

Universidade Católica de Brasília

PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
STRICTO SENSU EM PLANEJAMENTO E
GESTÃO AMBIENTAL

Mestrado

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO PROGRAMA DE BIO-
COMBUSTÍVEIS NA DISPONIBILIDADE
HÍDRICA DO CERRADO**

Autor: Geraldo Magella Obolari de Magalhães
Orientador: Prof. PhD. Flávio Giovanetti de Albuquerque

BRASÍLIA

2007

GERALDO MAGELLA OBOLARI DE MAGALHÃES

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO PROGRAMA DE BIOCOMBUSTÍVEIS NA
DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO CERRADO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Planejamento e Gestão Ambiental da Universidade Católica de Brasília, para a obtenção do Título de Mestre em Planejamento e Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. PhD. Flávio Giovanetti de Albuquerque

Brasília
2007

M188a Magalhães, Geraldo Magella Obolari de.
Avaliação do impacto do programa de biocombustíveis na
disponibilidade hídrica do cerrado / Geraldo Magella Obolari de
Magalhães. – 2008.
91 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade Católica de Brasília, 2008.
Orientação: Flávio Giovanetti de Albuquerque.

1. Energia da biomassa. 2. Recursos hídricos. 3. Sementes
oleaginosas. 4. Impacto ambiental. 5. Cerrados. I. Albuquerque, Flávio
Giovanetti de, orient. II. Título.

CDU 620.925:58

Ficha elaborada pela Coordenação de Processamento do Acervo do SIBI – UCB.

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE BRASÍLIA

Geraldo Magella Obolari de Magalhães

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO PROGRAMA DE BIOCOMBUSTÍVEIS NA
DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO CERRADO.

Dissertação aprovada em 11 de dezembro de 2007 para obtenção do título de
Mestre em Planejamento e Gestão Ambiental.

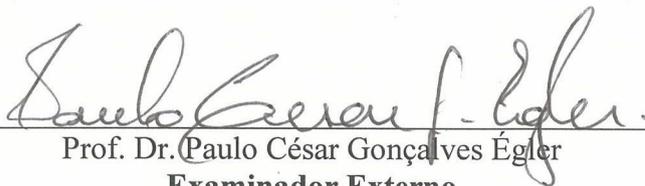
Área de concentração: Recursos Hídricos.

Banca Examinadora:



Prof. PhD. Flávio G. Albuquerque

Orientador



Prof. Dr. Paulo César Gonçalves Égler

Examinador Externo



Prof. Dr. Sueli Corrêa de Farias

Examinador Interno

À minha mulher, Maria Aparecida, amiga e
companheira de todas as horas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS por ter me concedido a vida com tantas bênçãos, a começar pelos meus pais, Geraldo Magella de Magalhães e Neusa Obolari de Magalhães;

Aos meus avós Eloy Obolari e Geralda Saleme Obolari (*in memorian*), por ter infundido em mim o amor ao estudo;

À minha esposa, pela compreensão, incentivo, apoio e companheirismo nos momentos, inclusive, de subtração da nossa vida familiar; e aos meus filhos Maria Clara, Cairo, Ariadne e Larissa por tanto carinho;

Ao meu amigo-irmão Rodrigo Silva Quintela Soares, pela presença;

Ao meu orientador, por ter me ensinado o caminho das águas;

Ao Sr. Joatam Lourenço dos Santos, prefeito do Campus II da Universidade Católica de Brasília – UCB, por ter aberto as portas do Auditório São Francisco de Assis, minha moradia durante meu primeiro ano no mestrado;

A todos os professores e colegas do mestrado pelo apoio e carinho em vários momentos durante essa caminhada;

Ao amigo Edilson Ferneda, professor da Universidade Católica de Brasília – UCB, pelo incentivo;

Ao amigo Rogério Azevedo Rocha, professor da Universidade Federal do Tocantins – UFT, pelos oportunos aconselhamentos;

A José Luiz Cabral da Silva Jr, Doutor em Agrometeorologia, a Lucas Koshy Naoe, Doutor em Genética, pesquisadores da Fundação Universidade do Tocantins, e a Girlene Figueiredo Maciel, Professor da Universidade Federal de Tocantins, pela disponibilidade e pelas contribuições;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio financeiro à minha pesquisa;

À Embrapa Cerrados, pelas informações disponibilizadas, em especial a Homero Chaib Filho, Doutor em Matemática Aplicada;

Ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, em especial os meteorologistas Francisco de Assis Diniz e Expedito Ronald Gomes Rebello, pelas aulas de circulação atmosférica, e ao Engenheiro Agrícola Luis Tomas Azevedo de Mello, pelas informações;

Ao Laboratório de Apoio à Pesquisa em Meio Ambiente e Recursos Hídricos – LAMARH, da Universidade Católica de Brasília, em especial ao Engº Guilherme Oliveira Ribeiro, pelos serviços prestados durante essa pesquisa;

Ao Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento e ao Ministério do Meio Ambiente, pelas valiosas informações disponibilizadas.

“Do rio que tudo arrasta se diz que é violento. Mas ninguém diz que são violentas as margens que o comprimem”.

Bertold Brecht

RESUMO

O presente trabalho buscou avaliar o impacto do programa de Biocombustíveis na disponibilidade hídrica do cerrado. Atualmente, os recursos hídricos do cerrado, na época da seca, já sofrem um desequilíbrio porque parte da evapotranspiração da região não precipita no mesmo local, conforme estudos da circulação atmosférica apresentados pelo Instituto Nacional de Meteorologia. A hipótese concernente a esse objetivo é que a expansão das culturas para a produção de Biocombustível trará um impacto negativo à disponibilidade hídrica na região. Considerando-se o aumento de temperatura, ocasionado pelo desmatamento e/ou extração da vegetação nativa do cerrado, para o plantio das oleaginosas elegíveis, que também faz aumentar o consumo de água em todo o seu ciclo, verificou-se o impacto nos recursos hídricos da região. O estudo se deu por meio de uma revisão bibliográfica sobre a evapotranspiração da vegetação nativa do cerrado, sobre a evapotranspiração das culturas potenciais para o programa de biocombustíveis e sobre a circulação atmosférica da Região Centro-Oeste. A integração dessas informações permitiu a constatação de que a disponibilidade hídrica da região poderá ser afetada negativamente, caso se busque o cumprimento das metas de produção de biocombustíveis atualmente veiculadas pelos órgãos públicos concernentes.

Palavras-chave: Biocombustíveis. Oleaginosas. Cerrado. Evapotranspiração. Recursos Hídricos. Impacto Ambiental.

ABSTRACT

This study sought to evaluate the impact of the biofuels programme in the availability of closing water of the cerrado. Currently, the water resources of the cerrado, in the dry season, already suffering from an imbalance because the evapotranspiration in the region do not precipitate in the same place, as the movement atmospheric studies presented by National Institute of Meteorology. The objective of this study was to evaluate the impact that the programme of biofuels can cause water availability in the cerrado, in the Midwest region of Brazil. The hypothesis concerns that the goal was: the expansion of crops for biofuel production will bring a negative impact on water availability in the region. Considering the increase in temperature caused by deforestation and / or extraction of native vegetation for the planting of oilseeds eligible, which also increase the water consumption and the demand that the alarming water use crops for their development throughout the his cycle, it checked the impact on water resources in the region. It was done a survey of information on the water demand of native vegetation, about the crop evapotranspiration potential for the biofuels program and about the movement of atmospheric Midwest Region. The integration of this information allowed the finding that the availability of water in the region may be affected adversely, if they seek compliance with the goals of producing biofuels currently served by public agencies concerning.

Keywords: Biofuels. Water resources. Evapotranspiration. Cerrado. Oilseeds. Environmental impact.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1:	Campos de vento em 850 hPa, em janeiro e fevereiro 2001, em relação aos dados entre 1979 a 1995	45
Figura 2:	Campos de Vento em 200 hPa, em janeiro e fevereiro 2001, em relação aos dados entre 1979 a 1995	49

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1: Imagens do Satélite GOES-12, no canal infravermelho.....	41
---	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1:	Estimativa de evapotranspiração da mamona no período de 365 dias	34
Gráfico 2:	Estimativa de evapotranspiração do amendoim no período de 365 dias	34
Gráfico 3:	Estimativa de evapotranspiração do girassol no período de 365 dias	34
Gráfico 4:	Estimativa de evapotranspiração do dendê no período de 365 dias	35
Gráfico 5:	Estimativa de evapotranspiração do babaçu no período de 365 dias	35
Gráfico 6:	Estimativa de evapotranspiração da colza no período de 365 dias	35
Gráfico 7:	Estimativa de evapotranspiração da soja no período de 365 dias	36
Gráfico 8:	Estimativa de evapotranspiração da cana-de-açúcar	36
	no período de 365 dias	36
Gráfico 9:	Evapotranspiração das culturas em relação à pastagem	38
Gráfico 10:	Volume de água referente à evapotranspiração das culturas	39
Gráfico 11:	Totais de precipitação ocorrida comparada com as normais no mês de janeiro de 2001	47
Gráfico 12:	Totais de precipitação ocorrida comparada com as normais no mês de fevereiro de 2001	47
Gráfico 13:	Umidade relativa do ar de Brasília-DF [1961-2004]	80
Gráfico 14:	Variação da Umidade Relativa do Ar de Brasília	81
Gráfico 15:	Umidade relativa do ar de Campo Grande-MS [1961-2004]	81
Gráfico 16:	Variação da Umidade Relativa do Ar de Campo Grande	81
Gráfico 17:	Umidade relativa do ar de Goiânia-GO [1961-2004]	82
Gráfico 18:	Variação da Umidade Relativa do Ar de Goiânia	82

LISTA DE MAPAS

Mapa 1:	Mapa de unidades climáticas do Brasil	40
Mapa 2:	Campo de pressão atmosférica ao nível médio do mar	42
Mapa 3:	Desvio da precipitação pelo método dos DECIS – janeiro/2001	46
Mapa 4:	Desvio da precipitação pelo método dos DECIS – fevereiro/2001	46
Mapa 5:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – março/2001	49
Mapa 6:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – abril/2001	50
Mapa 7:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – setembro/2001 ...	50
Mapa 8:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – outubro/2001	51
Mapa 9:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – novembro/2001 ..	51
Mapa 10:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – dezembro/2001 ..	52
Mapa 11:	Estudo mensal dos desvios de precipitação no Brasil – Método dos Decis – Desvio de janeiro/2002	52
Mapa 12:	Estudo mensal dos desvios de precipitação no Brasil – Método dos Decis – Desvio de fevereiro/2002	53
Mapa 13:	Estudo mensal dos desvios de precipitação no Brasil – Método dos Decis – Desvio de março/2002	53
Mapa 14:	Estudo mensal dos desvios de precipitação no Brasil – Método dos Decis – Desvio de abril/2002	54
Mapa 15:	Estudo mensal dos desvios de precipitação no Brasil – Método dos Decis – Desvio de setembro/2002	54
Mapa 16:	Estudo mensal dos desvios de precipitação no Brasil – Método dos Decis – Desvio de outubro/2002	55
Mapa 17:	Estudo mensal dos desvios de precipitação no Brasil – Método dos Decis – Desvio de novembro/2002	55
Mapa 18:	Estudo mensal dos desvios de precipitação no Brasil – Método dos Decis – Desvio de dezembro/2002	56
Mapa 19:	Estudo mensal dos desvios de precipitação no Brasil – Método dos Decis – Desvio de janeiro/2003	56
Mapa 20:	Estudo mensal dos desvios de precipitação no Brasil – Método dos Decis – Desvio de fevereiro/2003	57
Mapa 21:	Estudo mensal dos desvios de precipitação no Brasil – Método dos Decis – Desvio de março/2003	57
Mapa 22:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – abril/2003	58
Mapa 23:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – setembro/2003 ...	58
Mapa 24:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – outubro/2003	59
Mapa 25:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – novembro/2003 ..	59
Mapa 26:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – dezembro/2003 ..	60

Mapa 27:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – janeiro/2004.....	60
Mapa 28:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – fevereiro/2004....	61
Mapa 29:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – março/2004.....	61
Mapa 30:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – abril/2004	62
Mapa 31:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – setembro/2004 ...	62
Mapa 32:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – outubro/2004	63
Mapa 33:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – novembro/2004..	63
Mapa 34:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – dezembro/2004 ..	64
Mapa 35:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – janeiro/2005.....	64
Mapa 36:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – fevereiro/2005....	65
Mapa 37:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – março/2005.....	65
Mapa 38:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – abril/2005	66
Mapa 39:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – Método dos Decis – setembro/2005	66
Mapa 40:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – outubro/2005	67
Mapa 41:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – novembro/2005..	67
Mapa 42:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – dezembro/2005 ..	68
Mapa 43:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – janeiro/2006.....	68
Mapa 44:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – fevereiro/2006....	69
Mapa 45:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – março/2006.....	69
Mapa 46:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – abril/2006	70
Mapa 47:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – setembro/2006 ...	70
Mapa 48:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – outubro/2006	71
Mapa 49:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – novembro/2006..	71
Mapa 50:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – dezembro/2006 ..	72
Mapa 51:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – janeiro/2007.....	72
Mapa 52:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – fevereiro/2007....	73
Mapa 53:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – março/2007.....	73
Mapa 54:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – abril/2007	74
Mapa 55:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – setembro/2007 ...	74
Mapa 56:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – outubro/2007	75
Mapa 57:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – novembro/2007..	75
Mapa 58:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – dezembro/2007 ..	76
Mapa 59:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – janeiro/2008.....	76
Mapa 60:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – fevereiro/2008....	77
Mapa 61:	Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – março/2008.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Água na produção de alimentos	31
Tabela 2:	Evapotranspiração no cerrado	37
Tabela 3:	Cálculos para evapotranspiração das oleaginosas	37
Tabela 4:	Áreas estimadas para a produção de B5	37
Tabela 5:	Evapotranspiração de referência para o cerrado (ETr =936 mm/ano)	38
Tabela 6:	Evapotranspiração de referência em relação à pastagem no cerrado (ETr = 1.115 mm/ano)	39

LISTA DE ABREVIATURAS

- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
- B2 – Mistura de 2% de biodiesel ao diesel de petróleo
- B5 – Mistura de 5% de biodiesel ao diesel de petróleo
- B20 – Mistura de 20% de biodiesel ao diesel de petróleo
- B100 – Biodiesel puro
- CEI – Comissão Executiva Interministerial
- CO₂ – Dióxido de Carbono
- CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do INPE
- EBDA – Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- ESALQ – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
- ET – Evapotranspiração
- ET_o – Evapotranspiração de Referência
- ET_c – Evapotranspiração de Cultura
- FBDS – Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável
- hPa – hectopascal (unidade padrão de pressão e tensão)
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IEA – Instituto de Economia Agrícola
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change
- JBN – Jatos de Baixos Níveis
- K_c – Coeficientes de Cultivo
- NAE – Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República
- NCEP – National Centers for Environment Prediction
- NOS – Operador Nacional de Sistema
- ONU – Organização das Nações Unidas
- PROÁLCOOL – Programa Nacional do Alcool
- UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar
- ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
CAPÍTULO I – BIOCOMBUSTÍVEIS	19
1.1 BIOCOMBUSTÍVEIS E BIODIESEL	19
1.2 PROGRAMAS DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL NO MUNDO	21
1.3 BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL	22
1.4 A PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE OLEAGINOSAS	23
1.4.1 Colza	24
1.4.2 Dendê	24
1.4.3 Mamona	25
1.4.4 Amendoim	25
1.4.5 Soja	26
1.4.6 Girassol	27
1.4.7 Babaçu	29
1.5 ÁGUA: UM NOVO PARADIGMA	29
CAPÍTULO II – METODOLOGIA	32
2.1 EVAPOTRANSPIRAÇÃO	32
2.2 CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO PARA OLEAGINOSAS NA REGIÃO CENTRO-OESTE	36
2.3 CLIMATOLOGIA DA REGIÃO CENTRO-OESTE	39
2.3.1 Inverno – período de estiagem	41
2.3.2 Verão – período chuvoso	43
2.3.3 Considerações sobre anomalias de precipitação no Centro-Oeste do Brasil	43
2.3.4 Variabilidade climática da baixa umidade do ar na Região Centro-Oeste	78
CONCLUSÃO	84
REFERÊNCIAS	85
APÊNDICE A - LEGISLAÇÃO E NORMAS SOBRE BIODIESEL	89

INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto que o programa de Biocombustível poderá acarretar na disponibilidade hídrica do Cerrado, na região Centro-Oeste do Brasil. As hipóteses concernentes a esse objetivo é que expansão das culturas para a produção de Biocombustível:

H_0 : irá trazer um impacto negativo à disponibilidade hídrica na região.

H_1 : Não afetará a disponibilidade hídrica.

Segundo o Núcleo de Assuntos Estratégicos (NAE), da Presidência da República (BRASIL 2005a, p. 11), o diesel combustível pode ser complementado por óleos vegetais modificados sem alteração dos motores. Ainda que não existam, segundo a fonte citada, obstáculos técnicos ou normativos para o início da utilização de biocombustíveis em adição ao diesel, sua utilização implica em disponibilidade dos insumos, segurança no abastecimento, capacidade de processamento pela indústria e integração final aos circuitos de distribuição.

O cenário atual é de expansão da área plantada para atender ao aumento do consumo interno e externo, principalmente o americano e o europeu. Vários estudos analisam questões sociais, econômicas e financeiras, decorrentes dessa expansão, sugerindo sua viabilidade e propondo um programa de expansão da produção de biocombustíveis. Outros estudos chegam a fazer análises detalhadas sobre as necessidades de área, insumos, mão-de-obra e demonstram a disponibilidade desses recursos, reforçando a idéia de expansão da área plantada. Contudo, na revisão bibliográfica realizada não foi observada nenhuma análise do principal insumo necessário para a atividade agrícola: a água.

Em escala mundial, estima-se que 9.000 km³/ano de água são acessíveis ao consumo humano e cerca de 3.500 km³ encontram-se armazenados em represas, somando um total de fácil acesso de 12.500 km³/ano. O escoamento superficial total é de 47.000 km³/ano, mas a exploração dos restantes 34.500 km³/ano é difícil, de alto custo ou pode causar impactos negativos ao meio ambiente. Atualmente, aproximadamente 6.500 km³ de água são utilizados por ano pela humanidade para diversos fins, concentrando-se no uso predominantemente agrícola, seguido pelo industrial e urbano (HIRATA, 2001).

Aproximadamente 72.000 km³/ano de água retornam à atmosfera por evapotranspira-

ção, dos 119.000 km³/ano da precipitação que caem sobre os continentes (KARMANN, 2001). Os 47.000 km³/ano restantes de água doce que circulam pelo planeta, por meio do escoamento superficial e subterrâneo representam o excedente hídrico, que é a diferença entre o volume precipitado e o evapotranspirado (HIRATA, 2001). Evapotranspiração (ET) é o processo associado à perda conjunta de água do solo pela evaporação e da planta pela transpiração (ALLEN et al., 1998).

Nos tempos atuais, a vegetação nativa do cerrado e sua exploração agropecuária tem consumido 0,08961 km³/ano (SILVA, 2003). Contudo, os vegetais com potencial para a produção de biodiesel (BRASIL, 2005a, p.38) elegíveis pelo Governo Federal, demandariam juntos a soma de 368.599 mm³.

Considerando-se que a água figura como um fator limitante para o programa de biocombustíveis, desenvolveu-se um estudo detalhado sobre o impacto desse programa nos recursos hídricos antes de sua implantação.

CAPÍTULO I – BIOCOMBUSTÍVEIS

O biodiesel é uma denominação genérica para combustíveis produzidos a partir de fontes renováveis, como óleos vegetais e gorduras animais, para serem utilizados em motores de ignição por compressão, também conhecidos como motores diesel. Além disso, o biodiesel pode ser usado para geração de energia em substituição ao óleo diesel e ao óleo combustível.

O Brasil pela sua imensa extensão territorial, associada às excelentes condições edafoclimáticas, é considerado o paraíso para a produção de biomassa para fins alimentares, químicos e energéticos. Estudos divulgados pelo órgão encarregado da implementação do biodiesel nos Estados Unidos afirmam categoricamente que o Brasil tem condições de liderar a produção mundial de biodiesel, promovendo a substituição de, pelo menos, 60% do óleo diesel consumido no mundo.

A demanda mundial por combustíveis de origem renovável será crescente e o Brasil tem potencial para ser um grande exportador mundial, principalmente no contexto atual de mudanças climáticas.

1.1 Biocombustíveis e biodiesel

Por ser uma fonte não renovável de energia e devido aos problemas ambientais oriundos da queima dos combustíveis fósseis, a busca por fontes alternativas de energia vêm se intensificando. Entre as mais promissoras estão os biocombustíveis, derivados de produtos agrícolas, como a cana-de-açúcar, as plantas oleaginosas, a biomassa florestal e outras fontes de matéria orgânica. Como exemplo, pode-se citar o biodiesel, o etanol, o metanol, o metano e o carvão vegetal (ESALQ, 2007), que podem ser utilizados isoladamente ou adicionados aos combustíveis convencionais.

O biodiesel é um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis, que pode ser obtido por diferentes processos tais como o craqueamento, a esterificação ou pela transesterificação. Pode ser produzido a partir de gorduras animais ou de óleos vegetais, existindo dezenas de espécies vegetais no Brasil que podem ser utilizadas, tais como mamona, dendê (palma), girassol, babaçu, amendoim, pinhão manso e soja, dentre outras (PROGRAMA NACIONAL DE PRODUÇÃO E USO DE BIODIESEL, 2007).

O biodiesel substitui total ou parcialmente o óleo diesel de petróleo em motores ciclo diesel automotivos (caminhões, tratores, camionetas, automóveis, etc.) ou estacionários (geradores de eletricidade, calor, etc.). Pode ser usado puro ou misturado ao diesel em diversas proporções. A mistura de 2% de biodiesel ao diesel de petróleo é chamada de B2 e assim sucessivamente, até o biodiesel puro, denominado B100.

Segundo a Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005 (BRASIL, 2005d)¹, biodiesel é um “biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil”.

A transesterificação é o processo mais utilizado atualmente para a produção de biodiesel. Consiste numa reação química dos óleos vegetais ou gorduras animais com o álcool comum (etanol) ou o metanol, estimulada por um catalisador, da qual também se extrai a glicerina, produto com aplicações diversas na indústria química.

Combustível ecológico por ser biodegradável, não-tóxico e praticamente livre de enxofre e aromáticos, o biodiesel traz uma série de benefícios associados à redução dos gases de efeito estufa e de outros poluentes atmosféricos, além da redução do consumo de combustíveis fósseis (ESALQ, 2007). Inúmeras são as vantagens trazidas pelo biodiesel, como (BIO-DIESELBR, 2007):

- possibilidade real de substituir quase todos os derivados do petróleo sem modificação nos motores, eliminando a dependência do petróleo;
- ótimo lubrificante;
- aumento da vida útil do motor;
- fácil transporte e fácil armazenamento;
- desnecessária adaptação em caminhões, tratores ou máquinas;
- proporciona ganho ambiental para todo o planeta;
- colabora para diminuir a poluição e o efeito estufa;
- índices de emissão de CO₂ até 80% menores em relação ao diesel de petróleo;
- renovável, pois, todo o CO₂ emitido na queima no motor, consegue ser capturado pelas

¹ O Apêndice A contém uma relação da legislação brasileira relativa a biocombustíveis.

plantas e utilizado por estas durante o seu crescimento e existência.

Além de ser naturalmente menos poluente, o biodiesel reduz as emissões poluentes dos derivados de petróleo (em cerca de 40%, sendo que seu potencial cancerígeno é cerca de 94% menor que os derivados do petróleo), possui elevada capacidade de lubrificar as máquinas ou motores reduzindo possíveis danos, é seguro para armazenar e transportar porque é biodegradável, não-tóxico e não explosivo nem inflamável à temperatura ambiente, não contribui para a chuva ácida por não apresentar enxofre em sua composição, permite dispensar investimentos em grandes usinas, ou linhas de transmissão, para atendimento local de energia em regiões com pequena demanda.

Tendo em vista tantas vantagens, o governo brasileiro tem estimulado a produção e comercialização do biodiesel, sendo o marco principal à publicação do Decreto n. 5.488, em 20 de maio de 2005 (BRASIL, 2005e), que regulamenta a lei 11.097 (BRASIL, 2005d). Essa lei dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. Inicialmente a proporção autorizada é 2% do diesel comum até 2008, 5% até 2013 e já é pensado 20%, sendo que nos Estados Unidos, os automóveis movidos com 100% de biodiesel têm apresentado rendimentos surpreendentes.

1.2 Programas de produção de biodiesel no mundo

Atualmente a União Européia mantém o maior programa de biodiesel no mundo. No final de 2003, a capacidade instalada permitia a produção anual de algo entre 2,5 e 2,7 milhões de toneladas de biodiesel, com expectativa de aumento nos próximos anos (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2004). Com esse programa, a União Européia espera substituir 2% do diesel usado para transporte até 2005, com expectativa de se chegar a 20% em 2020.

A maior parte do óleo vegetal empregado neste programa vem do cultivo da colza. No entanto, os custos de produção de óleo vegetal são, em média, cerca de duas vezes superiores ao do diesel mineral. Apesar disso, análises recentes desse programa concluíram que o biodiesel é uma alternativa tecnicamente viável para o diesel mineral, desde que fatores como meio ambiente local, clima global, geração e manutenção de emprego, balanço de pagamentos não sejam considerados (BRASIL, 2005a, pp. 19-20). Entre as vantagens apontadas para o biodiesel estão:

- a melhoria de lubricidade;

- a diminuição de emissões de poluentes locais e de gases de efeito estufa;
- o fato de ser não-tóxico e biodegradável;
- em baixas concentrações, não exige mudança nos motores.

Por outro lado, alguns cuidados devem ser observados. Por exemplo, os grandes volumes de glicerina previstos, por ser um dos subprodutos da produção de biodiesel, poderão afetar o mercado de óleo-químico, pois os preços deverão baixar consideravelmente.

O programa americano de biodiesel, bem menor que o europeu, tem a soja como principal matéria prima, complementada pela reutilização de óleos em fritura. De acordo com o *National Biodiesel Board* (BRASIL, 2005b, p. 20-21), em 2002 foram produzidos aproximadamente 50 milhões de litros de biodiesel, usados basicamente como B20 (mistura com 20% de biodiesel). Até 2005, existiam mais de 12 companhias produzindo este combustível nos Estados Unidos, com uma capacidade de produção da ordem de 200 mil toneladas anuais.

Além desses programas, outros países têm investido na produção de biodiesel em escala comercial, como a China e a Nicarágua. Tais iniciativas têm potencial para se tornarem programas nacionais de produção de biodiesel.

1.3 Biocombustíveis no Brasil

No início de 2003, no Brasil, a Presidência da República solicitou ao NAE² uma análise técnica sobre a questão energética. Estudos foram então realizados sobre a produção e o uso do biodiesel a partir de diversos tipos de matéria-prima e sobre a viabilidade de sua utilização em estado puro ou em mistura com o diesel mineral em diversas proporções. Esse estudo aponta a diversidade de possíveis matérias-primas e processos de produção como uma das grandes vantagens do biodiesel. Contudo, faz-se necessária ainda uma análise criteriosa sobre pontos tais como: os custos totais envolvidos na produção, as emissões no ciclo de vida, as possibilidades de geração de emprego, as disponibilidades de área e mão-de-obra adequadas, entre muitos outros fatores.

O Governo Federal, por meio de Decreto s/n de 23 de dezembro de 2003 (BRASIL, 2003; 2006), instituiu uma Comissão Executiva Interministerial (CEI) encarregada da implantação das ações direcionadas à produção e ao uso de óleo vegetal – biodiesel – como fonte

² <http://www.planalto.gov.br/secom/nae/>

alternativa de energia. Essa comissão reporta-se à Casa Civil da Presidência da República e tem o Ministério de Minas e Energia como coordenador de sua unidade executiva. Como reflexo dos trabalhos conduzidos pela CEI, entrou em vigor em 14 de janeiro de 2005, a Lei nº 11.097 (BRASIL, 2005d), que dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. Essa nova legislação trata da produção, estocagem, distribuição e revenda de biodiesel no Brasil, incluindo o seu uso como combustível automotor.

Sendo considerado o país de maior potencial para a produção de biocombustíveis por suas excepcionais condições de solo, clima e, por sua vasta extensão territorial, o Brasil foi pioneiro na introdução do etanol em sua matriz energética e acumulou uma experiência de mais de três décadas de sua produção e uso em substituição à gasolina. A produção de cana-de-açúcar brasileira cobre hoje uma área plantada que soma mais de 6 milhões de hectares, dos quais, 2,7 milhões de hectares destinados à produção de etanol (FBDS, 2006). Segundo a UNICA (2004, apud MOREIRA et al., 2005), para o ano safra 2003/04, a produção de cana em São Paulo correspondeu a 61,35% da produção nacional e a 69,52% da produção na Região Centro-Sul.

No Brasil, o tipo mais difundido de biocombustível é o álcool proveniente da cana-de-açúcar, menos poluente que os combustíveis derivados do petróleo.

O Brasil teve a sua primeira experiência com biocombustíveis em 1931, quando o governo brasileiro autorizou a utilização do álcool etílico, obtido a partir da cana-de-açúcar, misturado à gasolina, em proporções entre 2 a 5%, respeitada a disponibilidade regional do produto. Já em 1975, houve a criação do Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL) que visava à substituição parcial da gasolina por álcool etílico, sendo mais um investimento do país em energias renováveis (BRASIL, 2005c).

A principal vantagem do álcool é a menor poluição que causa em comparação aos combustíveis derivados do petróleo (MEDINA, 2007). A cana é um produto completo porque produz açúcar, álcool, bagaço e o vapor gera energia elétrica. Contudo, possui diversas desvantagens, como o fato de não resolver o problema da dependência do petróleo.

1.4 A produção de biodiesel a partir de oleaginosas

Sabe-se da vantagem do biodiesel sobre o diesel de base fóssil em relação às emissões de poluentes, haja vista que se trata de um produto não-tóxico e biodegradável. Na Europa,

estudos mostram que, comparado ao diesel, o biodiesel puro produzido da canola reduz as emissões de gases de efeito estufa em 40-60% (BRASIL, 2005b, p. 31). A partir da soja, por exemplo, podem-se esperar as mesmas proporções de redução de poluentes.

Se, por um lado, diversas oleaginosas podem ser usadas na produção de biodiesel, por outro, sua produção demanda uma considerável área de plantio. Por exemplo, para suprir 5% do diesel B5 com oleaginosas locais (soja, dendê ou mamona), seria necessário aproximadamente 3 milhões de hectares (BRASIL, 2005a, p. 12). Recentes estudos realizados na Embrapa (PERES, 2003) mostram as aptidões regionais para cada uma delas: a soja para as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste; a mamona para o Nordeste e o dendê para a Região Amazônica. Girassol, amendoim e outros também têm sido considerados. Igualmente, as palmáceas tropicais são sempre mencionadas como viáveis e potenciais produtores de biodiesel (BRASIL, 2005b, p. 37).

1.4.1 Colza

A colza (*Brassica napus*), também conhecida como canola, é a principal planta estudada e plantada para a produção de biocombustível na União Européia. Produz grãos com aproximadamente 38% de óleo e se constitui em uma das melhores alternativas para a diversificação de cultivos e a geração de renda no inverno, nos sistemas de produção de grãos das regiões tritícolas do Sul do Brasil (TOMM, 2003a).

A referida planta é herbácea, pertencente à família das crucíferas e, dentro desta, ao gênero *Brassica* que engloba várias espécies cultivadas tanto para usos hortícolas como forrageiros como para a produção de óleos e de condimentos. Pertencem também a este gênero a mostarda, as couves, a couve-flor e o nabo.

Existem duas espécies conhecidas pela denominação colza: *brassica napus var. oleifera* e *brassica campestris*, ainda que normalmente esteja associada à primeira.

É uma cultura tradicional em muitos países da Europa (França, Alemanha, Polônia, Suécia, Romênia, etc.), da América do Norte (Canadá) e tem dado os primeiros passos de implantação de Sul da Europa (Portugal e Espanha) acompanhando o crescimento do biodiesel.

1.4.2 Dendê

Conhecido no Brasil como dendezeiro (*Elaeis guineensis*) a planta é originária da Á-

frica e foi introduzida em nosso país no Período Colonial, pelos escravos africanos. As sementes foram plantadas no litoral e no recôncavo baiano, onde encontrou as condições de solo e clima para seu desenvolvimento. Durante séculos foi cultivada somente para atender às necessidades da culinária regional.

O Brasil é, atualmente, o terceiro produtor de óleo de palma da América Latina, onde se destacam a Colômbia, em primeiro lugar, e o Equador, em segundo. A participação do Brasil na produção mundial de óleo de palma, tem sido de apenas 0,53%.

Entre as oleaginosas, a cultura do dendê é a de maior produtividade, com rendimento de 4 a 6 toneladas de óleo/ha. A Amazônia brasileira possui o maior potencial para o plantio de dendê no mundo, com área estimada de 70 milhões de hectares, com alta aptidão em cerca de 40% (BRASIL, 2005a, p. 12).

1.4.3 Mamona

A Embrapa desenvolveu e lançou comercialmente, em colaboração com a Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola (EBDA), duas variedades de mamona que se encontram disponíveis para plantio no Brasil em quantidades ainda limitadas: os cultivares BRS 149 Nordestina e BRS 188 Paraguaçu (BRASIL, 2005a, p. 44).

Ideal para regiões mais secas, a matéria-prima só necessita de 300 ml de chuva em todo seu ciclo de 6 meses. Além de revolucionar a economia do nordeste, poderá colocar o Brasil na liderança mundial do Biodiesel, que tenderá a ser mais competitivo que hoje, devido aos futuros créditos de carbono (ECONOMIABR, 2006).

1.4.4 Amendoim

Segundo Peres, Freitas e Gazzoni (2005), o amendoim possui cerca de 50% de óleo na amêndoa e já se constituiu em importante fonte de óleo comestível, antes de ser substituído pela soja. Igualmente, no início da década de 1980, foram realizados estudos no país, utilizando o óleo de amendoim em substituição ao óleo diesel, com grande sucesso.

Em 1972, o Brasil produziu 962 mil toneladas de amendoim. Por força de uma série de desestímulos, a produção encolheu e, desde 1987, o Brasil não ultrapassa a marca de 200 mil toneladas. Entre os fatores que contribuíram para a retração do plantio, destaca-se a baixa tecnologia usada pelos produtores; a constatação de fungos que, em condições de alta umida-

de, produziam aflatoxina que, além de atacar as vagens, é cancerígeno ao ser humano. Outro fator importante foi a perda do mercado de óleo vegetal para produtos mais competitivos, como a soja. Nada obstante, a abertura do mercado energético pode conferir novo impulso para a cultura, dado sua alta capacidade de produção de óleo. O amendoim permite extrair o dobro de volume de óleo por unidade de área, comparativamente à soja.

1.4.5 Soja

A soja (*Glycine Max*) é a mais utilizada nos Estados Unidos, onde também é comum misturar com restos de óleos usados para fritura. Os maiores exportadores mundiais de soja e de seus derivados são os estados Unidos, contudo se consideraram bastante afetados com um novo competidor internacional. O motivo é que em 2002/03 perderam o posto para o Brasil, que alcançou receitas cambiais de US\$ 8,1 bilhões contra US\$ 7,2 bilhões dos americanos. O Brasil exportou US\$ 10 bilhões (+ 23,4 %) e 36,3 mt em 2003/04.

Um dos mais importantes itens de nosso agronegócio, a soja alcançou a invejável produtividade média, com projeções de 2,7 mil quilos por hectare na safra de 2005/06.

A posição de destaque da soja na economia brasileira justifica a busca de novas informações para aprimorar as condições de cultivo e reduzir os riscos de prejuízos. Uma das principais causas da variação de produtividade da soja no Brasil tem sido a ocorrência de deficiência hídrica (MENDES, 2006).

A água constitui aproximadamente 90% do peso da planta, atuando em, praticamente, todos os processos fisiológicos e bioquímicos. Desempenha a função de solvente, por meio de gases, minerais e outros solutos entram nas células e movem-se pela planta. Tem, ainda, papel importante na regulação térmica da planta, agindo tanto no resfriamento como na manutenção e distribuição do calor.

A disponibilidade de água é importante, principalmente, em dois períodos do desenvolvimento da soja: germinação-emergência e floração-enchimento de grãos. Durante o primeiro período, tanto o excesso quanto o déficit de água são prejudiciais à obtenção de uma boa uniformidade na população de plantas. A semente de soja necessita absorver, no mínimo, 50% de seu peso em água para assegurar boa germinação. Nessa fase, o conteúdo de água no solo não deve exceder a 85% do total máximo de água disponível e nem ser inferior a 50%.

A necessidade de água na cultura da soja aumenta com o desenvolvimento da planta,

atingindo o máximo durante a floração-enchimento de grãos (7 a 8 mm/dia), decrescendo após esse período. Déficits hídricos expressivos durante a floração e o enchimento de grãos, provocam alterações fisiológicas na planta, como o fechamento estomático e o enrolamento de folhas e, como consequência, causam a queda prematura de folhas e de flores e abortamento de vagens, resultando, por fim, em redução do rendimento de grãos.

A necessidade total de água na cultura da soja, para obtenção do máximo rendimento, varia entre 450 a 800 mm/ciclo, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do ciclo.

Para minimizar os efeitos do déficit hídrico, indica-se semear apenas cultivares adaptadas à região e à condição de solo; semear em época recomendada e de menor risco climático; semear com adequada umidade em todo o perfil do solo e adotar práticas que favoreçam o armazenamento de água pelo solo. A irrigação é medida eficaz, porém de custo elevado.

1.4.6 Girassol

O girassol é uma cultura que se adapta bem a diversos ambientes, podendo tolerar temperaturas baixas e períodos de estresse hídrico. A germinação é inibida com temperaturas do solo inferiores a 4°C, mostrando-se satisfatória com valores superiores a 8 a 10°C. Temperaturas baixas durante a germinação retardam a emergência e induzem a formação de plântulas pequenas.

As plantas podem suportar temperaturas baixas por curto período, principalmente nos estágios iniciais. Porém, temperaturas extremamente baixas durante o desenvolvimento inicial podem causar deformação das folhas e danificar o ápice da planta, provocando algumas anomalias, como ramificação do caule. O maior efeito visual da temperatura se dá sobre a taxa de desenvolvimento, originando plantas menores, com menor área foliar e, conseqüentemente, menor potencial produtivo. Temperaturas baixas aumentam o ciclo da cultura, atrasando a floração e a maturação. Quando ocorrem após o início da floração, podem afetar significativamente o rendimento.

Temperaturas altas prejudicam o desenvolvimento da planta principalmente em condições de baixa disponibilidade hídrica. A faixa de temperatura de 8 a 34°C é tolerada pelo girassol sem redução significativa da produção, indicando adaptação a regiões com dias quentes e noites frias. A temperatura ótima para o seu desenvolvimento situa-se entre 27 a 28°C.

Temperaturas elevadas durante a formação dos grãos afetam mais seriamente a composição de ácidos graxos que o conteúdo de óleo. Verifica-se uma forte correlação negativa entre o teor do ácido linoléico e o aumento de temperatura. Temperaturas acima de 35°C reduzem o teor de óleo.

As necessidades hídricas do girassol ainda não estão perfeitamente definidas, existindo informações que indicam desde menos de 200 mm até mais de 900 mm por ciclo. Entretanto, na maioria dos casos, 500 a 700 mm de água, bem distribuídos ao longo do ciclo, resultam em rendimentos próximos ao máximo. O consumo de água pela cultura do girassol varia em função das condições climáticas, da duração do ciclo e do manejo do solo e da cultura. Solos bem preparados e/ou com alta capacidade de armazenamento de água permitem à planta tolerar maiores períodos sem chuva e/ou irrigação.

O girassol tem baixa eficiência no uso da água. Cada litro de água consumido produz menos de dois gramas de matéria seca. Porém, em condições de déficit hídrico, tal eficiência aumenta em torno de 20% a 50%. Seu sistema radicular profundo e bem desenvolvido lateralmente e sua capacidade de manutenção da fotossíntese mesmo em condições adversas permitem tolerar curtos períodos de seca, assegurando algum rendimento em condições onde outras espécies nada produzem.

A necessidade de água do girassol aumenta com o desenvolvimento da planta, partindo de valores ao redor de 0,5 a 1 mm/dia durante a fase de semeadura à emergência, atingindo um máximo de 6 a 7 mm/dia na floração e enchimento de grãos, decrescendo após o período. Uma adequada disponibilidade de água durante o período da germinação à emergência é necessário para a obtenção de uma boa uniformidade na população de plantas. As fases do desenvolvimento da planta mais sensíveis ao déficit hídrico são:

- a) início da formação do capítulo ao começo da floração: afeta mais o rendimento de grãos;
- b) formação e enchimento de grãos: afeta mais a produção de óleo. É a fase de maior consumo de água pelo girassol.

De uma forma bastante prática, a fase mais crítica ao déficit hídrico é o período compreendido entre cerca de 10 a 15 dias antes do início do florescimento e 10 a 15 dias após o final da floração.

Com relação à reação da planta ao fotoperíodo, o girassol é classificado como espécie insensível. Entretanto, algumas variedades comportam-se como plantas de dia curto e outras como de dia longo.

1.4.7 Babaçu

A árvore de babaçu tem uma importância muito grande nos estados das regiões norte e nordeste do país. As amplas possibilidades de tirar proveito do babaçu em diversas atividades que vão da alimentação, vestuário, até elementos energéticos alternativos, exigem que o aproveitamento deste recurso, essencialmente extrativista, seja bem planejado.

O babaçu é considerado o maior recurso oleífero do mundo, e um dos principais produtos extrativos do Brasil, contribuindo de maneira significativa para a economia de alguns estados brasileiros.

1.5 Água: um novo paradigma

Segundo Rifkin (2003, p.1), em vários momentos ao longo da história, a sociedade se viu encurralada entre dois modos diversos de perceber a realidade, como quando, às vésperas da Revolução Americana, James Watt patenteou sua máquina a vapor. Isso mudou radicalmente a relação da humanidade com as fontes naturais de energia, alterando, conseqüentemente, o estilo de vida até então conhecido e iniciando o que se chamou de Era Industrial, caracterizada por uma forte dependência de energia oriunda de combustíveis fósseis.

Nada realmente significativo foi feito para mudar esse modelo de desenvolvimento e para amenizar as futuras conseqüências do esgotamento das reservas mundiais de petróleo apesar de já nos anos 1970, no auge da produção americana de petróleo, ter-se constatado que metade das reservas exploráveis daquele país haviam se esgotado, e, apesar do alerta, que representou o embargo dos produtores de petróleo.

Em função da recente constatação de uma forte relação entre o aquecimento global e a queima de combustíveis fósseis (BRASIL, 2005b), é premente uma nova mudança de paradigma, buscando-se fontes alternativas de energia. Isso, na verdade, antecipou as discussões sobre o problema da escassez das reservas de petróleo, de gás e de carvão natural que, mais cedo ou mais tarde, teria de ser enfrentado, fortalecendo o interesse em fontes alternativas de energia e nos combustíveis renováveis ou biocombustíveis. Estudos mostram que, no ritmo de

consumo atual, a escassez poderá ocorrer em aproximadamente 40 anos (RIFKIN, 2003, p.5).

Desde o início do século XX, o consumo de água cresceu em proporção duas vezes maior do que o crescimento populacional mundial (RIO GRANDE DO NORTE, 2007). Apesar da maior parte da superfície do planeta Terra ser composta de água, somente um volume pouco maior que 2% de toda essa água é doce e mais de 90% está nos gelos polares ou nos depósitos subterrâneos muito profundos. Somente 0,001% da água do planeta, que são as águas doces superficiais existentes (rios, lagos e represas), são utilizáveis pelo homem de forma economicamente viável e sem grandes impactos ambientais. Essa pequena parcela de água denomina-se *Recursos Hídricos*. Portanto, mesmo num país como o Brasil, de dimensões continentais, detentor do maior estoque de água doce do planeta, a gestão dos Recursos Hídricos é tarefa inadiável e urgente.

No Brasil, as reservas de água subterrânea são estimadas em 112.000 km³ (112 trilhões de m³) e a contribuição multianual média para a descarga dos rios é da ordem de 2.400 km³/ano (REBOUÇAS, 1988 apud BORGUETTI; BORGUETTI; ROSA FILHO, 2004).

Em vários núcleos urbanos, a água subterrânea é utilizada de forma exclusiva ou complementar e constitui o recurso mais importante de água doce. Inúmeros estabelecimentos utilizam água de poços profundos. Importantes cidades brasileiras dependem integral ou parcialmente da água subterrânea para abastecimento, como, por exemplo: Ribeirão Preto (SP), Mossoró e Natal (RN), Maceió (AL), Região Metropolitana de Recife (PE) e Barreiras (BA). No Maranhão, mais de 70% das cidades são abastecidas por águas subterrâneas. Em São Paulo e no Piauí esse percentual alcança 80% (BORGUETTI; BORGUETTI; ROSA FILHO, 2004).

De acordo com a ONU, mais de um bilhão de pessoas não têm acesso à água potável e perto de 2,5 bilhões não dispõem de qualquer tipo de saneamento, causando a morte de aproximadamente 8 milhões de pessoas por ano. Estima-se que, dentro de 25 anos, 4 bilhões de pessoas não terão água para satisfazerem as suas necessidades básicas (SILVA, 2006).

A tendência, então, é que a água se torne uma mercadoria de elevado valor no mercado internacional nos próximos anos. Países em desenvolvimento, englobando-se os detentores deste recurso, são os que mais sofrerão em decorrência da escassez, uma vez que quase a totalidade de sua economia está fortemente ligada a exploração dos seus recursos naturais e da produção agrícola para exportação. Com o intuito de ilustrar a importância da água para a

produção agrícola, a Tabela 1, a seguir, apresenta a demanda de água para alguns produtos.

Tabela 1 - Água na produção de alimentos

Produto	Água Necessária (em litros) para a produção de 1 Kg do produto
Batata	500
Trigo	900
Alfafa	900
Sorgo	900
Milho	1100
Arroz	1900
Soja	2000

Fonte: CHRISTOFIDIS (2001)

Assim, mais do que um direito, a escassez está transformando a água numa *commodity*³ valiosa. Cabe aos governos dos países detentores desses recursos a adoção de políticas e normas que garantam a integridade e o acesso racional a suas reservas (SILVA, 2006).

Portanto, o Brasil deve afastar a falsa idéia da inesgotabilidade dos recursos hídricos, bem como pensar na escassez dos mesmos, apesar de possuir a maior disponibilidade hídrica do planeta, 13,8% do deflúvio médio mundial (AMBIENTEBRASIL, 2007).

O crescimento da demanda mundial por água de boa qualidade, a uma taxa superior à da renovabilidade do ciclo hidrológico é, consensualmente, previsto nos meios técnicos e científicos internacionais. Este crescimento tende a se tornar uma das maiores pressões antrópicas sobre os recursos naturais do planeta no século XXI.

³ Commodity são produtos “in natura” cultivados ou de extração mineral, que podem ser estocados por certo tempo sem perda sensível de suas qualidades. São vistas como uma entre várias formas de investimento. (ECONOMIABR, 2007)

CAPÍTULO II – METODOLOGIA

Na primeira etapa desta pesquisa, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre biocombustíveis. Essa revisão incluiu livros, revistas especializadas, artigos científicos, jornais e entrevistas com especialistas. Constatou-se que a água não foi considerada nos diversos estudos realizados sobre a produção do biocombustível, inclusive, no estudo apresentado pelo NAE, no que tange às previsões de impactos nos recursos hídricos.

Foi então realizada uma revisão bibliográfica sobre evapotranspiração e sua utilização como indicador para avaliar o possível impacto sobre os recursos hídricos frente a uma expansão da área destinada ao plantio das oleaginosas para a produção do biocombustível. Determinou-se, a seguir, a demanda de água das culturas potenciais para o programa de biocombustíveis. Finalmente, foi estudada a circulação atmosférica na região Centro-Oeste e a sua influência no ciclo regional para averiguar se a água evapotranspirada tem ou não probabilidade de precipitar na própria região.

2.1 Evapotranspiração

A determinação da necessidade de água para as culturas agrícolas é realizada pela determinação da evapotranspiração. Existem diversos métodos para determinar a evapotranspiração, sendo que a maioria estima a evapotranspiração potencial, ou seja, quando o solo não tem alguma deficiência de água que limite o uso dessa água pelas plantas. Devido às características de cada cultura, a evapotranspiração potencial varia de uma cultura para outra. Dessa forma, foi estabelecido a prática de determinar uma evapotranspiração de referência (ET_o), utilizada como base para a determinação da evapotranspiração para cada cultura (ET_c). Elas podem ser definidas dessa forma:

- Evapotranspiração de referência (ET_o) é a evapotranspiração de uma superfície de referência coberta totalmente por grama ou alfafa, de tamanho uniforme, em fase de crescimento ativo, em solo com ótimas condições de umidade. O uso de outras denominações, como evapotranspiração potencial é desaconselhado devido às ambigüidades na sua definição.
- Evapotranspiração da cultura (ET_c) é a evapotranspiração de uma cultura sob condição padrão, livre de pragas, doenças e plantas daninhas, bem fertilizadas, que se desenvolve numa área ampla, com ótimo suprimento de água no solo e que alcança plena produção

sob determinadas condições climáticas. As relações entre a evapotranspiração da cultura (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_o) são denominadas de coeficientes de cultivo (K_c), que são usadas para relacionar ET_c com ET_o , ou seja: $ET_c = K_c * ET_o$.

Baseado nas informações constantes na FAO-56 (ALLEN et al., 1998) para estimativa de evapotranspiração das culturas de oleaginosas e de cana-de-açúcar, neste trabalho utilizou-se $ET_o = 4,8$, com $\langle K_{c[\text{inicial}]} = 0,35, K_{c[\text{intermediária}]} = 1,15, K_{c[\text{final}]} = 0,35 \rangle$ para as oleaginosas e $\langle K_{c[\text{inicial}]} = 0,40, K_{c[\text{intermediária}]} = 1,25, K_{c[\text{final}]} = 0,75 \rangle$ para a cana-de-açúcar, no período de um ano. Assim, chegou-se às seguintes fórmulas, para cada um dos ciclos de vida das respectivas culturas, cujas curvas estão representadas nos Gráficos de 1 a 8:

- Culturas não perenes (mamona, amendoim, girassol, soja e colza):

$$ET_c = \begin{cases} (0,02758d + 0,32241) * ET_o, & \text{se } d \in [1;30] \text{ (fase inicial)} \\ K_c * ET_o = 5,52, & \text{se } d \in [31; LI_c] \text{ (fase intermediária)} \\ (0,02758(LF_c + 1 - d) + 0,32241) * ET_o, & \text{se } d \in [LI_c + 1; LF_c] \text{ (fase final)} \end{cases}$$

Onde a duração do ciclo de vida das culturas $LF_{\text{mamona}} = 240$ dias, $LF_{\text{amendoim}} = 120$ dias, $LF_{\text{girassol}} = 150$ dias, $LF_{\text{soja}} = 135$ dias e $LF_{\text{colza}} = 100$ dias e o último dia da fase intermediária é $LI_c = LF_c - 30$, já que os ciclos iniciais e finais dessas culturas duram, em média, 30 dias.

- Culturas perenes (babaçu e dendê):

$$ET_c = \begin{cases} (0,02758d_i + 0,32241) * ET_o, & \text{se } d \in [1;60] \text{ (fase inicial)} \\ K_c * ET_o = 5,52, & \text{se } d \in [61;365] \text{ (fase intermediária)} \end{cases}$$

Onde a duração do ciclo de vida das culturas, por serem perenes, $LF_{\text{babaçu}} = LF_{\text{dendê}} = 365$ dias e os ciclos iniciais dessas culturas duram, em média, 60 dias.

- Cana-de-açúcar:

$$ET_c = \begin{cases} (0,01441d_i + 0,38559) * ET_o, & \text{se } d \in [1;60] \text{ (fase inicial)} \\ K_c * ET_o = 6,00, & \text{se } d \in [61;365] \text{ (fase intermediária)} \end{cases}$$

Sabe-se que o ciclo de vida da cultura de cana-de-açúcar pode durar 18 meses. Como, neste trabalho, se está considerando apenas um ano para os cálculos, tomou-se 60 dias ciclo inicial e não se considerou a fase final.

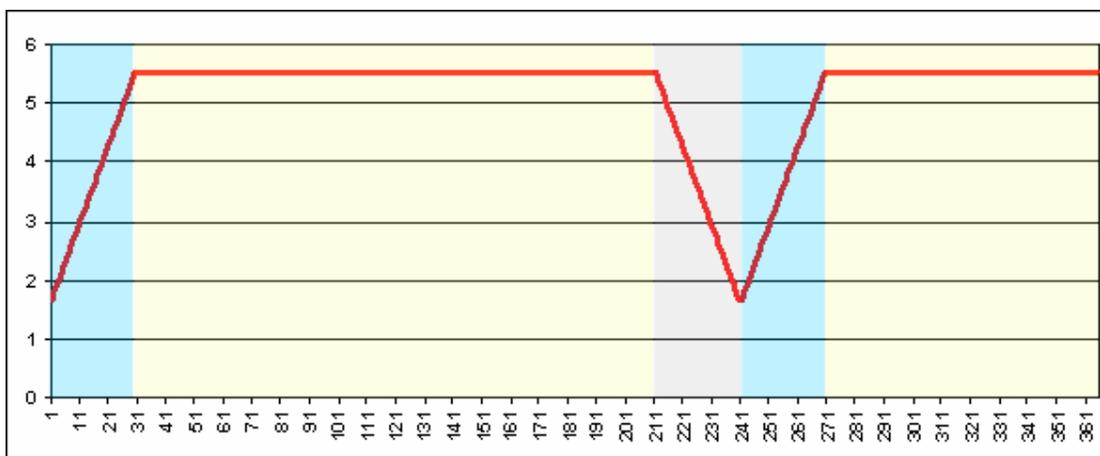


Gráfico 1: Estimativa de evapotranspiração (em mm) da mamona no período de 365 dias

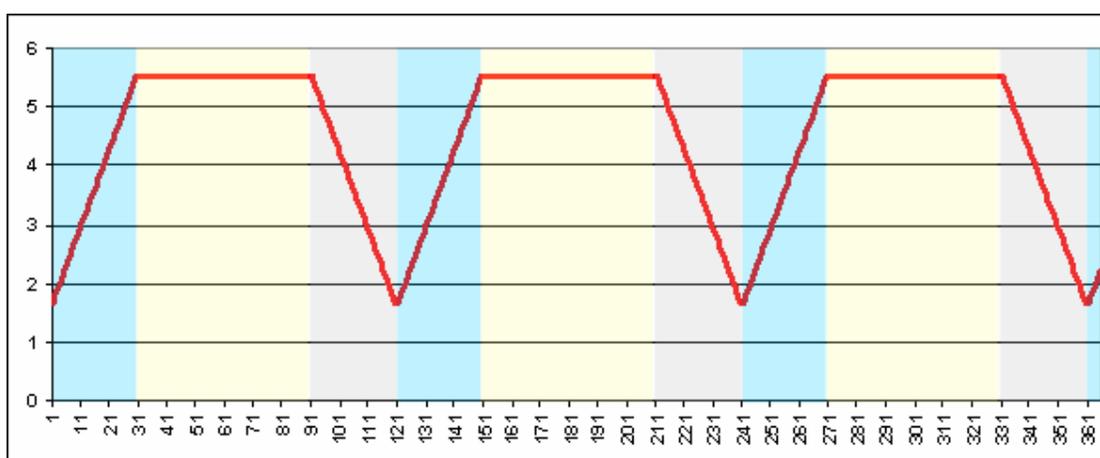


Gráfico 2: Estimativa de evapotranspiração (em mm) do amendoim no período de 365 dias

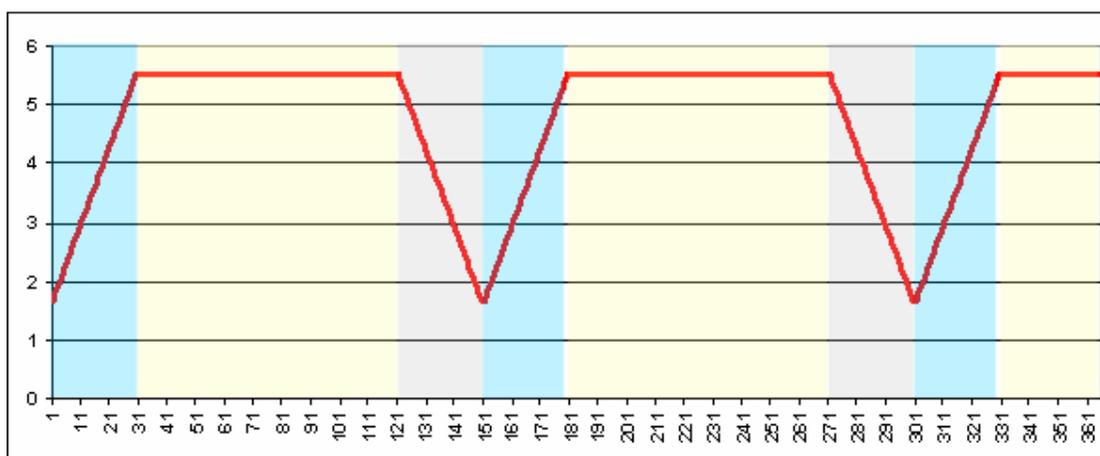


Gráfico 3: Estimativa de evapotranspiração (em mm) do girassol no período de 365 dias

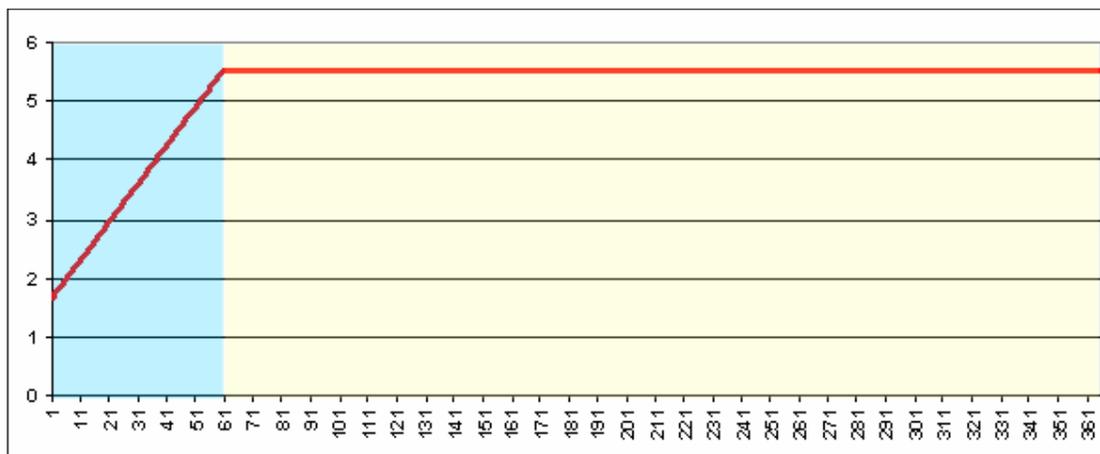


Gráfico 4: Estimativa de evapotranspiração (em mm) do dendê no período de 365 dias

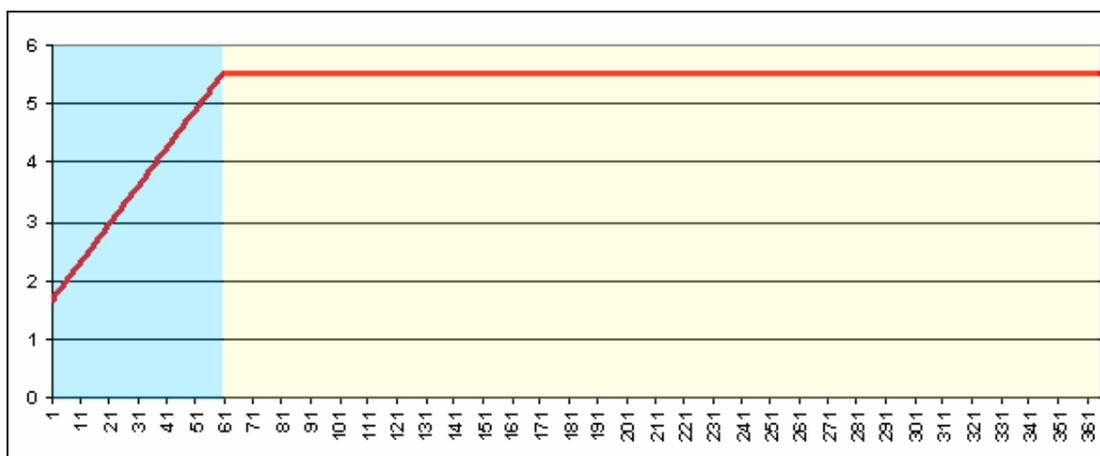


Gráfico 5: Estimativa de evapotranspiração (em mm) do babaçu no período de 365 dias

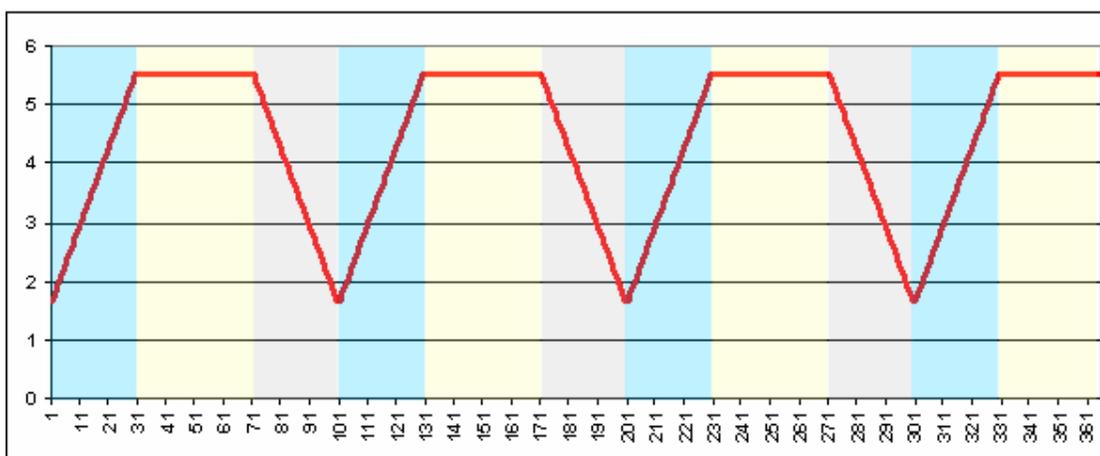


Gráfico 6: Estimativa de evapotranspiração (em mm) da colza no período de 365 dias

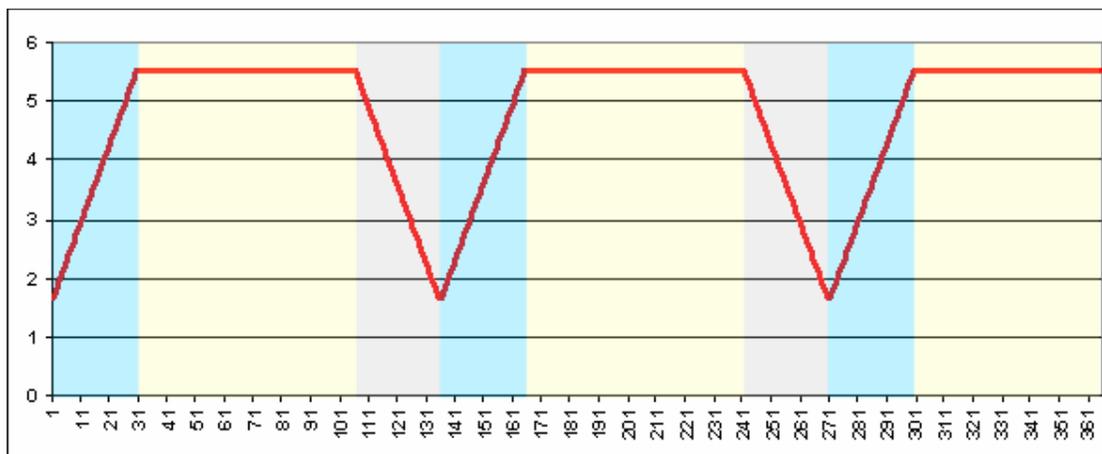


Gráfico 7: Estimativa de evapotranspiração (em mm) da soja no período de 365 dias

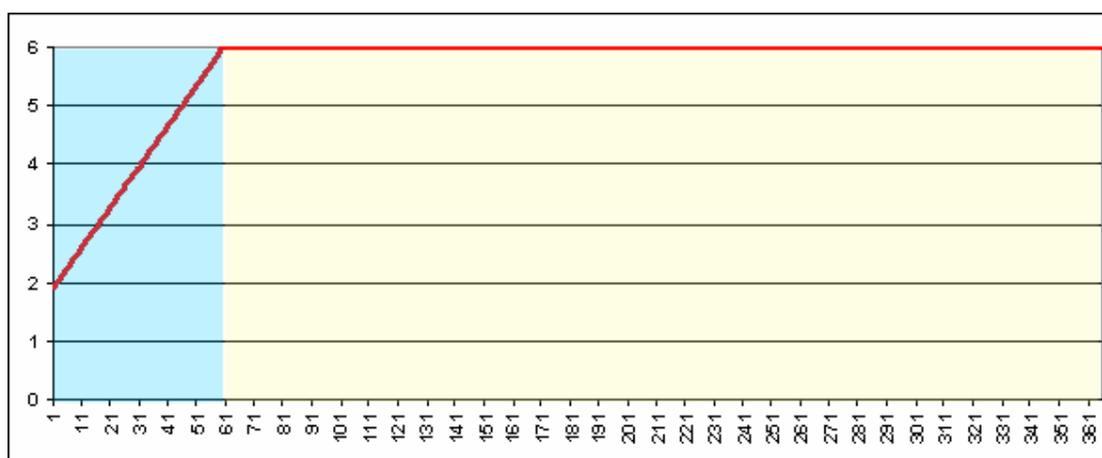


Gráfico 8: Estimativa de evapotranspiração (em mm) da cana-de-açúcar no período de 365 dias

2.2 Cálculo da evapotranspiração para oleaginosas na região Centro-Oeste

Diversos estudos vêm sendo realizados no sentido de determinar o grau de evapotranspiração em diferentes culturas e ambientes. Neste trabalho, interessa-se pela evapotranspiração das oleaginosas eleitas pelo Governo Federal brasileiro para o programa de biocombustíveis, principalmente no que diz respeito à região de cerrado. Na Tabela 2 é apresentada a disponibilidade de água para as plantas e a evapotranspiração em cerrados denso, *strictu sensu* e em pastagem plantada (SILVA, 2003). Já na Tabela 3, são apresentados os cálculos da evapotranspiração das oleaginosas em geral.

Tabela 2 - Evapotranspiração no Cerrado

Evapotranspiração (ETc)	(mm)/ano	(m)	Demanda (1000m ³)
Anual Pastagem (Cerrado)	1115	1,115	33.450.000
Cerrado Stricto Sensu	924	0,924	27.720.000
Cerrado Denso	948	0,948	28.440.000

Fonte: SILVA (2003)

Tabela 3 - Cálculos para evapotranspiração das oleaginosas

Oleaginosas	ETc (mm)/ano	ETc (m)	Demanda (1000m ³)
Mamona / 240 dias	1841,96	1,841957	38.681.093
Amendoim / 120 dias	1536,04	1,536037	691.216.740
Girassol / 150 dias	1726,73	1,726728	259.009.200
Dendê / Perene	1899,45	1,89945	769.277
Babaçu / Perene	1899,45	1,89945	569.835
Soja / 135 dias	1726,73	1,726728	1.036.036.800
Cana-de-açúcar / 545 dias	2067,51	2,067507	186.075.630
Colza / 100 dias	1611,50	1,611499	1.933.799.040

De acordo com o relatório do NAE (BRASIL, 2005a, p. 12), a área necessária para suprir 5% do diesel B5 com oleaginosas locais, e usando apenas soja, dendê e mamona, seria de cerca de 3 milhões de hectares, conforme mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 - Áreas estimadas para a produção de B5

Região	Óleo vegetal para B5 (1000m ³)	Matéria-prima	Área (1000 ha)
Sul	7.200	soja	600
Sudeste	15.840	soja	1.320
Nordeste	5.400	mamona	600
Norte	3.240	dendê	35
Centro-Oeste	4.320	soja	360
Total	36.000		2.916

Fonte: BRASIL (2005a, p. 38)

Essa foi a área tomada como base para os cálculos das demandas. A área de expansão possível para grãos e de, pelo menos, 90 milhões de hectares. As áreas aptas para o dendê atingem, na Amazônia, cerca de 70 milhões de hectares, com alta aptidão em cerca de 40%.

Os valores apresentados na Tabela 5 dizem respeito à evapotranspiração das oleaginosas em relação à vegetação nativa do cerrado e referem-se ao primeiro ano de plantio. A partir

do segundo ano, os valores são outros, pois as culturas perenes já estão em seu desenvolvimento máximo. Ou seja, os coeficientes (K_c) das culturas perenes já estarão no seu valor máximo de 1,15 (ALLEN et al, 1998), o que aumenta consideravelmente o valor da evapotranspiração e, conseqüentemente, a demanda hídrica, conforme mostrado no Gráfico 9. Na Tabela 6 e no Gráfico 10, são mostrados esses dados em relação às pastagens.

Evidencia-se, assim, o impacto negativo nos recursos hídricos, causado pelas culturas de oleaginosas tanto no cerrado como nas pastagens. Porém, isso não seria um problema, se a evapotranspiração gerasse precipitações na própria região. Para responder a essa questão, é necessário compreender quais as características climáticas da região em estudo.

Tabela 5 - Evapotranspiração de referência para o Cerrado ($E_{Tr} = 936$ mm/ano)

Cultura	E.T. (mm/ano)	E.T. relativa (%)
Mamona	1841	196%
Amendoim	1536	164%
Girassol	1726	184%
Dendê	1957	209%
Babaçu	1957	209%
Soja	1726	184%

Fonte: BRASIL (2005a, p. 38)

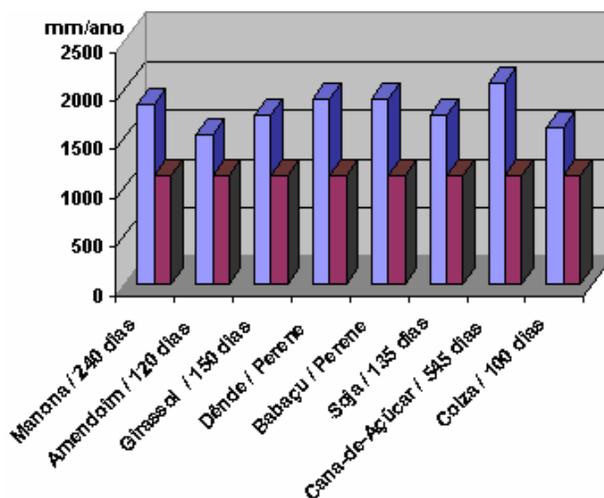


Gráfico 9: Evapotranspiração das culturas em relação à pastagem
(■ = Evapotranspiração da cultura ■ = Evapotranspiração de referência - pastagem)

Tabela 6: Evapotranspiração de referência em relação à pastagem no cerrado –
 $E_{Tr} = 1.115 \text{ mm/ano}$

Cultura	E.T. por Cultura (mm/Ano)	E.T. Relativa (%)
Mamona	1841	165%
Amendoim	1536	137%
Girassol	1726	154%
Dendê	1957	175%
Babaçu	1957	175%
Soja	1726	154%

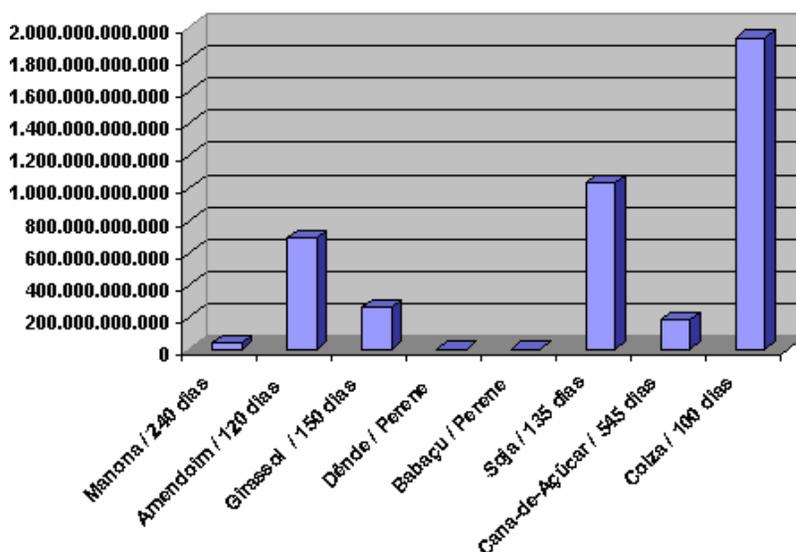


Gráfico 10: Volume de água referente à evapotranspiração das culturas

2.3 Climatologia da região Centro-Oeste

Para entender o comportamento da atmosfera em diferentes intervalos de tempo, os conceitos de tempo e de clima são imprescindíveis. Tempo, em uma determinada região, pode ser considerado como a soma da ação de diversas variáveis atmosféricas, como por exemplo, a chuva, o sol e o vento, em um curto período de tempo. Já clima é o comportamento médio da atmosfera por um longo período de tempo, medido em meses ou anos (INMET, 2005).

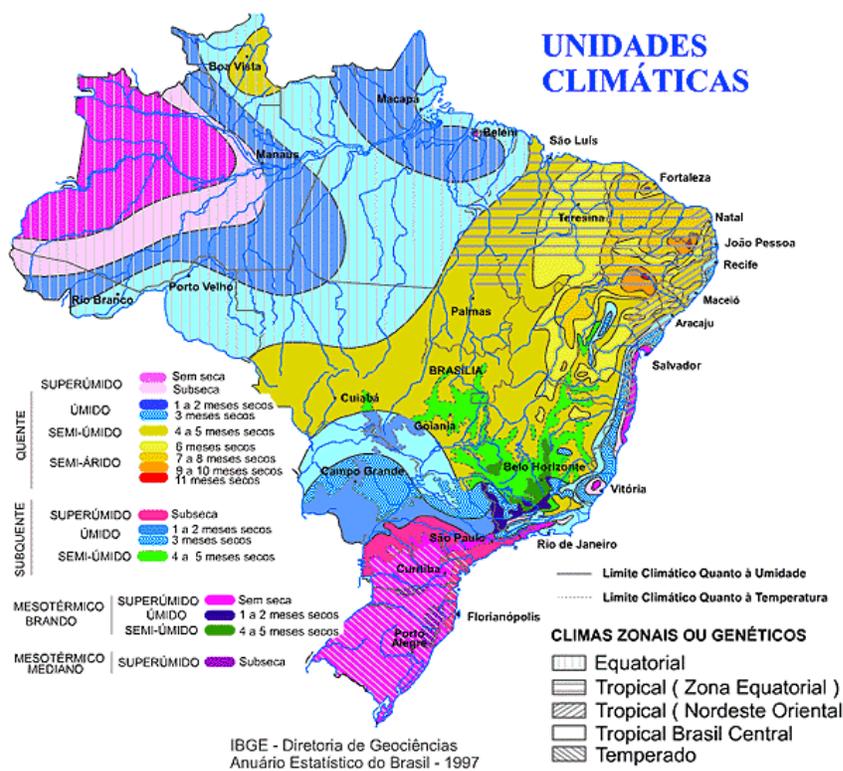
Variações climáticas são as oscilações que ocorrem nas variáveis atmosféricas e que juntas interferem no clima. A Terra vem passando por várias mudanças, alternando períodos de glaciação e inter-glaciação, onde ocorrem grandes oscilações climáticas.

Eventos climáticos não ocorrem de maneira isolada, onde vários eventos podem ser explicados por outros, como por exemplo, a intensidade de chuva que em várias regiões do

país podem ser explicadas pela temperatura da superfície das águas do Oceano Pacífico segundo a observação científica (HASTENRATH; HELLER, 1977; HANSTENRATH, 2006). Essas ligações, ou seja, teleconexões de fenômenos podem modificar o clima local, regional e global, e, conseqüentemente, o ciclo hidrológico (escoamento superficial e subterrâneo, precipitação, evaporação, etc.).

Há evidências e vários cientistas ao redor do mundo concordam que as atividades humanas, em busca do desenvolvimento econômico, do conforto e das comodidades da vida moderna, vêm provocando alterações do clima de forma não natural, seja pela emissão de gases poluentes, seja pela substituição da vegetação natural por culturas relacionadas às atividades agropecuárias (NOBRE; SAMPAIO; SALAZAR, 2007; MARENGO, 2006; GLEICK; KIPARSKY, 2004).

Na região Centro-Oeste, isso vem ocorrendo de forma ostensiva, desde os anos 70 (MARENGO, 2006). No mapa atual de unidades climáticas do Brasil (Mapa 1) constata-se que o Centro-Oeste apresenta uma distribuição regular de períodos secos e chuvosos bem definidos. A estação seca varia de 4 a 5 meses, entre os meses de maio a setembro.



Mapa 1: Mapa de unidades climáticas do Brasil
 Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1997)

2.3.1 Inverno – período de estiagem

No Centro-Oeste, o período de inverno é caracterizado pela estiagem e com baixos índices de umidade relativa do ar. Climatologicamente verifica-se uma diminuição das chuvas devido à invasão do ar frio (alta pressão de origem polar), conforme mostrado no Mapa 2 e uma subsidência (movimento descendente dos ventos), retirando umidade da região. A partir da segunda quinzena de julho a meados de setembro, começa o predomínio da massa de ar seca e quente no centro do Brasil, acarretando uma atmosfera mais seca.

No referido período, também, observa-se a ausência do escoamento dos ventos dos baixos níveis de oeste para leste, sobre o transporte de umidade (situação contrária de novembro a março), o que contribui para a ausência de chuva. A Imagem 1 apresenta as imagens do satélite GOES-12, do canal infravermelho, onde se observam situações completamente opostas entre o período de estiagem (áreas escuras sem cobertura de nuvens) e o período chuvoso (áreas brancas com muitas nuvens).

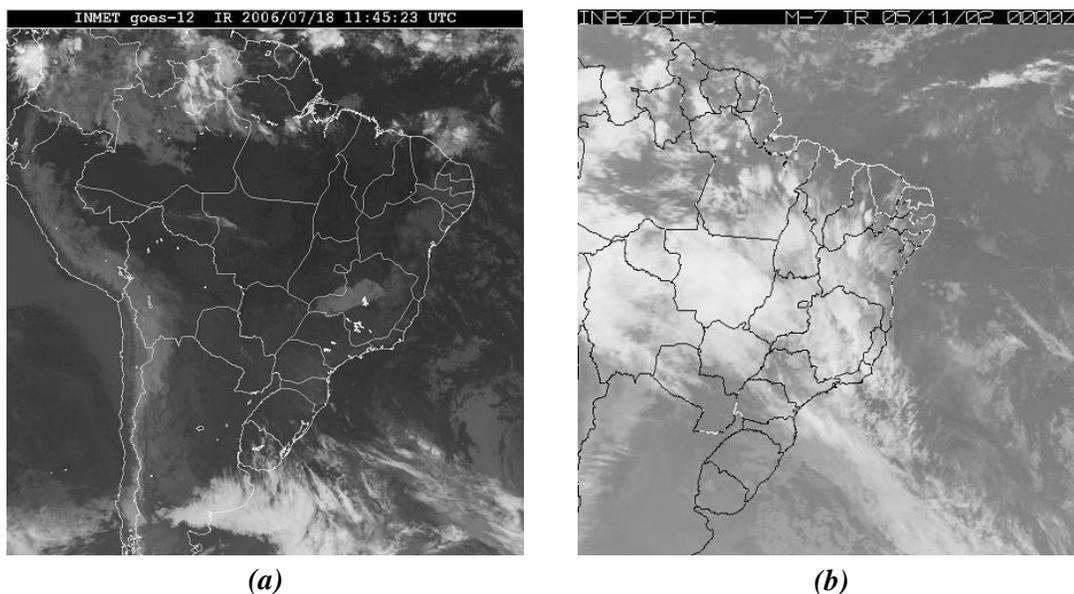
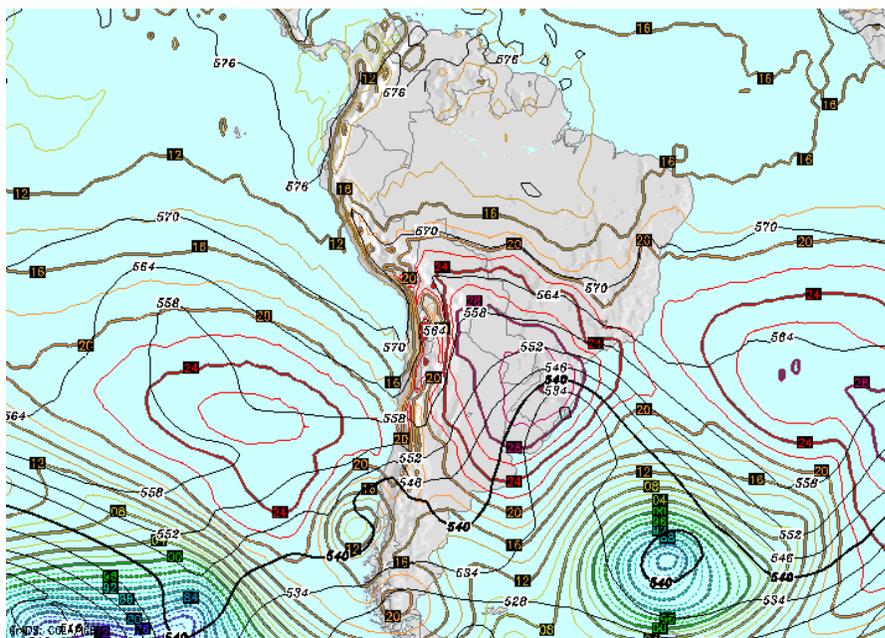


Imagem 1: Imagens do Satélite GOES-12, no canal infravermelho: (a) em 19 de julho de 2006, às 11:45 Horas, sem cobertura de nuvens; (b) em 05 de novembro de 2002, às 00h00 (CPTEC), com bastante cobertura de nuvens (DINIZ; REBELLO, 2001)

Em julho, os valores de precipitação são de 20mm a 60mm no centro e no norte do Mato Grosso do Sul, de 10mm a 20mm no sul de Goiás, sul e noroeste do Mato Grosso e abaixo de 10mm nas demais áreas da região. Em agosto, a precipitação fica entre 40mm e 60mm no sul e centro do Mato Grosso do Sul e entre 20mm e 40mm no sul de Goiás e no oeste e sul do Mato Grosso. No resto da região esses valores não passam de 10mm. Em se-

tembro, a precipitação fica entre 60mm e 120mm no oeste e norte do Mato Grosso, centro-leste e sul do Mato Grosso do Sul. No leste e nordeste de Goiás e Distrito Federal, os valores oscilam entre 10mm e 20mm. No leste e sul do Mato Grosso, norte, oeste e centro-leste do Mato Grosso do Sul, e nas demais áreas do Estado de Goiás, a precipitação fica entre 20mm e 40mm. Climatologicamente, no período de inverno, existe uma maior frequência de massa de ar frio (Alta-Pressão Polar) que contribui para a ausência da precipitação, conforme mostrado no Mapa 2.



Mapa 2: Campo de pressão atmosférica ao nível médio do mar, com validade de 72 horas, para às 00h00, de 14 de julho de 2000 – Centro de alta pressão polar (massa de ar frio) atingindo grande parte da Região Centro-Oeste, transportando ar frio com baixas temperaturas e acentuada subsidência sobre a Região (DINIZ; REBELLO, 2001)

Durante o período da estiagem, da segunda quinzena de maio à setembro, a concentração da névoa seca provoca baixos índices de umidade relativa do ar, ocasionados pelos seguintes fatores climáticos:

1. distância do litoral;
2. influência das massas de ar frio que atingem a Região Centro-Oeste;
3. predominância dos sistemas subsidentes que atuam na Região Centro-Oeste (movimentos descendentes dos ventos), impedindo a formação de nuvens no Mato Grosso do Sul, Goiás, Mato Grosso, Distrito Federal, Tocantins, e oeste de Minas Gerais. Esses sistemas são caracterizados pela descida do ar dos níveis mais altos da atmosfera em direção

à superfície e deixa a atmosfera mais seca.

Além disso, nos anos em que a estiagem tem início em maio, a seca é mais acentuada. Pode-se afirmar também que, na referida época, um dos elementos agravantes do clima são as fumaças dos automóveis, as queimadas e a conseqüente concentração de litometeoros (poeiras em suspensão). A condição climática com névoa seca predomina em grande parte do Centro-Oeste, atingindo também o oeste de São Paulo e o Triângulo Mineiro.

2.3.2 Verão – período chuvoso

No Centro-Oeste, o verão é caracterizado pelo período chuvoso devido às chegadas das frentes frias juntamente com a umidade da Amazônia, que é transportada pelo jato de baixos níveis – JBN, e a circulação anti-horária dos ventos na alta atmosfera em torno de 12 km de altitude. O acoplamento da junção da frente fria com a interação da massa dessa umidade da Amazônia forma um sistema meteorológico conhecido como a Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS. Esse sistema, quando formado, oferece uma alta sustentação nas chuvas das regiões Centro-Oeste e Sudeste por vários dias, semanas ou mais, sendo o que mais contribui para as chuvas do Centro-Oeste.

Parte das precipitações do Sudeste se deve à evapotranspiração do Centro-Oeste em função do jato de baixos níveis – JBN, transportar a umidade para o Sudeste.

2.3.3 Considerações sobre anomalias de precipitação no Centro-Oeste do Brasil

Segundo Diniz e Rebello (2002), extremas flutuações climáticas na escala sazonal nos trópicos (paralelo geográfico que dista 23 graus e 27 minutos acima e abaixo do equador, respectivamente, chamando-se o do norte Trópico de Câncer e o do sul Trópico de Capricórnio) e alta variabilidade na precipitação com anomalias negativas têm causado grandes conseqüências nos setores de abastecimento de água nos centros urbanos, na agricultura e no planejamento hidrelétrico do país. A Região Sudeste concentra grande parte da geração de energia hidrelétrica, com 55% da produção, sendo que o maior mercado consumidor de energia, com 47,2 milhões de unidades, está nas regiões Sudeste e Sul do Brasil. Dessa forma, o impacto é maior devido à grande concentração da população e riqueza econômica. Um exemplo positivo aplicado ao setor hidrelétrico é o da usina de Salto Santiago, no Rio Iguaçu, onde o evento La Niña de 1996 desencadeou um aumento de rendimento e diminuição de impacto ambiental

(MOURA, 2000, apud DINIZ; REBELLO, 2006).

A alta variabilidade temporal, na posição e na intensidade da ZCAS, foi observada por Kousky (1988, apud DINIZ; REBELLO, 2006) e Casarin e Kousky (1986, apud DINIZ; REBELLO, 2006) e, mais recentemente, durante o verão 1999/2000, em janeiro e fevereiro.

A atividade da circulação anti-horária do fluxo de vento em 200 hPa, sobre a América do Sul confirma a presença da ZCAS sobre a Região Sudeste, conforme estudado por Vieira et al. (2000, apud DINIZ; REBELLO, 2006).

Bastos e Ferreira (2000, apud DINIZ; REBELLO, 2006) observaram no período de 1978/1997, nos meses de dezembro a fevereiro, que o campo de vento e a velocidade associada em 850 hPa, sugerem a presença de convergência ao lado da ZCAS.

Algumas configurações de bloqueio atmosférico no escoamento sobre a América do Sul, com seca na Região Sul são conhecidas por Casarin (1982, apud DINIZ; REBELLO, 2006). Na prática, o que se tem observado pela climatologia são veranicos (embora no verão, refere-se a um período seco, quando esperar-se-ia mais chuva) da ordem de 8 a 15 dias de estiagem, sobre o Sudeste do país e parte leste do Centro-Oeste no período de janeiro a março.

Diniz e Rebello (2002) verificam e comparam os totais das precipitações ocorridas com as normais mensais, para os meses de janeiro e fevereiro, de 90 estações meteorológicas da rede do INMET. Analisa também os mapas dos padrões das anomalias negativas das precipitações mensais, utilizando os intervalos dos decis do período de 1961 a 2000 do INMET.

Com isso, constataram a forte redução na precipitação sobre a Região Sudeste, Goiás e Distrito Federal e o impacto causado no setor hidrelétrico, Diniz e Rebello (2002) utilizam-se do gráfico anual dos últimos cinco anos sobre a capacidade dos reservatórios da Região, fornecido pelo Operador Nacional do Sistema – ONS.

Segundo Diniz e Rebello (2006), para a verificação das causas destas anomalias de precipitação foram utilizados e analisados os campos de vento climáticos para os meses de janeiro e fevereiro, a média mensal e as anomalias da circulação nos níveis de 850 e 200 hPa gerados pelo modelo global do *National Centers for Environment Prediction* (NCEP), sobre a América do Sul, para a determinação das anomalias dos padrões do escoamento do vento em ambos os níveis. Em 200 hPa, foi observada situação de bloqueio atmosférico sobre o SE, GO e DF e ausência da ZCAS. Nos baixos níveis, em 850 hPa, verificou-se a existência de jatos

mais fortes responsáveis pelo transporte de umidade para o sul conforme proposto por Vieira et al. (2000, apud DINIZ; REBELLO, 2006) e ausência de umidade no Estado de Goiás conforme é mostrado na Figura 1, letras *c* e *f*.

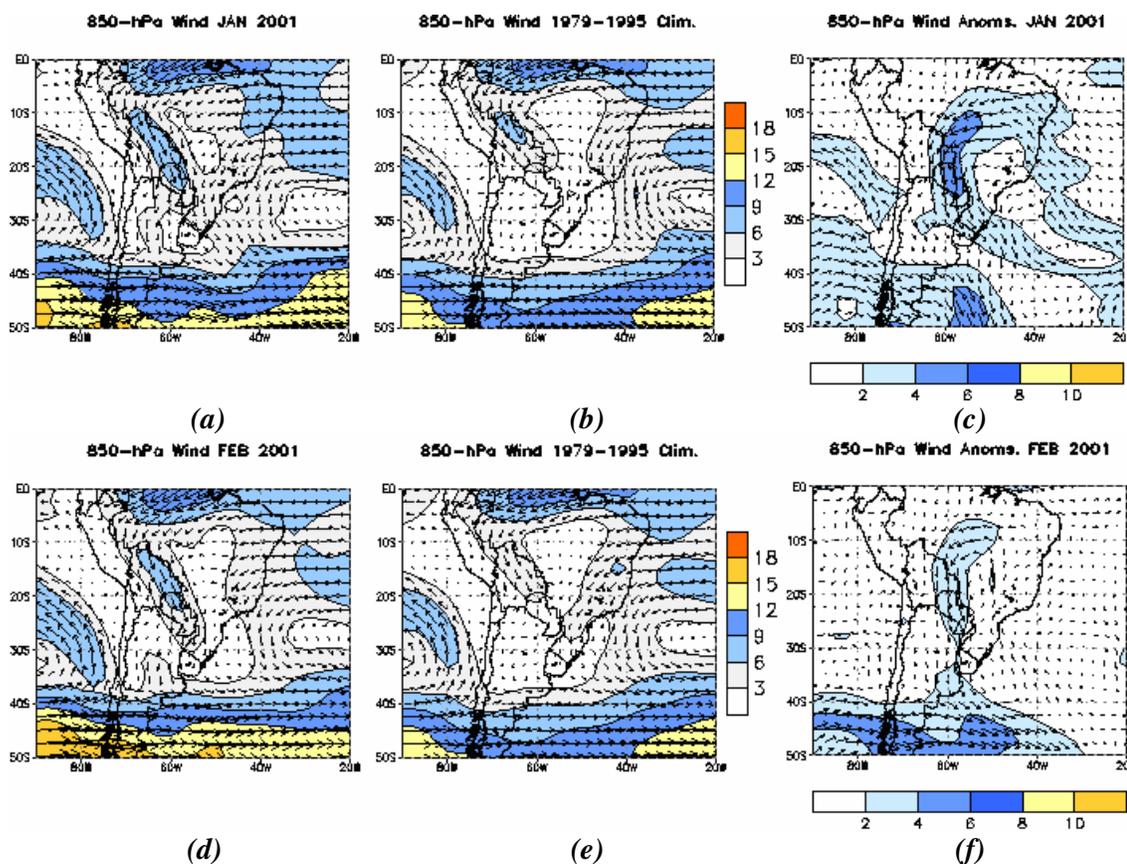
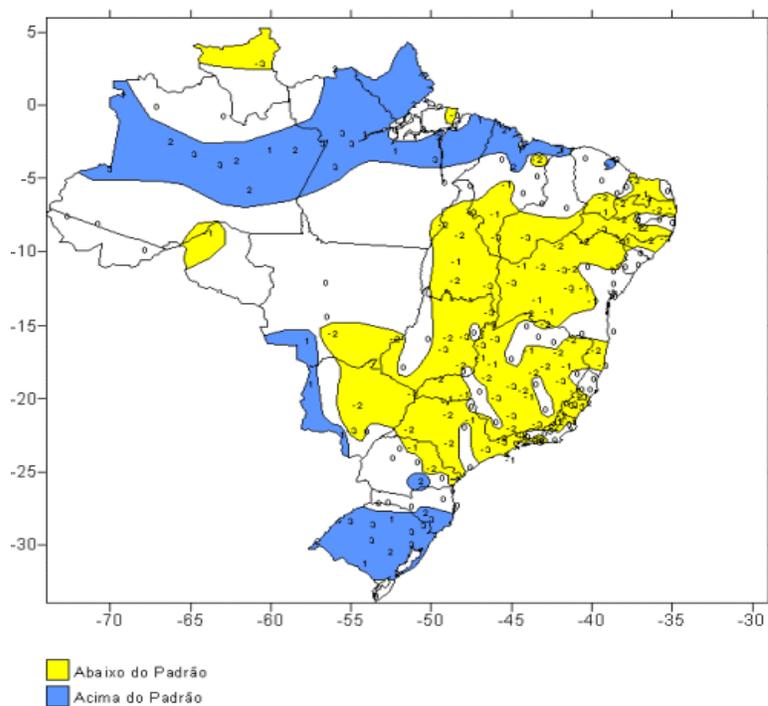
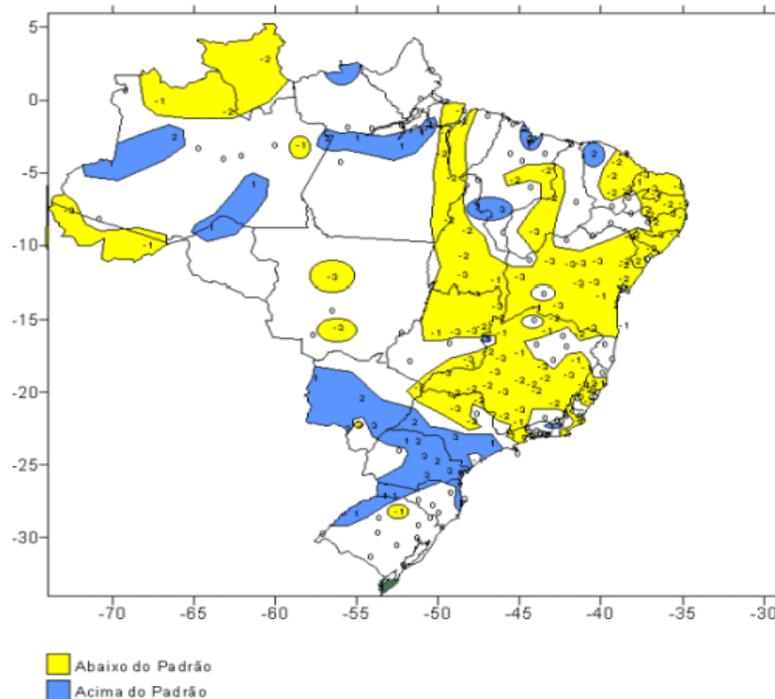


Figura 1: Campos de vento em 850 hPa, em janeiro e fevereiro 2001, em relação aos dados entre 1979 a 1995 (DINIZ; REBELLO, 2001)

Durante os meses de janeiro e fevereiro, foi observada alta irregularidade temporal e espacial na precipitação e na posição da ZCAS. Nessa avaliação, se utilizou os padrões das anomalias negativas das precipitações mensais, calculadas por meio dos intervalos dos decis, que mostram forte redução nas chuvas em grande parte da região, com padrão negativo muito baixo (-3), considerado a seca severa em relação ao desvio da seca normal (Mapas 3 e 4). Nos gráficos mensais (Gráficos 11 e 12), foram comparados os totais de precipitação ocorrida (linha azul) com as normais mensais (linha vermelha), para 90 estações meteorológicas, mostrando diferenças consideravelmente elevadas nas referidas precipitações por localidades, que variam de 45 a 60% de redução nas chuvas nas regiões das bacias.



Mapa 3: Desvio da precipitação pelo método do DECIS, índices (-3) amarelos padrões muito baixo da precipitação: janeiro de 2001 (DINIZ; REBELLO, 2001)



Mapa 4: Desvio da precipitação pelo método do DECIS, índices (-3) amarelos padrões muito baixo da precipitação: fevereiro de 2001 (DINIZ; REBELLO, 2001)

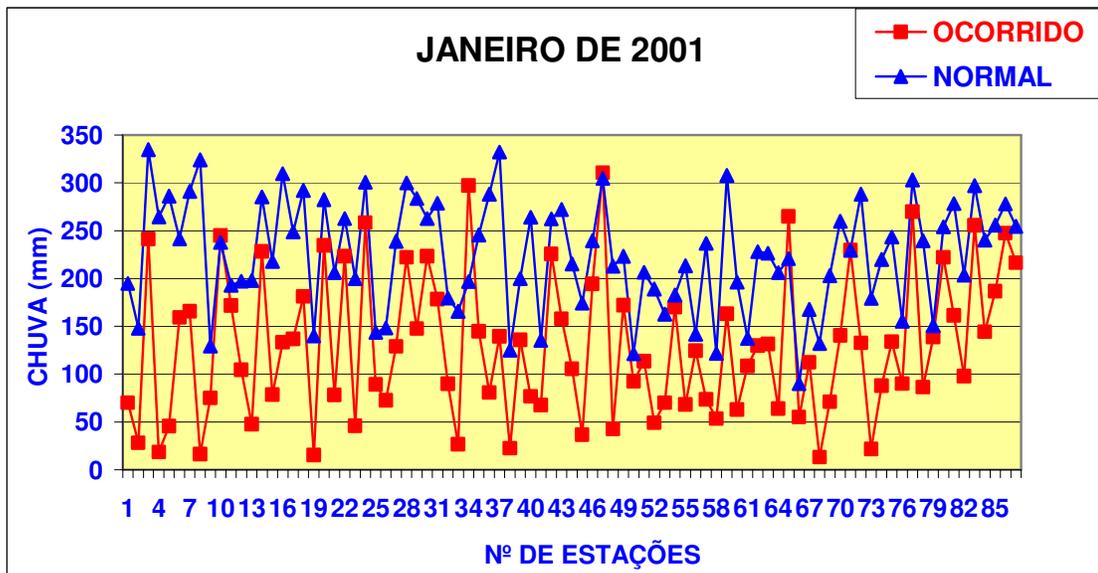


Gráfico 11: Totais de precipitação ocorrida comparada com as normais no mês de janeiro de 2001 (DINIZ; REBELLO, 2001)

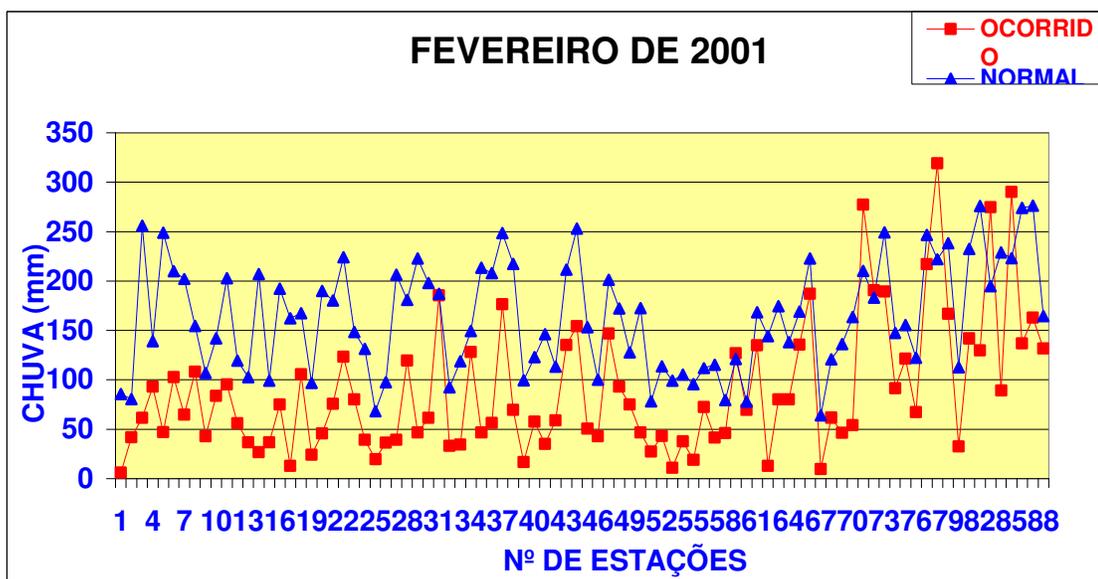


Gráfico 12: Totais de precipitação ocorrida comparada com as normais no mês de fevereiro de 2001 (DINIZ; REBELLO, 2001)

A atividade da circulação dos ventos em 200 hPa, no sentido anti-horário sobre a América do Sul, confirma a presença da ZCAS sobre a Região Sudeste e Centro-Oeste, conforme estudado por Vieira et al. (2000, apud DINIZ; REBELLO, 2002). Portanto, segundo Diniz e Rebello (2002), a situação contrária ou enfraquecimento da Alta da Bolívia deve estar associada com a ausência da ZCAS sobre o Sudeste e Centro-Oeste, evidenciado no mês de janeiro de 2001, no campo das anomalias de vento em 200 hPa, em que a circulação anti-horária esteve mais fraca (anomalias ciclônicas) que a climatologia sobre os trópicos em grande parte da América do Sul (Figura 2, letra f). Outra situação observada por Diniz e Rebello (2002), é a característica dessa circulação que impediu o deslocamento das frentes frias (bloqueio) chegarem ao Sudeste e Centro-Oeste, permanecendo entre a Argentina e a Região Sul, conforme descrito por Kousky (1988, apud DINIZ; REBELLO, 2002). Em fevereiro, a Alta da Bolívia ficou mais ao sul de sua posição climatológica, quando persistiram os ventos mais fortes de oeste nas médias latitudes e anomalias anticiclônica nas latitudes subtropicais, com uma circulação fechada na costa do Rio Grande do Sul. Esse padrão favorece a atividade convectiva no Sul e a ausência de convecção entre o Sudeste e o Centro-Oeste. Nos baixos níveis, 850 hPa, a Figura 2 mostra, nos meses de janeiro e fevereiro, a presença de jatos mais fortes que o normal, de noroeste para sul do continente (Amazônia para a Região Sul), responsáveis pelo transporte de umidade da Amazônia, descrito por Vieira et al. (2000, apud DINIZ; REBELLO, 2002). Essa configuração favoreceu o aumento das chuvas no Sul e deixou o Sudeste e a parte leste do Centro-Oeste mais seco.

Climatologicamente, Diniz e Rebello (2006), observaram que a mudança nos padrões atmosféricos em grande escala sobre a América do Sul, sem o aparecimento da ZCAS, pode permanecer por período de médio prazo (10 dias), com ausência de precipitação.

A partir do Mapa 5 até o Mapa 61, observam-se as anomalias da precipitação mensal nos períodos chuvosos nos anos de 2001/2002; 2002/2003; 2003/2004; 2004/2005; 2005/2006; 2006/2007 e no começo de 2007/2008. Nota-se uma variabilidade na precipitação que pode estar relacionada a vários sistemas de escala global que influenciam diretamente nos mecanismos que produzem chuvas e na distribuição espaço-temporal nas regiões. Torna-se evidente a má distribuição das chuvas nesses últimos três anos, com déficits médios nos períodos considerados em torno de 450 mm, e no começo do período chuvoso de 2007/2008 um déficit em torno de 250 mm, mostrando o comportamento anômalo da atmosfera.

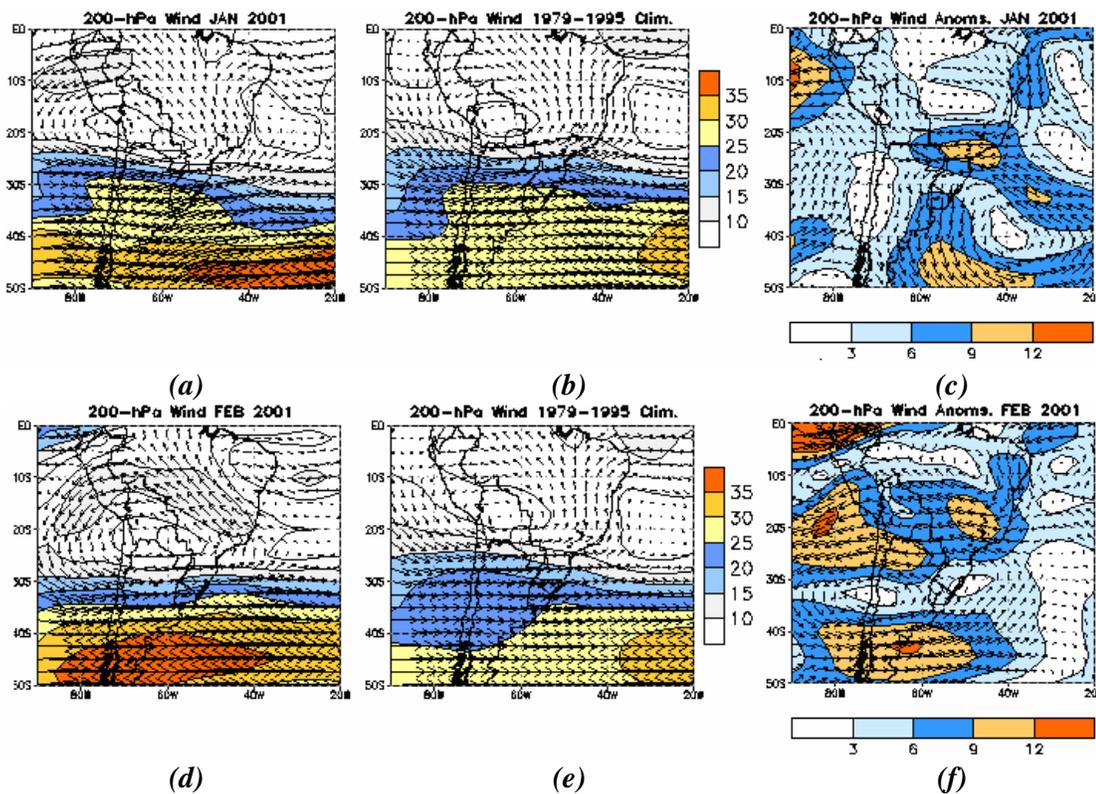
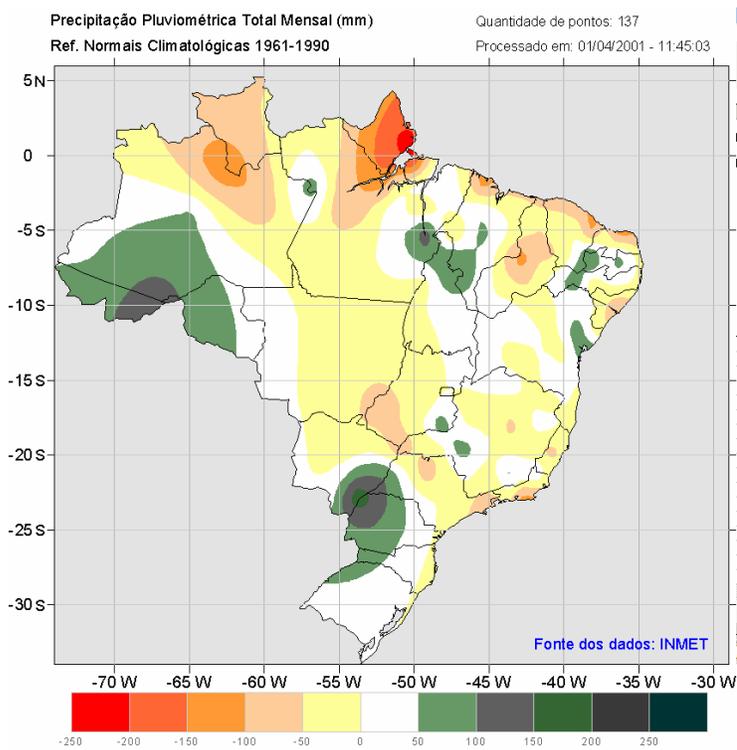
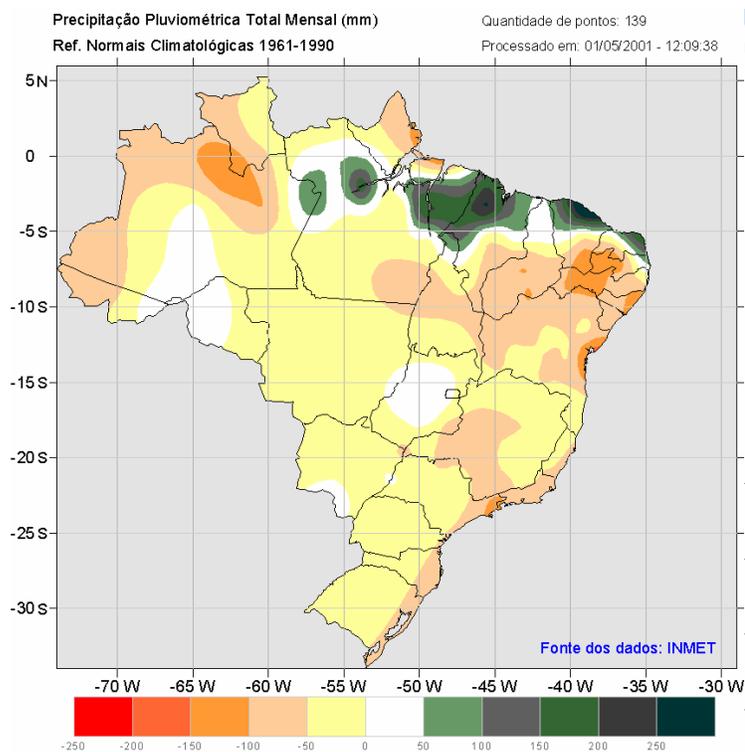


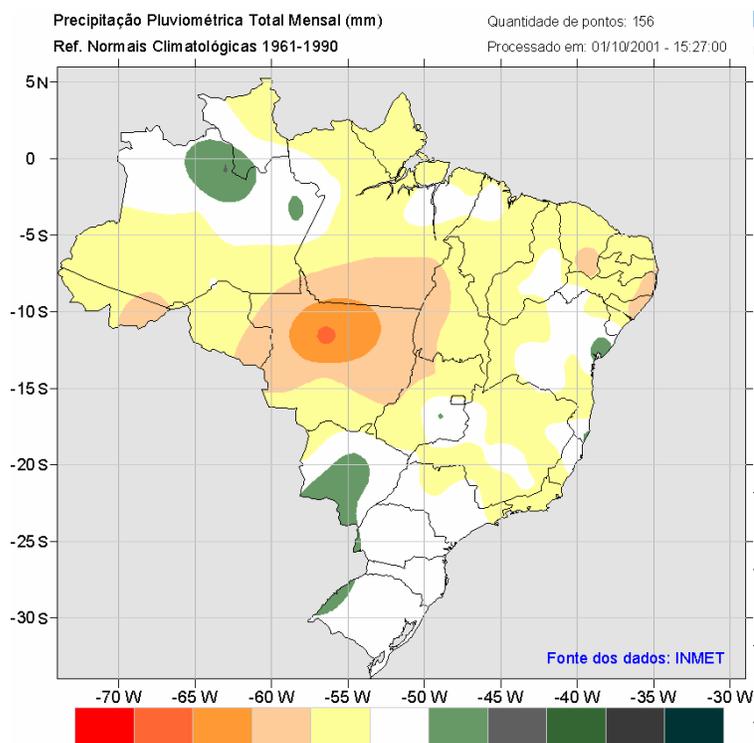
Figura 2: Campos de Vento em 200 hPa, em janeiro e fevereiro 2001, em relação aos dados entre 1979 a 1995 (DINIZ; REBELLO, 2005)



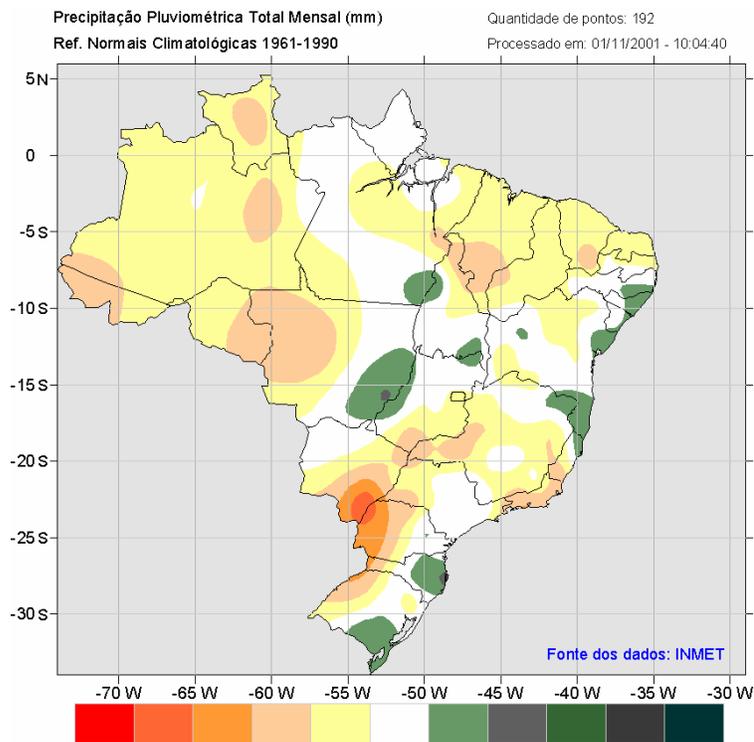
Mapa 5: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – março/2001 (Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



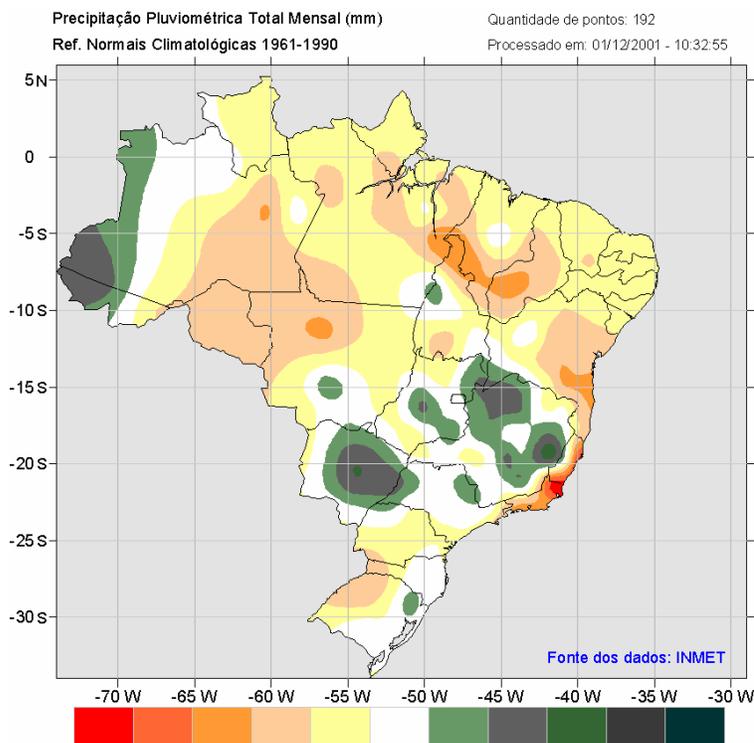
Mapa 6: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – abril/2001
 (Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



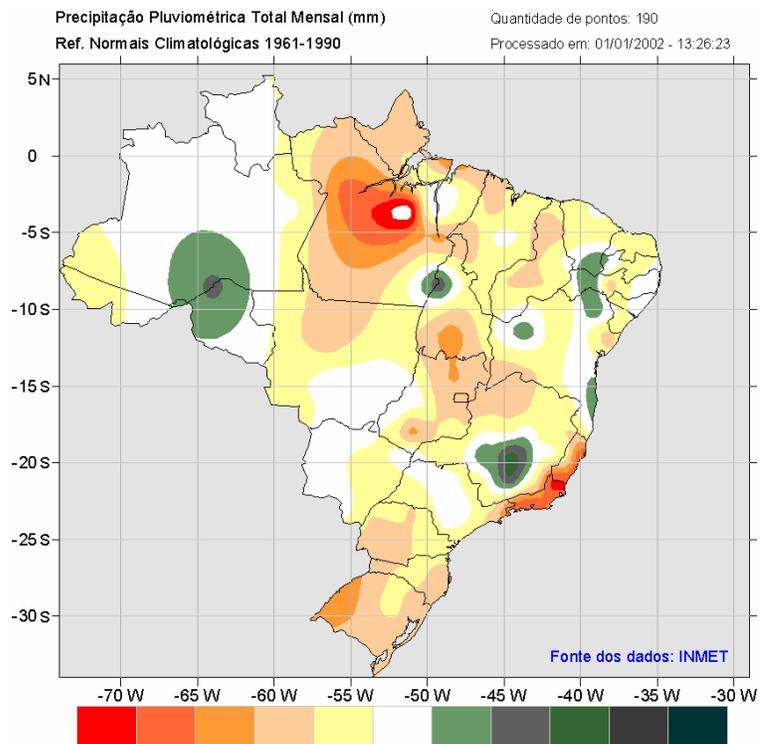
Mapa 7: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – setembro/2001
 (Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



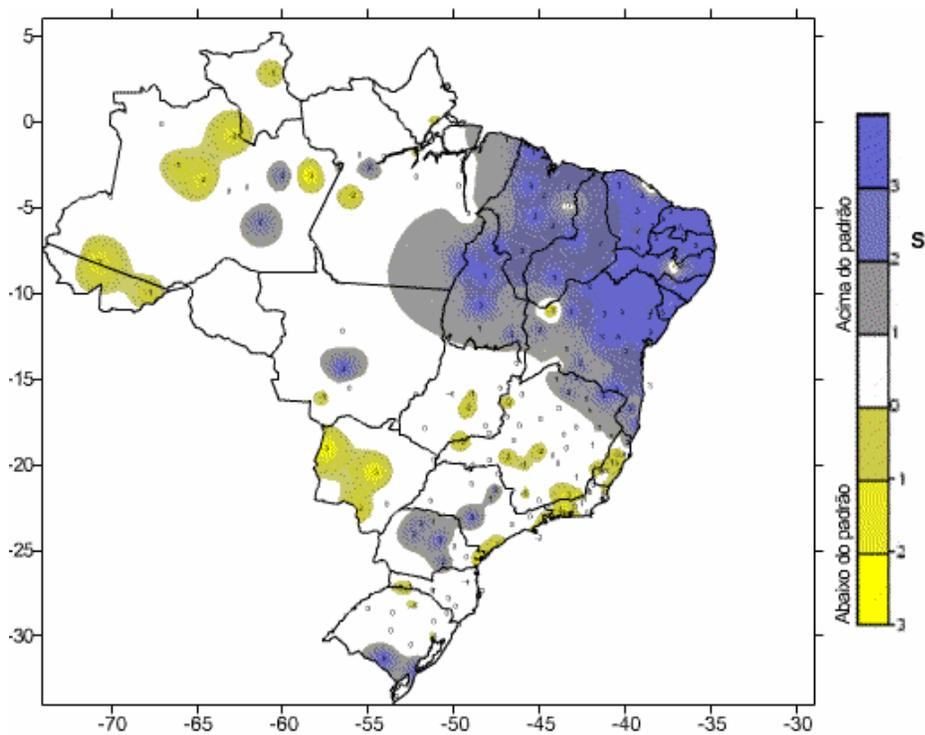
Mapa 8: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – outubro/2001
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



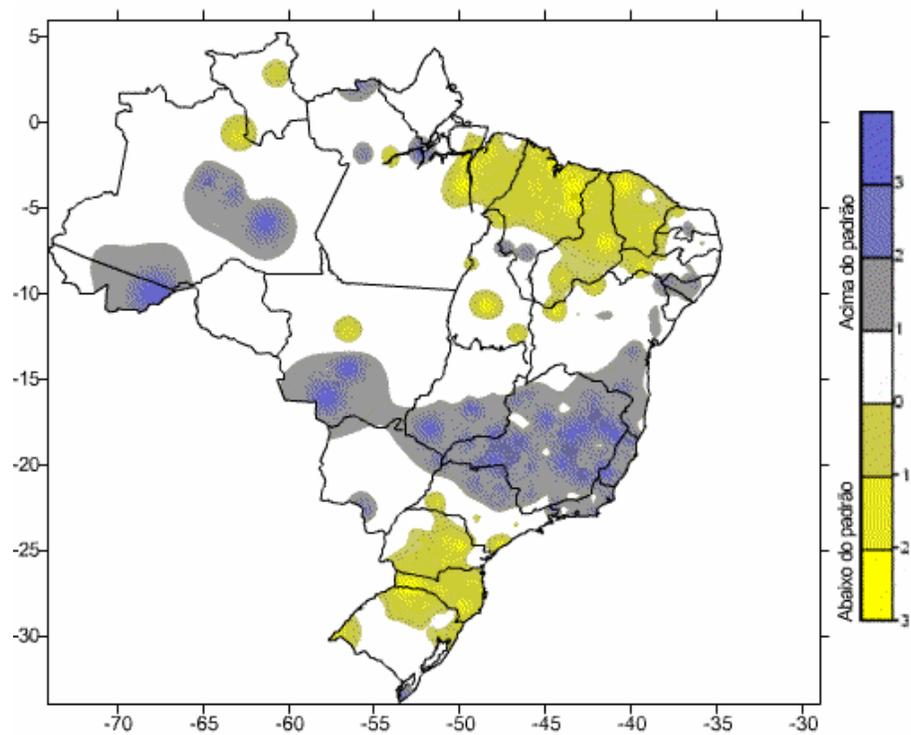
Mapa 9: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – novembro/2001
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



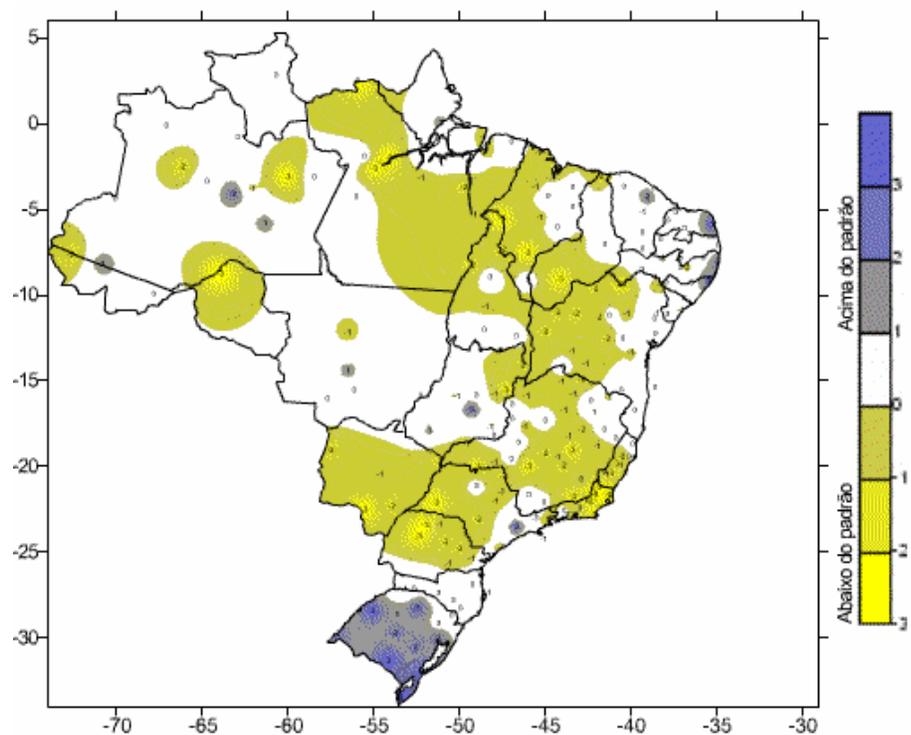
Mapa 10: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – dezembro/2001
 (Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



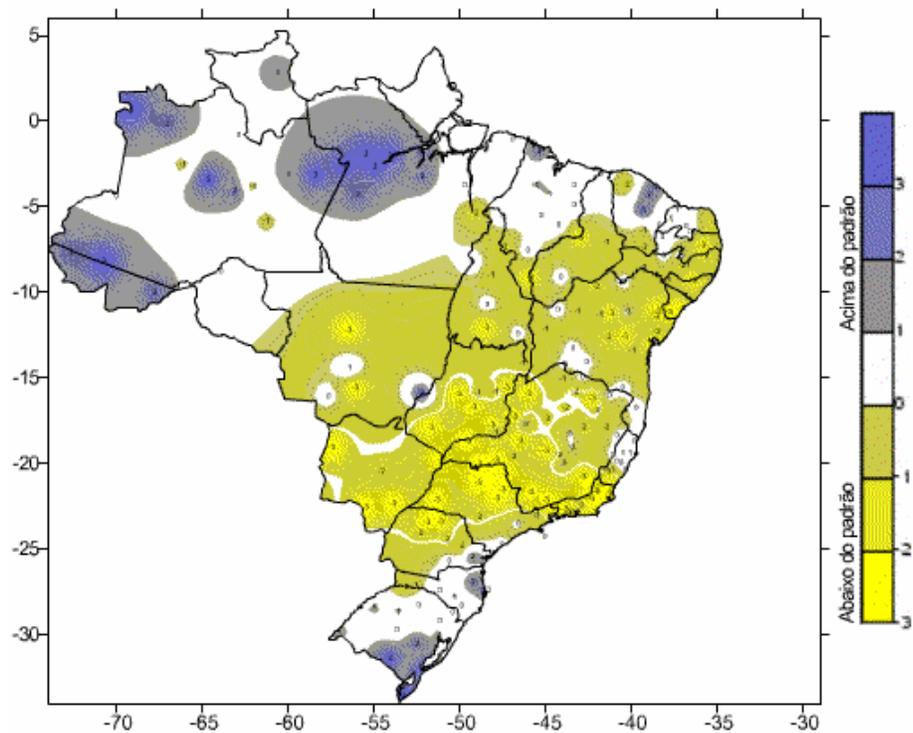
Mapa 11: Estudo mensal dos desvios de precipitação no Brasil – Método dos decis –
 Desvio de janeiro/2002 (Fonte: INMET)



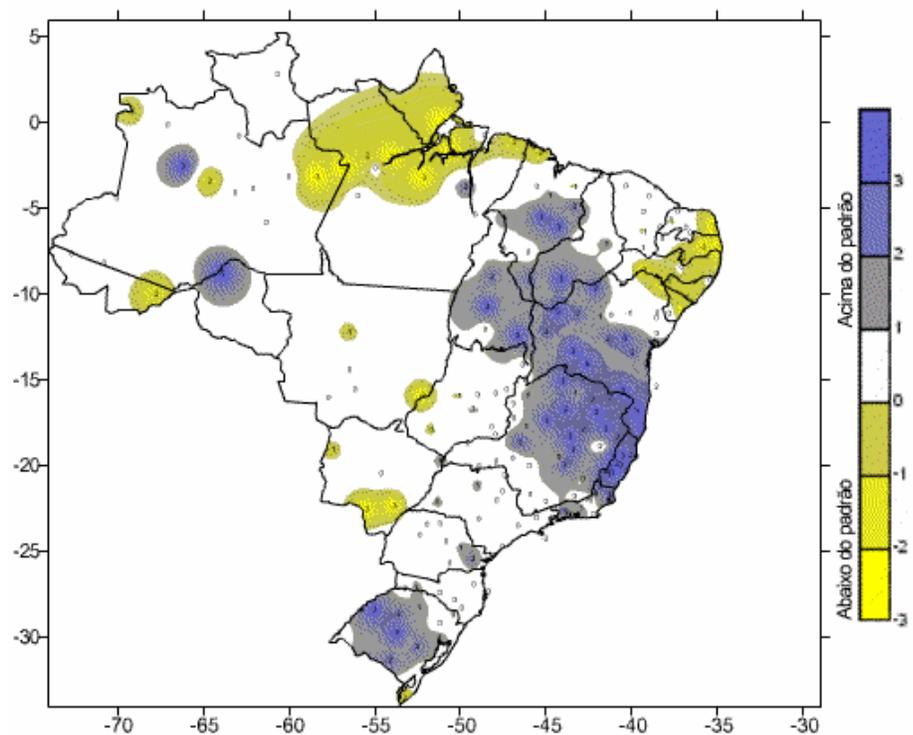
Mapa 12: Estudo mensal dos desvios de precipitação no Brasil – Método dos decis – Desvio de fevereiro/2002 (Fonte: INMET)



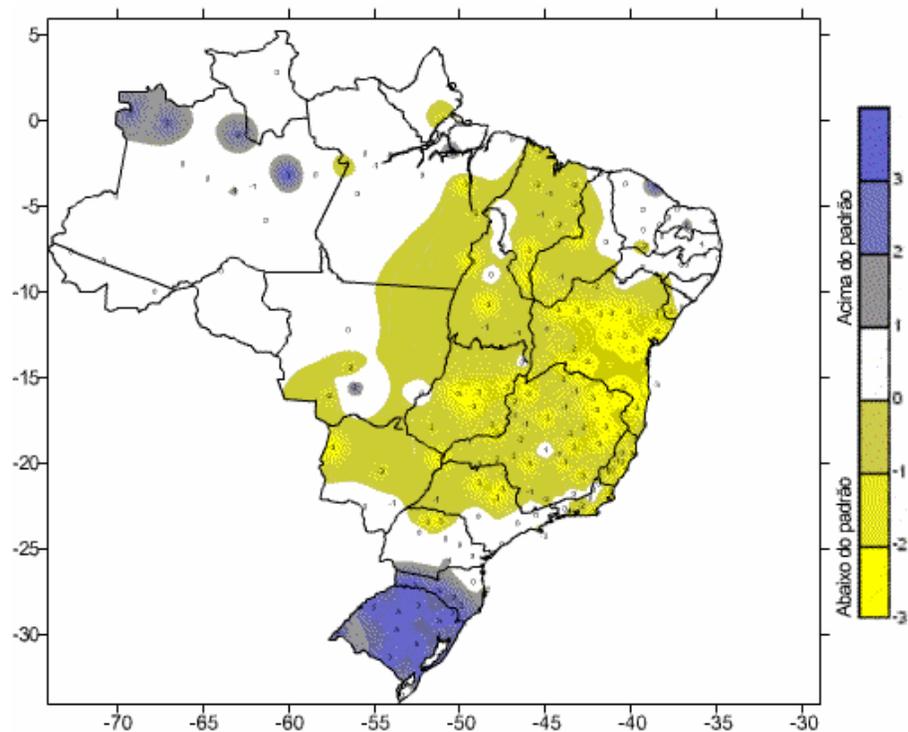
Mapa 13: Estudo mensal dos desvios de precipitação no Brasil – Método dos decis – Desvio de março/2002 (Fonte: INMET)



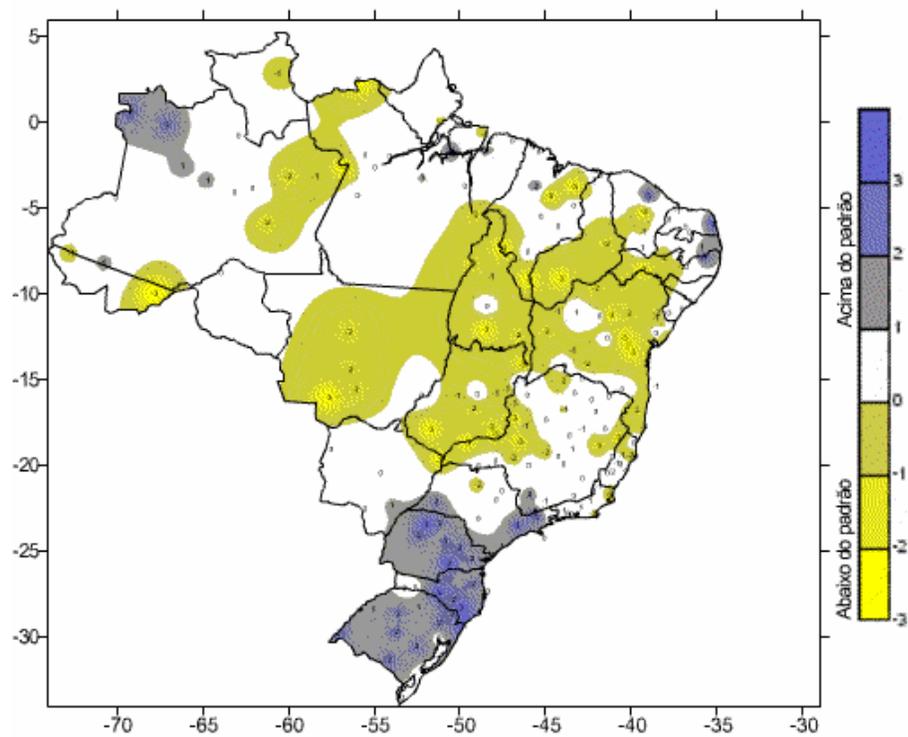
Mapa 14: Estudo mensal dos desvios de precipitação no Brasil – Método dos decis – Desvio de abril/2002 (Fonte: INMET)



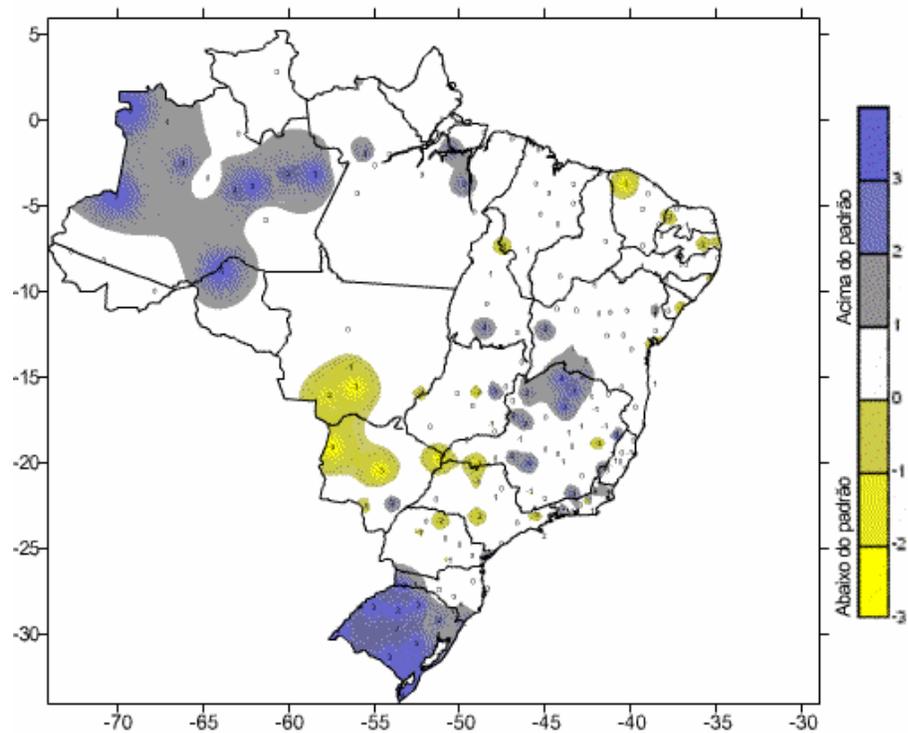
Mapa 15 Estudo mensal dos desvios de precipitação no Brasil – Método dos decis – Desvio de setembro/2002 (Fonte: INMET)



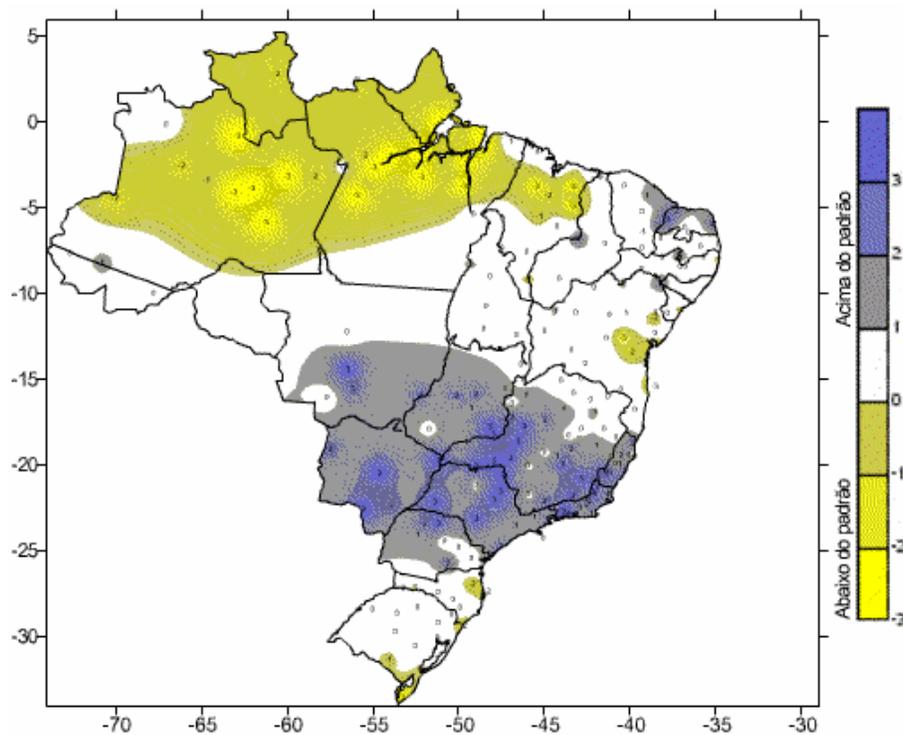
Mapa 16: Estudo mensal dos desvios de precipitação no Brasil – Método dos decis – Desvio de outubro/2002 (Fonte: INMET)



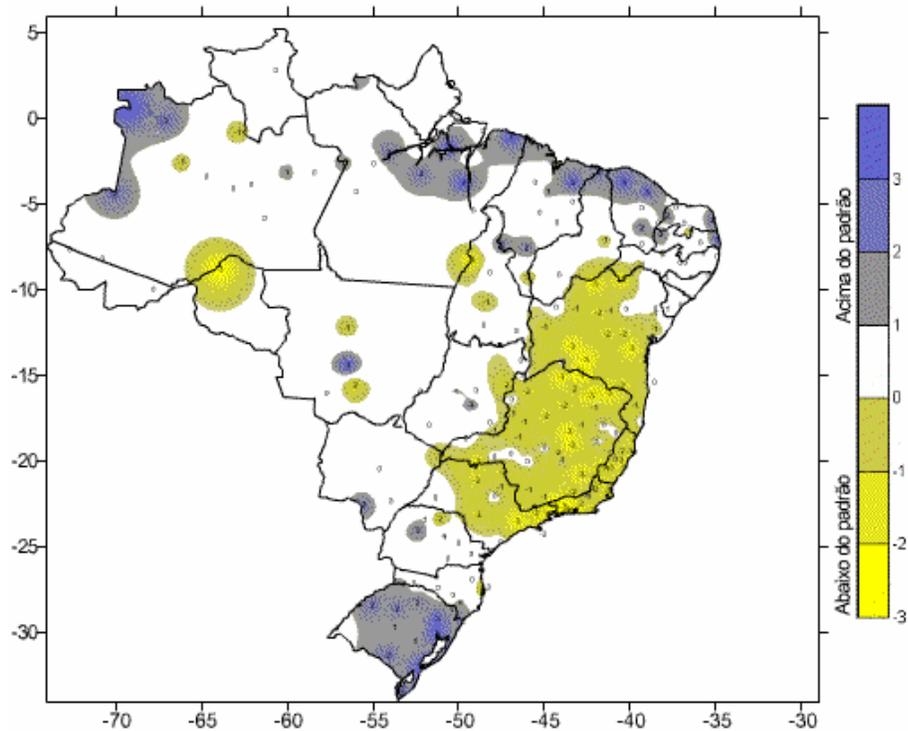
Mapa 17: Estudo mensal dos desvios de precipitação no Brasil – Método dos decis – Desvio de novembro/2002 (Fonte: INMET)



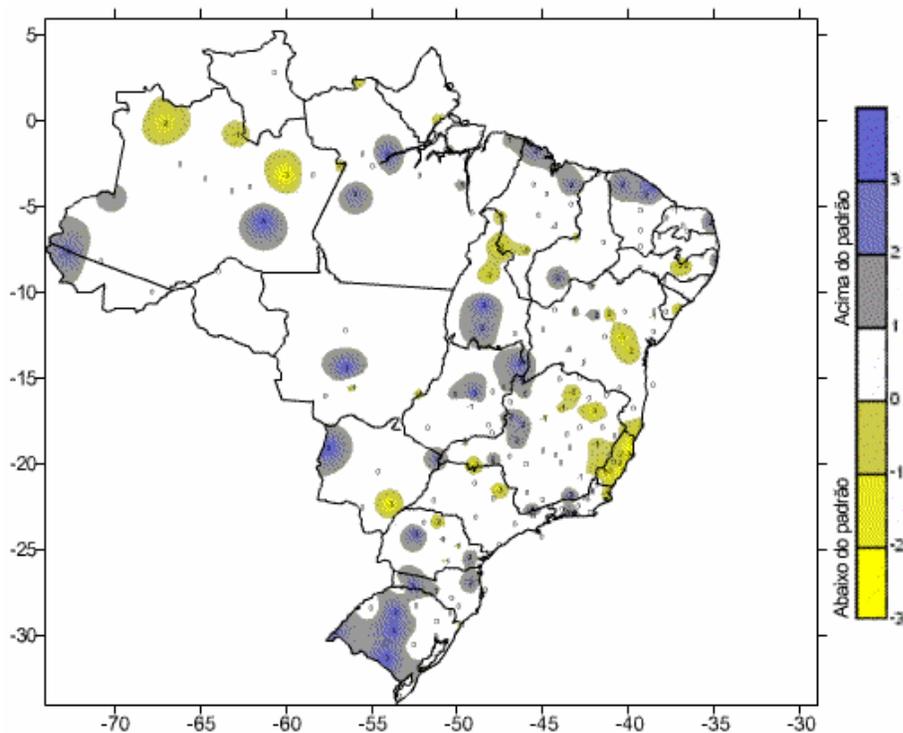
Mapa 18: Estudo mensal dos desvios de precipitação no Brasil – Método dos decis – Desvio de dezembro/2002 (Fonte: INMET)



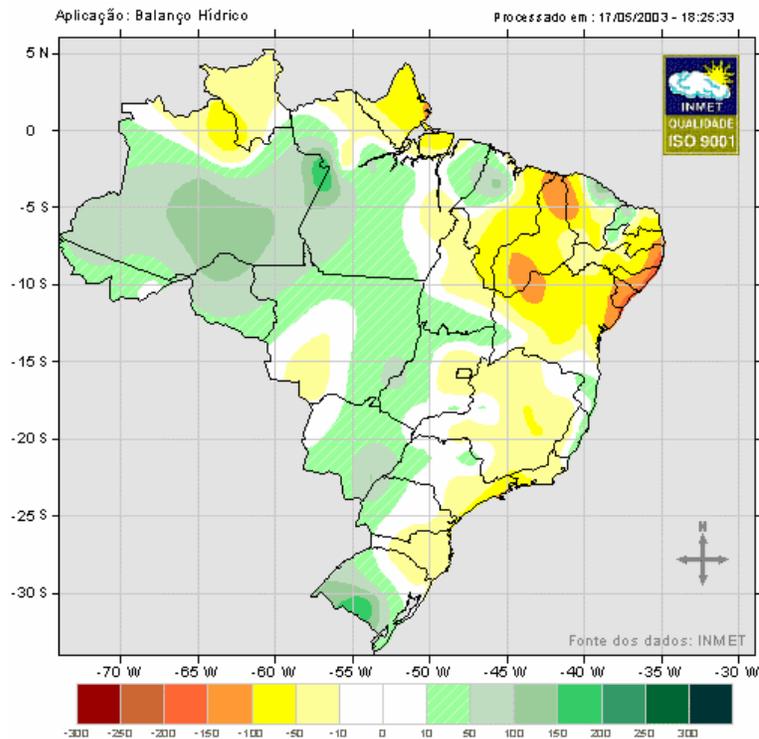
Mapa 19: Estudo mensal dos desvios de precipitação no Brasil – Método dos decis – Desvio de janeiro/2003 (Fonte: INMET)



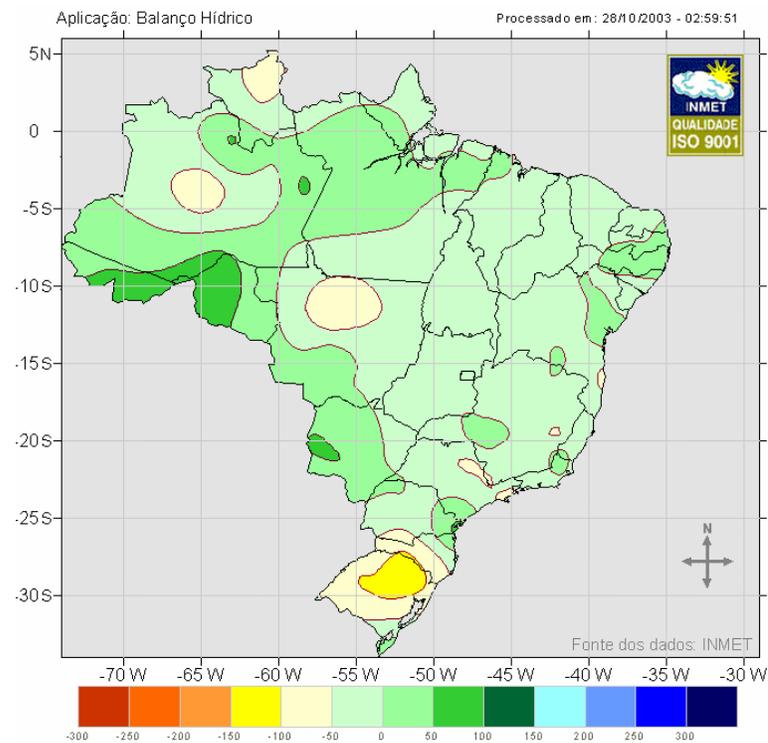
Mapa 20: Estudo mensal dos desvios de precipitação no Brasil – Método dos decis – Desvio de fevereiro/2003 (Fonte: INMET)



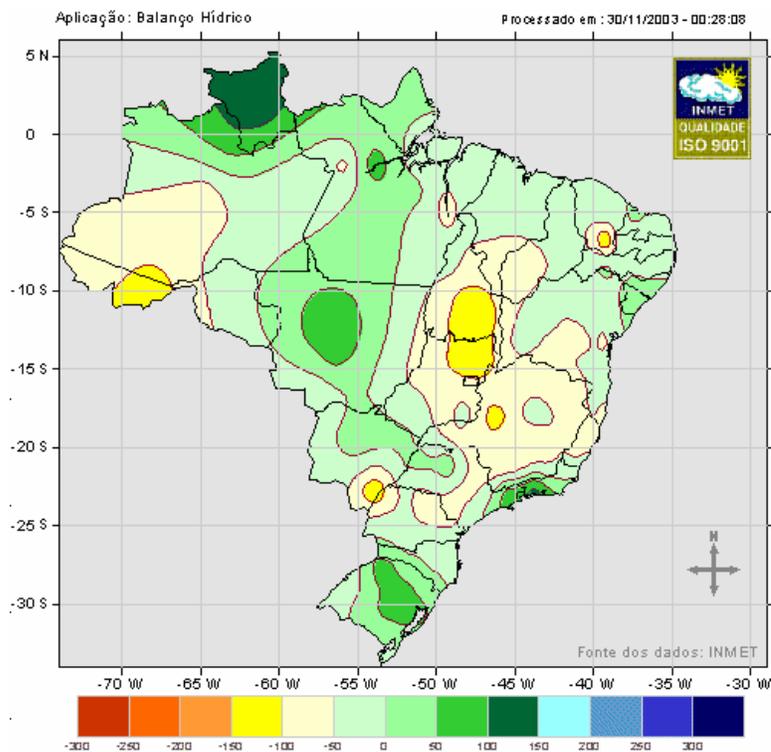
Mapa 21: Estudo mensal dos desvios de precipitação no Brasil – Método dos decis – Desvio de março/2003 (Fonte: INMET)



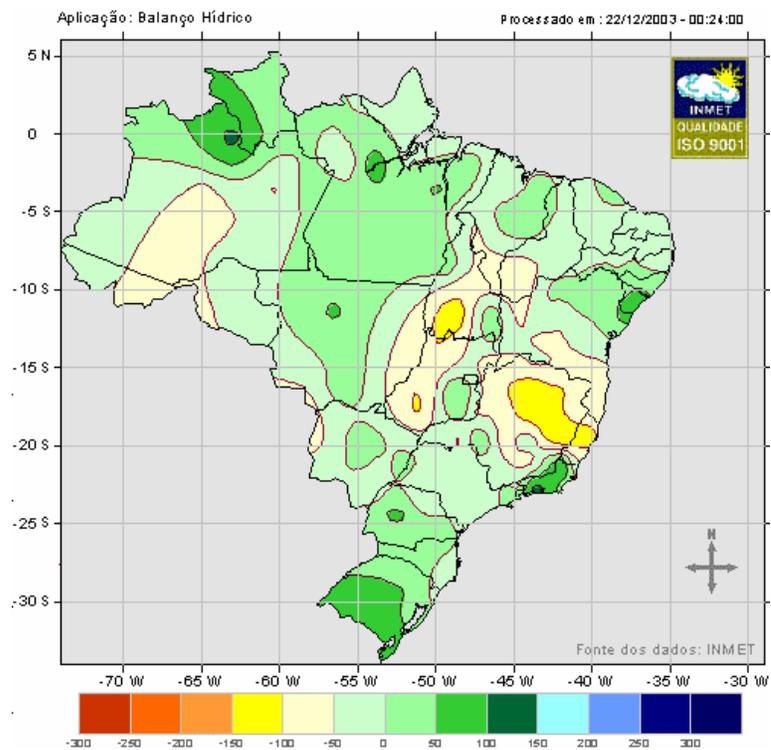
Mapa 22: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – abril/2003
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



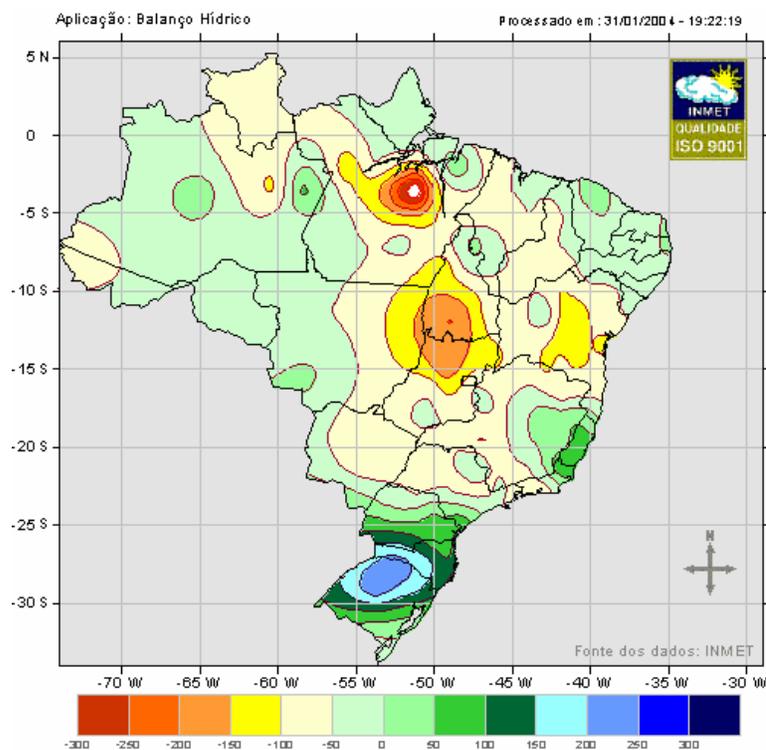
Mapa 23: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – setembro/2003
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



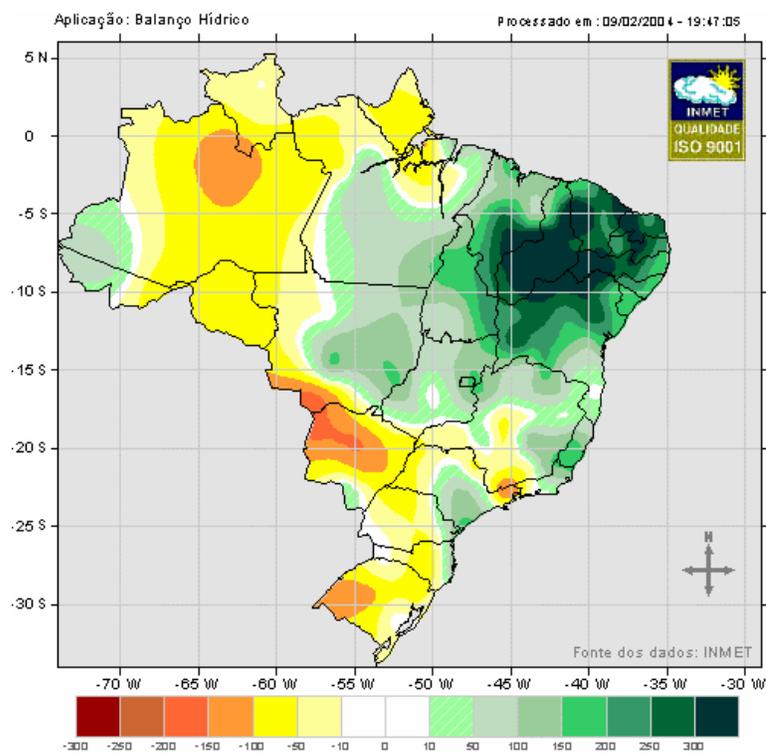
Mapa 24: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – outubro/2003
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



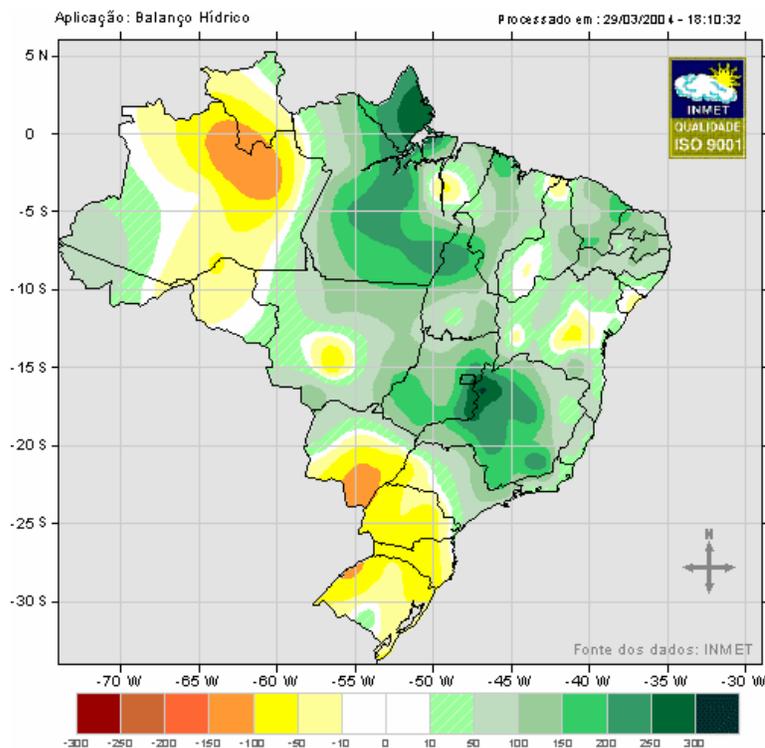
Mapa 25: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – novembro/2003
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



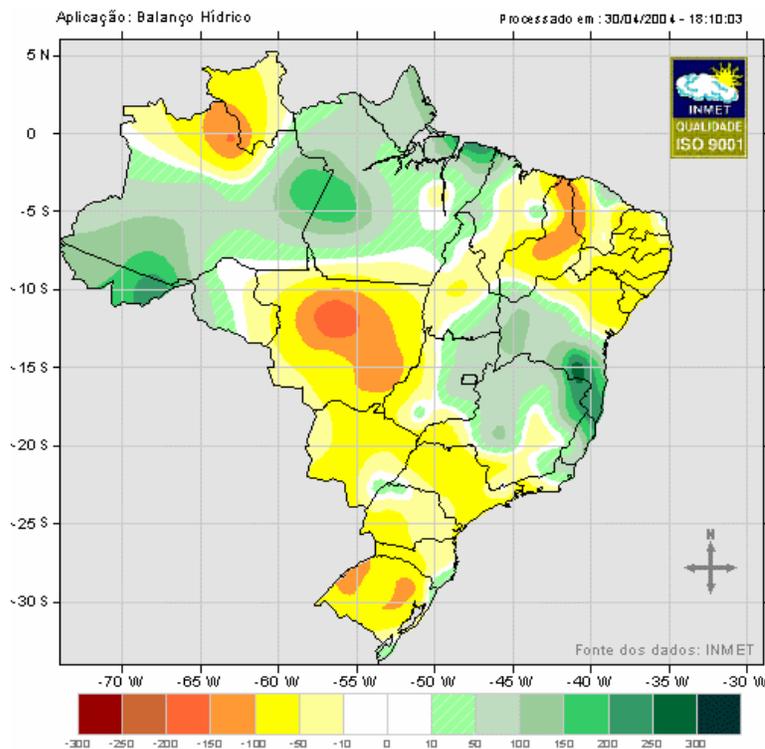
Mapa 26: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – dezembro/2003
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



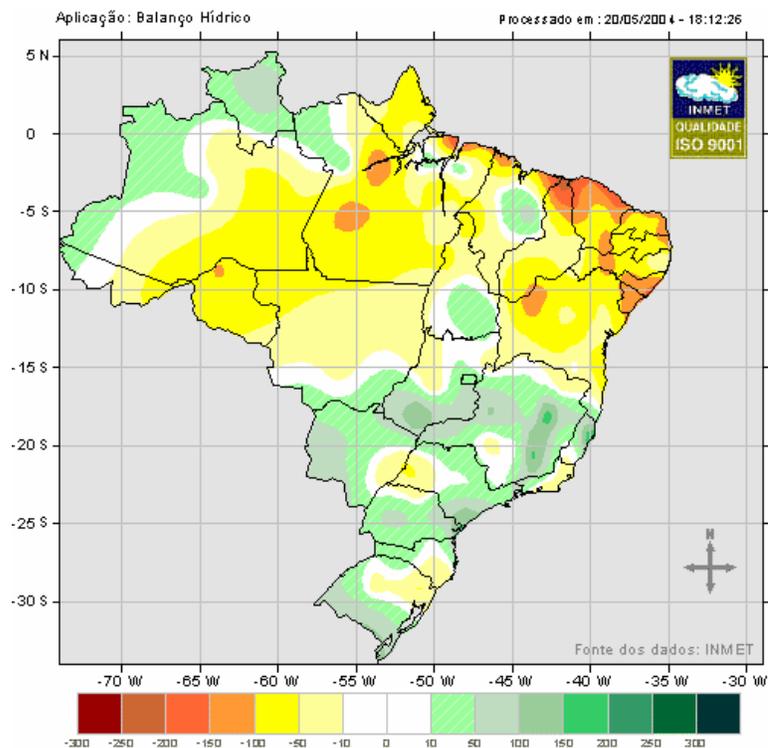
Mapa 27: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – janeiro/2004
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



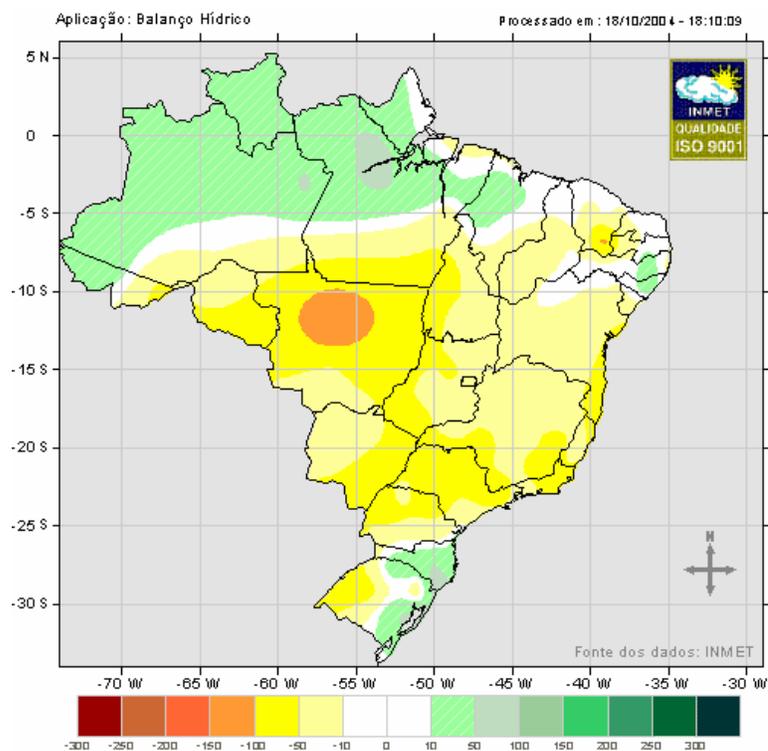
Mapa 28: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – fevereiro/2004
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



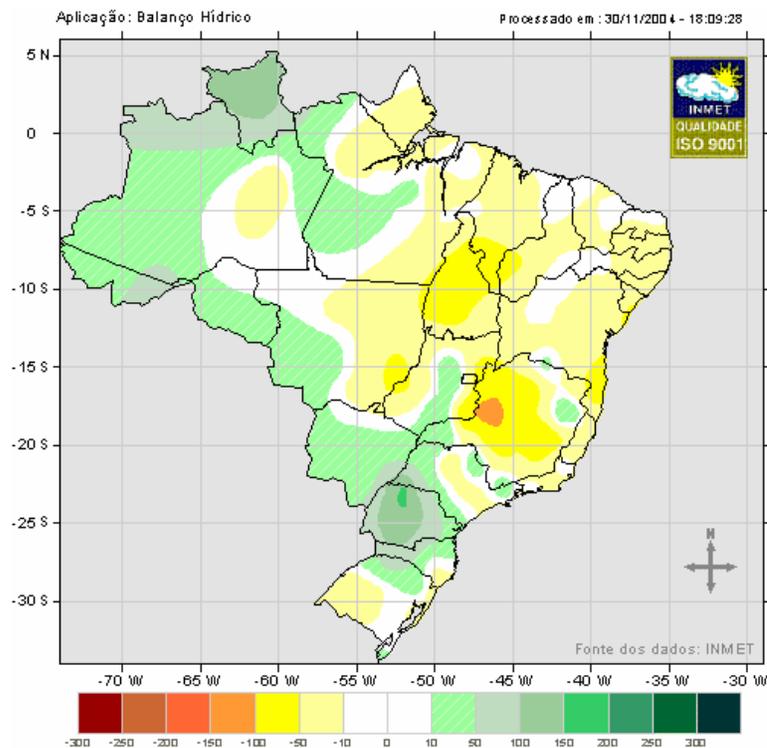
Mapa 29: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – março/2004
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



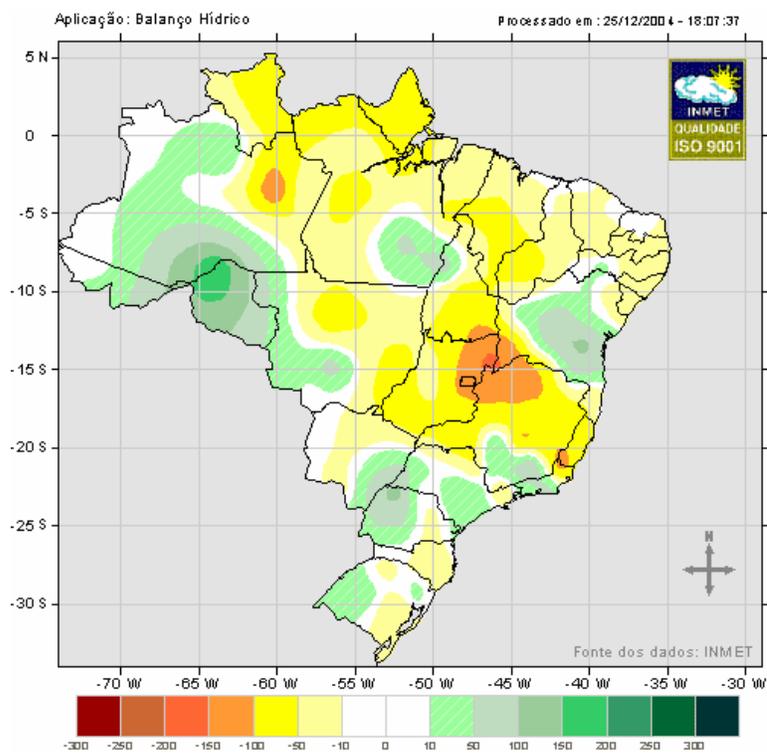
Mapa 30: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – abril/2004
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



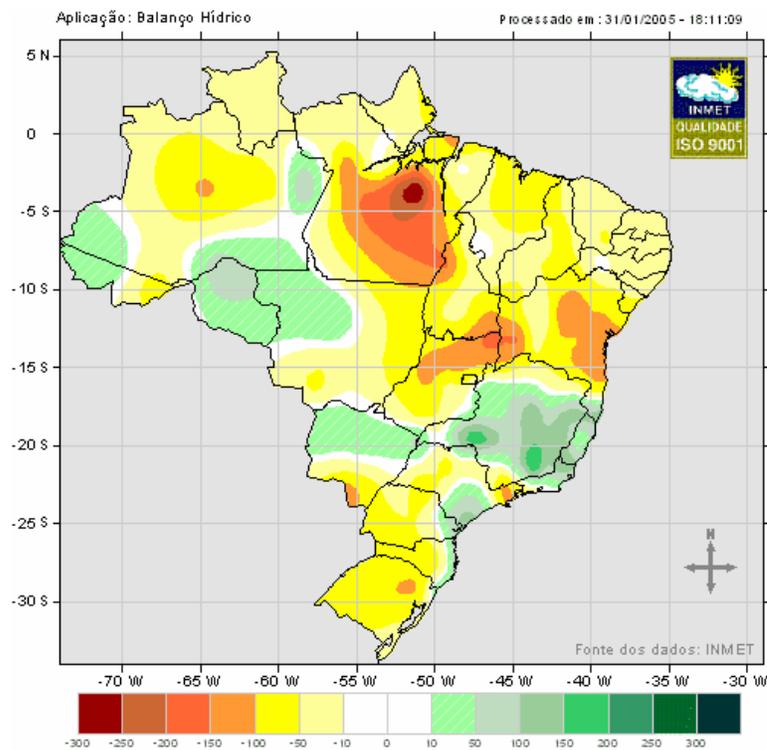
Mapa 31: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – setembro/2004
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



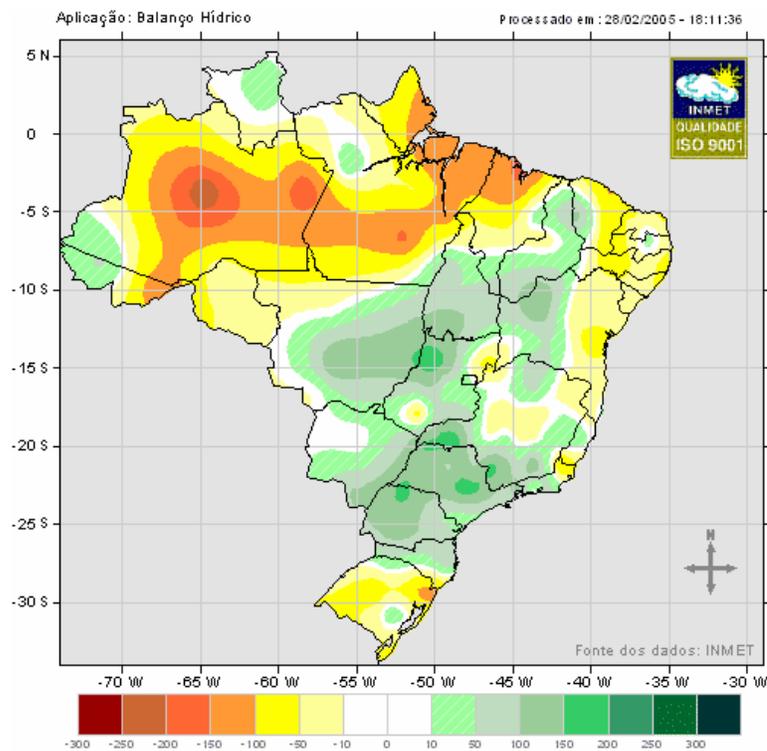
Mapa 32: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – outubro/2004
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



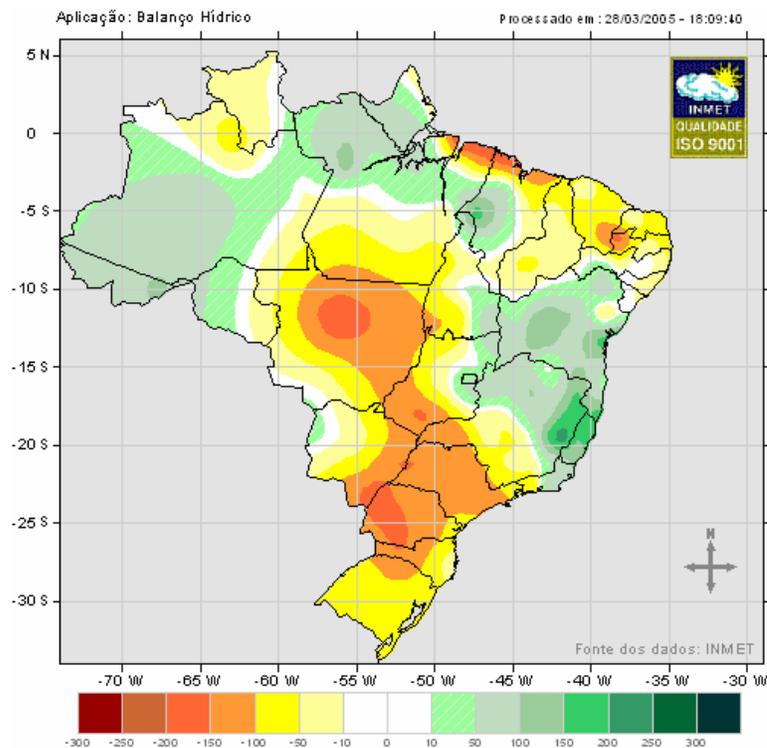
Mapa 33: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – novembro/2004
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



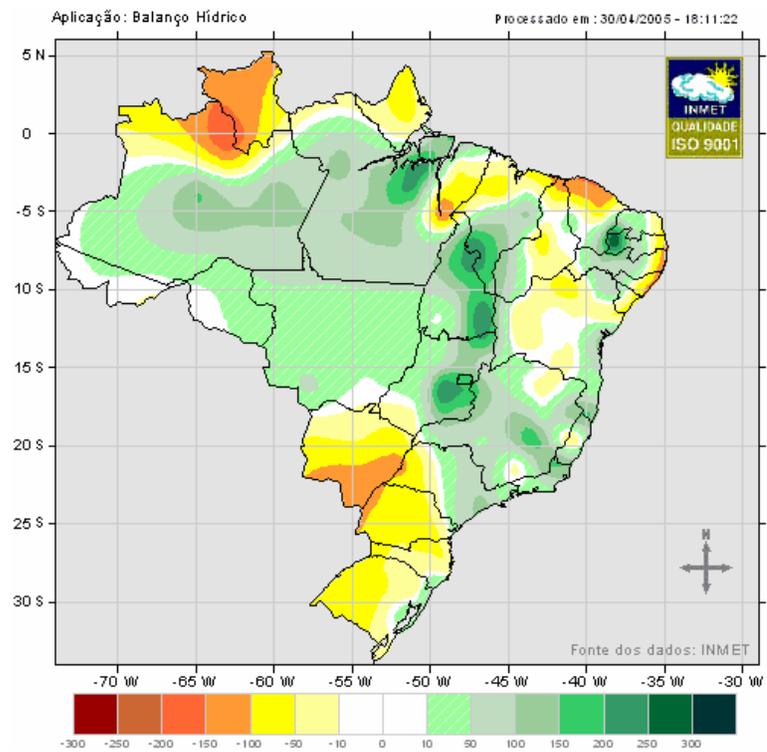
Mapa 34: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – dezembro/2004
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



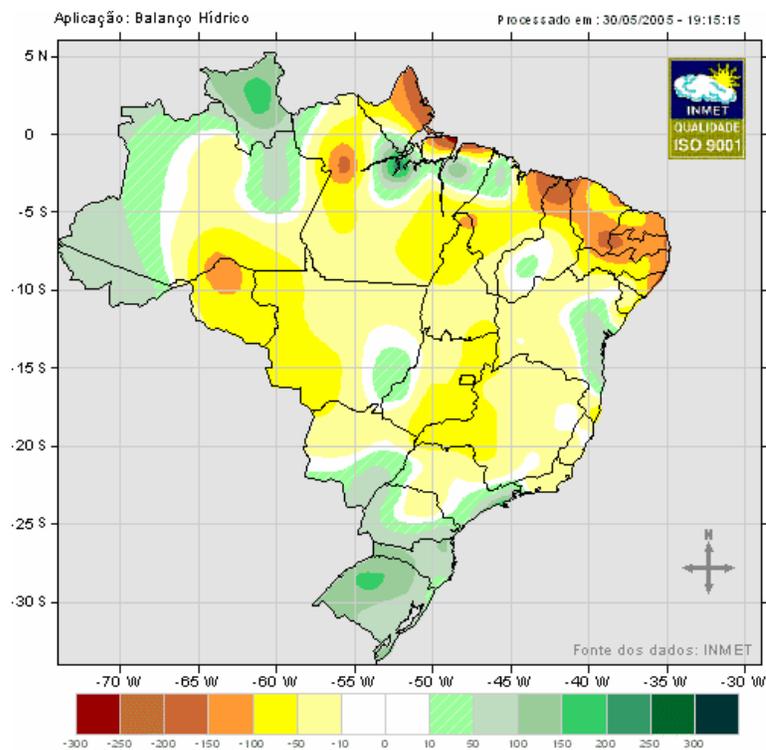
Mapa 35: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – janeiro/2005
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



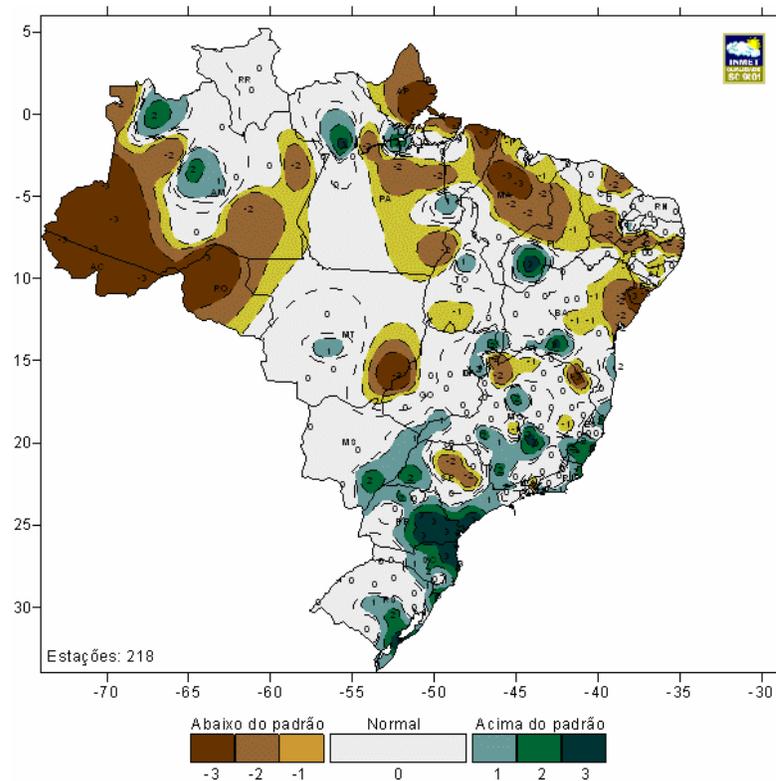
Mapa 36: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – fevereiro/2005
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



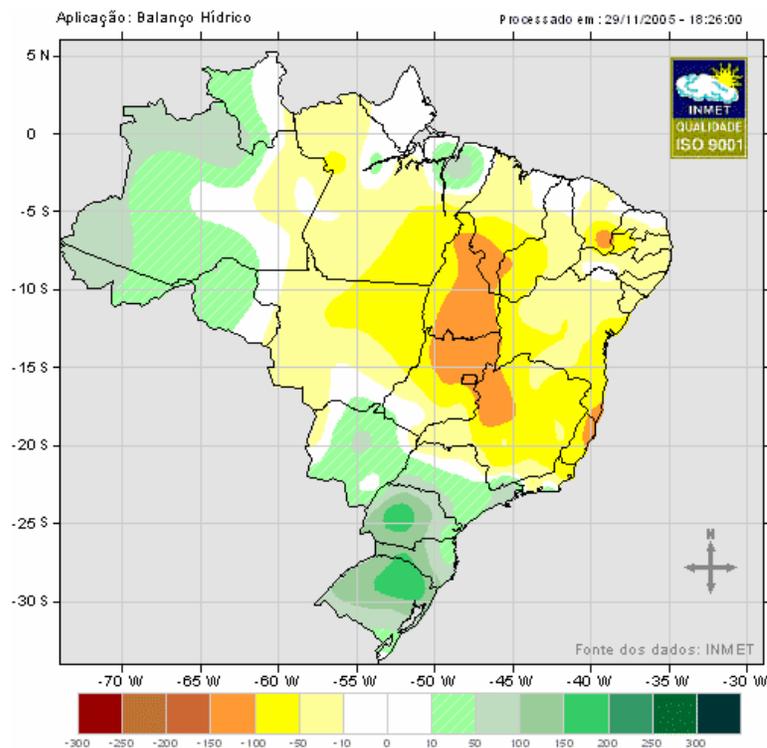
Mapa 37: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – março/2005
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



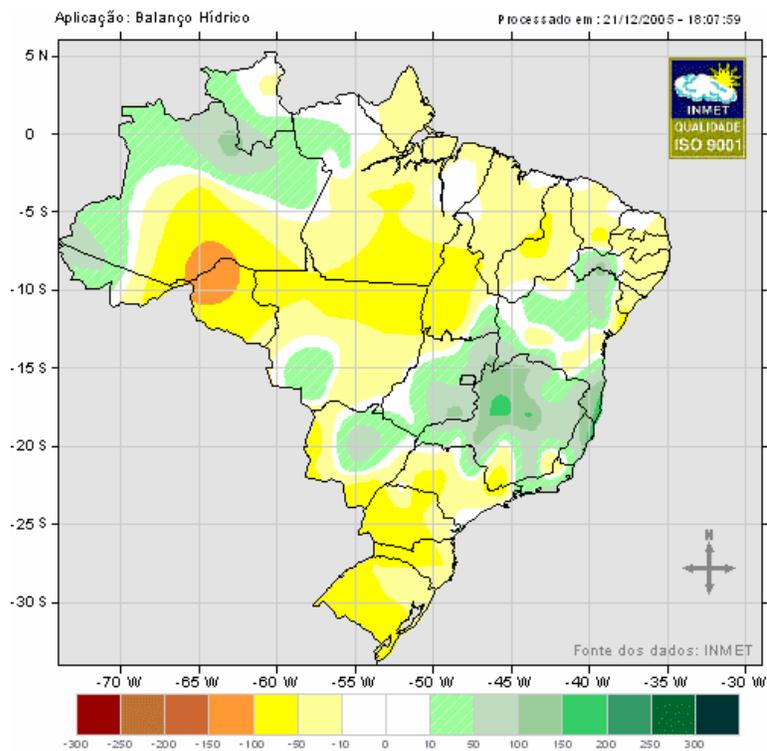
Mapa 38: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – abril/2005
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



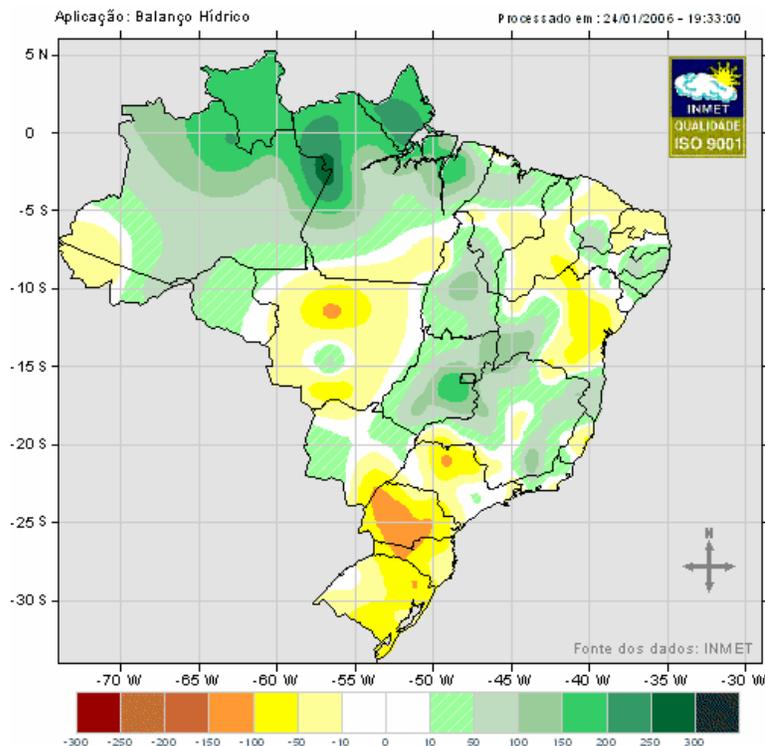
Mapa 39: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) –
Método dos Decis – setembro/2005



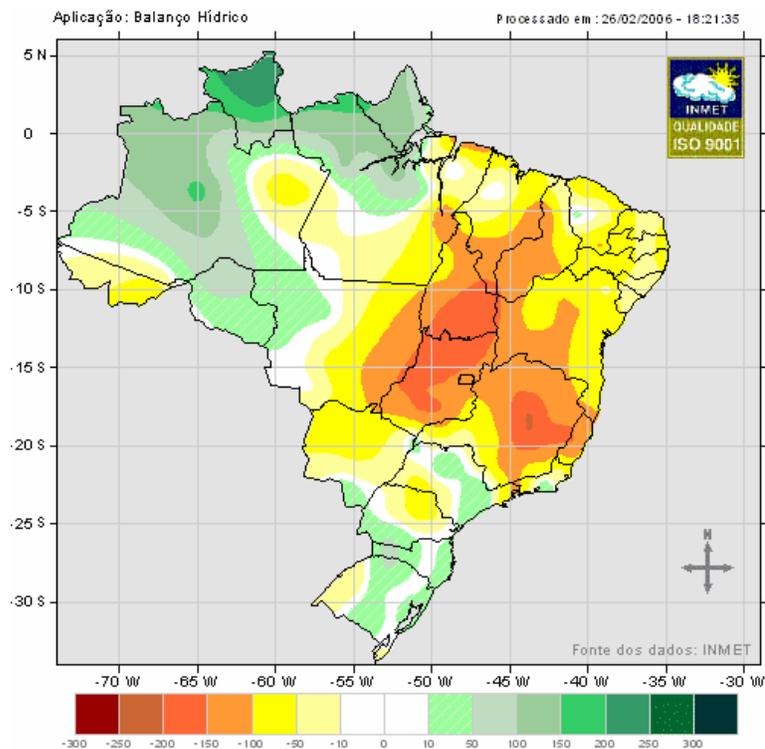
Mapa 40: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – outubro/2005
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



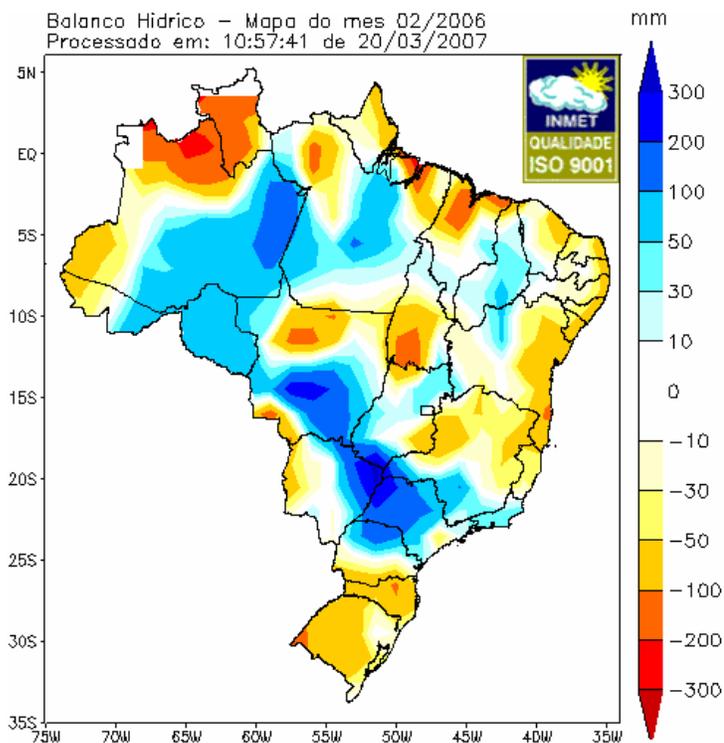
Mapa 41: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – novembro/2005
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



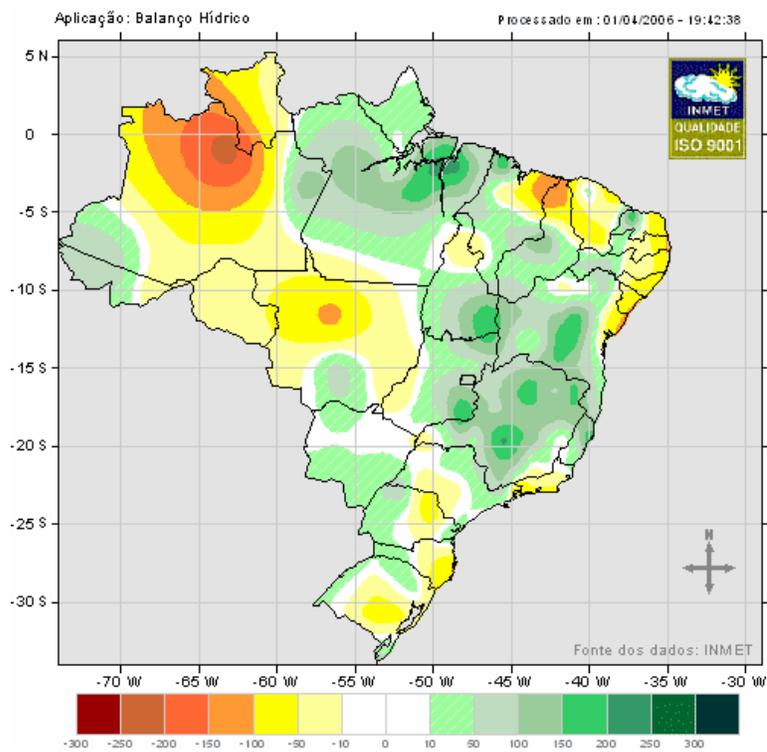
Mapa 42: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – dezembro/2005
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



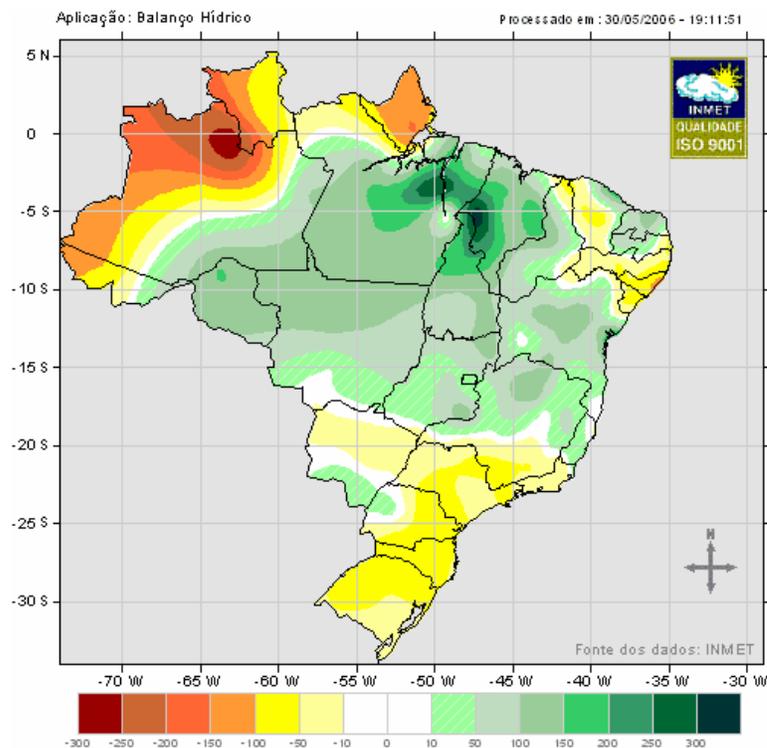
Mapa 43: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – janeiro/2006
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



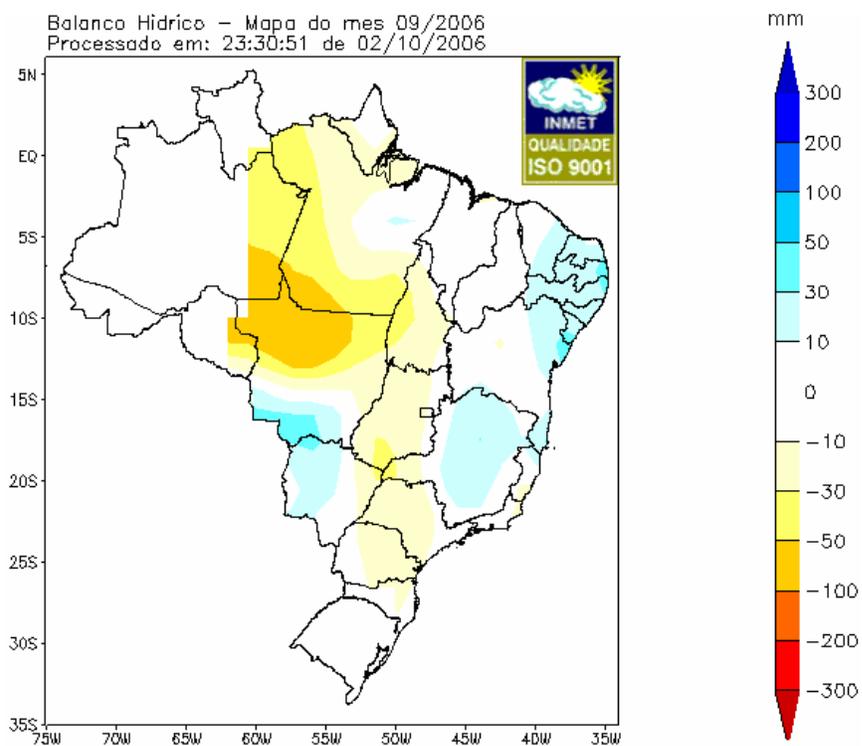
Mapa 44: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – fevereiro/2006
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



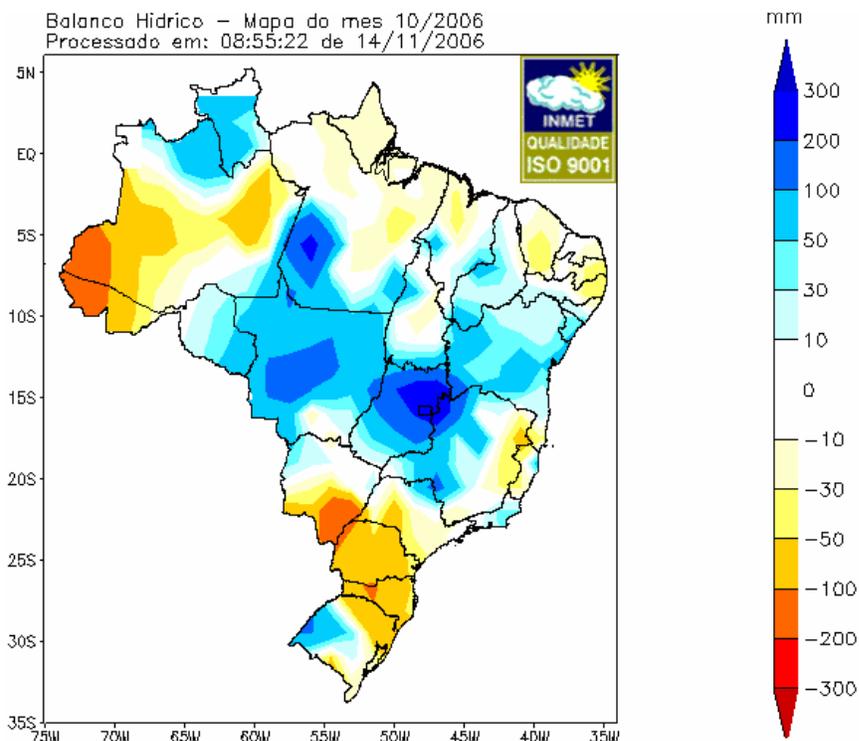
Mapa 45: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – março/2006
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



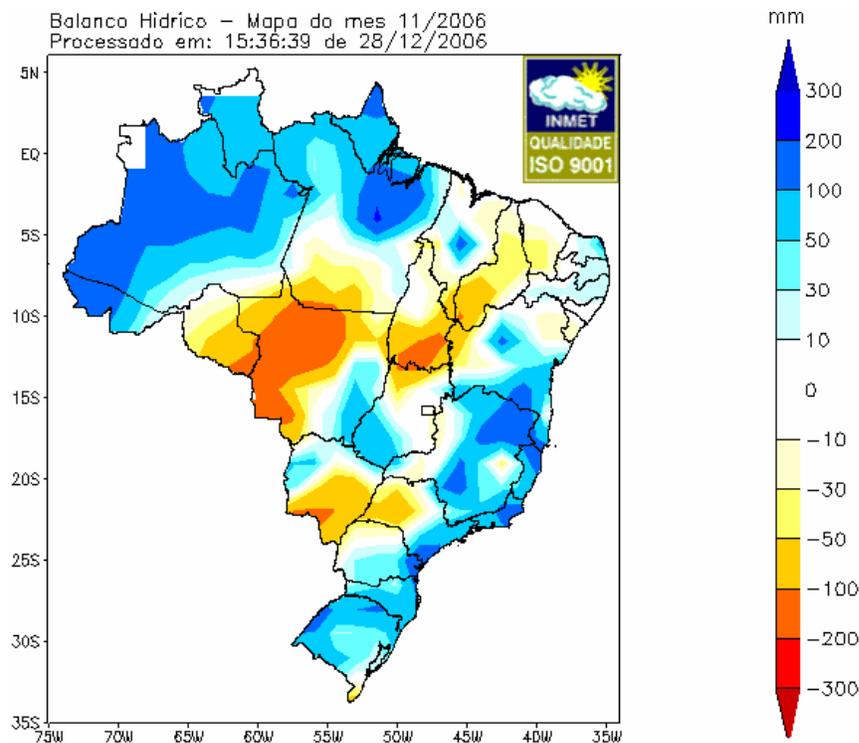
Mapa 46: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – abril/2006
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



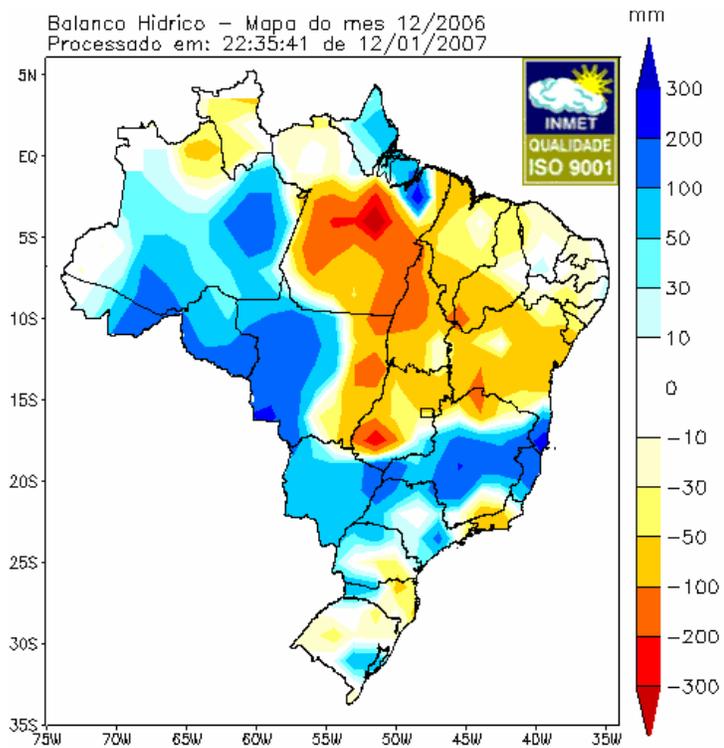
Mapa 47: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – setembro/2006
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



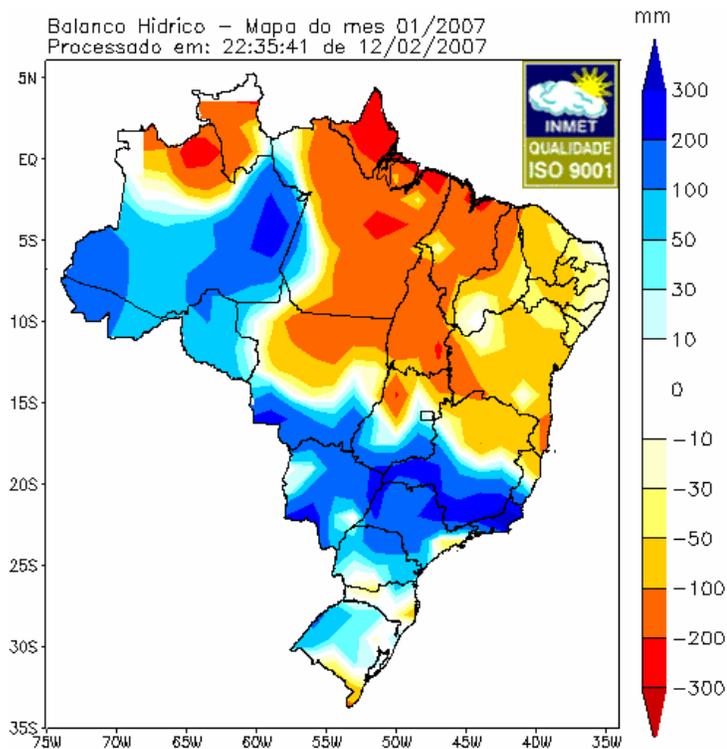
Mapa 48: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – outubro/2006
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



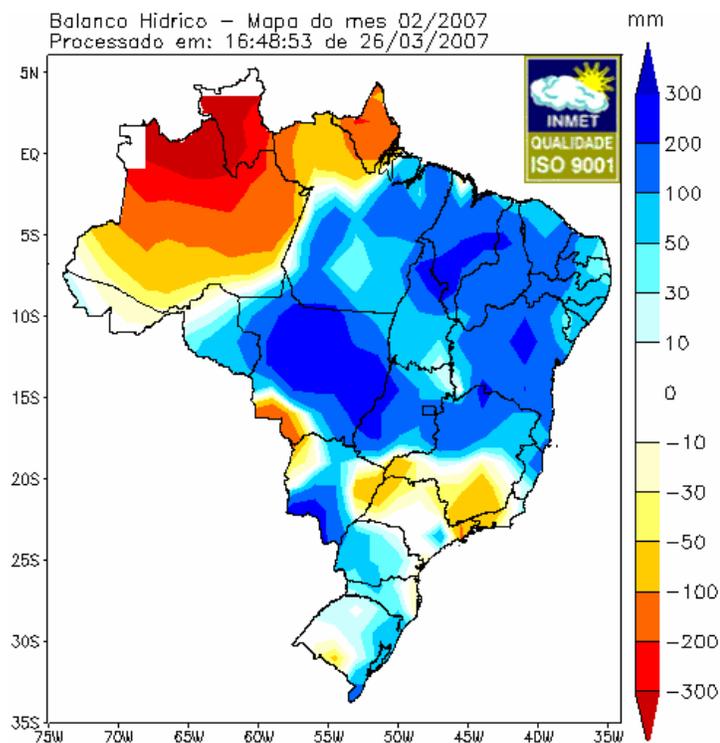
Mapa 49: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – novembro/2006
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



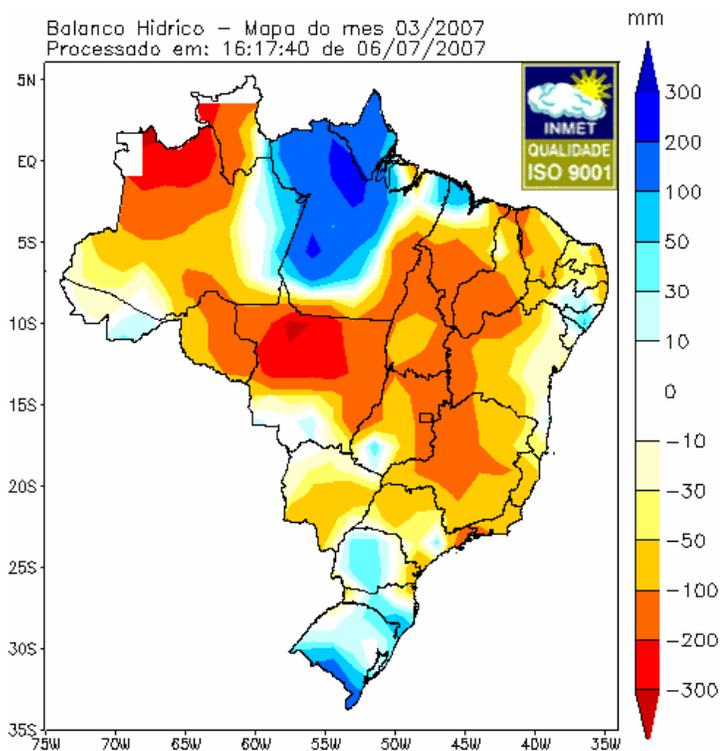
Mapa 50: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – dezembro/2006
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



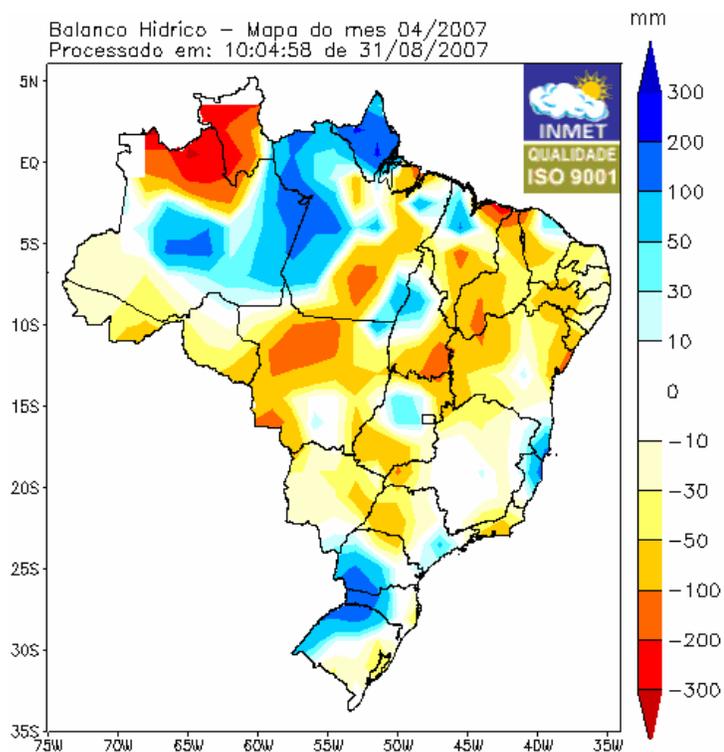
Mapa 51: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – janeiro/2007
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



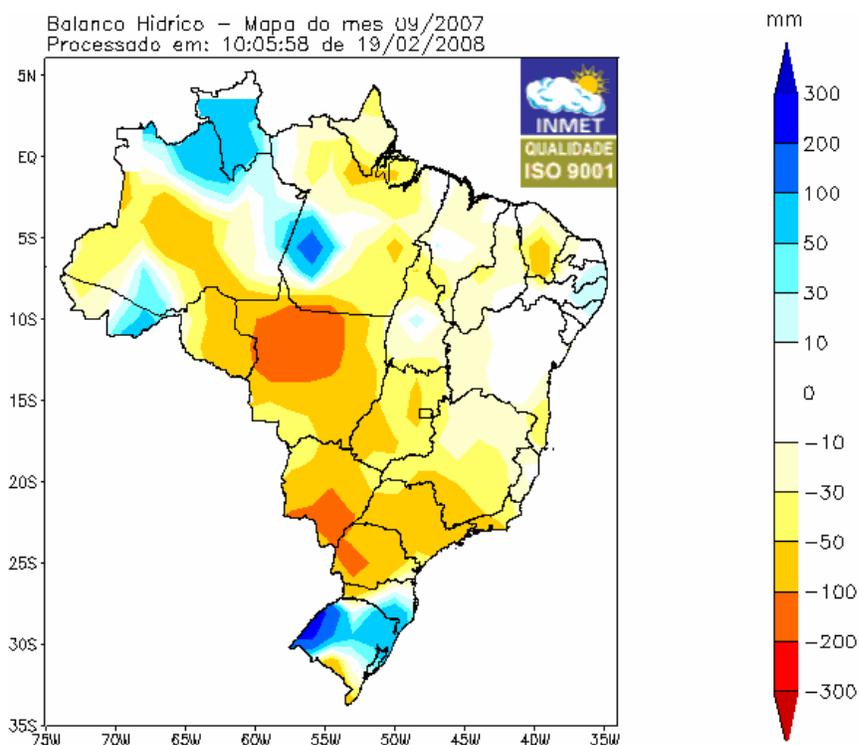
Mapa 52: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – fevereiro/2007
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



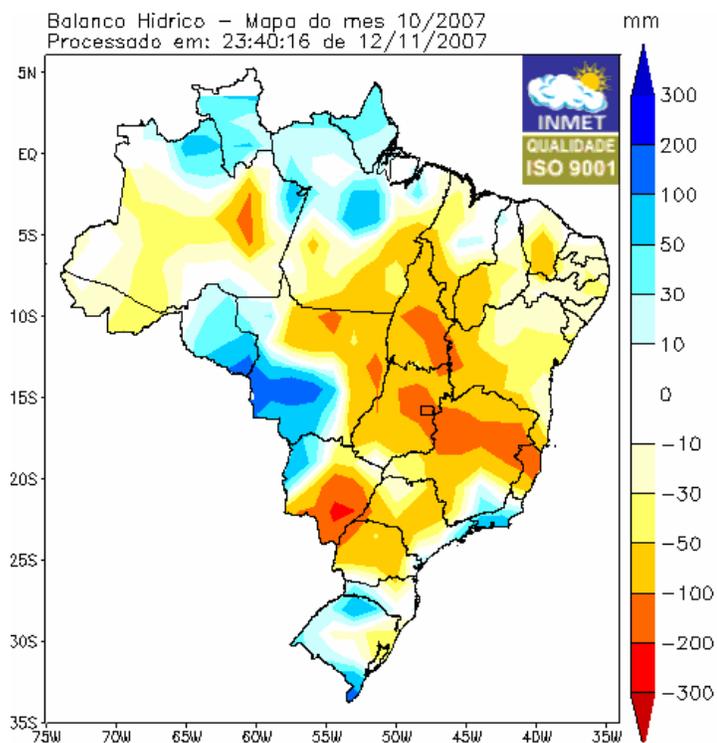
Mapa 53: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – março/2007
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



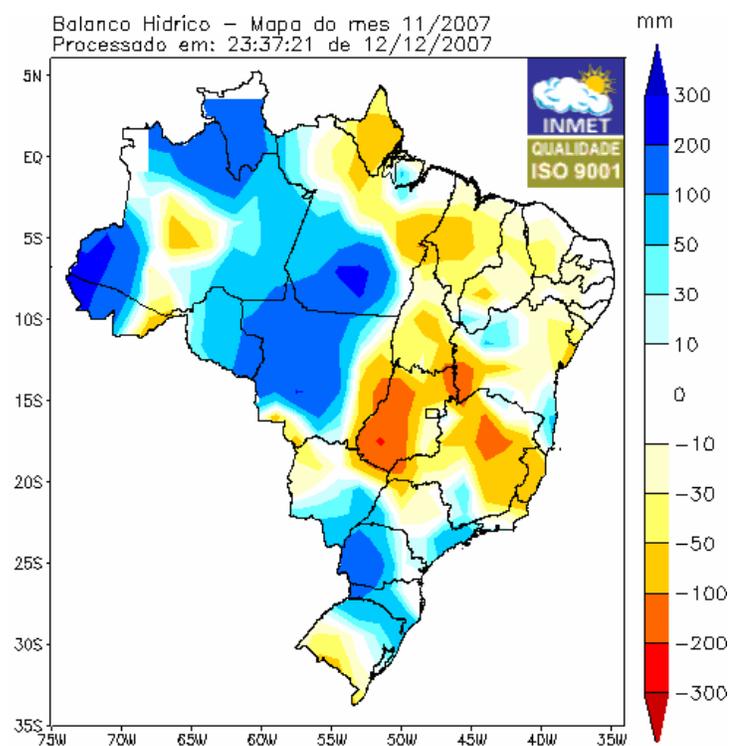
Mapa 54: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – abril/2007
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



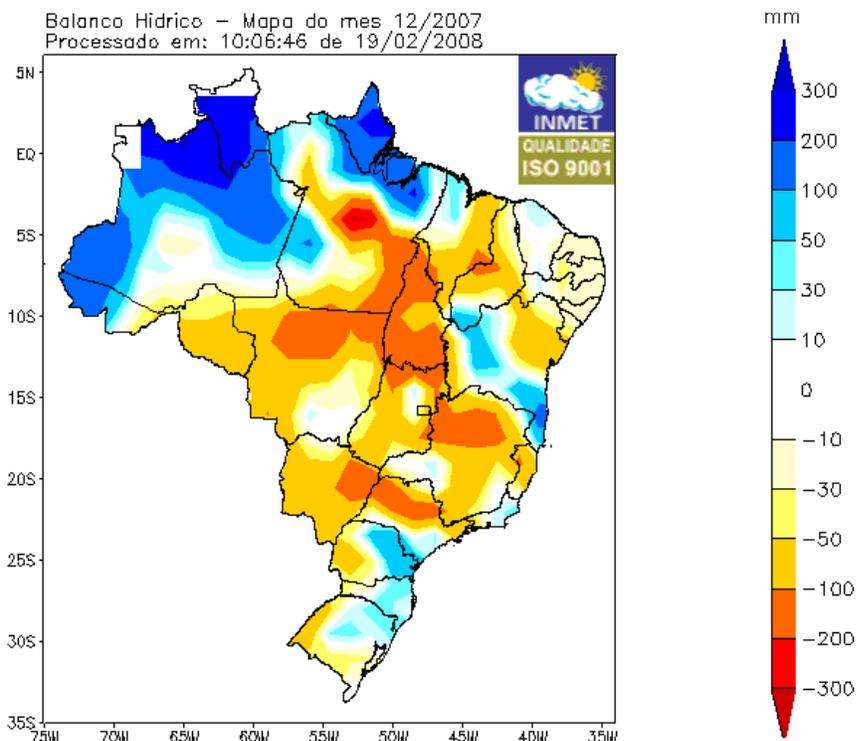
Mapa 55: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – setembro/2007
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



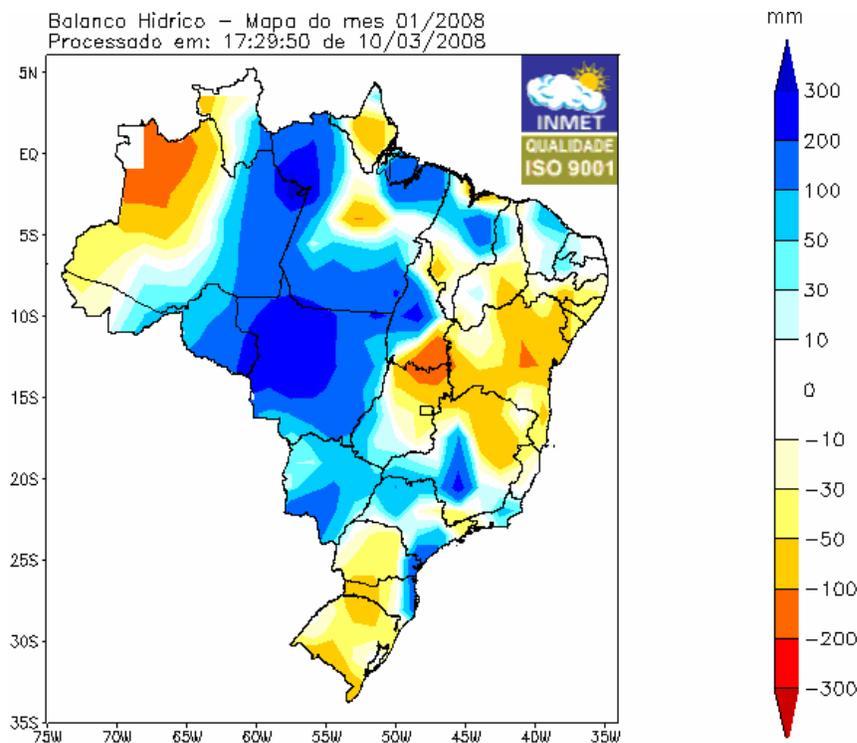
Mapa 56: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – outubro/2007
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



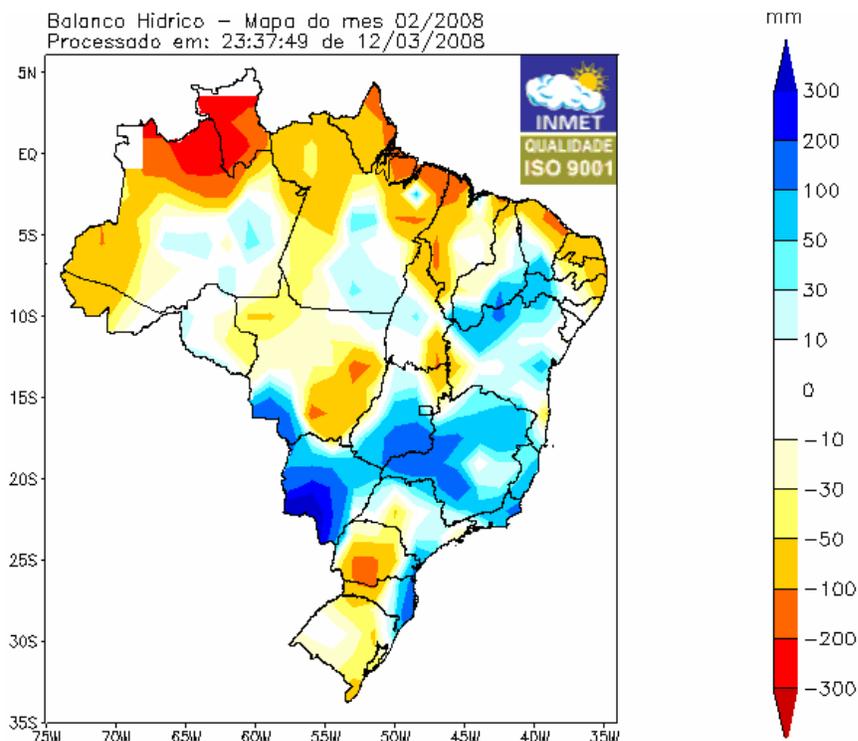
Mapa 57: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – novembro/2007
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



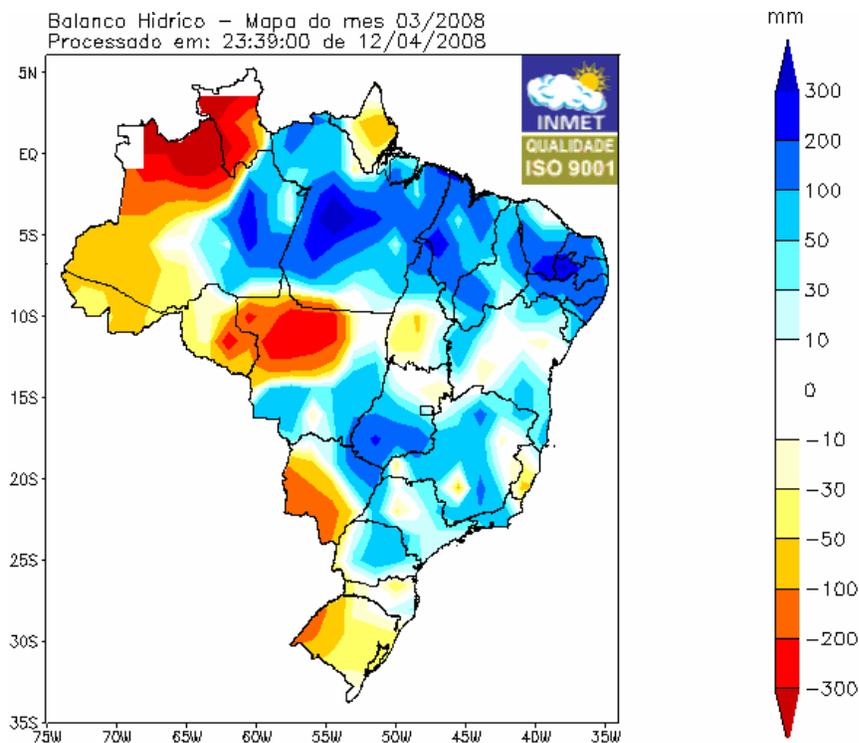
Mapa 58: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – dezembro/2007
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



Mapa 59: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – janeiro/2008
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



Mapa 60: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – fevereiro/2008
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)



Mapa 61: Desvio de precipitação pluviométrica total mensal (mm) – março/2008
(Ref. Normais Climatológicas 1961-1990)

Marengo (2006) comenta que o Pantanal brasileiro está com um comportamento atípico das cheias nos últimos anos e que, provavelmente, as principais causas sejam os baixos volumes pluviométricos registrados e a alternância de períodos chuvosos e de estiagens naquela região. Especificamente no período de outubro de 2004 a março de 2005 ocorreu o menor pico durante o período de 1974 a 2004.

Nobre, Sampaio e Salazar (2007) fazem uma relação pertinente quanto às mudanças dos usos da terra e hidrologia, mostrando que o efeito do desmatamento e das mudanças climáticas afeta diretamente o ciclo hidrológico em todas as escalas de tempo: em escalas de tempo de dias a meses levam a mudanças na incidência de inundações; em escalas de tempo sazonais a interanual, mudanças nas características da seca é a principal manifestação hidrológica; e, em escalas de anos a décadas, as teleconexões nos padrões de circulação global atmosférica, ocasionadas pela interação oceano-atmosfera, afetam a hidrologia de algumas regiões.

Estudos revelam que ocorrências de chuvas na América do Sul estão relacionadas com fenômenos meteorológicos pertencentes a várias escalas temporais e espaciais, que vão desde a escala global (El Niño – La Niña), a Oscilação 30-60 dias (Oscilação de Madden & Julian) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), bem como as condições atmosféricas locais (chuvas localizadas) que interferem principalmente na precipitação das Regiões Centro-Oeste, Sudeste, setor sul do Nordeste e norte da Região Sul (GRIMM; PSCHIEDT, 2001; CARVALHO et al, 2002a; CARVALHO et al., 2002b; MADDEN; JULIAN, 1994).

2.3.4. Variabilidade climática da baixa umidade do ar na Região Centro-Oeste

Segundo Diniz e Rebello (2002), valores extremos da baixa umidade relativa do ar é o principal parâmetro meteorológico na condição climática que tem causado muitos transtornos e desconforto à população durante o período de junho a setembro na Região Centro-Oeste. A umidade relativa do ar na atmosfera é submetida a uma temperatura do ar. Então essa umidade é a razão entre a pressão parcial de vapor e a pressão de saturação, submetida à mesma temperatura. Por isso, é expressa em porcentagem. Quanto maior for a temperatura, menor será a umidade do ar. A umidade do ar pode ser definida também como sendo a razão da quantidade de mistura de vapor d'água para a quantidade de mistura necessária para se saturar esse vapor d'água nas mesmas condições de pressão e de temperatura.

Climatologicamente, durante o período de estiagem (inverno), de junho a meados de setembro, a Região Centro-Oeste recebe influência das massas de ar frio, que por sua vez, ficam sob o domínio de um movimento subsidente dos ventos na atmosfera, atuante na região. Esses sistemas são caracterizados pela descida do ar dos níveis mais altos da atmosfera em direção a superfície e impedem a formação de nuvens, deixando a atmosfera mais seca. Durante os meses de agosto a início de setembro, se prolonga o período de estiagem, com maior número de dias sem chuva e maior incidência da radiação solar. Essa característica nos padrões atmosféricos provoca um aumento considerável nas temperaturas do ar na Região Centro-Oeste do Brasil, com maior predomínio da massa de ar quente e seca e, na baixa camada da atmosfera, maior concentração da névoa seca (poeira em suspensão, fumaças dos automóveis e das queimadas) acarretando baixa umidade relativa do ar.

A mudança climática, em parte, mostra uma mudança na trajetória do comportamento climático em uma microrregião ou região do mundo. Essa mudança não deve ser temporal ou passageira, e sim, um processo que se verifique por meio dos dados climáticos de temperatura, umidade do ar, evapotranspiração e dos padrões de precipitação.

Diniz e Rebello (2006) utilizaram os menores valores extremos mensais do parâmetro da umidade relativa do ar para um período de 44 anos, de 1961 a 2004, da série do Banco de Dados do INMET. Geralmente, os valores mínimos da umidade do ar ocorrem por volta das 15h do horário de Brasília. A consideração desses valores extremos mensais vem no intuito de verificar as ocorrências e frequências de extremos da umidade do ar, bem como sua variabilidade. Por isso, não foram considerados os valores mínimos diários da umidade relativa do ar. São elaborados os gráficos da média móvel de 5 anos dos valores extremos mínimos anuais da umidade do ar. Também são elaborados os gráficos com as médias dos valores mínimos extremos mensais da umidade do ar, no período de 1961 a 1990, com o período de 1991 a 2004 e comparadas à variação da baixa umidade do ar pelas curvas de cada gráfico.

As localidades estudadas foram as cidades de Brasília-DF, Campo Grande-MS e Goiânia-GO. A climatologia no período mostrou que os meses mais secos do ano são agosto e setembro, nos quais os valores médios da umidade relativa do ar mínima extrema mensal são respectivamente de: 20% e 20% em Brasília-DF; de 22% e 24% em Campo Grande-MS; e de 20% e 20% em Goiânia-GO. Os menores índices da umidade relativa do ar observados nessas localidades durante o período em estudo foram registrados nas seguintes datas:

- Brasília, 10% nos dias 7/8/2002 e 4/9/2004;

- Campo Grande-MS, 11% nos dias 2 e 6/9/2004;
- Goiânia-GO, 11% nos dias 4 e 6/9/2004.

Para Brasília-DF, foram utilizados dados referentes a três períodos: de 1971 a 1979, em que a umidade do ar apresentou índices mínimos anuais abaixo do valor médio mínimo anual; de 1980 a 1992, em que a umidade do ar apresentou índices mínimos anuais acima do valor médio mínimo anual; e o terceiro período, **considerado o maior e o mais crítico**, que vai de 1992 a 2004, com índices de umidade do ar, em torno dos 12%, bem abaixo do valor médio extremo anual.

Para Campo Grande-MS, foram considerados dois períodos distintos: de 1975 a 1982, no qual a umidade do ar se comportou com valores mínimos anuais bem acima do valor médio mínimo anual, e de 1986 a 1993, em que houve uma quebra nas informações, e por isso, não se pode auferir uma melhor definição do comportamento da umidade do ar. Porém, o intervalo de 1994 a 2004, mostra um maior período de baixos índices anuais da umidade do ar, em torno dos 16% em relação ao valor médio extremo anual, em que tende a subir entre 2000 e 2002 e cai novamente.

Para Goiânia-GO, foram considerados dois períodos: de 1978 a 1987, no qual a umidade do ar apresenta valores mínimos anuais acima da linha do valor médio mínimo anual; e o período de 1987 a 2004, **considerado o maior e o mais crítico**, em que a umidade do ar decresceu para valores em torno de 15%, com um ligeiro aumento entre 2000 a 2002, voltando a diminuir novamente.

Essas informações estão representadas nos Gráficos de 13 a 18.

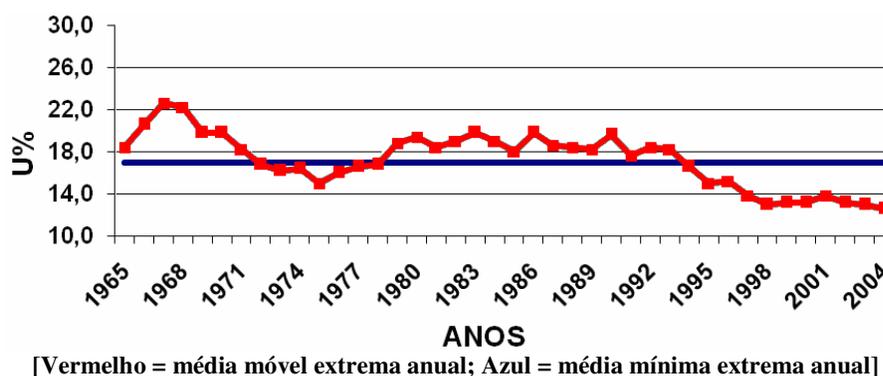
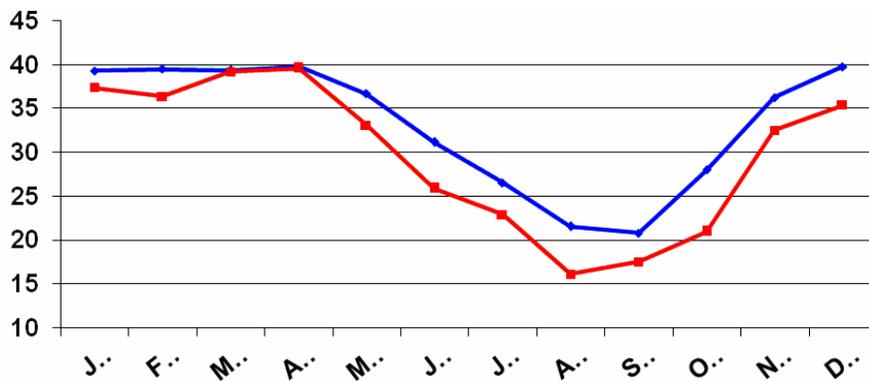
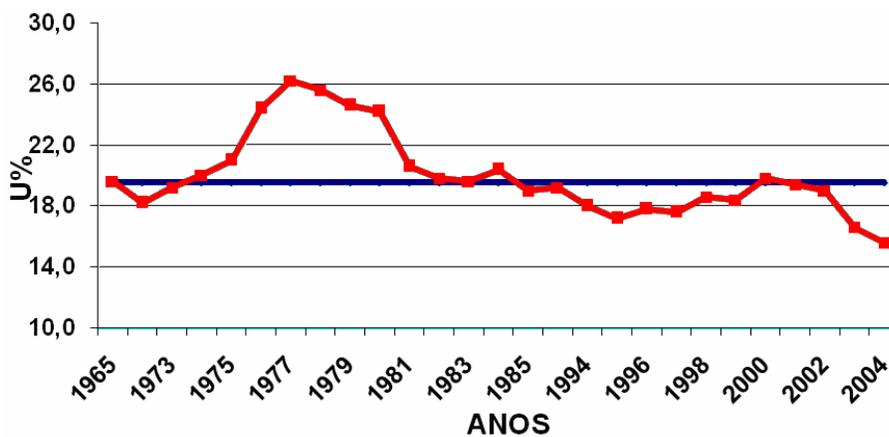


Gráfico 13: Umidade relativa do ar de Brasília-DF [1961-2004] (DINIZ; REBELO, 2006)



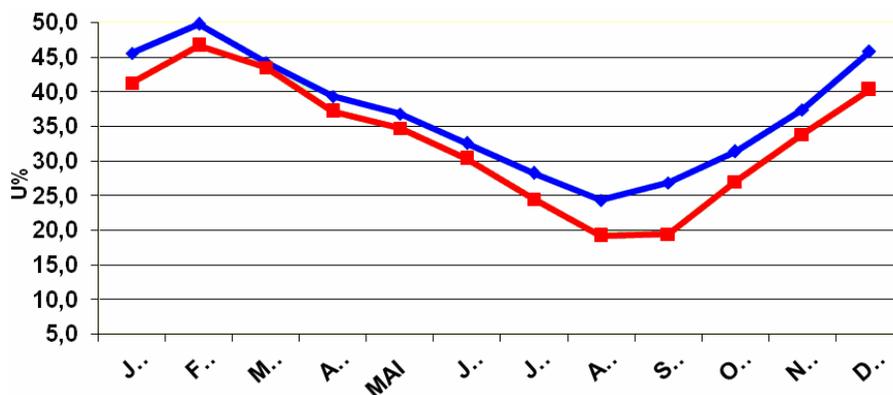
[Azul = média mínima mensal [1961-1990]; Vermelho = média mínima mensal [1961-2004]]

Gráfico 14: Variação da Umidade Relativa do Ar de Brasília (DINIZ; REBELO, 2006)



[Vermelho = média móvel extrema anual; Azul = média mínima extrema anual]

Gráfico 15: Umidade relativa do ar de Campo Grande-MS [1961-2004] (DINIZ; REBELO, 2006)



[Azul = média mínima mensal [1961-1985]; Vermelho = média mínima mensal [1993-2004]]

Gráfico 16: Variação da Umidade Relativa do Ar de Campo Grande (DINIZ; REBELO, 2006)

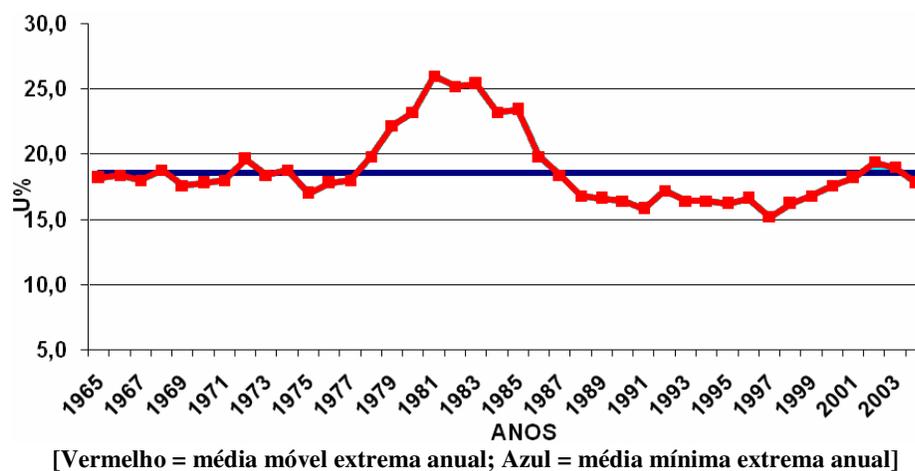


Gráfico 17: Umidade relativa do ar de Goiânia-GO [1961-2004] (DINIZ; REBELO, 2006)

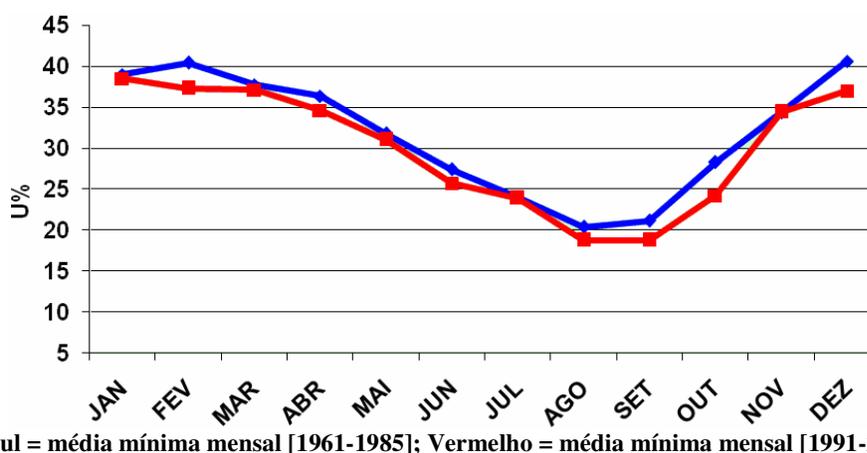


Gráfico 18: Variação da Umidade Relativa do Ar de Goiânia (DINIZ; REBELO, 2006)

Foram calculadas as médias extremas mínimas mensais da umidade relativa do ar e plotadas para o período de 1961 a 1990, (período das normais climáticas) curva em azul, e para o período de 1991 a 2004, curva vermelha. São verificadas as variabilidades médias da umidade mínima mensal em cada localidade nos dois períodos.

Em Brasília-DF, observou-se uma diminuição na média da umidade do ar mínima mensal em torno de **5 pontos percentuais** (26% para 21%) durante o período da estiagem para o de transição com as chuvas (junho a outubro); no segundo período de 1991 a 2004, conforme curva em vermelho. Essa variabilidade na umidade do ar demonstra que valores críticos com baixos índices de umidade do ar vêm ocorrendo com maior frequência em Brasília-DF. Talvez essa situação esteja relacionada com o aumento demográfico, com o desmatamento, com o aumento na quantidade de automóveis e quantidade de asfalto.

Em Campo Grande-MS, também houve uma diminuição na média da umidade do ar mínima mensal em torno de **5 pontos percentuais** (29% para 24%) nos meses de junho a outubro, no período de 1991 a 2004; em relação ao período de 1961 a 1985. Não foram utilizados 30 anos para essa localidade devido à falta de dados.

Goiânia-GO foi a única localidade que apresentou menor diferença na diminuição na média da umidade do ar mínima mensal, em torno de **2 pontos percentuais** (24% para 22%), durante os meses de junho a outubro, no período de 1991 a 2004, em relação ao período anterior, conforme mostrado no Gráfico 6. Apesar da pouca diferença, observou-se que nessa localidade, em média, o clima apresenta ser mais seco que nas outras cidades em estudo.

Diniz e Rebello (2006) concluem que, apesar do estudo ter sido iniciado com dados a partir dos anos 1960, todas as localidades apresentaram umidade relativa do ar médias mínimas extremas mensais e um decréscimo no período de 1991 a 2004. Essa situação na diminuição da umidade do ar, mais precisamente no período seco, deve estar relacionada com a variabilidade climática e com o aquecimento global que o planeta vem passando nas três últimas décadas. Contudo, um dos indicativos da mudança climática é a maior frequência dos eventos extremos e, conforme mostram todos os Mapas das médias mínimas extremas mensais, uma alta variabilidade da umidade do ar no segundo período.

Não se pode relacionar essa variabilidade dos valores extremos mensais médios dos baixos índices da umidade do ar verificados, com a existência de uma periodicidade da variabilidade atmosférica ou da climatologia estatística, pelo fato da maior frequência de valores extremos de umidade do ar, ter sido medida (calculada) na última década, e não em décadas anteriores.

Em termos de micro-clima, asseveram Diniz e Rebello (2006), não se pode descartar o aumento demográfico nas cidades e do desmatamento, fatores que contribuem, em muito, para a variabilidade da umidade do ar.

CONCLUSÃO

O tema biocombustíveis é atual e tem sido constantemente enfatizado pela mídia escrita e televisiva ao longo desses últimos meses. As informações transmitidas ao público, em geral, têm sido quase sempre imprecisas, sobretudo no tocante à demanda de recursos naturais, como a água, para a sua produção. Nesse sentido, não somente a população, mas principalmente os agentes decisores nem sempre têm conseguido discernir as certezas e as incertezas com relação à sustentabilidade do programa presente e, principalmente, futuro. Esta pesquisa pretendeu contribuir para os estudos e projeções de impacto ambiental oriundos do programa de biocombustíveis na disponibilidade hídrica do cerrado, considerando a demanda de recursos hídricos necessários para a produção das oleaginosas elegidas.

Sabe-se que tanto as pastagens quanto as culturas existentes na região em estudo já demandam quantidades assustadoras de água, considerando-se os dados atuais e as prospecções climáticas do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC. Este trabalho constatou que a demanda de água para a sustentabilidade do programa será, para algumas oleaginosas, praticamente duplicada.

Atualmente, os recursos hídricos do cerrado, na época da seca, já sofrem um desequilíbrio em função da evapotranspiração da região não precipitar no mesmo local, conforme estudos da circulação atmosférica apresentados pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Considerando-se o aumento de temperatura ocasionado pelo desmatamento e/ou extração da vegetação nativa para o plantio das oleaginosas elegíveis – que também faz aumentar o consumo de água – tudo leva a crer que o impacto nos recursos hídricos da região deverá ser negativo.

Todos esses fatores justificam trabalhos futuros que busquem um estudo mais aprofundado sobre as variáveis aqui expostas e de suas inter-relações. Isso pode, por exemplo, ser abordado a partir de técnicas de modelagem e simulação de sistemas ambientais.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56**, FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, 1998. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>>. Acesso em: 10 nov. 2007.

AMBIENTEBRASIL. Água: Esgotabilidade, Responsabilidade e Sustentabilidade. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=/agua/doce/index.html&conteudo=/agua/doce/artigos/esgotabilidade.html>>. Acesso em: 10 nov. 2007.

BIODIESELBR. Vantagens do Biodiesel. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/biodiesel/vantagens/vantagens-biodiesel.htm>>. Acesso em: 10 nov. 2007.

BORGUETTI, N.R.B.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. **O Aquífero Guarani**. Fundação Roberto Marinho, 2004. Disponível em: <<http://www.oaquiferoguarani.com.br>>. Acesso em: 10 nov. 2007.

BRASIL. Decreto de 23 de dezembro de 2003. Institui a Comissão Executiva Interministerial encarregada da implantação das ações direcionadas à produção e ao uso de óleo vegetal - biodiesel como fonte alternativa de energia. **Diário Oficial da União**, Brasília, 24 dez. 2003, p. 14, 2003.

BRASIL. Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Biocombustíveis. **Cadernos NAE**, Brasília, n. 2, 2005.

BRASIL. Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. **Mudança do Clima**. **Cadernos NAE**, Brasília, n. 3, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de Agroenergia**. 2005c. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/page/mapa/principal/documentos/agroenergia.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2007.

BRASIL. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 14 jan. 2005, p. 8, 2005.

BRASIL. Decreto Nº 5.448, de 20 de maio de 2005. Regulamenta o § 1º do art. 2º da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, que dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 maio 2005, p. 1, 2005.

BRASIL. Decreto S/N de 27 de março de 2006. Dá nova redação ao Inciso II do Art. 3º do decreto de 23 de dezembro de 2003, que instituiu a comissão executiva interministerial encarregada da implantação das ações direcionadas à produção e ao uso de óleo vegetal - Biodiesel

como fonte alternativa de energia. **Diário Oficial da União**, Brasília, 28 mar. 2006, p. 6, 2006.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. Extreme Precipitation Events in Southeast South America and Large-Scale Convective Patterns in the South Atlantic Convergence Zone. **Journal of Climate**, n. 15, p. 2377-2394, 2002. Disponível em: <<http://ams.allenpress.com/archive/1520-0442/15/17/pdf/i1520-0442-15-17-2377.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2007.

CARVALHO, L. M. V. JONES, C.; DIAS, M. A. F. S. Intraseasonal large-scale circulations and mesoscale convective activity in Tropical South America during the TRMM-LBA campaign. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. D20, p. 9.1-9.20, 2002.

CHISTOFIDIS, D. **Olhares sobre a política de recursos hídricos no Brasil. O caso da bacia do Rio São Francisco**. Tese (Doutorado em Gestão e Política Ambiental)–Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2001.

DINIZ, F. A.; REBELLO, E. R. G. Considerações sobre anomalias de precipitação no Sudeste do Brasil durante janeiro e fevereiro de 2001. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, **Anais ...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2002. 1. CD-ROM.

DINIZ, F. A.; REBELLO, E. R. G. Variabilidade climática da baixa umidade do ar em algumas localidades: Centro e Sudeste do Brasil. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, **Anais ...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2006. 1. CD-ROM.

ECONOMIABR. **Commodities**. Disponível em: <http://www.economiabr.net/economia/5_commodities.html>. Acesso em: 10 nov. 2007.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ – ESALQ. **Biocombustíveis**. Pólo Nacional de Biocombustíveis. Disponível em: <<http://www.polobio.esalq.usp.br/biocombustiveis.html>>. Acesso em: 10 nov. 2007.

FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – FDBS. **A expansão da Agroenergia no Brasil: Constatações e Recomendações**, 2006. Disponível em: <http://www.fbds.org.br/Apresentacoes/Constatacoes_Recom_port.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2007.

GLEICK, P. H.; KIPARSKY, M. The Water & Climate Bibliography, In: GLEICK, P. H. (Ed.) **The World's Water: The Biennial Report on Freshwater Resources**, Washington, DC: Island Press, p. 228-233, 2004.

GRIMM, A. M., PSCHIEDT, G. I. Padrões atmosféricos associados a eventos severos de chuva na primavera durante El Niño, La Niña e anos neutros. In: IX CONGRESSO DA FEDERAÇÃO LATINO-AMERICANA E IBÉRICA DE SOCIEDADES DE METEOROLOGIA e VIII CONGRESSO ARGENTINO DE METEOROLOGIA, **Anais ...** Buenos Aires:

Centro Argentino de Meteorologistas e Federação Latino-Americana e Ibérica de Sociedades de Meteorologia, 2001.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of Climatic Hazards in Northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 103, n. 435, p. 77-92, 1977.

HASTENRATH, S. Circulation and Teleconnection Mechanisms of Northeast Brazil Droughts. **Progress in Oceanography**, v. 70, n. 2-4, p. 407-415, 2006.

HIRATA, R. Recursos hídricos. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (Orgs.). **Decifrando a Terra**, São Paulo: Oficina de Textos, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Anuário Estatístico do Brasil**. Diretoria de Geociência, 1997.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Biofuels For Transport - An International Perspective**, 2004. Disponível em: <www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/biofuels2004.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2007.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Coordenação Geral de Agrometeorologia. **Climatologia do Distrito Federal**. Brasília, 2005. Nota Técnica 003/CGA/2005

KARMANN, I. Ciclo da Água, água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (Orgs.) **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2001.

MADDEN, R. A.; JULIAN, P. R. Observations of the 40-50 day tropical oscillations – A Review. **Monthly Water Review**, n. 122, p. 814-837, 1994. Disponível em: <<http://ams.allenpress.com/archive/1520-0493/122/5/pdf/i1520-0493-122-5-814.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2007.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade**: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. Disponível em: <http://www.map-amazonia.net/forum/showthread.php?t=248>. Acesso em: 10 nov. 2007.

MEDINA, B. M. O. Biocombustíveis, **Biólogo – Ecologia Hoje**, 2007. Disponível em: <<http://www.biologo.com.br/ecologia/ecologia8.htm>>. Acesso em: 10 nov. 2007.

MENDES, R. S. **Determinação da evapotranspiração por métodos diretos e indiretos e dos coeficientes de cultura da soja para o Distrito Federal**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias)–Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2006. Disponível em: <http://bdt.d.bce.unb.br/tesesimplificado/tde_arquivos/41/TDE-2007-03-08T153830Z-722/Publico/ricardo_mendes.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2007.

MOREIRA, M. A.; ROSA, V. G. C.; RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T.; BERKA, L. M. S.; DUARTE, V. Estimativa da área de cana-de-açúcar no estado de São Paulo por meio de sistema de amostragem de área e imagens de sensoriamento remoto. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, **Anais ...** p. 197-204, Goiânia, 2005. Disponível em: <<http://mar.te.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.20.13.42/doc/197.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2007.

NOBRE, C. A., SAMPAIO, G., SALAZAR, L. Mudanças Climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura**, v. 59, n. 3, São Paulo, 2007. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252007000300012&lng=pt&nrm=is&tlng=pt>. Acesso em: 10 nov. 2007.

PERES, J.; FREITAS Jr, E.; GAZZONI, D. Biocombustíveis, uma oportunidade para o agonegócio brasileiro. **Revista de Política Agrícola**, v. 14, n. 5, p. 31-41, 2005. Disponível em: <http://www.agronegocios-e.com.br/agr/down/artigos/Pol_Agr_1_2005_Art05.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2007.

PERES, J. R. Oleaginosas para biocombustíveis. In: SEMINÁRIO ÁLCOOL: POTENCIAL GERADOR DE DIVISAS E EMPREGOS, **Anais ...** Rio de Janeiro: Embrapa, 2003.

PROGRAMA NACIONAL DE PRODUÇÃO E USO DE BIODIESEL. **O Biosiesel**. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br>>. Acesso em: 10 nov. 2007.

RIFKIN, J. **A Economia do Hidrogênio: a criação de uma nova fonte de energia e a redistribuição do poder na terra**. São Paulo: Makron Books do Brasil, 2003.

RIO GRANDE DO NORTE. A água da natureza. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH), Governo do Estado de Rio Grande do Norte. Disponível em: <<http://www.semarh.rn.gov.br/detalhe.asp?IdPublicacao=45>>. Acesso em: 10 nov. 2007.

SILVA, G. A. A commodity água. **Jornal da Ciência**, n. 2978, SBPC, 2006. Disponível em: <<http://www.jornaldacienci.org.br/Detalhe.jsp?id=36097>>. Acesso em: 10 nov. 2007.

SILVA, L. B. P. Disponibilidade de água para as plantas e evapotranspiração em um cerrado denso, um cerrado strictu sensu e uma pastagem plantada. Dissertação (Mestrado em Ecologia)–Departamento de Ecologia, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

SILVA, L. C.; RAO, T. V.R. Avaliação de métodos para estimativa de coeficientes da cultura do amendoim. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n1/v10n1a19.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2007.

TOMM, G.O. **Manual para cultivo de canola**: indicações para o cultivo de canola no Rio Grande do Sul. Santa Rosa: Câmara Alimentos, 2003.

APÊNDICE A - Legislação e normas sobre biodiesel

Leis

- **Lei nº 11.116, de 18 de maio de 2005⁴**: Dispõe sobre o Registro Especial, na Secretaria da Receita Federal do Ministério da Fazenda, de produtor ou importador de biodiesel e sobre a incidência da Contribuição para o PIS/Pasep e da Cofins sobre as receitas decorrentes da venda desse produto; altera as Leis n os 10.451, de 10 de maio de 2002, e 11.097, de 13 de janeiro de 2005; e dá outras providências.
- **Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005⁵**: Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências.
- **Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004⁶**: Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nºs 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências.

Decretos

- **Decreto Nº 5.457, de 06 de junho de 2005⁷**: Reduz as alíquotas da Contribuição para o PIS/PASEP e da COFINS incidentes sobre a importação e a comercialização de biodiesel.
- **Decreto Nº 5.448, de 20 de maio de 2005⁸**: Regulamenta o § 1 o do art. 2 o da Lei n o 11.097, de 13 de janeiro de 2005, que dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira, e dá outras providências.
- **Decreto Nº 5.298, de 6 de dezembro de 2004⁹**: Altera a alíquota do Imposto sobre Produtos Industrializados incidente sobre o produto que menciona.
- **Decreto Nº 5.297, de 6 de dezembro de 2004¹⁰**: Dispõe sobre os coeficientes de redução das alíquotas de contribuição para o PIS/PASEP e da COFINS, incidentes na produção e na comercialização de biodiesel, sobre os termos e as condições para a utilização das alíquotas diferenciadas, e dá outras providências.
- **Decreto de 23 de dezembro de 2003¹¹**: Institui a Comissão Executiva Interministerial encarregada da implantação das ações direcionadas à produção e ao uso de óleo vegetal - biodiesel como fonte alternativa de energia.
- **Decreto de 02 de julho de 2003¹²**: Institui Grupo de Trabalho Interministerial encarregado de apresentar estudos sobre a viabilidade de utilização de óleo vegetal - biodiesel

⁴ http://www.biodiesel.gov.br/docs/Lei11.116_18mai2005.PDF

⁵ http://www.biodiesel.gov.br/docs/lei11097_13jan2005.pdf

⁶ \\bictlab\wwwroot\biodiesel\docs\lei10.848_15mar2004.pdf

⁷ http://www.biodiesel.gov.br/docs/Decreto_5.457_07jun2005.doc

⁸ http://www.biodiesel.gov.br/docs/Decreto_5.448_20mai2005.pdf

⁹ http://www.biodiesel.gov.br/docs/Decreto_%205.298_6dez2004.pdf

¹⁰ http://www.biodiesel.gov.br/docs/Decreto_5.297_6dez2004.pdf

¹¹ http://www.biodiesel.gov.br/docs/Decreto_Casa_Civil_23.12.03.pdf

¹² http://www.biodiesel.gov.br/docs/Decreto_Casa_Civil_02.07.03.pdf

como fonte alternativa de energia, propondo, caso necessário, as ações necessárias para o uso do biodiesel.

Portarias

- **Portaria MME 483, de 3 de outubro de 2005**¹³: Estabelece as diretrizes para a realização pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP de leilões públicos de aquisição de biodiesel de que trata o art. 3º, da Resolução do Conselho Nacional de Política Energética - CNPE nº 3, de 23 de setembro de 2005.
- **Portaria ANP 240, de 25 de agosto de 2003**¹⁴: Estabelece a regulamentação para a utilização de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos não especificados no País.

Resoluções

- **Resolução ANP nº 31, de 04 de novembro de 2005**¹⁵: Regula a realização de leilões públicos para aquisição de biodiesel.
- **Resolução CNPE nº 3, de 23 de setembro de 2005**¹⁶: Reduz o prazo de que trata o § 1º do art. 2º da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, e dá outras providências.
- **Resolução ANP nº 42, de 24 de novembro de 2004**¹⁷: Estabelece a especificação para a comercialização de biodiesel que poderá ser adicionado ao óleo diesel na proporção 2% em volume.
- **Resolução ANP nº 41, de 24 de novembro de 2004**¹⁸: Institui a regulamentação e obrigatoriedade de autorização da ANP para exercício da atividade de produção de biodiesel.
- **Resolução BNDES Nº 1.135 / 2004**¹⁹: Trata do Programa de Apoio Financeiro a Investimentos em Biodiesel no âmbito do Programa de Produção e Uso do Biodiesel como Fonte Alternativa de Energia.

Instruções Normativas

- **Instrução Normativa MDA nº 02, de 30 de setembro de 2005**²⁰: Dispõe sobre os critérios e procedimentos relativos ao enquadramento de projetos de produção de biodiesel ao selo combustível social.
- **Instrução Normativa MDA nº 01, de 05 de julho de 2005**²¹: Dispõe sobre os critérios e procedimentos relativos à concessão de uso do selo combustível social.
- **Instrução Normativa SRF nº 526, de 15 de março de 2005**²²: Dispõe sobre a opção pelos regimes de incidência da Contribuição para o PIS/Pasep e da Cofins, de que tratam o art. 52 da **Lei nº 10.833**²³, de 29 de dezembro de 2003, o art. 23 da **Lei nº**

¹³ <http://www.biodiesel.gov.br/docs/PortariaMME483-2005.pdf>

¹⁴ http://www.biodiesel.gov.br/docs/P240_2003.PDF

¹⁵ <http://www.biodiesel.gov.br/docs/ResolucaoANPn31de2005Leilao.pdf>

¹⁶ <http://www.biodiesel.gov.br/docs/ResolucaoCNPEn3de28092005.pdf>

¹⁷ http://www.biodiesel.gov.br/docs/Resolucao_42.pdf

¹⁸ http://www.biodiesel.gov.br/docs/Resolucao_41.pdf

¹⁹ <http://www.biodiesel.gov.br/docs/resolucao1135bndes.pdf>

²⁰ http://www.biodiesel.gov.br/docs/IN%2002%20proj%20com_social.pdf

²¹ <http://www.biodiesel.gov.br/docs/Minuta1.pdf>

²² http://www.biodiesel.gov.br/docs/INSRF_526-2005.pdf

²³ http://www.biodiesel.gov.br/docs/Lei10.833_29dez2003.pdf

10.865²⁴, de 30 de abril de 2004, e o art. 4º da **Medida Provisória nº 227**²⁵, de 6 de dezembro de 2004.

- **Instrução Normativa SRF nº 516, de 22 de fevereiro de 2005**²⁶: Dispõe sobre o Registro Especial a que estão sujeitos os produtores e os importadores de biodiesel, e dá outras providências.

²⁴ http://www.biodiesel.gov.br/docs/Lei10.865_30abr2004.pdf

²⁵ <http://www.biodiesel.gov.br/docs/MedidaProvisoria227.pdf>

²⁶ <http://www.receita.fazenda.gov.br/Legislacao/Ins/2005/in5162005.htm>