quantidade produzida	0,97					
Soja - valor da produção	0,83					
Laranja - área plantada		0,94				
Laranja - quantidade produzida		0,96				
Laranja - valor da produção		0,96				
Café - área plantada			0,98			
Café - quantidade produzida			0,98			
Café - valor da produção			0,99			
População urbana				0,96		
PIB indústria				0,89		
PIB serviços				0,96		
Cana-de-açúcar - área plantada					0,98	
Cana-de-açúcar - quantidade produzida					0,99	
Cana-de-açúcar - valor da produção					0,98	
População rural						0,81
Bovino						0,72
Suíno						0,77

As variáveis mais associadas com cada fator apresentaram scores superiores a 0,70. Estes escores representam estimações das contribuições das variáveis para a formação de cada fator. Vale ressaltar que o primeiro fator representa o maior percentual da variância explicada entre as variáveis. Em seguida, procurou-se explicar cada um dos seis fatores gerados, que foram denominados como: 1 – Grãos; 2 – Citrus; 3 – Cafeicultura; 4 – Economia e Urbano; 5 – Setor Sucroalcooleiro; 6 – Rural.

O primeiro fator foi denominado Grãos, pois as variáveis que compõem este fator são as lavouras de milho e soja. Todas as variáveis que compõem o fator apresentaram correlação positiva e alta. Portanto, o fator1 está mais correlacionado com todas as variáveis referentes a agricultura, mais especificamente a produção de grãos. Espera-se que nos municípios com escores fatoriais elevado no fator 1, a atividade agrícola destinada a produção de grãos seja mais desenvolvida.

Na sequência, o fator 2, denominado de Citrus, é formado por variáveis relacionadas a produção de laranja, que apresenta uma das suas variáveis que compõem o fator foi acima de 70%. Dessa forma é importante observar que, se o F2 de determinado município for positivo e alto, significa que a produção de citrus possui destaque no município. A área destinada para essa cultura na bacia está em torno de 17.000 hectares, segundo os dados do IBGE. No entanto, Neves et al. (2006) ressaltam que esta cultura tem sofrido algumas mudanças no setor econômico e vem perdendo espaço para outras culturas com potencial concorrência como a cana-de-açúcar.

O fator3 resulta da associação existente entre as variáveis também relacionadas a agricultura. Foi constituído pelas variáveis correspondentes a cultura do café, sendo que todas as variáveis que integram o fator 3 apresentaram correlação positiva e alta, dessa forma o fator 3 foi denominado Cafeicultura. Em comparação com as demais culturas selecionadas para essa análise, o café possui menor expressão em área territorial. De acordo com os dados obtidos junto ao IBGE, a área estimada com o cultivo de café na bacia é de aproximadamente 160.000 hectares.

O fator 4, denominado Economia e Urbano, envolve as variáveis que denotam aspectos notadamente presentes nas áreas urbanas dos municípios, como o PIB da atividade industrial, o PIB da atividade de Serviços e população urbana.

Os municípios da bacia do rio Paranaíba apresentavam em sua maioria um percentual em torno de 65% de população urbana.

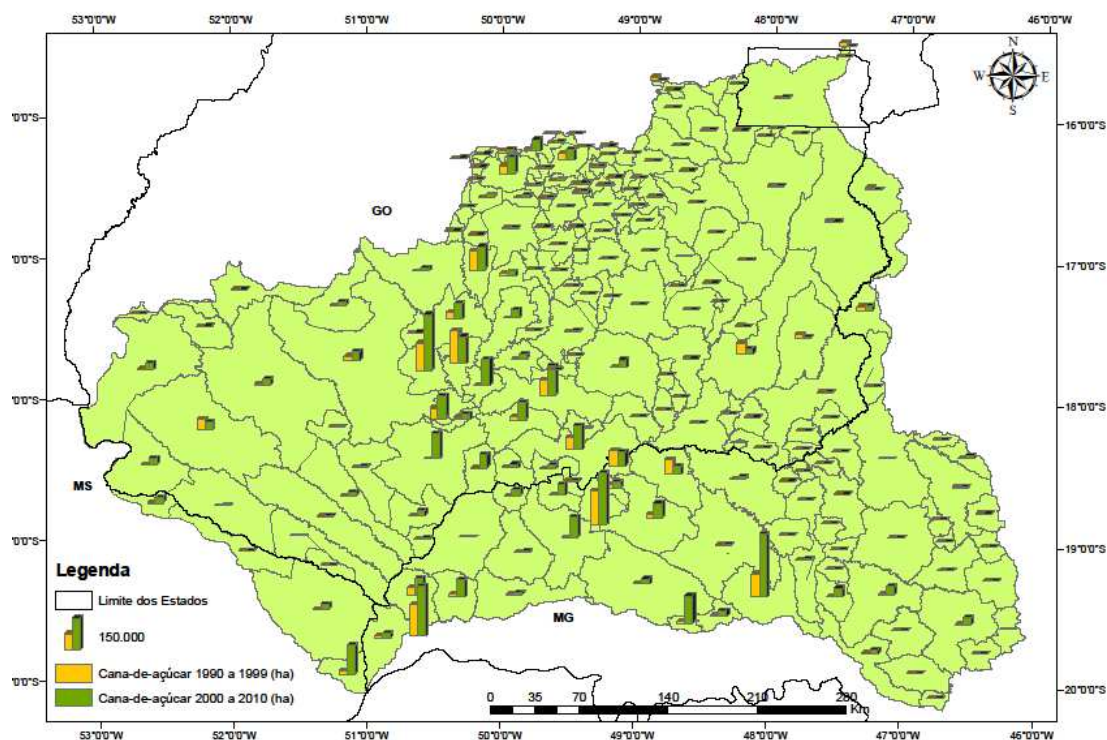
O levantamento populacional da bacia permite dimensionar o quanto a mesma é povoada, acompanhar a sua evolução ao longo do tempo e planejar adequadamente o uso dos recursos naturais e o desenvolvimento de forma

sustentável. Estas informações contribuem também para tomadas de decisão por parte dos governos ou órgãos privados.

O fator 5 resultou no conjunto das variáveis relativas a cana-de-açúcar e foi denominado de Setor Sucroalcooleiro. A cana-de-açúcar é o objeto principal desse estudo.

Segundo os resultados da análise para as duas décadas, a lavoura canavieira expandiu durante esse período, especialmente em maior escala na região central da bacia, conforme apresentado na Figura 3.

Durante o levantamento dos dados e análise de publicações relacionadas à expansão agrícola no Brasil, observou-se que a cana-de-açúcar está em franca expansão na bacia hidrográfica do rio Paranaíba associada a indústria sucroalcooleira. O aumento dessa cultura vem substituindo principalmente pastagens degradadas. Resultados de pesquisas nessa área podem ser verificados em Machado et al. (2004), IEL (2005), Rodriguez e Ortiz (2006), Sano et al. (2007), Alves (2009), Castro et al. (2010), Loarie et al. (2011) e Conab (2012).



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do IBGE.

Figura 3 - Plantio médio da cana-de-açúcar em hectares nas décadas de 1990 e 2000.

Segundo a ANA (2010), o vetor de expansão da cultura da cana-de-açúcar na bacia hidrográfica do rio Paranaíba está associado a grandes espaços de monocultura, principalmente articulados com a indústria sucroalcooleira, cuja expansão se observa desde o início da década de 1990 nas regiões do Triângulo Mineiro e do Alto Paranaíba. Assim como as áreas de plantio do eucalipto, destinado à produção de carvão vegetal e celulose, o cultivo da cana-de-açúcar avançou inicialmente sobre as áreas de cerrado e de pastagens nativas degradadas. A partir de 2000, no entanto, a expansão da cana se deu sobre as áreas de pastagens plantadas e das lavouras de soja e milho.

Finalmente, o fator 6 que é formado pela variável população rural recenseada, pecuária bovina e suína e foi denominado de Rural, sendo que todas as variáveis apresentaram correlação positiva e alta com o fator. Este fator caracteriza os municípios em relação à concentração da população no meio rural e ao tamanho do rebanho de suínos e de bovinos. Nesse sentido, quanto maior este indicador, maior será a proporção da população residindo no meio rural e maiores serão os rebanhos.

Os rebanhos estão distribuídos de forma mais homogênea na bacia em relação à agricultura (Figura 4 do Anexo).

5.1.1. Análise de cluster (AC)

Com objetivo de classificar os municípios da bacia do rio Paranaíba em agrupamentos estratégicos, ou seja, para agrupá-los de acordo com os seis fatores, obtidos na seção anterior, utilizou-se o método de análise de clusters. Os resultados da análise, combinados com o comportamento dos fatores, permitiram distribuir os 197 municípios que compõem a bacia em cinco agrupamentos estratégicos. Nas Tabelas 8 a 12 são apresentados os municípios que compõem cada um dos agrupamentos realizados pela análise de cluster.

A distribuição espacial da formação do primeiro agrupamento constituído para o período de 1990 a 1999 (Figura 4).

Identificados tais agrupamentos, a etapa seguinte consistiu na verificação das diferenças de desempenho dos municípios analisados, com o

intuito de potencializar a interpretação dos conglomerados. Tal verificação se baseou na análise dos escores dos fatores obtidos na seção anterior, que representam o desempenho dos municípios em relação à produção de grãos (F1), citrus (F2), cafeicultura (F3), economia e urbano (F4), setor sucroalcooleiro (F5) e rural (F6), conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Estatística descritiva dos fatores por agrupamento (1990 a 1999)

Cluster	Fatores	N.º de municípios	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
1	Grãos	193	-0,90	6,41	0,00	0,99
	Citrus	193	-0,98	2,25	-0,10	0,39
	Cafeicultura	193	-0,77	7,61	0,01	1,01
	Urbano	193	-0,84	2,25	-0,08	0,34
	Setor Sucroalcooleiro	193	-0,62	5,85	-0,01	0,98
	Rural	193	-1,57	4,91	-0,01	1,00
2	Grãos	1	-0,85	-0,85	-0,85	-
	Citrus	1	-2,28	-2,28	-2,28	-
	Cafeicultura	1	-0,48	-0,48	-0,48	-
	Urbano	1	11,69	11,69	11,69	-
	Setor Sucroalcooleiro	1	-0,37	-0,37	-0,37	-
	Rural	1	-0,39	-0,39	-0,39	-
3	Grãos	1	-1,27	-1,27	-1,27	-
	Citrus	1	7,61	7,61	7,61	-
	Cafeicultura	1	-0,64	-0,64	-0,64	-
	Urbano	1	-2,40	-2,40	-2,40	-
	Setor Sucroalcooleiro	1	-0,86	-0,86	-0,86	-
	Rural	1	1,32	1,32	1,32	-
4	Grãos	1	2,26	2,26	2,26	-
	Citrus	1	8,23	8,23	8,23	-
	Cafeicultura	1	0,06	0,06	0,06	-
	Urbano	1	1,65	1,65	1,65	-
	Setor Sucroalcooleiro	1	3,12	3,12	3,12	-
	Rural	1	-1,04	-1,04	-1,04	-
5	Grãos	1	0,63	0,63	0,63	-
	Citrus	1	5,78	5,78	5,78	-
	Cafeicultura	1	-0,17	-0,17	-0,17	-
	Urbano	1	5,24	5,24	5,24	-
	Setor Sucroalcooleiro	1	-0,84	-0,84	-0,84	-
	Rural	1	1,35	1,35	1,35	-

Nas Tabelas 7, 8, 9, 10 e 11 são apresentados os clusters e os municípios que compõem cada um deles.

Tabela 7 - Municípios que compõem o cluster 1(1990 a 1999)

Municípios do Cluster 1		
1. Abadia de Goiás	67. Itarumã	132. Santa Rosa de Goiás
2. Abadiânia	68. Itauçu	133. São João da Paraúna
3. Acreúna	69. Itumbiara	134. Taquaral de Goiás
4. Adelândia	70. Jandaia	135. Leopoldo de Bulhões
5. Água Limpa	71. Jataí	136. Pirenópolis
6. Aguas Lindas de Goiás	72. Joviânia	137. São Luís de Montes Belos
7. Alexânia	73. Lagoa Santa	138. Abadia dos Dourados
8. Aloândia	74. Luziânia	139. Araguari
9. Americano do Brasil	75. Marzagão	140. Araporã
10. Anápolis	76. Maurilândia	141. Araxá
11. Anhanguera	77. Mairipotaba	142. Cachoeira Dourada
12. Anicuns	78. Mineiros	143. Campina Verde
13. Aparecida de Goiânia	79. Montividiu	144. Campo Florido
14. Aparecida do Rio Doce	80. Morrinhos	145. Campos Altos
15. Aporé	81. Nazário	146. Canápolis
16. Araçu	82. Nerópolis	147. Capinópolis
17. Aragoiânia	83. Nova Aurora	148. Carmo do Paranaíba
18. Aurilândia	84. Nova Veneza	149. Carneirinho
19. Bela Vista de Goiás	85. Novo Gama	150. Cascalho Rico
20. Bonfinópolis	86. Orizona	151. Centralina
21. Brazabrantes	87. Ouro Verde de Goiás	152. Coromandel
22. Cachoeira Alta	88. Ouidor	153. Cruzeiro da Fortaleza
23. Caçu	89. Palmeiras de Goiás	154. Douradoquara
24. Caldas Novas	90. Palmelo	155. Estrela do Sul
25. Caldazinha	91. Palminópolis	156. Grupiara
26. Campestre de Goiás	92. Panamá	157. Guarda-Mor
27. Campo Alegre de Goiás	93. Paranaiguara	158. Guimarânia
28. Cachoeira Dourada	94. Paraúna	159. Gurinhatã
29. Caiapônia	95. Perolândia	160. Ibiá
30. Catalão	96. Piracanjuba	161. Indianópolis
31. Campo Limpo de Goiás	97. Pires do Rio	162. Ipiacú
32. Avelinópolis	98. Pontalina	163. Iraí de Minas
33. Bom Jesus de Goiás	99. Porteirão	164. Ituiutaba
34. Buriti Alegre	100. Portelândia	165. Iturama
35. Castelhândia	101. Professor Jamil	166. Lagamar
36. Caturai	102. Quirinópolis	167. Lagoa Formosa
37. Cezarina	103. Rio Quente	168. Limeira do Oeste
38. Chapadão do Céu	104. Rio Verde	169. Monte Alegre de Minas
39. Cidade Ocidental	105. Santa Bárbara de Goiás	170. Monte Carmelo
40. Cocalzinho de Goiás	106. Santa Cruz de Goiás	171. Nova Ponte
41. Corumbá de Goiás	107. Santa Helena de Goiás	172. Paracatu
42. Corumbáiba	108. Santo Antônio da Barra	173. Patos de Minas
43. Cristalina	109. Santo Antônio de Goiás	174. Patrocínio
44. Cristianópolis	110. Santo Antônio do Descoberto	175. Pedrinópolis
45. Cromínia	111. São Miguel do Passa	176. Perdizes
46. Cumari	112. São Simão	178. Pratinha
47. Damolândia	113. Senador Canedo	179. Presidente Olegário
48. Davinópolis	114. Serranópolis	180. Rio Paranaíba
49. Edealina	115. Silvânia	181. Romaria
50. Edéia	116. Terezópolis de Goiás	182. Sacramento
51. Firminópolis	117. Três Ranchos	183. Santa Juliana
52. Formosa	118. Trindade	184. Santa Vitória
53. Gameleira de Goiás	119. Turvânia	185. São Roque de Minas
54. Goianápolis	120. Turvelândia	186. Serra do Salitre
55. Goiandira	121. Urutai	187. Tapira
57. Goianira	122. Valparaíso de Goiás	188. Tupaciguara
58. Goiatuba	123. Varjão	191. Unai
59. Gouvelândia	124. Vianópolis	192. União de Minas
60. Guapó	125. Vicentinópolis	193. Veríssimo
61. Hidrolândia	126. Itaberaí	194. Aparecida do Taboado
62. Inaciolândia	127. Jesópolis	195. Cassilândia
63. Indiará	128. Mossâmedes	196. Chapadão do Sul
64. Inhumas	129. Petrolina de Goiás	197. Paranaíba
65. Ipameri	130. Planaltina	
66. Itajá	131. Sanclerlândia	

Tabela 8 - Município do cluster 2 (1990 a 1999)

Município do Cluster 2
56. Goiânia

Tabela 9 - Município do cluster 3 (1990 a 1999)

Município do Cluster 3
177. Prata

Tabela 10 - Município do cluster 4 (1990 a 1999)

Município do Cluster 4
189. Uberaba

Tabela 11 - Município do cluster 5 (1990 a 1999)

Município do Cluster 5
190. Uberlândia

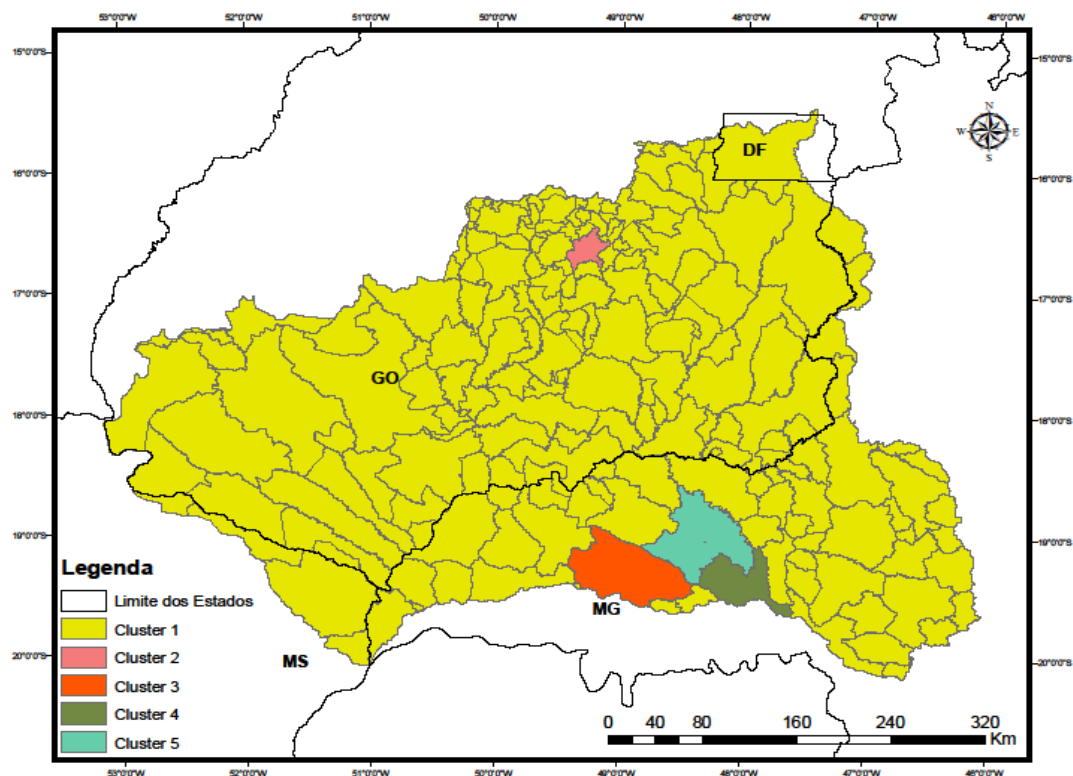


Figura 4 - Área da bacia do rio Paranaíba, nos Estados de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul, dividida em cinco clusters para a década de 1990.

5.1.2. Caracterização dos agrupamentos

Para delinear cenários futuros da bacia hidrográfica do rio Paranaíba as informações e análises apresentadas a seguir permitirão a formulação e execução de estratégias de acordo com os tamanhos e potencialidades dos agrupamentos formados na bacia. O conhecimento da dinâmica da região e dos indicadores mais relevantes para a ocorrência dos agrupamentos são fontes que permitem o monitoramento sobre o crescimento populacional e agropecuário da bacia.

5.1.2.1. Cluster 1

De acordo com os resultados da análise de clusters 98% dos municípios da bacia ficaram agrupadas no Cluster 1. Portanto, existe grande

homogeneidade entre os 197 municípios analisados, isto é, a grande maioria dos municípios da bacia apresentou características semelhantes.

Os municípios do cluster 1 estão distribuídos pelos três estados. O estado de Minas Gerais possui 53 municípios no cluster 1, em Goiás ficam 136 e 4 em Mato Grosso do Sul.

Com relação ao desempenho dos municípios do Cluster 1 percebe-se que o agrupamento obteve baixo desempenho em todos os fatores. Empiricamente isso quer dizer que os municípios deste cluster possuem representatividade homogênea nestes fatores. As médias mais consideráveis foram dos fatores Citrus, Setor Sucroalcooleiro, Rural e Grãos em relação aos seus outros fatores.

O levantamento populacional da bacia permite dimensionar o quanto a mesma é povoada, acompanhar a sua evolução ao longo do tempo e planejar adequadamente o uso dos recursos naturais e o desenvolvimento sustentável. Estas informações contribuem também para tomadas de decisão por parte dos governos ou órgãos privados.

Os municípios deste agrupamento apresentam na década analisada aproximadamente 82% de urbanização.

Dos 193 municípios que compõem este cluster, apenas 54 possuem taxa de urbanização inferior a 60%. Os municípios agrupados nesse cluster são pequenos, sendo que 153 possuíam população inferior a 20 mil habitantes e apenas quatro possuíam população entre 100 mil e 255 mil habitantes (Tabela 12).

Tabela 12 - População dos municípios do cluster 1 (1990 a 1999)

População/número de habitantes	Número de municípios
Até 15 mil habitantes	138
Entre 15 e 20 mil habitantes	15
Entre 20 e 50 mil habitantes	24
Entre 50 e 100 mil habitantes	12
Entre 100 e 255 mil habitantes	4

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados do censo demográfico (IBGE 1991-1996).

Estas informações estão de acordo com os demais municípios brasileiros, em que conforme com o censo de 1991 o país possuía 68,89% da sua população concentrada em municípios até 20 mil habitantes.

Para contribuir com a caracterização do aglomerado do cluster 1 a análise do PIB revela a sua parcela de contribuição para a economia destes municípios. Em relação à contribuição de cada setor, o PIB Agropecuário é responsável por 21% da parcela de renda do agrupamento, 20% para PIB Indústria e 59% para PIB Serviços, segundo o banco de dados do IPEADATA para o período de 1990 a 1999. A contribuição de cada setor da economia é apresentada na Figura 5.

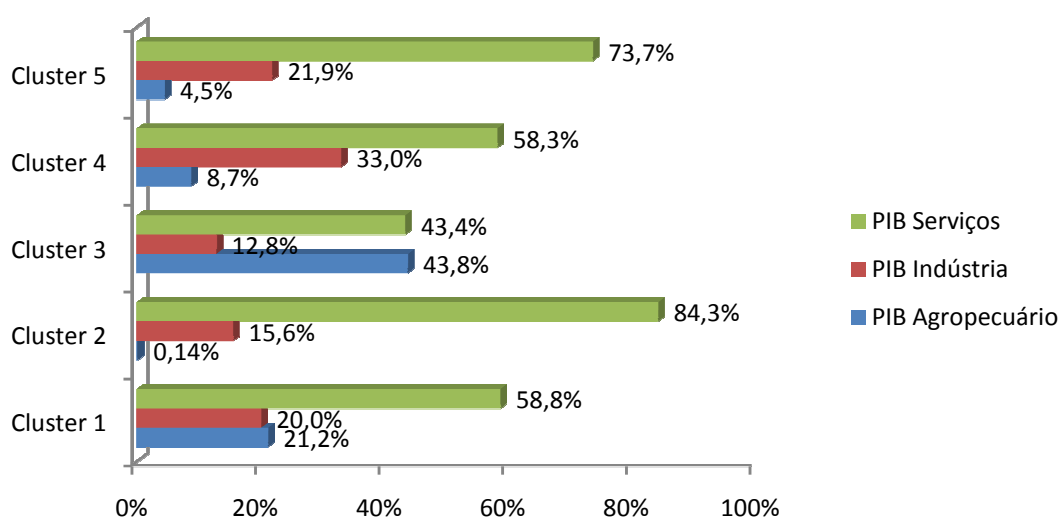


Figura 5- PIB Serviços, Indústria e Agropecuário dos 5 clusters formados na primeira década

A importância das atividades rurais no cluster 1 é confirmada pelos escores fatoriais mais acentuados nas atividades ditas rurais. Em média cada município do cluster 1 destina 14.174 ha para o cultivo das principais culturas realizadas na bacia do rio Paranaíba. Especialmente para a cana-de-açúcar a área destinada foi de aproximadamente 141.099 ha para todo agrupamento. A Figura 6 apresenta a evolução dessa lavoura ao longo da década.

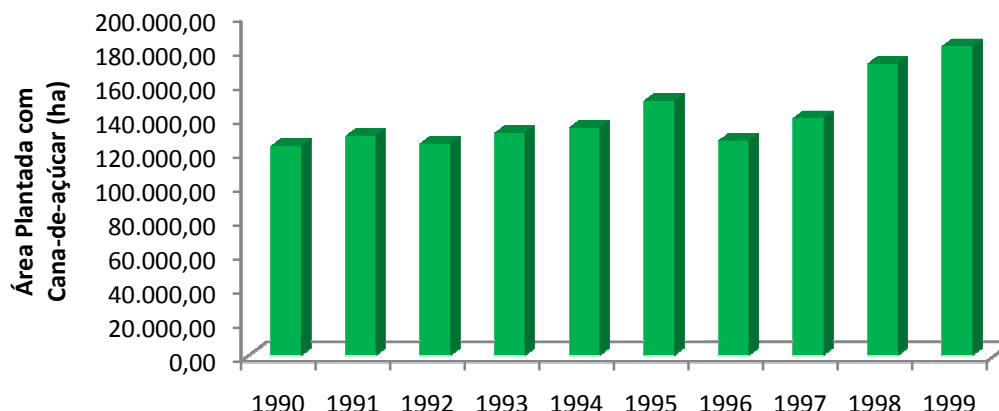


Figura 6 - Área destinada ao cultivo da cana-de-açúcar na década de 1990.

Apesar de uma pequena queda na área plantada com cana-de-açúcar no cluster 1 em 1996, essa lavoura volta a crescer a partir de 1997. Ela está em terceiro lugar entre as mais praticadas perdendo para a soja com 7.230 hectares e milho com 5.450 hectares. Os escores fatoriais de citrus e urbano foram as que menos contribuíram para a formação desse agrupamento. Esta ocorrência se dá devido a pequena população destes municípios e a pequena área destinada ao cultivo da laranja se comparado aos demais.

Em relação à pecuária, os municípios do cluster 1 possuem em média, no período analisado, 81.916 cabeças de bovino (9%), 6.492 (5%) de suínos e 85.356 cabeças de aves(galinhas, galos, frangos, frangas e pintos) (1%).

Portanto, as maiores médias do cluster foram para os fatores 1 (Grãos), 3 (Cafeicultura), 5 (Setor Sucroalcooleiro) e 6 (Rural). Estes foram importantes para a definição do cluster 1. Os fatores 2 (Citrus) e 4 (Economia e Urbano) foram os que mais distanciaram o cluster 1 dos demais clusters.

5.1.2.2. Cluster 2

O cluster 2 foi formado pelo município de Goiânia, capital do estado de Goiás. Representa 0,5% dos municípios da bacia. Notadamente, o município que deu origem ao agrupamento 2 apresentou um elevado desempenho no fator Economia e Urbano, isto significa que são as características urbanas as principais responsáveis por diferenciar o município.

Embora este cluster contenha somente um município, vale observar que os escores para Urbano resultaram em valores altos. Este resultado já esperado devido ser este município se um grande centro urbano que correspondia a 24% da população total da bacia. É a cidade com maior população da bacia, com média de 962 mil habitantes e uma taxa de urbanização de 99%. O fator 2 (Citrus) foi o que mais distanciou este cluster dos demais.

Os valores do PIB Indústria e Serviços também são representativos para o cluster. Pelo fato de ser capital do estado e de fazer parte do eixo Goiânia-Anápolis-Brasília, a cidade possui o setor terciário bem dinâmico representando 84% do PIB serviços restando 16% para o PIB indústria.

O fator 5, setor sucroalcooleiro, não obteve bom desempenho no cluster 2. Apesar disso, o cultivo da cana neste município apresentou aumento da área cultivada a partir de 1990 e ao final da década possuía 5.000 há com cana e uma produtividade de 18.784 toneladas do produto.

5.1.2.3. Cluster 3

O cluster 3 foi formado pelo município de Prata localizado na região do Triângulo Mineiro no estado de Minas Gerais. Representa 0,5% do total dos municípios da bacia. A população média do cluster 3 na década de 1990 a 1999 era de 22.720 com taxa de urbanização de 61%, ou seja, 39% da população total deste cluster viviam no campo de acordo com os dados dos censos 1991 e 1996. Estima-se que a população rural desse município seja distribuída em pequenas propriedades e pratique agricultura familiar, pois o PIB agropecuário representava 44% do PIB total do cluster.

Nesse cluster os fatores que mais contribuíram para distanciá-lo dos demais foram: 1 (Grãos), 3 (Cafecultura), 4 (Economia e Urbano) e 5 (Setor Sucroalcooleiro). O baixo desempenho do fator 4 condiz com o baixo nível de urbanização.

Os fatores 2 (Citrus) e 6 (Rural) foram os que mais contribuíram para a formação do cluster 3 com o município de Prata. De acordo com a análise fatorial este município teve o maior desempenho para estas variáveis no período analisado.

A produção de laranja nesse cluster é expressiva em relação aos demais, pois ele é responsável por 20% da produção na bacia do rio Paranaíba. De acordo com o banco de dados, esta cultura foi a variável mais importante para constituir o cluster 3 com apenas um município. Essa ocorrência aos valores da produção de laranja que foram muito superiores ao das outras culturas. Ao final de 1999, a laranja havia contribuído em torno de 820.000 reais em média por ano para a economia do município, enquanto o milho contribuiu em torno de 460.000 reais.

Os fatores que mais contribuíram para formação do cluster foram o F2 e F6, e os que mais o distanciaram dos outros clusters foram os fatores F1, F3, F4 e F5.

5.1.2.4. Cluster 4

O cluster 4 foi formado pelo município de Uberaba localizado no estado de Minas Gerais, na região do Triângulo Mineiro. Representa 0,5% dos municípios da bacia. A população média do cluster na década era de 224.629 habitantes. A taxa de urbanização era de 96%.

Este cluster foi formado a partir dos escores dos fatores F1, F2, F4 e F5. Já os F3 e F6 são os que distanciam este cluster dos demais.

O PIB Indústria corresponde a 33% de participação no PIB total do cluster, o PIB serviços 58% e o PIB agropecuário 9%. O desempenho na pecuária de aves no cluster também se mostrou importante em relação à bacia. A produção de aves no cluster corresponde 14% de participação no total da bacia.

Em relação à área destinada à agricultura, o cluster 4 apresenta bom desempenho com 45% da sua área agricultável com soja, 38% com milho, 12% para cana-de-açúcar, 2% para café e 3% laranja. Os resultados elevados no escore fatorial para o fator 1 condiz com o bom desempenho do cluster na produção de grãos e demonstra que o município possui forte vocação para agricultura.

O cluster 4 obteve o mais alto valor do escore fatorial no fator setor sucroalcooleiro se comparado aos demais clusters. A análise do avanço da cana-de-açúcar na bacia é objeto principal deste estudo. Dessa forma, faz-se

necessário realizar uma comparação da área destinada a esta cultura no cluster e nos demais municípios da bacia. Na Figura 7 é apresentada a cana-de-açúcar em hectares para os cinco clusters em valores médios. Vale ressaltar que a forte presença do cluster 1 é em função do grande número de municípios.

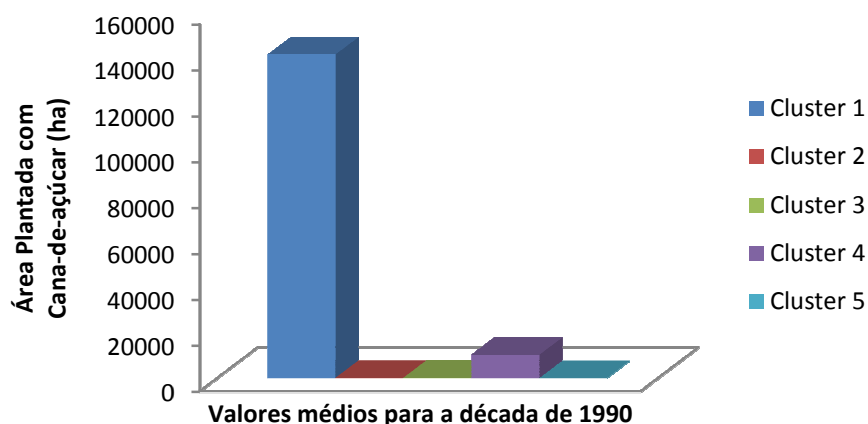


Figura 7- Área destinada em hectares para o cultivo de cana-de-açúcar nos cinco clusters na década de 1990.

5.1.2.5. Cluster 5

Como nos três últimos clusters, este também foi formado apenas por um município (Uberlândia), localizado no Triângulo Mineiro, estado de Minas Gerais. Representa 0,5% no total de municípios da bacia do rio Paranaíba. A população média do cluster é de 403.024 habitantes, possuindo a segunda maior população da bacia. Esse valor corresponde aproximadamente a 10% do total da população da bacia. Possui taxa de 98% de urbanização. De acordo com os escores fatoriais este cluster obteve o maior desempenho nos F2 (Citrus), F4 (Economia e Urbano) e F6 (Rural) para o período analisado, 1990-1999.

O PIB serviços é o setor de maior contribuição para a economia do cluster. Em seguida o PIB indústria. A agricultura é o setor menos expressivo do cluster.

Em relação à bacia, o cluster contribui com 14% dos PIB indústria e serviços e 3% para o PIB agropecuário. Contribui com 11% na produção de laranja. Na pecuária o cluster possuía 1% do rebanho bovino, 4% do suíno e 14% de aves.

No período analisado o cluster não possuía informações sobre o cultivo de cana-de-açúcar.

5.2. Análises estatísticas multivariadas (2000-2009)

Na Tabela 13 são apresentadas a média, o desvio padrão, a assimetria e curtose das variáveis coletadas para a segunda década que compreende o período de 2000-2009. A análise do desvio padrão como identificado na década de 1990-1999 demonstra altos valores e distantes da média, ou seja, os resultados evidenciam a grande heterogeneidade entre os municípios da bacia. Os resultados da assimetria com valores positivos acentuados a direita indicam valores mais expressivos para atividades agrícolas em relação à década anterior. Já os valores relativos à curtose continuam a apresentar valores elevados com forma leptocúrtica, isto é, em cume.

As 23 variáveis resultaram novamente em seis fatores que explicam 86,28% da variância total dos dados (Tabela 14). O teste KMO apresentou um coeficiente de 0,776 e nível de significância de 0,000 pelo Teste de Bartlett. Os resultados aferem que a análise fatorial é adequada para o conjunto de variáveis.

Pelo método dos componentes principais o grupo de variáveis foi reduzido a seis fatores. Na Tabela 15 apresentam-se as cargas fatoriais mais acentuadas para cada variável da segunda década 2000-2009 juntamente com o resultado das matrizes de componentes após rotação ortogonal usando o método Varimax.

Tabela 13 - Análise descritiva das variáveis (2000 a 2009).

Variáveis	Média	Desvio Padrão	Assimetria	Curtose
População urbana (hab)	21.995	49.964	7	62
População rural (hab)	2.659	2.520	2	4
PIB Agropecuário (R\$)	29.139	37.623	3	8
PIB Indústria (R\$)	56.166	173.355	6	36
PIB Serviços (R\$)	123.977	517.210	9	97
Laranja – área plantada (ha)	75	306	8	65
Laranja - quantidade produzida (t)	1.791.254	7.479.254	8	67
Laranja - valor da produção (R\$)	474.321	2.085.640	8	69
Cana-de-açúcar - área plantada (ha)	1.750	4.161	4	16
Cana-de-açúcar - quantidade produzida (t)	141.256.757	341.739.670	4	18
Cana-de-açúcar - valor da produção (R\$)	7.463	38.947	12	160
Milho - área plantada (ha)	5.482	11.167	5	37
Milho - quantidade produzida (t)	29.620.406	59.585.021	4	21
Milho - valor da produção (R\$)	7.496.702	14.732.838	4	18
Soja - área plantada (ha)	13.895	29.183	4	24
Soja - quantidade produzida (t)	37.437.183	81.609.565	4	26
Soja - valor da produção (R\$)	18.311.045	39.383.662	4	25
Café - área plantada (ha)	814	3.063	6	50
Café - quantidade produzida (t)	1.262.691	4.446.589	5	32
Café - valor da produção (R\$)	3.681.895	12.678.314	5	29
Bovino (cabeças)	86.261	82.975	2	4
Suíno (cabeças)	11.858	36.758	9	87
Aves (cabeças)	317.618	941.877	6	45

Tabela 14 - Características dos fatores extraídos pelo método dos componentes principais (2000 a 2009)

Fator	Raiz característica	% da variância explicada pelo fator	Variância acumulada (%)
1	8,07	35,08	35,08
2	3,70	16,08	51,16
3	3,21	13,96	65,12
4	1,98	8,59	73,71
5	1,83	7,96	81,67
6	1,06	4,61	86,28

Tabela 15 - Matriz de componentes após rotação ortogonal (2000 a 2009)

	Componentes (Fatores)					
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
PIB agropecuário	0,82					
Milho - área plantada	0,96					
Milho - quantidade produzida	0,95					
Milho - valor da produção	0,93					
Soja - área plantada	0,96					
Soja - quantidade produzida	0,96					
Soja - valor da produção	0,97					
Laranja - área plantada		0,96				
Laranja - quantidade produzida		0,97				
Laranja - valor da produção		0,97				
Café - área plantada			0,99			
Café - quantidade produzida			0,99			
Café - valor da produção			0,99			
População urbana				0,94		
PIB indústria				0,87		
PIB serviços				0,95		
Cana-de-açúcar - área plantada					0,98	
Cana-de-açúcar - quantidade produzida					0,98	
Cana-de-açúcar - valor da produção						0,81

Os maiores coeficientes de correlação entre a variável e o fator apresentam *cargas fatoriais* superiores a 0,70. A nomeação dos fatores assim segue: 1 – Grãos; 2 – Citrus; 3 – Cafeicultura; 4 – Urbano; 5 – Setor Sucroalcooleiro; 6 – Valor da Produção da Cana. Observa-se que cinco fatores receberam o mesmo nome que os fatores da década de 1990-1999, pois foram formados pelas mesmas variáveis dos fatores anteriores. Houve apenas um incremento no fator 1 sendo acrescido pelo PIB Agropecuário. Todas as variáveis apresentaram carga positiva e alta no fator. A variável valor da cana-de-açúcar formou um novo fator 6. As variáveis pecuária, suína e bovina, aves e população rural não apresentaram carga fatorial significativa.

5.2.1. Análise de cluster

De acordo com os resultados da análise de agrupamentos para a década de 2000-2009, procurou-se obter o mesmo número de cluster da década anterior, para facilitar as análises. Os municípios que compõem cada um dos cinco agrupamentos são apresentados nas Tabelas 16 a 20.

A distribuição espacial dos agrupamentos é apresentada na Figura 8. Os municípios do cluster 1 que representam 91,8% da bacia do rio Paranaíba se distribuem uniformemente ao longo de toda a extensão territorial da bacia hidrográfica. Os municípios do cluster 2, embora não estejam próximos se localizam no estado de GO que é caracterizado por forte pressão demográfica. O cluster 3 por sua vez possui municípios nas regiões (Norte, Sul e Leste da bacia). Somente o município de Santa Helena de Goiás se localiza em GO, os demais estão no estado de MG. No caso do cluster 4 percebe-se que os municípios estão concentrados na região sudeste da bacia. Essa região é conhecida como Triângulo Mineiro e possui tradição nas atividades agropecuárias. Nessa mesma região se encontra o cluster 5.

Para uma melhor compreensão dos clusters realizou-se a análise descritiva dos escores fatoriais de cada um dos 5 clusters. Na Tabela 21 são apresentados os valores mínimos, máximos, médios e o desvio padrão de cada um dos seis escores fatoriais obtidos na análise fatorial.

Tabela 16 - Municípios que compõem o cluster 1 (2000 a 2009)

Municípios do Cluster 1		
1. Abadia de Goiás	64. Inhumas	126. Itaberaí
2. Abadiânia	65. Ipameri	127. Jesúpolis
3. Acreúna	66. Itajá	128. Mossâmedes
4. Adelândia	67. Itarumã	129. Petrolina de Goiás
5. Água Limpa	68. Itauçu	130. Planaltina
6. Aguas Lindas de Goiás	69. Itumbiara	131. Sanclerlândia
7. Alexânia	70. Jandaia	132. Santa Rosa de Goiás
8. Aloândia	71. Jataí	133. São João da Paraúna
9. Americano do Brasil	72. Joviânia	134. Taquaral de Goiás
10. Anápolis	73. Lagoa Santa	135. Leopoldo de Bulhões
11. Anhanguera	74. Luziânia	136. Pirenópolis
12. Anicuns	75. Marzagão	137. São Luís de Montes Belos
13. Aparecida de Goiânia	76. Maurilândia	138. Abadia dos Dourados
14. Aparecida do Rio Doce	77. Mairipotaba	140. Araporã
15. Aporé	78. Mineiros	141. Araxá
16. Araçu	79. Montividiu	142. Cachoeira Dourada
17. Aragoiânia	80. Morrinhos	143. Campina Verde
18. Aurilândia	81. Nazário	144. Campo Florido
19. Bela Vista de Goiás	82. Nerópolis	147. Capinópolis
20. Bonfinópolis	83. Nova Aurora	149. Carneirinho
21. Brazabrantes	84. Nova Veneza	150. Cascalho Rico
22. Cachoeira Alta	85. Novo Gama	151. Centralina
23. Caçu	86. Orizona	153. Cruzeiro da Fortaleza
24. Caldas Novas	87. Ouro Verde de Goiás	154. Douradoquara
25. Caldazinha	88. Ouidor	155. Estrela do Sul
26. Campestre de Goiás	89. Palmeiras de Goiás	156. Grupiara
27. Campo Alegre de Goiás	90. Palmelo	157. Guarda-Mor
28. Cachoeira Dourada	91. Palminópolis	158. Guimarânia
29. Caiapônia	92. Panamá	159. Gurinhatã
30. Catalão	93. Paranaiguara	160. Ibiá
31. Campo Limpo de Goiás	94. Paraúna	161. Indianópolis
32. Avelinópolis	95. Perolândia	162. Ipiacu
33. Bom Jesus de Goiás	96. Piracanjuba	163. Iraí de Minas
34. Buriti Alegre	97. Pires do Rio	164. Ituiutaba
35. Castelândia	98. Pontalina	166. Lagamar
36. Caturai	99. Porteirão	167. Lagoa Formosa
37. Cezarina	100. Portelândia	168. Limeira do Oeste
38. Chapadão do Céu	101. Professor Jamil	169. Monte Alegre de Mina
39. Cidade Ocidental	102. Quirinópolis	171. Nova Ponte
40. Cocalzinho de Goiás	103. Rio Quente	172. Paracatu
41. Corumbá de Goiás	104. Rio Verde	173. Patos de Minas
42. Corumbáiba	105. Santa Bárbara de Goiás	175. Pedrinópolis
43. Cristalina	106. Santa Cruz de Goiás	176. Perdizes
44. Cristianópolis	108. Santo Antônio da Barra	178. Pratinha
45. Cromínia	109. Santo Antônio de Goiás	179. Presidente Olegário
46. Cumari	110. Santo Antônio do Descoberto	181. Romaria
47. Damolândia	111. São Miguel do Passa	182. Sacramento
48. Davinópolis	112. São Simão	183. Santa Juliana
49. Edealina	113. Senador Canedo	184. Santa Vitória
50. Edéia	114. Serranópolis	185. São Roque de Minas
51. Firminópolis	115. Silvânia	187. Tapira
53. Gameleira de Goiás	116. Terezópolis de Goiás	188. Tupaciguara
54. Goianápolis	117. Três Ranchos	191. Unai
55. Goiandira	118. Trindade	192. União de Minas
57. Goianira	119. Turvânia	193. Veríssimo
58. Goiatuba	120. Turvelândia	194. Aparecida do Taboado
59. Gouvelândia	121. Urutaí	195. Cassilândia
60. Guapó	122. Valparaíso de Goiás	196. Chapadão do Sul
61. Hidrolândia	123. Varjão	197. Paranaíba
62. Inaciolândia	124. Vianópolis	
63. Indiará	125. Vicentinópolis	

Tabela 17 - Municípios do cluster 2 (2000 a 2009)

Municípios do Cluster 2
52. Formosa
56. Goiânia

Tabela 18 - Municípios do cluster 3 (2000 a 2009)

Municípios do Cluster 3
107. Santa Helena de Goiás
146. Canápolis
165. Iturama
189. Uberaba

Tabela 19 - Municípios do cluster 4 (2000 a 2009)

Municípios do Cluster 4
139. Araguari
145. Campos Altos
148. Carmo do Paranaíba
152. Coromandel
170. Monte Carmelo
174. Patrocínio
180. Rio Paranaíba
186. Serra do Salitre

Tabela 20 - Municípios do cluster 5 (2000 a 2009)

Municípios do Cluster 5
177. Prata
190. Uberlândia

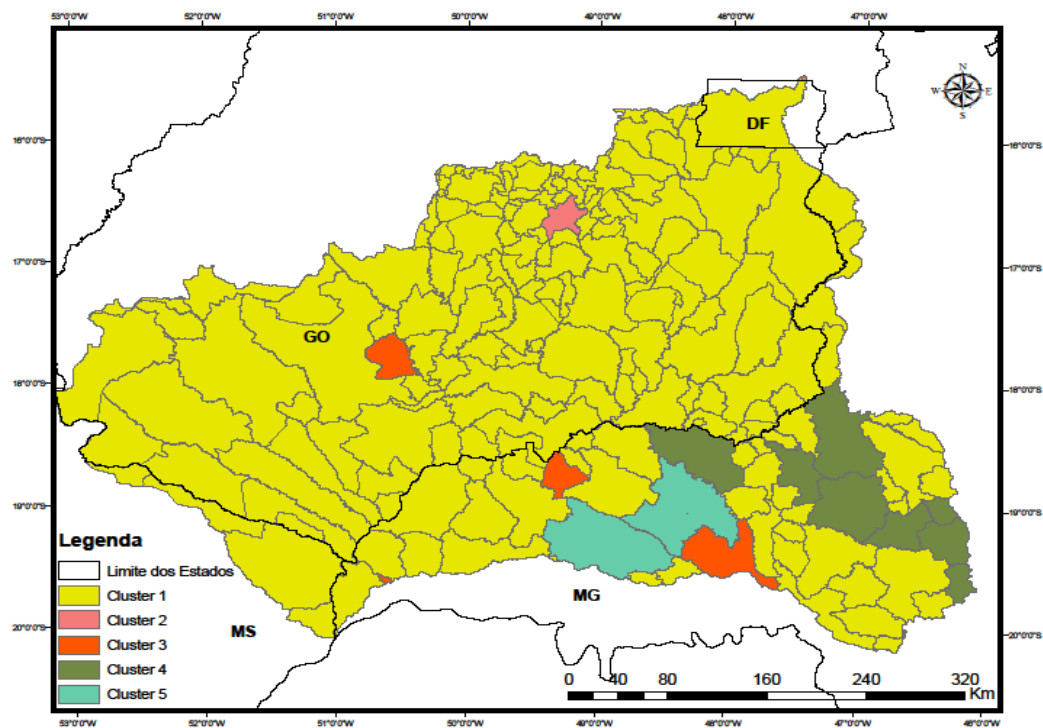


Figura 8 - Área da Bacia do Rio Paranaíba, nos Estados de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul, dividida em cinco clusters para a década de 2000.

Tabela 21 - Estatística descritiva dos fatores por agrupamento (2000 a 2009)

Cluster	Fatores	N.º de municípios	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
1	Grãos	181	-0,68	7,34	0,01	1,01
	Citrus	181	-1,12	1,97	-0,08	0,35
	Cafeicultura	181	-0,87	2,15	-0,17	0,35
	Urbano	181	-0,72	2,60	-0,09	0,42
	Setor Sucroalcooleiro	181	-1,51	2,64	-0,10	0,65
	Valor da produção da cana	181	-1,50	2,67	-0,06	0,63
2	Grãos	2	-1,16	-0,92	-1,04	0,17
	Citrus	2	-2,20	-1,42	-1,81	0,55
	Cafeicultura	2	-0,83	-0,60	-0,72	0,16
	Urbano	2	0,71	11,05	5,88	7,31
	Setor Sucroalcooleiro	2	-0,69	-0,46	-0,58	0,16
	Valor da produção da cana	2	-0,04	10,96	5,46	7,78
3	Grãos	4	-0,51	2,82	0,55	1,56
	Citrus	4	-0,62	2,33	0,19	1,42
	Cafeicultura	4	-0,14	0,15	0,00	0,12
	Urbano	4	-0,14	2,02	0,53	1,01
	Setor Sucroalcooleiro	4	4,79	5,91	5,35	0,48
	Valor da produção da cana	4	-0,22	0,52	0,19	0,31
4	Grãos	8	-0,44	0,44	-0,06	0,33
	Citrus	8	-0,26	-0,03	-0,14	0,07
	Cafeicultura	8	2,63	8,66	4,18	1,97
	Urbano	8	-0,37	1,12	0,01	0,48
	Setor Sucroalcooleiro	8	-0,32	0,02	-0,12	0,12
	Valor da produção da cana	8	-0,88	0,39	-0,11	0,46
5	Grãos	2	-1,11	0,20	-0,46	0,92
	Citrus	2	8,69	9,18	8,94	0,35
	Cafeicultura	2	-0,22	-0,12	-0,17	0,08
	Urbano	2	-2,62	5,21	1,29	5,54
	Setor Sucroalcooleiro	2	-0,88	-0,14	-0,51	0,52
	Valor da produção da cana	2	-1,13	0,91	-0,11	1,44

5.2.2. Caracterização dos agrupamentos

Nessa década foram utilizados os dados do Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (2010) para analisar o principal consumo de água pelos municípios inseridos em cada cluster.

O índice de acompanhamento de desenvolvimento econômico dos municípios, IFDM, também foi utilizado nessa segunda década.

A análise do cluster 1 será para os 10 menores e maiores municípios em função da grande concentração e da discrepância nos resultados sem valor comparativo com os demais clusters. O estudo considerou os meses de agosto e setembro como os mais críticos para a irrigação.

5.2.2.1. Cluster 1

O cluster 1 é composto por 181 municípios, o que corresponde a 91,8% do total de municípios que integram a bacia do rio Paranaíba. Desses, 133 estão localizados no estado de Goiás, 44 no estado de Minas Gerais e 4 em Mato Grosso do Sul. A população média do cluster no período de 2000 a 2007 era de 3.950.325 com um grau de urbanização de 89%.

O maior município do cluster é Aparecida de Goiânia com população total de 168.196 habitantes segundo os dados dos censos de 2000 e 2007. Somente 20 municípios desse cluster possuem taxa de urbanização inferior a 60%. Vale destacar a situação dos municípios de Águas Lindas de Goiás, Aparecida de Goiânia e Valparaíso de Goiás que possuem taxa de urbanização de 100%. Na primeira década analisada havia 54 municípios com população urbana inferior a 60%. Na Tabela 22 são apresentados os 10 maiores e 10 menores municípios do cluster. Comparando-se as informações da tabela com a década anterior percebe-se que somente os municípios de Marzagão e Anhangüera continuam entre os 10 menores do cluster.

Tabela 22- População do Cluster 1 e IFDM* (2000 a 2009)

Município	UF	População urbana	População rural	Total	Taxa de urbanização (%)	IFDM
10 menores						
Lagoa Santa	Goiás	426	187	613	70	0,661
Anhanguera	Goiás	880	51	931	95	0,677
Grupiara	MG	1.171	224	1.394	84	0,629
Gemeleira de Goiás	Goiás	503	1.142	1.645	31	0,623
Douradoquara	MG	1.151	665	1.816	63	0,594
São João da Paraúna	Goiás	1.285	577	1.862	69	0,695
Marzagão	Goiás	1.721	266	1.987	87	0,709
Nova Aurora	Goiás	1.709	302	2.011	85	0,769
Davinópolis	Goiás	1.325	736	2.061	64	0,746
Aloândia	Goiás	1.748	349	2.097	83	0,639
10 maiores						
Anápolis	Goiás	82.032	1.349	83.381	98	0,786
Aparecida de Goiânia	Goiás	80.582	4.188	84.770	95	0,756
Araxá	MG	86.357	3.117	89.474	97	0,742
Ituiutaba	MG	85.993	4.917	90.909	95	0,729
Itumbiara	Goiás	104.653	0,00	104.653	100	0,749
Aguas Lindas de Goiás	Goiás	118.562	253	118.815	100	0,648
Patos de Minas	MG	116.569	11.899	128.468	91	0,807
Rio Verde	Goiás	122.352	10.615	132.967	92	0,736
Trindade	Goiás	140.082	3.961	144.043	97	0,658
Valparaíso de Goiás	Goiás	167.774	423	168.196	100	0,692

*IFDM: Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal (FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO - FIRJAN, 2010).

As principais características desse agrupamento continuam sendo municípios pequenos em média possuem 18.924 habitantes, com pouca expressividade na agricultura e valores inexpressivos de PIB em relação aos demais clusters. É interessante observar que a população média do cluster 1 permanece em média de 3.400 habitantes. Os municípios que saíram desse cluster tiveram um crescimento populacional significativo no período de 2000 a 2009. 90% dos municípios do agrupamento possuem desenvolvimento moderado, 4% desenvolvimento elevado e 6% desenvolvimento regular. O IFDM mais elevado foi de Patos de Minas (MG) e o mais baixo de Douradoquara (MG). Os demais possuem desenvolvimento moderado. Marzagão está no ranking nacional dos 100 municípios do Brasil com melhor desenvolvimento na área de saúde, na posição 69º lugar.

Na Tabela 23 apresentam-se 141 municípios com população até 20 mil habitantes contra 153 na década anterior. Percebe-se assim que os municípios da bacia tiveram aumento na sua população a partir do ano 2000.

Tabela 23 - População dos municípios do cluster 1 (2000 a 2009)

População	Número de municípios
Até 15 mil habitantes	126
Entre 15 e 20 mil habitantes	15
Entre 20 e 50 mil habitantes	20
Entre 50 e 100 mil habitantes	14
Entre 100 e 200 mil habitantes	6

A análise para o consumo hídrico do cluster será feita para os 10 menores e maiores municípios em função da grande concentração de municípios. É importante observar que o agrupamento é constituído em sua maioria por municípios pequenos conforme Tabela 23.

Para esses dois subgrupos (10 maiores) foi importante separar o consumo de água nas atividades urbanas e rurais, devido o grau de urbanização e importante consumo de água nas atividades urbanas para os maiores do agrupamento.

A demanda de consumo hídrico para as atividades urbanas nos 10 menores municípios é de $11,6\text{Ls}^{-1}$ per capita e para as atividades rurais é de aproximadamente $3,1\text{Ldia}^{-1}$. A indústria demanda cerca de $4,8\text{Ls}^{-1}$.

Os 10 maiores municípios (Tabela 24) do cluster demandam $1,363\text{Ls}^{-1}$ *per capita*. Esse valor expressivo é somente para consumo urbano. Para o consumo rural o valor é de 25Ldia^{-1} . O consumo industrial para o grupo é de $1,322\text{Ls}^{-1}$, sendo Rio Verde responsável pelo consumo de 535Ls^{-1} .

Os escores fatoriais médios do cluster 1 permanecem com valores baixo, havendo um valor um pouco mais elevado para o fator 1. As maiores alterações ocorreram nos municípios de Formosa, Santa Helena de Goiás, Araguari, Campos Altos, Canápolis, Carmo do Paranaíba, Coromandel, Iturama, Monte Carmelo, Rio Paranaíba e Serra do Salitre. Modificações

ocorreram durante a década que os fizeram migrar para os outros quatro clusters.

Apesar do fator 5 não ter sido de grande importância para esse agrupamento, vale apresentar a expansão da cana-de-açúcar para os municípios desse cluster comparando as duas décadas. Percebe-se que a expansão dessa cultura no cluster 1 continua aumentando expressivamente no período entre 2000 e 2009 (Figura 9).

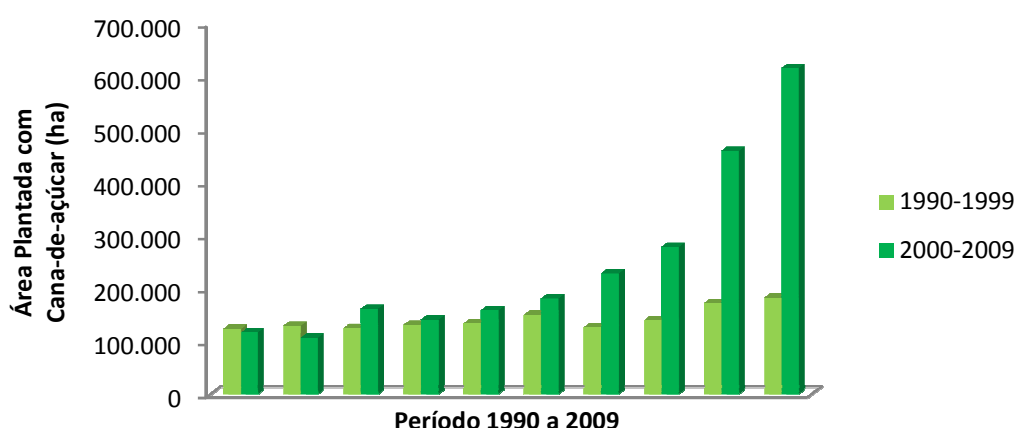


Figura 9 - Expansão da cana-de-açúcar das décadas de 1990 e 2000 nos municípios do cluster 1.

Os resultados do aumento das lavouras de cana-de-açúcar podem ser comparados com os de Castro et al. (2010) que verifica intensificação da expansão dessa lavoura a partir de 2007 nos estados de Goiás e Mato Grosso do Sul. Alves (2009) considera o estado de Goiás como o novo celeiro da produção de cana-de-açúcar, com uma cadeia produtiva muito forte e um crescimento muito favorável na década de 2000.

5.2.2.2. Cluster 2

O cluster 2 foi formado pelo agrupamento dos municípios Goiânia e Formosa. Ambos estão localizados no estado de Goiás. A população média do cluster é de 626.629 habitantes de acordo com o censo do IBGE 2000 e 2007,

que representa 13% da população total da bacia. Os dois municípios possuem taxa importante de urbanização sendo Formosa com 88% e Goiânia com 99%.

Goiânia possui o segundo maior IFDM da bacia, de 0,844, considerado de alto desenvolvimento. Formosa possui médio desenvolvimento, com IFDM de 0,6273.

O consumo hídrico do cluster para os setores urbano e rural é de aproximadamente 155Ls^{-1} per capita. O setor rural possui baixo consumo hídrico, sendo 50Ls^{-1} utilizados nos meses de agosto e setembro para uma área irrigada de 852 hectares e 10Ldia^{-1} na pecuária. O grande consumo do cluster está no setor industrial. Ele é responsável por aproximadamente 470Ls^{-1} .

Os fatores 4 (Economia e Urbano) e 6 (Valor da Produção da cana-de-açúcar) foram os mais importantes para a ocorrência desse agrupamento. Além da grande população, o cluster 2 contribui com PIB importante para a bacia. Na Figura 10 pode-se fazer a comparação entre o PIB agropecuário, indústria e serviços dos 5 clusters. Os resultados evidenciam características urbanas e reforçam o agrupamento pelo fator 4.

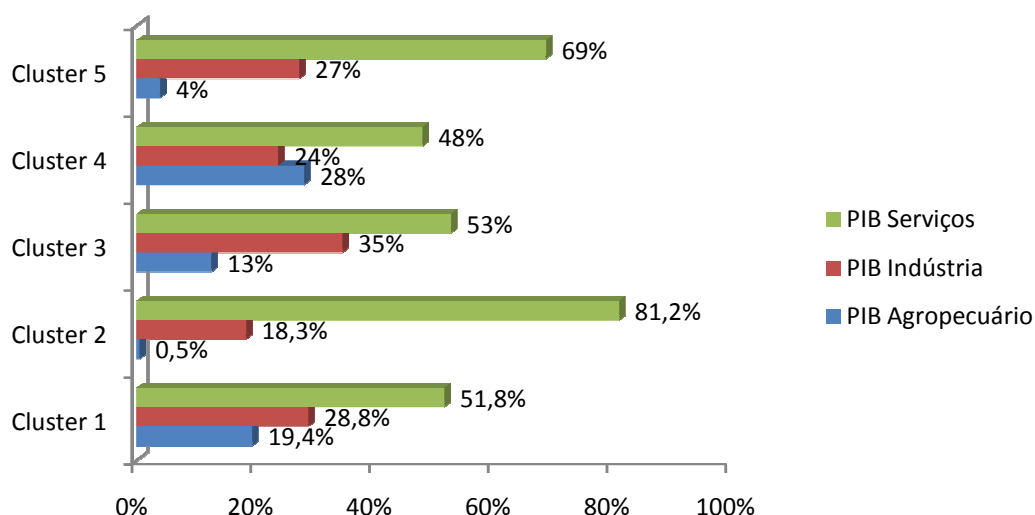


Figura 10 - PIB Serviços, Indústria e Agropecuário dos 5 clusters formados na primeira década.

Com relação às práticas agrícolas o cluster obteve forte carga fatorial no fator 6. Esse fator corresponde ao valor da produção da cana-de-açúcar. Formosa possuía duas usinas e Goiânia não possuía nenhuma de acordo com a União dos Produtores de Bioenergia – UDOP (2011).

Na análise dos dados na primeira década constatou-se que Goiânia possuía em torno de 5.000 ha cultivados com cana. Na presente década o município continua a expandir sua área com cana-de-açúcar possuindo em torno de 8.846 ha.

5.2.2.3. Cluster 3

Esse cluster foi formado pelos municípios de Santa Helena de Goiás, localizado no estado de Goiás, e Canápolis, Iturama e Uberaba, localizados em Minas Gerais. O cluster corresponde a 2% dos municípios da bacia do rio Paranaíba. Sua população média é de 86.455 habitantes e equivale a 4% da bacia, possuindo taxas elevadas de urbanização. Na Tabela 24 são apresentados os municípios do cluster 3. Nesse agrupamento, Uberaba se destaca em relação ao IFDM. Possui elevado desenvolvimento e os demais possuem médio desenvolvimento.

Tabela 24 - População do cluster 3 (2000 a 2009)

Município	UF	População urbana	População rural	Total	Taxa de urbanização (%)	IFDM
Santa Helena de Goiás	Goiás	32.756	2.030	34.786	94	0,724
Canápolis	MG	9.504	1.469	10.973	87	0,750
Iturama	MG	28.210	1.944	30.154	94	0,683
Uberaba	MG	283.820	3.940	287.760	97	0,817

Fonte: Dados censitários do IBGE.

Os setores urbano e rural demandam 372Ls^{-1} per capita, sendo Uberaba responsável por 299Ls^{-1} . O consumo industrial é em torno de 206Ls^{-1} . O cluster possui área irrigada equivalente a 78.400 hectares e uma demanda

importante de 32.000Ls⁻¹ nos meses de agosto e setembro. Nas atividades de pecuária o consumo é de 20Ldia⁻¹.

Os escore fatorial mais forte para a ocorrência desse agrupamento foi o fator 5, produção da cana-de-açúcar. O cluster possui sete usinas sucroalcooleiras em atividade. Observando a Figura 11 tem-se a área destinada para o plantio cana dos municípios para as duas décadas. O aumento foi substancial se comparado os dois períodos. Esse resultado confirma o bom desempenho dos municípios do cluster 3 nesse fator. Exceto pelo fator 5 os municípios desse cluster tendem apresentar características diferentes.

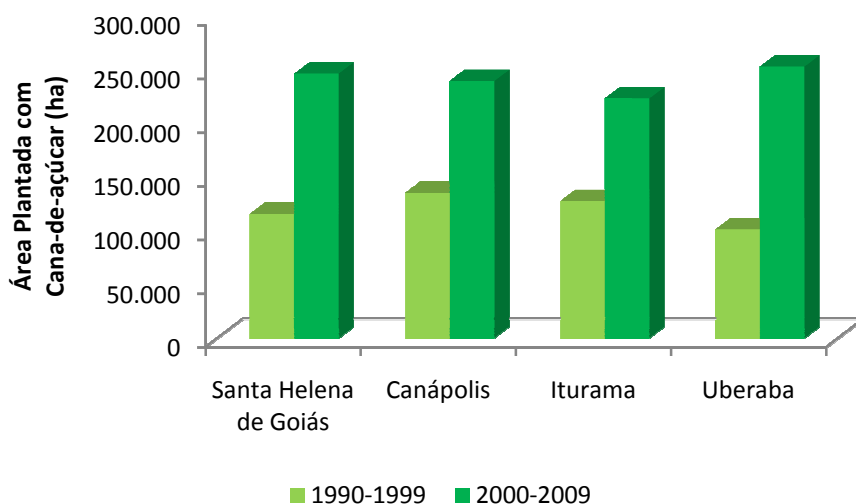


Figura 11 - Expansão da cana-de-açúcar nos municípios do cluster 3, nas décadas de 1990 e 2000.

5.2.2.4. Cluster 4

Esse grupo corresponde a 4% dos municípios da bacia do rio Paranaíba. A população desse aglomerado de acordo com o censo do IBGE 2000 e 2007 eram de 323.457 habitantes, o que representa a 7% da população total da bacia. Os municípios do cluster não apresentam homogeneidade em relação à taxa de urbanização. A maioria não chega a 90% (Tabela 25). O cluster é formado pelos municípios Araguari, Campos Altos, Carmo do Paranaíba, Coromandel, Monte Carmelo, Patrocínio, Rio Paranaíba e Serra do

Salitre, todos localizados no estado de Minas Gerais e apresentam médio desenvolvimento.

Para o abastecimento público, o cluster demanda aproximadamente 320Ls⁻¹ per capita. Possuem área irrigada de 6.000 hectares, demandando 2.700Ls⁻¹ durante os meses de agosto e setembro. O setor industrial consome cerca de 102L s⁻¹ e para a pecuária em torno de 1.000L dia⁻¹.

Tabela 25 - População do cluster 4 (2000 a 2009)

Município	UF	População urbana	População rural	Total	Taxa de urbanização (%)	IFDM
Araguari	MG	96.094	8.095	104.189	92	0,784
Campos Altos	MG	18.301	992	19.293	95	0,735
Carmo do Paranaíba	MG	24.967	5.119	30.086	83	0,663
Coromandel	MG	20.796	6.626	27.422	76	0,720
Monte Carmelo	MG	38.453	5.681	44.133	87	0,711
Patrocínio	MG	66.988	10.372	77.360	87	0,682
Rio Paranaíba	MG	6.406	4.763	11.169	57	0,739
Serra do Salitre	MG	7.066	2.742	9.807	72	0,630

Fonte: Dados censitários do IBGE.

O cluster 4 obteve escore fatorial elevado no fator 3, cafeicultura. Conforme pode ser observado na Tabela 26, todos pertencem ao Estado de Minas Gerais e estão localizados na região sudeste da bacia. Esse Estado possui forte tradição na produção do café. A Figura 12 apresenta o cultivo dessa lavoura para os cinco clusters. Vale ressaltar que o cluster 1 corresponde a 181 municípios da bacia e esse total representa 31% do cultivo do café na bacia.

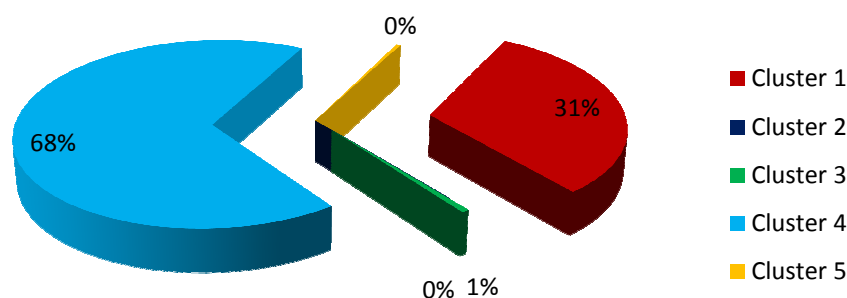


Figura 12 - Cafeicultura em hectares (2000 a 2009) cluster 4.

5.2.2.5. Cluster 5

O agrupamento 5 corresponde 1% do total de municípios da bacia, sendo constituído pelos municípios de Prata e Uberlândia, localizados na região do Triângulo Mineiro, no estado de Minas Gerais. Sua população média é de 689.668 habitantes, o que representa 6% da população da bacia. Uberlândia é um polo econômico de referência para a região da bacia do rio Paranaíba. Possui o maior IFDM da bacia (Tabela 26).

Tabela 26 - População cluster 5 (2000 a 2009)

Município	UF	População urbana	População rural	Total	Taxa de urbanização (%)	IFDM
Prata	MG	18.766	6.745	25.511	73,0	0,651
Uberlândia	MG	602.253	6.116	608.369	98,0	0,860

Fonte: Dados censitários do IBGE.

O cluster obteve melhor desempenho nos fatores 2 (Citrus) e 4 (Economia e Urbano). Esse cluster contribui com 37% da lavoura de laranja na

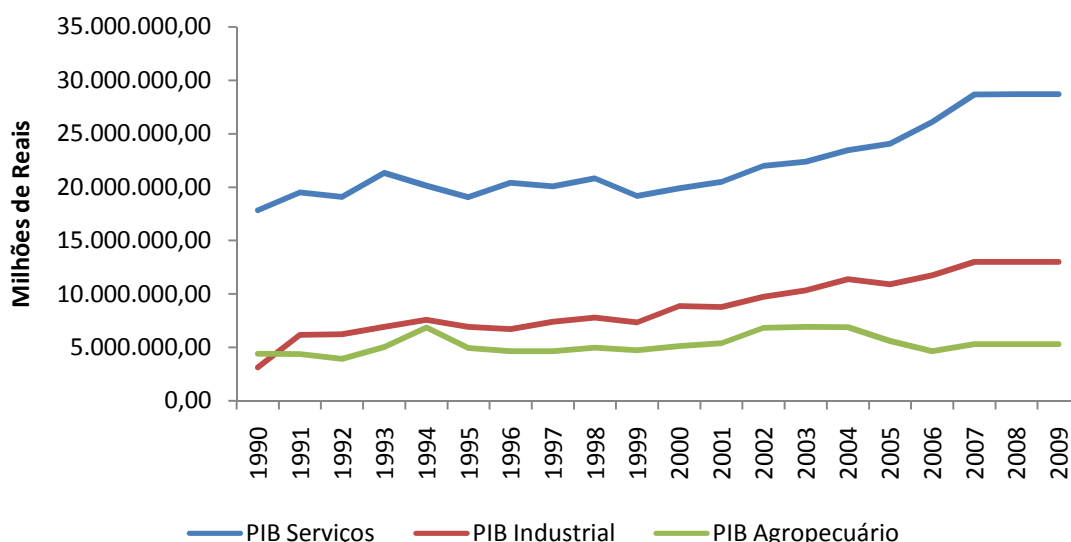
bacia. Esse resultado corrobora com o forte desempenho do escore fatorial do fator 2.

As principais demandas hídricas do cluster estão relacionadas ao setor pecuário, em torno de 32.000Ldia^{-1} . Os municípios que compõem o cluster estão entre os 10 maiores consumidores de água desse setor. O abastecimento público (rural e urbano) consome aproximadamente 1.100Ls^{-1} per capita. Possuem em torno de 9.750 hectares de área agrícola irrigada, e que demandam 5.650Ls^{-1} durante os meses de agosto e setembro. O setor industrial possui consumo de 73Ls^{-1} da vazão captada.

5.3. Análise das duas décadas

Este estudo envolveu um período de 20 anos de análise com 23 variáveis para cada um dos 197 municípios pertencentes à bacia do rio Paranaíba. O trabalho buscou caracterizar os municípios da bacia de acordo com seu desempenho agrícola.

A população da bacia hidrográfica do rio Paranaíba apresentou crescimento nas duas décadas estudadas. A forte urbanização da população brasileira pode ser replicada a bacia do rio Paranaíba. Os municípios desta bacia são predominantemente urbanos quando observados os dados da década de 2000. A maior concentração dos núcleos urbanos é verificada nas cidades que desempenham o maior nível de influência e que naturalmente possuem os maiores valores para o PIB, Goiânia, Uberlândia e Uberaba. Esses municípios juntamente a Patos de Minas foram os que apresentaram o maior desenvolvimento entre os municípios inseridos na bacia do rio Paranaíba. A maioria está classificada com médio desenvolvimento. A Figura 13 apresenta a evolução do PIB na bacia.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do IBGE.

Figura 13 - Evolução do Produto Interno Bruto da bacia ao longo das décadas de 1990 e 2009.

O crescimento do PIB serviços e indústria foram importantes nos municípios da bacia. O maior valor do PIB da bacia está concentrado no setor serviços, pois nesse está inserida uma grande diversidade de atividades econômicas no segmento de administração, saúde, educação e todas as demais prestações de serviços. O PIB indústria apresentou importante crescimento o que pode estar relacionado às indústrias de máquinas e rações para atender a importante atividade agrícola na bacia.

No início da década de 1990 o PIB agropecuário estava acima do PIB Industrial. No entanto, rapidamente o PIB industrial ultrapassou permanecendo em crescimento constante.

Todo esse dinamismo econômico na bacia após 1990 é resultado da expansão da fronteira agrícola para essa região, devido, sobretudo, às condições naturais de clima, relevo, e solo favoráveis a expansão agrícola.

A primeira década compreende os anos de 1990 a 1999. Nesse período, predominava na bacia municípios com população abaixo de 20.000 habitantes e havia 54 municípios com população urbana inferior a 60%.

No período 2000-2009 houve um importante êxodo rural e havia somente 18 municípios com população urbana inferior a 60%. A migração da população rural para a área urbana é um fenômeno que ocorre em todo o

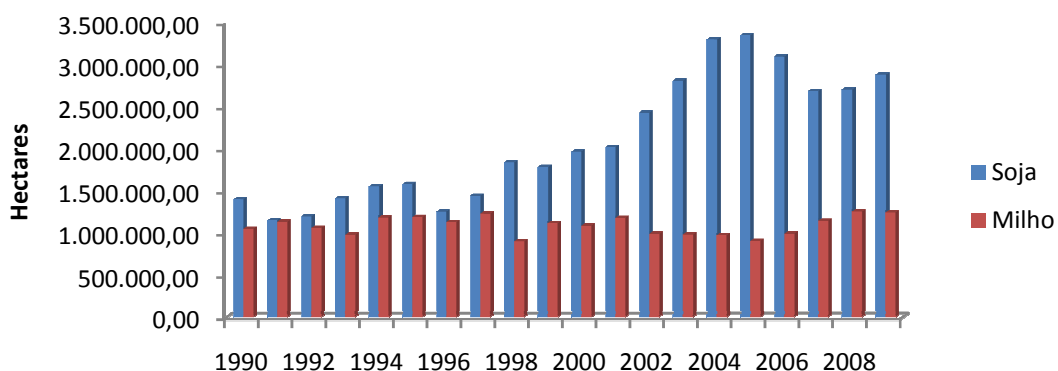
Brasil. Na grande maioria das vezes ocorre em função da mecanização agrícola e a busca de melhores condições de vida nas cidades. O aumento populacional em qualquer região sempre vem acompanhado de maior demanda por recursos hídricos para consumo direto, produção de alimentos, bens e serviços.

Em relação ao agrupamento pelas atividades agrícolas, observa-se que na maior parte dos clusters houve forte correlação nas atividades agrícolas, especialmente para a formação do cluster 1 na primeira e segunda década. Conforme é apresentado em Diniz (1995), no período 1992/1994 a produção de grãos na região Centro-Oeste aumentou de 10,8 para 21,9%. Enquanto a produção brasileira cresceu 177% no período, a do Centro-Oeste cresceu 461%.

De acordo com a Embrapa (2006), a produção de milho e soja no Brasil, contribui com cerca de 80% da produção de grãos no país. A liquidez imediata da soja devido suas características de “commodity” no mercado internacional e a produção do milho para atender o mercado doméstico, principalmente, indústria de ração animal, são as diferenças básicas nestes produtos. No entanto, a cultura do milho para fins comerciais tem aumentado muito nas duas últimas décadas apresentando taxas de crescimento da produção de 3,0% ao ano e da área cultivada de 0,4% ao ano.

A Figura 14 apresenta a tendência da área plantada com grãos na bacia. Verifica-se em alguns períodos um decréscimo na área do milho, provavelmente em decorrência da concorrência com a soja devido sua importância do mercado internacional, e com a lavoura canavieira que tem se expandido na bacia.

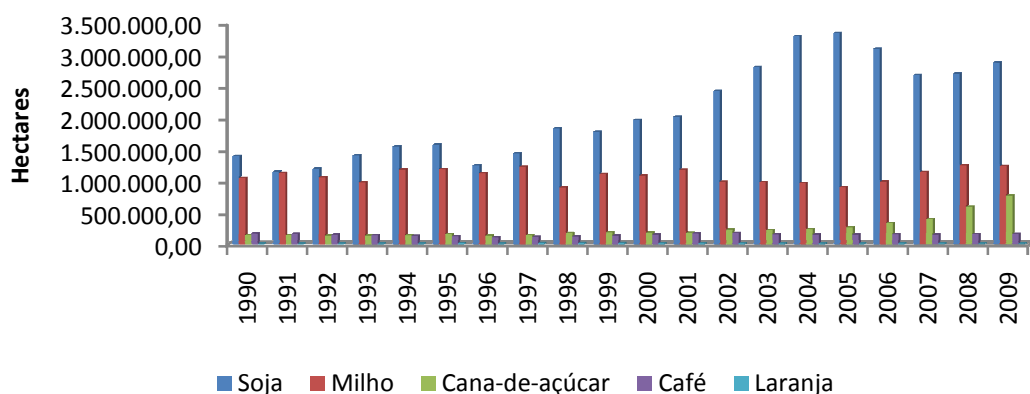
A soja é uma cultura intensamente praticada nas regiões brasileiras. Brandão et al. (2005), apresentam uma análise do crescimento agrícola e verificou uma recente e forte expansão agrícola de 22,8% na área plantada de grãos no período de 2001 a 2004. Somente neste período o aumento foi de 39,8% nas regiões Sul e Sudeste e 66,1% na região Centro-Oeste.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do IBGE.

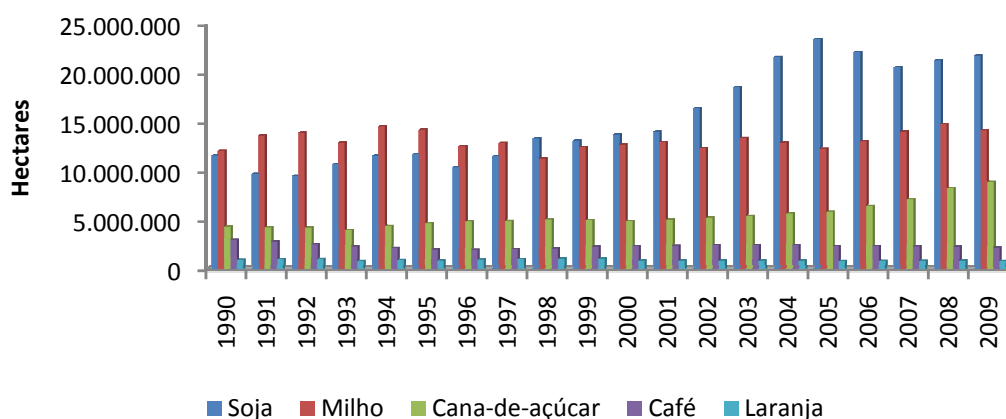
Figura 14 - Evolução da área planta de soja e milho na bacia do rio Paranaíba nas décadas de 1990 e 2000.

A partir da análise das Figuras 15 e 16 observa-se a contribuição na produção das principais culturas praticadas na bacia em relação à produção do Brasil.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do IBGE.

Figura 15 - Expansão das culturas agrícolas na bacia do rio Paranaíba ao longo das décadas de 1990 e 2000.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do IBGE.

Figura 16 - Expansão das culturas agrícolas no Brasil durante as décadas de 1990 e 2000.

A produção de grãos é o grande destaque no uso do solo na bacia e no Brasil. Elas tiveram comportamento similar com alguns períodos de retração e crescimento. A área cultivada com laranja teve queda na bacia, mas em termos de Brasil essa lavoura permaneceu constante. A área com lavouras de café teve uma leve queda no Brasil a partir de 1995 e manteve-se estável até 2009. Na bacia, essa lavoura apresentou aumento na segunda década.

Observando o comportamento das lavouras para a bacia e para o Brasil, observa-se que a cana manteve seu aumento constante. Esse resultado condiz com a literatura consultada sobre a forte expansão na cana no Brasil e na bacia do rio Paranaíba.

A cana-de-açúcar é uma cultura que vem sendo estudada por vários centros de pesquisa a fim de verificar em quais áreas ela tem se expandido e suas possíveis consequências negativas e, ou, positivas. No caso da bacia do rio Paranaíba observa-se a crescente expansão dessa cultura ao longo das duas décadas analisadas. Possivelmente, a expansão dessa lavoura está relacionada a fatores como a revalorização do álcool como combustível, grandes extensões territoriais e a mecanização favorecida pelo relevo da região.

As regiões do Triângulo Mineiro e Sul de Goiás possuem terras com alta e média capacidade para produção de cana-de-açúcar em sequeiro

(MANZATTO, 2009). Essas regiões são as de maior formação da bacia hidrográfica do rio Paranaíba (Figura 3 do Anexo).

Os rebanhos analisados na primeira década não foram contemplados no resultado da análise fatorial da segunda década. Entretanto, o Brasil é o maior produtor de carne bovina, o segundo produtor em aves e o quarto em suínos (NEVES et al., 2010a). Conforme os dados do IBGE (2009), a região Centro-Oeste é a principal detentora de rebanho bovino do Brasil com 34,4% do efetivo nacional.

A prática pecuária mais representativa na bacia são os rebanhos bovino e suíno. O rebanho bovino possui uma distribuição de forma mais homogênea e contava com 334.470.366 de cabeças até o final do ano de 2010. Já a criação de suínos possuía 36.941.247 de cabeças no mesmo período. Os municípios que se destacam na produção de suínos são Ituiutaba, Monte Alegre de Minas, Patos de Minas, Patrocínio, Rio Verde e Uberlândia. A produção de aves também é significativa na bacia contando com 857.264.305 de cabeças (galos, galinhas, frangas, frangos e pintos).

Nessa segunda década foi importante a comparação dos clusters em relação do consumo de água para as atividades urbanas e rurais. O agrupamento 2 possui grande demanda dos recursos hídricos para as atividades de pecuária, 32.000 Ldia⁻¹. Possui uma importante demanda de irrigação durante os meses de agosto e setembro. No cluster 3 a demanda mais importante é para o abastecimento urbano de Uberaba. No cluster 1 o consumo mais importante de água são para os 10 maiores municípios, vista seu elevado grau de urbanização.

Os resultados da ANA (2011) apontam que a agricultura é responsável por 70% do consumo total de água na bacia. Essa demanda tende a aumentar impulsionada pela expansão agrícola que está ocorrendo na bacia.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na bacia do rio Paranaíba o uso agropecuário está relacionado principalmente aos cultivos de soja, milho, cana-de-açúcar e café e às criações de bovinos, suínos e frangos. Constata-se uma grande faixa agrícola que se

estende do oeste da bacia, em direção a Jataí, Rio Verde e Quirinópolis, até a região leste de Uberlândia.

Os resultados indicaram que os municípios da bacia possuem grande vocação para as atividades agropecuárias. As análises de cluster e fatorial mostraram-se eficientes e descreveram de maneira sumarizada as atividades mais importantes das variáveis analisadas para o conjunto de 197 municípios pertencentes à bacia. Embora a produção de grãos ocupe a maior área na bacia hidrográfica em estudo, verificou-se uma importante expansão dos plantios de cana-de-açúcar nas duas últimas décadas. A população e a economia na bacia têm crescido substancialmente, conforme os resultados dos censos analisados ao longo do período.

7. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Diagnóstico da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba – parte B**. Brasília, 2011. (Contrato 012/2010 – Revisão 2).

ALMEIDA, Josimar Ribeiro de; BASTOS, Anna Christina Saramago; MALHEIROS, Telma Marques; SILVA, Dalton Marcondes. **Política e planejamento ambiental**. 3.ed. Rio de Janeiro: Thex, 2004.

ALVES, Nádia C.G.F. **Competitividade da produção de cana-de-açúcar no cerrado goiano**. 2009. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) – Faculdades Alfa, Goiânia, GO.

BELLEN, Hans Michael van. **Indicadores de sustentabilidade**: uma análise comparativa. Rio de Janeiro: FGV, 2006.

BRANDÃO, Antônio Salazar Pessoa; REZENDE, Gervásio Castro de; MARQUES, Roberta Wanderley da Costa. **Crescimento agrícola no período 1999-2004**: explosão da área plantada com soja e meio ambiente no Brasil. Rio de Janeiro, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Cerrado e Pantanal**: áreas e ações prioritárias para conservação da biodiversidade. Brasília, 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Assessoria de Gestão Estratégica. **Brasil**: projeções do agronegócio 2010/2011 a 2020/2021. Brasília, 2011a. 59 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Conjunto de normas legais: recursos hídricos**. 7.ed. Brasília, 2011b. 640 p.

BUARQUE, Sérgio C. **Construindo o desenvolvimento local sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2004.

CASTRO, Selma S. de; ABDALA, Klaus; SILVA, Adriana A.; BORGES, Vonedirce. A expansão da cana-de-açúcar no cerrado e no estado de Goiás. **B. Goiano. Geografia**, Goiânia, v. 30, n. 1, p. 171-190, 2010.

COELHO, Ana Carolina; GONTIJO JUNIOR, Wilde Cardoso; CARDOSO NETO, Antônio. **Unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos: uma proposta metodológica**. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2004.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Perfil do setor do açúcar e do álcool no Brasil**. Brasília, 2008. 76 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Perfil do açúcar e do álcool no Brasil**: edição para a safra de 2008/2009. Brasília, 2010. 80 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, primeiro levantamento abril/2012**. Brasília, 2012.

DINIZ, Clério Campolina. **A dinâmica regional recente da economia brasileira e suas perspectivas**. Brasília: IPEA, 1995. 46 p. (Texto para discussão, 375).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado. **II Plano Diretor Embrapa Cerrados 2000-2003**. Planaltina, 2002. 32p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_2ed/mercado.htm>. Acesso em: 28 abr. 2011.

FÁVERO, Luiz Paulo; BELFIORE, Patrícia; SILVA, Fabiana Lopes da; CHAN, Betty Lilian. **Modelagem multivariada para tomada de decisões**. Amsterdam: Elsevier, 2009. 672p.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – FIRJAN. **Índice FIRJAN de desenvolvimento municipal**. Disponível em: <<http://www.firjan.org.br/IFDM/>>. Acesso em: 20 jul. 2012.

FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – FBDS. **Economia das mudanças climáticas no Brasil**: estimativas da oferta de recursos hídricos no Brasil em cenários futuros de clima (2015-2100). Brasília, 2010. 78 p.

GOLDEMBERG, José; COELHO, Suani Teixeira; GUARDABASSI, Patrícia. **The sustainability of ethanol production from sugarcane**. São Paulo: USP, 2008.

HAIR JUNIOR, J.F. **Análise multivariada de dados**. 6.ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HOBSBAWM, Eric. **A era dos extremos**: o breve século XX - 1914-1991. São Paulo: Companhia das Letras, 1995.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Área territorial oficial**. Disponível em: <<http://www.ibge.com.br/home/geociencias/areaterritorial/principal.shtm>>. Acesso em: 05 ago. 2010.

INSTITUTO EUVALDO LODI – IEL. **O novo ciclo da cana**: estudo sobre a competitividade do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar e prospecção de novos empreendimentos. Brasília: IEL/NC, SEBRAE, 2005. 337 p.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEADATA. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br>>. Acesso em: 08 ago. 2010.

LOARIE; Scott R.; LOBELL, David B.; ASNER, Gregory P.; MU, Qiaozhen; FIELD, Christopher B. Direct impacts on local climate of sugar-cane expansion in Brazil. **Nature Climate Change**, v. 1, p. 105-109, 2011.

MACEDO, I.C. (Org.). **A energia da cana-de-açúcar**: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade. São Paulo: Berlendis & Vertecchia, ÚNICA (União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo), 2005.

MACHADO, Ricardo B.; RAMOS NETO, Mario B.; PEREIRA, Paulo Gustavo P.; CALDAS, Eduardo F.; GONÇALVES, Demerval A.; SANTOS, Nazareno S.; TABOR, Karyn; STEININGER, Marc. **Estimativas de perdas da área do Cerrado brasileiro**. Brasília, 2004. (Relatório técnico não publicado).

MANZATTO, C.V.; ASSAD, E.D.; BACCA, J.F.M. et al. **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. (Documentos, 110).

MAROCO, João. **Análise estatística**: com utilização do SPSS. 3.ed. Lisboa: Sílabo, 2007. 822 p.

MELLO, Leonardo Freire de; OJIMA, Ricardo. **Além das certezas e incertezas**: desafios teóricos para o mito da explosão populacional e os acordos internacionais. Campinas: UNICAMP, 2004.

MERICO, Luiz Fernando Krieger. **1964 - Introdução à economia ecológica**. Blumenau: FURB, 1996. 160p. (Coleção Sociedade e Ambiente, 1).

MINGOTI, S.A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada**: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: UFMG, 2007. 297 p.

MODAK, Prasad; BISWAS, Asit K. **Conducting environmental impact assesment in developing countries**. Tokyo: United Nations University, 1999. 364 p.

NEVES, Marcos Fava; JANK, Marcos Sawaya. **Perspectiva da cadeia produtiva da laranja no Brasil**: a agenda 2015. São Paulo, 2006.

NEVES, Jairo Pereira; MIRANDA, Karina Leite; TORTORELLA, Rodrigo Dorneles. Progresso científico em reprodução na primeira década do século XXI. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 414-421, 2010a.

NEVES, Marcos Fava; TROMBIN, Gustavo Vinicius; CONSOLI, Matheus. **Etanol e bioeletricidade**: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética. São Paulo: Luc Projetos de Comunicação, 2010b.

PESTANA, M.H.; GAGEIRO, J.N. **Análise de dados para ciências sociais**: a complementaridade do SPSS. 4.ed. Lisboa: Sílabo, 2005. 690 p.

PORTO, Monica F.A.; PORTO, Rubem La Laina. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, 2008.

RODRIGUES, Délcio; ORTIZ, Lúcia. **Em direção à sustentabilidade da produção de etanol de cana de açúcar no Brasil**. Amigos da Terra Brasil, Vitae Civilis, 2006.

SACHS, Ignacy. **Rumo à ecossocioeconomia**: teoria e prática do desenvolvimento. São Paulo: Cortez, 2007.

SACHS, Ignacy. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. 3.ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2008.

SANO, Edson, Eyji; ROSA, Roberto; BRITO, Jorge Luiz Silva; FERREIRA, Laerte Guimarães. **Mapeamento de cobertura vegetal do bioma cerrado**: estratégias e resultados. EMBRAPA, 2007. (Documentos, 190).

SCHLESINGER, Sérgio. **Lenha nova para velha fôrnalha**: a febre dos agrocombustíveis. Rio de Janeiro: FASE, 2008. 108p.

SHIKIDA, Pery Francisco Assis. A agroindústria canavieira no Paraná e seus aspectos locacionais: uma abordagem sobre o zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar. **Economia & Tecnologia**, ano 7, v. 26, 2011.

SILVA, Christian Luiz da. Desenvolvimento sustentável: um conceito multidisciplinar. In: SILVA, Christian Luiz da; MENDES, Tadeu Grassi. **Reflexões sobre desenvolvimento sustentável**: agentes e interações sobre a ótica multidisciplinar. Petrópolis: Vozes, 2005. p. 11-40.

SILVA, Christian Luiz da; SOUZA-LIMA, José Edmilson de. **Políticas públicas e indicadores para o desenvolvimento sustentável**. São Paulo: 2010. 192 p.

TORRES FILHO, E.T.; PUGA, F. Exportações brasileiras: um cenário pós-crise internacional. In: GIAMBIAGI, F.; BARROS, O. (Orgs.). **Brasil pós-crise**: agenda para a próxima década. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

UNIÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA – UDOP. Disponível em: <<http://www.udop.com.br/>>. Acesso em: 10 out. 2012.

VEIGA, José Eli da. **Sustentabilidade**: a legitimidade de um novo olhar. São Paulo: Senac, 2010.

VIANNA, Sérgio Besserman; VEIGA, José Eli da; ABRANCHES, Sérgio. A sustentabilidade do Brasil. In: GIAMBIAGI, Fábio; BARROS, Octavio de. **Brasil pós-crise**: agenda para a próxima década. Rio de Janeiro. Elsevier, 2009.

8. APÊNDICE

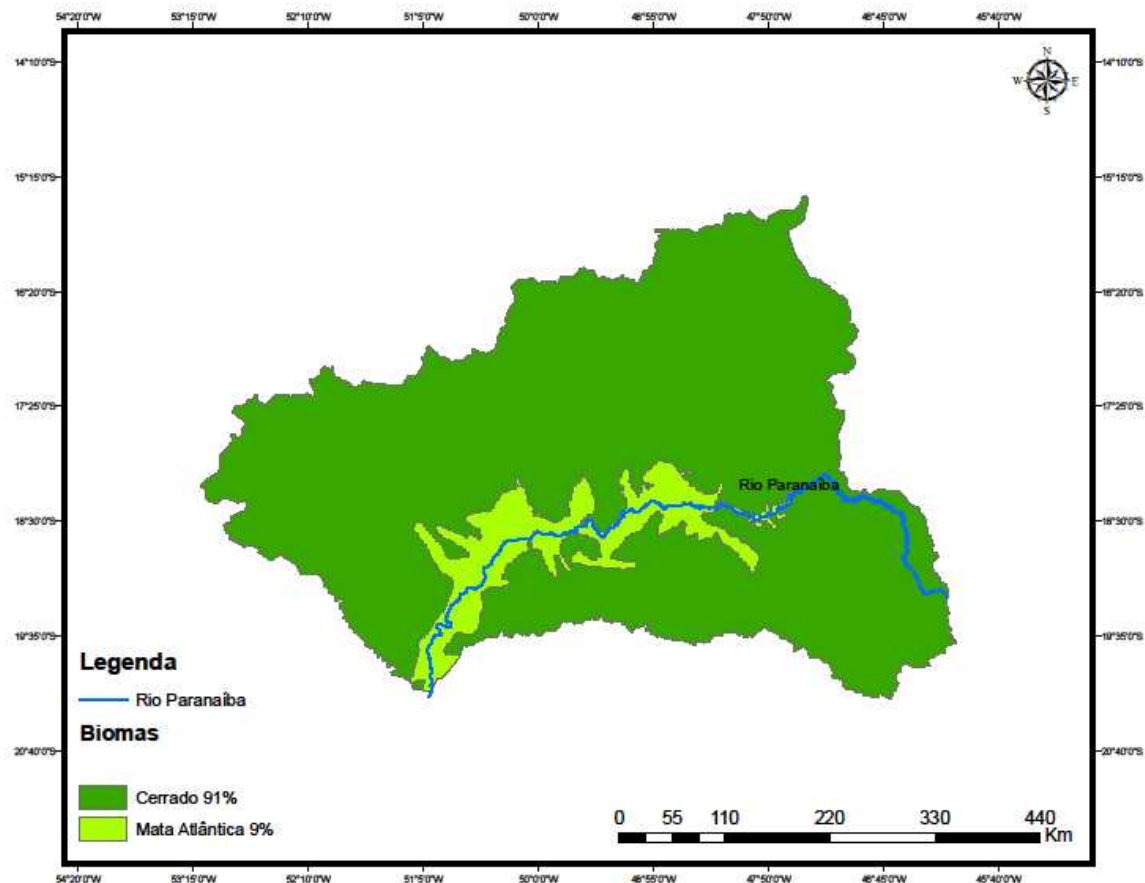


Figura 1A - Municípios pertencentes à bacia do Rio Paranaíba.

Tabela 1A - Municípios que extrapolam aos limites da bacia

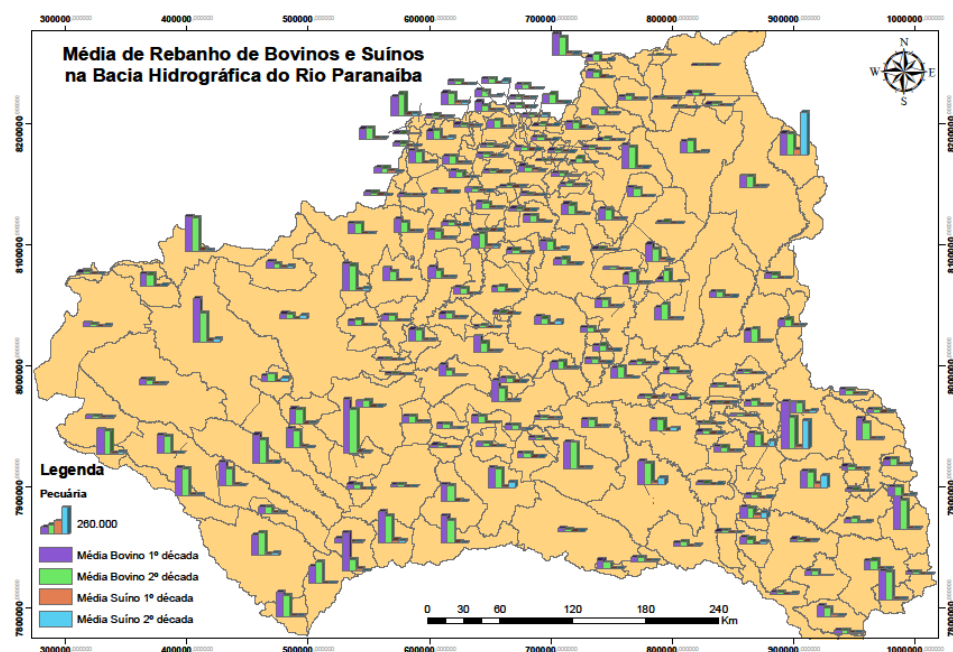
Município	UF
Aparecida do Taboado	MS
Aurilândia	GO
Caiaçônia	GO
Campina Verde	MG
Campo Florido	MG
Carneirinho	MG
Firminópolis	GO
Formosa	GO
Guarda-Mor	MG
Itaberaí	GO
Iturama	MG
Jesúpolis	GO
Lagamar	MG
Mossâmedes	GO
Paracatu	MG
Petrolina de Goiás	GO
Pirenópolis	GO
Planaltina	GO
Sacramento	MG
Sanclerlândia	GO
Santa Rosa de Goiás	GO
São João da Paraúna	GO
São Luís de Montes Belos	GO
São Roque de Minas	MG
Taquaral de Goiás	GO
Uberaba	MG
Unaí	MG
Veríssimo	MG

Fonte: IBGE (2010).



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do IBGE.

Figura 2A - Biomas na Bacia Hidrográfica do Paranaíba.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do IBGE.

Figura 3A - Pecuária da bacia do Rio Paranaíba.

CAPÍTULO 2

ESTUDO DOS IMPACTOS NOS RECURSOS HÍDRICOS DA EXPANSÃO DA LAVOURA DE CANA-DE-AÇÚCAR NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA

1. INTRODUÇÃO

Na medida em que a população aumenta e a economia cresce, o consumo de água aumenta proporcionalmente, pois os usos desse recurso estão em todas as etapas das atividades humanas seja para consumo, dessedentação de animais, atividade agrícola ou industrial. Consiste no recurso mais utilizado e de maior importância para os seres vivos.

Para Tundusi (2003), os usos múltiplos aumentam à medida que as atividades econômicas se diversificam e as necessidades de água aumentam para atingir níveis de sustentação compatíveis com as pressões da sociedade de consumo, a produção industrial e agrícola. A pressão sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos aumentam de acordo com o crescimento da economia e aumento da renda per capita. Nesse contexto, toda região compreendida por uma bacia hidrográfica necessita de avaliações dos diversos usos do solo e da água, consistindo em uma ferramenta importante para promover o uso sustentável desses recursos.

De acordo com Krusche et al. (2005), o uso e a cobertura do solo têm papel fundamental no estudo do ambiente em escalas global, regional e local. Aguiar (2011) detectou variações no balanço hídrico em áreas do Cerrado. A pesquisa apresentou que a mudança no uso e cobertura do solo pode alterar o balanço energético na superfície terrestre, e consequentemente a taxa de evapotranspiração e na infiltração da água no solo, a qual origina os fluxos hídricos superficiais.

A bacia hidrográfica do rio Paranaíba está na rota da expansão da cana-de-açúcar. Essa é uma cultura com grande demanda de água. Segundo Pereira (2009), a cana possui potencial de alterar o balanço hídrico em bacias hidrográficas. Esse potencial vem do grande consumo de água pela planta, pois possui elevado índice de área foliar podendo alcançar de 80 a 100 t ha⁻¹ ano⁻¹. Todo esse potencial necessita de elevada taxa de transpiração.

A bacia hidrográfica do rio Paranaíba é composta por 198 municípios distribuídos em 16 sub-bacias. Possui grande potencial agrícola e atualmente é ocupada por 44% de pastagens, 38% por agricultura, 13% por Cerrado e os 5% restantes por reservatórios e áreas urbanas, sendo o setor agrícola responsável por 70% do consumo de água (AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA, 2010). De acordo com Manzatto (2009), a região compreendida pela bacia possui áreas com alto e médio potencial para produção da cana-de-açúcar em regime de sequeiro e de forma sustentável.

Dados obtidos através da análise da literatura apontam que a mudança do uso da terra nas regiões compreendidas pela bacia hidrográfica do rio Paranaíba está sendo a conversão de pastagens e áreas de grãos em monoculturas de cana-de-açúcar (MACEDO, 2005; SANO et al., 2008; CASTRO et al., 2010; SANTOS, 2011; LOARIE et al., 2011).

O conhecimento da expansão da cultura da cana-de-açúcar nas bacias hidrográficas torna-se uma ferramenta indispensável no gerenciamento dos recursos hídricos.

Diante do contexto, esse capítulo teve como objetivo avaliar o impacto da mudança do uso do solo nos recursos hídricos na bacia do rio Paranaíba, com destaque para possíveis alterações no uso da água. Esta análise se deu pela modelagem espaço-temporal da evapotranspiração da cana-de-açúcar e da pastagem. Foram analisadas também as implicações dessa mudança de uso em duas sub-bacias hidrográficas, cujos dados históricos de vazão são disponíveis entre 1990 e 2010.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Cerrado e expansão agrícola

O Bioma Cerrado compreende aproximadamente 207 milhões de hectares, equivalentes a 24% do território nacional (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, 2005). É destacada pela diversidade de paisagens, pela predominância nos estados de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (região Centro-Oeste) e pela presença nos

estados de Minas Gerais, São Paulo, Bahia, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Roraima, Pará e Rondônia.

A região é caracterizada pela ocorrência de duas estações bem definidas ao longo do ano com verões chuvosos, porém podendo ocorrer “veranicos” nesse período, geralmente associados a altas taxas de evapotranspiração. O inverno é seco podendo durar cerca de cinco a seis meses nos meses de abril a setembro, com precipitações que variam entre 900 mm a 2.000 mm (LOPES; GUILHERME, 1994).

Os solos são antigos, profundos, bem drenados, com baixa fertilidade natural e acidez acentuada. Mais de 95% das classes são classificados como Latossolos (50%), juntamente com Podzólicos (15%), Areias Quartzosas (15%), Litólicos e Cambissolos (10%) e Plintossolos (6%) (MACEDO, 1996).

O grande desenvolvimento agrícola do Cerrado foi impulsionado pela facilidade de remoção da vegetação nativa e por fatores positivos como temperatura, luminosidade, topografia plana e grande disponibilidade de calcário. Fatores socioeconômicos que beneficiaram esse desenvolvimento foram: preço baixo da terra, infraestrutura, pesquisa, assistência técnica, políticas de investimentos com juros subsidiados e de prazos longos, migração de agricultores do sul do País, afeitos à agricultura mais intensiva e ao mercado em desenvolvimento (EMBRAPA, 2005).

A safra 2011/2012 vai levar o país a um novo recorde na produção de grãos (BRASIL, 2011). A área na região Centro-Oeste destinada ao cultivo de grãos na safra 2011/2012 é de 17.391,6 mil hectares, havendo incremento de 2,7% em relação à safra anterior. A área cultivada é inferior somente a região Sul com 17.661,0, sofrendo queda de 0,4% em relação à safra anterior.

O novo Plano Agrícola e Pecuário manterá seus investimentos a fim de assegurar e ampliar a produtividade rural. Os destaques são para a pecuária, a cana-de-açúcar e a agroenergia. No caso da cana-de-açúcar e dos biocombustíveis, estão asseguradas linhas de crédito para promover a expansão e renovação dos canaviais com objetivo de maior produtividade e estabilização da oferta de etanol.

De acordo com as informações da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2011), a lavoura de cana-de-açúcar teve seu crescimento mais expressivo nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul,

Goiás e Mato Grosso. Além do aumento da área cultivada, novas usinas entraram em funcionamento na safra 2010/2011. A expansão ainda é elevada em São Paulo, seguida por Minas Gerias, Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso.

Segundo Tucci (2002b), o Centro-Oeste onde se encontra grande parte do Cerrado brasileiro, área de grande potencial agrícola depende muito da regularização da água já que o lençol freático é profundo (Planalto) e a sazonalidade anual da precipitação mostra vários meses (maio a agosto) praticamente sem precipitação. Portanto, a viabilidade da expansão agrícola desta área está relacionada com a disponibilidade hídrica e sua regularização.

A bacia hidrográfica do rio Paranaíba ocupa uma área aproximada de 222.000 km² na região Centro-Oeste. Possui características predominantes do Cerrado, como tipo climático, solos e relevo. Nesse sentido, o estudo sobre as culturas de cana-de-açúcar e pastagem e sua relação com os recursos hídricos na BHRP faz-se de grande importância em função de ser uma área onde a expansão da cana-de-açúcar está ocorrendo em substituição à pastagem.

2.2. Bacia hidrográfica, unidades de planejamento e ocupação

Bacia hidrográfica é um termo que pode ser definido como uma área definida topograficamente fechada, composta por um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por um curso principal ou um sistema conectado de cursos d'água, tal que toda vazão efluente seja descarregada em uma simples saída (TUCCI, 2002a).

A bacia hidrográfica transforma a entrada principal de água (precipitação) e saídas como vazão, evapotranspiração e por infiltração profunda (TUCCI, 2002a). Essa saída é distribuída no tempo e é influenciada pelo tipo de solo, pela vegetação e pelos usos e ocupação do solo. Possui características físicas que compõem um importante grupo de fatores que influem no escoamento superficial:

- Área de drenagem
- Forma da bacia
- Sistema de drenagem
- Relevo da bacia

A bacia hidrográfica é a região geográfica onde ocorre de forma mais direta a relação entre o homem e a natureza. Pelo caráter integrador, Guerra e Cunha (1996) citam que as bacias hidrográficas são consideradas excelentes unidades de gestão dos elementos naturais e sociais, pois, nesta ótica, é possível acompanhar as mudanças introduzidas pelo homem e as respectivas respostas da natureza. Ainda, de acordo com esses autores, em nações mais desenvolvidas, a bacia hidrográfica também tem sido utilizada como unidade de planejamento e gerenciamento, compatibilizando os diversos usos e interesses pela água e garantindo sua qualidade e quantidade.

A forma de uso e ocupação de uma bacia hidrográfica interfere diretamente na dinâmica do clima, substituindo áreas naturais por pastagens ou para agricultura. As modificações da superfície vegetada irão alterar o comportamento hidrológico na bacia. Tucci (2002a) considera que a ação do homem em uma bacia hidrográfica tem impacto direto sobre o escoamento superficial e armazenamento da água no solo. Os resultados são refletidos no comportamento das enchentes, nas vazões mínimas e na vazão média, além das condições ambientais locais e a jusante. As alterações sobre o uso e manejo do solo numa bacia hidrográfica podem ser classificadas quanto ao tipo de mudança, ao uso da superfície e a forma de desmatamento.

Para gerir de forma sustentável os recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, deve-se focar nos elementos socioeconômicos, tipo de ocupação, apoiados nos estudos climatológicos destacando a distribuição espacial das chuvas no interior das bacias observando o comportamento das vazões, com o objetivo de utilizar eficientemente esses recursos para produção agrícola.

Segundo Coelho et al. (2004), quando se considera uma bacia hidrográfica para a gestão das águas é necessário atentar a duas condições fundamentais: a garantia da disponibilidade hídrica e o atendimento qualitativo e quantitativo às demandas de água naquele território. A proteção das águas superficiais é promovida, principalmente, pela proteção dos ecossistemas naturais e pela regulação do uso do solo. Outra parte importante no equilíbrio da bacia é a manutenção dos ecossistemas aquáticos, que necessita de aporte de água com quantidade e qualidade suficiente, devendo ser garantida no balanço hídrico da bacia.

A quantificação da evapotranspiração em uma bacia hidrográfica é uma tarefa essencial para o gerenciamento dos recursos hídricos (BARRETO et al., 2009). O conhecimento da evapotranspiração potencial e real, balanço hídrico, déficit e excedente, são informações imprescindíveis para o bom planejamento e sucesso nos usos do solo em uma bacia hidrográfica.

A compreensão destes processos fornece subsídios para o entendimento da organização espacial da área estudada, principalmente quanto ao uso da água. Visto que a intensa utilização dos mananciais superficiais para atender a demanda das atividades agrícolas, causa enormes impactos aos recursos hídricos da bacia hidrográfica.

O setor agrícola da BHRP é responsável por 70% do consumo de água, devido à extensa área irrigada, do período de maior estiagem, considerado os meses de agosto e setembro. O maior consumidor é o estado de Goiás com 54%, em função da maior proporção de a bacia estar inserida nesse estado. Minas Gerais consome, 38%, o Distrito Federal, 6% e o Mato Grosso do Sul com 2%.

As estimativas de áreas irrigadas na BHRP são de 500.000 hectares, segundo estudos da Agência Nacional de Águas (ANA, 2011b). O maior problema da irrigação é a sua utilização nos meses agosto e setembro, considerados no estudo, os de maior déficit hídrico. A cana-de-açúcar e o café foram as culturas de referência no estudo. No caso da cana, ocorre pelo fato de forte expansão e o grande consumo pelas usinas sucroalcooleiras.

2.3. Características da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma gramínea perene, que perfilha de maneira abundante, na fase inicial do desenvolvimento. Quando se estabelece como cultura, o autossombreamento induz inibição do perfilhamento e aceleração do colmo principal. O crescimento em altura continua até a ocorrência de alguma limitação no suprimento de água e de baixas temperaturas. É uma planta de metabolismo fotossintético C4, assim chamada por formar compostos orgânicos com quatro carbonos durante a fotossíntese. É considerada altamente eficiente na conversão de energia radiante em energia química, com

taxas fotossintéticas calculadas em até 100 mg de CO₂ fixado por dm² de área foliar por hora (RODRIGUES, 1995).

Existem dois sistemas de produção da cana-de-açúcar: cana-planta e cana-soca. Conceitua-se cana-planta aquela que se inicia com o plantio da muda e se encerra com o primeiro corte. Após o primeiro corte recebe o nome de cana-soca, ou seja, a cana que recebeu pelo menos um corte. A partir daí são chamadas soqueiras (CARVALHO, 2009). Segundo Oliveira (2010), após o corte da cana-planta, permanecem no solo as socas ou soqueiras da cana-de-açúcar. Com o corte da parte aérea da cana-de-açúcar, há perda de boa parte do sistema radicular da antiga planta. O corte da cana-de-açúcar possibilita a renovação da cultura, não só da parte aérea, mas também do seu sistema radicular. O ciclo da cana-soca dura aproximadamente 12 meses. As soqueiras podem ficar no campo por 5 a 6 cortes, dependendo das condições de manejo.

A região Centro-Sul possui condições climáticas favoráveis para que o cultivo ocorra em duas épocas distintas, proporcionando cultivos conhecidos como cana-ano e cana-de-ano-e-meio (CARVALHO, 2009; SEGATO et al., 2006).

A cana-de-ano e meio (18 meses), plantada de janeiro ao início de abril, apresenta taxa de crescimento mínimo ou mesmo nula ou negativa, de maio a setembro, em função das condições pouco favoráveis do inverno, como pequena disponibilidade hídrica no solo ou mesmo déficit hídrico, baixas temperaturas e menores intensidades de radiação. Já com o início das precipitações, aumento da intensidade luminosa e também da temperatura, a fase de maior desenvolvimento da cultura acontece de outubro a abril, com o pico do crescimento por volta de dezembro a abril (RODRIGUES, 1995).

A cana-de-ano, normalmente, é plantada entre setembro e novembro, no início da estação chuvosa e quente, com colheita após um ciclo médio de 12 meses. Neste sistema, o canavial apresenta máxima taxa de crescimento entre novembro e abril em virtude do longo fotoperíodo, alta temperatura e disponibilidade hídrica, diminuindo após esse período devido às condições climáticas adversas, com possibilidade de colheita, dependendo da variedade, a partir do mês de julho. Tem-se, então, aproximadamente oito meses de desenvolvimento vegetativo e quatro meses para ocorrer a maturação (SEGATO et al., 2006).

2.4. Condições climáticas para o cultivo da cana-de-açúcar e consumo de água

A cana-de-açúcar é uma cultura muito influenciada em relação a variações climáticas ao longo de todo o seu ciclo vegetativo podendo trazer benefícios ou não ao final do seu ciclo.

É uma cultura que apresenta grandes adaptações climáticas, encontra-se nas suas melhores condições quando há um período quente e úmido (fase de crescimento) e um período seco, ensolarado e mais frio durante as fases de maturação, ou seja, um ambiente com duas estações bem definidas (BRUNINI, 2008).

Segundo Doorenbos e Kassam (1979), a temperatura é um dos fatores mais importantes na produção da cana-de-açúcar, sendo que a sua temperatura ótima gira em torno de 22 a 30°C, condições nas quais a cultura apresenta seu máximo desenvolvimento. Não é muito exigente em relação ao solo. A planta pode se desenvolver em solos com pH em torno de 5,0 a 8,5. Afirmam que a umidade é um condicionante importante a obtenção máxima da produtividade, pois o crescimento da cultura é proporcional à água transpirada.

Argeton (2006, citado por PEREIRA, 2009) assinala que a água é o elemento mais importante na produção da cana-de-açúcar. Para manter suas funções básicas, a planta carece de uma precipitação que varia de 1.500 a 2.500 mm ano⁻¹, um valor muito superior ao demandado por outras culturas comerciais como a soja e o café, o que tem causado impactos nos balanços hídricos territoriais.

2.5. Mudança do uso da terra

O cerrado (24% do território) passou a ser utilizado extensamente para agropecuária nestes últimos 40 anos. Até hoje, a expansão da cana-de-açúcar em áreas ocupadas por Cerrados foi muito pequena. Ela tem ocorrido com substituição de outras coberturas que já haviam substituído o Cerrado (em geral, pastagens). A cultura da cana-de-açúcar tem se expandido em áreas mais pobres (principalmente “cerrados fortemente antropizados”, na sua maioria pastagens extensivas). Ela concorre para a recuperação destes solos,

adicionando matéria orgânica e fertilização químico-orgânica, contribuindo para melhorar o seu condicionamento físico-químico e incorporando solos à área agricultável brasileira (MACEDO, 2005).

Segundo Instituto Euvaldo Lodi – IEL (2005), Rodriguez e Ortiz (2006) e Loarie et al. (2011), a expansão está ocorrendo em substituição às áreas anteriormente destinadas a pastagem. Não significa que essa prática agrícola tem diminuído, mas está sendo realizada de forma intensiva, ou seja, mais cabeça de gado em menor área. Os resultados da CONAB, 2008-2009, indicam que o plantio da cana substituiu 80% das áreas destinadas a pastagens. Esse fato é em decorrência da cana não ser cultura de abertura de áreas virgens da fronteira agrícola. Os resultados sugerem que essa recente expansão e modificação da paisagem merecem ser examinadas com mais cautela a fim de observar se o crescimento dos canaviais provoca impactos positivos ou negativos.

Santos et al. (2011) identificaram através de imagens de satélites que a grande intensificação de conversão de áreas de pastagem para cana ocorreu no ano agrícola de 2006/2007. A mudança foi de 45,2% nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

Os efeitos negativos da mudança de uso da terra vão desde o desmatamento, empobrecimento na diversidade ambiental, erosão com consequente assoreamento dos cursos d'água além das mudanças climáticas locais. Essas alterações serão maiores de acordo com a opção de uso e as espécies cultivadas. Segundo Feres et al. (2009), as mudanças no uso da terra são particularmente grandes contribuintes para as mudanças climáticas.

Silveira et al. (2000) simularam os efeitos da mudança no uso da terra de floresta natural para pastagem e posteriormente, para cana-de-açúcar. A simulação da transição de uma floresta para pasto, seguida do cultivo da cana-de-açúcar, mostrou um decréscimo na concentração de C nas diferentes frações da matéria orgânica do solo similar ao encontrado na simulação de floresta com relação à cana-de-açúcar. Na primeira mudança (floresta-pastagem), a perda de C foi de 24%, enquanto na segunda alteração (pastagem-cana) a perda foi de 22%. Os fatores que contribuem para a diminuição da concentração de C no solo foram erosão e mineralização da matéria orgânica do solo.

Calder (1998) assinala que o tipo de uso e cobertura está estreitamente relacionado com o processo de evapotranspiração. Pois, cada espécie cultivada apresenta diferentes adaptações, capacidade de absorção de água em função da estrutura e profundidade do sistema radicular e do estágio fenológico relacionado ao potencial de transpiração em função da área foliar. Dessa forma, o tipo de cobertura irá afetar o balanço hídrico nas bacias hidrográficas, pois haverá alteração no escoamento superficial, na interceptação e conseqüentemente nos processos de evapotranspiração.

O referido autor considera ainda que o estudo da evapotranspiração é um componente importante para estimar o consumo de água em ambientes naturais e cultivados com culturas de ciclo curto e médio.

2.6. Evapotranspiração da cana-de-açúcar e da pastagem

A evapotranspiração pode ser definida como sendo o processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação da água do solo e da vegetação úmida e por transpiração das plantas. A ET juntamente com a precipitação assume papel fundamental no balanço hídrico das bacias hidrográficas. O balanço entre a entrada de água pela chuva numa bacia hidrográfica e saída pela ET resulta na vazão (Q) do sistema de drenagem (PEREIRA et al., 2007).

A evapotranspiração depende do tipo da cultura, seu ciclo, condições de manejo e mesmo a posição geográfica no globo terrestre. Os canaviais brasileiros situam-se em sua maior parte nas regiões mais quentes e com valores de precipitação que variam entre 1.000mm ano⁻¹ a 2.000mm ano⁻¹.

A cana é uma cultura especialmente exigente em relação à água. A maior disponibilidade desse recurso resultará em maiores ganhos de produtividade. Isso associado à temperatura média em torno de 25°C. A quantidade de água exigida é calculada a partir da quantidade de água perdida no sistema solo-planta pela evapotranspiração da cultura, que considera fatores variáveis como o ciclo de produção (cana planta ou soca), a temperatura do local, a variedade da planta, a área foliar do canavial, as características do solo etc.

Cabral et al. (2003) obtiveram valores de evapotranspiração real de 939mm ano^{-1} em cultivo de cana soca, manejo sequeiro em Sertãozinho (SP). Ao final do ciclo que variam de $0,5\text{ mm dia}^{-1}$ (na estação seca) a $6,7\text{ mm dia}^{-1}$ (na estação chuvosa), correspondendo a 70% da precipitação total (1.351mm ano^{-1}).

Almeida et al. (2008) analisaram um cultivo de cana-soca em manejo sequeiro, cultivado em Latossolos Amarelo textura média na região de Rio Largo, AL. Os autores obtiveram ETR para cana soca de 1.258mm ao final do ciclo de 360 dias.

Analisando a evapotranspiração de dois ciclos consecutivos (393 e 374 dias) de cana-soca manejo sequeiro através do método eddy-covariância (Covariância de Vórtices Turbulentos), o qual propicia uma medida direta de CO_2 e H_2O em uma superfície vegetada, Cabral et al. (2012) obtiveram no primeiro ciclo 829mm ETR e no segundo 690mm ETR . Os valores de ETR foram impulsionados pela energia disponível e esse valor se aproximou da ETo quando o solo completamente coberto.

Segundo Meirelles (2003), o Cerrado possui aproximadamente 50 milhões de hectares de pastagens cultivadas. Nos meses secos essa cobertura possui uma taxa evaporativa superior a transpiração devido ao baixo IAF. Após eventos de precipitação, os valores médios de $5,19 (+1,9)\text{ mm dia}^{-1}$ e máximos encontrados de $8,5\text{mm dia}^{-1}$. A autora realizou comparações de ET da pastagem encontradas nas regiões da Amazônia com valor médio de $2,7\text{mm dia}^{-1}$, valores entre $4,1$ e $4,8\text{mm dia}^{-1}$ em ecossistemas campestres localizados entre as latitudes 39° e 50°N . Valores máximos de $6,2\text{mm dia}^{-1}$, com IAF de 1,6 durante a estação chuvosa foram encontrados na Venezuela. Segundo a autora, os maiores valores encontrados provavelmente foram devido a diferenças ecofisiológicas e as altas demandas evaporativas do Cerrado.

Silva et al. (2003b) encontraram valores de ET da pastagem superiores da do Cerrado. Os referidos autores concluíram que o cultivo de gramíneas exóticas carrega o potencial de alterar o balanço hídrico no Cerrado, uma vez que podem extrair mais água do solo levando a diminuição da recarga e a menor disponibilidade de água para os ecossistemas naturais devido às altas taxas de evapotranspiração da região.

Em um experimento com cana-soca, Gava et al. (2010) encontraram valores de ETR de 927 mm ano⁻¹ para cultivo em sequeiro e 1.070 mm ano⁻¹ para o manejo irrigado. Em termos médios diários tem-se 2,9 mm dia⁻¹ para manejo irrigado e 2,5 mm dia⁻¹ para sequeiro.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo e base de dados

3.1.1. Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Paranaíba (BHRP) (Figura 1), situada entre os paralelos 15°00' e 20°00' de latitude Sul e entre os meridianos 53°00' e 45°00' de longitude Oeste. O rio Paranaíba nasce na serra da Mata da Corda, município de rio Paranaíba, estado de Minas Gerais. A BHRP, que integra a bacia do rio Paraná, terceira maior bacia hidrográfica do país, drena uma área de 222.767 km² e está localizada no centro-sul do Brasil região de maior dinamismo econômico, industrial e agroindustrial (ANA, 2011).

A maior parte dos solos da BHRP é constituída de latossolos (ROSSATO, 2002). Em geral, o relevo da bacia é constituído por modelados com feições homogêneas que demonstram formas muito amplas e superfícies mais suavizadas. A altitude máxima não ultrapassa os 1.400 m e ocorrem nas porções nordeste e sudeste. As menores altitudes se concentram na porção sudoeste da bacia e ao longo do canal principal do rio Paranaíba e o médio a baixo curso de seus principais afluentes da margem esquerda localizados no estado de Minas Gerais. A região oeste da bacia possui um terreno geomorfologicamente mais uniforme, cuja altitude varia entre 600 e 900m (Figura 2).

O clima predominante na bacia é “Aw”, segundo a classificação de Köppen que indica clima tropical, quente em todas as estações do ano (temperatura média mensal $\geq 18^{\circ}\text{C}$), com inverno seco.

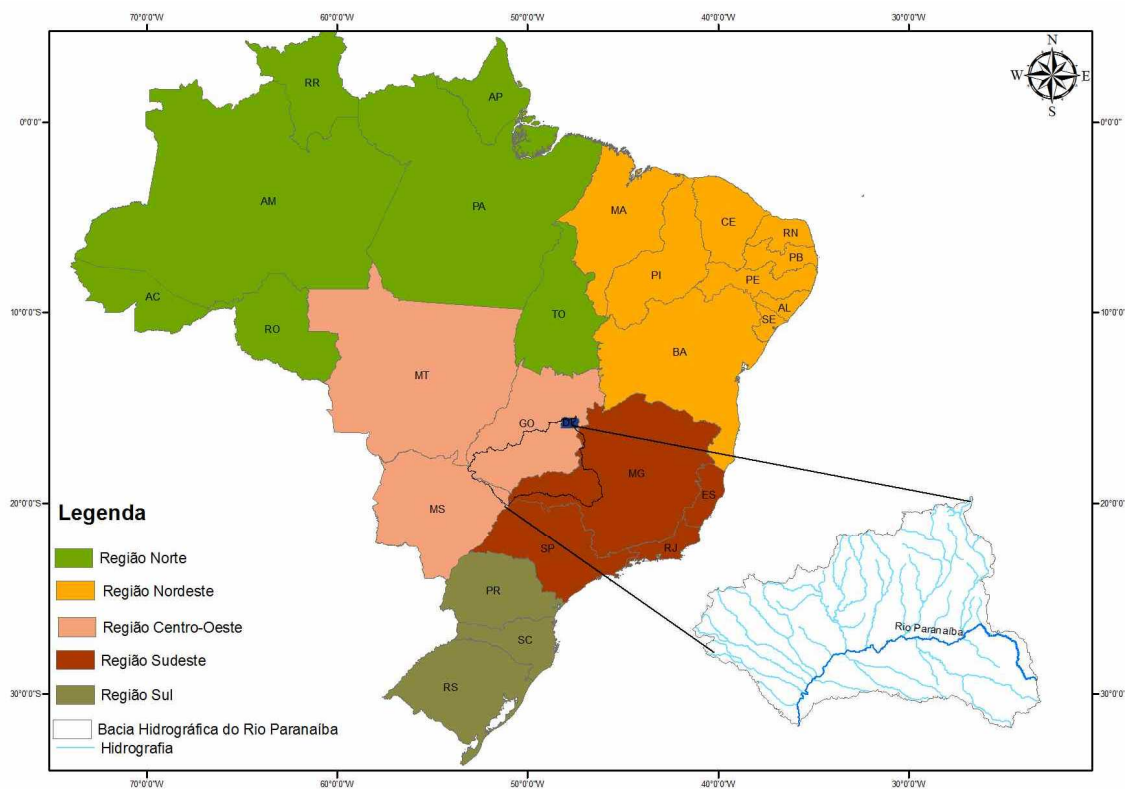


Figura 1 - Brasil: localização geográfica da bacia do Rio Paranaíba.

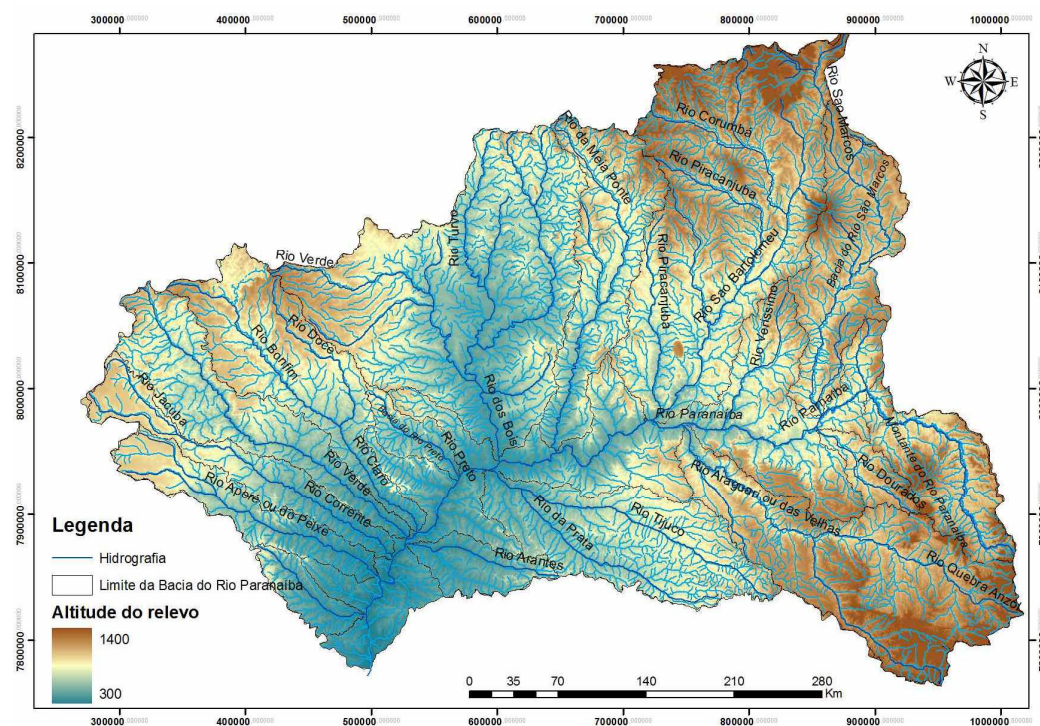


Figura 2 - Relevo e hidrografia da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.

Para a obtenção da topografia e rede de drenagem da BHRP, foi produzido um (Modelo Digital de Elevação (MDE) originário da missão de mapeamento do relevo terrestre *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), disponível no site da EMBRAPA. A partir de cartas topográficas na escala de 1:250.000 obtidas no site do IBGE delimitou-se a área correspondente da BHRP. O estudo da drenagem e delineamento das sub-bacias se deu através da função *Spacial Analyst Tools*, selecionado *hydrology* e em seguida foram realizados vários tratamentos até a localização dos cursos de água das sub-bacias, utilizando as ferramentas disponíveis no software ARCGIS, versão 9.3. A Figura 2 apresenta a rede hidrográfica completa e o nome dos principais rios das sub-bacias do Rio Paranaíba após ser recortada.

A topografia homogênea, como pode ser verificada na Figura 2, associada à posição latitudinal e à dinâmica da radiação global explicam a pequena amplitude térmica anual e pequena variabilidade espacial.

Segundo a ANA (2011), a pastagem (44%) é o principal uso da terra na BHRP, seguido agricultura (38%) e, de forma menos predominante, por Cerrados (13%). Os restantes 5% são ocupados por reservatórios (2%), áreas urbanas (1%), pivôs centrais de irrigação (1%) e remanescentes florestais (1%).

3.1.2. Dados hidrometeorológicos

Os dados climáticos, temperatura média, radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento, utilizados para o estudo são do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) (KANAMITSU et al., 2002) para o período de 1990 a 2010, nos quais foi feita uma redução de escala para a resolução de 0,5° de latitude e longitude (SILVA; RIBEIRO, 2010).

A Figura 3 apresenta uma visualização do ritmo das chuvas e temperatura no período de 1990 a 2010. Os valores de precipitação totais anuais médios menores da bacia situam-se em torno de 1.300 mm e os maiores são próximos de 1.800 mm. Em termos médios, a temperatura não varia mais do 10°C entre a mínima e a máxima.

Verifica-se um predomínio de médias mensais superiores a 18°C ao longo do ano. A umidade relativa do ar pode variar conforme o período mais

seco entre os meses de maio a agosto. Nesses meses ocorrem valores próximos aos 50%. A maior umidade ocorre no período de outubro a abril, encontrando-se acima dos 75%. Os maiores índices de umidade relativa são registrados nos meses de dezembro e janeiro. Na Figura 4 podem ser verificados os valores médios mensais da umidade relativa para o período entre 1990 a 2010.

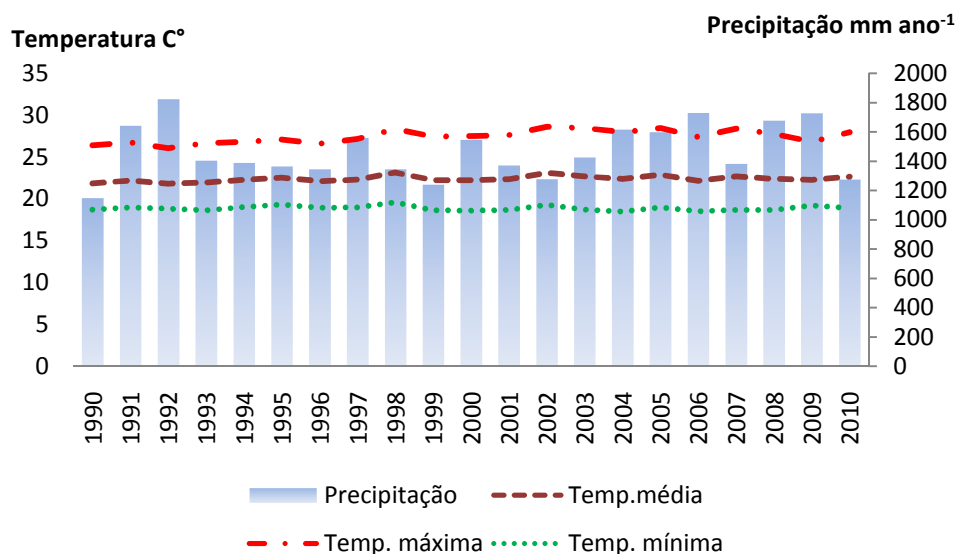


Figura 3 - Temperatura anual (mm) e precipitação anual (mm) da bacia hidrográfica do rio Paranaíba (1990 a 2010).

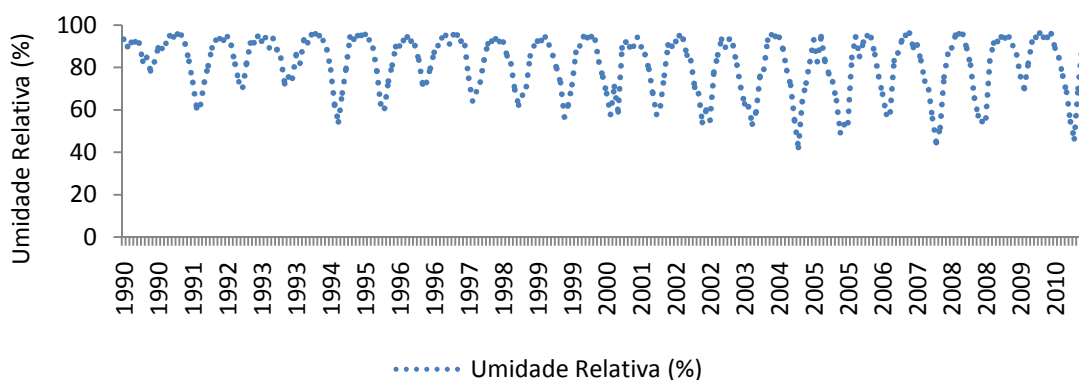


Figura 4 - Média mensal da umidade relativa (%) no período compreendido entre 1990 a 2010.

3.2. Indicadores para análise de vazão

Os indicadores de Sazonalidade e de Geração de Escoamento foram utilizados nas análises das vazões das bacias dos rios Tijuco e Arantes (MG).

O Indicador de Sazonalidade (IS%) é estabelecido pela relação entre a vazão mínima (Q₉₅), que caracteriza o período de estiagens, e a vazão média (Q_{lp}). Esse valor corresponde ao percentual da vazão média correspondente à vazão mínima. Indica a suscetibilidade da bacia a estiagens severas. É calculado pela seguinte expressão:

$$IS = \frac{Q_{95}}{Q_{lp}} \times 100$$

O indicador de Geração de Escoamento (IE%) é estabelecido pela relação entre a vazão média (Q_{lp}) e a precipitação total (P_{tot}). Corresponde ao percentual da chuva que se converte em escoamento. Indica o grau infiltração, amortecimento, reservação ou captações na bacia. É calculado pela seguinte expressão:

$$IE = \frac{Q_{lp}}{P_{tot}}$$

3.3. Determinação da evapotranspiração da cultura

Para as simulações da evapotranspiração potencial da pastagem (uso atual) e cana-de-açúcar (mudança de uso) foi utilizado o modelo de Penman-Monteith (Equação 1) e o coeficiente de cultura (Figura 5). Para o cálculo da evapotranspiração real, a penalização da disponibilidade de água no solo foi utilizada a lógica proposta por Thornthwaite e Mather (1955) para o cálculo do balanço hídrico.

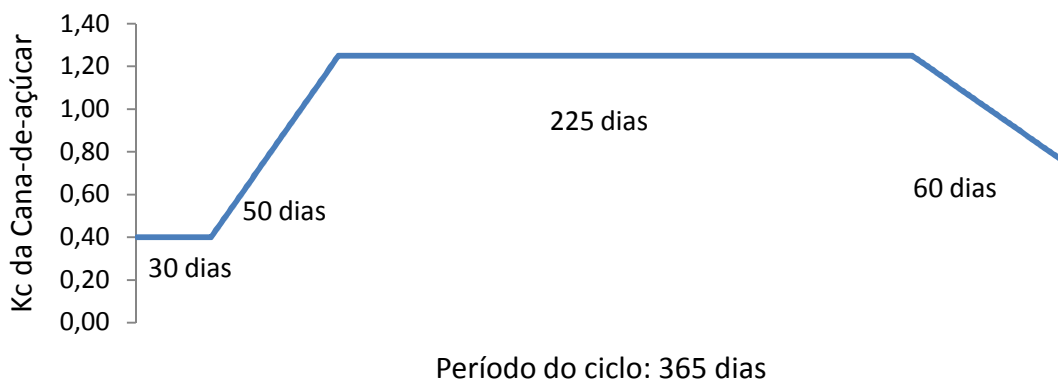
$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273,15} u_2 (es - ea)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

em que E_{to} é a evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}); R_n , o saldo de radiação total diário ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); G , o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); T_{med} , a temperatura média diária do ar a 2m de altura ($^{\circ}\text{C}$); u_2 , a velocidade do vento média diária a 2m de altura (m s^{-1}); e_s , a pressão de saturação do vapor média diária (kPa); e a , a pressão parcial de vapor média diária (kPa); Δ , a declividade da curva de pressão de saturação de vapor ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); e γ , o coeficiente psicrométrico ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

A evapotranspiração da cultura (E_{tc}) foi obtida com base nos valores de K_c propostos por Allen et al. (1998), para três fases da cana-de-açúcar, apresentados na Figura 5, e o K_c de 0,85 para pastagem.

$$E_{tc} = K_c \cdot E_{to}$$

em que E_{tc} é a evapotranspiração máxima da cultura (mm d^{-1}); E_{to} , a evapotranspiração de referência (mm d^{-1}); e K_c , o coeficiente de cultura (adimensional).



Fonte: Adaptado de Allen et al. (1998)/FAO-56.

Figura5 - Variação do K_c (coeficiente de cultura).

Nos balanços hídricos realizados foram considerados o valor de CAD de 76 mm para cana-de-açúcar e de 29 mm para a pastagem. O CAD para a cana-de-açúcar refere-se a uma média de valores propostos por diversos autores, tendo sido considerado a profundidade do sistema radicular e a curva de retenção do solo (VASCONCELLOS; CASAGRANDE, 2003; FARONI, 2004;

SEGATO et al., 2006; TEIXEIRA, 2009; LACLAU; LACLAU, 2009; FERREIRA JUNIOR, 2010). Para pastagem considerou-se o sistema radicular de 20 cm com base em Brasil et al. (2000) e Randaw et al. (2011).

3.3.1. Variação da demanda da evapotranspiração da cana-de-açúcar e da pastagem

A variação da demanda (cana-pastagem) representa a diferença entre a evapotranspiração real da cana e da pastagem.

$$\Delta ET = ETR_c - ETR_p$$

em que ΔET é a diferença entre a evapotranspiração da cana-de-açúcar e da pastagem; ETR_c , a evapotranspiração real da cana-de-açúcar; e ETR_p , a evapotranspiração real da pastagem.

A partir dessa análise pode verificar qual das práticas agrícolas demanda mais recursos hídricos.

3.4. Justificativa para escolha das sub-bacias de análise

Visando agrupar os municípios que mais apresentaram expansão da cana esses ocorreram nas seguintes sub-bacias hidrográficas: rio Turvo e dos Bois (GO), Araguari, Arantes e Tijuco em Minas Gerais. As sub-bacias são apresentadas na Figura 6, nela são apresentadas as estações de vazão e precipitação utilizada. Procurou-se utilizar estações com menor número de falhas, ou que não houvesse falhas. Para a análise utilizou-se o software HIDRO 1.2.274 disponível no site da ANA.

Esse grupo de municípios possui entre 50 mil a 404 mil hectares cultivados com cana e correspondem a 15% dos municípios da bacia do Paranaíba. Outro critério para seleção foi em relação à disponibilidade de dados de precipitação e vazão. Dessa forma, selecionaram-se as bacias hidrográficas dos rios Arantes e Tijuco, localizadas no Triângulo Mineiro para análise da evapotranspiração da cana e da pastagem incluindo a vazão. Nas

bacias hidrográficas dos rios Araguari (MG) e Turvo e dos Bois (GO) o estudo contemplou o comportamento da evapotranspiração da cana e da pastagem.

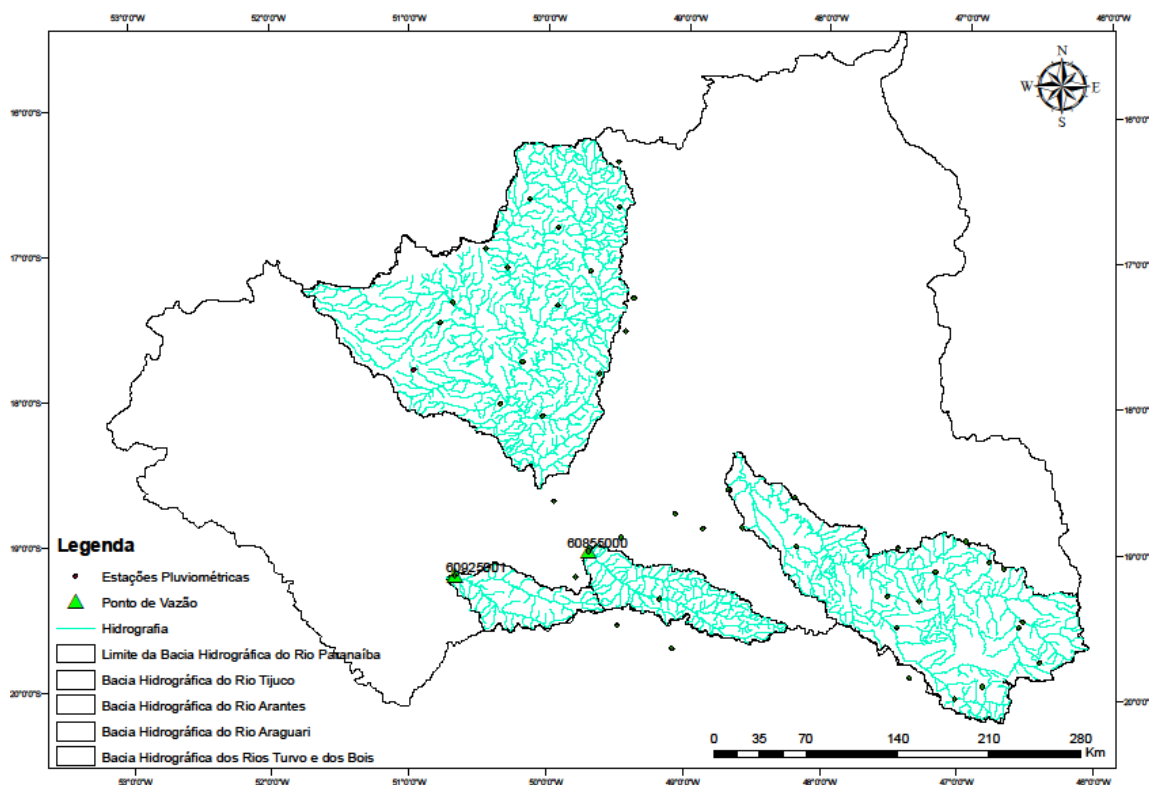


Figura 6 - Sub-bacias hidrográficas selecionadas para estudo que apresentaram maior crescimento de área cultivada com cana-de-açúcar

A partir dessa seleção, foi realizado o balanço hídrico da cultura anual a partir de 1990 até 2010, estimando a ETR da cana e da pastagem. Ao final foi contabilizada a variação da ETR da cana-pastagem em função da conversão desse uso para o plantio da cana.

3.5. Seleção do período para análise

Para o presente trabalho simulou-se períodos representativos de corte para o Centro-Sul, variando entre os meses de abril a novembro e para os anos compreendidos entre 1990 a 2010.

Para tanto, simulou-se três cenários de corte para a cana soca: ciclo de outono, entre os meses de abril a março; ciclo de inverno, para colheita de junho a maio e ciclo de primavera, novembro a outubro.

3.6. Preenchimento de falhas

O preenchimento foi feito com base na regressão linear. Esse método é uma combinação que consiste em estabelecer regressões lineares entre o posto com falhas (Y) e cada um dos postos vizinhos ($X_1, X_2, \dots, X_n$) e, a partir dos valores da regressão e de precipitação em cada estação de apoio, é calculado o valor da precipitação na estação com falha de acordo com a Equação 2.

$$P_y = \frac{r_{yx_1} P_{x_1} + r_{yx_2} P_{x_2} + r_{yx_3} P_{x_3} + \dots + r_{yx_n} P_{x_n}}{r_{yx_1} + r_{yx_2} + r_{yx_3} + \dots + r_{yx_n}} \quad (2)$$

em que P_y é a precipitação na estação em estudo (mm mês^{-1}); $P_{x_1 a x_n}$, a precipitação nas estações de apoio (mm mês^{-1}); n , o número de estações usadas para o preenchimento; r_{yxi} , o coeficiente de correlação entre os postos citados.

A condição para aplicação desse método é existência de pelo menos 3 estações de apoio com R^2 maior ou igual a 0,7 (r maior ou igual a 0,84).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Expansão da cana-de-açúcar na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba

Os resultados apontam que a expansão do cultivo da cana na bacia vem ocorrendo especialmente na parte baixa do Paranaíba, compreendendo o Triângulo Mineiro e em direção à região central até o estado de Goiás, conforme pode ser verificado na Figura 7. Possivelmente, as áreas de expansão eram ocupadas por pastagens e também pode estar relacionado ao valor mais baixo da terra. Geralmente áreas ocupadas por pastagens não

possuem benfeitorias que agregam valor a terra. Diferentemente das áreas ocupadas por grãos. Nessas regiões a terra possui maior valor agregado e geralmente são terras de maior fertilidade. Por esses motivos, a cana esteja ocupando, sobretudo áreas de pastagens.

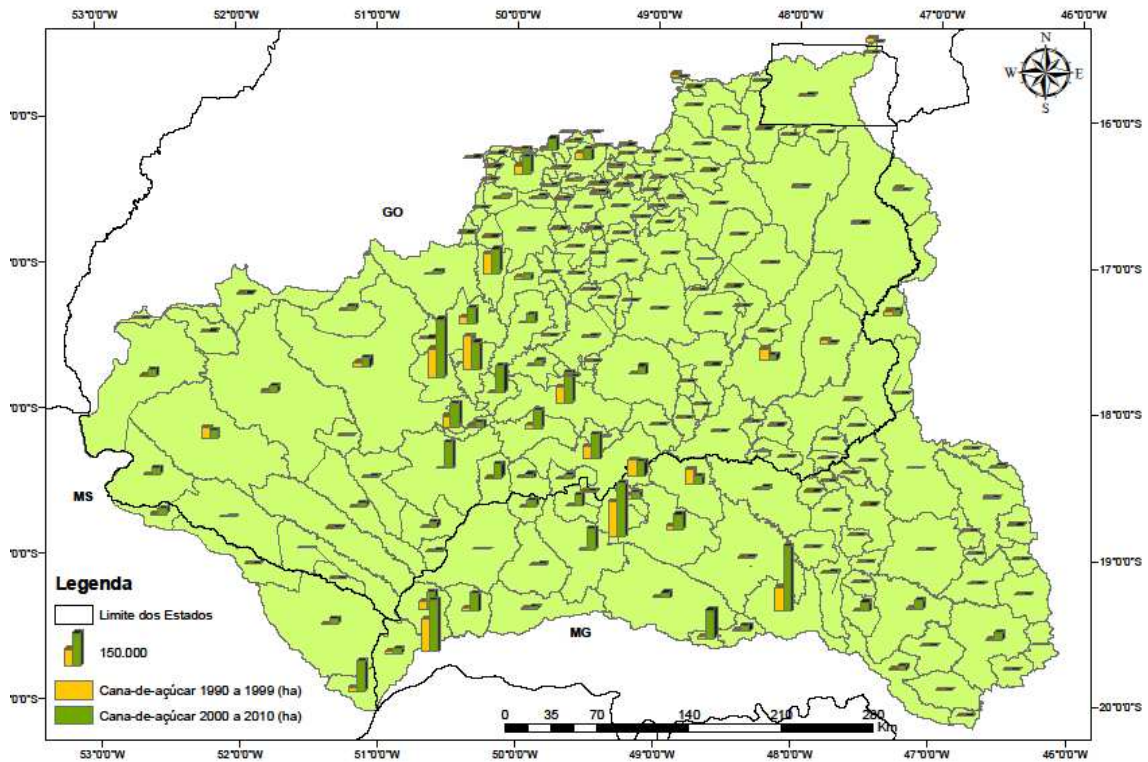


Figura 7 - Valor médio da expansão do cultivo da cana-de-açúcar em hectares durante as décadas de 1990 e 2000.

4.2.Bacia hidrográfica dos rios Turvo e dos Bois (BHRTB)

A BHRTB está situada integralmente no estado de Goiás. Abrange terras pertencentes a 52 municípios. Possui uma área de drenagem de 34.759 km² e os principais rios são rio dos Bois, rio Verde e rio Turvo. Tem suas nascentes no município de Americano do Brasil e sua foz no reservatório da UHE (Usina Hidrelétrica) de São Simão, na margem direita do rio Paranaíba, nas proximidades do município de Inaciolândia.

O comportamento da precipitação pluvial e da evapotranspiração de referência (ET_o) é apresentado na Figura 8. Os maiores valores de

precipitação ocorreram em 33% nos anos analisados com média de 1.196 mm ano⁻¹. A precipitação média compreendida em todo o período foi de 1.407 mm ano⁻¹. AET_o apresentou valor médio anual de 1.275 mm ano⁻¹ no período de análise.

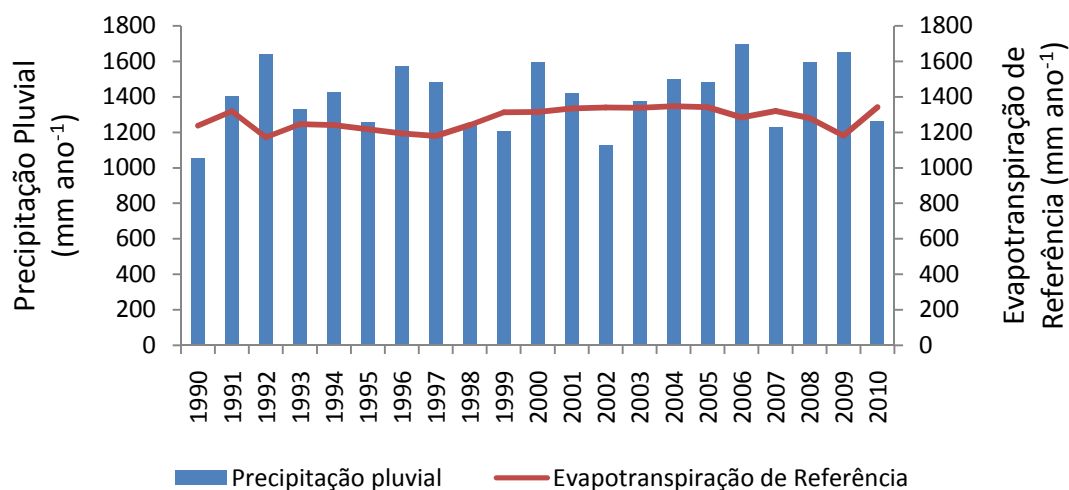


Figura 8 - Valores anuais de precipitação pluvial e evapotranspiração de referência na bacia hidrográfica do rio Turvo e dos Bois (GO) no período compreendido entre 1990 a 2010.

A bacia possuía até 2010 dois por cento de sua área ocupada com soja, um por cento com milho e um por cento com cana-de-açúcar, sendo essa última apresentando maior agregação de área a partir de 2006.

Essa bacia possui grande potencial de expansão do cultivo da cana-de-açúcar. É no estado de Goiás onde a literatura apresenta maior potencial de expansão dessa cultura.

Acreúna, Anicuns, Goiatuba, Itumbiara, Jandaia, Marilândia, Porteirão, Quirinópolis, Santa Helena de Goiás e Turvelândia, estão entre os maiores produtores com áreas superiores a 130 mil hectares cultivados com cana. Esses municípios são apresentados na Figura 9. Ao final de 2010 a cana-de-açúcar ocupava um por cento da área total da bacia.

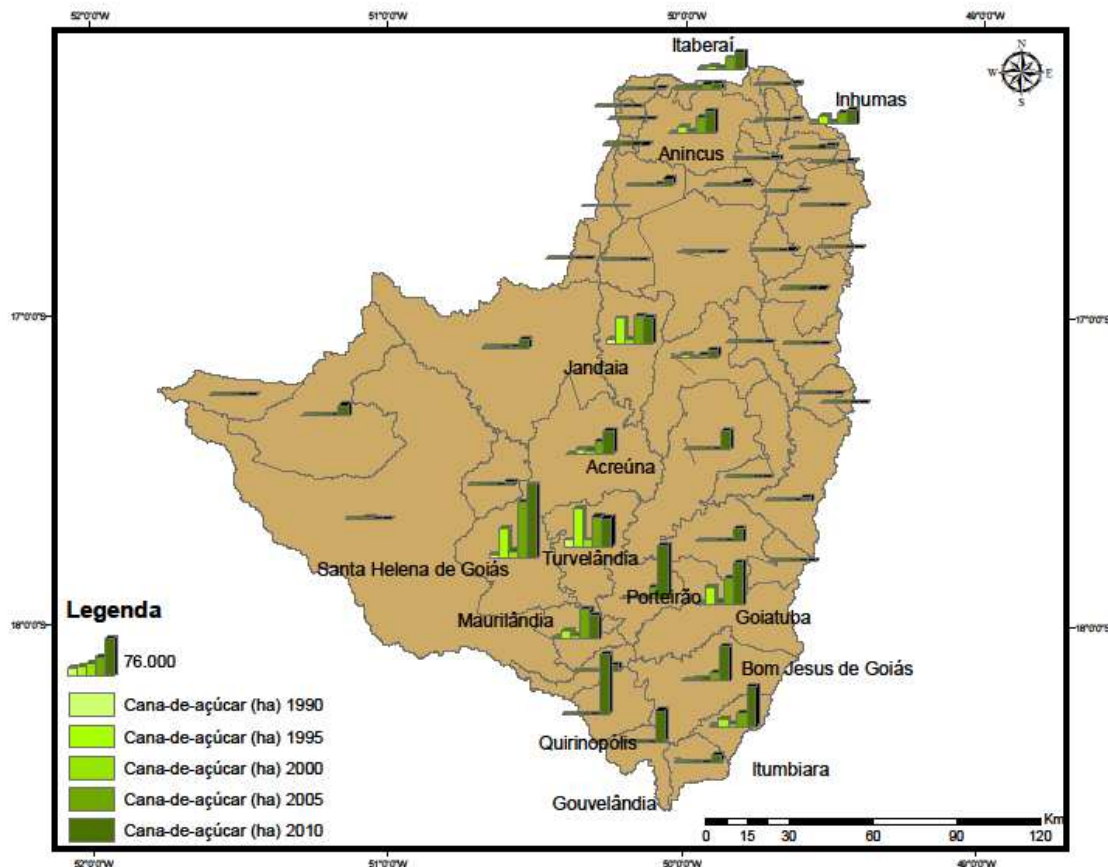


Figura 9 - Bacia hidrográfica dos rios Turvo e dos Bois (GO). Municípios e área cultivada com cana-de-açúcar para o período de 1990 a 2010.

4.2.1. Ciclo de outono: abril a março

A estimativa da ETR da cana-de-açúcar no ciclo outono para a bacia hidrográfica do rio Turvo e dos Bois (BHRTB) foi em média 915 mm ano^{-1} ao final de 365 dias e para o simulado. A ETR total da pastagem foi em média de 724 mm ano^{-1} . Valores próximos de ETR cana foram encontrados por Gava et al. (2010), em torno de 902 mm ano^{-1} para um cultivo de cana-soca em sequeiro em experimento de campo em Jaú, São Paulo.

Os valores apresentados na Figura 10 são valores mensais da evapotranspiração real (ETR) da cana e da pastagem. Em média cada mês obteve um valor de ETR de $76,3 \text{ mm mês}^{-1}$ com desvio padrão de $14,6 \text{ mm mês}^{-1}$, e a pastagem $60,3 \text{ mm mês}^{-1}$ com desvio de $12,7 \text{ mm mês}^{-1}$.

Os valores médios máximos de ETR para cana foi de 145 mm mês⁻¹, obtidos no mês de dezembro e o mínimo de 12,5mm mês⁻¹ no mês de julho. A ETR máxima média da pastagem foi de 98,5mm mês⁻¹ no mês de dezembro e a mínima de 4,0 mm mês⁻¹ no mês de julho.

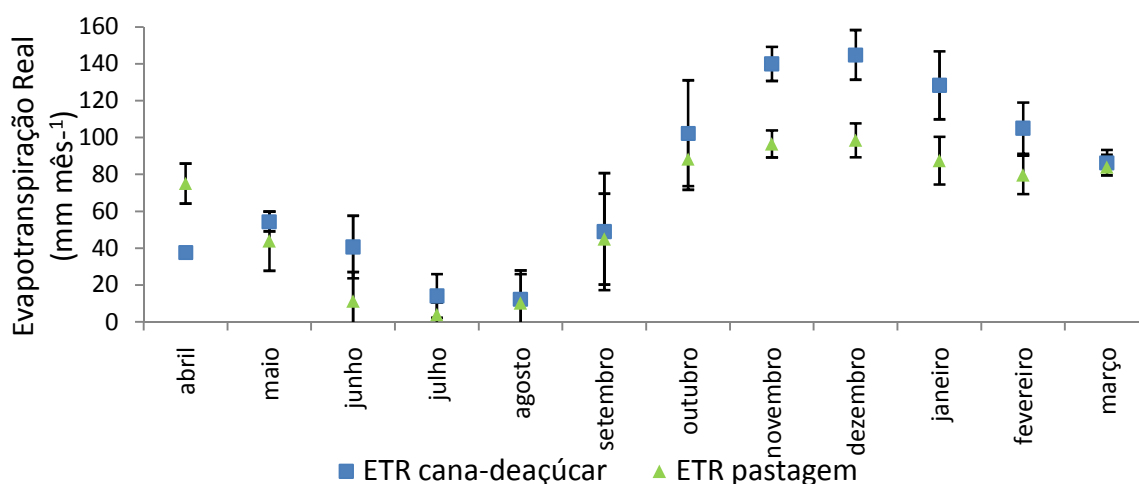


Figura 10 - Médias mensais da evapotranspiração real e desvio padrão da cana-açúcar e da pastagem durante o período de 1990 a 2010 para o ciclo de outono: bacia hidrográfica dos rios Turvo e dos Bois (GO)

A diferença entre a ETR da cana e da pastagem é apresentada na Figura 11. Inicialmente os valores de ETR da cana com o corte simulado em abril apresentaram-se abaixo dos da pastagem. Esse fato ocorre em função do campo cultivado com a cana ficar descoberto após o corte da cana e o processo predominante é a evaporação do solo, enquanto na pastagem está ocorrendo a ET completa.

A partir da formação da área foliar da cana, essa passa a evapotranspirar mais que a pastagem. Esse processo se mantém em praticamente todo o ciclo vegetativo da cana.

No período de baixa precipitação, o comportamento da ETR das duas culturas se assemelha. Notavelmente, a partir da transição do período seco para o chuvoso, o potencial de evapotranspiração da cana se sobrepõe ao da pastagem, chegando a evapotranspirar 191 mm ano⁻¹ a mais que a pastagem.

No período de senescência da cana, os valores de ETR decrescem se mantendo até o corte. Esses valores se aproximam da ETR da pastagem, conforme apresentado na Figura 11.

Inicialmente a cana apresenta o valor de evapotranspiração inferior ao da pastagem devido ao desenvolvimento vegetativo da cana ainda ser incipiente com índice de área foliar (IAF) e sistema radicular funcional reduzido no início do ciclo da cana. Uma vez que o porte, o IAF e o sistema radicular da cana são bem maiores que os da pastagem. Com o passar do ciclo de desenvolvimento os valores de ETR da cana se sobrepõem aos da pastagem. Segundo Almeida et al. (2008), o rápido perfilhamento da cana-soca é devido ao seu sistema radicular já estar plenamente estabelecido, respondendo mais rapidamente as condições ambientais favoráveis ao seu desenvolvimento.

No período de maior déficit hídrico as duas culturas apresentam valores de ETR próximos. Ao final do ciclo a ETR das culturas tende a se igualar devido à fase de senescência da cana.

Os valores médios da diferença entre ETR da cana e da pastagem (delta) foram de $191,2 \text{ mm ano}^{-1}$. O maior valor encontrado foi de 230 mm ano^{-1} e ocorreu em 2001/2002. As menores amplitudes são verificadas no início do ciclo e durante o período da seca, compreendido entre os meses de agosto e setembro (Figura 11).

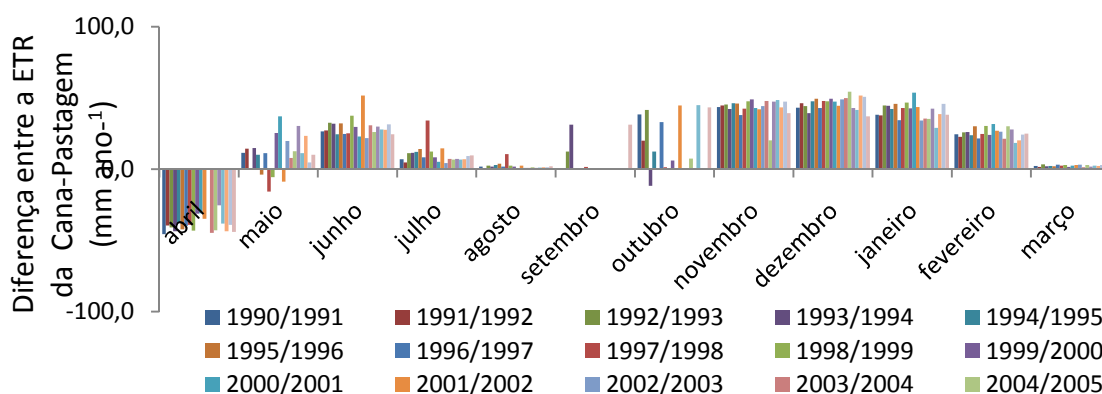


Figura 11 - Diferença entre a evapotranspiração real mensal da cana-de-açúcar e da pastagem no ciclo de outono: bacia hidrográfica dos rios Turvo e dos Bois (GO) - 1990 a 2010.

4.2.2. Ciclo de inverno: junho a maio

A Figura 12 apresenta o comportamento da evapotranspiração das culturas analisadas para o ciclo de inverno (junho a maio). Em média, a cana obteve um valor de ETR de $87,8 \text{ mm mês}^{-1}$ com desvio padrão de $14,2 \text{ mm}$. O valor médio máximo de ETR foi apresentado nos meses de dezembro com 144 mm mês^{-1} e o mínimo de $28,4 \text{ mm mês}^{-1}$ no mês de agosto.

A média mensal apresentada pela pastagem foi de $62,5 \text{ mm mês}^{-1}$ e desvio de padrão de 12 mm . O valor máximo de $98,5 \text{ mm mês}^{-1}$ ocorreu no mês de dezembro e mínimo de $6,4 \text{ mm mês}^{-1}$ no mês de julho.

Nesse ciclo a cana apresentou média anual ETR de $1.054 \text{ mm ano}^{-1}$ e a pastagem 750 mm ano^{-1} . Almeida et al. (2008) encontraram valores de ETR da cana de $1.258 \text{ mm ano}^{-1}$ em cultivo de cana soca em sistema de sequeiro com ciclo de 360 dias em experimento de campo no município de Rio Largo, Alagoas.

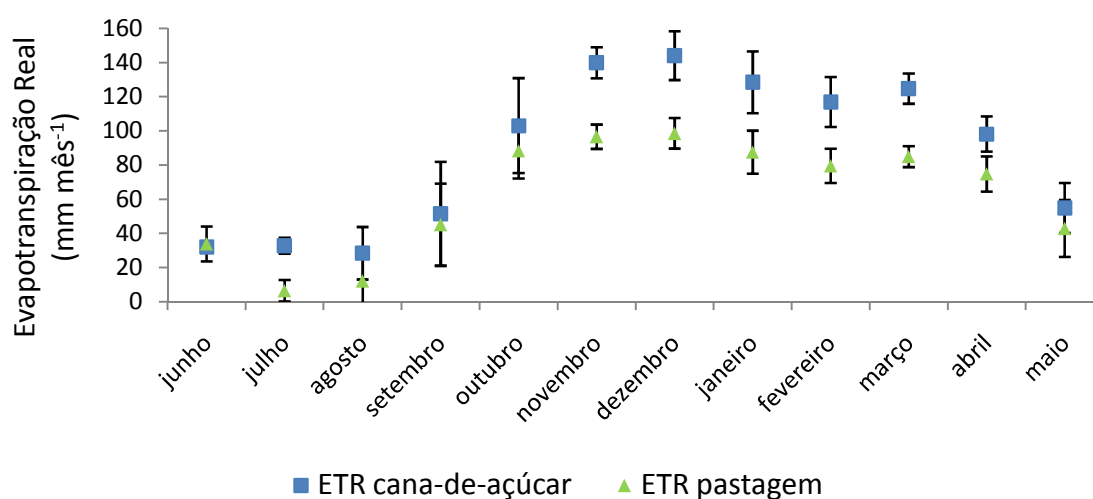


Figura 12 - Médias mensais da evapotranspiração real e desvio padrão da cana-açúcar e da pastagem durante o período de 1990 a 2010 para o ciclo de inverno - Bacia hidrográfica dos rios Turvo e dos Bois (GO).

A diferença entre a ETR das culturas estudadas para o ciclo de inverno dessa bacia apresentou-se na maior parte do tempo ETR da cana superior ao da pastagem em média 304 mm ano^{-1} , sendo o valor máximo de 339 mm ano^{-1} apresentado no ano de 2001/2002, como pode ser constatado na Figura 13.

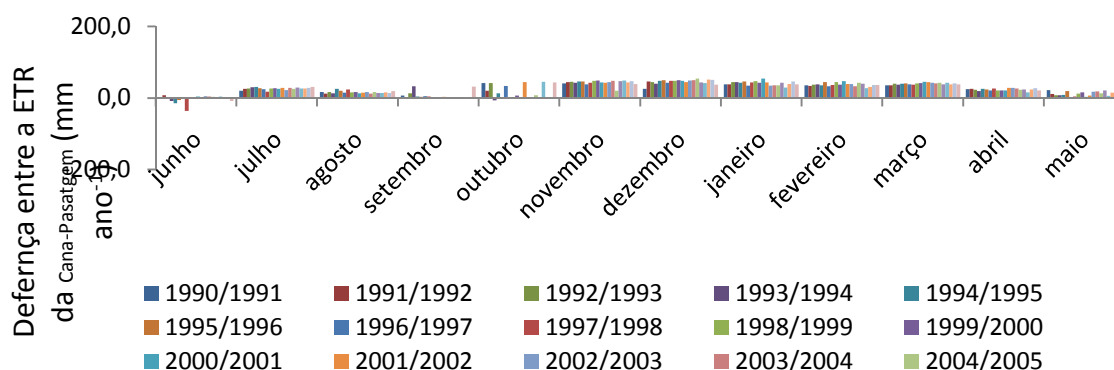


Figura 13 - Diferença entre a evapotranspiração real da cana-de-açúcar e pastagem no ciclo de inverno: bacia hidrográfica dos rios Turvo e dos Bois (GO) - 1990 a 2010.

4.2.3. Ciclo de primavera: outubro a novembro

Conforme pode ser verificado na Figura 14, a cana obteve um valor de ETR de $68,8 \text{ mm}$ com desvio padrão de 15 mm . Os valores médios máximos de ETR foram apresentados no mês de março com $124,7 \text{ mm mês}^{-1}$ e o mínimo de $6,7 \text{ mm mês}^{-1}$ no mês de julho.

A pastagem obteve em média $60,1 \text{ mm mês}^{-1}$ com desvio padrão de $12,7 \text{ mm mês}^{-1}$. O valor médio máximo de ETR para a pastagem foi de $98,5 \text{ mm mês}^{-1}$ nos meses de dezembro e os valores médios mínimos de $3,9 \text{ mm mês}^{-1}$ ocorreram em julho.

Nessa simulação a cana apresentou em média ETR de 826 mm ano^{-1} e a pastagem 721 mm ano^{-1} . O valor de ETR cana encontrado nesse ciclo estão próximos aos obtidos por Cabral et al. (2012) de 829 mm ano^{-1} pelo método eddy-covariância, realizado na Usina Santa Rita, município de Luiz Antônio, São Paulo.

Os valores obtidos de ETR da pastagem na BHRTB foram abaixo de 800 mm ano^{-1} nos três ciclos simulados. Silva et al. (2003b) obtiveram ETR da

pastagem 1.155 mm ano⁻¹ em Cerrado. Valores entre 700 mm ano⁻¹ e 800 mm ano⁻¹ são apresentados por Rio Grande do Sul (2010) para a região Sul do Brasil. Nosetto et al. (2005) encontraram 630 mm ano⁻¹ por meio de imagens de satélites, na região de Concórdia, Argentina.

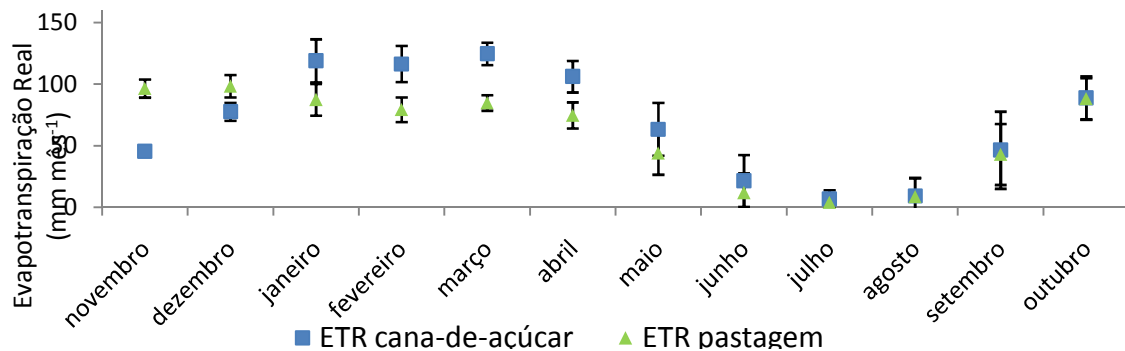


Figura 14 - Médias mensais da evapotranspiração real e desvio padrão da cana-açúcar e da pastagem durante o período de 1990 a 2010 para o ciclo de primavera: bacia hidrográfica dos rios Turvo e dos Bois (GO).

A diferença da ETR nesse ciclo foi em média de 104 mm ano⁻¹. A maior diferença foi obtida em 2008/2009 com 142,7 mm ano⁻¹, de acordo com a Figura 15. Os valores do delta no ciclo de primavera são inferiores aos simulados para outono e inverno.

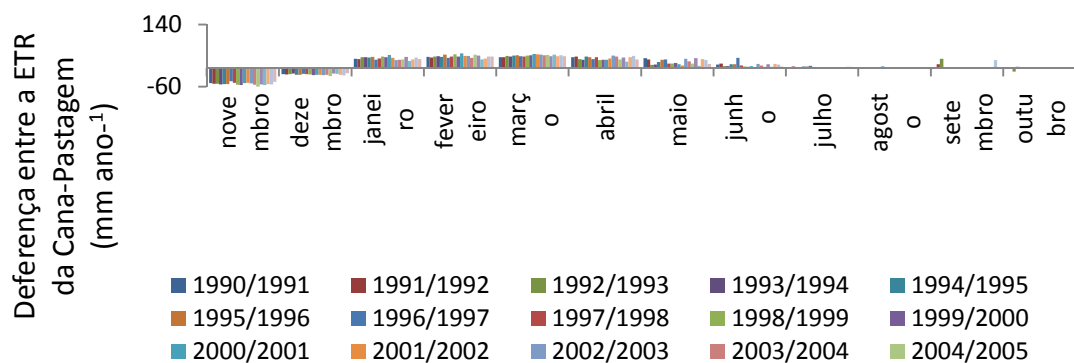


Figura 15 - Diferença entre a evapotranspiração real da cana-de-açúcar e da pastagem no ciclo de primavera: bacia hidrográfica dos rios Turvo e dos Bois (GO) - 1990 a 2010.

4.3. Bacia hidrográfica do rio Araguari (MG)

A bacia hidrográfica do rio Araguari (BHR Araguari) situa-se nas mesorregiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. Compreende 25 municípios, entre eles se destacam Uberlândia, Araguari e Araxá. O rio Araguari nasce no Parque Nacional da Serra da Canastra, no município de São Roque de Minas e percorre 475 km até a sua foz no rio Paranaíba. A bacia drena uma área de 21.566 km² e os rios principais são o Araguari, Uberabinha e o Quebra-Anzol.

O relevo apresenta-se forte a ondulado com altitudes variando entre 340m a 1400m de altitude. Em torno de 85% dos solos são Latossolos Vermelho com Textura Média (SEMAD - 2010). São solos profundos, porosos e bem drenados que possuem baixa capacidade de armazenamento de água devido ao baixo teor de argila.

A região compreendida pela BHR Araguari apresentou precipitação média em torno de 1531 mm ano⁻¹ no período de 1990 a 2010, sendo apenas 10% com precipitação média de 1150 mm ano⁻¹. Nesse mesmo período a evapotranspiração de referência (ET_o) apresentou média de 1314 mm ano⁻¹, e em 48% dos anos as médias foram de 1243 mm ano⁻¹.

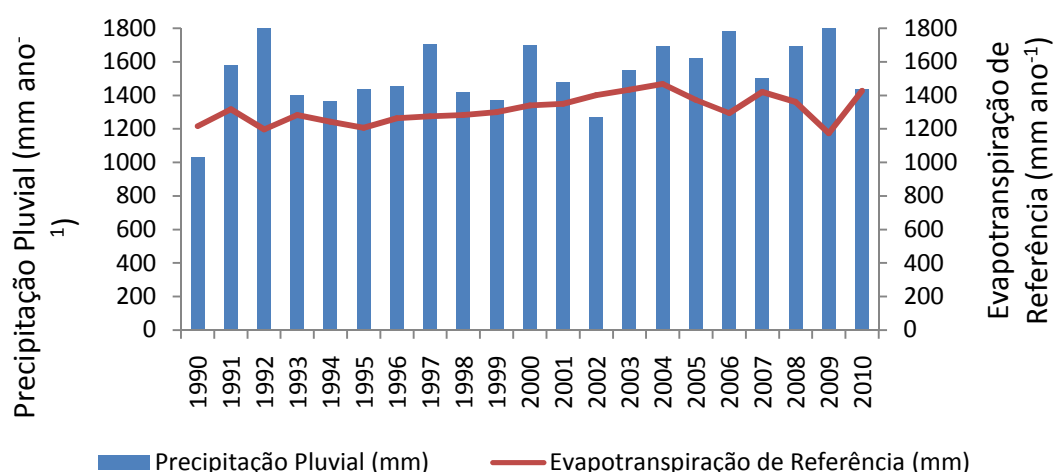


Figura 16 - Valores anuais da precipitação pluvial e da evapotranspiração de referência na bacia hidrográfica do rio Araguari (MG) no período compreendido entre 1990 a 2010.

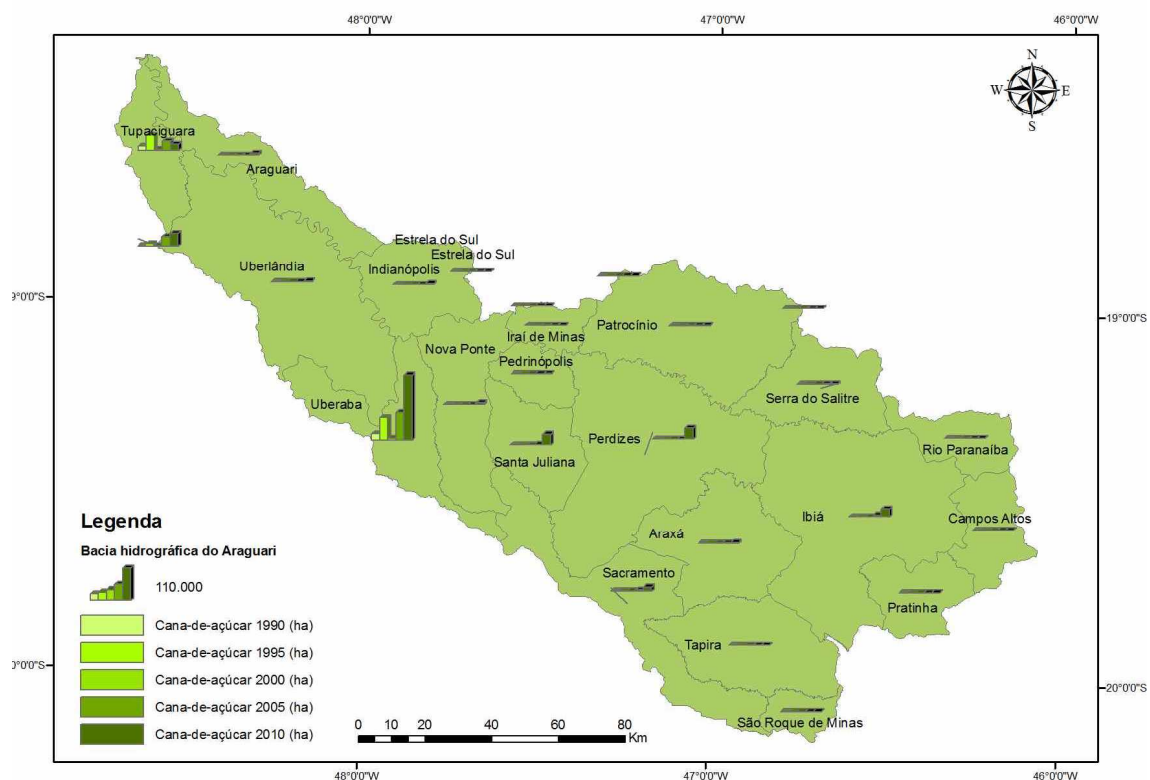


Figura 17 - Bacia hidrográfica do rio Araguari (MG): municípios abrangidos pela bacia e área cultivada com cana de açúcar.

4.3.1. Ciclo de outono: abril a março

A simulação para o ciclo de outono, compreendido entre os meses de abril a março é apresentado na Figura 18, onde pode ser observado também o desvio padrão de ambas. Os valores de evapotranspiração real (ETR) apresentados são mensais para cana e para a pastagem. Em média cada o cultivo da cana apresentou um valor de ETR de $78,7 \text{ mm mês}^{-1}$ com desvio padrão de $14,8 \text{ mm mês}^{-1}$, e a pastagem $63,5 \text{ mm mês}^{-1}$ com desvio de 14 mm mês^{-1} .

Os valores médios máximos de ETR para cana foi de 136 mm mês^{-1} , obtidos nos meses de dezembro e os mínimos de $17,7 \text{ mm mês}^{-1}$ nos meses de agosto. A ETR máxima média da pastagem foi de 94 mm mês^{-1} nos meses de novembro e a mínima $9,3 \text{ mm mês}^{-1}$ nos meses de julho.

Os valores médios totais de ETR da cana-de-açúcar foram de 944,7 mm ano⁻¹ ao final de cada ciclo, valor próximo encontrado por Gava et al. (2010), conforme citado. A pastagem apresentou ETR média anual de 761,5 mm ano⁻¹.

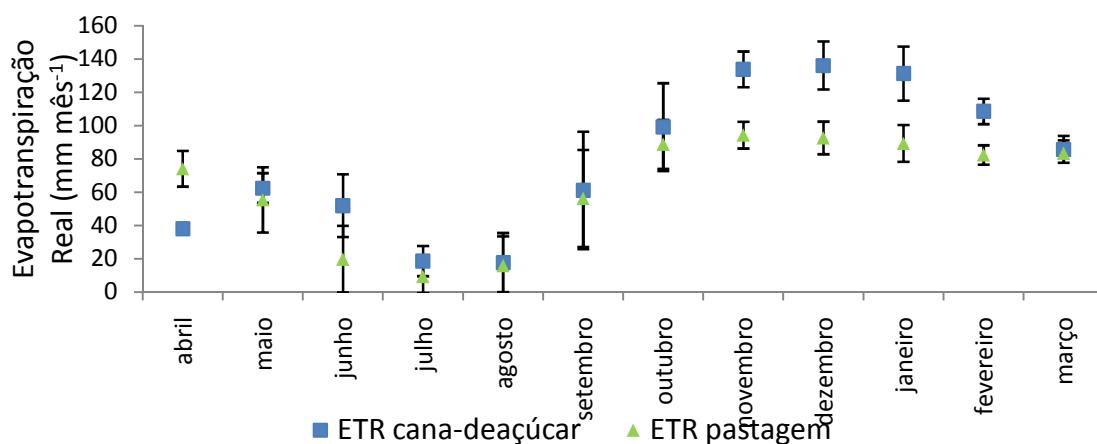


Figura 18 - Médias mensais da evapotranspiração real e desvio padrão da cana-açúcar e da pastagem durante o período de 1990 a 2010 para o ciclo de outono: bacia hidrográfica do rio Araguaari (MG).

A diferença da ETR para esse ciclo é apresentado na Figura 19. Nota-se que em períodos de chuva a ETR da cana é muito superior a da pastagem. A maior diferença ocorreu em 1992/1993 apresentando 252 mm ano⁻¹. A média anual para o período foi de 183 mm ano⁻¹.

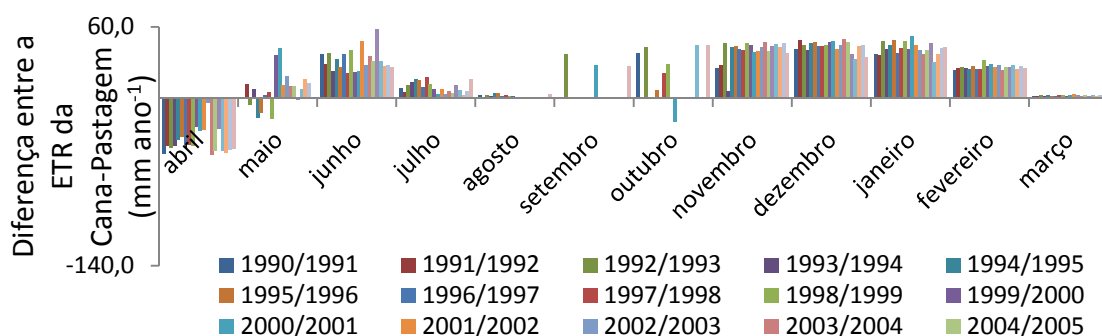


Figura 19 - Diferença entre a evapotranspiração real da cana-de-açúcar e da pastagem no ciclo de outono: bacia hidrográfica do rio Araguaari (MG) - 1990 a 2010.

4.3.2. Ciclo de inverno: junho a maio

O comportamento da ETR da cana e da pastagem é apresentado na Figura 20. A média mensal da ETR da cana para o período estimado foi $89,6 \text{ mm mês}^{-1}$ com desvio padrão de $14,7 \text{ mm}$. Os valores médios máximos obtidos foram de 136 mm mês^{-1} nos meses de dezembro e mínimos de $31,9 \text{ mm mês}^{-1}$ nos meses de agosto. A média dos valores mensais da ETR para pastagem foi de $65,2 \text{ mm}$ com desvio padrão de 13 mm . Os valores médios máximos de ETR pastagem foram de 94 mm mês^{-1} nos meses de novembro e mínimos de $11,4 \text{ mm mês}^{-1}$ em julho.

A ETR média total obtida em cada ano simulado para cana soca foi de $1.075,5 \text{ mm ano}^{-1}$ e da pastagem 783 mm ano^{-1} . Valor próximo de ETR da cana, $1.055 \text{ mm ano}^{-1}$, cultivada em sistema de sequeiro foi encontrado por Santos (2005) em experimento realizado no litoral alagoano.

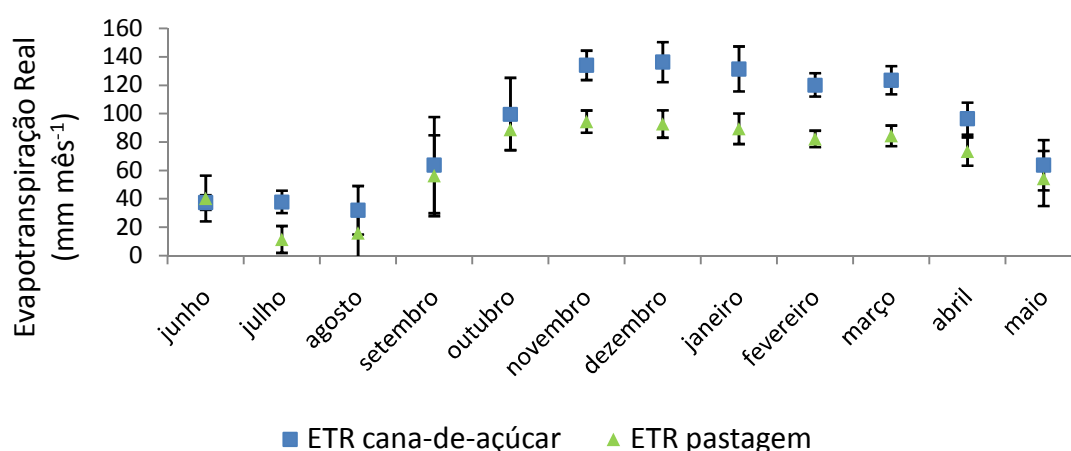


Figura 20 - Médias mensais da evapotranspiração real e desvio padrão da cana-de-açúcar e da pastagem durante o período de 1990 a 2010 para o ciclo de inverno: bacia hidrográfica do rio Araguari (MG)

A diferença da ETR do ciclo de inverno apresentou os valores mais elevados a partir dos meses de novembro, respondendo ao período chuvoso, conforme apresentado na Figura 21. A maior diferença foi de 378 mm ano^{-1} encontrada em 1992/1993.

Nesse ciclo a diferença média foi de 292 mm ano⁻¹, apresentando, portanto superior ao do ciclo de outono.

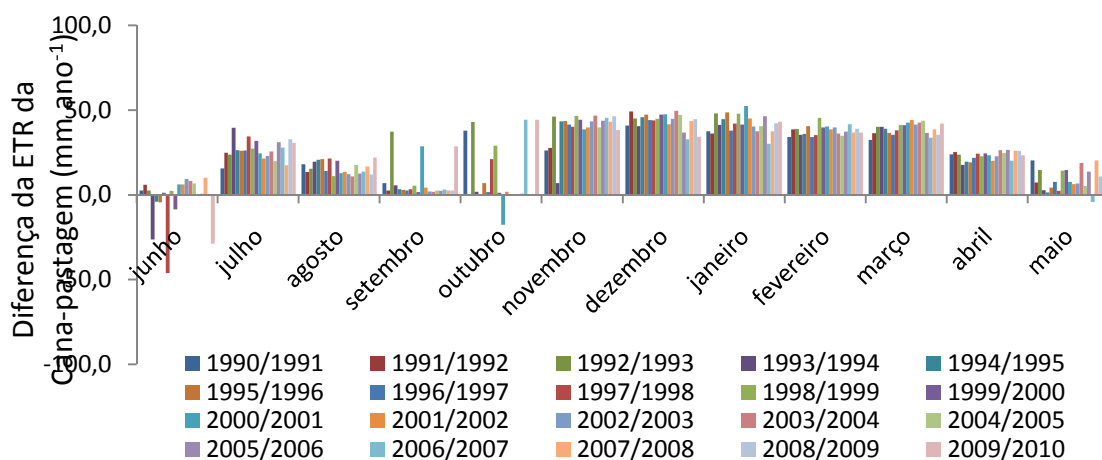


Figura 21-Diferença entre a evapotranspiração real da cana-de-açúcar e da pastagem no ciclo de inverno: bacia hidrográfica do rio Araguari (MG) - 1990 a 2010.

4.3.3. Ciclo primavera: novembro a outubro

Verifica-se na Figura 22 o comportamento da ETR da cana e da pastagem nos meses de novembro a outubro, no período compreendido 1990 a 2010.

Em média, a cana obteve um valor de ETR de 71,9mm mês⁻¹ com desvio padrão de 15 mm. Os valores médios máximos de ETR foram apresentados nos meses de março com 123,5 mm mês⁻¹ e os mínimos de 10,8 mm mês⁻¹ nos meses de julho.

A pastagem obteve em média 63,4 mm mês⁻¹ com desvio padrão de 13,7 mm mês⁻¹. O valor médio máximo de ETR para a pastagem foi de 94 mm mês⁻¹ nos meses de novembro e os valores médios mínimos de 8,4 mm mês⁻¹ ocorreram em julho.

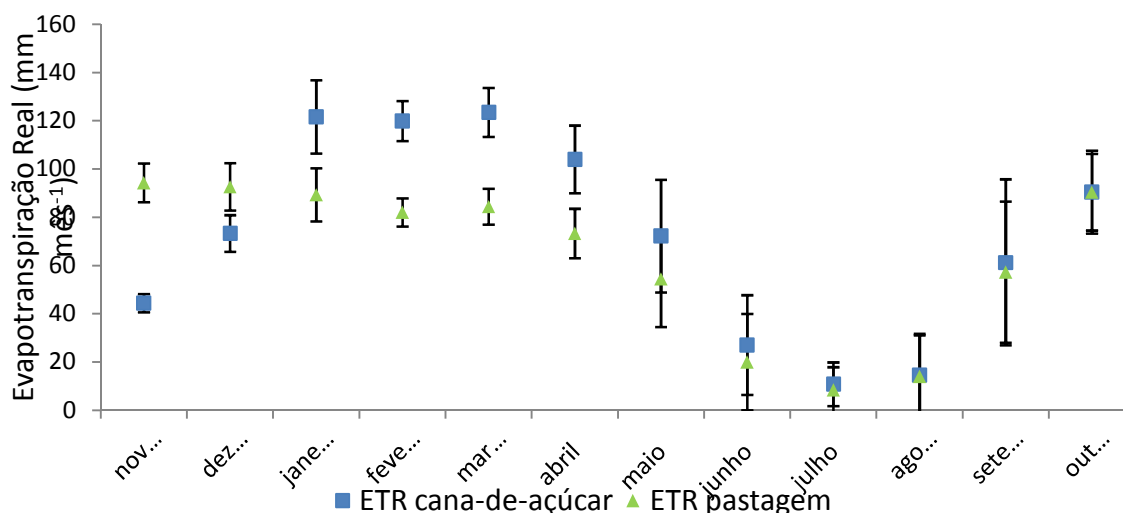


Figura 22 - Médias mensais da evapotranspiração real e desvio padrão da cana-açúcar e da pastagem durante o período de 1990 a 2010 para o ciclo de primavera: bacia hidrográfica do rio Araguari (MG).

No ciclo de primavera a cana apresentou em média ETR total de 862 mm ano⁻¹, valor próximo ao encontrado por Cabral et al. (2012), conforme citado. A pastagem ETR de 760 mm ano⁻¹. Valores de ETR da pastagem próximos obtidos foram apresentados por Rio Grande do Sul (2010), conforme citados anteriormente.

A diferença da ETR nesse ciclo foi em média de 102,5 mm ano⁻¹. A ETR da pastagem foi superior durante os dois meses iniciais após a simulação, sendo ultrapassada pela ETR da cana no terceiro mês até a fase de senescência, onde o delta se iguala nas duas culturas, conforme apresentado na Figura 23. A maior diferença ocorreu em 1991/1992 apresentando o valor de 136,9 mm ano⁻¹.

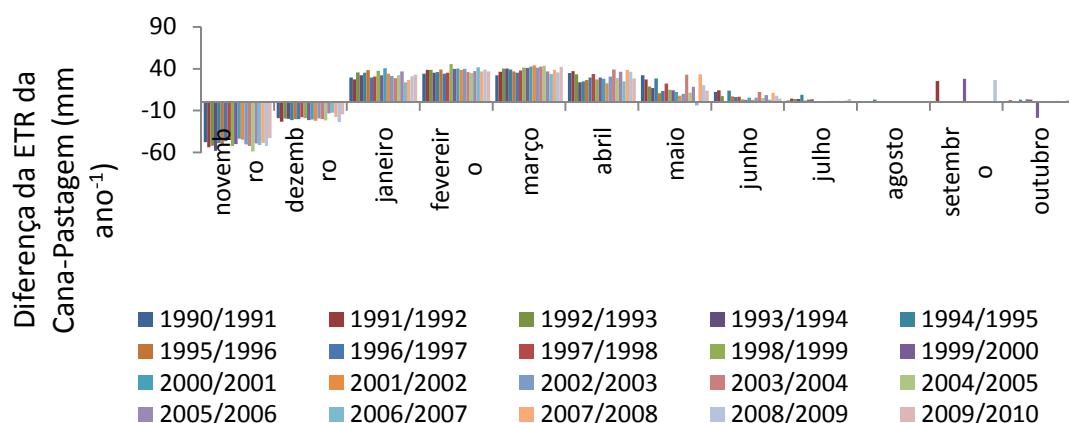


Figura 23 - Diferença entre a evapotranspiração real da cana-de-açúcar e da pastagem no ciclo de primavera: bacia hidrográfica do rio Araguari (MG): 1990 a 2010.

4.4. Bacia hidrográfica do Rio Tijuco (MG)

A bacia hidrográfica do Rio Tijuco (BHRT) drena uma área de 14.220 km². Percorre 280 km atravessando os municípios de Uberaba, onde possui sua nascente, Uberlândia, Prata, Monte Alegre de Minas, Canápolis, Ituiutaba, Santa Vitória e Ipiacu, além de integrar outros municípios. O rio Tijuco é o segundo maior afluente mineiro na margem esquerda do rio Paranaíba.

O relevo apresenta altitude que variam entre 400 a 900 de altitude com predominância de 81% de Vermelho com Textura Média (SEMAD - 2010). São solos profundos, porosos e bem drenados que possuem baixa capacidade de armazenamento de água devido ao baixo teor de argila.

A Figura 24 apresenta o total de precipitação e evapotranspiração de referência (ET_o) na BHRT. A precipitação média foi de 1.439 mm ano⁻¹, sendo que em 14% do período apresentou precipitação média de 1.198 mm ano⁻¹. No mesmo aET_o apresentou valor médio de 1.280 mm ano⁻¹ e máximo de 1.363 mm ano⁻¹ e em 10% do período 1.167 mm ano⁻¹.

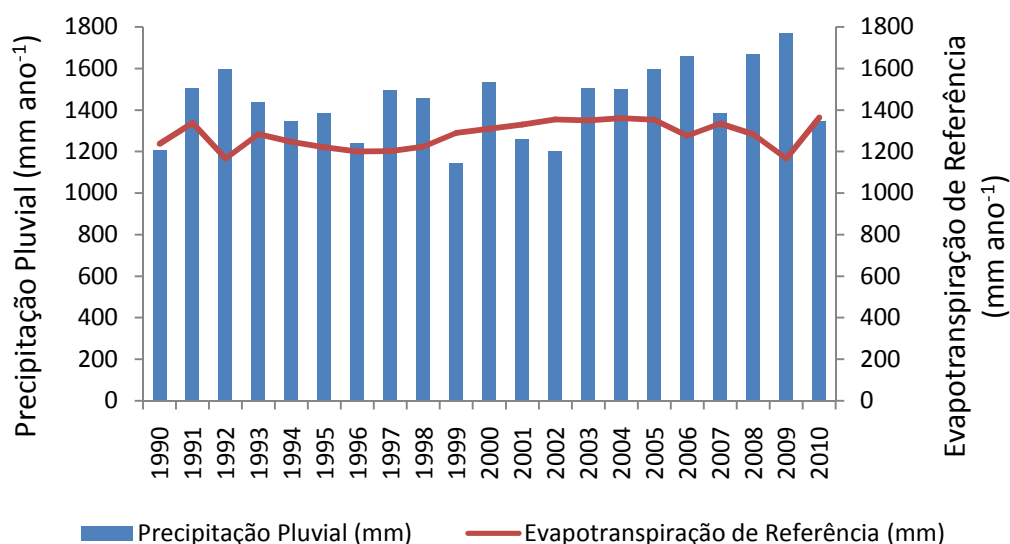


Figura 24 - Valores anuais da precipitação pluvial e da evapotranspiração de referência na bacia hidrográfica do rio Tijuco (MG) no período compreendido entre 1990 a 2010.

A BHRT com 1.422.000 ha possuía até 2010, 202.000 ha cultivados com cana-de-açúcar, correspondendo a 14% da área da bacia, a soja correspondia 17%, e o milho 6%. No entanto, a análise do impacto na vazão pela diferença entre a ETR da cana-pastagem contemplou apenas os municípios abrangidos pelo ponto de vazão correspondente a uma área drenada de 512.039 ha.

O cultivo da cana na BHRT apresentou-se crescente durante as duas décadas. Em 2010 na área correspondente ao ponto de vazão 14,7% era ocupado com essa cultura. A Figura 25 apresenta parte da área da BHRT após ser recortada a partir do ponto de vazão. Essa área corresponde à análise da vazão.

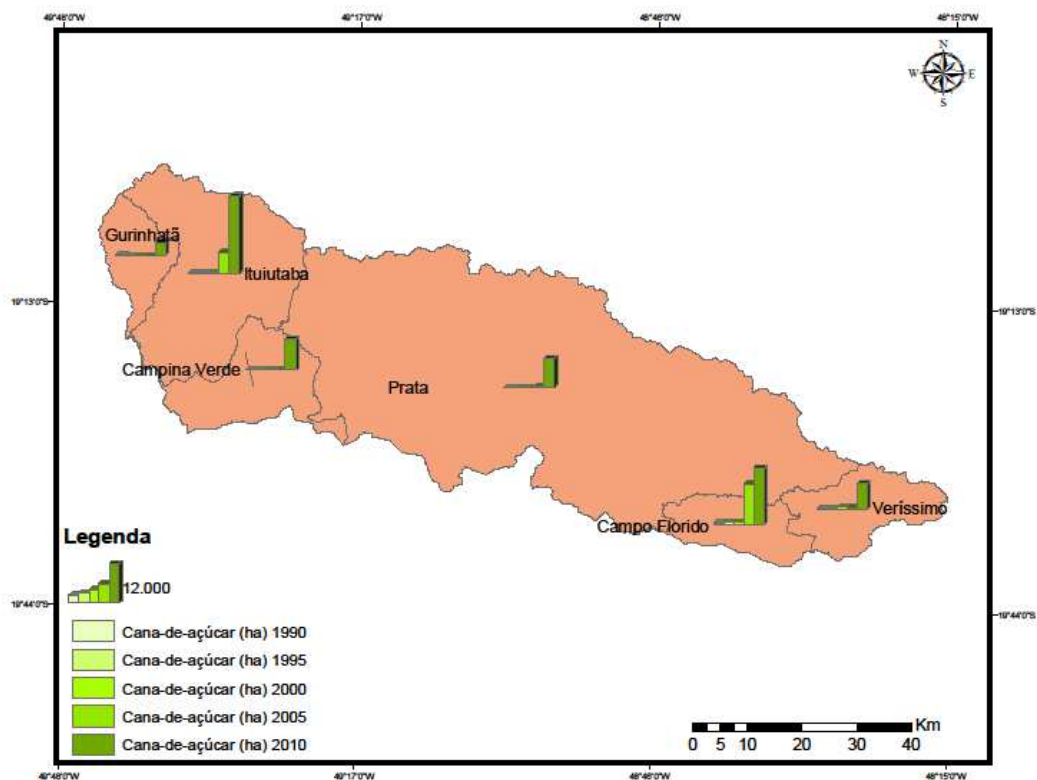


Figura 25 - Bacia hidrográfica do rio Tijuco (MG) recortada a partir do ponto de vazão. Apresentação da ocupação da cana-de-açúcar a partir de 1990 e os municípios inseridos na área de drenagem analisada.

4.4.1. Ciclo de outono: abril a março

Os valores apresentados na Figura 26 são valores mensais da evapotranspiração real (ETR) da cana e da pastagem simulados para o ciclo de outono (abril a março). Em média a cana apresentou em cada mês valor de ETR de $77,3 \text{ mm mês}^{-1}$ com desvio padrão de $16,3 \text{ mm mês}^{-1}$, e a pastagem $61,2 \text{ mm mês}^{-1}$ com desvio de 15 mm mês^{-1} .

Os valores médios máximos de ETR para cana foi de $141,6 \text{ mm mês}^{-1}$, obtidos nos meses de dezembro e os mínimos de $19,4 \text{ mm mês}^{-1}$ nos meses de agosto. A ETR máxima média da pastagem foi de $96,2 \text{ mm mês}^{-1}$ nos meses de dezembro e a mínima de $9,2 \text{ mm mês}^{-1}$ nos meses de julho.

A estimativa da ETR da cana-de-açúcar no ciclo outono (abril a março) foi em média $927,2 \text{ mm}$ ao final de 365 dias correspondente ao período

simulado, valor próximos encontrados por Gava et al. (2010), conforme citado anteriormente. A ETR total da pastagem foi em média de 735 mm ano⁻¹.

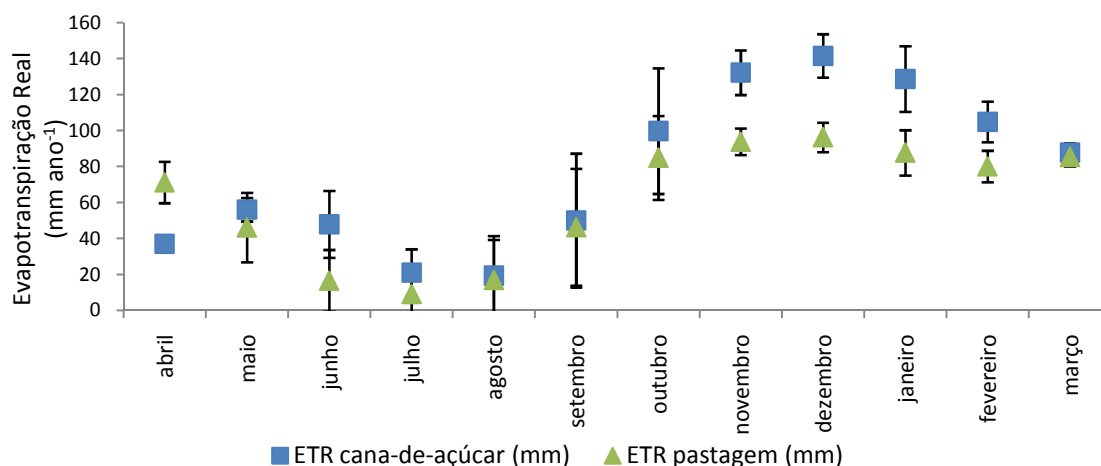


Figura 26 - Médias mensais da evapotranspiração real e desvio padrão da cana-de-açúcar e da pastagem para o ciclo de outono - 1990 a 2010: bacia hidrográfica do rio Tijuco (MG).

No período de senescência da cana, os valores de ETR decrescem se mantendo até o corte. Esses valores se aproximam da ETR da pastagem, conforme apresentado na Figura 27.

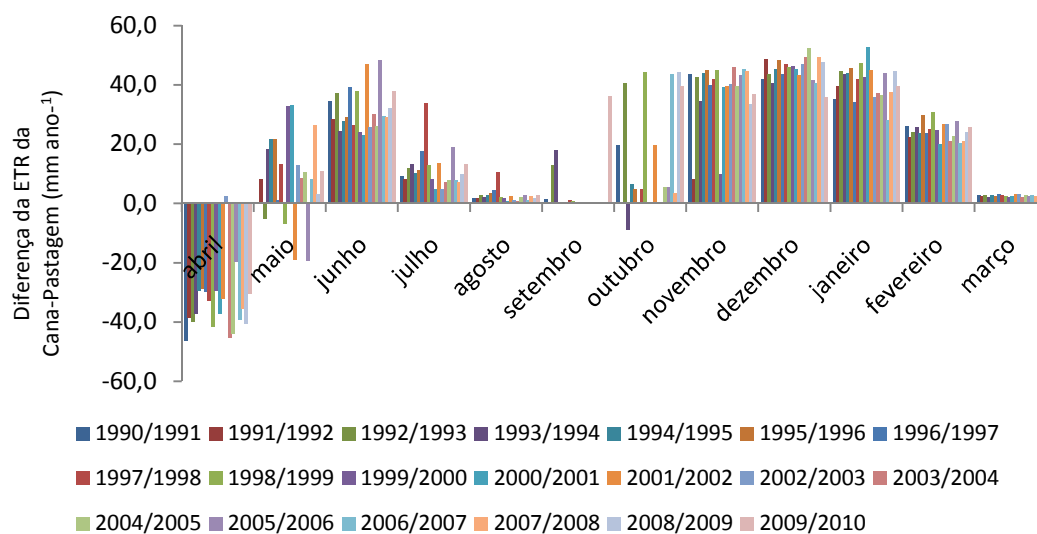


Figura 27 - Diferença entre a evapotranspiração real da cana e da pastagem no ciclo de outono: bacia hidrográfica do rio Tijuco (MG) - 1990 a 2010.

4.4.2. Ciclo de inverno: junho a maio

As simulações para o ciclo de inverno (junho a maio) apresentaram comportamento similar ao ciclo de outono, no entanto as taxas de evapotranspiração inicial foram menores devido aos baixos de índices de precipitação e ao período de temperaturas mais baixas. Esse comportamento é apresentado na Figura 28. Conforme transição das estações como temperaturas e chuvas mais elevadas, o índice de área foliar da cana vai se desenvolvendo apresentando também valores de evapotranspiração mais elevados.

A média mensal da ETR da cana para o período estimado foi 87,8 mm mês⁻¹ com desvio padrão de 16,8 mm. Os valores médios máximos obtidos de ETR para cana foi de 141 mm mês⁻¹ nos meses de janeiro e mínimos de 33,7 mm mês⁻¹ nos meses de julho. A média dos valores mensais da ETR para pastagem foi de 64 mm mês⁻¹ com desvio padrão de 15,2 mm. Os valores médios máximos de ETR pastagem foi de 92,7 mm mês⁻¹ nos meses de dezembro e mínimos de 13,8 mm mês⁻¹ em julho.

A ETR média total obtida em cada ano simulado para a cana foi de 1.032 mm ano⁻¹ e da pastagem 747 mm ano⁻¹. A ETR obtida foi semelhante aos resultados apresentados por Santos (2005) e Almeida et al. (2008), conforme citado anteriormente.

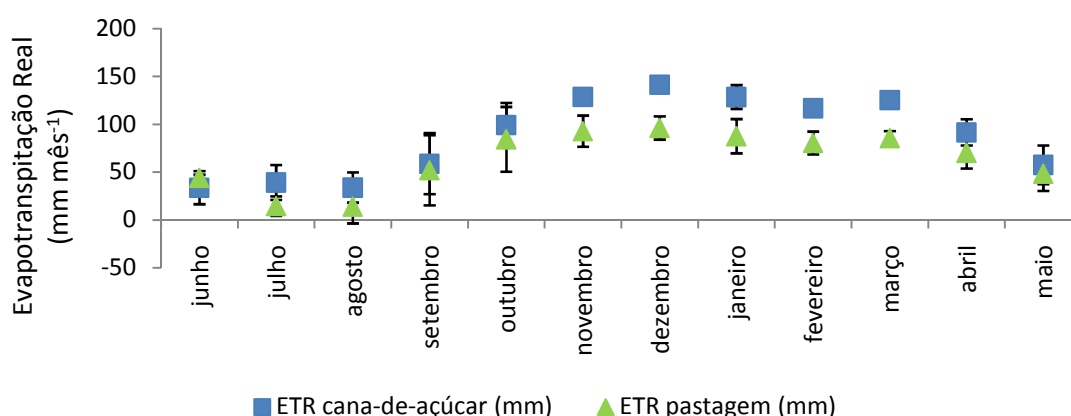


Figura 28 - Médias mensais da evapotranspiração real e desvio padrão da cana-de-açúcar e da pastagem para o ciclo de inverno: 1990 a 2010 – bacia hidrográfica do rio Tijuco (MG).

A diferença do ciclo de inverno se apresenta com baixas amplitudes nos primeiros meses. Após o início do desenvolvimento da cana os valores de ETR são superiores a 40 mm mês^{-1} ao da pastagem, decrescendo no mês de setembro devido aos baixos índices de chuvas. Esse comportamento pode ser verificado na Figura 29.

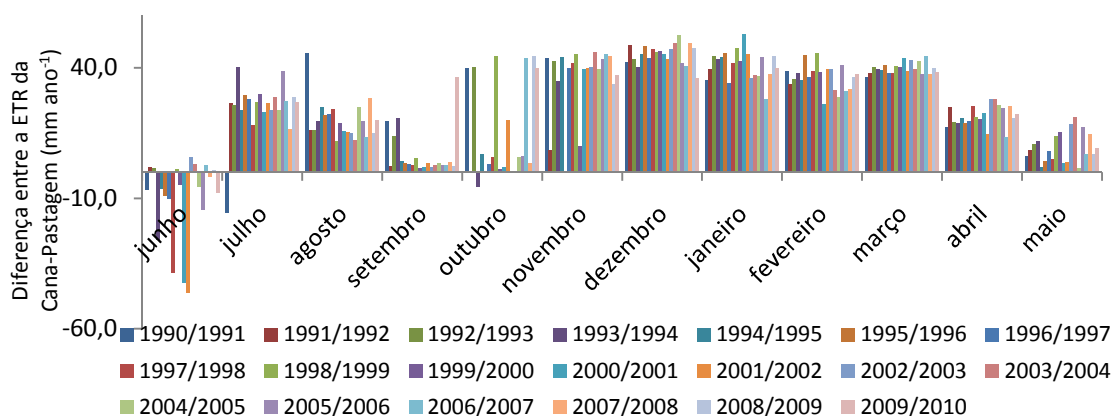


Figura 29 - Diferença entre a evapotranspiração real da cana-de-açúcar e da pastagem no ciclo inverno: bacia hidrográfica do rio Tijucu (MG) - 1990 a 2010.

Nesse ciclo a diferença média de ETR é de $285,5 \text{ mm ano}^{-1}$, apresentando, portanto superior ao do ciclo de outono. A ETR da cana se apresenta acima ao da pastagem logo após o início das chuvas e decresce até o final do ciclo mantendo-se ainda superior ao da pastagem.

4.4.3. Ciclo de primavera: novembro a outubro

No ciclo de primavera (novembro a outubro) a cana apresentou inicialmente valores de ETR superiores aos da pastagem. Esse comportamento se manteve até o final do ciclo, conforme pode ser verificado na Figura 30, onde também se apresenta o comportamento da ETR e do desvio padrão.

Em média, a cana obteve um valor de ETR de 69 mm com desvio padrão de 16 mm . Os valores médios máximos de ETR foram apresentados nos meses de março com $125,4 \text{ mm mês}^{-1}$ e os mínimos de $11,3 \text{ mm mês}^{-1}$ nos meses de julho. A pastagem obteve em média 61 mm mês^{-1} com desvio padrão

de 14,6 mm mês⁻¹. O valor médio máximo de ETR para a pastagem foi de 96 mm mês⁻¹ nos meses de dezembro e os valores médios mínimos de 9,3 mm mês⁻¹ ocorreram em julho.

Nesse ciclo a cana apresentou em média ETR de 831 mm ano⁻¹, valor próximo ao apresentado por Cabral et al. (2012), conforme já apresentado. A pastagem apresentou 731 mm ano⁻¹. Os valores de ETR da pastagem são semelhantes aos apresentados por Rio Grande do Sul (2010).

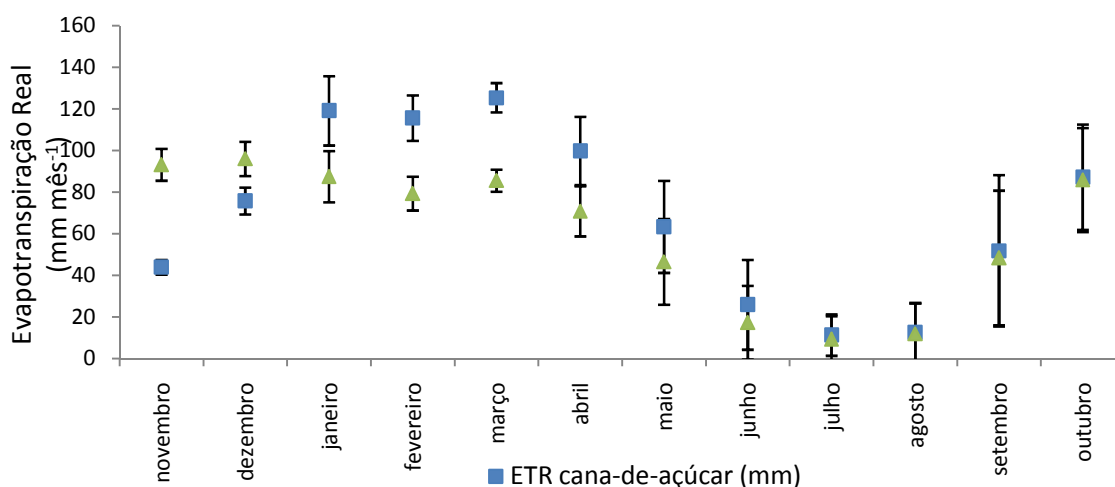


Figura 30 - Médias mensais da evapotranspiração real e desvio padrão da cana-de-açúcar e da pastagem para o ciclo de primavera - 1990 a 2010: bacia hidrográfica do rio Tijuco (MG).

A diferença entre a ETR da cana e da pastagem no ciclo de primavera foi em média de 100 mm ano⁻¹. A ETR da pastagem foi superior durante os dois meses iniciais após a simulação, sendo ultrapassada pela ETR da cana no terceiro mês até a fase de senescência, onde a diferença de iguala nas duas culturas, conforme apresentado na Figura 31.

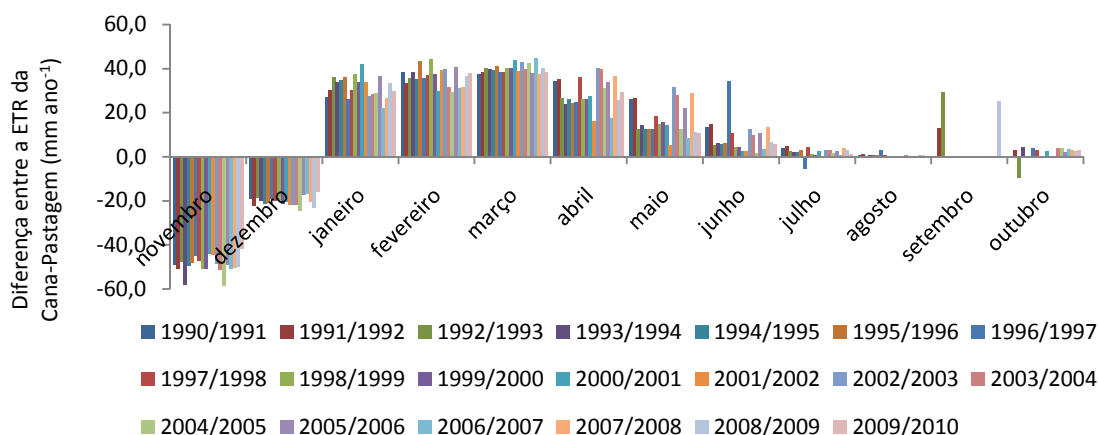


Figura 31 - Diferença entre a evapotranspiração real da cana-de-açúcar e da pastagem no ciclo de primavera: bacia hidrográfica do rio Tijuco (MG) - 1990 a 2010.

4.4.4. Vazões

O estudo das vazões, como já mencionado, foi realizado nas bacias dos rios Tijuco e Arantes, pois apenas essas bacias apresentaram série completa de dados para análise.

Para essa análise dividiu-se a vazão e a precipitação em dois períodos, de 1990 a 1999 e 2000 a 2009. Os comportamentos da vazão e da precipitação se encontram na Figura 32. A análise estatística dos dois períodos da vazão é apresentada na Tabela 1. Note-se que a vazão ao longo do ano possui comportamento similar aos totais mensais de precipitação.

O valor médio da vazão foi sensivelmente menor no segundo período e a máxima foi maior. O resultado do comportamento da vazão se mostra com pouca alteração nos períodos analisados.

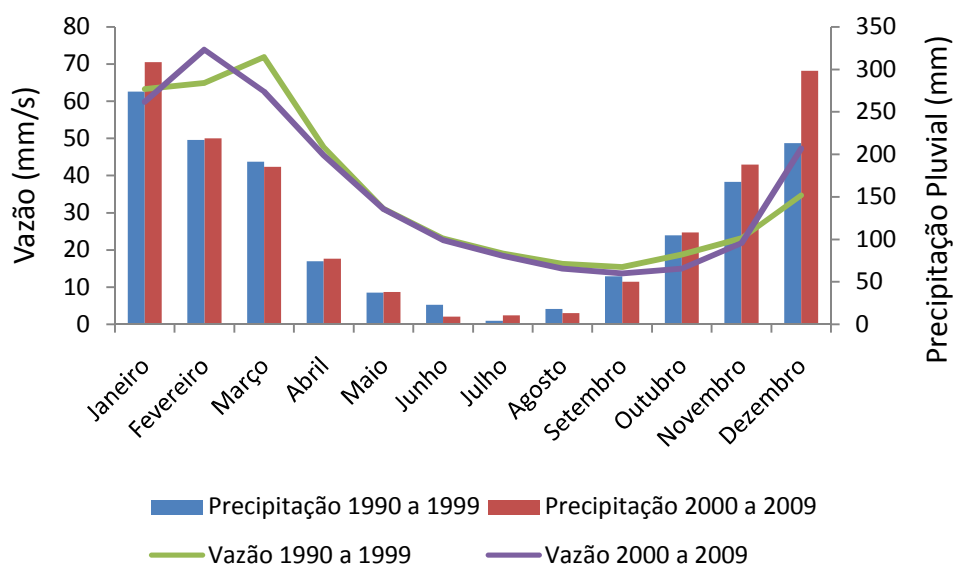


Figura 32 - Médias mensais da precipitação pluvial e da vazão na bacia hidrográfica do Rio Tijuco (MG) - período 1: 1990 a 1999 e período 2: 2000 a 2009.

Tabela 1 - Análise estatística da vazão da estação fluviométrica Ponte do Prata - bacia hidrográfica do rio Tijuco (MG) para os períodos 1990 a 1999 e 2000 a 2009

Estação fluviométrica Ponte do Prata	Vazão (mm/s) 1990 a 1999	Vazão (mm/s) 2000 a 2009
Média	429,1	426,2
Desvio padrão	83,2	110,0
Mínima	287,6	210,7
Máxima	542,0	593,4

Para complementar a análise da vazão nas duas últimas décadas, foi utilizada os indicadores de sazonalidade e de escoamento hídrico na bacia. Os resultados desses indicadores são apresentados na Figura 33.

O indicador de geração de escoamento (IE%), o qual relaciona a vazão média com o total de precipitação média da bacia, mostra que a bacia em questão apresenta valores bem variados nos últimos 20 anos. Esse índice

possibilita verificar o quanto da precipitação se converte em vazão. Em 43% do tempo analisado, o IE apresentou valores abaixo de 30%.

Quanto mais seco estiver o solo no momento da precipitação maior será a quantidade de água retida da zona aerada do solo, não atingindo, portanto o lençol freático. Em grande parte, essa água retida será transformada em evapotranspiração. Consequentemente, menor quantidade de água será percolada, bem como menor será a contribuição da precipitação na conversão das vazões.

Pereira et al. (2007), em estudo realizado nas sub-bacias do rio São Francisco, encontraram valores pequenos de contribuição das chuvas para a vazão. Dentre essas, a sub-bacia do Verde Grande com precipitação de 830 mm, apenas 3% foi convertida em vazão desagando no São Francisco e 97% transformado basicamente em evapotranspiração. A sub-bacia do rio Pandeiros com precipitação anual de 1.100 mm, a qual 17% foram convertidos em vazão. A sub-bacia de melhor contribuição foi a do Paracatu, com precipitação em torno de 1.300 mm e aproximadamente 28% contribui na vazão.

O indicador de sazonalidade (IS%) não apresentou valores abaixo de 50% nesses últimos 20 anos, mostrando que as intervenções mais antigas e particularmente a recente não comprometeram a disponibilidade nos períodos mais críticos (épocas secas), podendo o rio Tijuco ser considerado com uma vazão regularizada durante o ano.

Os resultados encontrados para o ponto de vazão na BHRT pode ser extrapolada para a área total da bacia, uma vez que as características edafoclimáticas não diferem dentro dessa área.

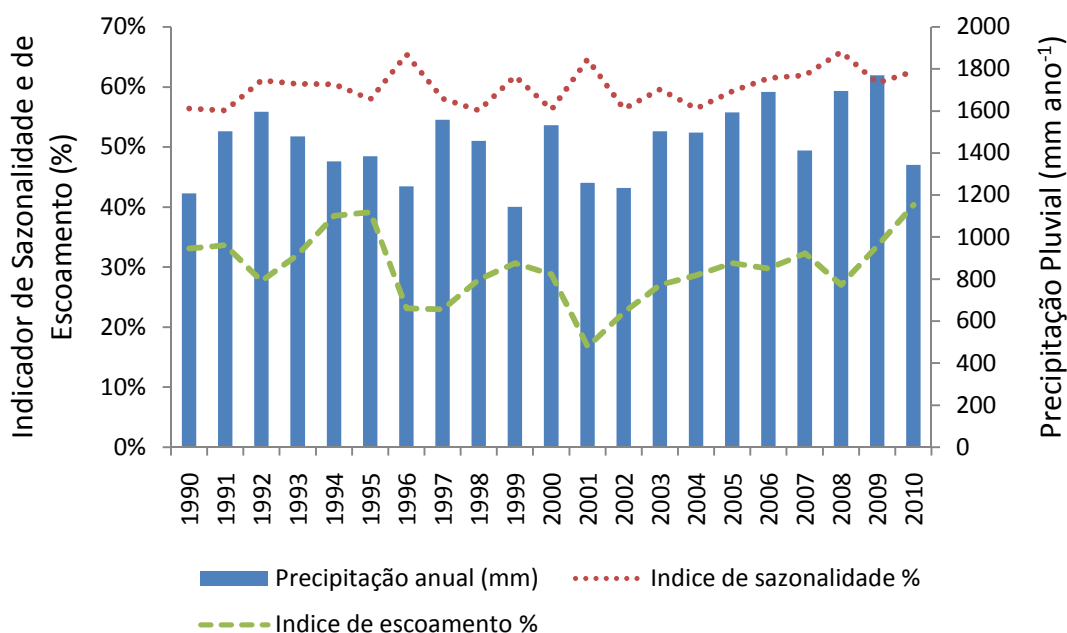


Figura 33 - Indicador de sazonalidade e de escoamento da bacia hidrográfica do rio Tijuco (MG) para o período compreendido entre 1990 a 2010.

4.4.5. Avaliação do impacto da evapotranspiração real da cana-de-açúcar e da pastagem na vazão da bacia hidrográfica do rio Tijuco (MG)

As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam o impacto da mudança do uso do solo pela expansão da área com cana-de-açúcar na BHRT ao longo dos anos estudados para os ciclos de outono, inverno e primavera.

Este impacto foi quantificado pela razão entre a diferença da ETR do uso anterior (pastagem) com a ETR da cana-de-açúcar e a vazão mínima. As vazões mínimas são responsáveis pelos valores mais restritivos em uma bacia hidrográfica,

A área da BHRT estudada possui 512.039 ha. A expansão da cana foi inicialmente pequena e começou a ser mais expressiva a partir de 2006 com o aumento da área cultivada ocupando 14% no final de 2010.

O consumo de água pela cana é superior ao da pastagem. No ciclo de outono a média da ETR da cana foi de 927 mm ano^{-1} e da pastagem 735 mm ano^{-1} . O impacto da ETR na vazão pela diferença de uso no solo variou de 0,08% a 8,08%. O aumento do impacto na vazão aumenta de acordo com a área expandida com a cana.

Esse impacto se apresenta em todos os ciclos, sendo maior na simulação de inverno onde a ETR se apresenta superior aos demais ciclos conforme pode ser verificado na Tabela 3. A ETR média nesse ciclo foi de $1.054 \text{ mm ano}^{-1}$ e da pastagem 768 mm ano^{-1} . O consumo na vazão se apresenta ainda maior quanto menor for a vazão do rio. O impacto variou de 0,21% a 12,23%.

O ciclo de primavera apresentou os menores valores de evapotranspiração e conseqüentemente de impacto na vazão. As médias de ETR, 832 mm ano^{-1} para a cana e 732 mm ano^{-1} para a pastagem, implicaram em impactos que variaram de 0,7% a 3,20%.

Atualmente a área ocupada por cana é representada por pequenas dimensões, entretanto de acordo com a literatura aqui citada a área possui grande potencial de expansão dessa cultura em função dos incentivos no uso do etanol, como no potencial natural da região.

A grande variação nos resultados de consumo de água pelas culturas, especialmente pela cana foi devido à abrangência de diferentes épocas do ano como períodos chuvosos e secos.

Tabela 2 - Impacto da evapotranspiração na vazão de acordo com as simulações do ciclo de outono correspondente aos meses de abril a março: 1990 a 2010: bacia hidrográfica do rio Tijuco (MG)

Ano	Ciclo	Área da bacia hidrográfica do rio Tijuco após recorte (1.000 ha)	Área cultivada com cana-de-açúcar (1.000 ha)	Área ocupada (AO) em %	ETR cana (mm^{-1})	ETR pastagem (mm^{-1})	Diferença da ETR = cana - pastagem (mm^{-1})	Vazão mínima (mm/s ano)	(ETR cana-ETR pastagem)* AO/Qmin	Precipitação (mm ano^{-1})
1990/1991	Outono	512	0,9	0,18	960	790	170	184,5	0,18	1652
1991/1992	Outono	512	1,1	0,23	791	662	129	303,1	0,09	1218
1992/1993	Outono	512	1,2	0,22	984	767	217	284,3	0,15	1446
1993/1994	Outono	512	1,3	0,26	1011	835	176	334,1	0,16	1615
1994/1995	Outono	512	1,3	0,25	860	660	200	312,8	0,13	1396
1995/1996	Outono	512	3,6	0,71	909	696	213	252,1	0,59	1153
1996/1997	Outono	512	1,8	0,36	888	710	178	191,0	0,37	1310
1997/1998	Outono	512	1,8	0,37	1033	807	227	223,5	0,41	1515
1998/1999	Outono	512	1,9	0,37	1027	806	221	233,9	0,38	1480
1999/2000	Outono	512	1,9	0,37	1027	806	221	228,5	0,39	1305
2000/2001	Outono	512	2,1	0,41	827	664	163	194,9	0,33	1137
2001/2002	Outono	512	7,1	1,0	901	716	185	152,4	1,70	1483
2002/2003	Outono	512	10,1	2,0	840	640	200	178,2	2,25	1388
2003/2004	Outono	512	19,1	4,0	864	706	157	241,1	2,41	1311
2004/2005	Outono	512	20,1	4,0	920	758	162	259,4	2,44	1529
2005/2006	Outono	512	26,7	5,0	1006	810	196	278,7	3,66	1604
2006/2007	Outono	512	27,9	5,0	893	705	188	348,5	2,97	1699
2007/2008	Outono	512	43,6	9,0	882	694	188	256,4	6,24	1510
2008/2009	Outono	512	63,0	12,0	927	723	204	323,0	7,76	1543
2009/2010	Outono	512	72,0	14,0	996	745	250	437,2	8,08	1573

Tabela 3 - Impacto da evapotranspiração na vazão de acordo com as simulações do ciclo de inverno correspondente aos meses de junho a maio - 1990 a 2010: bacia hidrográfica do rio Tijuco (MG)

Ano	Ciclo	Área da bacia hidrográfica do rio Tijuco após recorte (1.000 ha)	Área (1.000 ha) cultivada com cana-de-açúcar	Área ocupada em %	ETR cana (mm^{-1})	ETR pastagem (mm^{-1})	Diferença da ETR = cana - pastagem (mm^{-1})	Vazão mínima (mm/s ano)	(ETR cana-ETR pastagem)* AO/Qmin	Precipitação (mm ano^{-1})
1990/1991	Inverno	512	0,9	0,18	1128	827	302	244,2	0,23	1639
1991/1992	Inverno	512	1,1	0,23	967	719	248	264,6	0,21	1266
1992/1993	Inverno	512	1,2	0,22	1090	756	333	287,7	0,25	1367
1993/1994	Inverno	512	1,3	0,26	1114	838	276	331,9	0,21	1591
1994/1995	Inverno	512	1,3	0,25	1027	744	283	319,4	0,22	1506
1995/1996	Inverno	512	3,6	0,71	998	748	250	192,4	0,93	1082
1996/1997	Inverno	512	1,8	0,36	985	720	265	229,2	0,41	1293
1997/1998	Inverno	512	1,8	0,37	1117	868	249	230,5	0,39	1580
1998/1999	Inverno	512	1,9	0,37	1113	765	349	235,8	0,55	1387
1999/2000	Inverno	512	1,9	0,37	960	701	259	230,5	0,42	1312
2000/2001	Inverno	512	2,1	0,41	1096	863	233	172,6	0,56	1217
2001/2002	Inverno	512	7,1	1,0	1025	782	243	156,7	2,16	1392
2002/2003	Inverno	512	10,1	2,0	1021	722	299	205,2	2,88	1489
2003/2004	Inverno	512	19,1	4,0	1028	729	299	239,0	4,67	1311
2004/2005	Inverno	512	20,1	4,0	1087	808	279	256,2	4,28	1508
2005/2006	Inverno	512	26,7	5,0	1101	800	301	298,3	5,26	1590
2006/2007	Inverno	512	27,9	5,0	1020	720	299	329,7	4,96	1664
2007/2008	Inverno	512	43,6	9,0	1036	746	290	282,5	8,74	1613
2008/2009	Inverno	512	63,0	12,0	1048	728	320	322,4	12,23	1447
2009/2010	Inverno	512	72,0	14,0	1116	781	335	453,5	10,38	1581

Tabela 4 - Impacto da evapotranspiração na vazão de acordo com as simulações do ciclo de primavera correspondente aos meses de novembro a outubro - 1990 a 2010: bacia hidrográfica do rio Tijuco (MG)

Ano	Ciclo	Área da bacia hidrográfica do rio Tijuco após recorte (1.000 ha)	Área (1.000 ha) cultivada com cana-de-açúcar	Área ocupada em %	ETR cana (mm^{-1})	ETR pastagem (mm^{-1})	Diferença da ETR = cana - pastagem (mm^{-1})	Vazão mínima (mm/s ano)	(ETR cana-ETR pastagem)* AO/Qmin	Precipitação (mm ano^{-1})
1990/1991	Primavera	512	0,9	0,18	759	646	113	281,9	0,07	1515
1991/1992	Primavera	512	1,1	0,23	882	755	126	244,0	0,12	1442
1992/1993	Primavera	512	1,2	0,22	953	841	112	308,9	0,08	1354
1993/1994	Primavera	512	1,3	0,26	757	672	85	316,5	0,07	1451
1994/1995	Primavera	512	1,3	0,25	745	660	85	321,6	0,07	1502
1995/1996	Primavera	512	3,6	0,71	873	774	98	190,5	0,37	1124
1996/1997	Primavera	512	1,8	0,36	908	799	109	200,1	0,19	1428
1997/1998	Primavera	512	1,8	0,37	884	772	111	227,3	0,18	1543
1998/1999	Primavera	512	1,9	0,37	787	689	99	236,0	0,16	1247
1999/2000	Primavera	512	1,9	0,37	770	683	86	236,2	0,14	1328
2000/2001	Primavera	512	2,1	0,41	925	825	100	144,8	0,29	1266
2001/2002	Primavera	512	7,1	1,0	713	643	69	159,8	0,60	1313
2002/2003	Primavera	512	10,1	2,0	822	696	126	230,7	1,08	1507
2003/2004	Primavera	512	19,1	4,0	830	719	110	242,0	1,70	1332
2004/2005	Primavera	512	20,1	4,0	906	839	68	267,7	0,99	1567
2005/2006	Primavera	512	26,7	5,0	860	739	121	304,3	2,07	1655
2006/2007	Primavera	512	27,9	5,0	739	676	63	312,1	1,10	1546
2007/2008	Primavera	512	43,6	9,0	809	698	112	297,2	3,20	1629
2008/2009	Primavera	512	63,0	12,0	917	806	111	344,0	3,97	1596
2009/2010	Primavera	512	72,0	14,0	798	700	98	470,7	2,93	1484

4.5. Bacia hidrográfica do rio Arantes (MG)

A bacia hidrográfica do Rio Arantes (BHR Arantes) possui uma área de drenagem de 352.000 ha, apresentando em 2010 28% dessa área ocupada por cana-de-açúcar. A bacia compreende cinco municípios: Campina Verde, Iturama, União de Minas, Santa Vitória e Limeira do Oeste que apresentam grande potencial de expansão das lavouras canavieiras, como pode ser verificado na Figura 34. Na BHR Arantes, a cana-de-açúcar é de longe a cultura mais praticada. Em 2010, a bacia destinava em torno de 100 mil hectares com o cultivo da cana, correspondendo a 28% de sua área. A área com soja estava em torno de 0,048% e a com milho 0,07% em 2010.

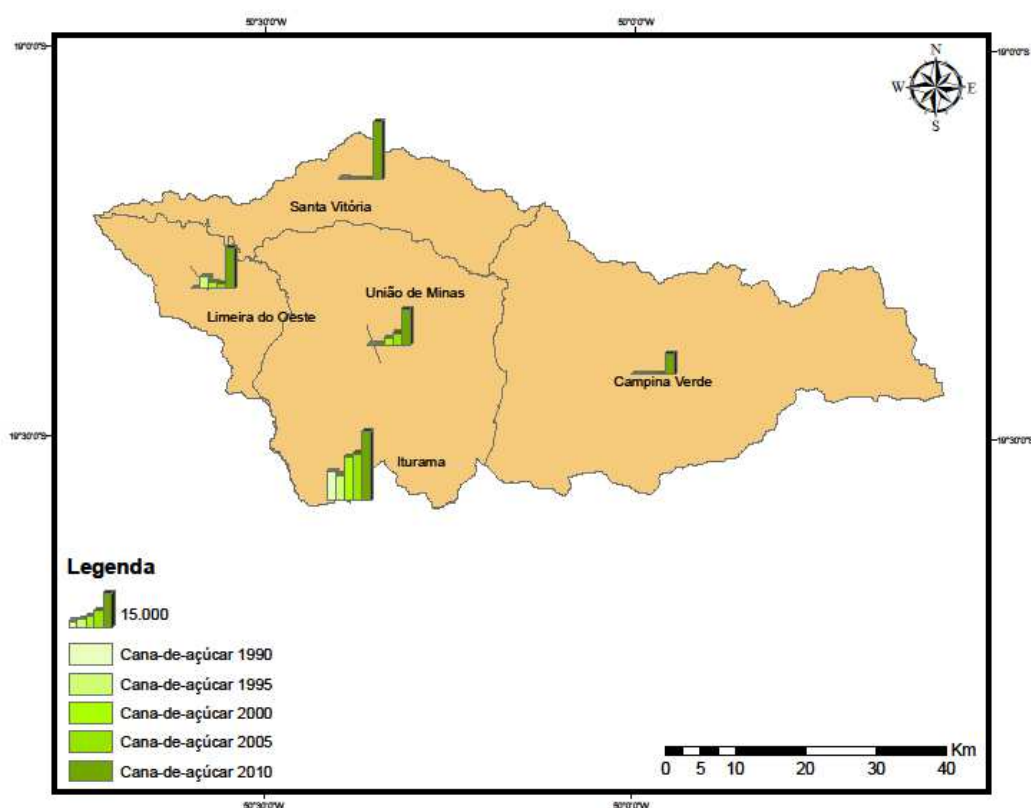


Figura 34 - Área da bacia hidrográfica do rio Arantes (MG): municípios e área cultivada com cana-de-açúcar a partir de 1990.

O relevo apresenta altitudes que varia de 300 a 700 metros de altitude. É constituído de 81% de Latossolo Vermelho com Textura Média (SEMAD - 2010). São solos profundos, porosos e bem drenados que possuem baixa capacidade de armazenamento de água devido ao baixo teor de argila.

O comportamento da precipitação pluvial e da evapotranspiração de referência (ET_o) da BHR Arantes é apresentado na Figura 35. Das bacias estudadas, essa foi a que apresentou a menor média de precipitação para o período estudado, 1.358 mm ano⁻¹, sendo que 29% dos anos apresentaram média de 1.193 mm ano⁻¹. A média total de ET_o para o período foi de 1.269 mm ano⁻¹, desse período 19% apresentaram média de 1.182 mm ano⁻¹.

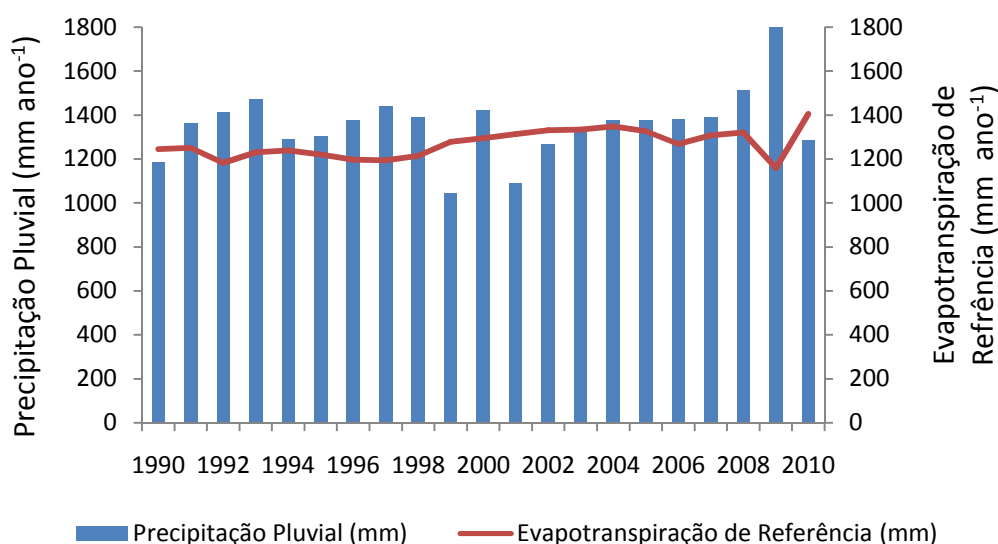


Figura 35 - Valores anuais de precipitação pluvial e de evapotranspiração de referência da bacia hidrográfica do rio Arantes (MG) no período compreendido entre 1990 a 2010.

4.5.1. Ciclo de outono: abril a março

A simulação para o ciclo de outono (abril a março), da evapotranspiração real (ETR) da cana e da pastagem é apresentada na Figura 36. A cana-de-açúcar apresentou ETR médio máximo nos meses de dezembro em torno de 141 mm mês⁻¹ e mínimo nos meses de agosto com 17,1 mm mês⁻¹. O desvio padrão médio foi de 17,2 mm. A ETR da pastagem foi inicialmente superior ao da cana. Em média a pastagem apresentou ETR máxima de 96,3

mm no mês de dezembro para o período analisado e mínimo de 9 mm no mês de julho. O valor médio do desvio padrão para o período considerado foi de 14,8 mm.

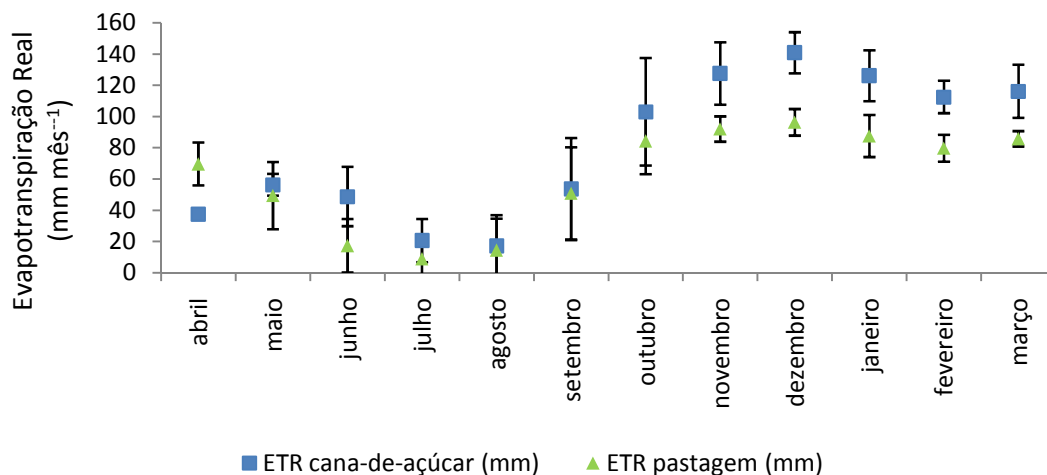


Figura 36 - Médias mensais da evapotranspiração real e desvio padrão da cana-de-açúcar e da pastagem para o ciclo de outono: 1990 a 2010 - bacia hidrográfica do rio Arantes (MG).

Na presente simulação a cana obteve ETR anual de 960 mm ano^{-1} e a pastagem apresentou 736 mm ano^{-1} . Conforme já discutido, esses valores estão de acordo com os encontrados na literatura.

O comportamento da diferença entre a ETR da cana e da pastagem no ciclo de outono pode ser verificado na Figura 37. Nela, pode ser constatado que o desempenho da cana ao longo do período apresenta ETR superior ao da pastagem oscilando em média 223 mm ano^{-1} . O valor elevado de ETR da cana em setembro de 1993 e 1994 pode ter ocorrido devido aos maiores índices de precipitação naquele ano.

Nesse ciclo a cana mantém sua evapotranspiração elevada até o final de 365 dias.

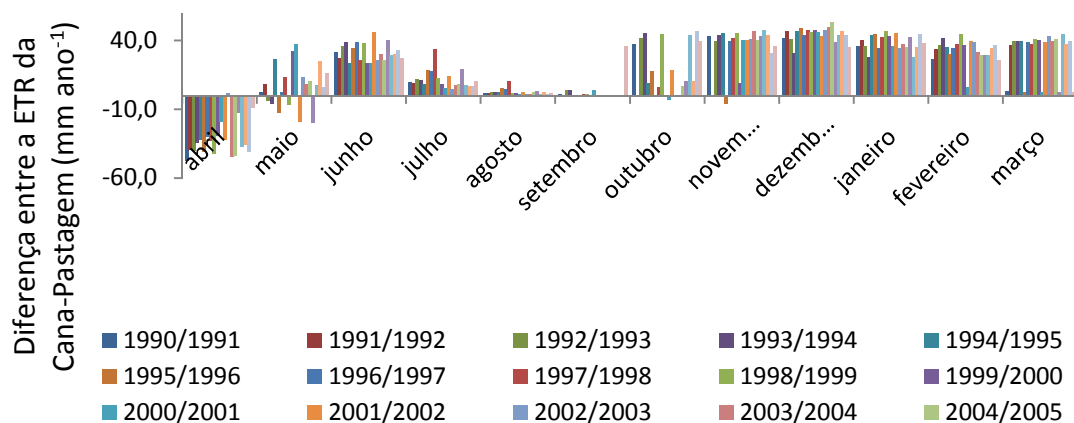


Figura 37 - Diferença entre a evapotranspiração real da cana-de-açúcar e da pastagem no ciclo de outono: bacia hidrográfica do rio Arantes (MG) - 1990 a 2010.

4.5.2. Ciclo de inverno: junho a maio

As simulações do ciclo de inverno apresentam-se muito similar ao mesmo ciclo simulado para as demais bacias, com a cana respondendo rapidamente longo no primeiro mês. O comportamento da ETR das culturas simuladas é apresentado na Figura 38. A máxima ETR obtida foi nos meses de dezembro em torno de 140 mm mês⁻¹ e a mínima de 33,7mm mês⁻¹ em junho. O desvio padrão médio foi de 18 mm.

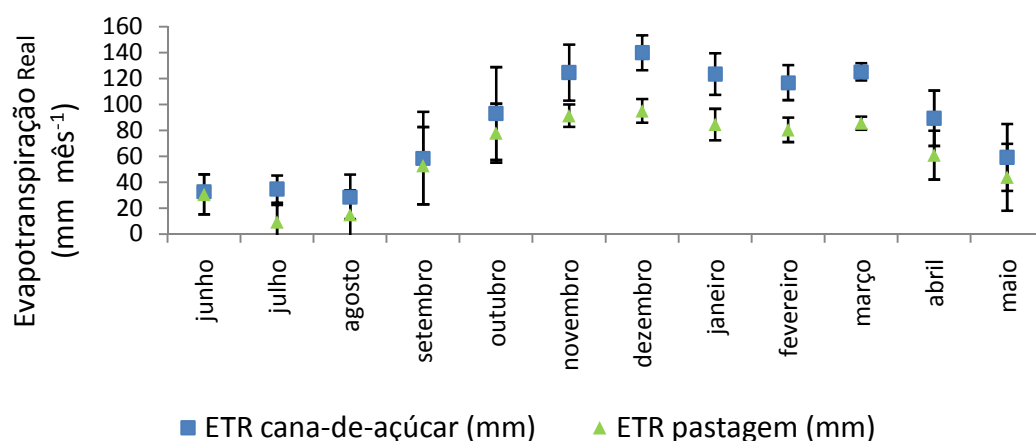


Figura 38 - Médias mensais da evapotranspiração real e desvio padrão da cana-de-açúcar e da pastagem para o ciclo de inverno: 1990 a 2010 - bacia hidrográfica do rio Arantes (MG).

Os valores médios máximos 95 mm mês⁻¹ ocorreram nos meses de dezembro e os mínimos médios 12 mm nos meses de julho.

O total de ETR da cana foi em média 1.043,5 mm ano⁻¹ e da pastagem 748,5 mm ano⁻¹. Esses valores estão de acordo com os apresentados por Santos (2005), Almeida et al. (2008) e Rio Grande do Sul (2010), conforme apresentados anteriormente.

A diferença entre a ETR das culturas estudadas é apresentada na Figura 39. Em média para as simulações do presente ciclo a diferença foi de 295 mm ano⁻¹. Essa simulação foi a que apresentou os maiores valores de ETR para a cana-de-açúcar e, conseqüentemente, as maiores diferenças de ETR.

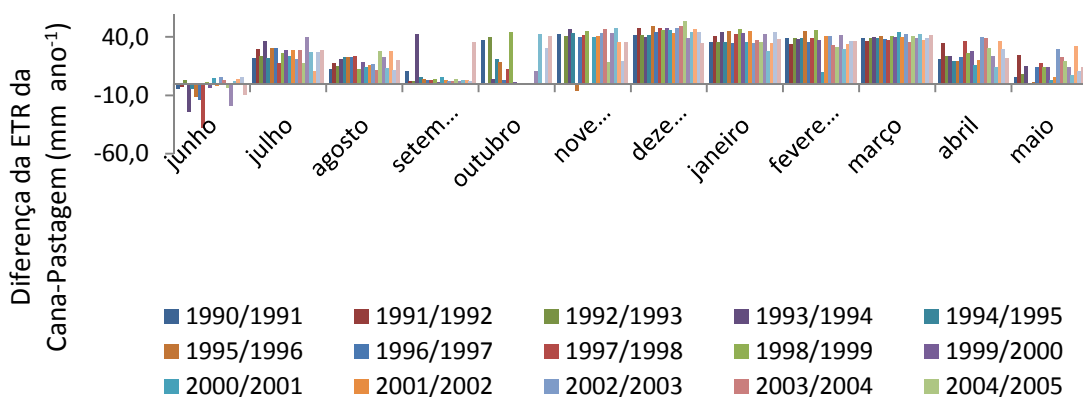


Figura 39 - Diferença entre a evapotranspiração real da cana-de-açúcar e da pastagem no ciclo de inverno: bacia hidrográfica do rio Arantes (MG) - 1990 a 2010.

4.5.3. Ciclo de primavera: novembro a outubro

O comportamento da ETR para as culturas simuladas são apresentados na Figura 40. O valor médio máximo de ETR cana foi de 125,5 mm mês⁻¹ ocorrido nos meses de março e mínimo de julho de 11,8 mm mês⁻¹. A pastagem apresentou ETR máxima de 95,8mm mês⁻¹ nos meses de dezembro e mínimas de 9,4 mm em julho.

O ciclo de primavera apresentou em média ETR total da cana 832,6 mm ano⁻¹ e ETR pastagem de 727,4 mm ano⁻¹. Esses valores estão de acordo

Cabral et al. (2012) e com Rio Grande do Sul (2010), conforme apresentado anteriormente.

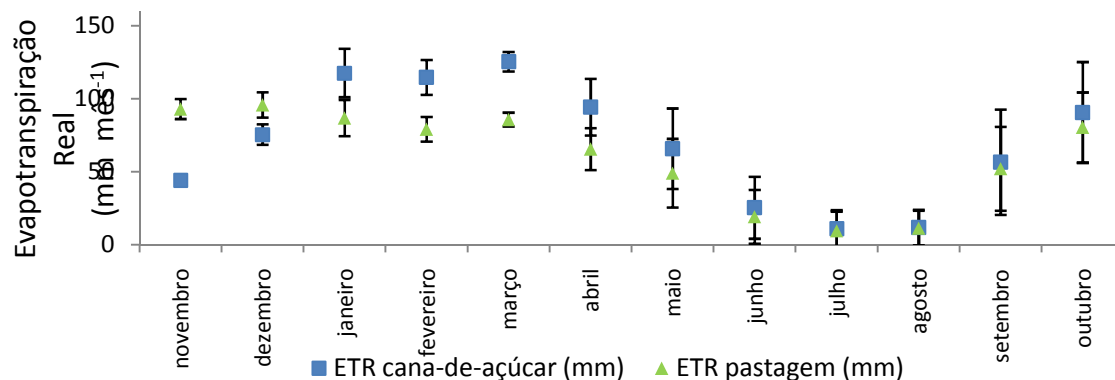


Figura 40 - Médias mensais da evapotranspiração real e desvio padrão da cana-de-açúcar e da pastagem para o ciclo de primavera: 1990 a 2010 - bacia hidrográfica do rio Arantes (MG).

A diferença da ETR foi em média $105,2 \text{ mm ano}^{-1}$, com valores mais elevados durante os meses de elevada precipitação e máximo crescimento da cana, conforme pode ser observado na Figura 41. Os valores discrepantes apresentados nos meses de setembro, outubro ocorreram anos 1991, 1993 e 2008, nos quais a diferença da ETR da cana foi em média 40 mm mês^{-1} superior ao da pastagem, mesmo na fase de senescência.

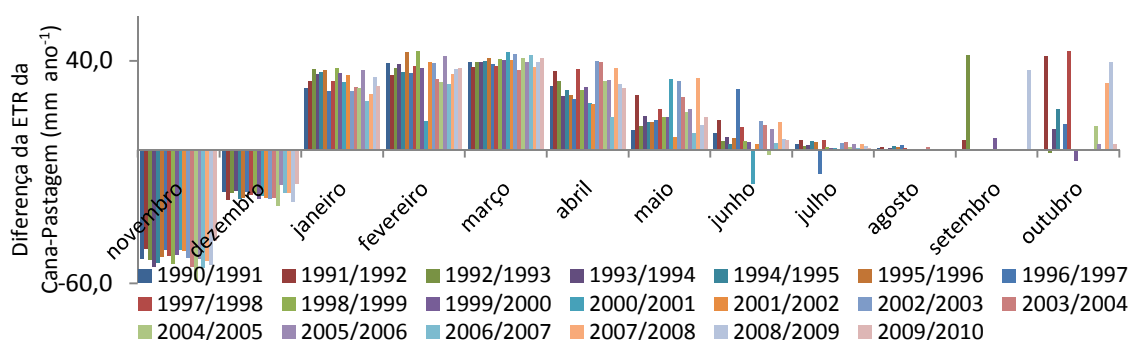


Figura 41 - Diferença entre a evapotranspiração real da cana-de-açúcar e da pastagem no ciclo de primavera: bacia hidrográfica do rio Arantes (MG) - 1990 a 2010.

4.5.4. Vazões

Na Figura 42 são apresentados os valores médios mensais acumulados de vazão da estação fluviométrica São Domingos da BHR Arantes. Verifica-se que o comportamento da vazão é governado pela precipitação, embora a vazão tenha apresentado médias superiores na segunda década.

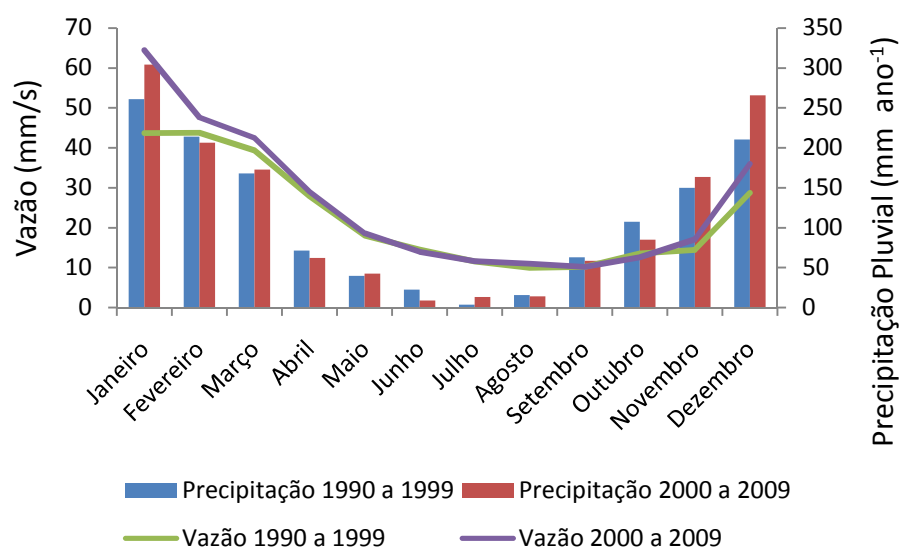


Figura 42 - Médias mensais da vazão e precipitação na bacia hidrográfica do rio Arantes (MG) - período 1: 1990 a 1999 e período 2: 2000 a 2009.

A BHR Arantes possui menor área de drenagem e menores valores de vazão. Essa bacia apresentou maiores alterações nas vazões analisadas.

O aumento na média da vazão (Tabela 5) não está relacionado a maiores índices de precipitação devido as médias dessa variável serem próximas nos dois períodos.

Tabela 5 - Análise estatística da vazão da estação fluviométrica Ponte São Domingos - bacia hidrográfica do rio Arantes (MG) para os períodos 1990 a 1999 e 2000 a 2009

Estação fluviométrica Ponte São Domingos	Vazão (mm/s) 1990 a 1999	Vazão (mm/s) 2000 a 2009
Média	275,1	429,8
Desvio padrão	66,8	87,5
Mínima	204,4	138,8
Máxima	426,5	423,7

Possivelmente, o aumento nas vazões pode estar relacionado com a ocupação da bacia, uma vez que todos os municípios da referida bacia apresentaram crescimento populacional e expansão da área ocupada pela agricultura após o ano de 2000. A mudança de uso do solo como maior área impermeabilizada, desmatamento para culturas anuais contribuem para o maior escoamento superficial resultando em menor infiltração e maiores vazões.

Os indicadores de sazonalidade (IS%) e de escoamento superficial (IE%) na BHR Arantes são apresentados na Figura 43.

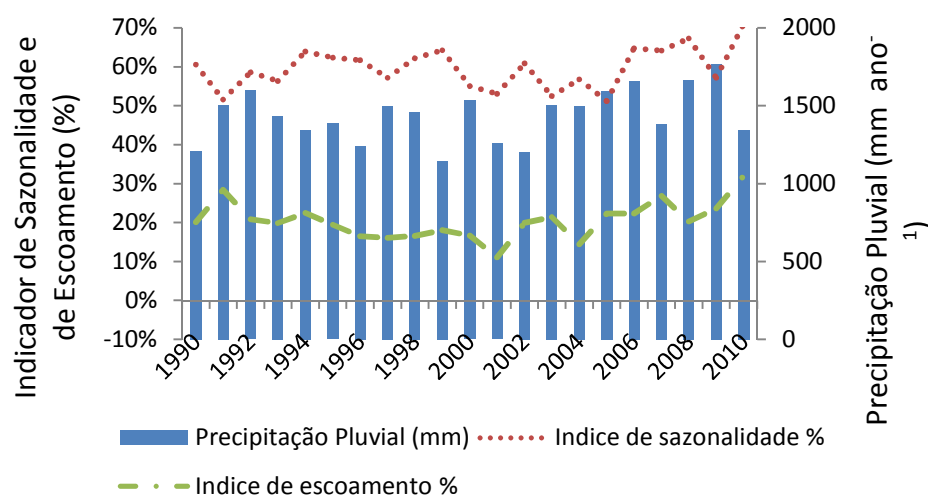


Figura 43 - Indicador de sazonalidade e escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Arantes (MG) no período compreendido entre 1990 a 2010.

Em 38% do tempo estudado o escoamento superficial apresentou-se abaixo de 20%. Esse valor representa que em torno de 20% da precipitação é convertido em vazão, o restante ficará disponível para o processo de evapotranspiração.

Embora o IE seja menor em relação à BHRT, ainda se apresenta satisfatório se comparado aos resultados apresentados Pereira (2007), conforme mencionado.

A sazonalidade no curso d'água da BHR Arantes apresenta pouca variação ao longo do período estudado, permanecendo em grande parte do tempo com valores acima de 50%. Esse resultado é favorável, pois há regularização na vazão ao longo do ano.

4.5.5. Avaliação do impacto da evapotranspiração real da cana-de-açúcar e da pastagem na vazão da bacia hidrográfica do rio Arantes

As Tabelas 6, 7 e 8 apresentam a expansão da área cultivada com cana-de-açúcar na BHR Arantes no período de 1990 a 2010, a evapotranspiração da cana e da pastagem e o impacto da ETR na vazão.

A presente bacia apresentou resultados de ETR semelhantes ao encontrados na BHRT. A média da ETR da cana no ciclo de outono foi de 960 mm ano⁻¹ e da pastagem 736 mm ano⁻¹. A diferença da ETR das duas culturas foi de 224 mm ano⁻¹. O impacto da diferença da ETR na vazão variou de 3,2% a 26,8%.

O ciclo de inverno apresentou os maiores valores de ETR. A média apresentada pela cana foi de 1.043 mm ano⁻¹ e da pastagem 749 mm ano⁻¹. A diferença da ETR entre as duas culturas foi de 295 mm ano⁻¹. O impacto na vazão variou de 5,5% a 34,3%.

No ciclo de primavera a ETR foi de 833 mm ano⁻¹, a pastagem 727 mm ano⁻¹ e a diferença entre as culturas 105 mm ano⁻¹. O impacto variou de 1,5% a 16,8%.

O impacto causado na vazão da BHR Arantes foi notavelmente superior ao encontrado na BHRT. Esse fato pode estar correlacionado a menor área de drenagem e vazões da BHR Arantes serem menores do que as da

BHRT, uma vez que os valores obtidos de ETR nas simulações dos ciclos tanto para cana como para pastagem foram similares.

As duas bacias em estudo apresentam características climáticas e edáficas muito relacionadas a devido à posição geográfica compreendendo coordenadas muito próximas. As variáveis de radiação, umidade relativa, velocidade do vento, precipitação e características dos solos muito semelhantes podem influenciar nos resultados das simulações de evapotranspiração das culturas cana e pastagem.

Entretanto, os impactos causados nas vazões foram muito diferentes, devido à quantidade de água produzida em cada bacia. Os resultados indicam que o uso do solo na presente bacia deve buscar o equilíbrio sustentável de forma a reverter às tendências através de medidas de recuperação e manejo adequado.

O ciclo mais crítico foi o de inverno. Nessa simulação, o impacto da diferença de uso do solo foi responsável por 34% da vazão do rio. No ciclo de outono, 25,5% e na primavera 9,2%. A atenção a essa bacia se deve as potenciais estimativas de crescimento da cana-de-açúcar e a possibilidade de comprometimento dos recursos hídricos para outras demandas.

Através de um estudo teórico e empírico, Carneiro (2003), analisou conflitos do uso da água em Campos dos Goytacazes (RJ), devido ao uso da água pela cana-de-açúcar. A região era pantanosa, após a expansão das lavouras canavieiras associadas a práticas inadequadas de manejo, tornou-se uma região com problemas de escassez de água.

Tabela 6 - Impacto da evapotranspiração na vazão de acordo com as simulações do ciclo de outono correspondente aos meses de abril a março: 1990 a 2010 – bacia hidrográfica do rio Arantes (MG)

Ano	Ciclo	Área da bacia hidrográfica do rio Arantes (1.000 ha)	Área (1.000 ha) cultivada com cana-de-açúcar	Área ocupada (AO) em %	ETR cana (mm ⁻¹)	ETR pastagem (mm ⁻¹)	Diferença = cana - pastagem (mm ⁻¹)	Vazão mínima (mm ano ⁻¹)	(ETR cana-ETR pastagem)* AO/Qmin	Precipitação (mm ano ⁻¹)
1990/1991	Outono	352	13,5	4	1009	823	186	179,1	4,0	1615
1991/1992	Outono	352	13,7	4	830	665	165	204,1	3,2	1206
1992/1993	Outono	352	13,4	4	1025	781	245	196,4	4,8	1249
1993/1994	Outono	352	13,7	4	1025	781	244	190,1	5,0	1555
1994/1995	Outono	352	16,5	5	903	655	248	174,1	6,7	1393
1995/1996	Outono	352	13,9	4	926	782	144	143,3	4,0	1164
1996/1997	Outono	352	21,5	6	936	711	226	129,7	10,6	1331
1997/1998	Outono	352	23,4	7	1095	831	264	135,2	13,0	1466
1998/1999	Outono	352	23,4	7	1077	805	271	168,1	10,7	1404
1999/2000	Outono	352	25,4	7	880	667	213	127,6	12,0	1238
2000/2001	Outono	352	29,5	8	893	716	178	104,7	14,2	986
2001/2002	Outono	352	24,0	7	1033	795	237	113,9	14,2	1466
2002/2003	Outono	352	29,7	8	889	637	252	134,6	15,8	1294
2003/2004	Outono	352	28,7	8	915	708	207	153,6	11,0	1119
2004/2005	Outono	352	28,9	8	962	753	209	156,6	11,0	1482
2005/2006	Outono	352	38,5	11	1019	822	197	202,8	10,6	1353
2006/2007	Outono	352	40,7	12	956	709	246	253,6	11,2	1585
2007/2008	Outono	352	49,3	14	915	679	236	224,6	14,7	1407
2008/2009	Outono	352	81,1	23	956	708	248	213,7	26,8	1492
2009/2010	Outono	352	100,3	28	951	693	258	288,1	25,5	1591

Tabela 7 - Impacto da evapotranspiração na vazão de acordo com as simulações do ciclo de inverno correspondente aos meses de junho a maio: 1990 a 2010 - bacia hidrográfica do rio Arantes (MG)

Ano	Ciclo	Área da bacia hidrográfica do rio Arantes(1.000 ha)	Área (1.000 ha) cultivada com cana-de-açúcar	Área ocupada (AO) em %	ETR cana (mm ⁻¹)	ETR pastagem (mm ⁻¹)	Diferença da ETR = cana - pastagem (mm ⁻¹)	Vazão mínima(m ³ s ⁻¹)	(ETR cana-ETR pastagem)* AO/Qmin	Precipitação (mm ano ⁻¹)
1990/1991	Inverno	352	13,5	4	1117	814	303	207,3	5,6	1543
1991/1992	Inverno	352	13,7	4	982	718	265	187,8	5,5	1269
1992/1993	Inverno	352	13,4	4	1025	712	313	183,5	6,5	1153
1993/1994	Inverno	352	13,7	4	1128	802	327	197,0	6,5	1553
1994/1995	Inverno	352	16,5	5	996	710	285	181,3	7,4	1472
1995/1996	Inverno	352	13,9	4	1046	787	259	121,9	8,4	1146
1996/1997	Inverno	352	21,5	6	1016	741	275	129,3	13,0	1362
1997/1998	Inverno	352	23,4	7	1137	856	281	144,3	12,9	1477
1998/1999	Inverno	352	23,4	7	1122	768	354	161,0	14,6	1295
1999/2000	Inverno	352	25,4	7	923	665	258	129,4	14,3	1229
2000/2001	Inverno	352	29,5	8	1055	813	242	90,3	22,4	1088
2001/2002	Inverno	352	24,0	7	998	717	281	127,7	15,0	1325
2002/2003	Inverno	352	29,7	8	1068	743	325	155,9	17,6	1398
2003/2004	Inverno	352	28,7	8	1025	715	310	130,7	19,4	1159
2004/2005	Inverno	352	28,9	8	1030	754	276	159,2	14,3	1423
2005/2006	Inverno	352	38,5	11	1108	808	300	220,9	14,9	1328
2006/2007	Inverno	352	40,7	12	1010	708	302	251,5	13,9	1548
2007/2008	Inverno	352	49,3	14	1026	723	303	233,6	18,2	1486
2008/2009	Inverno	352	81,1	23	973	672	301	202,4	34,3	1397
2009/2010	Inverno	352	100,3	28	1084	746	338	281,5	34,3	1616

Tabela 8 - Impacto da evapotranspiração na vazão de acordo com as simulações do ciclo de primavera correspondente aos meses de novembro a outubro: 1990 a 2010 - bacia hidrográfica do rio Arantes (MG)

Ano	Ciclo	Área da bacia hidrográfica do rio Arantes (1.000 ha)	Área (1.000 ha) cultivada com cana-de-açúcar	Área ocupada (AO) em %	ETR cana (mm^{-1})	ETR pastagem (mm^{-1})	Diferença = cana - pastagem (mm^{-1})	Vazão mínima ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	(ETR cana - ETR pastagem)* AO/Qmin	Precipitação (mm ano^{-1})
1990/1991	Primavera	352	13,5	4	763	677	86	221,5	1,5	1394
1991/1992	Primavera	352	13,7	4	911	751	160	179,6	3,5	1407
1992/1993	Primavera	352	13,4	4	920	789	131	172,1	2,9	1174
1993/1994	Primavera	352	13,7	4	748	651	97	193,3	2,0	1391
1994/1995	Primavera	352	16,5	5	861	759	101	182,8	2,6	1505
1995/1996	Primavera	352	13,9	4	868	770	98	109,6	3,5	1131
1996/1997	Primavera	352	21,5	6	926	824	101	139,4	4,4	1481
1997/1998	Primavera	352	23,4	7	941	789	152	144,4	7,0	1469
1998/1999	Primavera	352	23,4	7	779	681	98	149,6	4,4	1163
1999/2000	Primavera	352	25,4	7	772	681	90	128,8	5,0	1264
2000/2001	Primavera	352	29,5	8	872	812	60	82,1	6,1	1087
2001/2002	Primavera	352	24,0	7	737	662	75	142,0	3,6	1303
2002/2003	Primavera	352	29,7	8	789	665	124	165,9	6,3	1348
2003/2004	Primavera	352	28,7	8	823	723	100	119,4	6,8	1192
2004/2005	Primavera	352	28,9	8	916	843	73	175,7	3,4	1536
2005/2006	Primavera	352	38,5	11	842	725	117	228,0	5,6	1303
2006/2007	Primavera	352	40,7	12	709	662	47	256,8	2,1	1488
2007/2008	Primavera	352	49,3	14	804	663	140	230,0	8,5	1483
2008/2009	Primavera	352	81,1	23	898	742	155	212,6	16,8	1593
2009/2010	Primavera	352	100,3	28	775	675	100	310,1	9,2	1505

4.6. Análise das diferenças da evapotranspiração da cana-de-açúcar e da pastagem nos ciclos de outono, inverno e primavera.

Para a realização desse estudo optou-se por analisar três períodos mais representativos para o corte e desenvolvimento da cana-de-açúcar.

As Figuras 44, 45, 46 e 47 apresentam resultados da diferença da evapotranspiração da cana e da pastagem em cada cenário simulado para o período de 1990 a 2010.

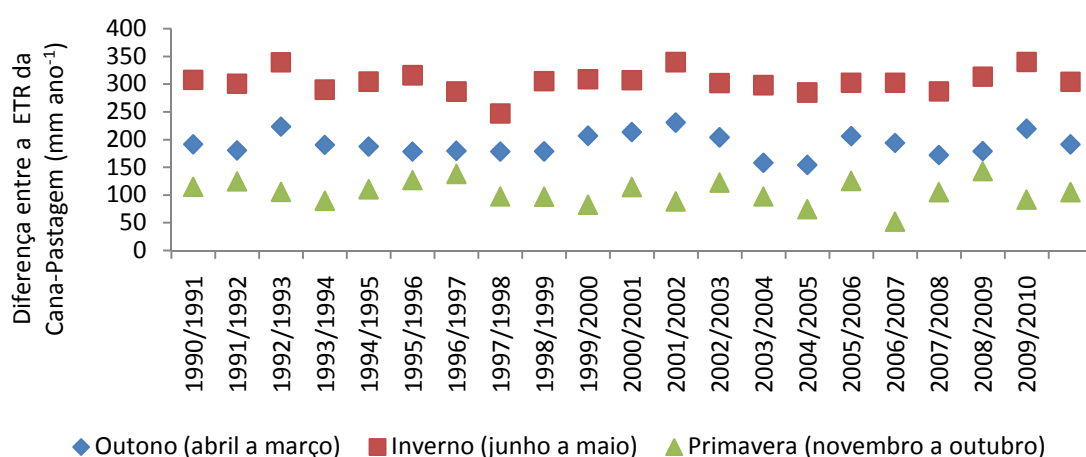


Figura 44 - Diferença entre a evapotranspiração real (ETR) da cana-de-açúcar e da pastagem nos ciclos de outono, inverno e primavera na bacia hidrográfica dos rios Turvo e dos Bois (GO) no período compreendido entre 1990 a 2010.

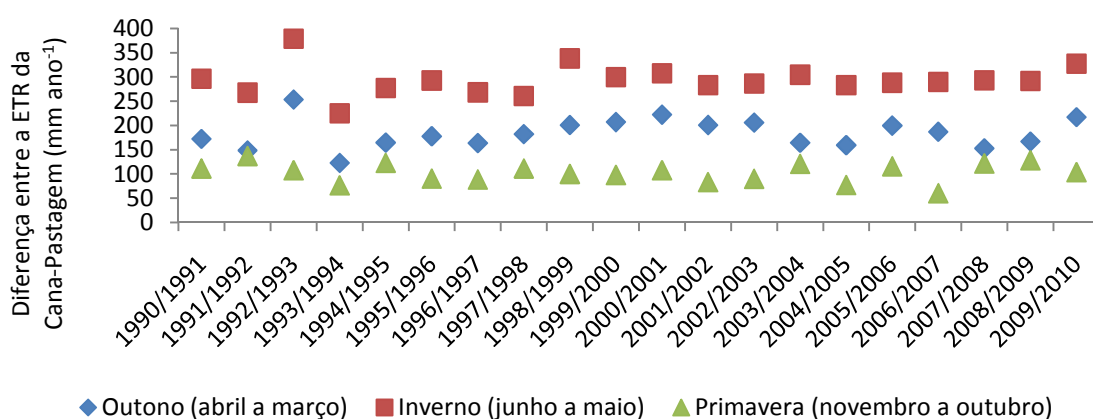


Figura 45 - Diferença entre a evapotranspiração real (ETR) da cana-de-açúcar e da pastagem nos ciclos de outono, inverno e primavera na bacia hidrográfica do rio Araguari (MG) no período compreendido entre 1990 a 2010.

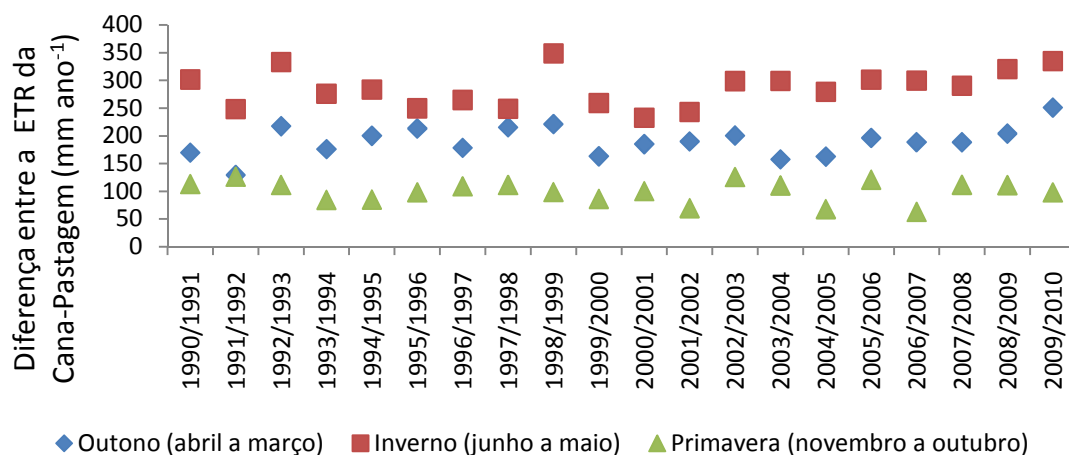


Figura 46 - Diferença entre a evapotranspiração real (ETR) da cana-de-açúcar e da pastagem nos ciclos de outono, inverno e primavera na bacia hidrográfica do rio Tijuco (MG) no período compreendido entre 1990 a 2010.

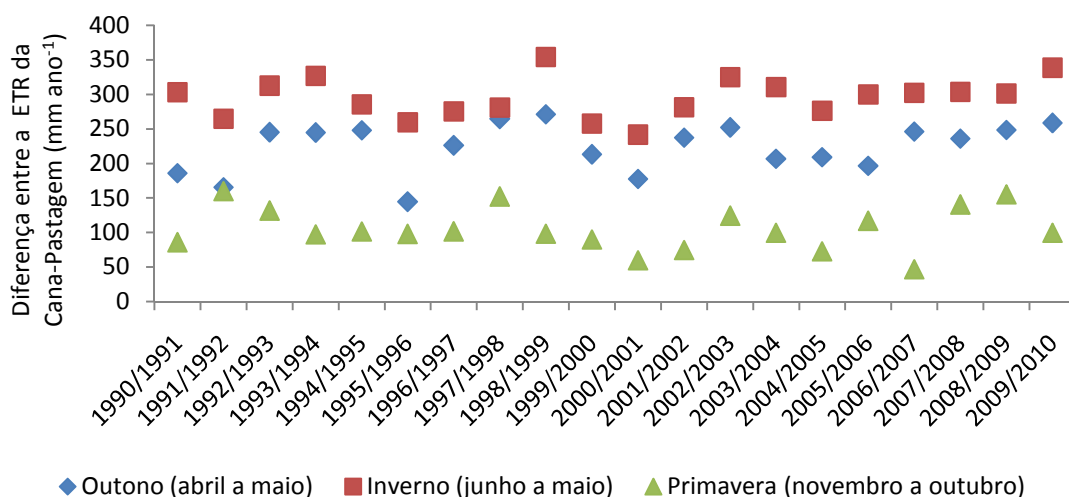


Figura 47 - Diferença entre a evapotranspiração real (ETR) da cana-de-açúcar e da pastagem nos ciclos de outono, inverno e primavera na bacia hidrográfica do rio Arantes (MG) no período compreendido entre 1990 a 2010.

O maior valor da diferença da evapotranspiração real entre a cana e a pastagem foi encontrado nos ciclos de inverno nas quatro sub-bacias em estudo, conforme pode ser verificado nas Figuras 54, 55, 56 e 57. Esses valores podem estar relacionados ao período de déficit hídrico, correspondendo aos meses de maio a setembro. Nesse período, a pastagem se encontra muito

degradada, sem presença do sistema radicular e com o solo muito exposto. A cana-de-açúcar apesar de ter sido cortada no mês de junho, ainda apresenta sistema radicular e o solo não se apresenta completamente exposto. Esses fatores favorecem um rápido crescimento e recomposição da biomassa inicial dessa cultura com as primeiras chuvas. Justifica-se, portanto o maior potencial de evapotranspiração nesse período em relação à pastagem. Nesses cenários a cana evapotranspirou em torno de 300 mm ano^{-1} a mais que a pastagem.

O período considerado ainda possui maior potencial de impacto no solo e consequentemente nos recursos hídricos. Considerando que a grande maioria das pastagens nas bacias em estudo não são manejadas, o solo exposto no período de seca é passível de maior compactação pelo pisoteio do gado e pelas primeiras chuvas que ao encontrá-lo sem a proteção vegetal contribui para compactação. Nesse momento o potencial de erosão laminar será maior, menor infiltração e consequentemente mais solos carregados para os cursos d'água.

Toda essa dinâmica irá contribuir para a menor residência da água na bacia hidrográfica reduzindo, portanto a recarga dos aquíferos. Isso refletirá nos períodos de seca com menor disponibilidade de recursos hídricos de forma geral.

As simulações dos ciclos outono e primavera apresentaram menor diferença entre a ETR da cana e pastagem. No ciclo de outono, com a simulação iniciada em abril, a pastagem ainda possui importante índice de área foliar (IAF), o solo está abastecido de água possuindo assim potencial para manter a evapotranspiração. Após o corte, a cana-de-açúcar responde rapidamente às condições favoráveis do ambiente e seu potencial de evapotranspirar se sobrepõe ao da pastagem. No período simulado o solo permanece menos tempo desprotegido, o que pode minimizar os impactos como erosão laminar, devido ao período ser de menores valores de precipitação.

Nesse cenário a cana evapotranspirou em torno de 196 mm ano^{-1} a mais que a pastagem.

O ciclo de primavera apresentou as menores diferenças de ETR entre as culturas simuladas. Esse fato ocorreu devido ao início da estação chuvosa

nas bacias em estudo o que favoreceu elevado IAF nas duas culturas. A diferença entre a ETR foi em média 105 mm ano⁻¹.

5. CONCLUSÕES

O processo de expansão da cana-de-açúcar na bacia hidrográfica do rio Paranaíba vem ocorrendo predominantemente em substituição a pastagens degradadas e em menor ocorrência em áreas de grãos. Em 1990 a área ocupada com cana-de-açúcar era em torno de 145 mil hectares. Em 2010 essa cultura já ocupava aproximadamente 850 mil hectares da bacia, o que representava 3,8% de área cultivada.

Especificamente, a referida mudança de uso do solo se verifica nas regiões do Triângulo Mineiro e faixa territorial localizada no centro da bacia que se estende de norte a sul da unidade hidrográfica.

Dentre os fatores que auxiliaram no entendimento da mudança de uso da terra na região a comparação dos totais evapotranspirados entre as culturas permitiram inferir adequadamente sob os impactos dessa intervenção nos recursos hídricos.

O maior consumo de água pela mudança de uso do solo nas bacias analisadas foi no ciclo de inverno da cana-de-açúcar, o qual é o responsável pelos maiores valores de evapotranspiração.

Nas duas sub-bacias estudadas, que se caracterizam entre as que sofreram as maiores mudanças de uso do solo, as comparações entre os consumos de água e as vazões mínimas demonstram existir uma redução potencial da vazão, isso fica mais evidente se for considerado a existência de outros usos da água como abastecimento humano, dessedentação de animais, indústria e irrigação.

A análise da distribuição dos plantios nas sub-bacias torna-se uma ferramenta indispensável para um manejo adequado do uso do solo, uma vez que plantios concentrados possuem maior potencial de interferência na disponibilidade de recursos hídricos localmente. Em adição aos plantios concentrados nas áreas de cabeceira tem maior possibilidade de promover redução da disponibilidade hídrica, já que essas são áreas de recarga importantes o que garante maior tempo de residência da água na bacia.

Por outro lado, plantios feitos próximos à foz não possuem o mesmo potencial de interferência na disponibilidade hídrica, pois a retirada da água se dá próximo ao ponto de descarga.

Deve-se considerar também que o alto consumo de água em determinada unidade hidrográfica compromete a disponibilidade hídrica de micro ou sub-bacias localizadas a jusante destas áreas.

6. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Diagnóstico da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba – parte B**. Brasília, 2011. (Contrato 012/2010 – Revisão 2).

AGUIAR, A.N. Mudança no uso e cobertura do solo pode alterar dinâmica de precipitação, vazão e evapotranspiração. **EcoDebate**, 09 fev. 2011.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALMEIDA, Alexsandro Claudio dos Santos; SOUZA, José Leonardo; TEODORO, Iêdo et al. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e disponibilidades térmicas. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1441-1448, 2008.

ARGENTON, Paulo Eduardo. Influências das variáveis edafoclimáticas e de manejo no rendimento de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) na região de Piracicaba, São Paulo. In: PEREIRA, Bruno Alves. **Agroindústria canavieira: uma análise sobre o uso da água na produção sucroalcooleira**. 2009. 182 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.

BARRETO, Carlos E.A.G.; WENDLAND, Edson; MARCUZZO, Francisco F.N. Estimativa da evapotranspiração a partir de variação de nível estático de aquífero. **Eng. Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.1, p.52-61, 2009.

BERNARDO, Salassier. **Manual de irrigação**. 4.ed. Viçosa: UFV, 1986. 488p.

BRASIL, F.C.; STOCCO, F.C.; PESSANHA, A.L.; SOUTO, R.L.; ZONTA, E.; ROSSIELO, R.O.P. Distribuição e variação temporal de características radiculares de *Brachiaria humidicola* em um Planossolo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37, 2000, Viçosa. **CD-ROM...** Viçosa: UFV, 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Assessoria de Gestão Estratégica. **Brasil: projeções do agronegócio 2010/2011 a 2020/2021**. Brasília, 2011. 59 p.

BRUNINI, O. Ambientes climáticos e exploração agrícola da cana-de-açúcar. In: DINARDOMIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; ANDRADE LANDELL, M.G. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p. 205-218.

CABRAL, O.M.R.; ROCHA, H.R.; LIGO, M.A.; BRUNINI, O.; DIAS, M.A.F.S. Fluxos turbulentos de calor sensível, vapor d'água e CO₂ sobre plantação de cana-de-açúcar (*Saccharum sp*) em Sertãozinho, SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 18, n. 1, p. 61-70, 2003.

CABRAL, Osvaldo M.R.; ROCHA, Humberto R.; GASH, John H. et al. Water use in a sugarcane plantation. **GCB Bioenergy**, v. 4, n. 5, p. 555-565, 2012.

CALDER, Ian R. Water use by forests, limits and controls. **Tree Physiology**, v. 18, p. 625-631, 1997.

CARVALHO, G.L. **Eficiência da produção agrícola de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo entre as safras 1990/1991 e 2005/2006**. 2009. 120p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.

CASTRO, Selma S. de; ABDALA, Klaus; SILVA, Adriana A.; BORGES, Vonedirce. A expansão da cana-de-açúcar no cerrado e no estado de Goiás. **B. Goiano. Geografia**, Goiânia, v. 30, n. 1, p. 171-190, 2010.

COELHO, Ana Carolina; GONTIJO JUNIOR, Wilde Cardoso; CARDOSO NETO Antônio. **Unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos**: uma proposta metodológica. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2004.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Perfil do açúcar e do álcool no Brasil**: edição para a safra de 2008/2009. Brasília, 2010. 80 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira**: cana-de-açúcar, terceiro levantamento - janeiro 2011. Brasília, 2011.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 172 p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Cerrados**: conhecimento, tecnologia e compromisso ambiental. 2.ed. Planaltina, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Agência de Informação EMBRAPA Bioma Cerrado**. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/Abertura.html>>. Acesso em: 10 out. 2011.

MIRANDA, E.E.(Coord.). **Brasil em relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005.

FARONI, Carlos Eduardo. **Sistema radicular da cana-de-açúcar e identificação de raízes metabolicamente ativas**. 2004. 68 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

FERES, José; REIS, Eustáquio; SPERANZA, Juliana. Mudanças climáticas globais e seus impactos sobre os padrões de uso do solo no Brasil. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 47, 2009, Porto Alegre. **Anais...** Brasília: SOBER, 2009.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - SEMAD. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais**: legenda expandida. Belo Horizonte, 2010. 49 p.

FERREIRA JUNIOR, Ricardo Araújo. **Crescimento de variedades RB de cana-de-açúcar irrigadas e fotossíntese modelada pela radiação solar**. 2010. 70 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, AL.

FRANK, Alberto Elvino; DORFMAN, Raul. Necessidades de irrigação suplementar em soja nas condições edafoclimáticas do Planalto Médio e Missões, RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n.8, p.1675-1683, 2000.

GAVA, Glauber J.C.; SILVA, Marcelo de A.; SILVA, Rodrigo C. da et al. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas Grande, v.15, n.3, p.250-255, 2011.

GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. de (Orgs.). **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

KANAMITSU, M.; EBISUZAKI, W.; WOOLLEN, J. et al. NCEP-DEO AMIP-II reanalysis (R-2). **Bul. of the Atmos. Met. Soc.**, p. 1631-1643, 2002.

KRUSCHE, Alex Vladimir; BALLESTER, Maria Victoria Ramos; VICTORIA, Reynaldo Luiz et al. Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos d'água da bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia. **Acta Amazônica**, v. 35, n. 2, p. 197-205, 2005.

LACLAU, Patricia Battie; LACLAU, J.P. Growth of the whole root system for a plant crop of sugarcane under rainfed and irrigated environments in Brazil. **Field Crops Research**, v. 114, p. 351-360, 2009.

LIMA, D.A.L.L. **Estrutura e expansão da agroindústria canavieira e seus impactos no uso da terra na região Sudoeste de Goiás**. 2010. 200p. Tese (Doutorado em Economia) – Universidade de Campinas, Campinas, SP.

LOARIE, Scott R.; LOBELL, David B.; ASNER, Gregory P. et al. Direct impacts on local climate of sugar-cane expansion in Brazil. **Nature Climate Change**, v. 1, p. 105-109, 2011.

LOPES, Alfredo Scheid; GUILHERME, Luiz Alberto Guimarães. **Solos sob cerrado: manejo da fertilidade para a produção agropecuária**. 2.ed. São Paulo: ANDA, 1994. 62 p. (Boletim Técnico, 5).

MACEDO, J. Os solos da região dos Cerrados. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. (Eds.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: UFV/SBCS, 1996. p. 135-155.

MACEDO, I.C. **A energia da cana-de-açúcar:doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade**. São Paulo: Berlendis & Vertecchia, UNICA (União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo), 2005.

MANZATTO, C.V.; ASSAD, E.D.; BACCA, J.F.M. et al. **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. (Documentos, 110).

MEIRELLES, Maria Lúcia; FARIAS, Sylvia Elaine Marques de; FRANCO, Augusto Cesar. **Balanco de energia de uma pastagem cultivada no cerrado**. Planaltina: EMBRAPA, 2003. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 81).

NEVES, Marcos Fava; TROMBIN, Gustavo Vinicius; CONSOLI, Matheus. In: SOUSA, Eduardo L. Leão de; MACEDO, Isaias de Carvalho. **Etanol e bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética**. São Paulo: Luc Projetos de Comunicação, 2010.

NOSETTO, M.D.; JOBBÁGY, E.D.; PARUELO, J.M. Land-use change and water losses: the case of grassland afforestation across a soil textural gradient in central Argentina. **Global Change Biology**, n. 11, p. 1101-1117, 2005.

OLIVEIRA, Gertrudes Macario de; LEITÃO, Mário de Miranda Vilas Boas Ramos; ALMEIDA, Andréa Cerqueira de. Determinação da evapotranspiração e dos coeficientes de cultura para as diferentes fases de desenvolvimento do Melão (*Cucumis melo* L.) na região norte da Bahia. **Revista Verde**, Mossoró, v.5, n.2, p. 142-151, 2010.

PEREIRA, Antonio Roberto; ANGELOCCI, Luiz Roberto; SENTELHAS, Paulo Cesar. **LCE 306 - Meteorologia Agrícola**. Piracicaba: ESALQ, 2007. 192 p. (Apostila).

PEREIRA, Silvio B.; PRUSKI, Fernando F.; SILVA, Demetrius D.; RAMOS, Márcio M.. Estudo do comportamento hidrológico do Rio São Francisco e seus principais afluentes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.11, n.6, p. 615-622, 2007.

PEREIRA, Bruno Alves. **Agroindústria canavieira**: uma análise sobre o uso da água na produção sucroalcooleira. 2009. 182 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.

PEREIRA, J.C.R.; HERNANDEZ, C.; NEALE, A.H.; TEIXEIRA, C. Planejamento do plantio da cana-de-açúcar no noroeste paulista baseado no balanço hídrico. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 21, 2011, Petrolina. **Anais...** Petrolina, 2011.

RANDOW, Rita C.S. von; RANDOW, Celso von; HUTJES, Ronald W.A.; TOMASELLA, Javier; KRUIJT, Bart. Evapotranspiration of deforested areas in central and southwestern Amazonia. **Theor. Appl. Climatol.**, <doi 10.1007/s00704-011-0570-1>.

REICHARDT, K. Como superar o veranico no cerrado. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 32, p. 1-2, 1985.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Secretaria Estadual do Meio Ambiente. **Zoneamento ambiental da silvicultura**: estrutura, metodologia e resultados. Porto Alegre, 2010. v. 1, 131 p.

RODRIGUES, J.D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, 1995.

RODRIGUES, Délcio; ORTIZ, Lúcia. **Em direção à sustentabilidade da produção de etanol de cana de açúcar no Brasil**. Amigos da Terra Brasil, Vitae Civilis, 2006

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCELTM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, d e cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

ROSSATO, Luciana. **Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil**. 2002. 147 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, São José dos Campos, SP.

SANO, Edson, Eyji; ROSA, Roberto; BRITO, Jorge Luiz Silva; FERREIRA, Laerte Guimarães. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do bioma cerrado. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.43, n.1, p.153-156, 2008.

SANTOS, Márcio Aurélio Lins dos. **Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*): um modelo de análise de decisão para o Estado de Alagoas**. 2005. 100 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

SANTOS, Juliana Silveira; AGUIAR, Daniel Alves de; ADAMI, Marcos; RUDORFF, Bernardo Friedrich Theodor. Identificação da dinâmica do uso e cobertura da terra: expansão da cultura da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, Curitiba. **Anais...** Brasília: INPE, 2011. p. 6610.

SEGATO, S.V.; MATTIUZ, C.F.M.; MOZAMBANI, A.E. **Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2006. cap. 2, p. 19-36.

SILVA, M.P.; RIBEIRO, A. Redução de escala de simulações de mudanças climáticas para uso em agrometeorologia. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, 6, 2010, Chillán. **Anais...** Chillán, 2010.

SILVA, Fernando Antônio Macena da; FEITOZA, Lúcio; EVANGELISTA, Balbino Antônio; ASSAD, Eduardo Delgado. Áreas aptas e necessidade de irrigação para a cultura do café (*Coffea arabica L.*) No estado de Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13, 2003, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2003a. p. 261-262.

SILVA, Liliâne B.P.; KLINK, Carlos A.; SILVA, Euzébio Medradroda. **Evapotranspiração em um cerrado denso e em uma pastagem plantada**. Planaltina: Embrapa Cerrados, Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2003b.

SILVEIRA, Andrea Maria; VICTORIA, Reynaldo Luiz; BALLESTER, Maria Victoria et al. Simulação dos efeitos das mudanças do uso da terra na dinâmica de carbono no solo na bacia do rio Piracicaba. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.35, n.2, p.389-399, 2000.

TEIXEIRA, Eugênio Nunes. **Interceptação de água pelo dossel e influencia da época da irrigação da qualidade da cana-de-açúcar**. 2009. 59 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p.

TUCCI, Carlos E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3.ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2002a.

TUCCI, Carlos E.M. **Impactos da variabilidade cíclica e mudança no uso do solo sobre os recursos hídricos**: estudo preparado como contribuição da ANA – Agência Nacional de Águas para a Câmara Temática sobre Recursos Hídricos do Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas. Brasília: ANA, 2002b.

TUNDISI, José Galizia. **Recursos hídricos**: o futuro dos recursos. São Carlos: Multi Ciências, Instituto Internacional de Ecologia, 2003.

VASCONCELOS, A.C.M.; CASAGRANDE, A.A.; PERECIN, D.; JORGE, L.A.C.; LANDELL, M.G.A. Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 849-858, 2003.

7. APÊNDICE

Tabela 1A - Estações pluviométricas das bacias hidrográficas dos rios Arantes, Araguari, Tijuco e Turvo e dos Bois

Código	Estações	Latitude	Longitude
Bacia Hidrográfica Rio Turvo e dos Bois			
1650003	Turvânia	-16°36'34"	-50°07'58"
1649012	Trindade	-16°39'34"	-49°29'11"
1649010	Palmeiras de Goiás	-16°48'11"	-49°55'43"
1649006	Inhumas	-16°20'47"	-49°29'39"
1750014	Rio Verde	-17°47'7"	-50°57'52"
1750013	Paraúna	-16°56'57"	-50°26'48"
1750008	Fazenda Paraíso	-17°27'57"	-50°46'27"
1750004	Ponte Rodagem	-17°19'33"	-50°40'55"
1750001	Fazenda Nova do Turvo	-16°56'57"	-50°26'48"
1750000	Barra do Monjolo	-17°43'56"	-50°10'51"
1749009	Cromínia	-17°17'28"	-49°22'44"
1749004	Pontalina	-17°31'00"	-49°26'28"
1749002	Joviana	-17°48'36"	-49°37'01"
1749001	Fazenda Boa Vista	-17° 06'25"	-49°41'18"
1749000	Edeia (Alegrete)	-17°20'29"	-49°55'49"
1850003	Maurilândia	-17°58'27"	-50°20'14"
1850001	Fazenda Aliança	-18°06'17"	-50°01'53"
Bacias Hidrográficas Rios Arantes e Tijuco Código			
1848000	Monte Alegre de Minas	-18°52'10"	-48°52'00"
1848006	Tupaciguara	-18°36'03"	-48°41'27"
1848009	Xapetuba	-18°51'45"	-48°35'02"
1849000	Ituiutaba	-18°56'28"	-49°27'47"
1849002	Ipiaçu	-18°41'31"	-49°56'55"
1849006	Avantiguara	18°46'19"	-49°04'11"
1948006	Fazenda Letreiro	-18°59'18"	-48°11'25"
1949002	Fazenda Buriti do Prata	-19°21'35"	-49°10'49"
1949003	Gurinhatã	-19°12'48"	-49°47'17"
1949004	Campina Verde	-19°32'32"	-49°28'59"
1949005	Comendador Gomes	-19°41'53"	-49°05'02"
1949006	Ponte do Prata	-19°02'07"	-49°41'48"
1950011	Ponte São Domingos	-19°12'29"	-50°39'46"
Bacia Hidrográfica do Rio Araguari			
1846002	Charquedade do Patrocínio	-18°55'48"	-46°58'00"
1847010	Iraí de Minas	-18°58'55"	-47°27'27"
1848006	Tupaciguara	-18°36'03"	-48°41'27"
1848010	Araguari	-18°39'04"	-48°12'33"
1946004	Ibiá	-19°28'30"	-46°32'31"
1946005	Salitre	-19°04'14"	-46°47'45"
1946007	Fazenda São Mateus	-19°31'00"	-46°34'16"
1946008	Serra do Salitre	-19°06'46"	-46°41'18"
1946010	Pratinha	-19°45'05"	-46°24'43"
1946011	Tapira	-19°55'37"	-46°49'31"
1947001	Santa Juliana	-19°18'57"	-47°31'34"
1947006	Ponte João Cândido	-19°08'48"	-47°11'05"
1947007	Perdizes	-19°20'55"	-47°17'43"
1947008	Lagoa	-19°52'43"	-47°21'17"
1947009	Zelândia	-19°32'15"	-47°27'11"
1948006	Fazenda Letreiro	-18°59'18"	-48°11'25"
2047037	Desemboque	-20°00'49"	-47°01'09"

CONCLUSÃO GERAL

Pensar sobre a ocupação de uma bacia hidrográfica requer esforço de diversas áreas do conhecimento ambiental, social, econômico e político. Compreender como está caminhado o desenvolvimento e a dinâmica do uso do solo nos municípios inseridos na bacia seria um caminho menos prejudicial ao meio ambiente e a população que dele se apropria.

O presente estudo foi dividido em dois capítulos com o propósito de apresentar características socioeconômicas e cunho hidrológico que implicam na mudança de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

No capítulo 1 foi realizada a análise fatorial para eleger as variáveis socioeconômicas mais importantes com maior potencial de evidenciar as possíveis mudanças advindas da expansão da cultura da cana-de-açúcar na área de estudo. Em seguida foi realizada a análise de cluster visando agrupar os municípios com maior semelhança. Isso permitiu verificar mudanças ocorridas na dinâmica populacional, econômica e no uso da terra.

A dinâmica das variáveis ao longo das duas décadas apontou crescimento populacional, econômico e grande expansão da atividade agrícola. A cultura da cana-de-açúcar se mostrou em expansão nas duas décadas e apresentou maior crescimento a partir de 2006. Verificou-se maior ocorrência desse crescimento nas regiões do Triângulo Mineiro e faixa territorial localizada no centro da bacia que se estende de norte a sul da unidade hidrográfica.

O estudo do capítulo 2 foi realizado em nível de sub-bacias hidrográficas. Foram simulados cenários com cana-de-açúcar e pastagem devido à conversão de uso da terra ser predominantemente de pastagem para cana-de-açúcar.

Para diferentes ciclos a evapotranspiração da cana-de-açúcar e da pastagem verifica-se invariavelmente o maior consumo de água pela cana-de-açúcar. Dentre os ciclos analisados o de inverno foi o que apresentou o maior consumo para os dois usos.

Em maior ou menor proporção a mudança de uso da terra tem implicações que resultam da redução da disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

Este estudo contemplou também o impacto do maior consumo de água observado para a cana-de-açúcar em relação ao uso anterior (pastagem) para duas sub-bacias do rio Paranaíba, sendo elas sub-bacia do rio Arantes e do rio Tijuco. Essas duas foram escolhidas por estarem entre as bacias onde se observou a maior mudança de uso do solo e a disponibilidade de dados de vazão.

Para o ciclo de inverno, o de maior consumo pela evapotranspiração real, verificou-se haver um impacto nos recursos hídricos, ou seja, uma redução potencial nesses cursos d'água, da ordem de 34,3% e 12,23%, respectivamente para as sub-bacias Arantes e Tijuco.

Utilizou-se a vazão mínima nas simulações, pois essas são responsáveis pela vazão mais restritiva em uma bacia hidrográfica.

Este trabalho mostra a necessidade de um planejamento em nível de bacia hidrográfica para minimizar os possíveis efeitos adversos de uma intervenção de grande magnitude.

Isso cabe aos poderes públicos e civis demandar um zoneamento da cultura de cana-de-açúcar para esta bacia hidrográfica, contemplando a simulação de cenários de impactos da expansão dos plantios para as diferentes subunidades hidrográficas levando-se em consideração o consumo atual (deriva real) e as principais áreas de conflito pelo uso da água.