



Ministério da
Ciência e Tecnologia



INPE-16682-TDI/1627

**MONITORAMENTO DE ESTIAGEM NA REGIÃO SUL DO
BRASIL UTILIZANDO DADOS *EVI/MODIS* NO PERÍODO DE
DEZEMBRO DE 2000 A JUNHO DE 2009**

Manoel de Araújo Sousa Júnior
Tania Maria Sausen
María Silvia Pardi Lacruz

Registro do documento original:
<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/05.07.16.56>>

INPE
São José dos Campos
2010

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO:**Presidente:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Membros:

Dr^a Inez Staciari Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr^a Regina Célia dos Santos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Horácio Hideki Yanasse - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Deicy Farabello - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Vivéca Sant'Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
Ciência e Tecnologia



INPE-16682-TDI/1627

**MONITORAMENTO DE ESTIAGEM NA REGIÃO SUL DO
BRASIL UTILIZANDO DADOS *EVI/MODIS* NO PERÍODO DE
DEZEMBRO DE 2000 A JUNHO DE 2009**

Manoel de Araújo Sousa Júnior
Tania Maria Sausen
María Silvia Pardi Lacruz

Registro do documento original:
<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/05.07.16.56>>

INPE
São José dos Campos
2010

RESUMO

As secas ocorrem em quase todos os países, embora variem significativamente de uma região para outra. São uma deficiência de precipitação durante um período prolongado de tempo que resulta em escassez de água para algumas atividades, grupo ou setor ambiental. As estiagens se caracterizam por serem menos intensas que as secas e por ocorrerem em períodos de tempo menores. Porém, como ocorrem com relativa freqüência, em áreas mais produtivas e de maior importância econômica do que as áreas de secas, ela produz reflexos sobre o agronegócio, comprometendo o abastecimento, a produção de alimentos e a economia regional. A região Sul do Brasil tem enfrentado períodos de estiagens na última década, com intensidade e freqüência acima do normal, afetando de forma decisiva a sua economia. A quantificação das áreas afetadas pela estiagem é um grande desafio, devido à falta de informação mais detalhada e contínua. As imagens *EVI* (*Enhanced Vegetation Index* - Índice de Vegetação Melhorado) do sensor *MODIS* (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), que estão a bordo dos satélites *AQUA* e *TERRA*, por suas características, podem ser utilizadas para este tipo de estudos uma vez que permitem identificar as variações no verdor da vegetação (estado de sanidade) causadas por eventos climáticos, como a estiagem. Este trabalho tem como objetivo principal propor uma metodologia para monitorar a ocorrência de estiagem na região Sul do Brasil utilizando imagens índice de vegetação melhorado - *EVI/MODIS*. Para tal foram utilizadas um total de 392 imagens e gerados 196 mosaicos cobrindo o período de dezembro de 2000 a junho de 2009, considerando as quatro estações do ano. As imagens de anomalias de vegetação foram calculadas por meio do cálculo do índice de vegetação padronizado para cada estação do ano para o período de dezembro de 2000 a junho de 2009. Os resultados alcançados demonstraram que a metodologia utilizada e as imagens *EVI/MODIS* são úteis para a caracterização e o monitoramento de áreas de anomalias negativas de vegetação, indicativas de estiagem. O verão de 2005 e o de 2009 foram os períodos que apresentaram as maiores extensões de áreas de anomalias negativas de vegetação coincidindo com os dois grandes períodos de estiagem que ocorreram na região Sul do Brasil. Os estados do Paraná e Rio Grande do Sul foram os mais afetados pela estiagem no período analisado.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 Área atingida pela estiagem em 2005 no Município de Santa Rosa, RS	4
1.2 Barragens, açudes e rios em Chapecó praticamente secaram no início de 2009 devido à estiagem	6
2.1 Localização da área de estudo.....	9
3.1 Seqüência de ocorrência de seca e seus impactos.....	12
3.2 Relação entre as secas meteorológica, agrícola, hidrológica e socioeconômica	14
4.1 Tiles dos produtos MODIS para o Brasil	21
4.2 Mosaico do índice de vegetação EVI/MODIS de setembro de 2008 e verão de 2009, com os limites dos estados da região Sul do Brasil....	22
5.1 Anomalia do Índice de Vegetação Melhorado - EVI para o verão de 2008. A média está em uma anomalia negativa igual a -0,6. Em uma distribuição normal perfeita 68,26% das ocorrências se concentrarão na área do gráfico demarcada por um desvio padrão à direita e um desvio padrão à esquerda da linha média; dois desvios padrão, para a direita e a esquerda da média, abrangem 95,44% das ocorrências e, 99,72% quando se demarca três desvios.....	27
5.2 Mapa das Regiões Geográficas do estado Paraná	29
5.3 Mapa das Mesoregiões do estado de Santa Catarina.....	30
5.4 Mapa das Regiões Fisiográficas do Rio grande do Sul.....	30
6.1 Mapas de anomalias de vegetação para o período de dezembro de 2000 a junho de 2009.....	32
6.2 Mapas de distribuição da precipitação acumulada – média da área na região Sul, por estação, para o período de dezembro de 2000 a junho de 2009.....	43

6.3	Imagens de anomalias de vegetação e mapas de precipitação acumulada da região sul do Brasil do verão e outono de 2001	46
6.4	Imagens de anomalias de vegetação e mapas de precipitação acumulada da região sul do Brasil do inverno e primavera de 2001 ...	47
6.5	Mapa de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para o mês de agosto de 2001.....	48
6.6	Imagens de anomalias de vegetação e mapas de precipitação acumulada da região sul do Brasil do verão e outono de 2002.....	50
6.7	Mapa de Índice de Precipitação Padronizada (SPI) para o mês de dezembro de 2001.....	51
6.8	Mapas de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para os meses de março e abril de 2002.....	53
6.9	Imagens de anomalias de vegetação e mapas de precipitação acumulada da região Sul do Brasil para o inverno e a primavera do ano de 2002.....	55
6.10	Mapa de Índice de Precipitação Padronizada (SPI) para o mês de junho de 2002.....	56
6.11	Mapa de Índice de Precipitação Padronizada (SPI) para o mês de outubro de 2002	58
6.12	Imagens de anomalia de vegetação e mapas de precipitação acumulada para o verão e outono de 2003.....	59
6.13	Imagens de anomalia de vegetação e mapas de precipitação acumulada para o inverno e primavera de 2003	61
6.14	Mapas de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para os meses de julho, agosto, setembro, novembro e dezembro de 2003, correspondendo ao inverno e primavera	63
6.15	Imagens de anomalia de vegetação e mapas de precipitação acumulada para o verão e outono 2004.....	66
6.16	Mapas de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para os meses de janeiro, fevereiro e março de 2004, correspondentes ao verão.....	67

6.17	Imagens de anomalia de vegetação e mapas de precipitação acumulada para o inverno e primavera de 2004	70
6.18	Mapa de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para o mês de agosto de 2004, correspondente ao inverno	71
6.19	Mapa de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para o mês de dezembro de 2004, correspondente à primavera	72
6.20	Imagens de anomalia de vegetação e mapas de precipitação acumulada para o verão e o outono de 2005	73
6.21	Mapas de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para os meses de janeiro, fevereiro e março de 2005, correspondentes ao verão e início do outono	76
6.22	Imagens de anomalia de vegetação e mapas de precipitação acumulada para o inverno e primavera de 2005	78
6.23	Mapas de Índices de Precipitação Padronizada - SPI para os meses junho e julho, correspondendo ao final do outono e inverno	80
6.24	Mapas de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para os meses de novembro e dezembro de 2005, correspondentes à primavera	81
6.25	Imagens de anomalia de vegetação e mapas de precipitação acumulada para o verão e outono de 2006	83
6.26	Mapa de Índice de Precipitação Padronizada – SPI para o mês de fevereiro de 2005, correspondente ao verão	84
6.27	Mapa de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para os meses de abril e maio de 2006, correspondendo ao outono	86
6.28	Imagens de anomalia de vegetação e mapas de precipitação acumulada para o inverno e primavera de 2006	87
6.29	Mapa de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para o mês de outubro de 2006, correspondente à primavera.....	89
6.30	Imagens de anomalia de vegetação e mapas de precipitação acumulada para o verão e outono de 2007	90
6.31	Mapas de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para os meses de maio e junho de 2007, correspondentes ao outono.....	91

6.32	Imagens de anomalia de vegetação e mapas de precipitação acumulada para o inverno e primavera de 2007	93
6.33	Mapas de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para os meses de setembro e outubro de 2007, correspondentes à primavera	95
6.34	Imagens de anomalia de vegetação e mapas de precipitação acumulada para o verão e outono de 2008	97
6.35	Mapa de Índice de Precipitação Padronizada – SPI do mês de fevereiro de 2008, correspondente ao verão	98
6.36	Mapas de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para os meses de março e abril de 2008	99
6.37	Imagens de anomalia de vegetação e mapas de precipitação acumulada para o inverno e primavera de 2008	100
6.38	Mapa de Índice de Precipitação Padronizada – SPI para o mês de julho de 2008, correspondendo ao inverno	102
6.39	Mapa de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para os meses de novembro e dezembro de 2008.....	103
6.40	Imagens de anomalia de vegetação e mapas de precipitação acumulada para o verão e outono de 2009	105
6.41	Mapas de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para os meses de março, abril e junho de 2009, correspondente ao outono	108

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
6.1 Percentual da área afetada por anomalias negativas de vegetação na região Sul do Brasil para as quatro estações do ano no período de dezembro de 2000 a junho de 2009.....	35
6.2 Percentual de áreas afetadas por anomalias negativas de vegetação nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul para as quatro estações do ano no período de dezembro de 2000 a junho de 2009.....	38
6.3 Precipitação acumulada - média da área na região Sul do Brasil para o período de dezembro de 2000 a junho de 2009.....	41

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 ÁREA DE ESTUDO	9
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	11
4 MATERIAIS	21
5 METODOLOGIA	25
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
6.1 Ano 2001	41
6.2 Ano 2002	45
6.3 Ano 2003	54
6.4 Ano 2004	61
6.5 Ano 2005	68
6.6 Ano 2006	78
6.7 Ano 2007	85
6.8 Ano 2008	92
6.9 Ano 2009	100
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119

1. INTRODUÇÃO

As secas são uma característica do clima. Ocorrem em quase todos os países, embora variem significativamente de uma região para outra, o que faz com que seja difícil definir o termo com precisão. Em linhas gerais, a seca é uma deficiência de precipitação durante um período prolongado de tempo que resulta em escassez de água para algumas atividades, grupo ou setor ambiental (NDMC, 2006).

No Brasil são utilizados os termos estiagem e seca como eventos de intensidade diferentes. Assim de acordo com o Manual de Desastres, Volume 1, Desastres Naturais, da Secretaria Nacional de Defesa Civil:

As estiagens resultam da redução das precipitações pluviométricas, do atraso dos períodos chuvosos ou da ausência de chuvas previstas para uma determinada temporada. Nas estiagens, ocorre uma queda dos índices pluviométricos para níveis sensivelmente inferiores aos da normal climatológica, comprometendo necessariamente as reservas hidrológicas locais e causando prejuízos à agricultura e à pecuária (CASTRO et al., 2003, p. 55).

A estiagem está relacionada com a queda acentuada das reservas hídricas de superfície e de subsuperfície de uma dada região e com as conseqüências dessa queda sobre o fluxo dos rios e sobre a produtividade agropecuária. A Secretaria Nacional de Defesa Civil considera que existe estiagem quando:

- O início da temporada chuvosa em sua plenitude atrasa por prazo superior a quinze dias;
- As médias de precipitações pluviométricas mensais dos meses chuvosos alcançam limites inferiores a 60% das médias mensais de longo período, da região considerada.

As estiagens se caracterizam por serem menos intensas que as secas e por ocorrerem em períodos de tempo menores. Pelo fato da estiagem ocorrer, com relativa frequência, em áreas mais produtivas e de maior importância econômica do que as áreas onde acontecem as secas, ela produz reflexos extremamente importantes sobre o agronegócio, comprometendo o abastecimento, a produção de alimentos e a economia da região.

Do ponto de vista meteorológico, a seca é uma estiagem prolongada e caracteriza-se por provocar uma redução sustentada das reservas hídricas existentes. A seca é a forma crônica da estiagem. Para que seja considerada seca é necessário que o fenômeno atue sobre um sistema ecológico, econômico, social e cultural, que seja vulnerável à redução da precipitação; não pode ser considerada seca quando o evento ocorre em regiões onde há permanentemente, uma precipitação reduzida.

A seca não deve ser vista exclusivamente como um fenômeno físico ou um evento natural. O seu impacto na sociedade resulta da interação entre um evento natural (menor precipitação do que o esperado como resultado da variabilidade climática) e a demanda das pessoas pelo fornecimento de água.

A região Sul do Brasil tem enfrentado períodos de estiagens na última década, com intensidade e frequência acima do normal. Esse fenômeno afeta a economia, por ser esta uma região agropecuária e os danos à população aparecem de forma direta com a escassez no abastecimento de água potável, o que faz com que se caracterize como um desastre natural de grande magnitude.

Em 2005 a falta de chuvas atingiu por três meses:

- O estado do Paraná, sendo a região sudoeste a área mais afetada, com 145 municípios decretando situação de emergência (de um total de 399 municípios);
- O estado de Santa Catarina, sendo o oeste e o meio-oeste as áreas mais afetadas, com 157 municípios decretando situação emergência e 1 decretando calamidade pública (de um total de 293 municípios);
- O estado do Rio Grande do Sul, sendo o noroeste a área mais afetada, e cerca de 397 municípios declararam situação de emergência (de um total de 496 municípios).

De acordo com informações fornecidas pela Agência Brasil, em 15 de março de 2005, a estiagem no Sul do país foi a pior na região nos últimos 40 anos. Ela atingiu 80% dos municípios do Rio Grande do Sul, 30% de Santa Catarina e 10% do Paraná. Segundo estimativas do governo foram atingidos um total de 466 municípios nos três estados e os prejuízos chegaram a R\$ 6 bilhões (AGROLINE, 2009).

Segundo Aguiar, jornalista do EMATER do RS - ASCAR, em um artigo publicado em novembro/dezembro de 2005 na revista *Extensão Rural e Desenvolvimento Sustentável*

“o Rio grande do Sul esta convivendo nas últimas décadas com uma anomalia climática: a estiagem. Das últimas dez safras, o fenômeno causou prejuízos significativos aos produtores em sete. As perdas severas foram na safra 2004/2005, quando a agropecuária gaúcha se confrontou com quatro meses de deficiência hídrica. [...] No rastro dos estragos, o Rio Grande do Sul já acumulou perdas de 37,8 milhões de toneladas de grãos de milho e soja nos últimos 20 anos devido às estiagens (AGUIAR, 2005, p. 11).

A situação foi tão problemática em 2005 que o prefeito do município de Santa Rosa, no Rio Grande do Sul disse à população que faria “o possível para que não faltasse comida e água para os agricultores atingidos pela estiagem”. Segundo um levantamento realizado pela secretaria de Agropecuária cerca de 500 famílias de agricultores do município estavam em sérias dificuldades, inclusive, com falta de alimentos

(http://www.santarosa.rs.gov.br/not_print.php?id=225), (Figura 1.1).



Figura 1.1 - Área atingida pela estiagem em 2005 no Município de Santa Rosa, RS.

Fonte: <http://www.santarosa.rs.gov.br/imagens/noticias/seca.JPG>

De acordo com Cruz et al. (2005), períodos prolongados de estiagem têm sido freqüentes em Santa Catarina, “o verão 2004/2005 foi marcado por uma forte estiagem em Santa Catarina, especialmente nas regiões Oeste e Meio-oeste, onde foi registrado um dos maiores prejuízos na agricultura dos últimos anos”.

Este fenômeno voltou a ocorrer com menos intensidade, mas não menos preocupante em 2009. De acordo com informações das Defesas Cíveis Estaduais:

- No Paraná a região Sul foi a mais afetada, o governo previu uma colheita 7,6% inferior a do ano anterior com a perda de 11,1 milhões de toneladas de grãos devido à ausência de chuvas;
- Em Santa Catarina 32 municípios decretaram situação de emergência e as regiões mais afetadas do Estado foram o oeste, meio-oeste, norte e planalto serrano;
- No Rio Grande do Sul mais de 132 municípios decretaram situação de emergência, sendo as regiões norte e noroeste do estado as mais atingidas. (Agencia Estadual de Noticias).

Um dos efeitos da estiagem na região Sul do Brasil é a dificuldade no desenvolvimento das pastagens, o que afeta diretamente a pecuária leiteira. O nível diário de produção de leite caiu cerca de 28,5% entre agosto e dezembro de 2008 no Rio Grande do Sul. Considerando que o estado é o segundo no ranking nacional entre os maiores fornecedores de leite do País, esta queda na produtividade afeta diretamente o preço do produto no mercado nacional (CPTEC, 2009). Entre o mês de agosto de 2008 até abril de 2009, a produção de leite no estado diminuiu 30%.

No Estado de Santa Catarina, em 2008, 32 municípios decretaram situação de emergência. A região mais afetada foi à bacia do rio Uruguai sendo o município de Chapecó o que mais sentiu os efeitos da falta de chuvas, com apenas 50% do esperado para o primeiro trimestre do ano. Neste mesmo período a produção de leite e soja apresentou uma queda de cerca de 20%. O município de Chapecó foi também um dos mais afetados na estiagem que ocorreu em 2005, onde choveu apenas 4% do esperado (METSUL, 2009).

Já no início de 2009 Santa Catarina passou da inundação ocorrida no final de 2008, para a estiagem, o que levou 45 municípios a decretarem situação de

emergência sendo Chapecó, novamente, o município mais afetado. A estiagem começou no início do ano, quando o estado ainda se recuperava dos estragos causados pelas inundações de novembro de 2008 (Figura 1.2).



Figura 1.2 - Barragens, açudes e rios em Chapecó praticamente secaram no início de 2009 devido à estiagem.

Fonte: <http://www.canoinhas.net/noticias/15136-estiagem-castiga-sc.html>

Todas estas informações dão uma clara dimensão da importância de se realizar estudos mais aprofundados sobre este tipo de desastre natural e principalmente ter-se um monitoramento mais preciso e sistemático deste fenômeno, de tal forma que os danos na economia, nos recursos naturais e na vida da população sejam minimizados e que ações preventivas possam ser tomadas.

A quantificação das áreas afetadas pela estiagem é um grande desafio, devido à falta de informação mais detalhada e contínua. Existem diferentes métodos de estimar essas perdas ou danos provocados pela estiagem, mas todos estão

limitados pelo tipo de dado utilizado e pela frequência de atualização dessas informações.

As imagens *EVI* (*Enhanced Vegetation Index* - Índice de Vegetação Melhorado) do sensor *MODIS* (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), que estão a bordo dos satélites *TERRA* e *AQUA* (manhã e tarde, respectivamente), por suas características, podem ser utilizadas para este tipo de estudos uma vez que permite identificar as variações no verdor da vegetação (estado de sanidade) causadas por eventos climáticos, como a estiagem.

O satélite *TERRA* foi lançado em 18 de dezembro de 1999 e a primeira imagem do sensor *MODIS* foi obtida em fevereiro de 2001, já o satélite *AQUA* foi lançado em 4 de maio de 2002 e a primeira imagem foi adquirida em junho de 2002, ambos estão em uma órbita de 705 km de altura.

Com essas imagens é possível identificar mudanças significativas na vegetação e principalmente as áreas mais afetadas pela estiagem uma vez que, conforme observado por Huete et al. (1999), a variação ocorrida no índice de vegetação melhorado (*EVI*) tem uma boa correlação com o conteúdo de biomassa verde, e esses valores obtidos por sensores remotos mostram ser bons indicadores do stress hídrico nas plantas (excesso ou falta de água na vegetação).

Segundo Jin e Sader (2005) o uso das imagens *EVI/MODIS* traz uma perspectiva para o monitoramento da cobertura vegetal quase que em tempo real e com melhora na acurácia. Elas estão disponíveis gratuitamente, têm uma resolução espacial de 250 metros que é adequada para estudos em escala regional, são obtidas a cada 16 dias para todas as regiões do mundo o que permite que seja feito o monitoramento de vários fenômenos tais como estiagem, inundações, incêndios florestais, desmatamento, etc.

Levando em consideração os problemas de estiagem enfrentados pela região Sul do Brasil nos últimos anos, os danos causados à economia dos três estados e as características das imagens *EVI/MODIS*, este trabalho tem como objetivo principal propor uma metodologia para monitorar a ocorrência de estiagem na região Sul do Brasil utilizando imagens índice de vegetação.

Os objetivos específicos são:

- Quantificar as áreas afetadas por estiagem no período de dezembro de 2000 a junho de 2009;
- Propor a sistematização da metodologia empregada de maneira a dispor de um monitoramento contínuo e expedito das áreas afetadas por estiagem na região Sul do Brasil;
- Fornecer informação base para um modelo de prevenção e mitigação dos efeitos da estiagem na região.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a região Sul do Brasil, a qual ocupa um total de 576.408 km², sendo formada pelos estados do Paraná (199.314 km²), Santa Catarina (95.346 km²) e Rio Grande do Sul (281.748 km²) conforme observado na Figura 2.1. Tem uma população de 26.733.595 habitantes, dos quais 38,47% no estado de Paraná, 21,94% em Santa Catarina e 39,58% no Rio Grande do Sul (IBGE, 2009).

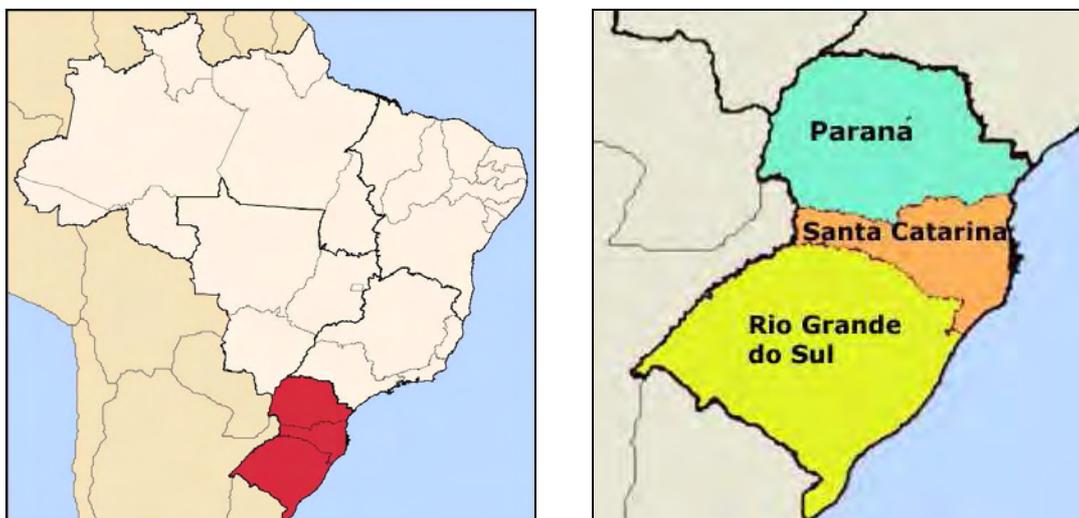


Figura 2.1 - Localização da área de estudo.

A região Sul destaca-se por sua produção agropecuária, sendo líder na produção nacional de soja e é responsável por 90% da produção nacional de trigo (Embrapa, 2006), além de suprir mais de 50% da demanda nacional de arroz (Embrapa, 2005). É também a região de maior exportação de carne bovina e possui o maior rebanho ovino do país.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As secas podem chegar a afetar um grande número de pessoas ou extensas áreas que podem ser países ou regiões continentais, podem durar desde vários meses a anos e têm um grande impacto econômico. Ramírez e Brenes (2001) consideram que a seca é um desastre natural lento, que não apresenta trajetória bem definida e que tende a se estender de forma irregular no espaço e no tempo. O grau de severidade de uma seca depende não somente da redução da precipitação, da duração e da área afetada, mas também da demanda do recurso hídrico para a permanência dos sistemas naturais e para o desenvolvimento de atividades humanas, conseqüentemente, é possível expressar o grau de severidade da seca em termos dos seus impactos sociais e econômicos.

Segundo a Organização Mundial de Meteorologia - WMO (2006) as secas podem ser caracterizadas pela intensidade, a duração e a cobertura espacial. A intensidade é medida geralmente pelo afastamento da normal de um parâmetro climático como a precipitação, um indicador como o nível de um reservatório ou um índice. Devido ao lento avanço da seca, os seus efeitos podem demorar semanas ou meses em aparecer, o déficit da precipitação aparece inicialmente como uma deficiência de água no solo, motivo pelo qual a agricultura é freqüentemente o primeiro sector a ser afetado.

A seca pode ser classificada em três categorias: meteorológica, hidrológica e agrícola (Dracup et al., 1980), além destas categorias alguns autores incluem mais um tipo, a seca socioeconômica (Boken, 2005; NDMC, 2006; WMO, 2006), conforme observado na Figura 3.1.

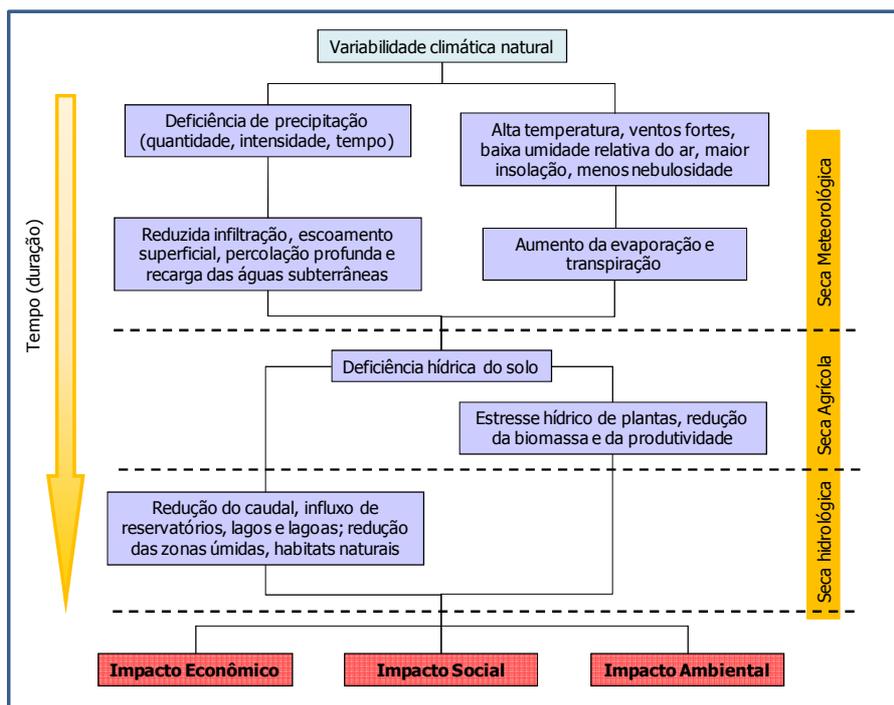


Figura 3.1 - Seqüência de ocorrência de seca e seus impactos.

Fonte: adaptado de NDMC (2006).

As três primeiras abordam a seca como um fenômeno físico, enquanto a última trata a seca em termos de oferta e demanda, monitorando os efeitos da escassez de água. A seguir é descrito cada um destes tipos de seca:

- **Seca meteorológica:** pode ser definida como uma condição anormal e recorrente, que ocorre em todas as regiões climáticas da Terra. É caracterizada por uma marcada redução da quantidade de precipitação e para sua definição são utilizados somente dados de precipitação;
- **Seca agrícola:** ocorre quando o solo não dispõe da umidade necessária para satisfazer as necessidades de uma cultura em um tempo determinado. A seca agrícola acontece depois da seca meteorológica, porém antes que a seca hidrológica. Não há uma relação direta entre a precipitação e a infiltração da precipitação no solo, a taxa de infiltração depende das condições de umidade previas, do tipo de solo e da intensidade da chuva;

- **Seca hidrológica:** é medida pelo caudal dos rios e pelos níveis freáticos dos lagos e reservatórios. Para sua definição são utilizados dados de disponibilidade e taxas de consumo baseado no abastecimento normal do sistema. Da mesma maneira que na seca agrícola, não há uma relação direta entre a quantidade de precipitação e o suprimento de lagos, reservatórios, aquíferos e rios porque os componentes do sistema hidrológico são utilizados para diferentes propósitos (WMO, 2006);
- **Seca socioeconômica:** ocorre quando a procura de um bem econômico supera a oferta, como consequência de uma quebra no abastecimento de água relacionada com o clima. Difere dos três tipos de seca mencionados anteriormente devido a que sua ocorrência depende dos processos de oferta e demanda para identificar e classificar as secas.

Quando a seca começa, o setor agrícola é geralmente o primeiro a ser afetado devido à forte dependência da água armazenada no solo. O conteúdo de umidade do solo pode-se esgotar rapidamente durante longos períodos secos, se continuar às deficiências na precipitação, as pessoas que dependem de outras fontes de água começarão a sentir os efeitos da escassez.

Quando a precipitação retorna ao normal as reservas hídricas do solo são reabastecidas, seguido pelo caudal dos rios, dos lagos e reservatórios e por último, as águas subterrâneas. Segundo a WMO (2006) as secas agrícola, hidrológica e socioeconômica ocorrem com menos frequência que a seca meteorológica porque os impactos nestes sectores estão relacionados com a disponibilidade de água na superfície e na subsuperfície (Figura 3.2).

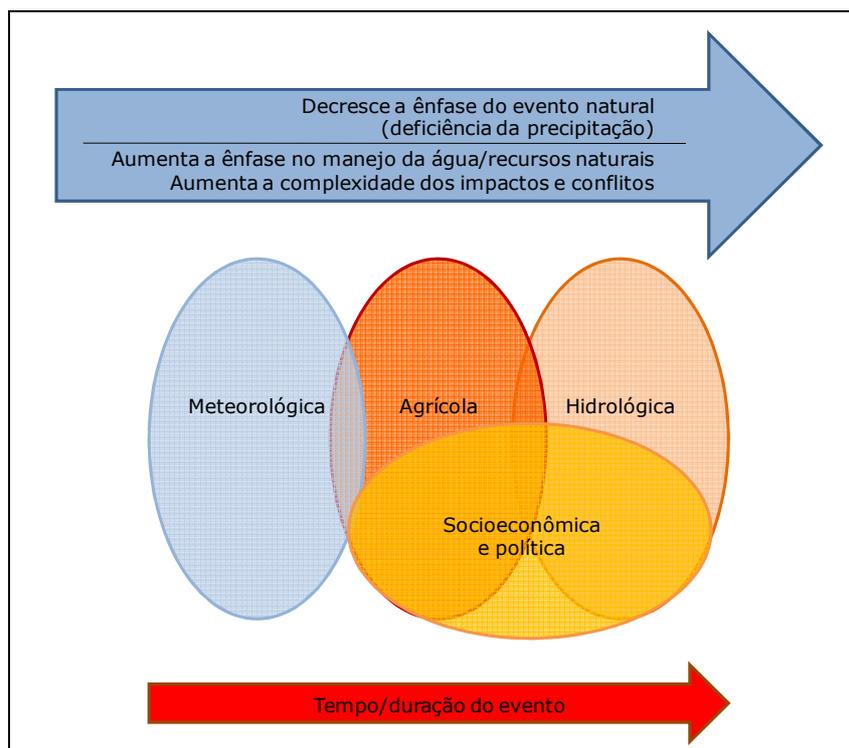


Figura 3.2 - Relação entre as secas meteorológica, agrícola, hidrológica e socioeconômica.

Fonte: adaptado de NDMC (2006).

Os impactos da seca no sector agrícola podem diminuir rapidamente, no entanto em outros sectores pode perdurar por meses ou mesmo anos. A duração do período de recuperação é função da intensidade da seca, sua duração assim como a quantidade de precipitação registrada quando o episódio termina.

A sensibilidade da seca a parâmetros biofísicos da superfície tais como índices de vegetação, temperatura da superfície, umidade do solo, albedo e evapotranspiração permitem ter informação sobre a severidade desta através da simplificação do fenômeno em um índice de seca (Ghulam et al., 2007).

No passado, abordagens convencionais baseadas em observações climatológicas e climáticas foram as principais ferramentas para medir a severidade da seca, tais como:

- O Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) (Palmer, 1965);
- O Índice de Anomalia de Precipitação (RAI) (Van Rooy, 1965);
- O Índice de Umidade da Cultura (Palmer, 1968);
- O Índice de Precipitação Padronizado (SPI) (McKee et al., 1993).

O estudo de eventos de seca exige o uso de ferramentas que permitam obter informações sem depender exclusivamente de dados meteorológicos, devido à alta variabilidade espacial e temporal da precipitação nas regiões tropicais e à baixa densidade de estações meteorológicas.

Nas últimas décadas, o sensoriamento remoto tem demonstrado que é uma ferramenta eficiente para a estimativa de seca uma vez que possibilita uma visão sinótica do fenômeno, tem uma alta frequência de aquisição de dados e permite a obtenção de informação em diferentes regiões espectrais.

A região do infravermelho próximo é sensível ao conteúdo de umidade da vegetação, enquanto que a região do infravermelho termal é utilizada para a detecção e o monitoramento do estresse do dossel das plantas e para a modelagem dos fluxos de calor sensível e latente (Anyamba et al., 2005).

As propriedades espectrais da vegetação tornam possível o monitoramento da sua dinâmica assim como a sua variabilidade espacial e temporal desde diferentes plataformas de sensoriamento remoto. A detecção da vegetação sadia ou com estresse a partir de dados de satélite depende da forte relação entre a energia refletida por esta no vermelho e no infravermelho próximo e a radiação fotossinteticamente ativa interceptada ou absorvida.

Os índices de vegetação são transformações espectrais de duas ou mais bandas que tem como objetivo realçar as propriedades da vegetação e tem como base a assinatura espectral da vegetação verde na porção do vermelho e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético. O aumento da quantidade de vegetação e da atividade fotossintética conduz a um aumento no índice de vegetação. Por outro lado, o estresse hídrico causa uma redução na taxa fotossintética e de transpiração da planta, o qual se traduz em uma redução substancial do índice de vegetação (Bonifacio et al., 1993).

O produto de sensoriamento remoto mais utilizado para o monitoramento da seca em extensas áreas é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index – NDVI*), principalmente aqueles derivados de imagens do sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)* da série de satélites da *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*. Este sensor foi colocado a bordo dos satélites *NOAA* pela primeira vez em 1979, no *NOAA-6*. A utilização destas imagens deve-se à disponibilidade de uma longa série de dados que permitem a identificação de anomalias para comparar com as condições consideradas normais.

O *NDVI* tem sido utilizado para a identificação e monitoramento de regiões afetadas pela seca tanto em escala regional como nacional e global com resultados satisfatórios. Tucker e Choudhury (1987) utilizaram este índice para identificar e quantificar os efeitos da seca. Teng (1990) utilizou imagens *NDVI* do *AVHRR/NOAA* para monitorar os efeitos da seca no centro-oeste dos Estados Unidos, a eficiência do índice foi comprovada através de estudos de campo. Segundo este autor, a aplicação do índice de vegetação permite detectar a seca na sua fase inicial.

Liu et al. (1994) analisaram a evolução espacial e temporal da seca na América do Sul para o período de 1981 a 1987 utilizando mapas mensais, elaborados a partir de valores de *NDVI/AVHRR* inferiores a 0,22. Os resultados indicaram o

potencial das imagens índice de vegetação para monitorar a ocorrência de seca assim como a variabilidade climática em escala regional e continental.

Alguns autores utilizam a anomalia do índice de vegetação com o intuito de estabelecer as condições normais de crescimento da vegetação em uma dada região para uma época do ano específica, e assim poder caracterizar o estado da vegetação em relação com a normal.

Com o surgimento do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)* a partir de 1999, foi possível dar continuidade à utilização do *NDVI* com uma resolução espacial maior (250 metros) quando comparada com a obtida com o *AVHRR* (1 - 4 km). O *MODIS* oferece ainda outro produto índice de vegetação, o *Enhanced Vegetation Index (EVI)* que é um índice melhorado para realçar o sinal da vegetação através da otimização na sensibilidade em regiões com altos valores de biomassa e permite realizar um melhor monitoramento da vegetação através da redução dos efeitos de substrato do dossel e da influência da atmosfera (Huete et al., 1994; Huete et al., 1997).

Este índice responde principalmente às variações estruturais do dossel, incluindo índice de área foliar, tipo de dossel, fisionomia da planta e arquitetura do dossel, em comparação com outros índices de vegetação (GAO et al., 2000). Os valores de *EVI* garantem a sensibilidade em todo o range de paisagens, de desertos a florestas densas.

González et al. (2008) utilizaram imagens mensais de índice de vegetação *EVI* e *NDVI* do *MODIS* para monitorar os sistemas naturais e determinar a severidade da seca na província de Santa Cruz, Argentina, durante a estação de crescimento das pastagens (setembro a abril). Inicialmente, foram calculados os valores históricos de índices de vegetação de cada mês, a partir da média dos índices mensais desde 2001 até 2007. Posteriormente, foram calculadas as anomalias dos índices de vegetação para cada mês e os

resultados foram classificados em cinco classes: seca, seca incipiente, neutro, umidade incipiente e umidade. Os resultados mostraram que ambos os índices, *NDVI* e *EVI* tiveram resultados similares, permitiram verificar a existência de um evento de estiagem no período analisado e mapear as áreas afetadas em cada mês analisado.

Lin et al. (2008a) calcularam as anomalias do índice de vegetação da diferença normalizada (*NDVI*) do *MODIS* com relação a média e as anomalias padronizadas do índice para uma região ao noroeste da China, no período de 2001 a 2006. Após a aplicação da estatística local de Getis (G) sobre as anomalias calculadas determinaram os *hotspots* das áreas com alto risco de seca.

Na mesma região da China, Lin et al. (2008b) calcularam, para o período de 2001 a 2006, diferentes índices de seca da vegetação (*Vegetative Drought Indices*) baseados em produtos *MODIS* de 16 dias, com resolução de 250 metros. A partir do *NDVI* foram obtidos o *Vegetation Condition Index – VCI*, o *Temperature Condition Index - TCI* e o *Vegetation Health Index - VHI*; também calcularam o *Moisture Condition Index – MCI* baseado no índice de umidade da diferença normalizada - *NDMI*, que corresponde à razão da diferença entre as bandas do infravermelho próximo e do infravermelho médio e a soma destas bandas. Os resultados mostraram que há concordância entre o *NDVI* e o *NDMI* durante o período em estudo, já os índices restantes mostraram diferenças na distribuição espacial.

Saleska et al. (2007) calcularam as anomalias de precipitação normalizada para cada quadrimestre de 2005 e a média do mesmo quadrimestre para o período de 1998 – 2006, excluindo 2005 a partir de imagens do satélite *Tropical Rainfall Measure Mission – TRMM* e as compararam com a anomalia do verdor da vegetação e o verdor médio da vegetação a partir de composições do *EVI/MODIS* de 2000 a 2006, correspondentes à Amazônia Legal Brasileira. O

TRMM está numa órbita de 350 km de altura e foi lançado em novembro de 1997.

Park et al. (2008) trabalharam com o Índice de Vegetação Padronizado (*Standardize Vegetation Index - SVI*) e o Índice de Condição da Vegetação (*Vegetation Condition Index - VCI*) a partir de imagens *NDVI* do *MODIS* para estudar as secas ocorridas durante a primavera na Coréia do Sul. Os índices utilizados permitiram determinar os eventos de seca acontecidos no período de 2000 a 2007, a severidade e as diferenças na dinâmica destes, assim como a delimitação das áreas de maior ocorrência de seca no período em estudo.

4. MATERIAIS

Neste estudo foram utilizadas imagens do sensor *MODIS* (*Moderate - resolution Imaging Spectroradiometer*), correspondente ao Índice de Vegetação Melhorado (*Enhanced Vegetation Index - EVI*), produto MOD13Q1, identificadas pelos *Tiles* H13V11 e H13V12 (Figura 4.1) disponíveis em *Earth Observing System Data Gateway* (<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>).

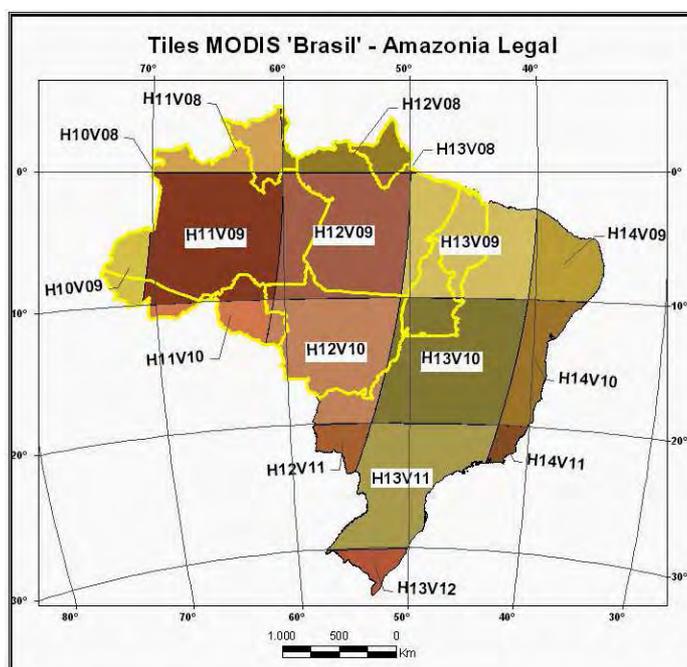


Figura 4.1 - *Tiles* dos produtos *MODIS* para o Brasil.
Fonte: http://h200137221230.ufg.br/novosite/imagens/tiles_modis_brasil.jpg

Para cobrir a região Sul do Brasil são necessárias duas imagens *EVI/MODIS*, que deram origem a mosaicos da região. Assim, foram utilizadas 392 imagens e gerados 196 mosaicos de dezembro de 2000 a junho de 2009, considerando as quatro estações do ano, a saber:

- Verão: 19 de dezembro a 21 de março;
- Outono: 22 de março a 25 de junho;
- Inverno: 26 de junho a 13 de setembro;
- Primavera: 14 de setembro a 18 de dezembro.

As datas das imagens para cada uma das estações do ano foram determinadas de acordo com a sua disponibilidade e considerado o período da geração do produto MOD13Q1 (a cada 16 dias) do sensor *MODIS* a bordo do satélite *TERRA*, tendo-se o cuidado de selecioná-las o mais próximo possível do período correspondente ao início e término de cada estação (Figura 4.2).

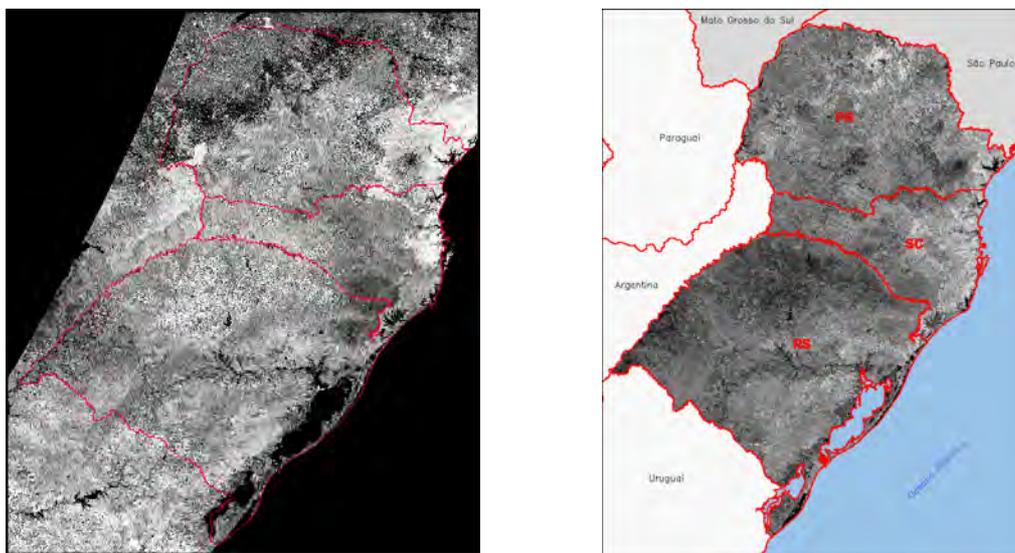


Figura 4.2 - Mosaico do índice de vegetação *EVI/MODIS* de setembro de 2008 e verão de 2009, com os limites dos estados da região Sul do Brasil.

Essas imagens *EVI/MODIS* foram obtidas na projeção sinusoidal, com um nível de quantização de 16 bits e em formato *HDF* (*Hierarchy Data Format*), Originalmente o produto índice de vegetação é formado por 11 bandas, sendo uma delas o *EVI*. Para a extração da banda *EVI*, reprojeção destas e geração

dos mosaicos para a região Sul do Brasil, em projeção UTM e formato *Geotiff*, foram utilizado o *software MODIS Reprojection Tool*.

Foram utilizados também:

- Mapas e dados de precipitações acumuladas, médias da área, coincidentes com as datas das imagens *EVI/MODIS*, para as quatro estações do ano; para o período de dezembro de 2000 a junho de 2009 disponíveis na homepage do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC do INPE (<http://www.inpe.br>), coincidentes com o mesmo período das imagens de anomalia de vegetação;
- Mapas de Índice de Precipitação Padronizada (SPI), gerados por Interpolação pelo Método de Cressman, para os meses com eventos de seca, mais significativos, para o período de dezembro de 2000 a junho de 2009 disponíveis na homepage do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (<http://www.inmet.gov.br>);
- Mapa das regiões geográficas do estado do Paraná (2008) baseado na Lei Estadual no. 15.825/08 e base cartográfica utilizada do SEMA (2007) disponível na homepage do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social - IPARDES (http://www.ipardes.gov.br/pdf/mapas/base_fisica/regioes_geograficas_2008_PR.pdf).
- Mapa das mesorregiões do estado de Santa Catarina do IBGE Herrmann (2005);
- Mapa das regiões fisiográficas do estado do Rio Grande do Sul do Inventário Florestal Contínuo, disponível em: <http://coralx.ufsm.br/ifcrs/fisiografia.htm#alto>.

5. METODOLOGIA

Do conjunto de imagens *EVI/MODIS* obtidas a cada 16 dias, referentes ao período de janeiro de 2001 a junho de 2009, foram extraídas as informações usadas para quantificar as áreas afetadas pela seca para cada estação do ano. Estas imagens deram origem a mosaicos da região Sul do Brasil de forma que esta pudesse ser analisada de maneira integrada.

O georreferenciamento e a geração destes mosaicos foram realizados utilizando o *software MRT (MODIS Reprojection Tool)* disponível em https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/tools/modis_reprojection_tool/

Os mosaicos foram agrupados por estação do ano e posteriormente se calcularam as médias de verdor da vegetação para cada estação e cada ano para todo o período analisado. Adicionalmente geraram-se as imagens de média e desvio padrão de referência para cada estação, para o período de dezembro de 2000 a junho de 2009.

Após gerar as imagens de referência, foram calculadas as imagens anomalias de vegetação por meio do cálculo do Índice de Vegetação Padronizado (*Standardize Vegetation Index - SVI*) conforme fórmula abaixo para as quatro estações, para o período de dezembro de 2000 a junho de 2009 para que se pudesse ter uma visão da distribuição espacial desse fenômeno para toda a região Sul do Brasil.

$$SVI_{valor} = \frac{\bar{X}_{valor} - \bar{X}_{referência}}{\sigma_{referência}}$$

onde:

\bar{X}_{valor} representa a média da estação para um determinado ano;

$\bar{X}_{referência}$ é a media de referência para a estação, ou seja, a média para o período de dezembro de 2000 a junho de 2009;

$\sigma_{referência}$ é o desvio padrão de referência para a estação do ano, isto é, desvio padrão para a média para o período de dezembro de 2000 a junho de 2009.

O cálculo das imagens anomalias foi realizado *pixel a pixel* e se obteve através da subtração da média da estação do ano e a média da imagem referência para cada estação dividida pelo desvio padrão da imagem referência.

Desta forma foram obtidos os valores de anomalia do verdor da vegetação para cada estação do ano do período em estudo para toda a região Sul do Brasil. A partir das imagens anomalia da vegetação é possível identificar e quantificar onde houve maior perda de verdor na vegetação, estando isto associado à maior ou menor presença de água na vegetação. A Figura 5.1 exemplifica bem a distribuição destes valores em uma situação de seca para o verão de 2008.

Foram também calculadas, em km², as áreas afetadas por anomalia de vegetação para toda a região Sul e para cada um dos estados, por estação do ano, para o período de dezembro de 2000 a junho de 2009.

Posteriormente foram coletados e analisados os mapas de precipitação acumulada (mm), média da área, para toda a região Sul do Brasil para o período de dezembro de 2000 a junho de 2009, para que se pudesse comparar

com as imagens de anomalia de vegetação e ter assim informações do comportamento da vegetação em função da distribuição das chuvas na região.

Foram coletados e analisados os mapas de desvio de Índice de Precipitação Padronizado - SPI, em relação à normal climatológica, gerados por interpolação pelo método de Cressman (default Cressman, disponível na homepage do INMET), para obter informações sobre a distribuição dos meses de ocorrência de seca/umidade na região Sul do Brasil, para o período de dezembro de 2000 a junho de 2009, para serem comparados com a distribuição e período de ocorrência das anomalias de vegetação.

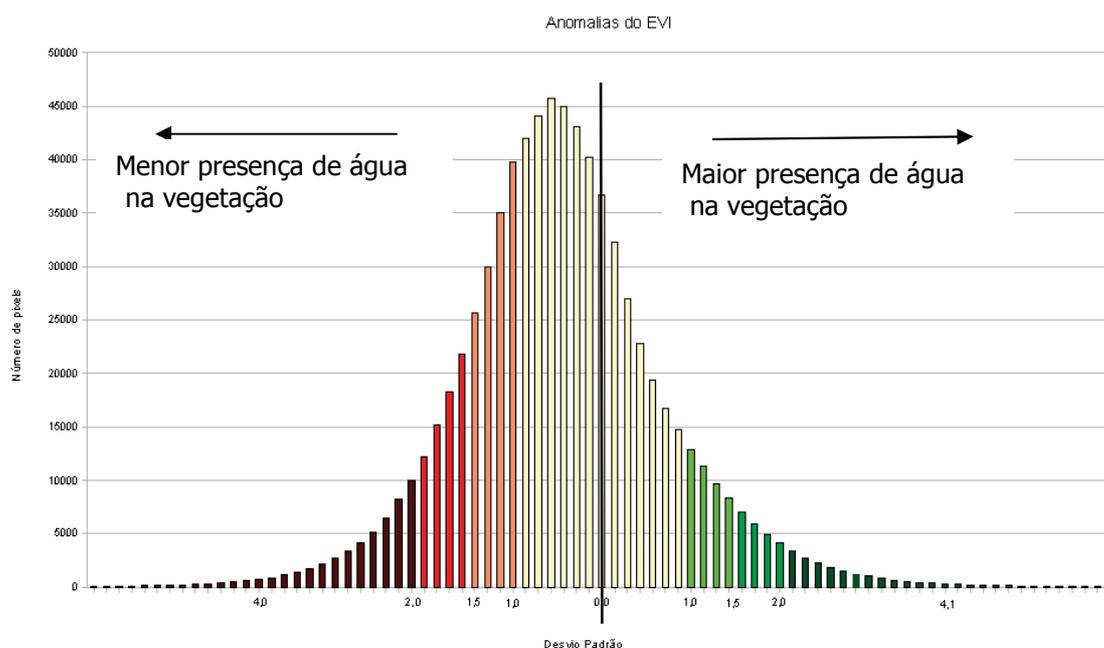


Figura 5.1 - Anomalia do Índice de Vegetação Melhorado - *EVI* para o verão de 2008. A média está em uma anomalia negativa igual a -0,6. Em uma distribuição normal perfeita 68,26% das ocorrências se concentrarão na área do gráfico demarcada por um desvio padrão à direita e um desvio padrão à esquerda da linha média; dois desvios padrão, para a direita e a esquerda da média, abrangem 95,44% das ocorrências e, 99,72% quando se demarca três desvios padrões.

De acordo com o INMET (2009) o índice de Precipitação Padronizado (*Standardized Precipitation Index - SPI*) foi formulado por Tom McKee e colaboradores em 1993 no *Colorado Climate Center – Colorado State University*. Seu objetivo é determinar um valor numérico para quantificar o déficit ou excesso de precipitação, em diferentes escalas de tempo, que possa ser comparado com outras regiões com climas bem distintos. Ele é baseado em um banco histórico de dados de chuva (mínimo 30 anos) e sobre a probabilidade da precipitação, para diferentes escalas de tempo, contribuindo para uma avaliação da severidade da seca. As diferentes escalas de tempo (SPI 1, 3, 6, 12 e 24 meses) refletem o impacto da seca sobre a disponibilidade das diferentes reservas de água:

- em pequena escala (Ex: mensal) - mais de interesse agrícola, tal como, umidade do solo para a agricultura;
- em escala de longo período (Ex: bi anual) - mais de interesse hidrológico, tal como os fluxos dos rios e os reservatórios.

O evento seca ocorre quando o SPI é igual ou menor a -1, quando o índice é positivo indica umidade, conforme os valores do Índice de Precipitação Padronizada - SPI e a categoria de seca, abaixo:

Valor de SPI	Categoria de Seca
2 e acima	Extremamente úmido
+1,50 a + 1,99	Muito úmido
+1,00 a + 1,49	Moderadamente úmido
-0,99 a + 0,99	Próximo a Normal
-1,00 a – 1,49	Moderadamente Seco
-1,50 a – 1,99	Severamente Seco
-2,00 e abaixo	Extremamente Seco

Neste estudo foi adotado o SPI1, que indica o total de precipitação do mês em estudo comparado com a normal e com a distribuição normal de uma média histórica de 30 anos do mês em questão.

Os mapas das regiões geográficas do Paraná, das mesorregiões de Santa Catarina e das regiões fisiográficas do Rio Grande do Sul foram utilizados para localizar as áreas de ocorrências das anomalias de vegetação (Figuras 5.2, 5.3 e 5.4).

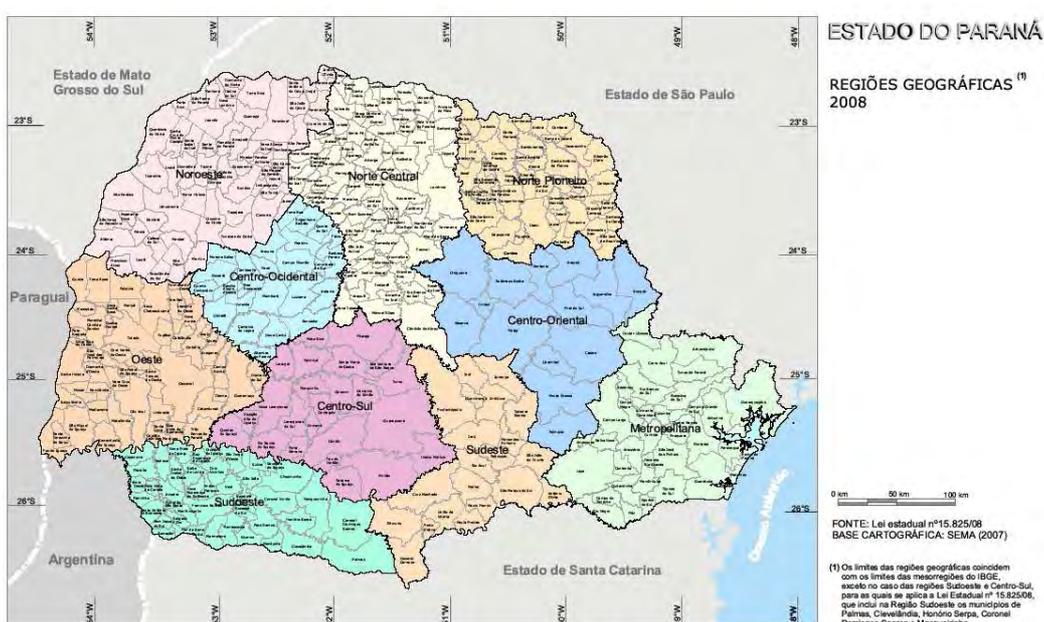


Figura 5.2 - Mapa das Regiões Geográficas do estado Paraná.
Fonte: IPARDES (2008).

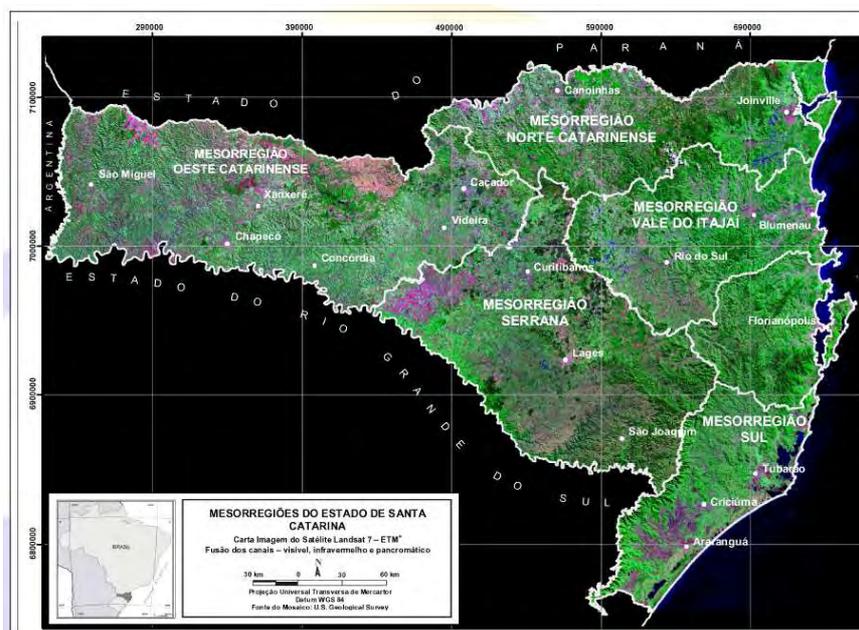


Figura 5.3 - Mapa das Mesoregiões do estado de Santa Catarina.
 Fonte: Hermann (2005).



Figura 5.4 - Mapa das Regiões Fisiográficas do Rio grande do Sul.
 Fonte: <http://coralx.ufsm.br/ifcrs/fisiografia.htm#alto>

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As imagens de anomalias da vegetação geradas a partir do *EVI/MODIS* representam as variações em desvios padrões com relação à média das imagens do período em estudo, elas indicam o verdor da vegetação, quanto menor o stress hídrico maior o valor da anomalia positiva da vegetação nas imagens. Conseqüentemente, aquelas áreas onde o valor de anomalia de vegetação for negativo correspondem a áreas de estiagem. Os valores mínimos e máximos de índice de anomalia de vegetação calculado neste estudo referem-se apenas ao período analisado.

Para representar os valores de anomalia de vegetação foram definidas as seguintes classes de desvio padrão:

	< -2,0 desvios padrão - estiagem de intensidade alta
	-2,0 a -1,5 desvios padrão - estiagem de intensidade média
	-1,5 a -1,0 desvios padrão - estiagem de intensidade baixa
	-1,0 a 1,0 desvios padrão - normal
	1,0 a 1,5 desvios padrão - vegetação com verdor baixo
	1,5 a 2,0 desvios padrão - vegetação com verdor médio
	> 2,0 desvios padrão - vegetação com verdor alto

Salienta-se que as imagens de anomalia de vegetação geradas representam a média do *EVI* da região Sul do Brasil, assim os resultados refletem uma condição regional.

A Figura 6.1 apresenta uma visão de conjunto da distribuição das imagens de anomalia de vegetação para o período de dezembro de 2000 a junho de 2009 nas quatro estações do ano. Estas imagens refletem a anomalia de vegetação para cada estação do ano. As áreas afetadas por anomalias negativas de vegetação, indicativas de ocorrência de estiagem, são identificadas nas

imagens pelas tonalidades de vermelho destacando-se das outras regiões, de tonalidades amarelo claro e verde, indicativas de áreas de anomalias positivas de vegetação, onde não ocorre estiagem.

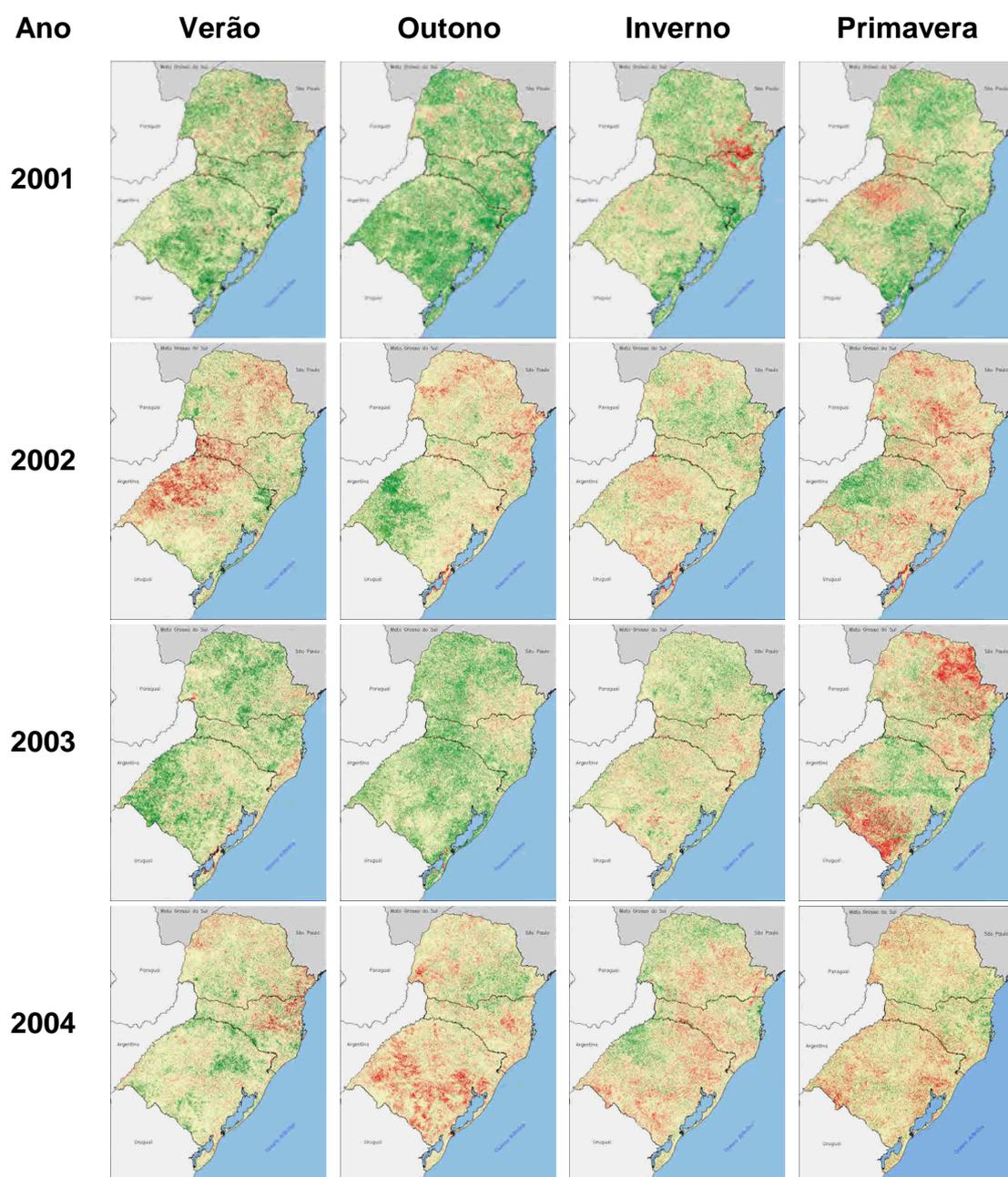


Figura 6.1 - Mapas de anomalias de vegetação para o período de dezembro de 2000 a junho de 2009.

(continua)

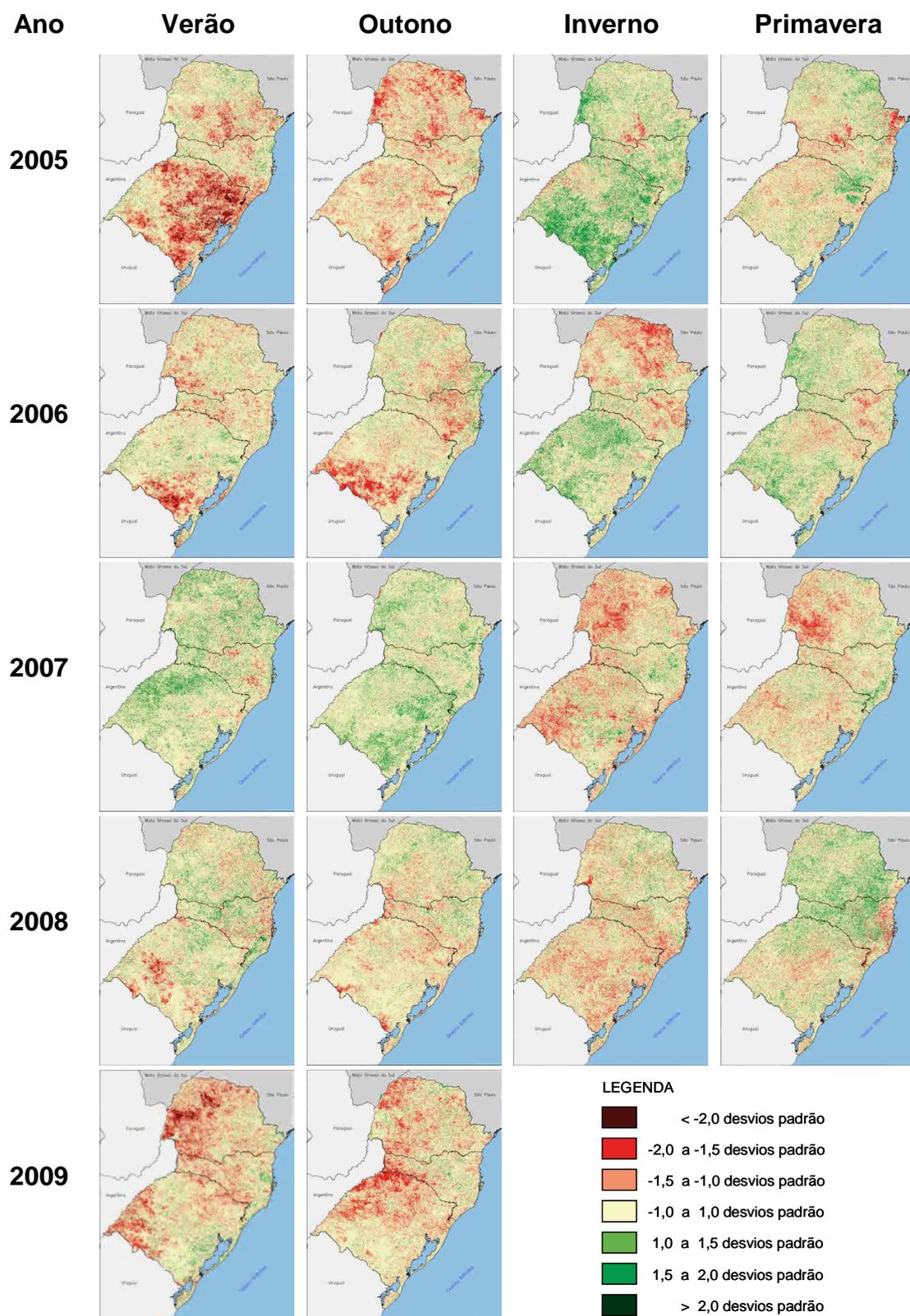


Figura 6.1 - Conclusão.

Analisando os dados da Figura 6.1 não foi possível identificar um padrão na distribuição espacial da área atingida pelas anomalias negativas de vegetação indicativas de estiagem, mas foi possível identificar que na maioria das vezes os episódios de estiagem ocorreram no verão e no outono.

Com relação à área de ocorrência deste fenômeno nos três estados, observa-se que:

- No Paraná em geral as anomalias negativas de vegetação ocorreram no Norte Pioneiro e Central, Noroeste e Oeste;
- Em Santa Catarina elas ocorreram principalmente no Oeste, Norte Catarinense, Grande Florianópolis e parte da região Serrana;
- Já no Rio Grande do Sul em geral estão localizadas na Campanha, Missões, Serra e Encosta do Sudeste e parte do Alto Uruguai, porém em anos mais severos, como 2005, chegaram a cobrir a maior parte da área do estado.

Observa-se também que o ano de 2001 foi o que apresentou as menores extensões de áreas afetadas por anomalias negativas de vegetação, a maior parte do ano a vegetação apresenta-se exuberante. Apenas pequenas porções no Sudeste paranaense e no Norte Catarinense no inverno e no Alto Uruguai no Rio Grande do Sul e no Oeste Catarinense na primavera, apresentam áreas de anomalias negativas de vegetação. Este ano destaca-se por apresentar a vegetação com índices de anomalias de vegetação positivos em vários pontos da região Sul, principalmente no outono que é quando praticamente os três estados apresentam várias áreas com índice de anomalias positivas de médio a alto.

É a partir de 2002 que se pode observar com mais freqüência, nas imagens, a ocorrência de áreas de anomalias negativas de vegetação em toda a região Sul, com maior ou menor intensidade em diferentes estações do ano.

A Tabela 6.1 apresenta o percentual de áreas afetadas por anomalias negativas de vegetação nos três estados da Região Sul do Brasil, para as quatro estações do ano, no período de dezembro de 2000 a junho de 2009.

Tabela 6.1 - Percentual da área afetada por anomalias negativas de vegetação na região Sul do Brasil para as quatro estações do ano no período de dezembro de 2000 a junho de 2009.

Ano	Verão		Outono		Inverno		Primavera	
	Área		Área		Área		Área	
	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²
2001	6,75	40.435	4,82	28.149	8,29	48.220	9,15	51.435
2002	16,77	96.055	11,18	67.020	15,57	88.469	20,01	116.294
2003	5,65	32.581	3,73	21.842	10,94	61.386	22,05	131.053
2004	9,94	58.890	21,73	123.159	16,34	92.927	15,46	88.692
2005	33,33	187.726	26,64	156.564	6,98	40.284	14,28	82.112
2006	19,02	110.456	23,08	131.117	15,02	90.986	12,17	68.477
2007	6,77	38.971	5,19	30.170	27,76	162.025	19,26	112.312
2008	15,64	89.755	19,23	109.184	25,16	143.088	13,98	78.188
2009	34,34	198.857	28,55	163.871	--		--	

Legenda:

- mais de 30% de área afetada por anomalias negativas de vegetação - estiagem de intensidade alta;
- 25% a 30% de área afetada por anomalias negativas de vegetação - estiagem de intensidade média;
- 20% a 25% de área afetada por anomalias negativas de vegetação - estiagem de intensidade baixa.

Analisando a Tabela 6.1 se observa que na região Sul ocorreram anomalias negativas de vegetação, indicativas de estiagem, variando de intensidade baixa a alta, nos seguintes períodos:

- Primavera de 2002;
- Primavera de 2003;
- Outono de 2004;
- Verão e outono de 2005;
- Outono 2006;
- Inverno de 2007;
- Inverno de 2008;
- Verão e outono de 2009.

A estação do ano que apresentou maior frequência de áreas de anomalias negativas de vegetação foi o outono (2004, 2005, 2006 e 2009), porém a estação onde estas anomalias ocorreram com maior intensidade foi o verão, 2005 e 2009, em especial este último, chegando a cobrir 33,33% (187.726 km²) e 34,34% (198.857 km²) da área da região Sul, respectivamente.

Observa-se também que nestes dois anos a estiagem de alta intensidade no verão foi seguida por uma estiagem de média intensidade no outono, cobrindo 26,64% (156.564 km²) em 2005 e 28,55% (163.871 km²) em 2009, o que fez com que a estiagem tivesse uma duração de pelo menos seis meses na região.

Na tabela 6.1 observa-se também que 2001 foi o único ano em que os percentuais de áreas afetadas por anomalias negativas de vegetação estiveram bem abaixo de 20%, nos três estados, o que indica que neste ano a vegetação apresentou altos índices de verdor, conforme pôde ser observado na Figura 6.1, este foi o único ano que não apresentou problemas de estiagem.

A análise dos percentuais de áreas afetadas por anomalias negativas de vegetação para cada um dos estados da região Sul do Brasil, nas quatro estações do ano, no período de dezembro de 2000 a junho de 2009, possibilita um melhor entendimento da dinâmica deste fenômeno (Tabela 6.2).

Analisando os dados da Tabela 6.2 observa-se que para os três estados da região Sul do Brasil os anos de 2005 e de 2009 foram os que apresentaram os maiores percentuais de áreas afetadas por anomalias negativas de vegetação para o período analisado, corroborando assim o comportamento já observado para a região.

Tal como observado na Tabela 6.2, o outono é a estação que mais apresentou áreas com anomalias negativas de vegetação, com destaque para o Rio Grande do Sul onde estas ocorreram nos anos de 2004, 2005, 2006, 2008 e 2009, porém com a intensidade da estiagem variando de baixa a média. Já Santa Catarina apresentou áreas de anomalias negativas de vegetação em 2005, 2006, 2008 e 2009, com a estiagem de intensidade baixa e alta. O Paraná apresentou área de anomalias negativas de vegetação nos anos de 2005 e 2009 com intensidade variando de média a alta.

Nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul as áreas de anomalias negativas de vegetação ocorreram no verão, outono e inverno, já o estado do Paraná apresentou áreas com anomalias para todas as estações do ano, porém com menos frequência que nos dois outros estados. Neste estado em geral as áreas de anomalias negativas de vegetação ocorreram apenas em dois anos para cada estação, mas, pelos menos em três ocasiões (outono de 2005, inverno de 2007 e verão de 2009) elas indicam estiagem de alta intensidade.

Tabela 6.2 - Percentual de áreas afetadas por anomalias negativas de vegetação nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul para as quatro estações do ano no período de dezembro de 2000 a junho de 2009.

PR	Verão		Outono		Inverno		Primavera	
	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²
2001	11,84	23.589	6,89	13.734	11,00	21.917	6,30	12.549
2002	16,34	32.564	19,98	39.824	10,53	20.986	22,96	45.770
2003	5,91	11.777	5,43	10.831	6,34	12.635	31,35	62.483
2004	15,81	31.506	12,23	24.370	13,08	26.069	13,07	26.058
2005	19,95	39.771	35,47	70.688	7,87	15.691	15,04	29.983
2006	20,49	40.836	15,73	31.359	29,32	58.445	9,33	18.603
2007	7,50	14.939	6,14	12.243	31,04	61.857	21,94	43.725
2008	13,17	26.256	14,49	28.885	19,40	38.660	6,68	13.308
2009	34,41	68.580	27,44	54.688	-	-	-	-
SC	Verão		Outono		Inverno		Primavera	
	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²
2001	6,74	6.422	6,66	6.350	11,12	10.600	12,47	11.893
2002	20,30	19.359	11,78	11.236	13,57	12.942	19,64	18.725
2003	6,24	5.952	4,86	4.637	13,07	12.462	13,45	12.828
2004	11,35	10.817	16,00	15.259	18,61	17.745	13,26	12.644
2005	35,96	34.284	24,06	22.940	8,70	8.292	17,56	16.746
2006	16,21	15.454	20,92	19.947	14,23	13.569	18,39	17.531
2007	8,93	8.518	5,32	5.072	20,10	19.169	15,42	14.700
2008	12,99	12.389	21,06	20.085	26,52	25.284	15,63	14.906
2009	27,36	26.088	31,48	30.012	--	--	--	--
RS	Verão		Outono		Inverno		Primavera	
	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²
2001	3,70	10.424	2,86	8.065	5,57	15.703	9,58	26.994
2002	15,66	44.132	5,66	15.960	19,36	54.540	18,38	51.799
2003	5,27	14.853	2,26	6.375	12,88	36.289	19,78	55.742
2004	5,88	16.567	29,65	83.530	17,43	49.113	17,74	49.990
2005	40,34	113.671	22,34	62.937	5,79	16.301	12,56	35.383
2006	19,23	54.166	28,33	79.811	6,73	18.972	11,48	32.343
2007	5,51	15.514	4,56	12.854	28,75	80.998	19,13	53.887
2008	18,14	51.110	21,37	60.215	28,09	79.144	17,74	49.974
2009	36,98	104.189	28,10	79.171	--	--	--	--

Legenda:

- mais de 30% de área afetada por anomalia de vegetação - estiagem de intensidade alta;
- 25% a 30% de área afetada por anomalia de vegetação - estiagem de intensidade média;
- 20% a 25% de área afetada por anomalia de vegetação - estiagem de intensidade baixa.

Somente o estado do Paraná apresentou percentual de área de anomalias negativas de vegetação indicativa de estiagem de alta intensidade no inverno (2007) e na primavera (2003). Na primavera as áreas de anomalias negativas de vegetação chegaram a 31,35% (62.483 km²) e no inverno atingiram 31,04% (61.857 km²) sendo seguida por uma estiagem de baixa intensidade na primavera, que chegou a 21,94% (43.725 km²) da área do estado. Também apenas o estado do Paraná apresentou, na primavera, áreas de anomalias negativas de vegetação indicativas de estiagem, com intensidade baixa e alta. Nos outros estados ocorreram, nesta estação, somente percentuais de anomalias próximos a 20%.

Analisando os anos de 2005 e 2009 observa-se que:

- O estado do Paraná foi o que apresentou o menor percentual de áreas de anomalias negativas de vegetação, no verão de 2005, chegando a 19,95% da sua área, o equivalente a 39.771 km², podendo ser considerada uma estiagem de intensidade baixa. Já o Rio Grande do Sul, para todo o período analisado, foi o estado que apresentou a maior área de ocorrência de anomalias de vegetação, chegando a 40,34%, conforme mencionado acima;
- Enquanto os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul apresentaram percentuais de áreas de anomalias negativas de vegetação, indicativos de estiagem de alta intensidade no verão, chegando a 35,96% (34.284 km²) e 40,34% (113.671 km²) de sua área, respectivamente, no estado do Paraná, estas áreas de anomalia de vegetação indicativa de estiagem de alta intensidade ocorreram apenas no outono, chegando a 35,47% do seu território, o equivalente a 70.688 km²;

- Em 2005 tanto no estado de Santa Catarina como no Rio Grande do Sul, as áreas de anomalias negativas de vegetação, indicativas de estiagem de alta intensidade no verão foram, posteriormente, seguidas, no outono, por áreas de anomalias indicativas de estiagem de intensidade baixa. Assim, estes dois estados tiveram pelo menos seis meses de áreas de anomalias de vegetação indicativas de estiagem;
- Em 2009, novamente foi o Rio Grande do Sul que apresentou o maior percentual de área de anomalias negativas de vegetação chegando a 36,98% de sua área, o equivalente a 104.189 km²;
- Neste mesmo ano os estados do Paraná e Rio Grande do Sul apresentaram anomalias negativas de vegetação indicativas de estiagem de alta intensidade no verão, seguida de áreas de anomalias de intensidade média no outono. Já o estado de Santa Catarina foi ao contrário, no verão as áreas de anomalias foram indicativas de intensidade média e no outono de intensidade alta. Porém, nos três estados as áreas de anomalias de vegetação indicativas de estiagem ocorreram por duas estações, ou seja, seis meses.

Para entender com mais propriedade os eventos de estiagem que ocorreram na região do Sul Brasil no período de dezembro de 2000 a junho de 2009 foram analisados dados de precipitação acumulada - média da área, para cada estação do ano (Tabela 6.3).

Tabela 6.3 - Precipitação acumulada - média da área na região Sul do Brasil para o período de dezembro de 2000 a junho de 2009.

Ano	Precipitação (mm)			
	Verão	Outono	Inverno	Primavera
2001	582,1	424,1	247,0	464,4
2002	417,1	402,1	326,5	634,3
2003	585,2	296,0	162,9	459,9
2004	346,1	532,0	183,1	471,0
2005	280,6	484,2	335,7	473,9
2006	363,5	203,3	212,9	412,6
2007	605,1	334,9	251,6	476,9
2008	431,3	346,2	308,9	426,2
2009	427,1	236,1		

Legenda:

-  100 a 200 mm - valores muito baixos de precipitação acumulada -média da área;
-  200 a 250 mm - valores baixos de precipitação acumulada - média da área;
-  250 a 350 mm - valores médios de precipitação acumulada - média da área;
-  + de 600 mm - valores muito altos de precipitação acumulada -média da área;

Analisando a Tabela 6.3 observa-se que:

- De todos as estações analisadas, o inverno de 2003 foi a que apresentou o menor valor de precipitação acumulada - média da área, com apenas 162,9 mm, seguida pelo inverno de 2004 com 183,1 mm;
- A primavera de 2002 foi a estação que apresentou os maiores valores de precipitação acumulados, médias da área, para todo o período analisado chegando a 634,3 mm, seguida pelo verão de 2007 com 605,1 mm;

- A estação que apresentou os menores valores de precipitação acumulada para todo o período analisado foi o inverno, principalmente nos anos de 2003, 2004, 2006 e 2007;
- Apenas a primavera não apresentou grandes variações e nem valores baixos de precipitação acumulada – média da área, para todo o período analisado;
- O inverno foi a estação que apresentou a maior frequência de valores baixos de precipitação acumulada para todo o período analisado. Em cinco anos ocorreram valores abaixo de 300 mm de precipitação acumulada, anos, ou seja, na mesma estação, num período de 9 anos ocorreram cinco episódios onde a precipitação acumulada esteve abaixo das médias observadas em outros anos, para a região Sul;
- No verão de 2004 e 2005 as médias de precipitação acumulada para a área não foram as menores médias para todo o período analisado neste estudo, porém, estes valores foram considerados baixos se comparados com os valores apresentados em outros anos para esta estação, que normalmente apresentou valores bem mais altos para todo o período analisado;
- Analisando de forma conjunta as tabelas 6.1 e 6.3 observa-se que apesar de o inverno ser a estação que apresentou os menores valores de precipitação acumulada - média da área, para o período analisado, foi no verão que ocorreram os dois grandes episódios de estiagem na região Sul do Brasil, para o período analisado.

A Figura 6.2 apresenta os mapas com a distribuição da precipitação acumulada - média da área para a região Sul do Brasil, para as quatro estações do ano no período de dezembro de 2000 a junho de 2009.

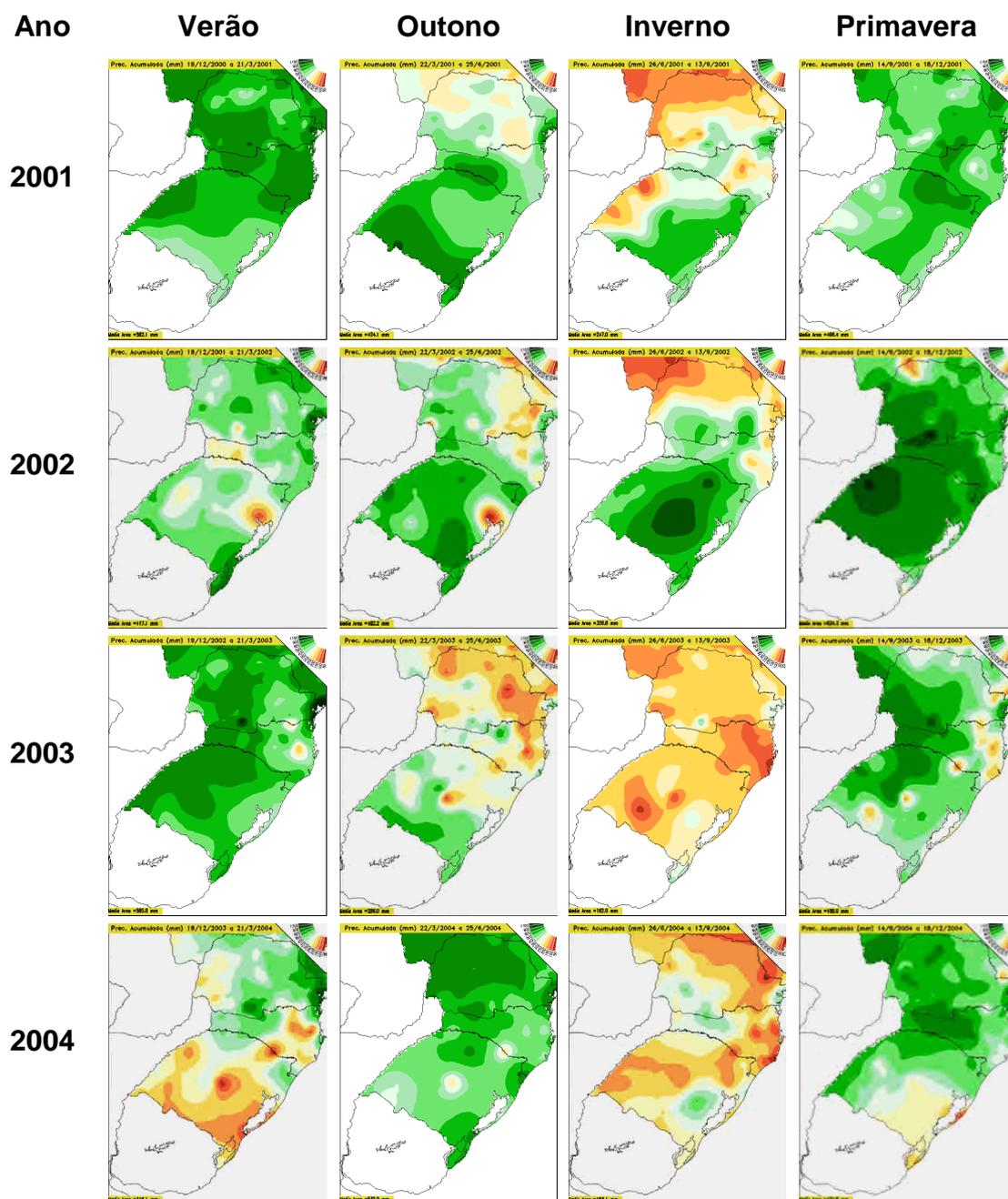


Figura 6.2 - Mapas de distribuição da precipitação acumulada – média da área na região Sul, por estação, para o período de dezembro de 2000 a junho de 2009.

Fonte: INPE/CPTEC (2009).

(continua)

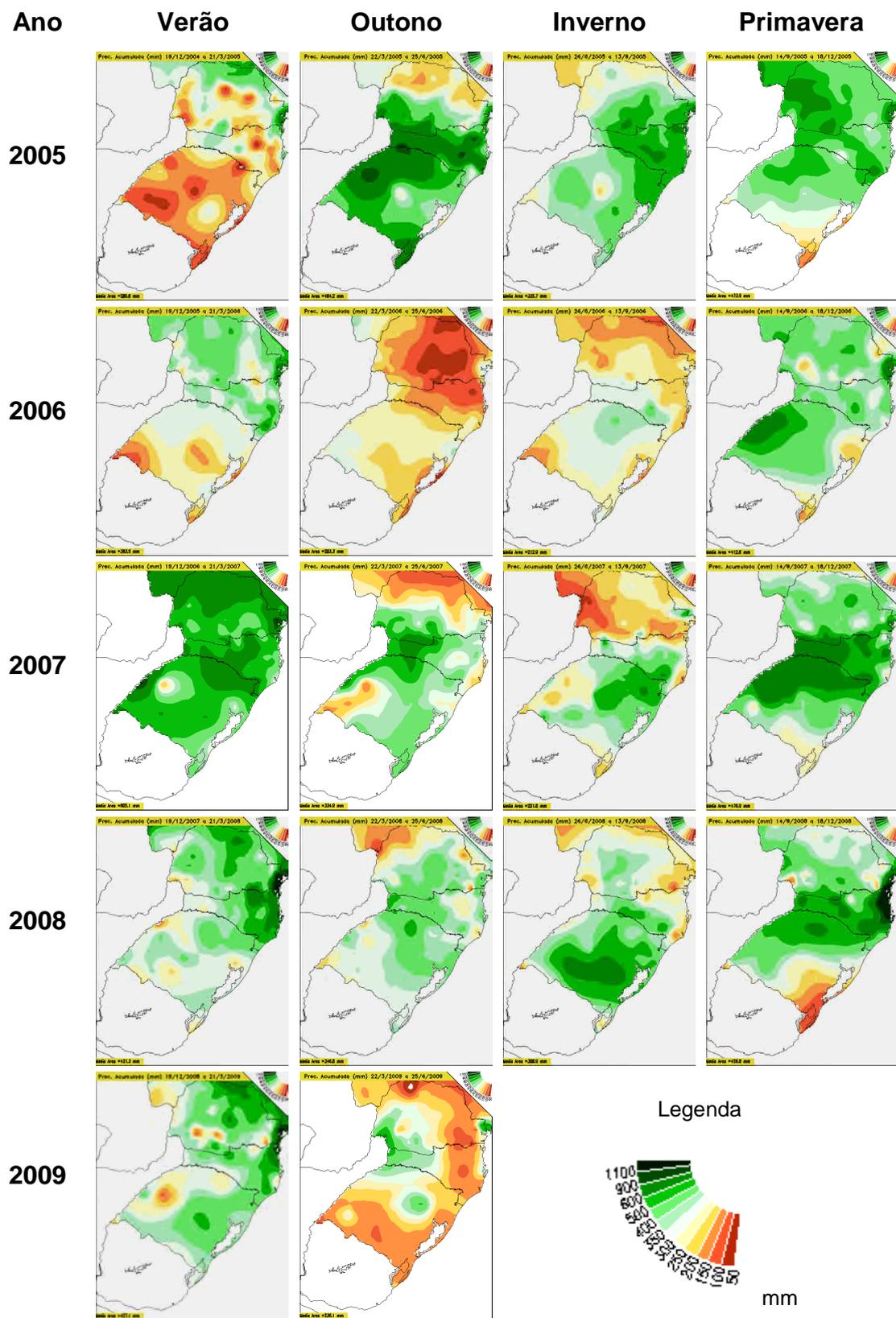


Figura 6.2 – Conclusão.

Analisando de forma conjunta as imagens de anomalias de vegetação, os mapas de precipitação acumulada, os mapas de precipitação padronizada e a Tabela 6.3 observam-se o seguinte:

6.1 Ano 2001

Este ano apresentou valores de precipitação acumulada normais para todo o ano, mas no inverno ocorreram áreas com baixos valores de precipitação acumulada - média da área, principalmente no estado do Paraná. O Norte Pioneiro, o Norte Central e o Noroeste foram as regiões que apresentaram os menores valores de precipitação acumulada, variando de 100 a 250 mm.

Na região das Missões e parte da Campanha no Rio Grande do Sul e em parte do Vale do Itajaí e da região Serrana, em Santa Catarina também ocorreram áreas com baixos valores de precipitação acumulada variando de 100 a 250 mm.

Em 2001, em todas as estações do ano, os percentuais de área afetada por anomalias negativas de vegetação estiveram muito abaixo dos 20%, nos três estados, assim este foi considerado um ano normal sem problemas de estiagem. Conforme pode ser observado na Figura 6.3, no verão a vegetação apresenta tonalidades de verde referente à anomalia de vegetação variando entre a normal e anomalias positivas (desvio padrão de 1 a >2) indicando, portanto, ausência de estiagem.

No outono houve uma diminuição no volume de precipitação acumulada no Norte Pioneiro e Central, Noroeste, Centro-Oriental do Paraná e parte da região Metropolitana de Curitiba, com os menores valores variando de 250 a 300 mm.

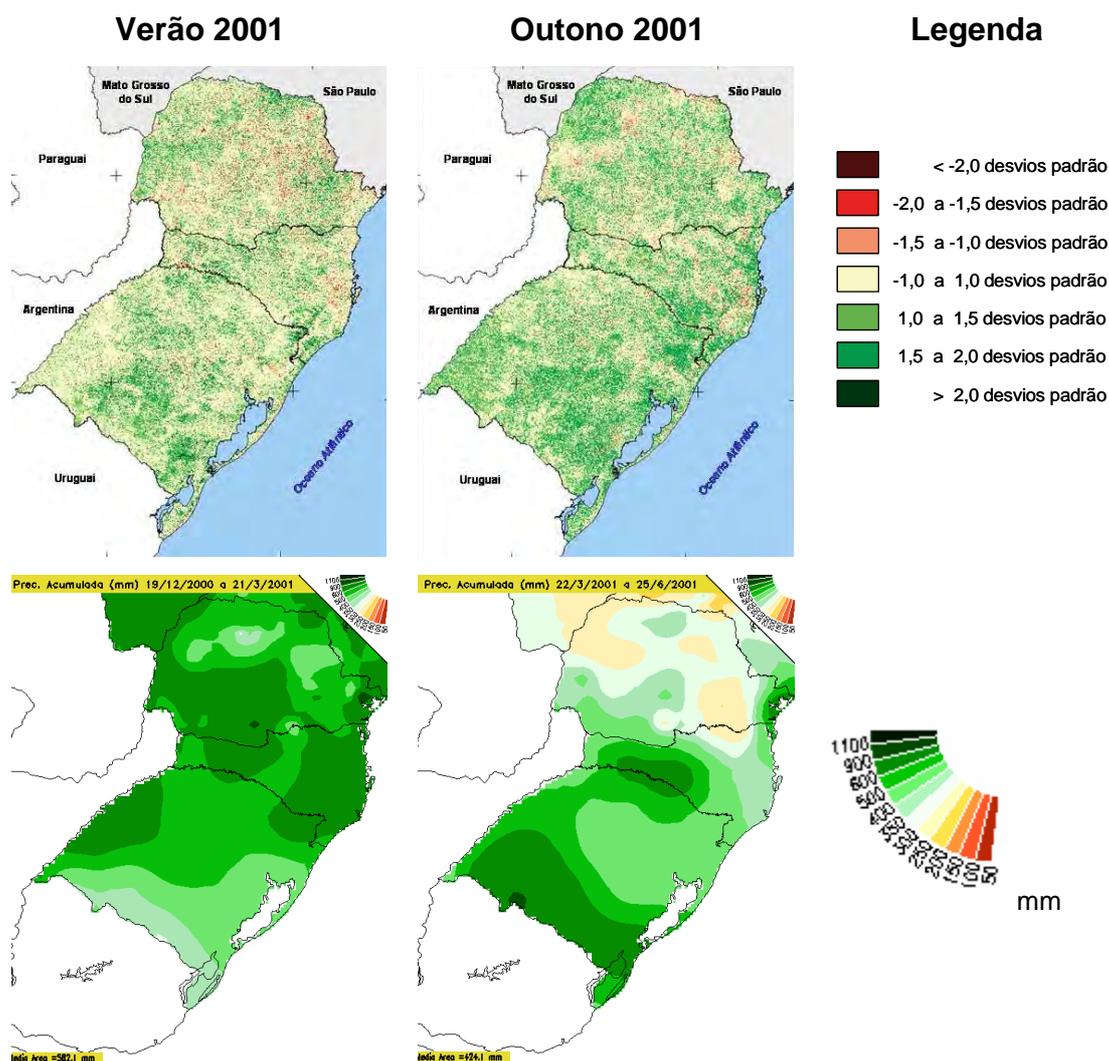


Figura 6.3 - Imagens de anomalias de vegetação e mapas de precipitação acumulada da região sul do Brasil do verão e outono de 2001.

Porém, esta diminuição de chuvas não se refletiu na vegetação nesta estação, uma vez que não só o estado, mas também toda a região Sul apresentam uma maior ocorrência de áreas com anomalias positivas de vegetação do que a observada no verão, indicando a ausência de estiagem. Isto acabou refletindo na vegetação no inverno, como pode ser visto na Figura 6.4, que apresenta as imagens de anomalia de vegetação e os mapas de precipitação acumulada para o inverno e primavera de 200.

Conforme pode ser visto na Figura 6.4 no inverno uma pequena área na região metropolitana de Curitiba, sul da região Centro-Oriental e Sudeste paranaense apresentam, de forma mais concentrada, áreas de anomalias negativas de vegetação, indicativas de áreas de estiagem. Esta área coincide com a área de baixos valores de precipitação acumulada observada no mapa de precipitação de outono da Figura 6.3, conforme já mencionado.

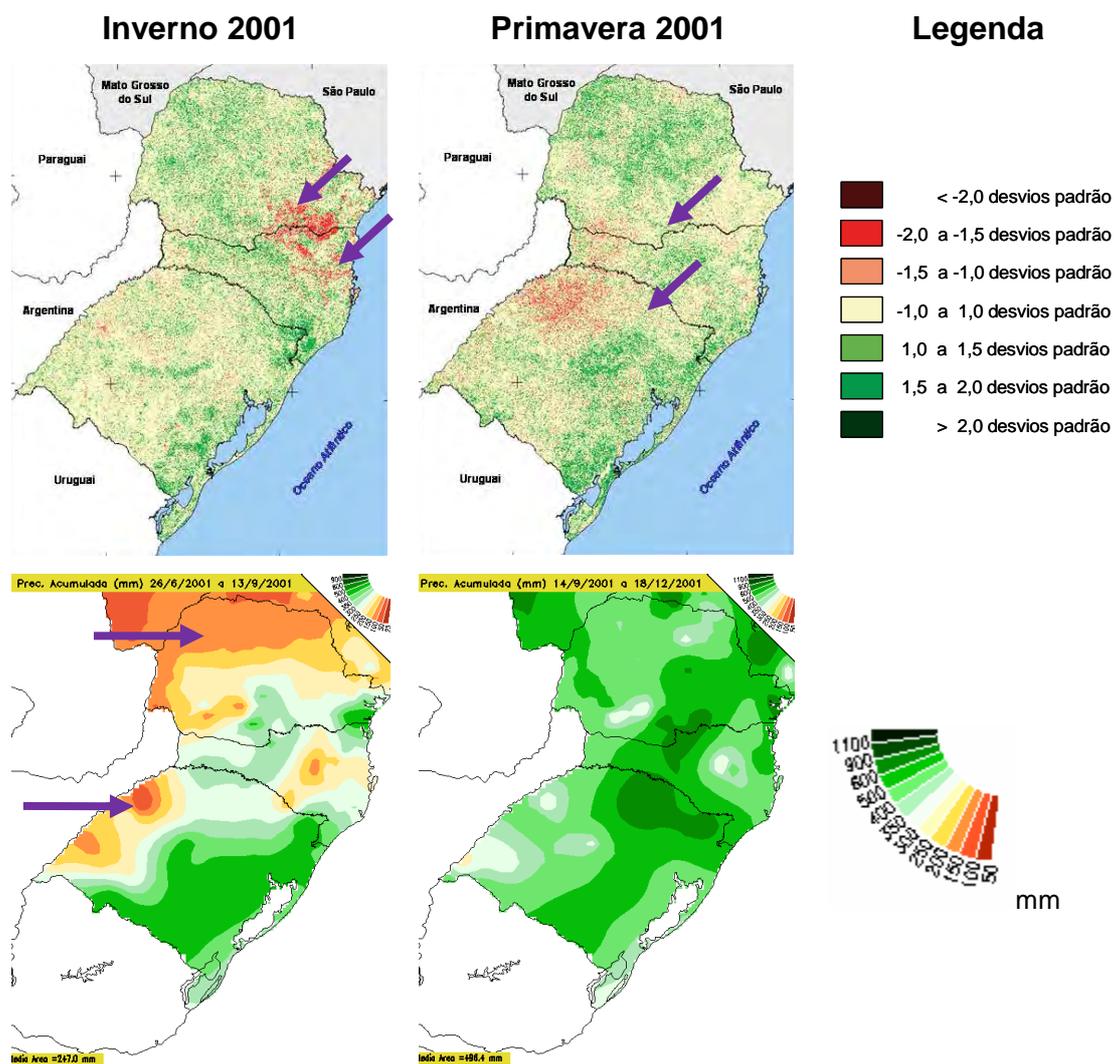


Figura 6.4 - Imagens de anomalias de vegetação e mapas de precipitação acumulada da região sul do Brasil do inverno e primavera de 2001.

Em uma pequena área do Norte Catarinense e Vale do Itajaí também ocorrem estas áreas, mas não tão concentradas como no Paraná. Isto coincide com alguns valores mais baixos de precipitação acumulada (150 a 300 mm), que ocorreram nesta região.

Salienta-se que em todo o nordeste, norte e oeste do Paraná e oeste do Rio Grande do Sul são observados valores mais baixos de precipitação (150 a 300 mm) no inverno, mas isto não reflete na vegetação que não apresentou áreas de anomalias negativas de vegetação nas regiões mencionadas. A Figura 6.5 apresenta o mapa de índice de precipitação padronizada - SPI para o mês de agosto de 2001.

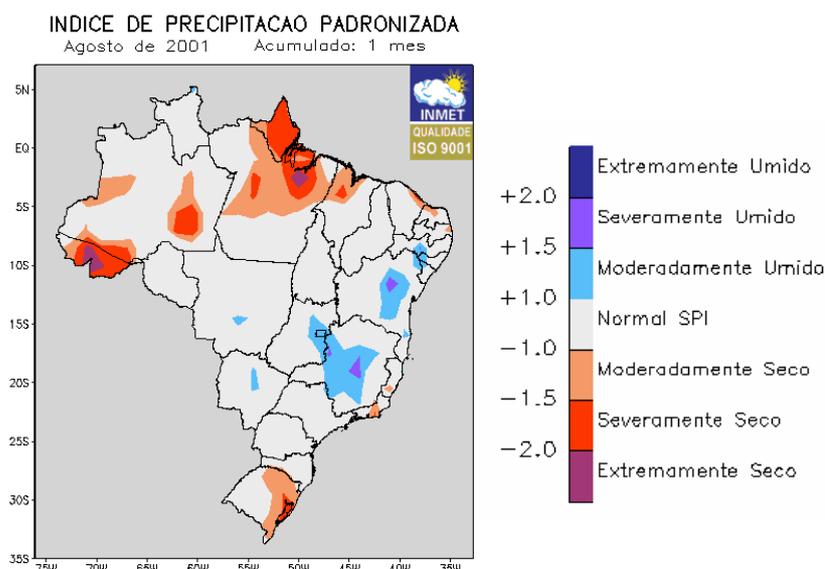


Figura 6.5 - Mapa de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para o mês de agosto de 2001.

Fonte: INMET (2009).

Observa-se na Figura 6.5 que no mês de agosto (inverno) os estados do Paraná e Santa Catarina estão dentro da normal SPI e que apenas a porção leste do Rio Grande do Sul apresentou índices negativos de moderadamente seco a severamente seco.

Na primavera pode-se observar áreas de anomalias negativas de vegetação, de forma mais concentrada, na região das Missões no Rio Grande do Sul e no Oeste catarinense. Isto provavelmente é reflexo dos baixos valores de precipitação ocorridos nestas regiões no inverno e que são visíveis na imagem apenas na estação seguinte.

Sabe-se que, dependendo do tipo de vegetação e de solo, a capacidade de retenção de água aumenta ou diminuiu, assim é possível que baixos valores de precipitação venham refletir em anomalias negativas de vegetação, apenas depois de um certo período de ausência de chuvas, com alguns meses de atraso em relação ao mapa de precipitação acumulada.

6.2 Ano 2002

Em 2002 em todas as estações do ano os percentuais de áreas afetadas por anomalias negativas de vegetação estiveram mais altos que em 2001. A Figura 6.6 apresenta as imagens de anomalia de vegetação e os mapas de precipitação acumulada para o verão e o outono deste ano.

Analisando a imagem de anomalia de vegetação para o verão de 2002 observa-se uma grande área de anomalias negativas de vegetação, indicativa de estiagem de intensidade média a alta, em parte da região da Campanha, Missões e parte do Alto Uruguai no Rio Grande do Sul e na maior parte do Oeste Catarinense. Observa-se também a ocorrência de anomalias negativas em uma pequena área na região do Norte Pioneiro, Centro-Oriental e Centro-Sul do Paraná. A maior parte da região Sul apresentou índices de anomalia de vegetação dentro da normal, com algumas pequenas áreas dispersas de ocorrência de anomalias positivas de vegetação nos Campos de Cima da Serra no Rio Grande do Sul e no Oeste do Paraná, como pode ser visto na Figura 6.6.

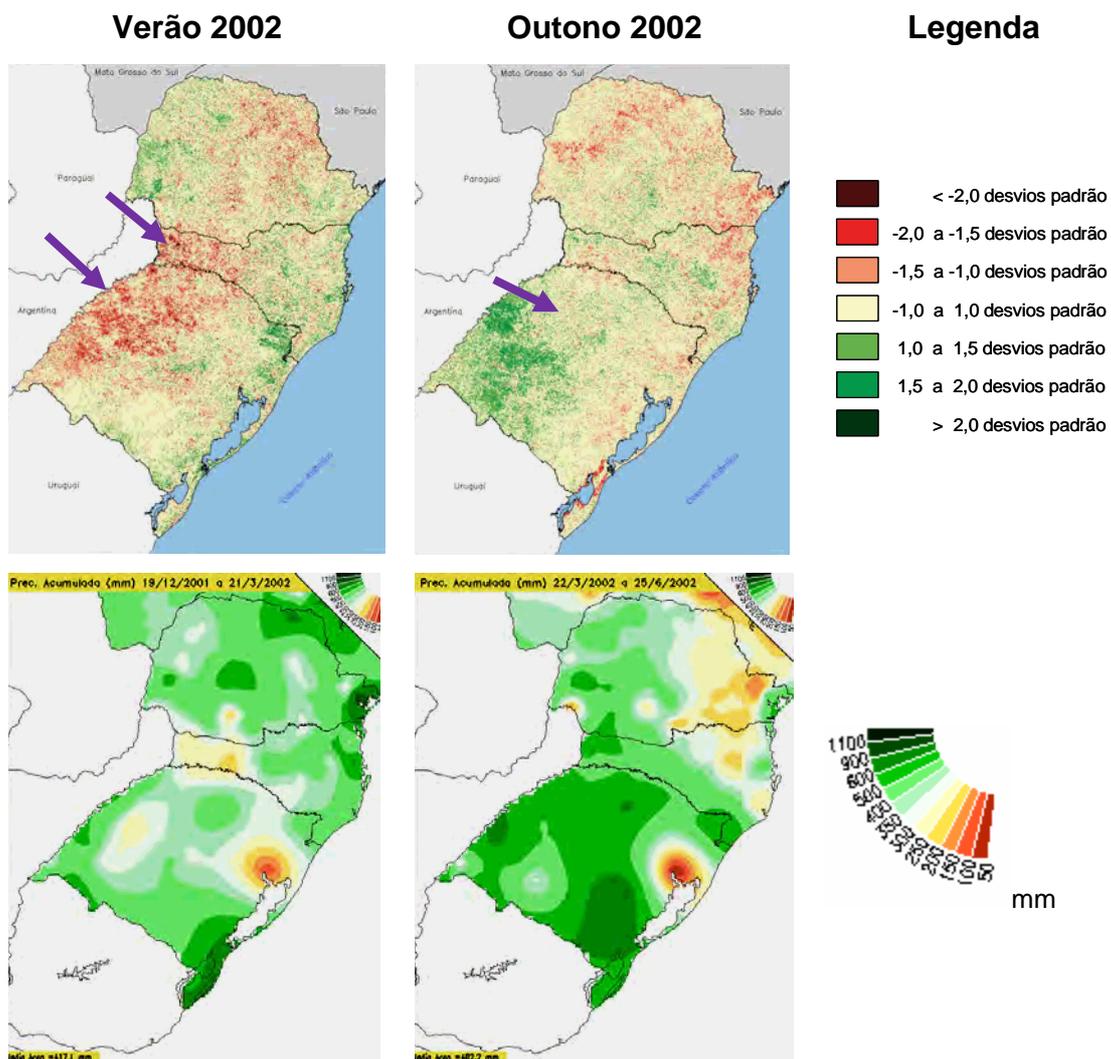


Figura 6.6 - Imagens de anomalias de vegetação e mapas de precipitação acumulada da região sul do Brasil do verão e outono de 2002.

Nesta estação os valores de precipitação ficaram entre 300 e 600 mm na maior parte da região Sul, com pequenas áreas no litoral sul do Rio Grande do Sul, área Metropolitana de Curitiba e Norte Pioneiro do Paraná onde os valores chegaram a 900 mm. Chama-se atenção também para algumas áreas com valores de precipitação acumulada mais baixos, entre 100 e 300 mm, na região metropolitana de Porto Alegre, na região das Missões gaúcha e no Oeste catarinense.

Esta distribuição da precipitação coincide com as áreas de ocorrência de anomalias negativas de vegetação no Oeste de Santa Catarina, mas não explicam totalmente as áreas de anomalias de vegetação na região das Missões e Alto Uruguai, no Rio Grande do Sul. Porém, analisando o mapa de Índice de Precipitação Padronizada - SPI (Figura 6.7) observa-se que no mês de dezembro de 2001, em parte das regiões das Missões, os índices ficaram entre moderadamente seco e severamente seco. Isto deve ter refletido na vegetação, com um certo atraso, no verão de 2002.

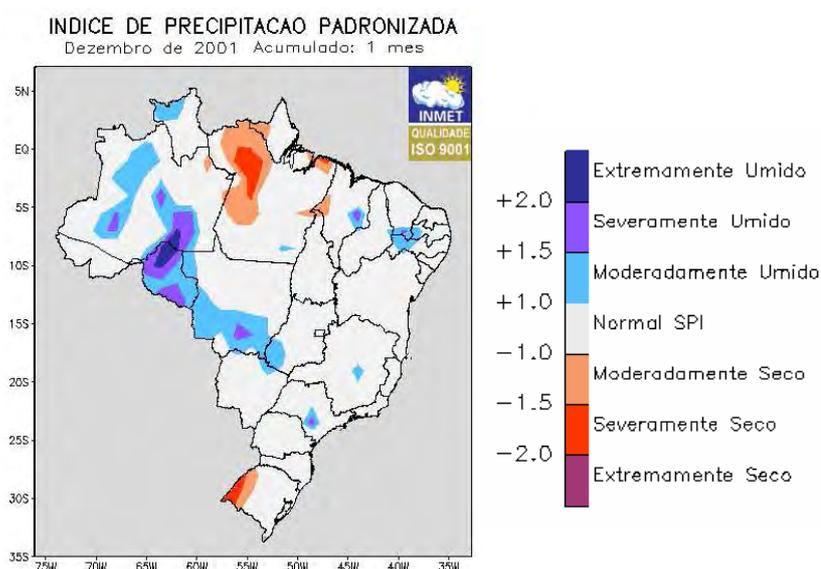


Figura 6.7 - Mapa de Índice de Precipitação Padronizada (SPI) para o mês de dezembro de 2001.
Fonte: INMET (2009).

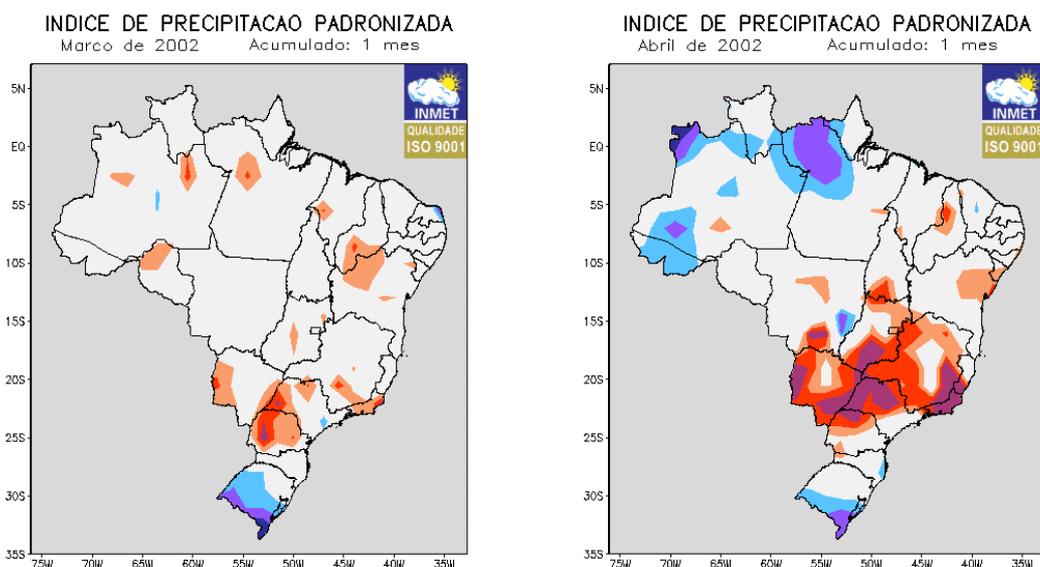
Já no outono observa-se uma situação praticamente oposta ao verão, a região das Missões no Rio Grande do Sul, onde no verão ocorreram anomalias negativas de vegetação, nesta estação apresenta anomalias positivas de vegetação com índices acima da normal variando de verdor de intensidade baixa a alta. Na maior parte da região Sul as anomalias de vegetação correspondem a normal, não havendo portanto variação na vegetação.

O Oeste de Santa Catarina, que no verão apresentou áreas de anomalias negativas de vegetação, no outono apresentou valores dentro da normal com algumas pequenas manchas de anomalias positivas. O Norte Catarinense e o Vale do Itajaí apresentaram pequenas áreas, dispersas, de anomalias negativas de vegetação. No Paraná, pequenas áreas de anomalias negativas de vegetação, indicativas de estiagem, ocorreram na região metropolitana de Curitiba e no Noroeste do estado.

Comparando-se o resultado acima com o mapa de precipitação acumulada para esta estação observa-se que os valores de precipitação foram elevados (300 a 900 mm) para toda a região, em especial no Rio Grande do Sul. O mapa de Índice de Precipitação Padronizada - SPI (Figura 6.8) para o mês de Março de 2002 indica que em mais da metade do território deste estado os índices estiveram entre extremamente úmido a moderadamente úmido, o poderia explicar os valores de anomalias de vegetação variando entre a normal e anomalias positivas na região das Missões e parte da Campanha gaúcha.

Já na porção leste de Santa Catarina e Paraná e na região Metropolitana de Porto Alegre, os valores de precipitação acumulada - média da área foram mais baixos que no restante da região Sul, variando entre 100 e 300 mm conforme observado anteriormente na Figura 6.6.

Nos mapas da Figura 6.8 pode-se observar que a maior parte do território do estado do Paraná, apresentou índices de precipitação padronizada - SPI indo de moderadamente seco a extremamente seco, no mês de março, sendo que os índices mais severos se localizaram na porção Oeste do estado. No mês de abril a porção Norte do estado apresentou estes mesmos índices, sendo que uma pequena porção apresentou índice de extremamente seco.



Legenda:



Figura 6.8 - Mapas de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para os meses de março e abril de 2002.
Fonte: INMET (2009).

Estes índices de precipitação padronizada - SPI poderiam, juntamente com as áreas de baixa precipitação acumulada para esta estação, explicar a ocorrência de áreas de anomalias negativas de vegetação no Paraná e Santa Catarina. Nota-se que a área de ocorrência de anomalias de vegetação no Paraná é bem menos significativa que a área onde ocorreram índices de precipitação padronizada de seca no mês de março, mas estes índices referem-se apenas ao mês de março e as imagens de anomalias de vegetação referem-se à média da estação.

Além disso, sabe-se que dependendo do tipo de vegetação e do tipo do solo a planta leva certo tempo para responder a falta de água, pois ela é capaz de retê-la, assim como o solo. Assim, mesmo que ocorra um mês com precipitações muito baixas, seu reflexo muitas vezes só será observado nas imagens *EVI/MODIS* com um ou mais meses de atraso.

A Figura 6.9 apresenta as imagens de anomalia de vegetação e os mapas de precipitação acumulada para o inverno e a primavera de 2002, onde pode-se observar que no inverno as áreas de anomalias negativas de vegetação estenderam-se por toda a região Sul, com algumas áreas mais significativas na Campanha, Serra e Encosta do Sudeste, Depressão Central, Missões e Planalto Médio no Rio Grande do Sul. Em Santa Catarina as áreas de anomalias negativas de vegetação distribuíram-se por todo o estado e no Paraná localizaram-se principalmente em parte do Noroeste, Norte Central, Centro-Occidental e Oeste, formando como um corredor entre a porção extrema da região Noroeste do estado, que apresentou áreas de anomalias positivas de vegetação e as outras regiões mencionadas.

Já nas regiões Metropolitana de Curitiba, Sudeste, Centro-Sul e Sudoeste do Paraná foram observadas áreas de anomalias positivas de vegetação, indicando a ausência de estiagem. Em Santa Catarina em parte da região da Grande Florianópolis, Vale do Itajaí e Norte Catarinense também foram observadas áreas de anomalias positivas de vegetação.

Analisando os mapas de precipitação acumulada para o inverno de 2002 observa-se que no Rio Grande do Sul os valores de precipitações ficaram entre 400 e 1100 mm, ou seja, bastante altos, principalmente na porção central. Esta foi a estação que apresentou os maiores índices de precipitação acumulada - média da área (634,4 mm) para todo o período analisado neste estudo.

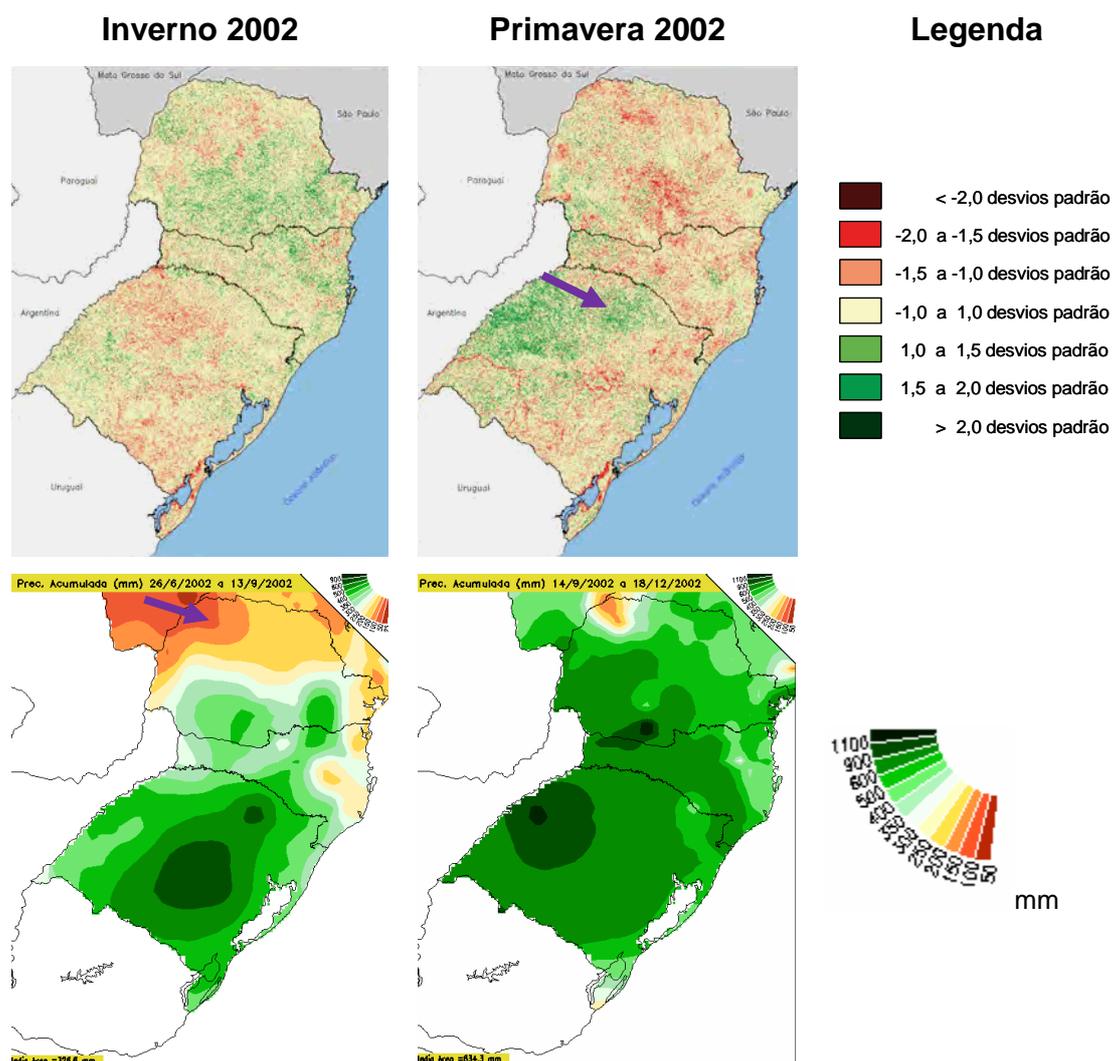


Figura 6.9 - Imagens de anomalias de vegetação e mapas de precipitação acumulada da região Sul do Brasil para o inverno e a primavera do ano de 2002.

Estes altos valores de precipitação acumulada por si só não justificariam a ocorrência das áreas de anomalias negativas de vegetação na região, mas deve ser lembrado que os estados do Sul do Brasil caracterizam-se por diversidade nos tipos de vegetação e solos que ai ocorre, o que deve influenciar nas informações obtidas nas imagens.

Na maior parte de Santa Catarina as precipitações estiveram entre 300 e 900 mm e no Paraná em mais da metade do estado as precipitações acumuladas estiveram entre 100 e 300 mm, muito aquém dos valores apresentados pelos outros dois estados.

No estado do Paraná, principalmente, as áreas de ocorrência de anomalias negativas de vegetação coincidiram com as áreas onde os valores de precipitação acumulada foram mais baixos, assim como as áreas de ocorrência de anomalias positivas de vegetação coincidem com as áreas onde os valores de precipitação acumulada são mais altos.

A Figura 6.10 apresenta o mapa de índice de precipitação padronizada - SPI para o mês de junho de 2002.

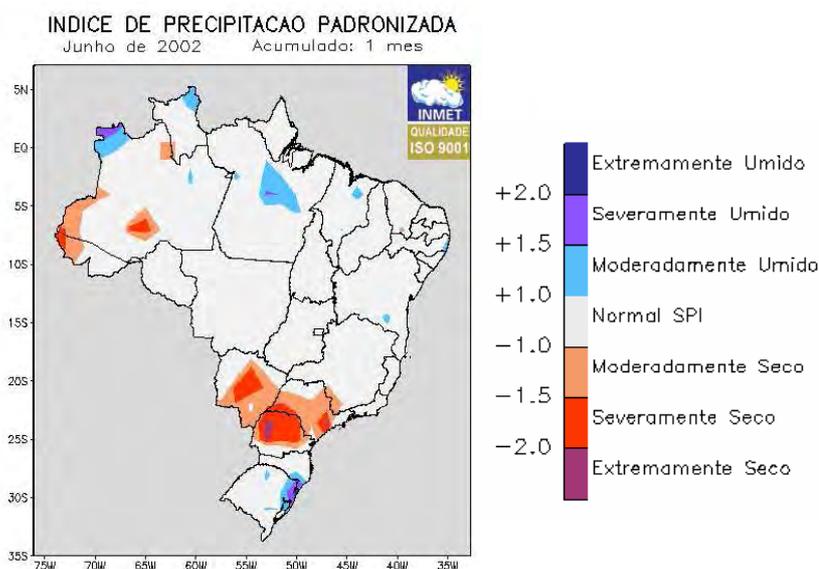


Figura 6.10 - Mapa de Índice de Precipitação Padronizada (SPI) para o mês de junho de 2002.

Fonte: INMET (2009).

Como pode ser observado na Figura 6.10, a maior parte do território do estado do Paraná, no mês de junho, apresentou índices de precipitação padronizado entre moderadamente seco a extremamente seco e sua área de ocorrência coincide com as áreas de menor precipitação acumulada e com as principais áreas de anomalias negativas de vegetação já observadas na Figura 6.9.

Na primavera de 2002 as áreas de anomalias negativas de vegetação corresponderam a 20,01% da região Sul do Brasil, indicando a presença de estiagem de intensidade baixa e estas se espalharam por toda a região Sul do Brasil. São nesta estação que podem ser observadas as áreas de estiagem mais significativas no Paraná coincidindo com as áreas de baixos valores de precipitação acumulada e áreas de SPI seco que ocorreu na estação anterior.

No estado de Santa Catarina há um aumento da área de ocorrência de áreas de anomalias negativas de vegetação, atingido todo o seu território. Já o Rio Grande do Sul apresenta uma significativa área de anomalias positivas de vegetação na região das Missões e parte do Alto Uruguai, mostrando uma recuperação da vegetação em presença das maiores precipitações que ocorreram na estação anterior e principalmente na primavera, que estiveram entre 600 e 1100 mm. A Figura 6.11 apresenta o mapa do índice de precipitação padronizada - SPI para o mês de outubro de 2002.

Analisando a Figura 6.11 observa-se que no Rio Grande do Sul o SPI esteve entre moderadamente úmido a extremamente úmido, sendo que este último ocorreu na região das Missões e parte do Alto Uruguai coincidindo com as áreas de anomalias positivas de vegetação.

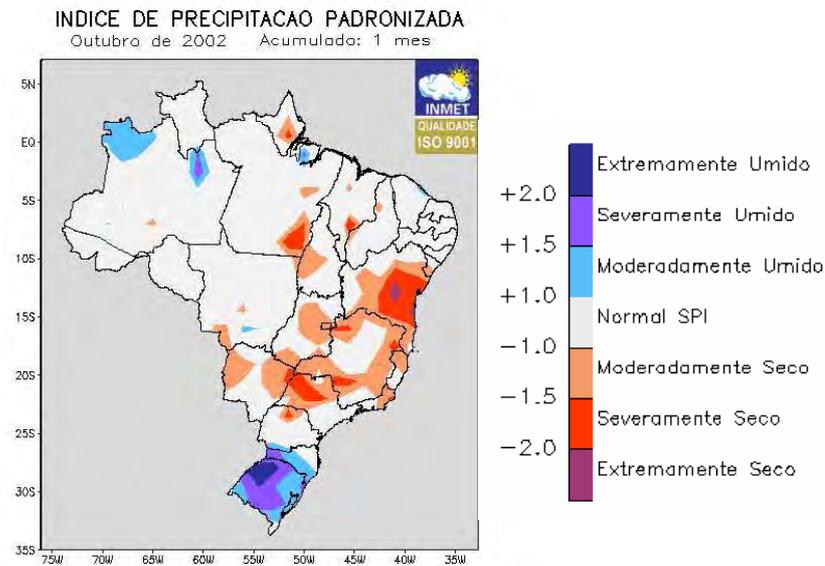


Figura 6.11 - Mapa de Índice de Precipitação Padronizada (SPI) para o mês de outubro de 2002.
Fonte: INMET (2009).

6.3 Ano 2003

Comparando os valores de precipitação acumulada - média da área apresentados anteriormente na Tabela 6.3, observa-se que o verão de 2003 apresentou valores elevados, variando de 400 mm a acima 1.100 mm, sendo que a média da estação foi 585,2 mm. Já o outono e o inverno deste ano apresentaram valores bem mais baixos, 296 mm e 162,9 mm, respectivamente, sendo este último o menor valor de precipitação acumulada - média da área observado para todo o período analisado.

A Figura 6.12 apresenta as imagens de anomalia de vegetação e os mapas de precipitação acumulada do verão e outono de 2003.

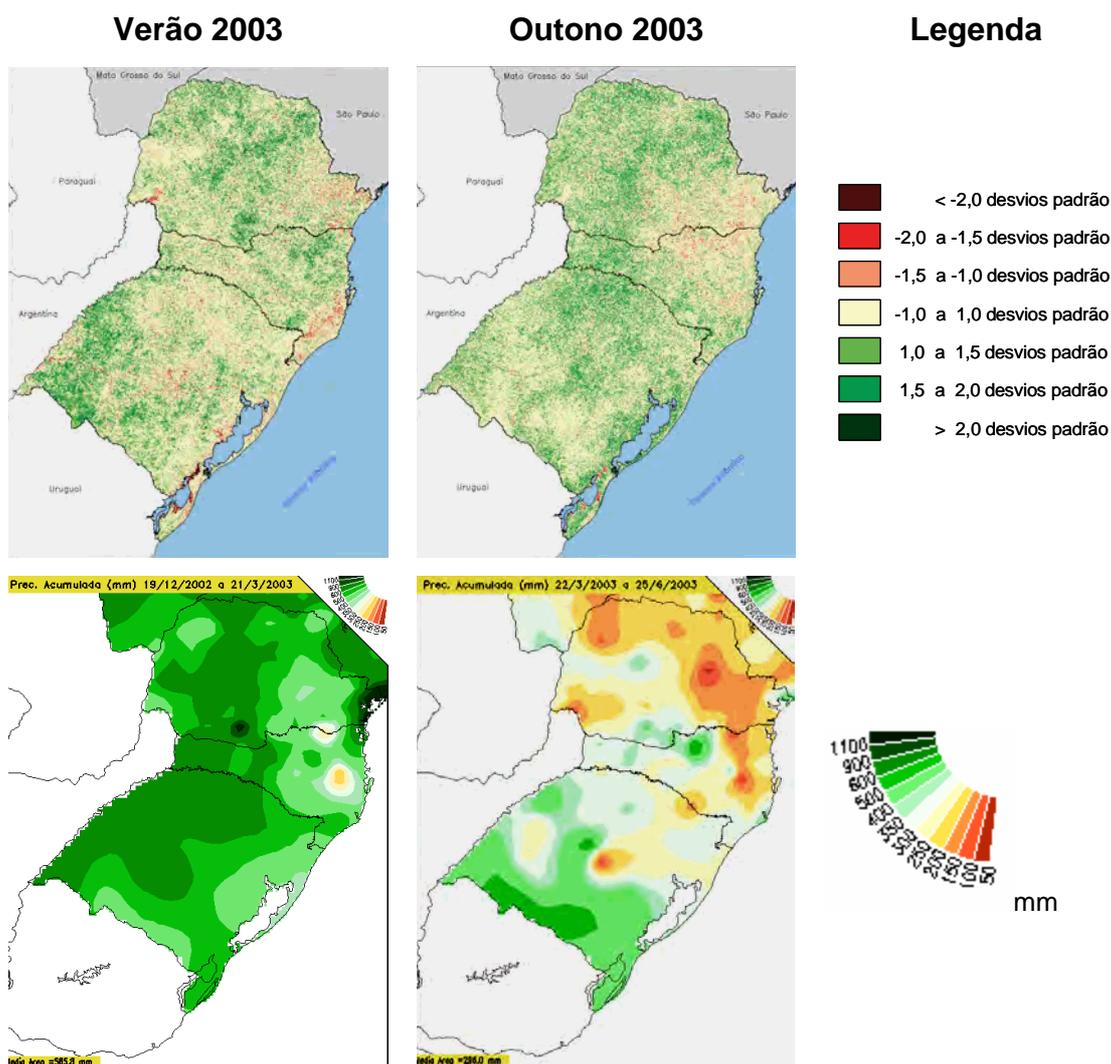


Figura 6.12 - Imagens de anomalia de vegetação e mapas de precipitação acumulada para o verão e outono de 2003.

Como o verão de 2003 apresentou altos valores de precipitação é natural que nesta estação tenham na região Sul do Brasil várias áreas de anomalias positivas de vegetação, principalmente na porção oeste-sudoeste do Rio Grande do Sul, região das Missões e Campanha e em partes das regiões Sudeste, Centro-Sul, Centro-Ocidental, Norte Pioneiro e Central e Noroeste do Paraná. Em Santa Catarina as áreas de anomalias positivas de vegetação, ocorreram em parte do Vale do Itajaí e Norte Catarinense.

Apesar de os valores de precipitação acumulada - média da área do outono (296 mm) ter sido bem menor que no verão isto não se refletiu na vegetação. Provavelmente devido aos altos valores de precipitação ocorridos no verão, ainda é possível observar-se áreas de anomalias positivas de vegetação no outono, indicando ausência de estiagem, em praticamente todo o estado do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

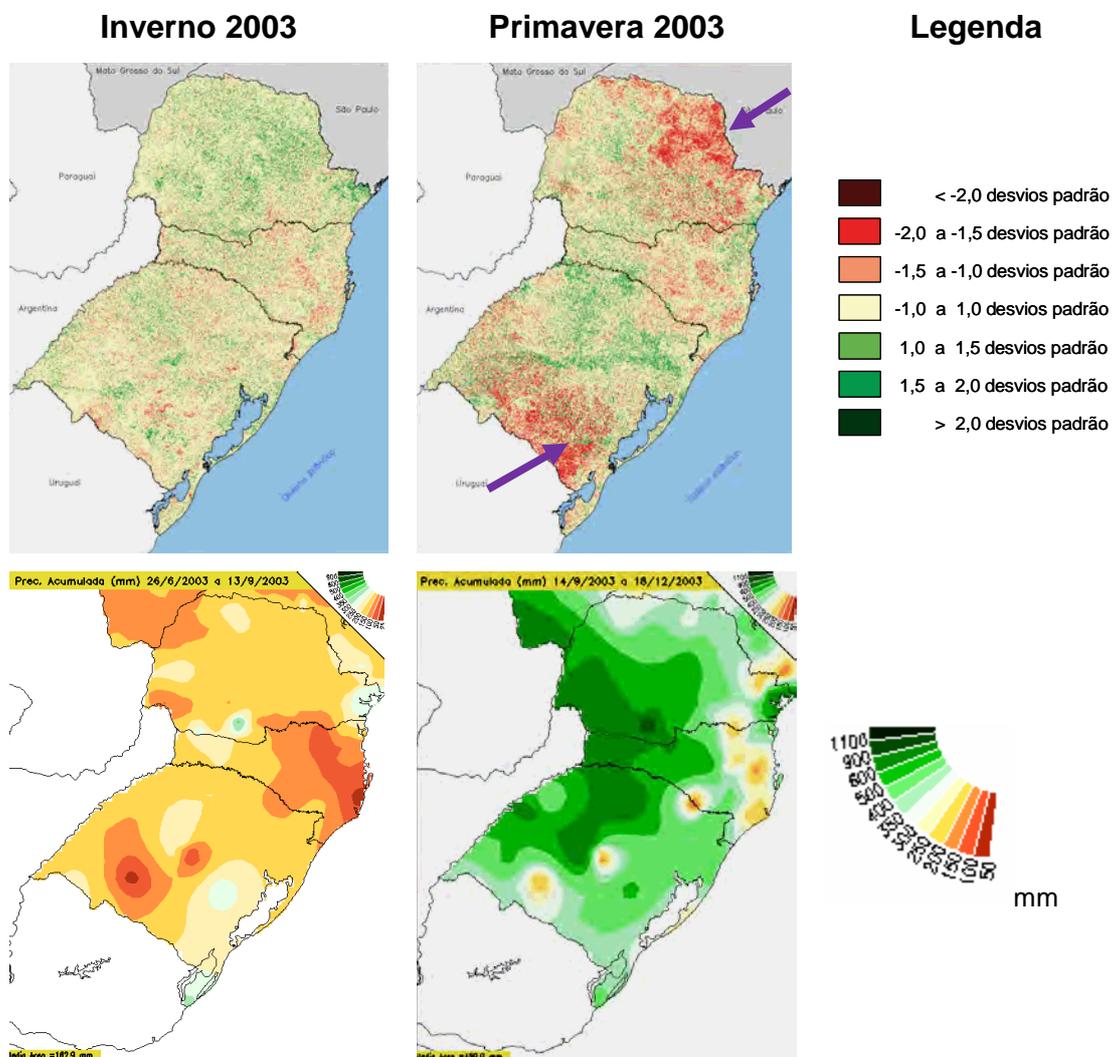
No outono os valores de precipitação acumulada variaram de 100 a 250 mm, na porção leste de Santa Catarina e Rio Grande do Sul e praticamente em todo o estado do Paraná.

Analisando os mapas de precipitação acumulada - média da área (Figura 6.13) para o inverno e primavera de 2003, observa-se que o primeiro apresentou baixos valores de precipitação acumulada para toda a região Sul, variando de 50 a 250 mm, com ênfase em parte da Campanha gaúcha e na porção leste do estado de Santa Catarina onde ocorreram os menores valores. Como já mencionado este foi a estação que apresentou os menores de precipitação acumulada para todo o período analisado. No inverno predominaram em toda a região valores de anomalia de vegetação dentro da normal.

Em contrapartida na primavera os valores de precipitação acumulada foram bem mais altos para toda a região Sul. Destaca-se toda a porção oeste dos três estados onde as precipitações variaram de 500 a 1100 mm. Já em toda porção leste de Santa Catarina os valores de precipitação acumulada foram bem mais baixos, variando entre 100 e 350 mm.

A resposta da vegetação aos baixos valores de precipitação acumulada, ocorridos no outono na região norte do Paraná e, de forma acentuada, em toda região Sul no inverno, puderam ser observada apenas na primavera, ou seja, na estação seguinte. Nesta última estação as áreas de anomalia de vegetação representaram 22,05% da

área da região Sul do Brasil o equivalente a 131.053 km², correspondendo a uma estiagem de intensidade baixa.



Elas ocorreram de forma concentrada em dois extremos da região Sul:

- Na região do Norte Pioneiro e Centro Oriental paranaense (31,35% da área do estado, o equivalente a 62.483 km²) no estado do Paraná;
- Na região da Encosta e Serra do Sudeste e Campanha no Rio Grande do Sul (19,78% da área do estado, o equivalente a 55.742 km²), que tradicionalmente enfrenta problemas de abastecimento de água e de estiagem.

A Figura 6.14 apresenta os mapas de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para os meses de julho, agosto, setembro, novembro e dezembro de 2003, onde se pode observar que no mês de julho a porção oeste do Rio Grande do Sul e parte da região da Campanha e Missões, apresentaram SPI moderadamente seco, assim como uma pequena área na região metropolitana de Florianópolis, estando o restante da região Sul dentro da normal.

No mês de agosto toda a porção leste do estado de Santa Catarina e, entre a fronteira deste estado com o Rio Grande do Sul até a área metropolitana de Porto Alegre, o SPI variou de moderadamente seco a severamente seco. Todo o restante da região Sul ficou dentro da normal.

Já no mês de setembro todo o estado do Rio Grande do Sul e mais da metade do estado de Santa Catarina apresentou SPI moderadamente seco, com duas manchas de SPI severamente seco no centro do Rio Grande do Sul e na região do Alto Uruguai, na fronteira com Catarina.

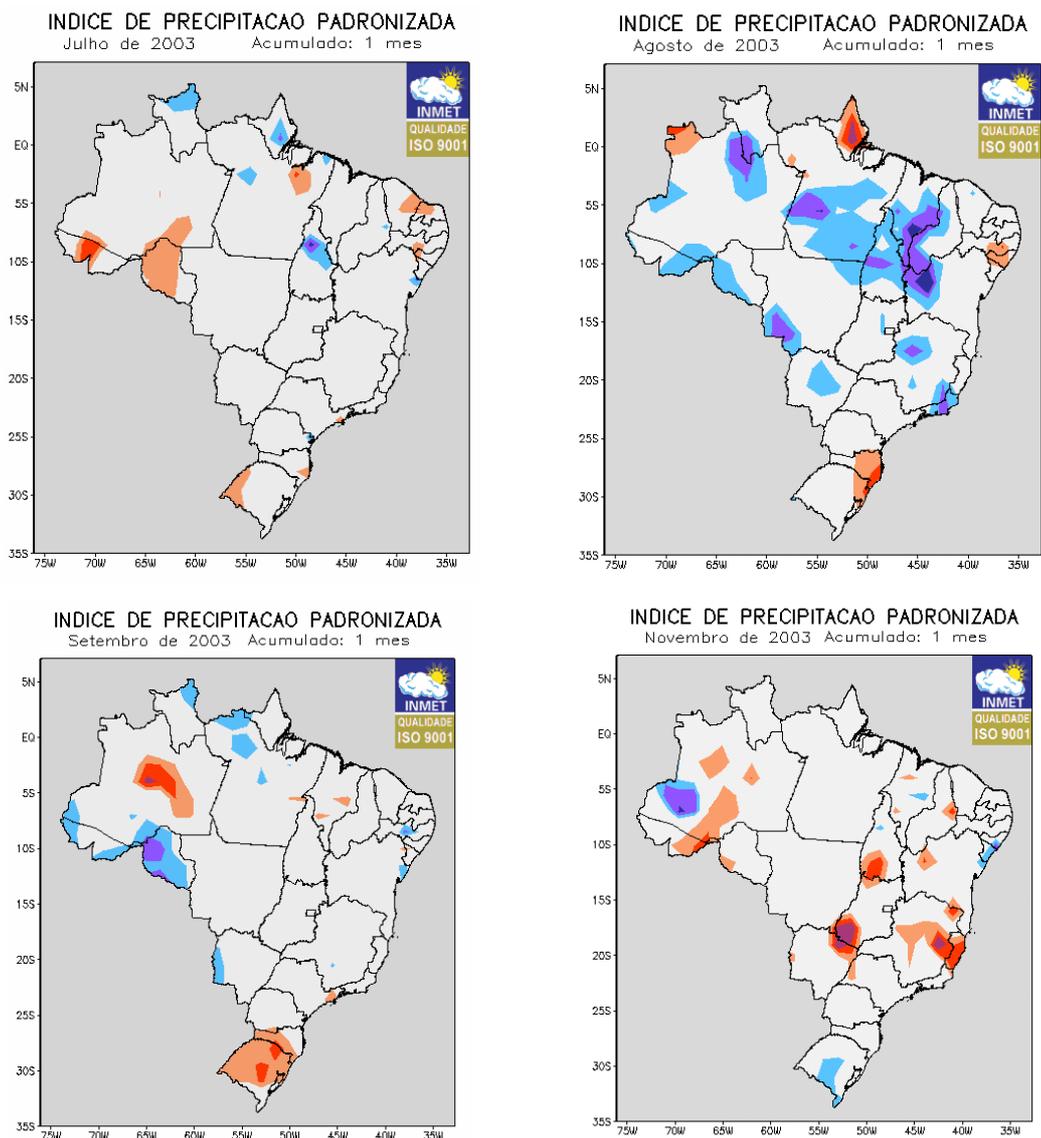


Figura 6.14 - Mapas de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para os meses de julho, agosto, setembro, novembro e dezembro de 2003, correspondendo ao inverno e primavera.
 Fonte: INMET (2009).

(continua)

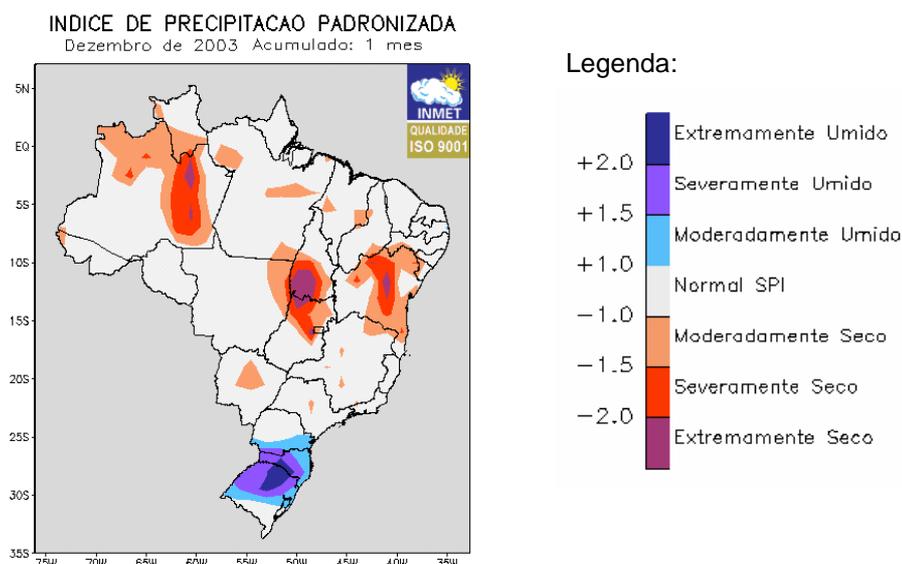


Figura 6.14 – Conclusão.

Em novembro se observa uma mancha de SPI moderadamente úmido no Rio Grande do Sul na região da Campanha em direção ao centro do estado. Em dezembro mais da metade deste estado e todo o estado de Santa Catarina apresentaram Índices de Precipitação Padronizada variando de normal a extremamente úmido. As áreas de ocorrência foram principalmente a região do Planalto Médio e Alto Uruguai no Rio Grande do Sul atravessando a fronteira em direção a região serrana de Santa Catarina. No Paraná estas áreas de SPI moderadamente úmido ocorreram na porção sul do estado.

É interessante notar que nas regiões dos estados do Paraná e Rio Grande do Sul, mencionadas anteriormente, onde ocorreram as áreas de anomalias negativas de vegetação não são áreas onde ocorreram SPI variando de moderadamente a severamente seco.

Em Santa Catarina as áreas de anomalias negativas de vegetação aparecem de forma mais dispersa em todo o estado com certa ênfase na porção leste na região

Metropolitana de Florianópolis, Sul Catarinense e em parte do Vale do Itajaí e Norte Catarinense, coincidindo com as áreas de ocorrência de SPI indicativos de seca.

Mesmo com os valores de precipitação acumulada e com os SPI elevados na primavera, a vegetação nesta estação não apresentou grandes áreas de ocorrência de anomalias positivas de vegetação, destaca-se apenas uma área de ocorrência, no centro do Rio Grande do Sul, ao longo dos rios Jacuí e Ibicuí.

6.4 Ano 2004

A Figura 6.15 apresenta as imagens de anomalias de vegetação e os mapas de precipitação acumulada para o verão e o outono de 2004, onde pode-se observar que o Rio Grande do Sul apresentou baixos valores de precipitação acumulada - média da área, no verão. Estes variaram de 50 a 300 mm e se concentraram principalmente em parte da Depressão Central, Campanha, Missões e em parte da Serra e Encosta do Sudeste, Encosta Superior e Inferior do Nordeste e Campos de Cima da Serra.

Já no estado de Santa Catarina as áreas de menor precipitação acumulada foram o Vale do Itajaí, Sul e Norte Catarinense e no Paraná no Oeste do estado, mas aí os valores não foram tão baixos como nos outros dois estados, eles ficaram entre 200 e 300 mm. Estes não foram os menores valores de precipitação acumulada para o período analisado neste estudo, mas foram valores muito baixos para esta estação do ano que em geral apresenta valores bem mais elevados.

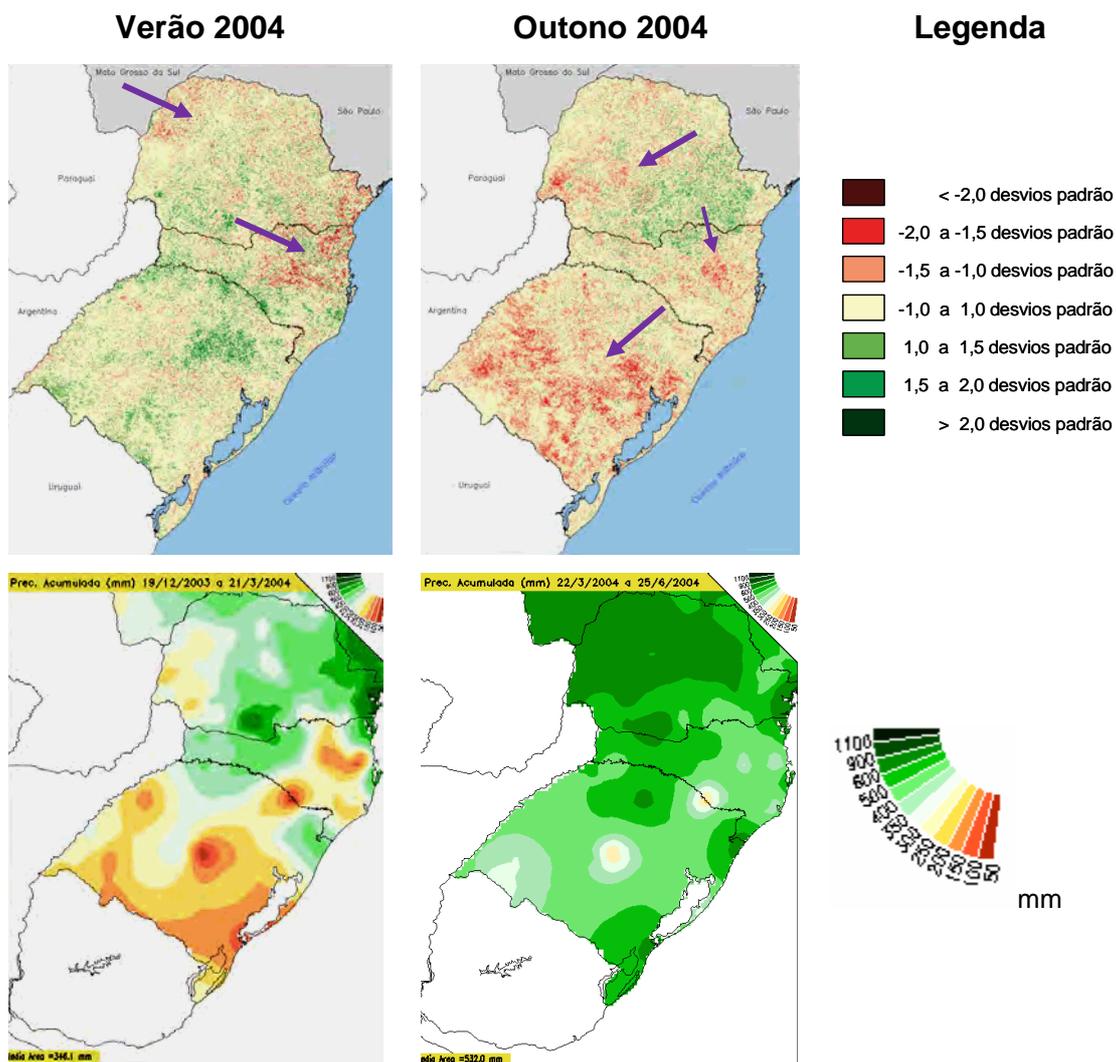


Figura 6.15 - Imagens de anomalia de vegetação e mapas de precipitação acumulada para o verão e outono 2004.

Analisando a Figura 6.15 observa-se que o verão de 2004 apresenta áreas de anomalias negativas de vegetação espalhadas por toda a região Sul, ocorrendo de forma mais concentrada em Santa Catarina na região da Grande Florianópolis, Vale do Itajaí e Norte Catarinense e na região metropolitana de Curitiba. Mas elas não refletem, completamente, os baixos valores de precipitação acumulada que ocorreram nesta estação e nem os índices de precipitação padronizada (SPI) apresentados na Figura 6.16, que variaram de moderadamente seco a extremamente seco.

Apenas em Santa Catarina as áreas onde foram observadas anomalias negativas de vegetação estão de acordo com os baixos valores de precipitação acumulada observados nesta estação. Na realidade as áreas de ocorrência de anomalias negativas de vegetação, no verão representaram apenas 9,94% do território da região Sul, correspondendo a 58.890 km².

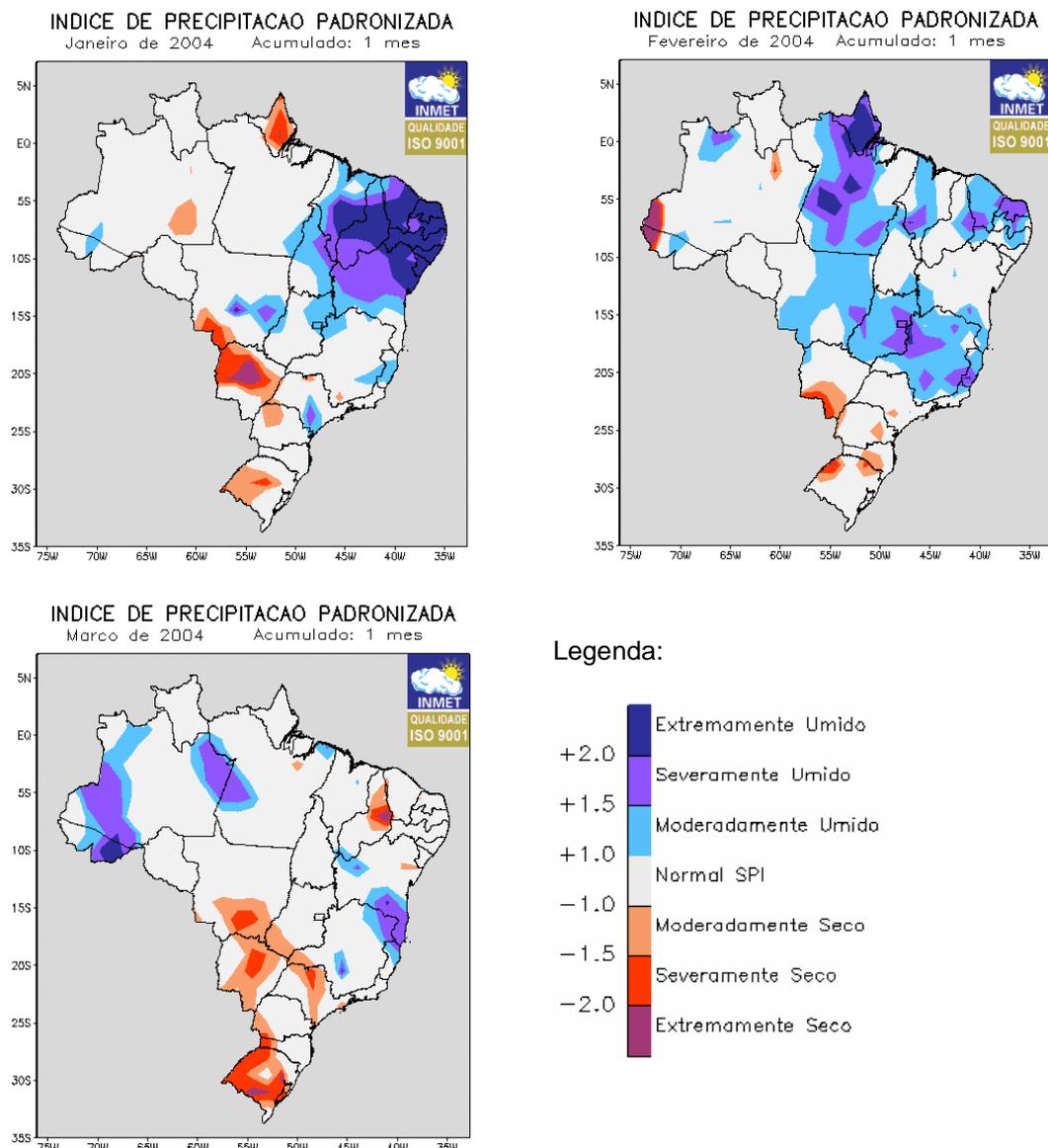


Figura 6.16 - Mapas de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para os meses de janeiro, fevereiro e março de 2004, correspondentes ao verão.
Fonte: INMET (2009).

Na Figura 6.16 observa-se que nos meses de janeiro, fevereiro e março que abarcam grande parte do verão, ocorreram áreas com índice de precipitação padronizada - SPI variando de moderadamente seco a extremamente seco nos três estados da região Sul.

Em janeiro, no Rio Grande do Sul, parte da Campanha gaúcha e parte da região das Missões apresentaram SPI moderadamente seco, com uma pequena mancha de severamente seco na região da Depressão Central. No Nordeste Paranaense, já fronteira com São Paulo, também foram observadas áreas com SPI moderadamente seco.

No mês de fevereiro observam-se algumas manchas de índice de precipitação padronizada - SPI moderadamente seco a severamente seco em parte da região das Missões e Alto Uruguai e na região dos Campos de Cima da Serra, no Rio Grande do Sul. Já na fronteira, indo em direção a Santa Catarina, na região Serrana, uma mancha de SPI moderadamente seco. No Paraná observa-se uma pequena mancha de SPI moderadamente seco na região Centro Oriental paranaense.

Já no mês de março, o Rio Grande do Sul apresentou em quase 90% de seu território índice de precipitação padronizado - SPI severamente seco, juntamente com a porção oeste de Santa Catarina e parte do sudoeste do Paraná. Uma pequena faixa na região da Campanha gaúcha apresentou SPI extremamente seco. A Campanha gaúcha é uma área que enfrenta problemas de estiagem quase que anualmente.

Porém, é no outono que toda a região Sul aparece mais afetada pelas áreas de anomalias negativas de vegetação, com destaque especial para o estado do Rio Grande do Sul onde 29,65% da sua área foram afetadas, correspondendo a 83.530 km², indicando uma estiagem de intensidade média. As áreas de anomalias negativas de vegetação ocorreram principalmente, de forma mais concentrada, na porção centro-sul do estado.

Chama-se atenção que o outono foi uma estação bastante chuvosa, com precipitação acumulada - média da área, de 532 mm. Assim, estas áreas de anomalias negativas de vegetação na realidade são um reflexo dos baixos valores de precipitação e dos índices de precipitação padronizada - SPI negativos observados no verão, a vegetação respondeu à falta de chuva nesta estação apenas no outono. Chama-se atenção também que as áreas de ocorrência de anomalias negativas de vegetação coincidem com as áreas de ocorrência de SPI severamente seco do mês de março período que representa o final do verão e o início do outono.

A Figura 6.17 apresenta as imagens de anomalia de vegetação e os mapas de precipitação acumulada para o inverno e a primavera de 2004. Analisando esta figura observa-se que o inverno voltou a ter valores de precipitação acumulada bastantes baixos em quase toda a região Sul, variando de 100 a 300 mm. Em todo o norte do estado do Paraná os valores de precipitação acumulada foram entre 150 e 200 mm. Na região da Encosta e Serra do Sudeste no Rio Grande do Sul, no Oeste de Santa Catarina e no Sudoeste, Centro Sul e Oeste paranaense ocorreram valores de precipitação acumulada que variaram de 350 a 500 mm.

Observa-se também na Figura 6.17 que as áreas de anomalias negativas de vegetação ocorreram principalmente na porção centro-leste de toda a região Sul, agora não mais de forma concentrada como no outono, mas espalhadas por toda a região Sul, e já não com a mesma intensidade da estação anterior, apenas 16,34% da sua área, o equivalente a 92.927 km² foram atingidos por estas anomalias de vegetação.

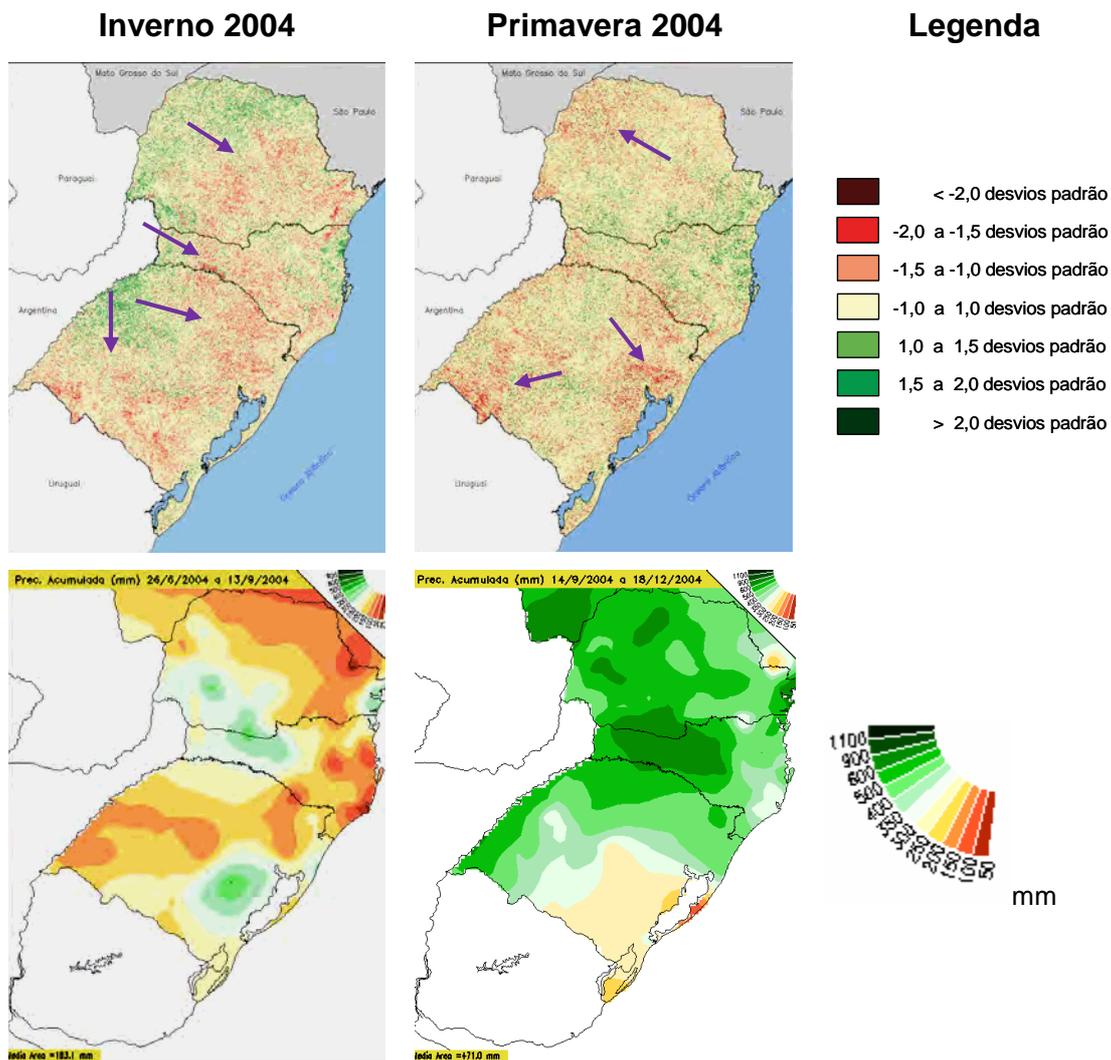


Figura 6.17 - Imagens de anomalia de vegetação e mapas de precipitação acumulada para o inverno e primavera de 2004.

A Figura 6.18 apresenta o mapa de índice de precipitação padronizada - SPI para o mês de agosto de 2004, correspondendo ao inverno, onde pode-se observar que todo o estado do Paraná, praticamente 98% de Santa Catarina e todo o norte e nordeste do Rio grande do Sul apresentaram SPI moderadamente seco, que aliado aos baixos valores de precipitação acumulada observados no inverno, poderia explicar a ocorrência de áreas de anomalias negativas de vegetação em toda a região Sul.

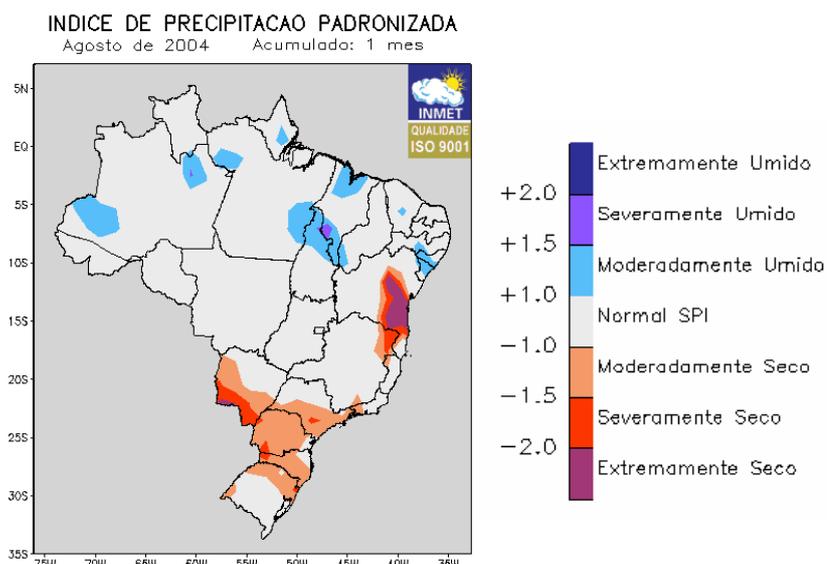


Figura 6.18 - Mapa de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para o mês de agosto de 2004, correspondente ao inverno.
 Fonte: INMET (2009).

Já na primavera apenas o Rio Grande apresentou baixos valores de precipitação acumulada, principalmente na região Metropolitana de Porto Alegre, Litoral, Encosta e Serra do Sudeste e Campanha onde os valores variaram de 200 a 300 mm, todo o restante da região Sul os valores ficaram entre 300 e 900 mm.

A Figura 6.19 apresenta o mapa de índice de precipitação padronizada - SPI para o mês de dezembro, variando entre moderadamente e severamente seco. No Rio Grande do Sul, estes índices ocorreram principalmente na região Metropolitana de Porto Alegre, e porção central do estado indo desde a Campanha gaúcha até o Alto Uruguai. No Oeste de Santa Catarina, já na fronteira com a Argentina também foram observados SPI moderadamente seco.

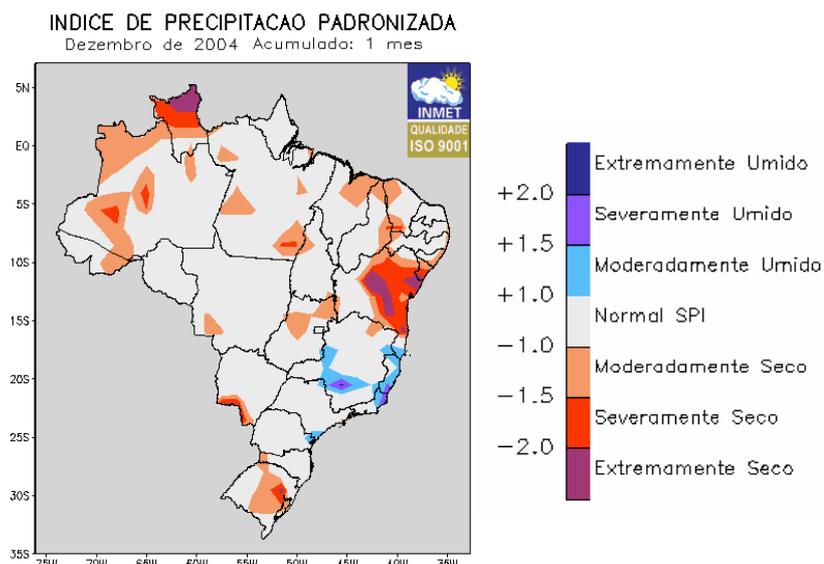


Figura 6.19 - Mapa de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para o mês de dezembro de 2004, correspondente à primavera.
Fonte: INMET (2009).

As áreas de anomalias negativas de vegetação, na primavera, ocorreram em toda a região Sul, com apenas três pequenas áreas de concentração na região Metropolitana de Porto Alegre, coincidindo com o SPI severamente moderado, na região da Campanha gaúcha na altura das cidades de Santana do Livramento e Quaraí e no Noroeste paranaense. Nesta estação também as áreas de anomalia não foram significativas representando apenas 15,46% do território da região Sul, o equivalente a 88.692 km².

6.5 Ano 2005

O verão de 2005 foi a estação onde ocorreu o primeiro grande episódio de estiagem na região Sul para todos os anos analisados. As áreas de anomalias negativas de vegetação representaram 33,33% (187.726 km²) do território da região caracterizando uma estiagem de intensidade alta.

Conforme pode ser observado na Figura 6.20 o estado do Rio Grande do Sul foi o mais afetado pela estiagem, as áreas de anomalias negativas de vegetação representaram 40,34% da área deste estado, o correspondente a 113.671 km².

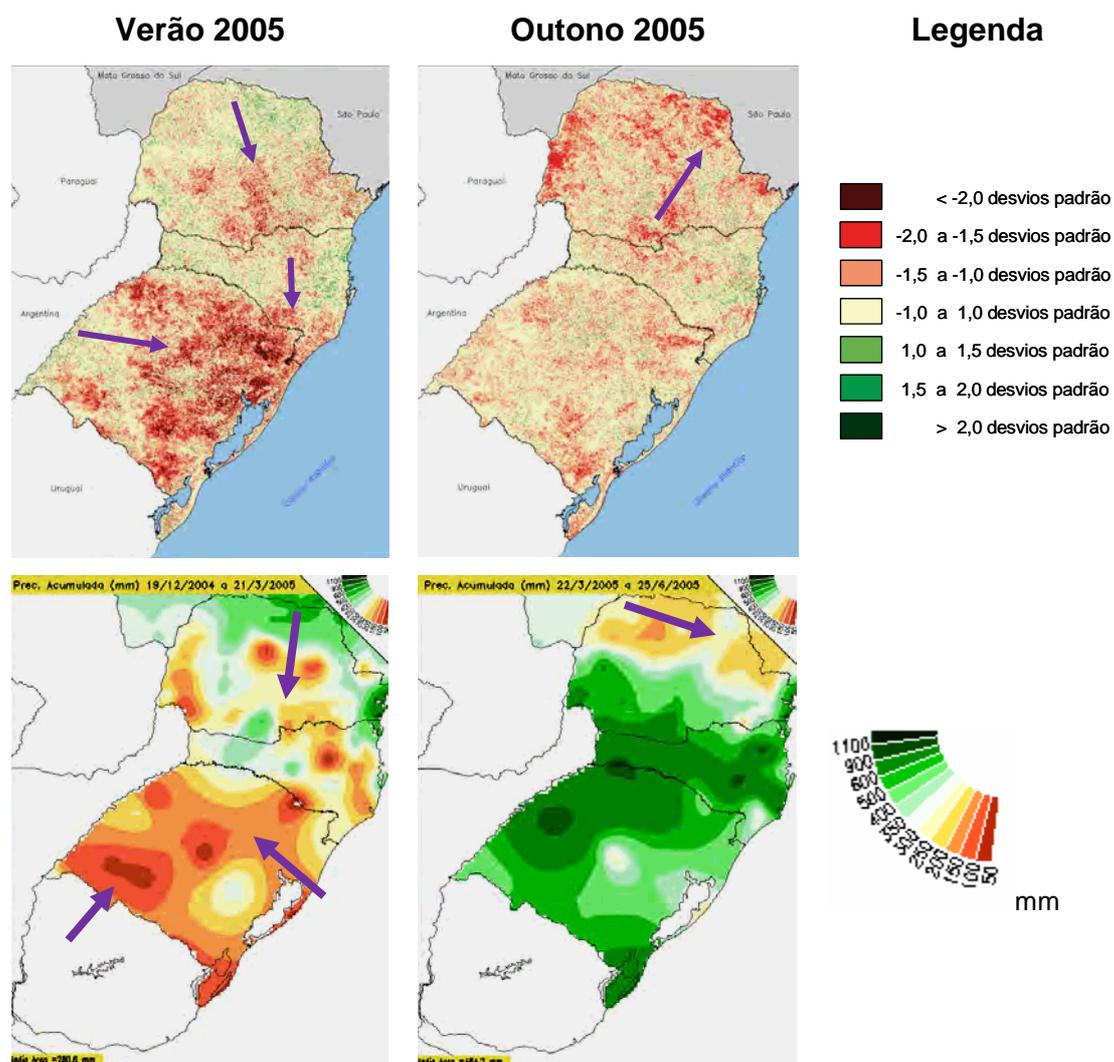


Figura 6.20 - Imagens de anomalia de vegetação e mapas de precipitação acumulada para o verão e o outono de 2005.

Estas áreas de anomalias concentraram-se em toda a porção Centro-Leste, indo desde a fronteira com o Uruguai até a fronteira com Santa Catarina. Apenas a porção oeste do estado, correspondente a parte da Campanha gaúcha e da região das Missões não apresentou áreas de anomalias negativas de vegetação no verão.

Em Santa Catarina as áreas de anomalias negativas de vegetação espalharam-se por todo o estado, mas ocorreram de forma mais concentrada em parte da região Serrana e Sul Catarinense. Elas cobriram 35,96% (34.284 km²) território do estado. Já no Paraná elas ocorreram principalmente no Centro Sul, Sudeste e na região Metropolitana, representando 19,95% da área do estado, o correspondente a 39.771 km².

O verão de 2005 foi o que apresentou o menor valor de precipitação acumulada -média da área, para esta estação, em todo o período analisado com 280,6 mm. Conforme também pode ser observado na Figura 6.20 no verão ocorreram baixos valores de precipitação acumulada - média da área, praticamente em todo o estado do Rio Grande do Sul, coincidindo com as áreas de ocorrência de anomalias negativas de vegetação. Neste estado os valores de precipitação acumulada variaram de 50 a 250 mm.

Nos estados de Santa Catarina e Paraná as áreas de baixa precipitação acumulada não foram tão extensas como no Rio Grande do Sul e nem tão significativas, elas aparecem de forma intercalada com áreas com valores de precipitação acumulada mais elevados e localizaram-se principalmente em quase toda a porção leste do estado, na região da Grande Florianópolis, Sul e Norte Catarinense e Vale do Itajaí, com valores variando de 100 a 250 mm.

No estado do Paraná elas ocorreram principalmente no Sudeste, Sudoeste, Centro-Sul, Oeste e parte do Noroeste paranaense, com valores também variando entre 100 e 250 mm. Estas áreas de baixos valores de precipitação,

nestes dois estados coincidem em parte com as áreas de ocorrência de anomalias negativas de vegetação.

A Figura 6.21 apresenta os mapas de índice de precipitação padronizado - SPI para os meses de janeiro, fevereiro e março de 2005, correspondente ao verão e início do outono, onde pode-se observar que no mês de janeiro todo o litoral do Rio Grande do Sul e a área Metropolitana de Porto Alegre apresentaram SPI variando de moderadamente a severamente seco.

No mês de Fevereiro praticamente toda a região Sul do Brasil apresentou SPI variando de moderadamente a extremamente seco. Chama-se atenção que os índices severamente e extremamente secos ocorreram principalmente nos estados de Santa Catarina e Paraná, sendo que este último atingiu toda a porção oeste dos dois estados. Porém, como mencionado anteriormente o estado mais afetado por anomalias negativas de vegetação foi o Rio Grande do Sul, onde o SPI variou de moderadamente a severamente seco.

No mês de Março toda a porção centro-oeste do estado do Paraná apresentou SPI variando de moderadamente a extremamente seco. Uma parte do Oeste catarinense apresentou SPI moderadamente seco.

Em 2005 o outono foi uma estação com valores de precipitação acumulada bastante mais elevados que o verão, estando dentro da média para o período (484,2 mm). Todo o estado do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina e quase a metade do estado do Paraná apresentaram valores de precipitação acumulada variando de 300 a 1100 mm. Apenas o norte e nordeste do Paraná apresentaram valores de precipitação mais baixos, variando de 100 a 250 mm.

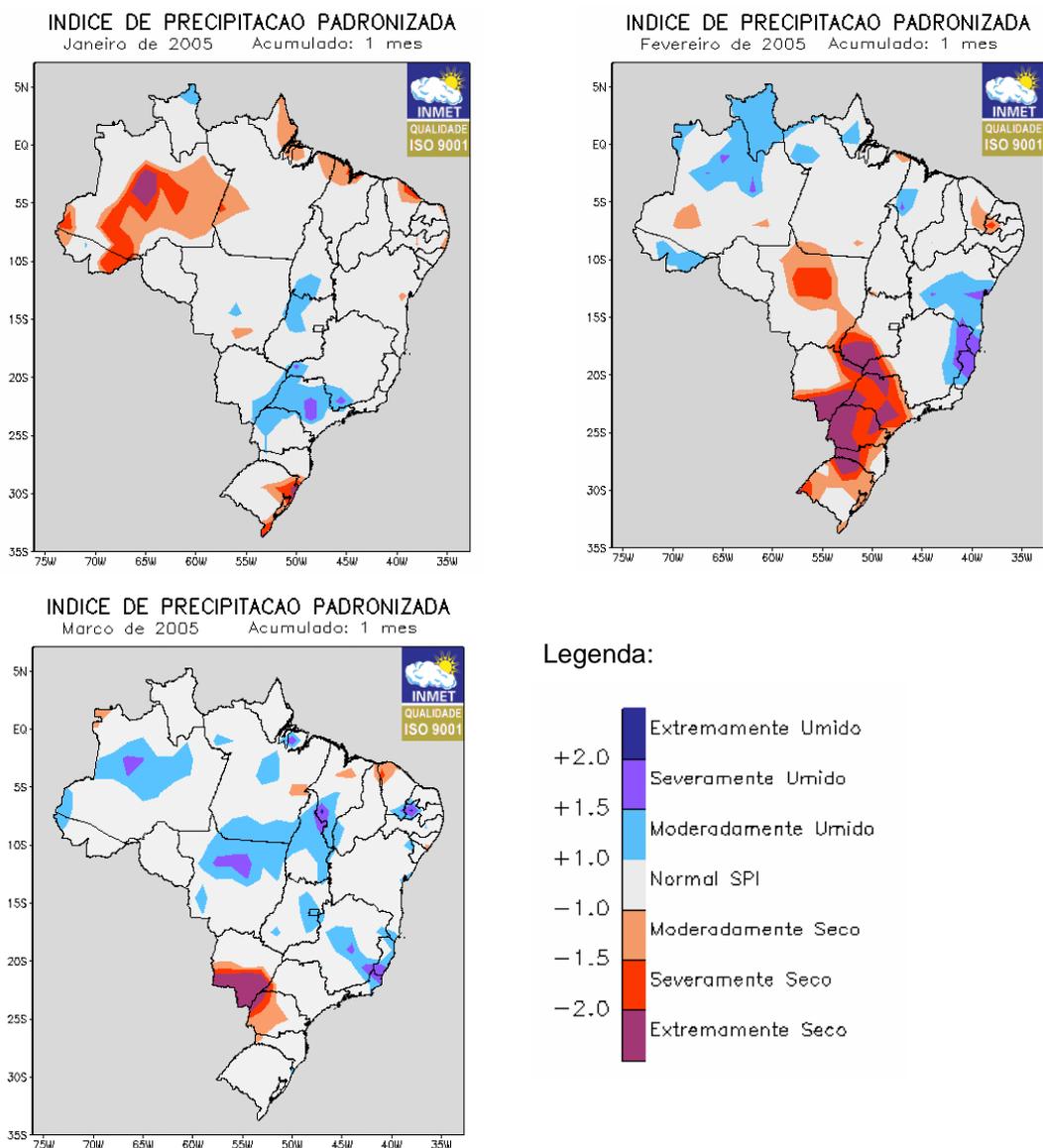


Figura 6.21 - Mapas de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para os meses de janeiro, fevereiro e março de 2005, correspondentes ao verão e início do outono.
Fonte: INMET (2009).

Nesta estação as áreas de anomalias negativas de vegetação representaram 26,64% (156.564 km²) do território da região Sul do Brasil, indicando uma estiagem de intensidade média. O estado mais afetado foi o Paraná onde as áreas de anomalia corresponderam a 35,47% (70.688 km²) de seu território.

Para o estado isto representou uma estiagem de intensidade alta. As regiões mais afetadas foram o Noroeste e Oeste Paranaense, Norte Central e Norte Pioneiro, Sudeste e região Metropolitana de Curitiba.

Já os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul apresentaram áreas de anomalias negativas de vegetação distribuídas por todo seu território, com alguns focos de concentração, mas não como observado no Paraná no outono ou no Rio Grande do Sul no verão. Em Santa Catarina as áreas de anomalia de vegetação corresponderam a 24,06% (22.940 km²) do estado e no Rio Grande do Sul chegaram as 22,34% (62.937 km²), ambas indicativas de estiagem de baixa intensidade.

Assim, pode-se observar que ocorreu a seguinte situação na região Sul do Brasil nestas duas estações:

- Paraná - no verão esteve próximo de uma estiagem de intensidade baixa, no outono apresentou estiagem de intensidade alta;
- Santa Catarina - no verão apresentou estiagem de intensidade alta, no outono apresentou estiagem de intensidade baixa;
- Rio Grande do Sul - no verão apresentou estiagem de intensidade alta, no outono apresentou estiagem de intensidade baixa;
- A região Sul - no verão apresentou uma estiagem de intensidade alta, no outono apresentou uma estiagem de intensidade média.

Com isto nota-se que na região Sul do Brasil, no ano de 2005, a estiagem prolongou-se por duas estações (verão e outono), praticamente um período de seis meses de estiagem, com intensidade diferente em cada estação e em cada estado, sendo Santa Catarina e o Rio Grande do Sul os mais afetados da

região Sul (156.564 km²) correspondendo a uma estiagem de intensidade moderada a alta.

A Figura 6.22 apresenta as imagens de anomalia de vegetação e os mapas de precipitação acumulada para o inverno e primavera de 2005.

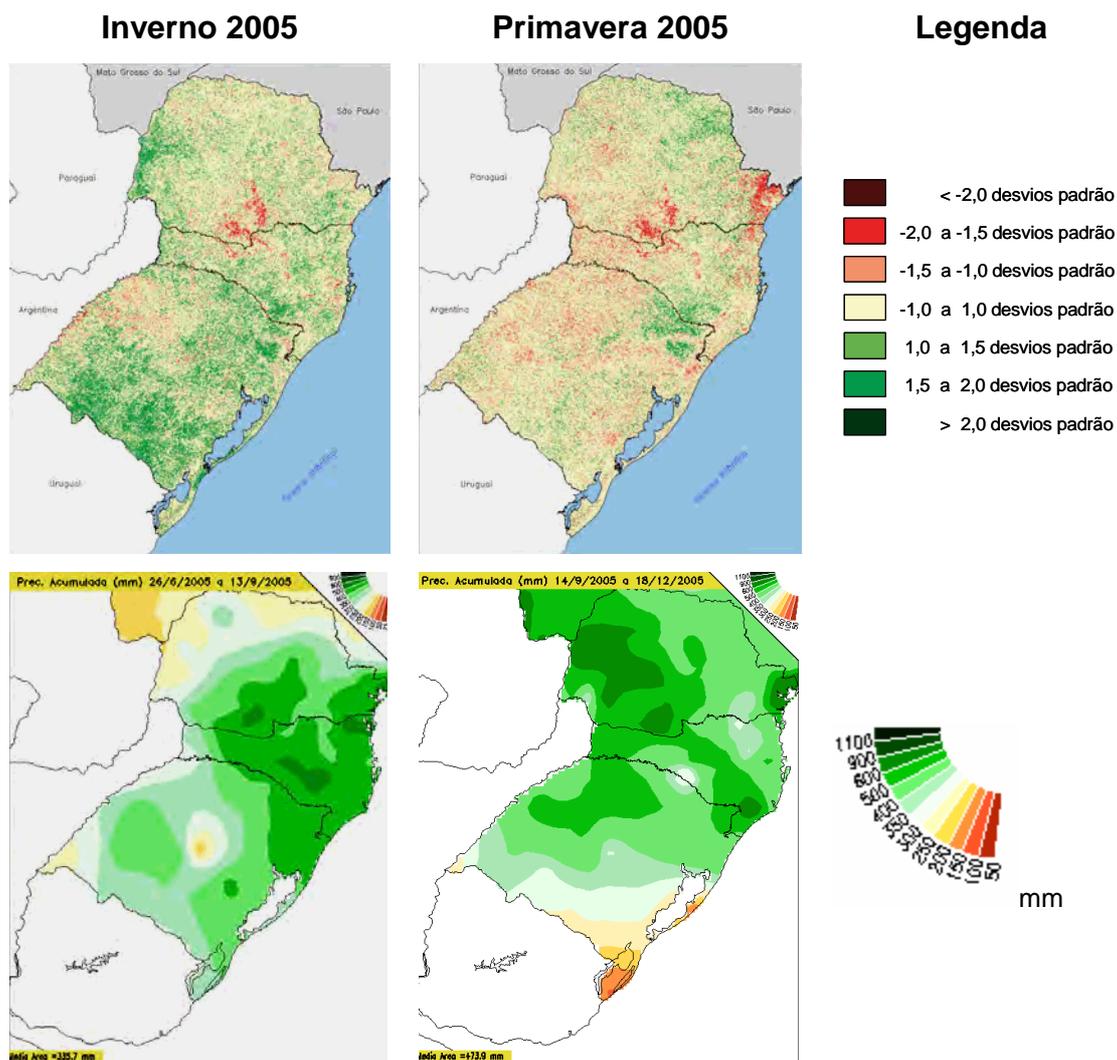


Figura 6.22 - Imagens de anomalia de vegetação e mapas de precipitação acumulada para o inverno e primavera de 2005.

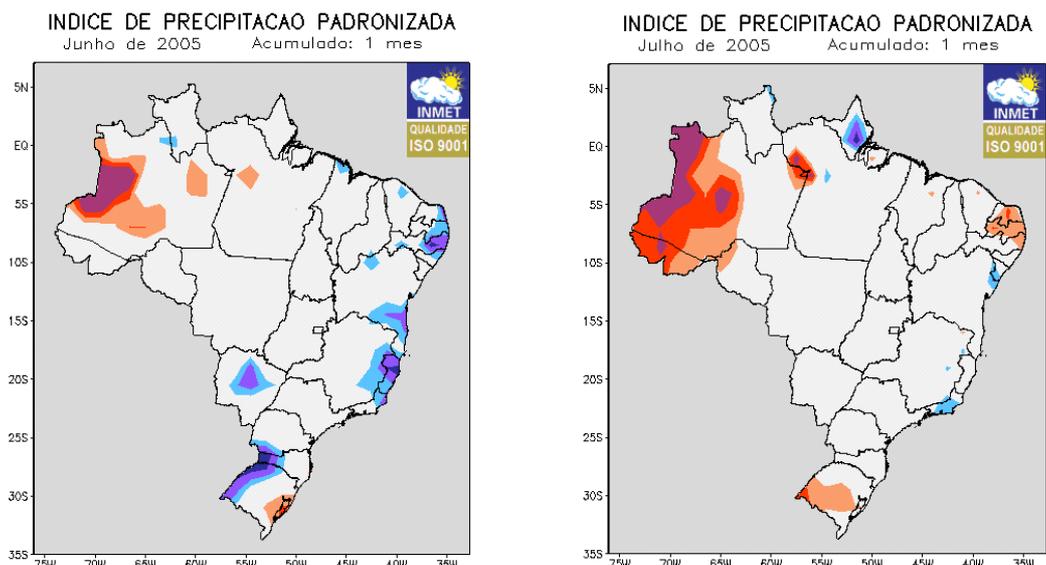
Analisando a Figura 6.22 observa-se que no inverno os valores de precipitação acumulada também, foram bastante significativos, variando de 300 a 900 mm praticamente em toda a região Sul. Apenas o norte-noroeste e o oeste do Paraná apresentaram valores de precipitação acumulada variando entre 200 e 350 mm, assim como em algumas partes do oeste do estado do Rio Grande do Sul.

Nesta estação grande parte da vegetação do Rio Grande do Sul apresentou anomalias positivas indicando a ausência de estiagem. O mesmo ocorreu na maior parte de Santa Catarina e também no Paraná. Apenas uma pequena mancha de anomalias negativas de vegetação é observada no Sudeste do Paraná, já na fronteira com Santa Catarina.

A Figura 6.23 apresenta os mapas de índices de precipitação padronizada para os meses junho e julho, correspondendo ao final do outono e inverno.

Analisando a Figura 6.23 observa-se que no mês de junho ocorreu uma pequena área com SPI variando de moderadamente a severamente seco na região da lagoa dos Patos, no Rio Grande do Sul. Em contrapartida a porção oeste deste estado e de Santa Catarina apresentou SPI variando de moderadamente a extremamente úmido. Já no mês de julho, todo o centro do estado do Rio Grande do Sul, chegando até a fronteira com a Argentina, apresentou SPI moderadamente seco.

Os valores de precipitação acumulada na primavera foram significativos para toda a região, variando de 350 a 900 mm, apenas a porção sudeste do Rio Grande do Sul apresentou valores mais baixos, variando entre 100 e 300 mm.

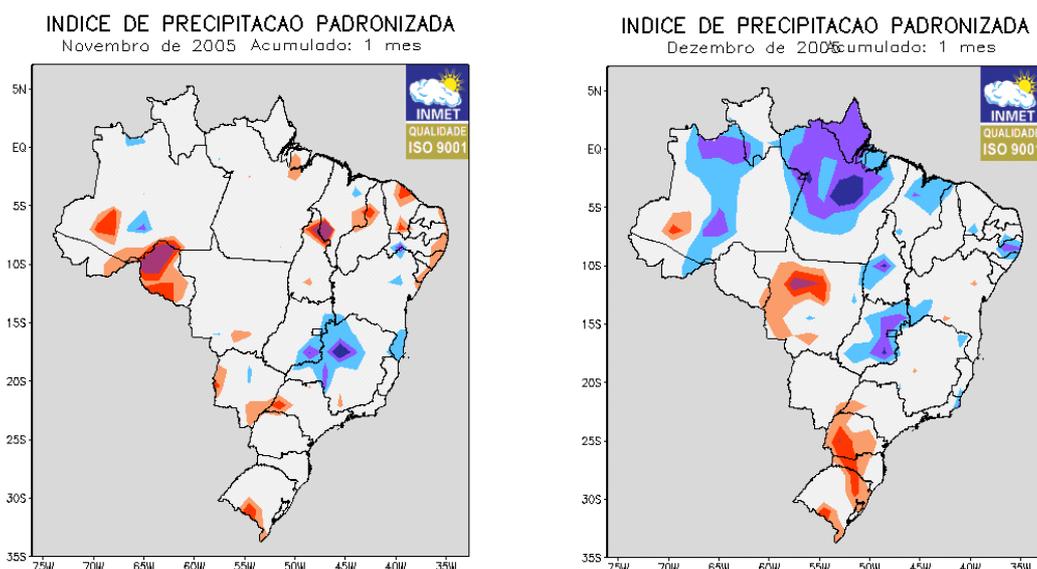


Legenda:



Figura 6.23 - Mapas de Índices de Precipitação Padronizada - SPI para os meses junho e julho, correspondendo ao final do outono e inverno.
Fonte: INMET (2009).

Porém, nos meses de novembro e dezembro o SPI variou de moderadamente a extremamente seco em algumas áreas da região Sul, conforme pode ser observado na Figura 6.24.



Legenda



Figura 6.24 - Mapas de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para os meses de novembro e dezembro de 2005, correspondentes à primavera.
Fonte: INMET (2009).

Em novembro apenas uma pequena área na Campanha gaúcha apresenta SPI variando de moderadamente a severamente seco. Mas no mês de dezembro, além desta área, grande área, indo da região metropolitana de Porto Alegre até o norte do Paraná apresentou SPI moderadamente a severamente seco.

Estes índices aparecem refletidos na vegetação na primavera, onde diminuiu consideravelmente a área de ocorrência de anomalias positivas de vegetação, se comparada com o inverno, porém não chegou a caracterizar uma situação de estiagem. Nesta estação, maior parte da vegetação da região Sul esteve dentro da normal, apenas uma pequena área de vegetação com anomalias positivas ocorreu na região de Campos de Cima da Serra no Rio Grande do Sul, já na fronteira com Santa Catarina, e no Norte Pioneiro no Paraná.

Quanto às áreas de anomalias negativas de vegetação, estas ocorreram de forma dispersa por toda a região com pequenas áreas de concentração no Sudoeste do Paraná e na região Metropolitana de Curitiba.

6.6 Ano 2006

No verão de 2006 os valores de precipitação acumulada baixos na maior parte do Rio Grande do Sul, variando de 100 a 350 mm, os menores valores concentraram-se na porção centro-sul do estado. Já os estados de Santa Catarina e Paraná apresentaram valores de precipitação acumulada variando de 300 a 900 mm principalmente na porção centro-leste catarinense e no centro-norte do Paraná, como pode ser observado na Figura 6.25.

Nesta estação voltaram a ocorrer áreas de anomalias negativas de vegetação de forma bem concentrada na região da Campanha e da Serra do Sudeste no Rio Grande do Sul, na altura das cidades de Pinheiro Machado, Bagé, Dom Pedrito e Santana do Livramento causando aí, localmente, uma estiagem de intensidade alta, mas com relação a toda área do estado, as de anomalias negativas representaram apenas 19,23% (54.166 km²).

Nota-se que a área onde ocorreram estas anomalias negativas de vegetação coincide com as de menor precipitação acumulada e também com as áreas

onde o SPI, nos meses de novembro e dezembro de 2005, variou de moderadamente a severamente seco, conforme já observado anteriormente na Figura 6.24.

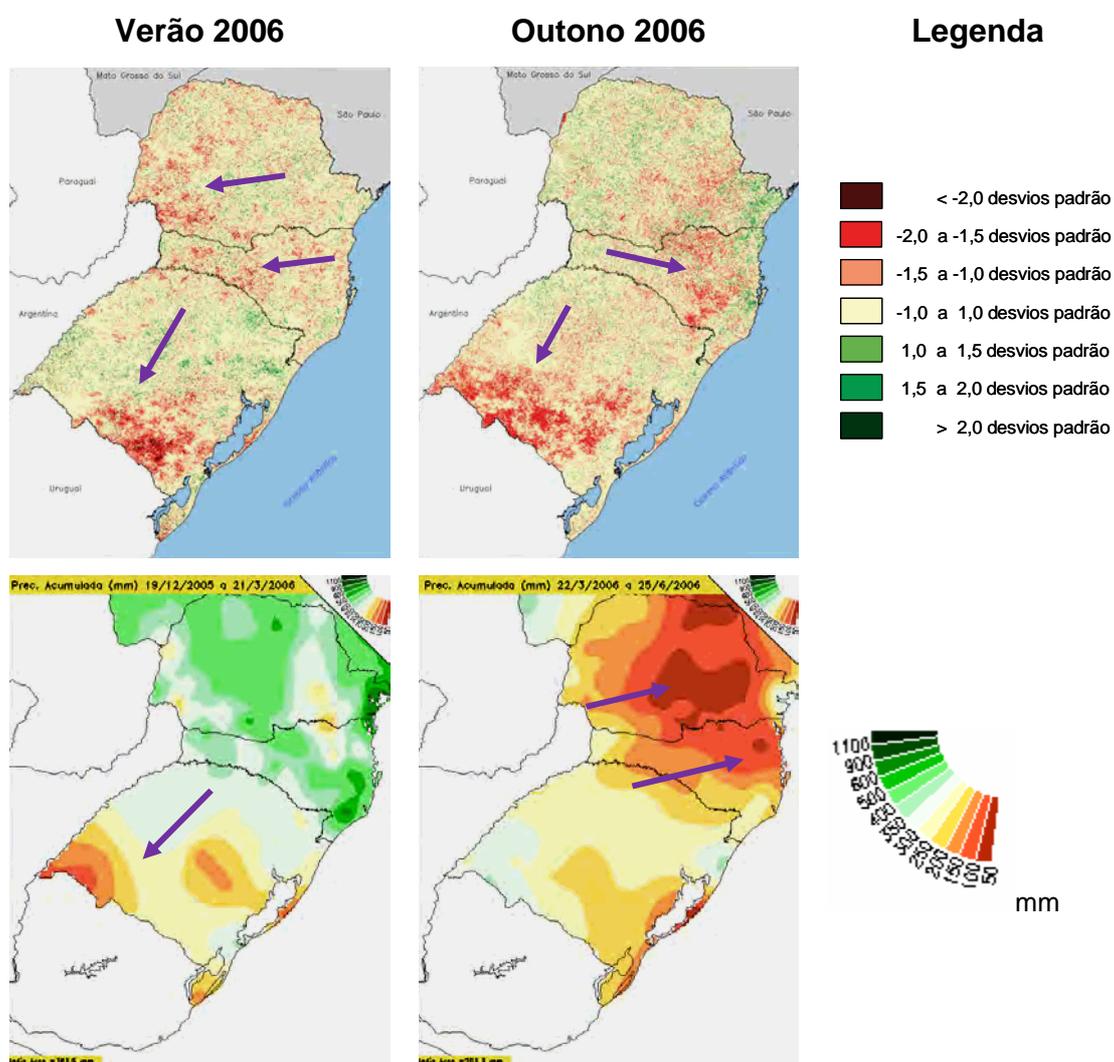


Figura 6.25 - Imagens de anomalia de vegetação e mapas de precipitação acumulada para o verão e outono de 2006.

Como já mencionado anteriormente observou-se neste estudo que a vegetação em alguns casos leva um ou dois meses para responder a falta de água, assim esta área de anomalias negativas de vegetação, nestas duas regiões do Rio Grande do Sul, pode ser uma resposta a estes SPI ocorridos no final de 2005,

aliado aos baixos valores de precipitação acumulada no verão de 2006, que ai variou de 100 a 300 mm.

No restante do Rio Grande do Sul a vegetação esteve dentro da normal sendo o mesmo observado para a região Sul, ocorrendo apenas algumas áreas de anomalias negativas de vegetação no Oeste de Santa Catarina e em parte do Oeste e Sudeste do Paraná (20,49% - 40.839 km²), representando, neste último uma estiagem de baixa intensidade.

A Figura 6.26 apresenta mapas de índice de precipitação padronizada - SPI do mês de fevereiro de 2006, onde se pode observar que ocorreu uma área com SPI variando de moderadamente a severamente seco em parte das regiões da Campanha, Missões e Alto Uruguai e em parte do Oeste de Santa Catarina, o que deve também ter contribuído para a ocorrência das áreas de anomalias negativas de vegetação na região Sul, nesta estação.

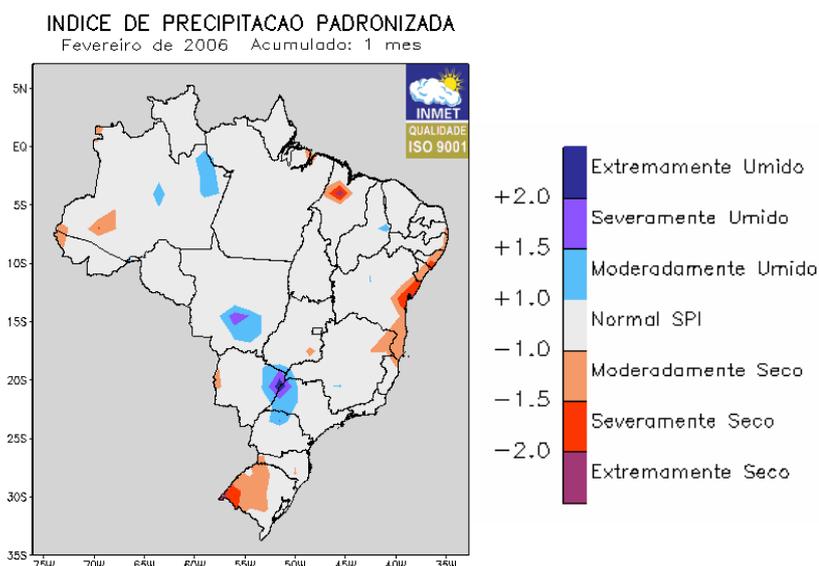


Figura 6.26 - Mapa de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para o mês de fevereiro de 2005, correspondente ao verão.
Fonte: INMET (2009).

No outono voltaram a ocorrer áreas de anomalias negativas de vegetação de forma concentrada na região da Campanha e na Serra do Sudeste, só que agora a área de anomalia de vegetação estendeu-se por toda a Campanha chegando até o rio Uruguai na fronteira com a Argentina. Estas representaram 28,33% (79.811 km²) do território do estado caracterizando uma estiagem de intensidade média.

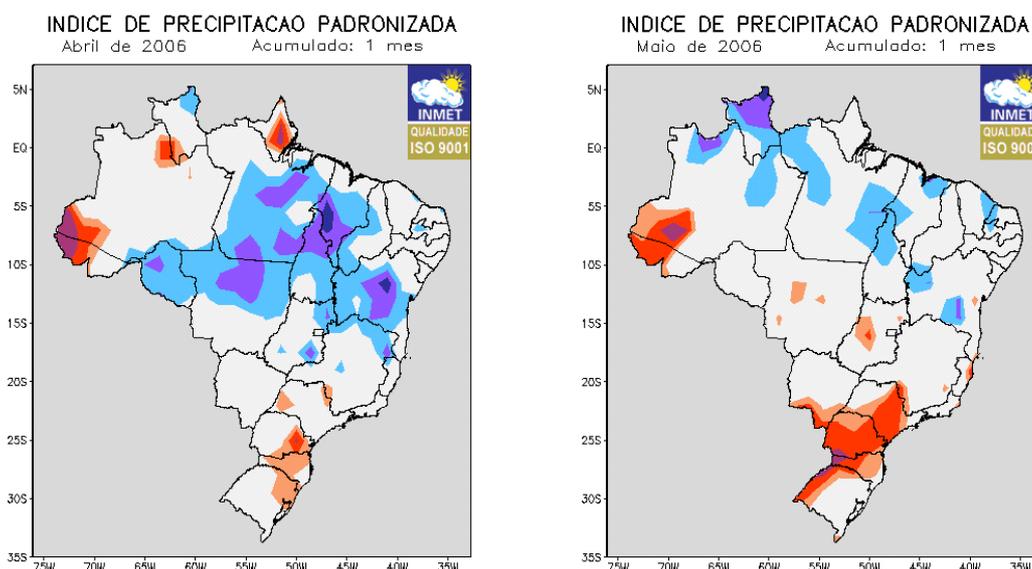
Já no estado de Santa Catarina as áreas de anomalias negativas de vegetação concentraram-se principalmente em toda a porção leste, atingindo parte da região Serrana, a Grande Florianópolis, Vale do Itajaí e o Norte catarinense, correspondendo a 20,92% (19.947 km²) da área do estado, caracterizando uma estiagem de intensidade baixa. No Paraná as áreas de anomalias negativas de vegetação ocorreram de forma mais dispersa principalmente na região Sudeste e Centro-Oriental e atingiram apenas 15,73% (31.359 km²) do estado não caracterizando a ocorrência de estiagem.

Nesta estação na região Sul do Brasil ocorreram áreas de anomalias negativas de vegetação em 23,08% (131.117 km²) do seu território caracterizando a ocorrência de estiagem de intensidade moderada.

Analisando o mapa de precipitação acumulada para o outono, observa-se que toda a região Sul apresentou valores de precipitação bastante baixos, com média da área de 203,3 mm, sendo este o valor mais baixo para esta estação em todo o período analisado neste estudo. Os estados mais afetados foram Santa Catarina e Paraná, onde os valores variaram de 50 a 250 mm.

A Figura 6.27 apresenta os mapas de índice de precipitação padronizada - SPI para os meses de abril e maio de 2006, correspondendo ao outono onde se pode observar a presença de áreas com SPI, no mês de abril, variando de moderadamente a severamente seco em toda porção leste da região Sul, indo

desde a região metropolitana de Porto Alegre até a região Metropolitana de Curitiba e Centro-Oeste Paranaense.



Legenda:

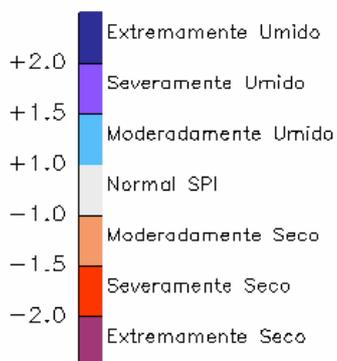


Figura 6.27 - Mapa de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para os meses de abril e maio de 2006, correspondendo ao outono.
Fonte: INMET (2009).

No mês de maio, praticamente todo o estado de Santa Catarina e Paraná apresentaram SPI variando de moderadamente a severamente seco, sendo que uma pequena região no oeste de Santa Catarina e do oeste do Paraná apresentaram SPI extremamente seco.

No Rio Grande do Sul apenas uma faixa que vai da fronteira com o Uruguai até a fronteira com Santa Catarina, atingindo parte da Campanha, Missões, Alto Uruguai apresentou SPI variando de moderadamente a severamente seco.

A Figura 6.28 apresenta as imagens de anomalia de vegetação e os mapas de precipitação acumulada para o inverno e a primavera de 2006.

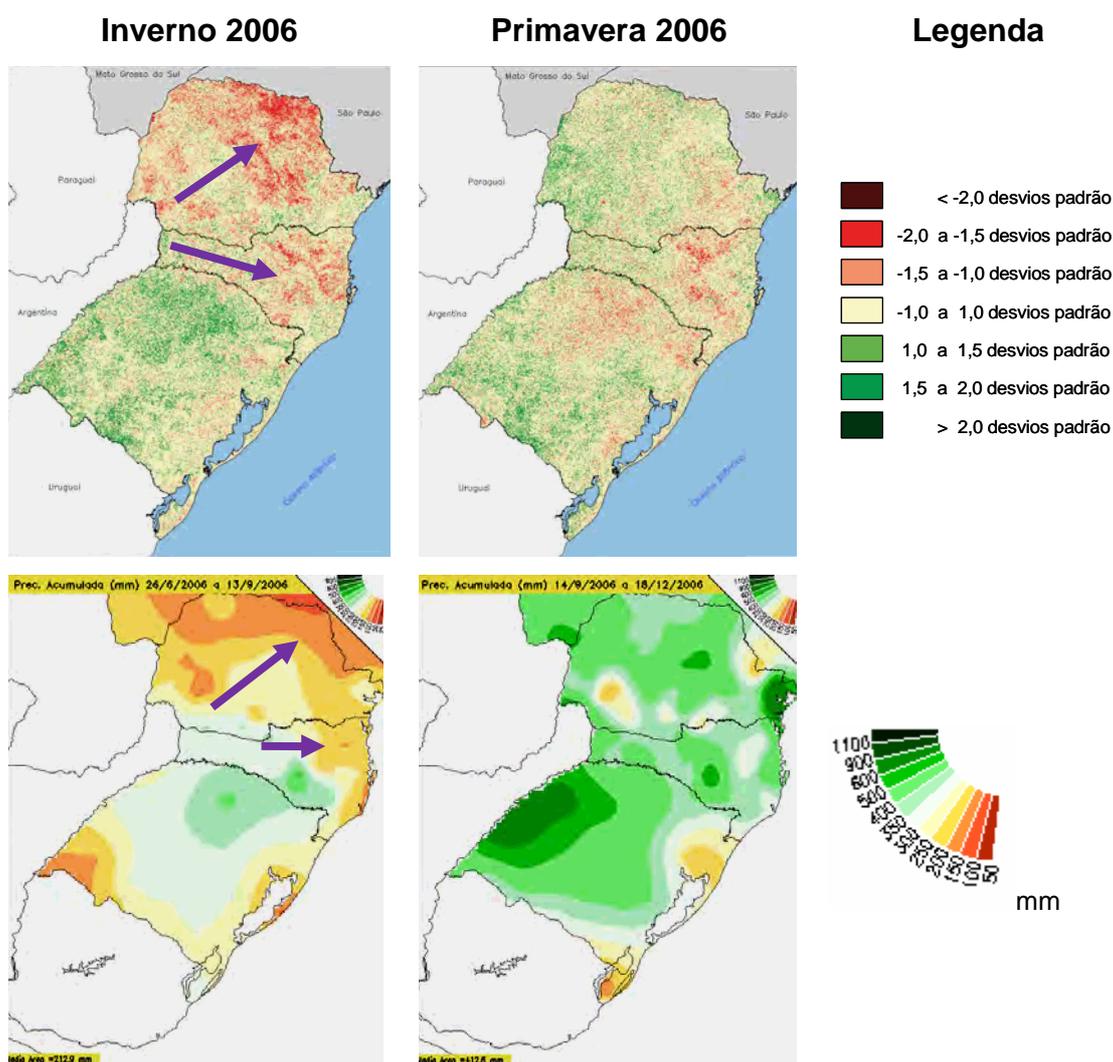


Figura 6.28 - Imagens de anomalia de vegetação e mapas de precipitação acumulada para o inverno e primavera de 2006.

Analisando esta figura observa-se que os baixos valores de precipitação ocorridos no outono e os SPI moderadamente e severamente seco ocorridos nos meses de abril e maio, refletiram na vegetação nesta estação. Toda a porção nordeste e norte do Paraná apresentaram áreas de anomalias negativas de vegetação, com especial atenção para a porção do estado correspondente ao Norte Pioneiro e Centro-Oriental. Elas corresponderam a 29,32% (58.445 km²) do estado indicando a ocorrência de estiagem média.

No estado de Santa Catarina as áreas de anomalias negativas de vegetação ocorreram principalmente no Norte Catarinense, Vale do Itajaí, Grande Florianópolis e parte de região Serrana, correspondendo a apenas 14,23% da área do estado, não caracterizando a ocorrência de estiagem.

Ao analisar o mapa de precipitação acumulada para o inverno de 2006, verificou-se que os menores valores de precipitação acumulada ocorreram exatamente na porção norte e nordeste do Paraná, onde os valores variaram de 100 a 200 mm. Também, na mesma área onde ocorreram as anomalias de vegetação em Santa Catarina os valores de precipitação acumulada foram baixos, estando em torno de 150 a 250 mm. A média de precipitação acumulada na região Sul, nesta estação, ficou em 212,9 mm sendo o terceiro menor valor, para esta estação em todo o período analisado. Apesar disto não foi caracterizada a ocorrência de estiagem na região Sul e sim, localizadamente, apenas no estado do Paraná, como mencionado.

Na primavera, os valores de precipitação acumulada foram bem mais altos, em toda a região Sul do país, variando de 300 a 900 mm, o que acabou refletindo-se na vegetação que em sua maior parte apresentou anomalias positivas de vegetação ou esteve dentro da normal, com apenas pequenas áreas dispersas de anomalias negativas de vegetação no Alto Uruguai e Campos de Cima da Serra no Rio Grande do Sul e Vale do Itajaí e Norte Catarinense em Santa Catarina. Estas porém não caracterizaram a ocorrência de estiagem, apesar de

que no mês de outubro foi observado uma grande área com SPI moderadamente seco coincidente com as áreas onde ocorreram as anomalias negativas de vegetação (Figura 6.29).

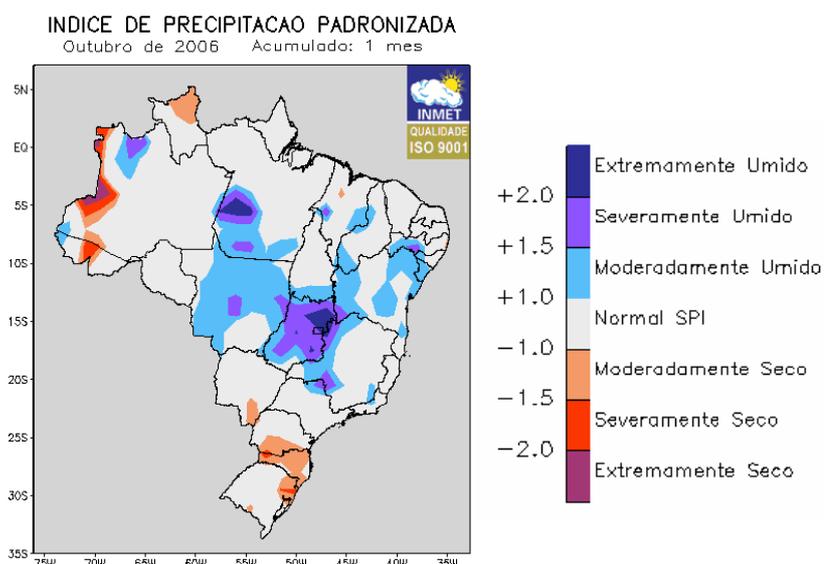


Figura 6.29 - Mapa de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para o mês de outubro de 2006, correspondente à primavera.
Fonte: INMET (2009).

6.7 Ano 2007

Em 2007 o verão registrou altos valores de precipitação acumulada, sendo 605,1 mm a média da área. Esta foi a média mais alta para esta estação e para todas as estações do ano no período analisado neste estudo. Isto refletiu diretamente na vegetação que apresentou praticamente em toda a região áreas com anomalias positivas de vegetação ou esteve dentro da normal, com pequenas ocorrências de anomalias negativas de vegetação na Grande Florianópolis, conforme pode ser observado na Figura 6.30.

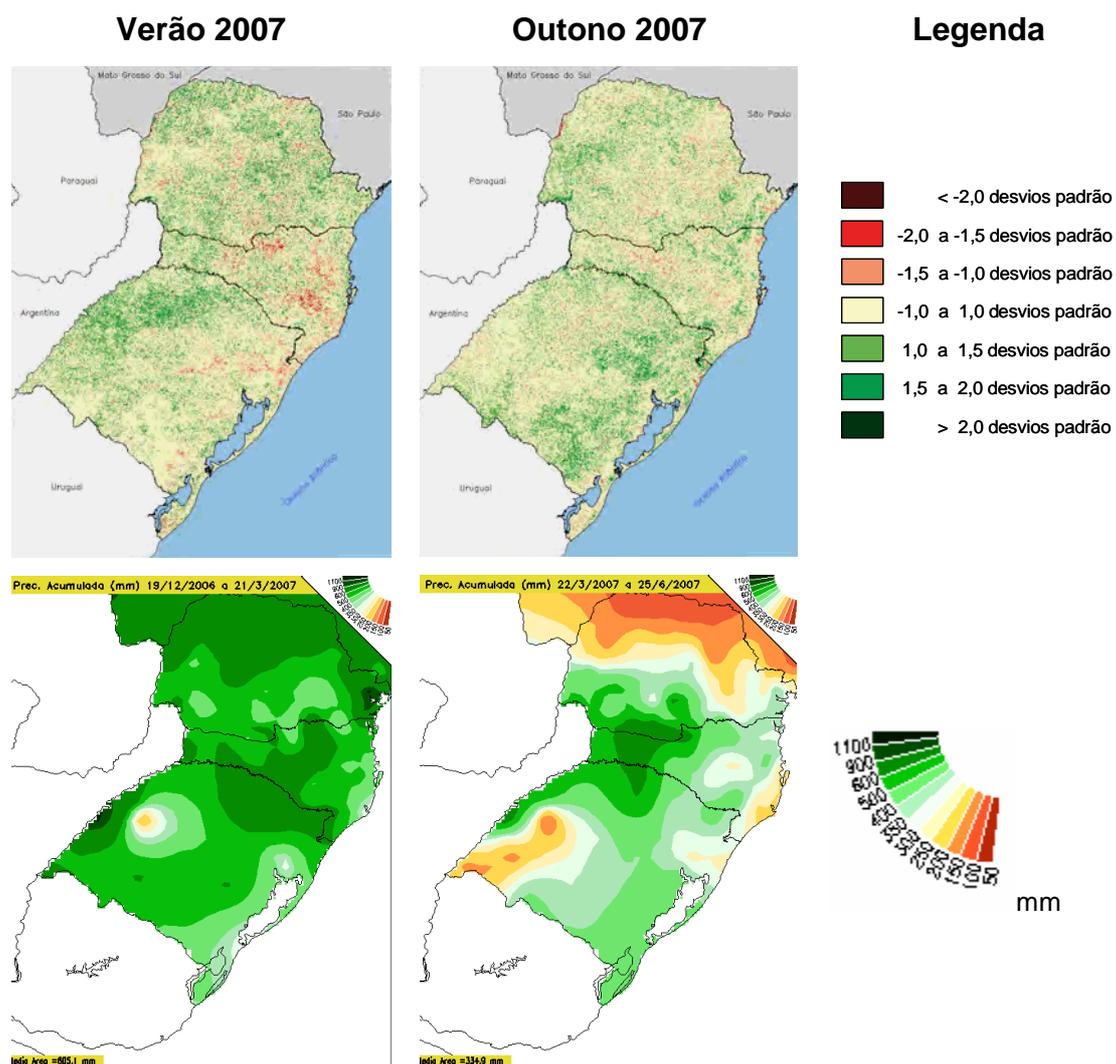
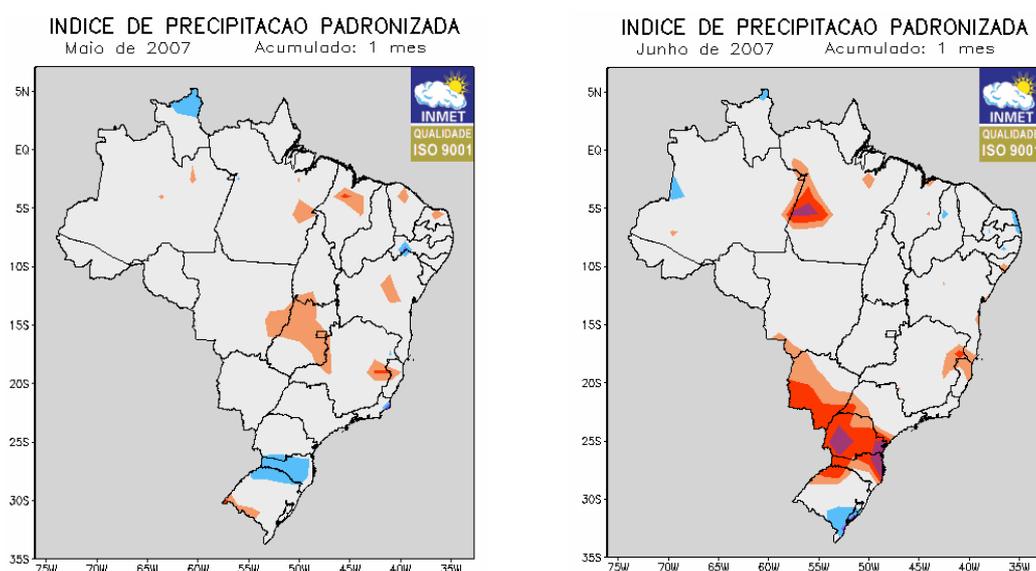


Figura 6.30 - Imagens de anomalia de vegetação e mapas de precipitação acumulada para o verão e outono de 2007.

No outono ocorreram áreas de precipitação acumulada com baixos valores em parte da região da Campanha e das Missões no Rio Grande do Sul. Toda a porção norte e nordeste do Paraná também apresentaram baixos valores de precipitação acumulada, em ambos estados os valores variaram de 100 a 300 mm. Mas esta baixa precipitação acumulada não refletiu na vegetação no outono, toda a região Sul continuou apresentando grandes áreas de anomalias

positivas de vegetação ou dentro da normal e não foram observadas áreas de anomalias negativas.

Porém, ao analisar os mapas de índice de precipitação padronizada - SPI para os meses de maio e junho, correspondente ao outono, observa-se a ocorrência de áreas com SPI variando e moderadamente a extremamente seco (Figura 6.31).



Legenda:



Figura 6.31 - Mapas de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para os meses de maio e junho de 2007, correspondentes ao outono. Fonte: INMET (2009).

No mês de maio ocorreu uma pequena área no extremo sul do Rio Grande do Sul, na região da Campanha com SPI moderadamente seco, no norte deste estado e em todo estado de Santa Catarina observa-se uma área com SPI moderadamente úmido.

Já no mês de junho, observa-se uma grande área com SPI variando de moderadamente a extremamente seco iniciando no norte do Rio Grande do Sul e praticamente cobrindo todo o estado de Santa Catarina e estendendo-se por todo o estado do Paraná. Há duas áreas com SPI extremamente seco, uma localizada na porção leste do Paraná e Santa Catarina e outra na porção centro-oeste e noroeste do Paraná.

Analisando a Figura 6.32, onde são apresentados as imagens de anomalia de vegetação e os mapas de precipitação acumulada para o inverno e a primavera, para 2007, observa-se que no inverno ocorreram áreas de baixos valores de precipitação acumulada (200 a 300 mm) no Rio Grande do Sul, na porção oeste do estado correspondendo a parte da Campanha e Missões. A média para esta estação foi de 251,9 mm. O estado mais atingido foi o Paraná, onde estes baixos valores cobriram todo seu território, com ênfase maior na porção oeste e noroeste, onde os valores de precipitação acumulada variaram de 50 a 200 mm.

Analisando as imagens de anomalia de vegetação nota-se também que no inverno ocorreram grandes extensões de anomalias negativas de vegetação em toda a região Sul do Brasil, e que a área de ocorrência delas coincide com as áreas de SPI variando de moderadamente seco a extremamente seco em junho e com as dos baixos valores de precipitação acumulada.

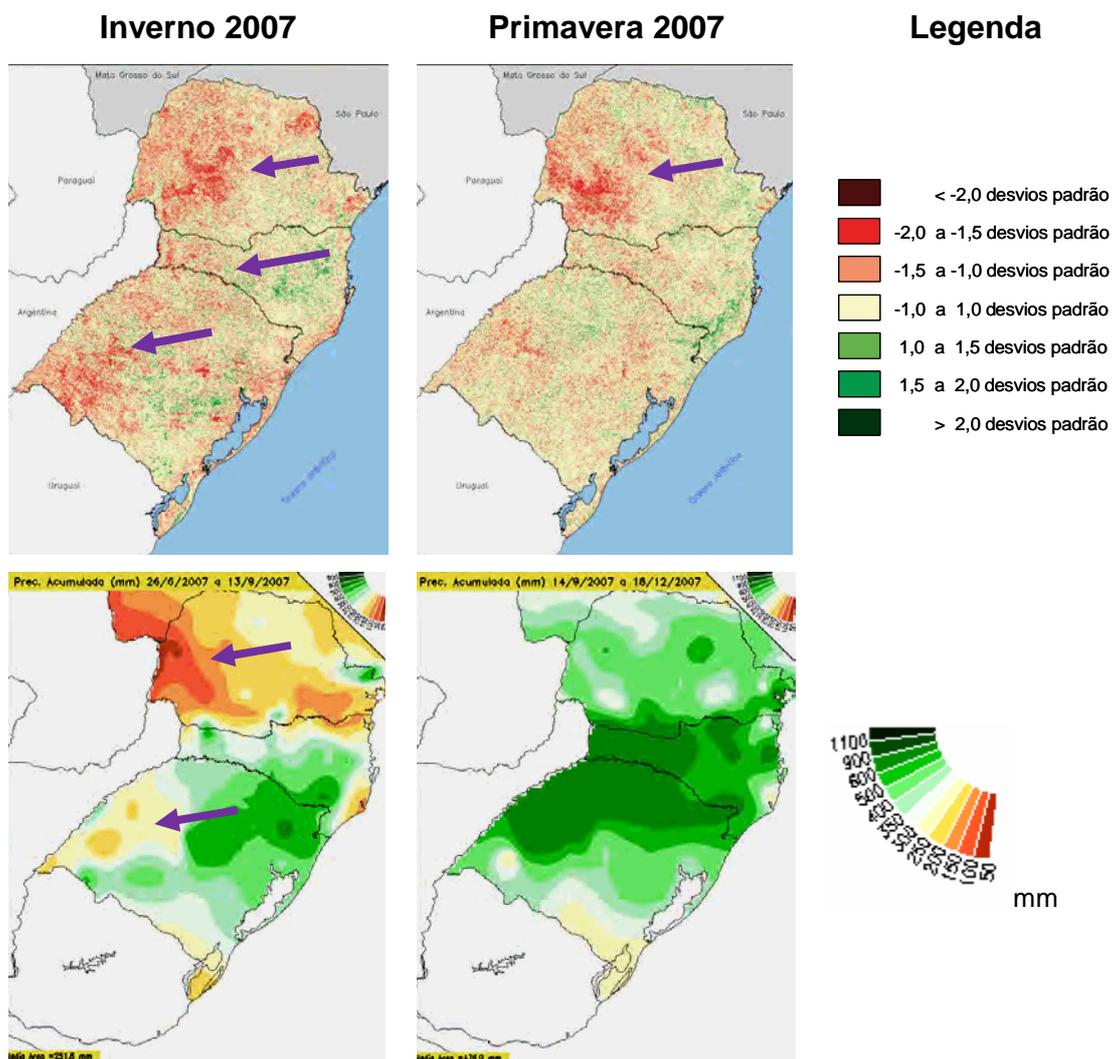


Figura 6.32 - Imagens de anomalia de vegetação e mapas de precipitação acumulada para o inverno e primavera de 2007.

No inverno as áreas de anomalias negativas vegetação cobriram 27,76% da área da região Sul do Brasil, o equivalente a 162.025 km² indicando a ocorrência de uma estiagem de intensidade média.

No Paraná as áreas de anomalias negativas de vegetação localizaram-se de forma concentrada na porção Oeste do estado e em parte do Centro-Sul e Centro-Occidental e espalharam-se também para a porção noroeste. Uma

pequena área é observada também no extremo norte do Norte-Pioneiro. Elas representaram 31,04% (61.857 km²) da área do estado o que localmente correspondeu a uma estiagem de intensidade alta.

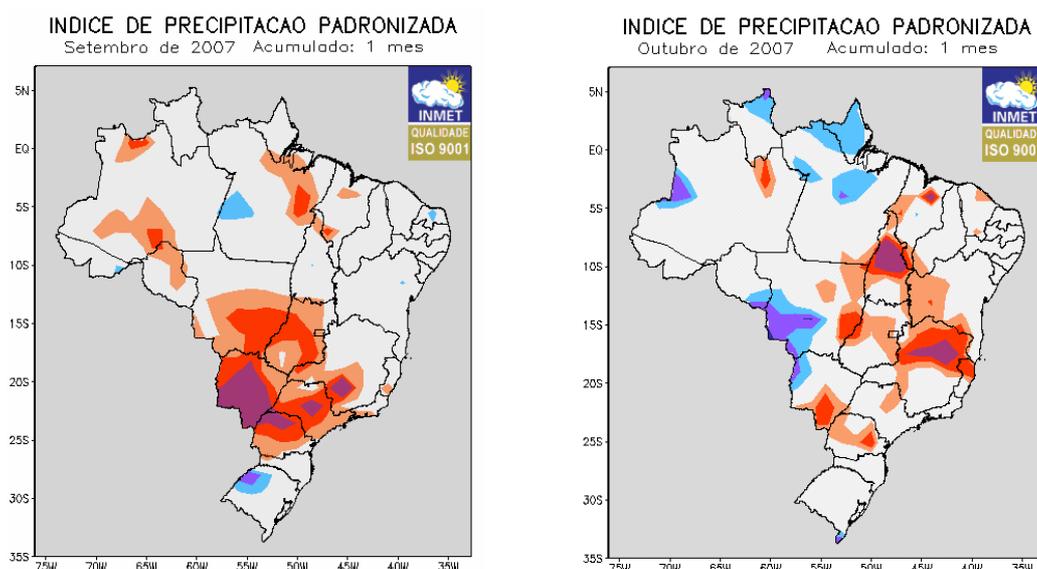
Em Santa Catarina as áreas de anomalias negativas espalharam-se por todo o estado, com maior ênfase no Oeste Catarinense, mas não com a mesma concentração observada no Paraná. No estado elas corresponderam a 20,10% da sua área, o equivalente a 19.169 km², indicando a ocorrência de uma estiagem de intensidade baixa.

No Rio Grande do Sul as áreas de anomalias negativas de vegetação atingiram 28,75% (80.998 km²) da sua área correspondendo a uma estiagem de intensidade média.

Na imagem de anomalia de vegetação correspondente à primavera é possível observar-se que o estado do Paraná continuou com áreas de anomalias negativas, porém, agora de forma mais concentrada em parte do Oeste, Sudoeste e Centro-Sul. Elas corresponderam a 21,94% (43.725 km²) da área do estado caracterizando uma estiagem de baixa intensidade. Já em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul estas áreas diminuíram consideravelmente.

Chama-se a atenção para o fato de que em 2007 o estado do Paraná foi atingido por estiagem por duas estações consecutivas, inverno e primavera, tal como aconteceu com toda a região Sul em 2005, mas, neste último ano, esse estado foi o único que apresentou estiagem apenas no outono (alta intensidade), ao contrario dos outros estados. Com o fato de ocorrer estiagem em duas estações seguidas (uma de alta intensidade e outra de baixa intensidade) em 2007, ela acabou sendo tão ou mais significativa que a estiagem de 2005.

Apesar de que na primavera os valores de precipitação acumulada terem sido bastante elevados, variando de 300 a 900 mm, em toda a região Sul, ao analisar os mapas de índice de precipitação padronizada - SPI para os meses de setembro e outubro, nota-se, no estado Paraná, áreas com SPI variando de moderadamente a extremamente seco, que coincidem com as áreas de ocorrência de anomalias negativas de vegetação, na primavera (Figura 6.33).



Legenda:



Figura 6.33 - Mapas de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para os meses de setembro e outubro de 2007, correspondentes à primavera.
Fonte: INMET (2009).

Estas áreas foram bastante significativas no Paraná, principalmente no mês de setembro, onde todo seu território foi recoberto por SPI negativos. Os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul não apresentaram SPI negativos.

6.8 Ano 2008

No verão de 2008, praticamente toda a região Sul do Brasil apresentou valores de precipitação acumulada altos (300 a 900 mm), principalmente nos estados de Santa Catarina e Paraná, apenas o Rio Grande do Sul apresentou valores mais baixos (150 a 350 mm), mas que não chegaram a caracterizar estiagem conforme pode ser observado na Figura 6.34.

Nesta estação, novamente a região da Campanha do Rio Grande do Sul voltou a apresentar áreas de anomalias negativas de vegetação de forma concentrada se comparada com os outros estados da região, onde estas aparecem de maneira dispersa. Porém, essas anomalias no Rio Grande do Sul corresponderam a apenas 18,14% (51.110 km²) da área do estado não caracterizando a presença de estiagem, mas apenas uma estiagem localizada na área de ocorrência de anomalias negativas. Em toda a região Sul as áreas de anomalias negativas de vegetação não passaram de 15,64% (89.755 km²) da sua área total.

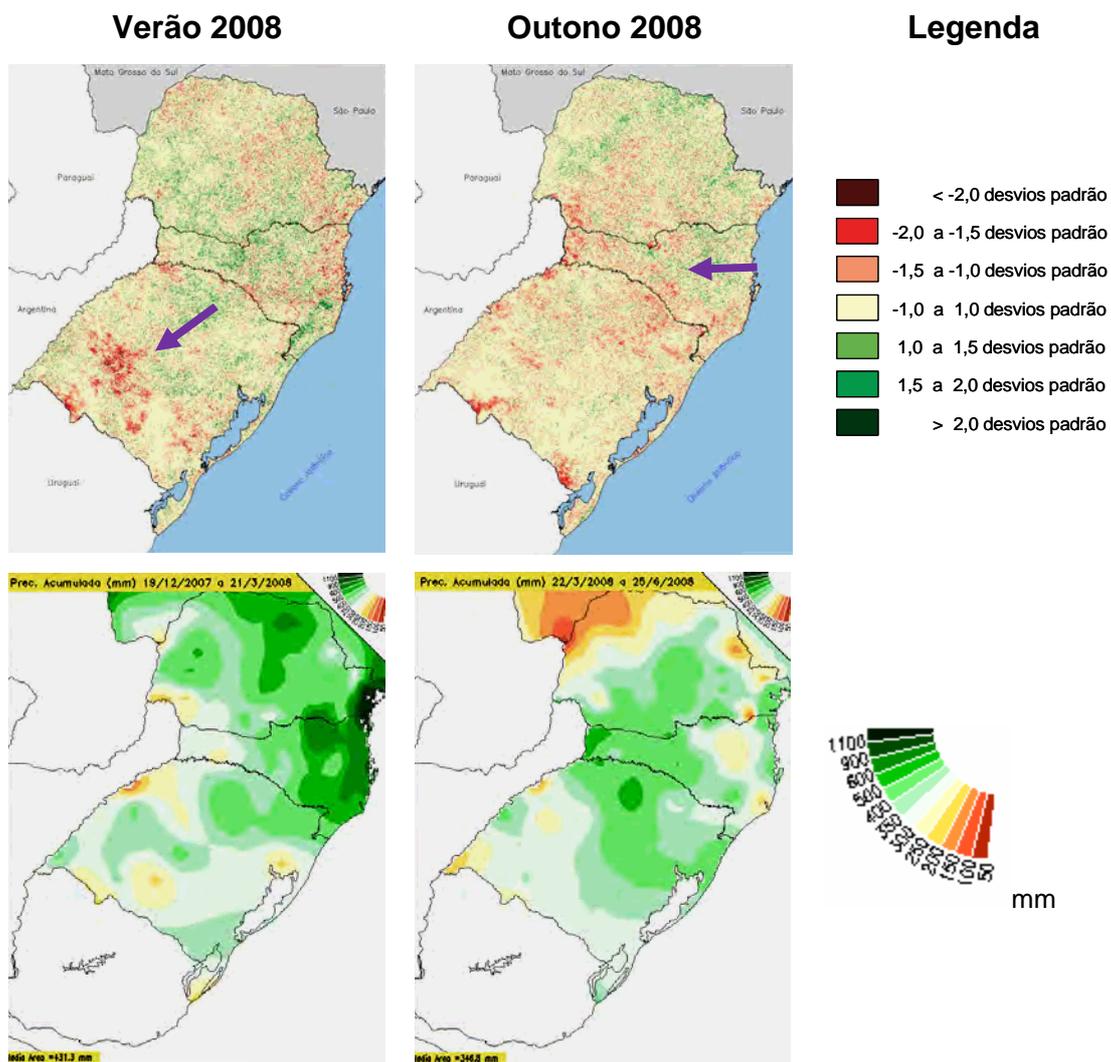


Figura 6.34 - Imagens de anomalia de vegetação e mapas de precipitação acumulada para o verão e outono de 2008.

O mapa de índice de precipitação padronizada - SPI para o mês de fevereiro (Figura 6.35) mostra uma faixa de SPI moderadamente seco, que vai do centro do Rio Grande do Sul ao sudoeste do Paraná, mas esta não aparenta ter tido muito influência na presença de áreas de anomalias negativas de vegetação, na região, no verão.

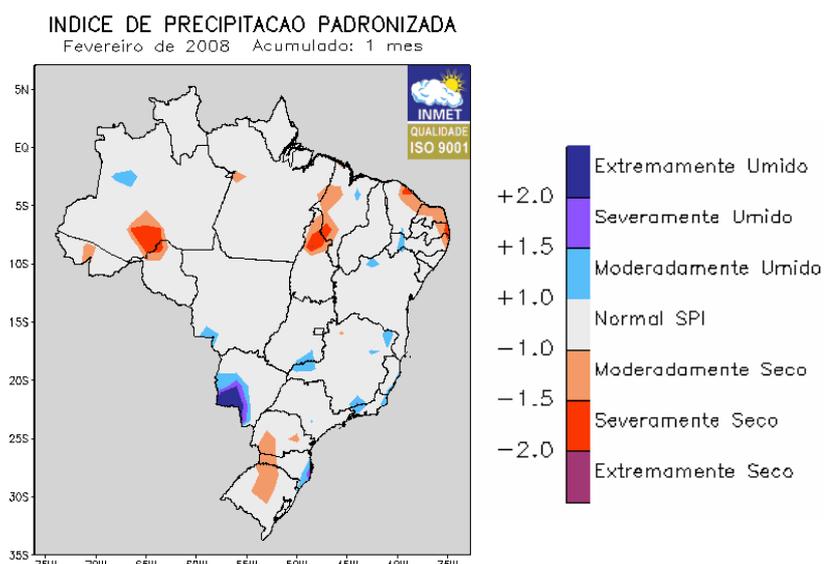


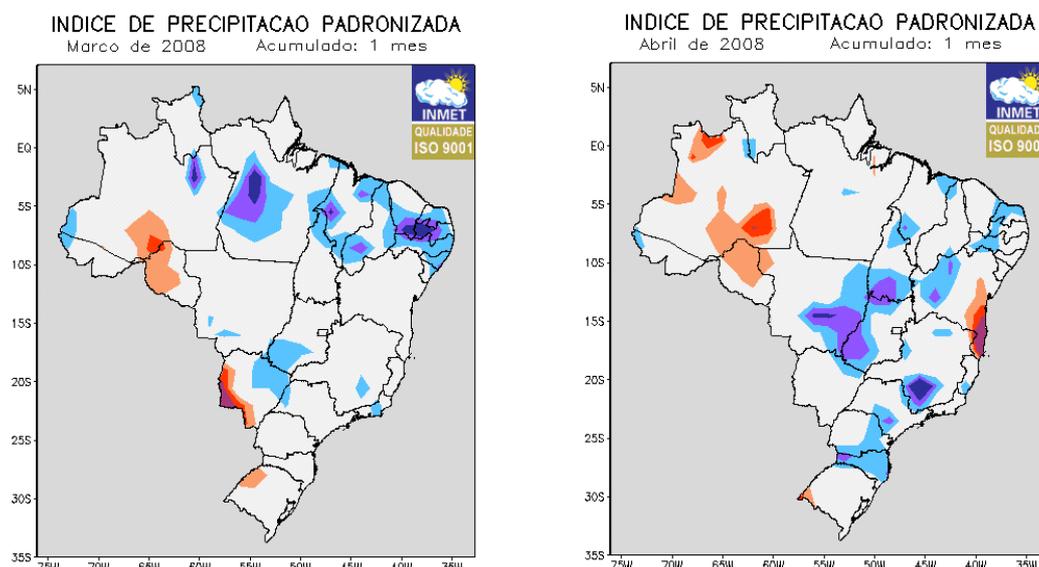
Figura 6.35 - Mapa de Índice de Precipitação Padronizada - SPI do mês de fevereiro de 2008, correspondente ao verão.
Fonte: INMET (2009).

No outono deste mesmo ano, novamente se observa a presença de áreas de anomalias negativas de vegetação distribuídas pelos três estados, com pequenos focos no Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Apesar de não haver ocorrido nenhuma área de concentração das anomalias negativas de vegetação, elas ocuparam uma área maior que no verão, correspondendo a 19,23% (109.184 km²) da região Sul, próximo a uma estiagem de intensidade baixa.

No estado de Santa Catarina elas corresponderam a 21,06% (20.085 km²) da área do estado e no Rio Grande do Sul elas chegaram a 21,37% (60. 215 km²), indicando a ocorrência de estiagem de intensidade baixa, em cada um deles. No primeiro elas distribuem-se de leste a oeste do estado indo do Sul ao Oeste Catarinense. No Rio Grande do Sul as áreas de anomalia apresentaram dois pequenos focos de concentração na fronteira com o Uruguai, na altura das cidades de Jaguarão, Arroio Grande, Santana do Livramento e Quaraí.

Os valores de precipitação acumulada para o outono não foram tão altos como no verão, no noroeste do Paraná os valores de precipitação acumulada variaram de 100 a 250 mm.

Conforme pode ser observado na Figura 6.36, nos meses de março e abril ocorreram áreas de SPI moderadamente seco em uma pequena área da região das Missões e da Campanha no Rio Grande do Sul. Já o estado de Santa Catarina apresentou SPI moderadamente a severamente úmido em todo seu território.



Legenda:

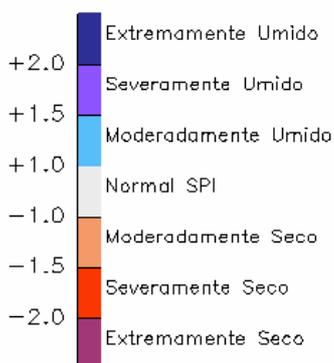


Figura 6.36 - Mapas de Índice de Precipitação Padronizada – SPI para os meses de março e abril de 2008.
 Fonte: INMET (2009).

No inverno de 2008 as áreas de anomalias negativas de vegetação voltam a ocorrer de forma generalizada por toda a região Sul do Brasil, com mais ênfase nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, conforme pode ser observado na Figura 6.37.

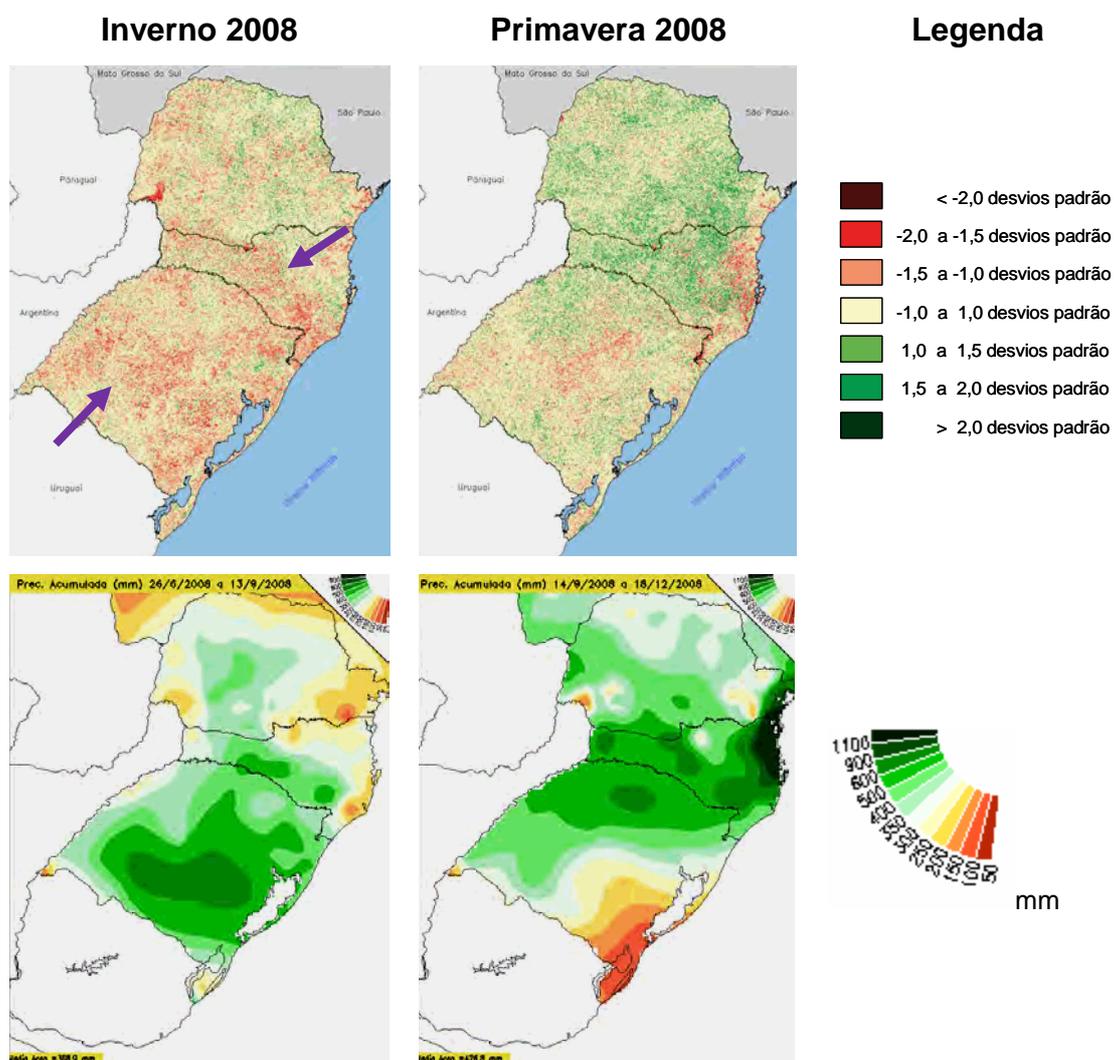


Figura 6.37 - Imagens de anomalia de vegetação e mapas de precipitação acumulada para o inverno e primavera de 2008.

No Rio Grande do Sul se elas distribuíram por todo o estado indo de uma ponta a outra no sentido leste oeste. Já em Santa Catarina elas ocorreram exatamente na mesma área observada no outono, só que agora, mais

concentradas. Nesta estação elas representaram 25,16% (143.088 km²) da área da região Sul, indicando a ocorrência de uma estiagem de intensidade média.

Em Santa Catarina elas corresponderam a 26,52% (25.284 km²) da área do estado e no Rio Grande do Sul, corresponderam a 28,09% (79.144 km²), em ambos elas foram indicativas de estiagem de intensidade média.

Tal como ocorreu em 2005 em toda a região Sul, aqui novamente a estiagem atingiu dois estados da região, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, por duas estações seguidas, outono e inverno, porém com uma intensidade bem menor que a observada em 2005. Assim estes estados apresentaram igualmente uma estiagem de intensidade baixa no outono de intensidade média no inverno.

Os valores de precipitação acumulada no inverno foram bastante altos em todo o Rio Grande do Sul e em parte de Santa Catarina e Paraná, variando de 300 a 900 mm. Na porção leste destes dois estados e norte do Paraná os valores de precipitação acumulada variaram de 100 a 250 mm.

A Figura 6.38 apresenta o mapa de índice de precipitação padronizada - SPI para o mês de Julho de 2008, correspondendo ao inverno, onde pode-se observar que todo o estado de Santa Catarina apresentou SPI variando de moderadamente a severamente seco.

Toda a porção norte do estado do Rio Grande do Sul também apresentou estes índices e grande parte da área do Paraná apresentou SPI variando de moderadamente seco a extremamente seco. Provavelmente estes índices aliados aos baixos valores de precipitação acumulada contribuíram para a ocorrência de anomalias negativas de vegetação nesta estação, principalmente em algumas regiões do estado de Santa Catarina.

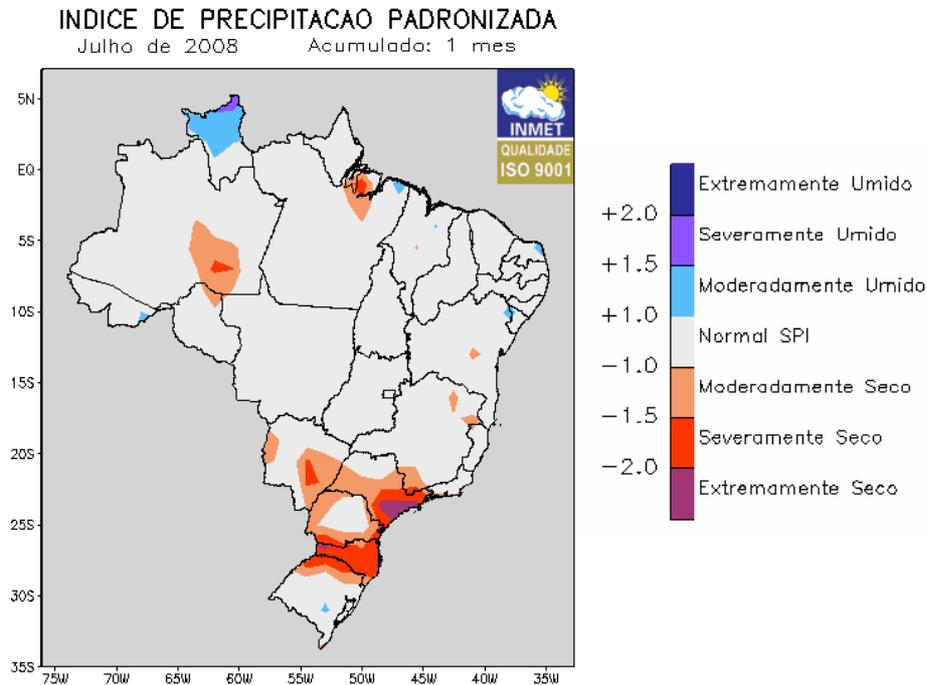
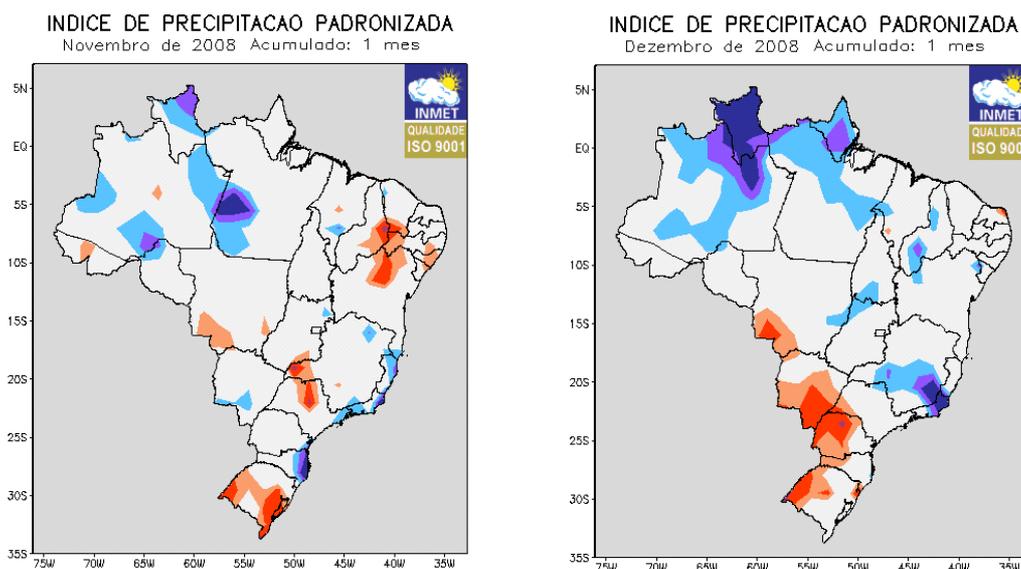


Figura 6.38 - Mapa de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para o mês de julho de 2008, correspondente ao inverno.
 Fonte: INMET (2009).

Na primavera, observa-se que na maior parte da região Sul os valores de precipitação acumulada foram bastante altos, estando dentro da média para essa estação do ano, variando de 300 a 1100 mm. Apenas na porção sudeste do Rio Grande do Sul os valores de precipitação acumulada variaram de 100 a 250 mm.

A Figura 6.39 apresenta os mapas de índice de precipitação padronizada - SPI para os meses de novembro e dezembro de 2008, correspondendo à primavera e início do verão.



Legenda:

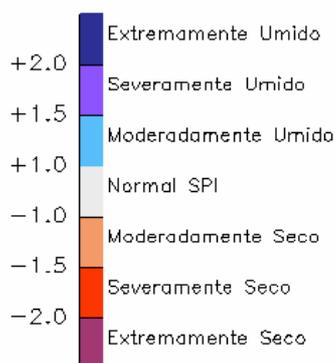


Figura 6.39 - Mapa de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para os meses de novembro e dezembro de 2008.
Fonte: INMET (2009).

Nesta figura pode-se observar que no mês de novembro ocorreu uma grande área no Rio Grande do Sul com SPI variando de moderadamente a severamente seco, abrangendo mais da metade do estado, sendo que a área de ocorrência do SPI severamente seco é a porção sudoeste, parte da Campanha e toda a área da Encosta do Sudeste e extremo sul do Litoral Sul. Contrariamente, na porção leste de Santa Catarina o SPI foi de moderadamente a extremamente úmido.

No mês de Dezembro toda a porção oeste da região Sul foi afetada por SPI variando de moderadamente a severamente seco, sendo que na fronteira do Rio Grande do Sul com a Argentina, abrangendo parte da Campanha e região das Missões o SPI foi severamente seco, o mesmo ocorrendo na região do Norte Central, Noroeste e Oeste do Paraná.

Se for analisada a distribuição das anomalias de vegetação na região Sul para a primavera de 2008 será observado que apesar dos índices secos e os baixos valores de precipitação acumulada no Rio Grande do Sul, não houve uma ocorrência significativa de anomalias negativas na região, ao contrário, a maior parte da área da região apresentou anomalias positivas de vegetação. As áreas de anomalias negativas de vegetação aparecem de forma mais significativa em toda porção leste do estado de Santa Catarina e em parte da porção central do Rio Grande do Sul.

6.9 Ano 2009

Em 2009 o verão apresentou valores altos de precipitação acumulada (300 a 1100 mm) para quase toda a região Sul, com exceção de uma parte do oeste do Rio Grande do Sul onde os valores de precipitação acumulada variaram de 100 a 250 mm. Ocorreram também pequenas manchas com estes mesmos valores no Sudoeste do Paraná, conforme pode ser observado na Figura 6.40. Estes valores estiveram dentro da média, para estação, para a região Sul do Brasil.

Porém, nesta mesma estação voltaram a ocorrer de forma intensa, em toda a região Sul do Brasil, áreas de anomalias negativas de vegetação representando 34,34% do seu território, o equivalente a 198.857 km², indicando a ocorrência de uma estiagem de intensidade alta. Para o período analisado neste estudo a estiagem de 2009 foi mais significativa que a de 2005, uma vez que houve um aumento de 11.125 km² de áreas anomalia de vegetação, em relação a 2005.

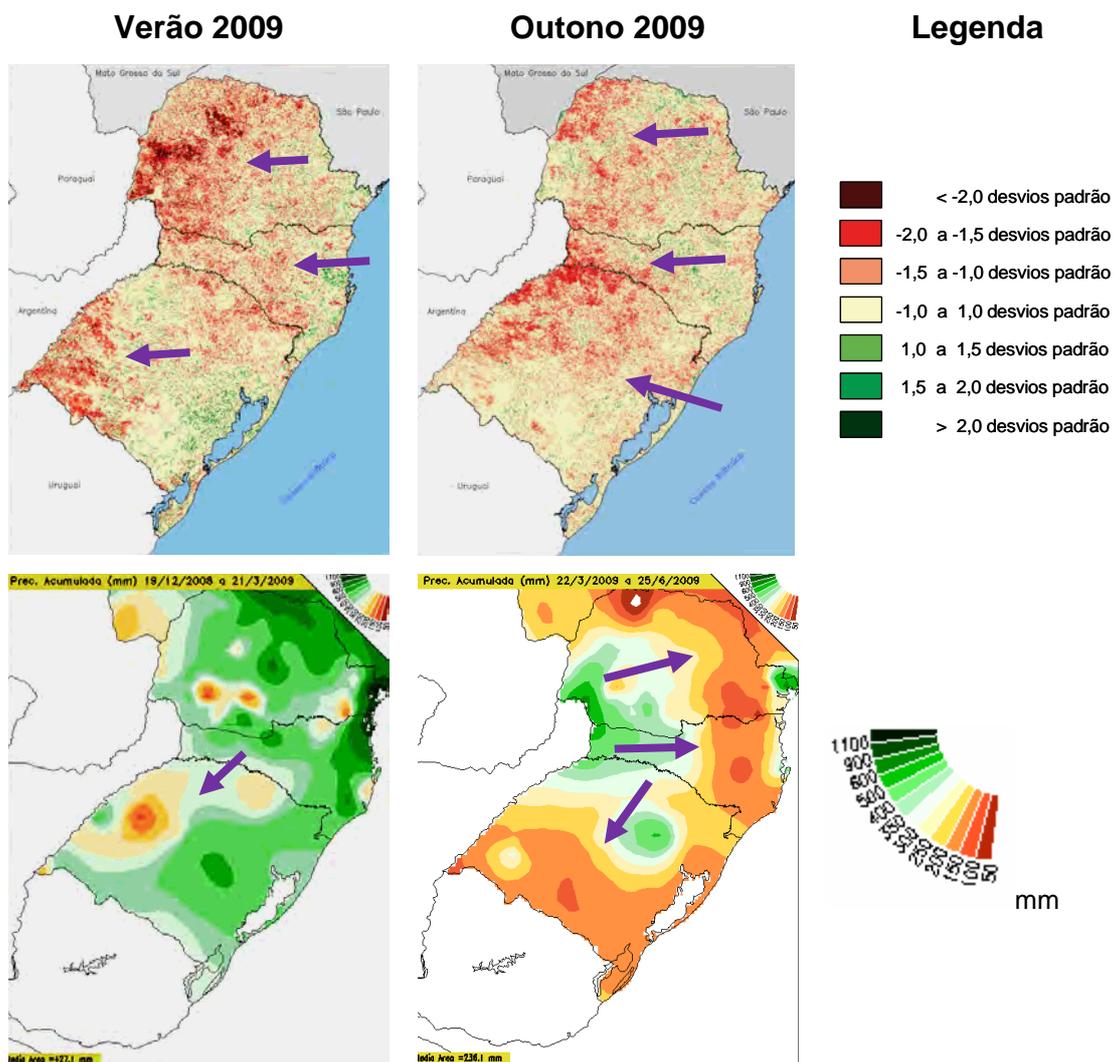


Figura 6.40 - Imagens de anomalia de vegetação e mapas de precipitação acumulada para o verão e outono de 2009.

Esta estiagem não coincide com os valores de precipitação acumulada observados para o verão, mas se for analisada novamente a Figura 6.29, poderá observar-se que as áreas de ocorrência de anomalias negativas de vegetação coincidem com o SPI do mês de dezembro de 2008 que variou entre moderadamente a severamente seco, e sua localização no mapa é a porção oeste de toda a região Sul do Brasil, ocupando maior área no estado do Paraná.

Conforme mencionado no item 6.8, referente ao ano de 2008, na primavera (14 de setembro a 18 de dezembro) deste ano, estes índices de SPI não refletiram na vegetação, mas considerando que as imagens *MODIS* analisadas no verão de 2009 referem-se ao período de 19 de dezembro de 2008 a 21 de março, é natural que este SPI apareça em forma de anomalias negativas de vegetação no verão de 2009.

O estado mais afetado por anomalias negativas de vegetação foi o Rio Grande do Sul onde elas representaram 36,98% (104.189 km²) da área do estado, indicando a ocorrência de estiagem de intensidade alta. Elas ocorreram principalmente na porção sudoeste do estado, em parte da Campanha gaúcha e região das Missões, onde estão localizadas as cidades de Santana do Livramento, Quaraí e Uruguaiana. Há também uma área de anomalias de vegetação na região do Alto Uruguai e Campos de Cima da Serra, já fazendo fronteira com Santa Catarina.

O segundo estado mais afetado foi o Paraná onde as áreas de anomalia representaram 34,41% (68.580 km²) do estado. Elas ocorreram de forma mais concentrada, quase formando um corredor, nas regiões Oeste, Centro-Ocidental, e Norte-Central, do estado, na altura das cidades de Foz do Iguaçu, Iracema do Oeste, Campo Mourão, Maringá e Florestópolis.

Já Santa Catarina teve 27,36% (26.088 km²) de sua área recoberta por anomalias negativas de vegetação. Elas espalharam-se desde a região Serrana, parte do Vale do Itajaí e parte do Norte Catarinense, até a fronteira com a Argentina, ocupando todo o Oeste Catarinense, localizando-se na altura das cidades de São Joaquim, Lajes, Canoinhas, Videira, Chapecó e São Miguel.

No outono de 2009 voltou a ocorrer na região Sul do Brasil grandes áreas de anomalias negativas de vegetação, chegando a cobrir 28,55% (163.871 km²) da área da região, correspondendo a uma estiagem de intensidade média.

A principal área afetada foi toda a porção centro oeste da região Sul e tal como em 2005, a estiagem estendeu-se por duas estações. A diferença entre a estiagem de 2005 e a de 2009 é que a primeira concentrou-se principalmente no Rio Grande do Sul e a última se espalhou pelos três estados.

Nesta estação o estado que apresentou a maior extensão de áreas de anomalias negativas de vegetação foi Santa Catarina, que teve 31,48% (30.012 km²) de seu território afetado, indicando a ocorrência de estiagem de intensidade alta. O Rio Grande do Sul teve 28,10% (79.171 km²) de sua área afetada por anomalias de vegetação, indicando a ocorrência de estiagem de intensidade média, e o Paraná teve 27,44% (54.688 km²) de sua área afetada, indicando também a ocorrência de estiagem de intensidade média.

Chama-se a atenção que em 2005 os estados do Sul enfrentaram uma estiagem de intensidade alta seguida por uma de intensidade baixa, já em 2009 eles enfrentaram uma estiagem de intensidade alta seguida por uma de intensidade média.

Analisando os mapas de precipitação acumulada para esta estação observa-se que praticamente toda a região Sul apresentou valores baixos de precipitação (50 a 250 mm) com exceção apenas de parte da Depressão Central e Alto Uruguai no Rio Grande do Sul, todo o Oeste Catarinense e o Sudoeste, Oeste e Centro-Oriental do Paraná. Nestas áreas os valores de precipitação acumulada variaram de 300 a 900 mm. A média da região Sul para esta estação foi de apenas 236,1 mm, considerada baixa para este período do ano.

A Figura 6.41 apresenta os mapas de índice de precipitação padronizada - SPI para os meses de março, abril e junho, correspondendo ao final do verão e outono.

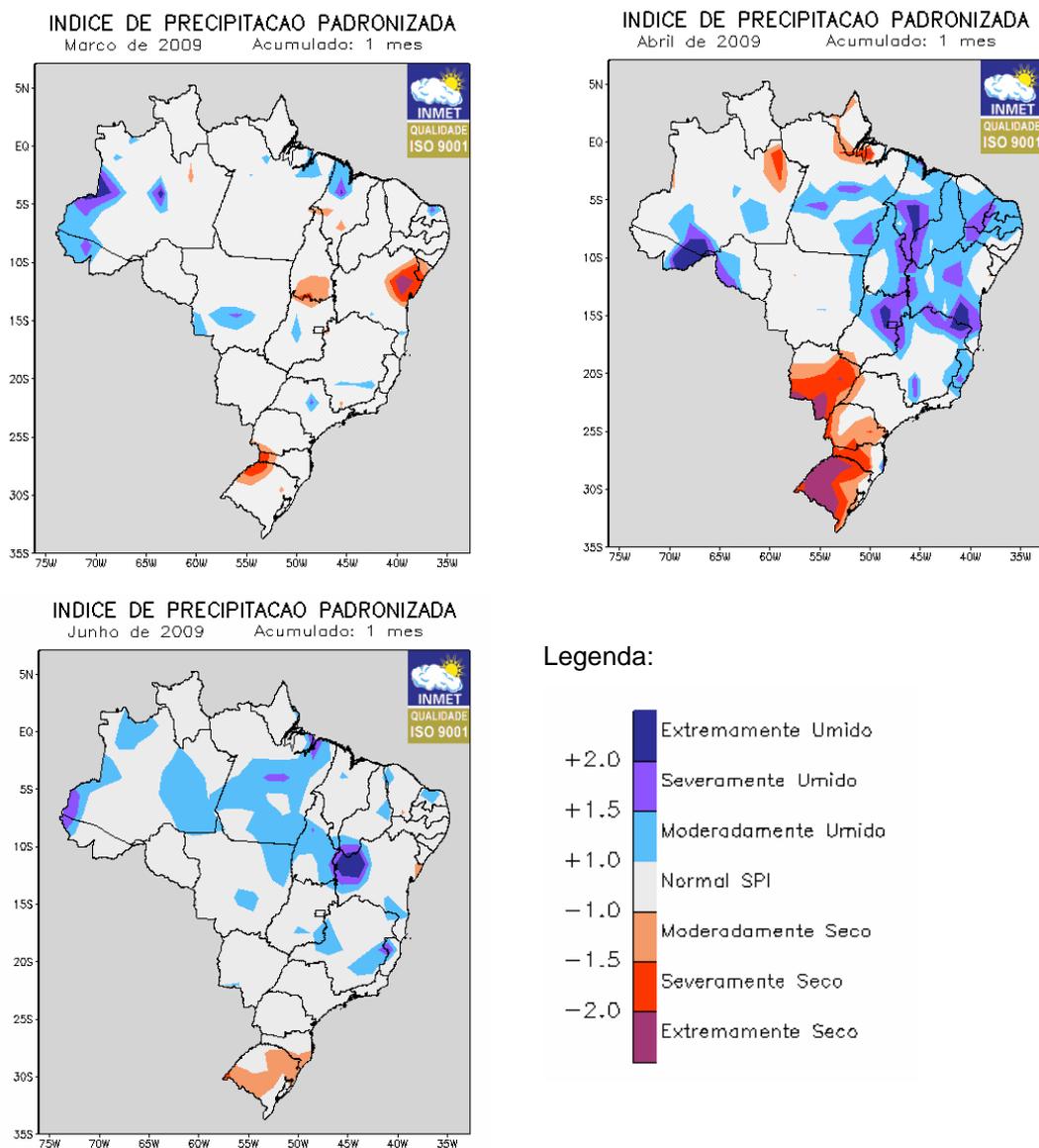


Figura 6.41 - Mapas de Índice de Precipitação Padronizada - SPI para os meses de março, abril e junho de 2009, correspondente ao outono.
Fonte: INMET (2009).

Analisando estes mapas observa-se no mês de março ocorreram áreas com SPI variando de moderadamente a severamente seco na fronteira oeste do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. No mês de abril praticamente todo o Rio Grande do Sul, a maior parte de Santa Catarina e grande parte do Paraná apresentaram SPI variando de moderadamente a extremamente seco, sendo que este último ocorre na porção centro-oeste do Rio Grande do Sul. Já no mês de junho observa-se a ocorrência de SPI moderadamente seco em grande parte do Rio Grande do Sul e em uma pequena porção do Sul Catarinense. As áreas de ocorrência de anomalias de vegetação no Sul do país, nesta estação, em sua maioria coincidem com estes SPI negativos.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Ao final deste trabalho concluiu-se que:

- Os resultados alcançados demonstraram que a metodologia utilizada e as imagens *EVI/MODIS* são úteis para a caracterização e o monitoramento de áreas de anomalias de vegetação.
- A metodologia utilizada permitiu obter nas imagens *EVI/MODIS* as anomalias de vegetação, positivas e negativas, para cada estação do ano no período de dezembro de 2000 a junho de 2009, sendo que as anomalias negativas foram indicativas das áreas de estiagem na região Sul do Brasil.
- Devido à resolução temporal das composições *EVI/MODIS*, que podem ser obtidas a cada 16 dias, é possível fazer um monitoramento constante das ocorrências de anomalias negativas de vegetação indicativas de estiagem, possibilitando assim ações preventivas ou de tomadas de decisão que possam minimizar os danos causados por este tipo de desastre.
- A resolução espacial de 250m das composições *MODIS* é adequada para estudos em escala regional, como o que foi realizado neste trabalho, considerando que os eventos de estiagem e seca ocorrem em grandes extensões de área.
- Sendo a estiagem e a seca um tipo de desastre de longa duração e lenta evolução se faz necessário um grande número de imagens de forma continuada. Com o fato das imagens *EVI/MODIS* estarem disponíveis gratuitamente e acessíveis em <https://wist.echo.nasa.gov/wist-bin/api/ims.cgi?endform=1&u=637107&SESSION=&mode=MAINSRCH>

elas podem ser utilizadas por qualquer instituição, organismo ou pesquisador interessado em eventos desta natureza.

- Devido ao fato de que para estudos de monitoramento de estiagem, como o realizado neste trabalho, há necessidade de um grande número de imagens. O uso do *software* MODIS Reprojection Tool, disponível em https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/tools/modis_reprojection_tool facilitou a extração das bandas desejadas, o georreferenciamento delas e a geração dos mosaicos da área em estudo, diminuindo o tempo de pré-processamento das imagens.
- Para todo o período analisado os estados do Paraná e Rio Grande do Sul foram os mais afetados pela estiagem.
- No estado do Paraná houve um evento de estiagem de intensidade alta em cada uma das estações do ano no período analisado.
- Santa Catarina só teve eventos de estiagem de intensidade alta no verão e no outono.
- O Rio Grande do Sul apresentou eventos de estiagem de intensidade alta somente no verão.
- Na primavera não se registrou nenhum evento de estiagem em Santa Catarina e Rio Grande do Sul.
- Ao analisar a distribuição das áreas de anomalias negativas de vegetação observou-se no Paraná e no Rio Grande do Sul que elas aparecem de forma concentradas em algumas regiões destes estados, em Santa Catarina, na maioria das vezes, elas estão distribuídas por todo o estado.

- O verão de 2005 e o de 2009 foram os períodos que apresentaram as maiores extensões de áreas de anomalias negativas de vegetação coincidindo com os dois grandes episódios de estiagem que ocorreram na região Sul do Brasil.
- Comparando a extensão das áreas de anomalias negativas de vegetação para estiagem de 2005 e de 2009, no verão, nos três estados tem-se o seguinte cenário:
 - Paraná:
 - 2005-19,95% de área do estado correspondeu a anomalias negativas de vegetação, estando próximo a uma estiagem de intensidade baixa;
 - 2009-34,41% - da área do estado correspondeu a anomalias negativas de vegetação, indicativa de uma estiagem de intensidade alta;
 - Houve um aumento de 14,46% na área de anomalias negativas vegetação entre 2005 e 2009.
 - Santa Catarina:
 - 2005-35,96% - da área do estado correspondeu a anomalias negativas de vegetação, indicativa de uma estiagem de intensidade alta;
 - 2009-27,36%-da área do estado correspondeu a anomalias negativas de vegetação, indicativa de uma estiagem de intensidade média;

- Houve um decréscimo de 8,6% na área de anomalias negativas de vegetação, entre 2005 e 2009.

- Rio Grande do Sul:
 - 2005-40,34% da área do estado correspondeu a anomalias negativas de vegetação, indicativa de uma estiagem de intensidade alta;

 - 2009-36,98% da área do estado correspondeu a anomalias negativas de vegetação, indicativa de uma estiagem de intensidade alta;

 - Houve um decréscimo de 3,36% na área de anomalias negativas de vegetação, entre 2005 e 2009, porém, este foi o único estado que no verão, nos dois anos, teve anomalias indicativas de estiagem de intensidade alta.

- Constatou-se que tanto em 2005 como em 2009 os estados da região Sul do país enfrentaram duas estações seguidas com estiagem, a saber:
 - Paraná:
 - no verão ocorrência de estiagem de intensidade alta;

 - no outono ocorrência de estiagem de intensidade média.

 - Santa Catarina:
 - no verão ocorrência de estiagem de intensidade média;

 - no outono ocorrência de estiagem de intensidade alta.

- Rio Grande do Sul:
 - no verão ocorrência de estiagem de intensidade alta;
 - no outono ocorrência de estiagem de intensidade média.
- Constatou-se que as áreas preferenciais para a ocorrência de anomalia negativa de vegetação nos estados da região Sul foram:
 - Paraná: Norte Pioneiro, Norte Central, Noroeste e Oeste;
 - Santa Catarina: Oeste, Serrana e Vale do Itajaí;
 - Rio Grande do Sul: Campanha, Missões e Alto Uruguai.
- Analisando de forma conjunta os dados de precipitação acumulada e os de anomalia de vegetação para os anos e estações, considerados neste estudo verificou-se que quando há ocorrência de valores de precipitação acumulada altos, a resposta da vegetação é mais rápida, do que quando há baixos valores de precipitação.
- O tempo de resposta da vegetação para as estações onde os valores de precipitação acumulada foram baixos, tardou pelo menos um ou dois meses, sendo muito vezes esta identificada apenas na estação seguinte.
- Verificou-se que algumas áreas dos estados da região Sul, respondem de maneira diferenciada a valores de precipitação, não sendo necessários valores tão baixos para que fosse possíveis identificar áreas de anomalias negativas de vegetação, exemplo, a Campanha e as Missões no Rio grande do Sul e o Norte Pioneiro e o Norte Central no Paraná.

- A falta de relação direta entre precipitação acumulada e ocorrência de anomalias de vegetação depende das características fisiográficas de cada região onde o tipo de solo e do uso e cobertura do solo propiciam a intensificação ou não de eventos anômalos de vegetação.
- Os mapas de índice de precipitação padronizada mensais permitiram identificar o mês e as áreas onde ocorreram os valores negativos correlacionados com clima de moderadamente a extremamente seco, sendo estes os que em geral corresponderam às áreas de ocorrência de anomalia negativa de vegetação.

Recomenda-se que:

- Seja analisada a correspondência entre os decretos de estiagem dos municípios e as áreas de anomalias negativa de vegetação caracterizadas nas imagens.
- Faça-se a análise da correspondência entre as áreas de anomalias negativas de vegetação com tipo do solo e uso e cobertura do solo.
- Seja pesquisada a correlação entre anomalias de vegetação e anomalias de precipitação com o intuito de desenvolver modelos preditivos de área de estiagem.
- Sejam estabelecidas as correlações de ocorrência de áreas de anomalia negativa de vegetação, indicativas de estiagem, com as principais culturas agrícolas nos três estados da Região Sul do Brasil.

- Se realize o zoneamento das áreas preferenciais de anomalia de vegetação, de acordo com a frequência de ocorrência do evento, com o intuito de propor políticas públicas de combate à estiagem.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, R. **Estiagem**: como conviver com esse fenômeno?. Extensão Rural e Desenvolvimento Sustentável, v. 1, n. 4, p. 11 – 14, nov/dez 2005. Disponível em: < <http://www.emater.tche.br/site/br/arquivos/servicos/biblioteca/publicacoes/vol1/n4/03-Reportagem.pdf>>. Acesso em: 22 julho 2009.

AGROLINE. <http://www.agronline.com.br/agronoticias/noticia.php?id=1127>; Acessado em 19/04/2009

ANYAMBA, A.; TUCKER, C. J.; HUETE, A. R.; BOKEN, V. K. Monitoring drought using coarse-resolution polar-orbiting satellite data. In: BOKEN, V. K.; CRACKNELL, A. P.; HEATHCOTE, R. L. (eds.). **Monitoring and predicting agricultural drought**: a global study. New York: Oxford University Press. 2005. Cap. 5, p. 57 – 78.

Boken, V. K. Agricultural drought and its monitoring and prediction: some concepts. In: BOKEN, V. K.; CRACKNELL, A. P.; HEATHCOTE, R. L. (eds.). **Monitoring and predicting agricultural drought**: a global study. New York: Oxford University Press. 2005. Cap. 1, p. 3 – 10.

BONIFACIO, R.; DUGDALE, G.; MILFORD, J. R. Sahelian rangeland production in relation to rainfall estimates from Meteosat, **International Journal of Remote Sensing**, v. 14, p. 2695 – 2711, 1993.

CASTRO, A. L. C.; CALHEIROS, L. B.; CUNHA, M. I. R.; BRINGEL, M. L. N. C. **Manual de desastres**: desastres naturais. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003. 174 p. Disponível em: <http://www.defesacivil.gov.br/publicacoes/publicacoes/desastres_naturais.asp>. Acesso em: 1 jun. 2008.

CLIMANÁLISE - Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC. Disponível em: <http://www6.cptec.inpe.br/revclima/boletim/>. 2001-2007. Acessos diversos

CRUZ, G.; RODRIGUES, M. L.; CANÔNICA, E.; MORAES, M. Análise sinótica da estiagem no verão 2004/2005 no Oeste e Meio-Oeste Catarinense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14, 2006, Florianópolis. **Anais...** Disponível em: <http://www.cbmet.com/edicoes.php?pageNum_Recordset_busca=2&totalRows_Recordset_busca=1006&cgid=14>. Acesso em: 29 set. 2009.

DRACUP, J. A.; LEE, K. S.; PAULSON, E. G. J. On the definition of drought. **Water Resources Research**, v. 16, n. 2, p. 279 – 302, 1980.

EMBRAPA TRIGO. **Informações gerais sobre a cultura do trigo**. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br> . Acessos diversos.

EMBRAPA ARROZ. **Informações gerais sobre a cultura do trigo**. Disponível em:
<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoBrasil/index.htm>. Acessos diversos.

GAO, X., HUETE, A.R., NI, W., AND MIURA, T. Optical-biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination, **Remote Sensing of Environment**. v.74, p.609-620, 2000.

GONZÁLEZ, L., PAREDES, P., RIAL, P. **Severidad de la Sequía en Santa Cruz**: evaluación a través de índices de vegetación de imágenes MODIS. Laboratorio de Teledetección y SIG. EEA Santa Cruz. Convenio INTA – Provincia de Santa Cruz. Octubre de 2008.

GHULAM, A.; QIN, Q.; TEYIP, T.; LI, Z. L. Modified perpendicular drought index (MPDI): a real-time drought monitoring method. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 62, p. 150 – 164, 2007.

HERRMANN, M. L. P. (org.). **Atlas de desastres naturais do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: IOESC, 2006, 146 p.

HUETE, A. R., LIU, H. An error and sensitivity analysis of the atmospheric- and soil-correcting variants of the NDVI for MODIS-EOS, **IEEE Trans. Geoscience & Remote Sensing**, v.32, p. 897-905, 1994.

HUETE, A., JUSTICE, C., LIU, H. Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. **Remote Sensing of Environment**, v. 49, p. 224 - 234, 1994.

HUETE, A. R.; LIU, H. Q.; BATCHILY, K.; VAN LEEUWEN, W. J. D. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, p. 440 - 451, 1997.

HUETE, A. R., JUSTICE, C., LIU, H. Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. **Remote Sens. Environ.**, v. 49, p. 224-234, 1994.

HUETE, A., KEITA, F., THOMÉ, K., PRIVETTE, J., VAN LEEUWEN, W.J.D., JUSTICE, C., MORISSETTE, J. A light aircraft radiometric package for MODLAND quick airborne looks (MQUALS). **Earth Observer**, v.11, n. 1, p. 22, 1999.

JIN, S.; SADER, S. A. MODIS time-series imagery for forest disturbance detection and quantification of patch size effects. **Remote Sensing of Environment**, v. 99, n. 4, p. 462-470, Feb. 2005.
IBGE Estados@. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/>. Acesso em: 10 dez. 2008.

LIN, M. L.; CAO, Y.; JUAN, C. H.; CHEN, C. W.; HSUEH, I. C.; WANG, Q. B.; LEE, Y. T. Monitoring Drought Dynamics in the Ejin Oasis using Drought Indices from MODIS Data. In: GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 2008. IGARSS 2008. Boston, Massachusetts, U.S.A. **Proceedings...** IEEE International, v. 4, p. IV-834 – IV-837, July 2008b.

LIN, M. L.; CHU, C. M.; CHEN, C. W.; CAO, Y.; SHIH, J. Y.; LEE, Y. T.; HO, L. D. A GIS-based Local spatial autocorrelation for drought risk assessment in arid and semi-arid environments: a case study in Ejin Oasis, Western China. In: GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 2008. IGARSS 2008. Boston, Massachusetts, U.S.A. **Proceedings...** IEEE International, vol. 4, p. IV-830–IV-833, July 2008a.

LIU, W. T. H.; MASSAMBANI, O.; NOBRE, C. A. Satellite recorded vegetation response to drought in Brazil. **International Journal of Climatology**. Vol. 14, no. 3, p. 343 – 354, 1994.

MARENGO, J. A., NOBRE, C. A., TOMASELLA, J., OYAMA, M. D., OLIVEIRA, G. S., OLIVEIRA, R., CAMARGO, H., ALVES, L. M., BROWN, I. F. The Drought of Amazonia in 2005. **American Meteorological Society**, p. 495-516, 2008.

MENG-LUNG L., CHIEN-MIN C., CHENG-WU C., YU C., JYH-YI S., YUNG-TAN L., LIH-DEH H. **A Gis-based local spatial autocorrelation for drought risk assessment using remotely sensed imagery in arid environments**. IGARSS 2008.

METSUL (www.metsul.com/blog-24hs/?cod_publicacao=203). 18/05/2009
McKee, T. B.; Doesken, N. J.; Kleist, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: EIGHTH CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 1993, Anaheim, CA, **Proceedings...** Anaheim: American Meteorological Society, 1993. p. 179 – 184

NATIONAL DROUGHT MITIGATION CENTER - NDMC. **What is drought?**. University of Nebraska–Lincoln. Disponível em: <<http://drought.unl.edu/index.htm>>. . Acesso em: 20 jan. 2009.

PALMER, W. C. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: the cropmoisture index. **Weatherwise**, vol. 21, no. 4, p. 156 – 161, 1968.

- PALMER, W. C. **Meteorological drought**. Research Paper no. 45. Washington, DC: US Department of Commerce, Weather Bureau. 1965. 59 p.
- PARK, J. S.; KIM, K. T.; CHOI, Y. S. Application of Vegetation Condition Index and Standardized Vegetation Index for assessment of spring drought in South Korea. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2008. IGARSS 2008. Boston, Massachusetts, U.S.A. **Proceedings...** IEEE International, vol. 3, p. III-774 – III-777, July 2008.
- RAMÍREZ, P. O.; BRENES, A. **Informe sobre las condiciones de sequía observadas en el Istmo Centroamericano en el 2001**. San José, Costa Rica: Sistema de Integración Centroamericana (SICA), Comité Regional Recursos Hidráulicos (CRRH), 2001. 33 p.
- SALESKA, S. R.; DIDAN, K.; HUETE, A. R.; ROCHA, H. R. Amazon forest green-up during the 2005 drought. **Science**, v. 318, n. 5850, p. 612. Disponível em:
<<http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/sci;318/5850/612?maxtoshow=&HITS=10&hits=10&RESULTFORMAT=&andorexacttitleabs=and&fulltext=saleska&andorexactfulltext=and&searchid=1&FIRSTINDEX=0&resourcetype=HWCIT>>. Acesso em: 19 jan. 2009.
- TENG, W. L. AVHRR Monitoring of Vegetation Index Crops during the 1988 Drought. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, n.8, p. 1143-1146, 1990.
- TUCKER, C. J.; CHOUDHURY, B. J. Satellite remote sensing of drought conditions. **Remote Sensing of Environment**, v. 23, n. 2, p. 243 – 251, 1987.
- VAN ROOY, M. P, A rainfall anomaly index independent of time and space. **Notos**, v. 14, 43 – 48, 1965.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION – WMO. **Drought monitoring and early warning: concepts, progress and future challenges**. WMO – n. 1006. 2006.