

Diego Souza Venâncio

**AS INFLUÊNCIAS DA VARIABILIDADE CLIMÁTICA NO
DESEMPENHO AGRONÔMICO DO MILHO NA
MESORREGIÃO OESTE CATARINENSE**

Dissertação submetida ao Programa de
Pós Graduação em Geografia da
Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do Grau de
Mestre em Geografia.

Orientador: Profa. Dra. Magaly
Mendonça

Florianópolis

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária
da UFSC.

Venâncio, Diego Souza

As influências da variabilidade climática no desempenho
agronômico do milho na mesorregião Oeste Catarinense / Diego
Souza Venâncio ; orientadora, Dra. Magaly Mendonça -
Florianópolis, SC, 2014.

115 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Programa
de Pós-Graduação em Geografia.

Inclui referências

1. Geografia. 2. Climatologia. 3. Variabilidades
Climáticas. 4. Agricultura. I. , Dra. Magaly Mendonça .II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-
Graduação em Geografia. III. Título.

Diego Souza Venâncio

**AS INFLUÊNCIAS DA VARIABILIDADE CLIMÁTICA NO
DESEMPENHO AGRONÓMICO DO MILHO NA
MESORREGIÃO OESTE CATARINENSE**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Geografia”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós Graduação em Geografia.

Florianópolis, de 03 de novembro de 2014.

Prof. Dr. Márcio Rogério Silveira
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a Magaly Mendonça - Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Rosandro Boligon Minuzzi
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Alberto Elvino Franke
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Cássio Arthur Wollmann
Universidade Federal de Santa Maria

Este trabalho é dedicado a Deus,
minha família e aos meus queridos
amigos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente queria agradecer a Deus, Jesus e aos meus mentores espirituais por ter garantido a saúde, capacidade intelectual e boas intuições para a execução de trabalho tão árduo.

Agradecer aos meus pais e irmãos pelo apoio. Principalmente, a minha amada mãe Maria Helena pela dedicação incondicional para que eu chegasse até esse momento. Ao meu irmão Júnior pelo auxílio na tradução do resumo.

Ao meu tio Jaime por ter contribuído com o apoio financeiro aos meus estudos durante parte do ensino básico.

Também agradecer em especial a minha querida companheira e namorada Rafaela pela força mental e física para a execução deste trabalho e pela compreensão pela minha ausência em determinados momentos.

Ao Luiz e a Fon pelos cafés, comidas e risadas estimulantes e pelos bons conselhos para a tarefa deste trabalho.

A todos os professores do ensino básico, da graduação e da pós graduação que não mediram esforços para que eu alcançasse este momento. Em especial a minha orientadora Prof. Magaly que desde o primeiro contato pelo email sempre se mostrou atenciosa e participativa, mesmo nos momentos mais complicados.

A todos os colegas de Pós Graduação, principalmente, os parceiros do Grupo de Estudos em Desastres Naturais do Laboratório de Climatologia Aplicada.

Um agradecimento especial a todos os servidores da Secretária da Pós Graduação que sempre foram muito prestativos e atenciosos.

Aos amigos que sempre inspiraram o meu trabalho através de conselhos e boas risadas.

Aos amigos do Desterro que eu considero com uma família e que me fizeram ao longo dos anos apreender que sem o trabalho duro, árduo e suor não podemos alcançar nossos objetivos.

“A verdadeira viagem de descobrimento não consiste em procurar novas paisagens, mas em ter novos olhos.”

(Marcel Proust)

RESUMO

A cultura do milho apresenta destacada importância econômica na Mesorregião Oeste Catarinense (MOC) por ser um dos insumos essenciais da cadeia econômica agroindustrial e o desempenho agrônômico desta cultura tem sido impactado pela tecnologia, pelo preço no mercado e também pelo clima e suas variabilidades como o El Niño Oscilação Sul (ENOS) e a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). Para analisar a influência destas variabilidades climáticas no desempenho agrônômico do milho na Mesorregião Oeste Catarinense foram selecionados os seguintes objetivos específicos: identificar os elementos do clima e as variabilidades climáticas que mais influenciam no desenvolvimento e desempenho agrônômico do milho; comparar as possíveis influências dos fatores geográficos e dos sistemas atmosféricos na distribuição espacial e nos totais de precipitação pluvial e relacionar o ritmo climático, os fatores geográficos e o rendimento do milho com as variabilidades climáticas. Para alcançar os objetivos propostos foram simulados no software Aquacrop 4.0 a duração da floração, enchimento e maturação dos grãos e os dados produtivos como produção de biomassa e rendimento agrícola com três datas de semeadura (1º de setembro, 1º de outubro e 1º de novembro) nas estações de São Miguel do Oeste, Chapecó e Ponte Serrada na safra 2004/05 de menor rendimento na safra 2010/11 de maior rendimento nestas estações e nas estações de Joaçaba e Xanxerê. Durante a floração, enchimento e maturação dos grãos foram analisados os gráficos de ritmo climático para identificar influências sobre desenvolvimento e desempenho agrônômico do milho. Para relacionar as variabilidades ao ritmo climático e o desempenho agrônômico foram utilizados índices do ENOS e da ODP. Dentre os resultados na safra 2004/05 a irregularidade pluviométrica em todas as estações esteve atrelada à atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), dos Bloqueios Atmosféricos (BLO) e aos índices positivos da ODP e ao El Niño de categoria fraca. Enquanto na safra 2010/11 a regularidade pluviométrica esteve associada Frentes Frias (FFs), Frentes Frias Litorâneas (FFLs), aos Jatos de Baixos Níveis da América do Sul (JBNAS), as Zonas de Convergências do Atlântico Sul (ZCAS) e sistemas convectivos como os Complexos Convectivos de Mesoscala (CCMs), à La Niña de categoria forte e aos índices negativos da ODP. Na estação de Ponte Serrada a elevada altitude atrasou a floração, o enchimento e maturação dos grãos e a sua posição a barlavento favoreceu a ocorrência de precipitações orográficas aumentando o volume e a regularidade das precipitações, o que também determinou os maiores rendimentos entre todas as estações. Na safra 2004/05 e 2010/11 a melhor época de plantio foi 01º de setembro, exceto para a estação de Ponte Serrada onde a melhor época de plantio foi 1º de novembro.

Palavras-chave: Variabilidade Climática, Rendimento Agrícola do milho; Ritmo Climático;

ABSTRACT

Corn crop features a high economic importance in Western Mesoregion of Santa Catarina (WMSC) for being one of the essential inputs of the agro industrial economic chain and the agronomic performance of this culture has been impacted by technology, by market price and also by the climate and its variability like the El Niño Southern Oscillation (ENSO) and the Pacific Decadal Oscillation (PDO). To analyze the influence of these climatic variability in the corn agronomic performance in Western Mesoregion of Santa Catarina the following specific objectives have been selected: identify the elements of weather and climate variability that most influence the development and the corn agronomic performance; compare the possible influences of geographical factors and weather systems in the spatial distribution and rainfall totals and relate the climatic rhythm, geographic factors and corn yield with climate variability. To achieve the proposed objectives the duration of flowering, filling and grain maturity and production data like biomass production and agricultural income have been simulated in Aquacrop 4.0 software with three sowing dates (September 1st, October 1st and November 1st) in São Miguel do Oeste, Chapecó and Ponte Serrada stations during the lower yield harvest in 2004/05 and during the highest yield harvest in 2010/11 in the same stations and also in Joaçaba and Xanxerê stations. During flowering, grain maturity and filling the climate rate curves have been analyzed to identify influences on the development and agronomic performance of corn. ENSO and PDO indexes have been used to relate climatic variability rhythm and agronomic performance. Among the results during the 2004/05 harvest the rainfall irregularity in all seasons was linked to the performance of the South Atlantic Convergence Zone (SACZ), Atmospheric Locks (AL), positive PDO results and to the weak El Niño. While in the 2010/11 harvest the rainfall regularity was associated to Cold Fronts (CF), Coastal Cold Fronts (CCF), South America Low Level Jets (SALLJ), South Atlantic Convergence Zone (SACZ) and Mesoscale Convective Complexes (MCC), the strong La Niña and to the negative PDO levels. In Ponte Serrada station the high altitude delayed flowering, filling and grain maturity and its position to windward have favored the occurrence of orographic precipitation and increasing rainfall volume and regularity, which also determined the highest yields among all stations. In 2004/05 and 2010/11 harvests the best planting time was September 1st, except for the Ponte Serrada station where the best planting time was November 1st.

Keywords: Climate variability. Corn agricultural income. Climate pace.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área plantada e rendimento agrícola do milho nas microrregiões da MOC – 1999-2011	25
Figura 2 – Mapa de Santa Catarina identificado MOC, suas microrregiões e as estações meteorológicas.....	31
Figura 3 – Comparativo da topografia e uso e ocupação dos solos entre as microrregiões	33
Figura 4 - Total de precipitação anual (mm) das estações meteorológicas da Mesorregião Oeste Catarinense entre 1999-2011	42
Figura 5 - Distribuição da precipitação pluvial mensal média entre 1999 a 2011 o em todas as estações meteorológicas	48
Figura 6 - Localização geográfica da fase fria e quente da ODP	50
Figura 7 - Índices mensais da ODP de 1950 a 2013 e do ano 2000 até o final de 2013	52
Figura 8 - Dinâmica atmosférica em condições normais e condições de El Niño	56
Figura 9 – Condições atmosféricas associadas a La Niña.....	57
Figura 10- Teleconexão ENOS-ODP.....	62
Figura 11- Estádios fenológicos da cultura do milho.....	68
Figura 12 – Resultados agrícolas das simulações do Aquacrop 4.0 por safra e estação meteorológica.....	75
Figura 13 – Análise Rítmica da estação meteorológica de São Miguel do Oeste - 17 de dezembro de 2004 a 28 de Março de 2005	78
Figura 14 – Análise Rítmica da estação meteorológica de Chapecó – 16 de dezembro de 2004 a 28 de Março de 2005	81
Figura 15 – Análise Rítmica da estação meteorológica de Ponte Serrada – 11 de Janeiro a 19 de Maio de 2005	84
Figura 16 – Análise Rítmica da estação meteorológica de São Miguel do Oeste - 25 de dezembro de 2010 a 30 de março de 2011	88
Figura 17 – Análise Rítmica da estação meteorológica de Chapecó –26 de dezembro de 2010 a 31 de março de 2011	91
Figura 18 – Análise Rítmica da estação meteorológica de Ponte Serrada – 17 de janeiro a 30 de maio de 2011	94
Figura 19 – de Análise Rítmica da estação meteorológica de Joaçaba – 05 de janeiro a 22 de abril de 2011	98
Figura 20 – de Análise Rítmica da estação meteorológica de Xanxerê – 06 de janeiro a 21 de abril de 2011	102

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Variação do rendimento do milho em (Kg/ha) em Santa Catarina – 2003 – 2010	23
Quadro 2 - Precipitação média na MOC por estação do Ano	39
Quadro 3 – Caracterização climática por microrregiões	40
Quadro 4 - Índices da ODP.....	53
Quadro 5 - Índice oceânico trimestral do ENOS	61
Quadro 6 - Necessidades climáticas diárias do milho durante as fases de desenvolvimento	66
Quadro 7 - Estimativa da duração das fases de floração, enchimento e maturação dos grãos por estação meteorológica durante a safra 2004/05	71
Quadro 8 - Estimativa da floração e maturação dos grãos por estação meteorológica durante safra 2010/11	73
Quadro 9 - Melhores épocas de plantio durante a safra 2004/05 e 2010/11 segundo o ritmo climático das estações meteorológicas	105

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional das Águas
BLO – Bloqueios Atmosféricos
°C - Celsius
CEPA – Centro de Socioeconomia e Pesquisa Agrícola de Santa Catarina.
CCM – Complexo Convectivo de Mesoescala
EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Santa Catarina
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETo – Evapotranspiração de referência
FFs – Frentes Frias.
FFLs – Frentes Frias Litorâneas
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
JANs – Jatos de Altos Níveis.
JSB - Jatos Subtropicais.
JP – Jatos Polares.
JBNAS – Jatos de Baixos Níveis da América do Sul
Kg - Quilograma
Kg/ha – Quilograma por hectare
Ha – Hectare
MOC – Mesorregião Oeste Catarinense
MtC – Massa Tropical Continental
mm - Milímetros
Pluvio – Precipitação Pluvial
Temp. Mínima – Temperatura Mínima
Temp. Máxima – Temperatura Máxima
ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul
Ton/ha – toneladas por hectare

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
1.1 OBJETIVOS	27
1.1.1 Objetivo Geral	27
1.1.2 Objetivos Específicos	27
2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICA REGIONAL	29
2.1 CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA REGIONAL	29
2.2 CARACTERIZAÇÃO GEOECONÔMICA	31
3.PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	34
4.CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA REGIÃO E SUAS VARIABILIDADES	39
4.1DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL TOTAL ANUAL - 1999 A 2011	41
4.2 CLIMATOLOGIA DOS SISTEMAS ATMOSFÉRICOS NA MOC... ..	43
4.3DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL MÉDIA MENSAL ENTRE 1999-2011	47
4.4 VARIABILIDADES CLIMÁTICAS	49
4.4.1 Variabilidade climática decenal – Oscilação Decadal do Pacífico - ODP	49
4.4.2 Variabilidades climáticas interanuais - El Niño Oscilação Sul ENOS	54
4.4.2.1 As influências do ENOS no ritmo climático pluvial sazonal e da atuação dos sistemas atmosféricos	57
4.4.3 Teleconexões ENOS – ODP	62
5. AS NECESSIDADES CLIMÁTICAS DO MILHO	64
5.1TEMPERATURA.....	64
5.2 PRECIPITAÇÃO PLUVIAL - UMIDADE DO SOLO.....	65
5.3 CALENDÁRIO CLIMÁTICO AGRÍCOLA	67
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	69
6.1 SAFRA 2004/05	76
6.1.1 Estação de São Miguel do Oeste	76
6.1.2 Estação de Chapecó	79
6.1.3 Estação de Ponte Serrada	82
6.2 SAFRA 2010/11	85
6.2.1 Estação São Miguel do Oeste	85
6.2.2 Estação Chapecó	89
6.2.3 Estação de Ponte Serrada	92
6.2.4 Estação de Joaçaba	95
6.2.5 Estação de Xanxerê	99
7. CONCLUSÕES	103
REFERÊNCIAS	106

1.INTRODUÇÃO

Na mesorregião Oeste Catarinense (MOC) a cultura do milho apresenta destacada importância econômica, principalmente, porque o milho é um dos insumos essenciais para toda a cadeia econômica agroindustrial, tanto que a maior parte da produção do milho da região é absorvida pelas agroindústrias com destaque às avícolas. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013) a Mesorregião Oeste Catarinense é uma das maiores produtoras de milho do Brasil proporcionalmente, apresentando em 2012 294.294 hectares de área plantada e 1.415.232 toneladas produzidas.

Durante as safras de 2003 a 2010, dados do informativo do Centro de Socioeconomia e Pesquisa Agrícola/Empresa de Pesquisa Agropecuária de Santa Catarina (CEPA/EPAGRI, 2010), apresentados no quadro 1, demonstram quedas de rendimento na cultura do milho para Santa Catarina nos anos de 2004 a 2006 na comparação com os anos de 2003, 2007 e 2010 que apresentaram os maiores rendimentos. A variação no rendimento agrícola do milho pode impactar a economia do Estado de Santa Catarina, principalmente, a cadeia agroindustrial que necessita deste insumo.

Quadro 1 - Variação do Rendimento Agrícola do milho (kg/ha) em Santa Catarina - 2003-2010

2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
5.034	3.992	3.386	3.680	5.470	5.780	4.895	6.400

Quadro adaptado pelo autor.

Fonte: Boletim CEPA/EPAGRI (2010)

Como se observa na figura 2, em todas as microrregiões da MOC, a área plantada de milho tem diminuído significativamente desde a safra de 1999/00. Esta redução da área semeada de milho tem sido interpretada pelo CEPA/EPAGRI (2013) devida à valorização do preço da soja no mercado internacional, mais também por outros fatores como:

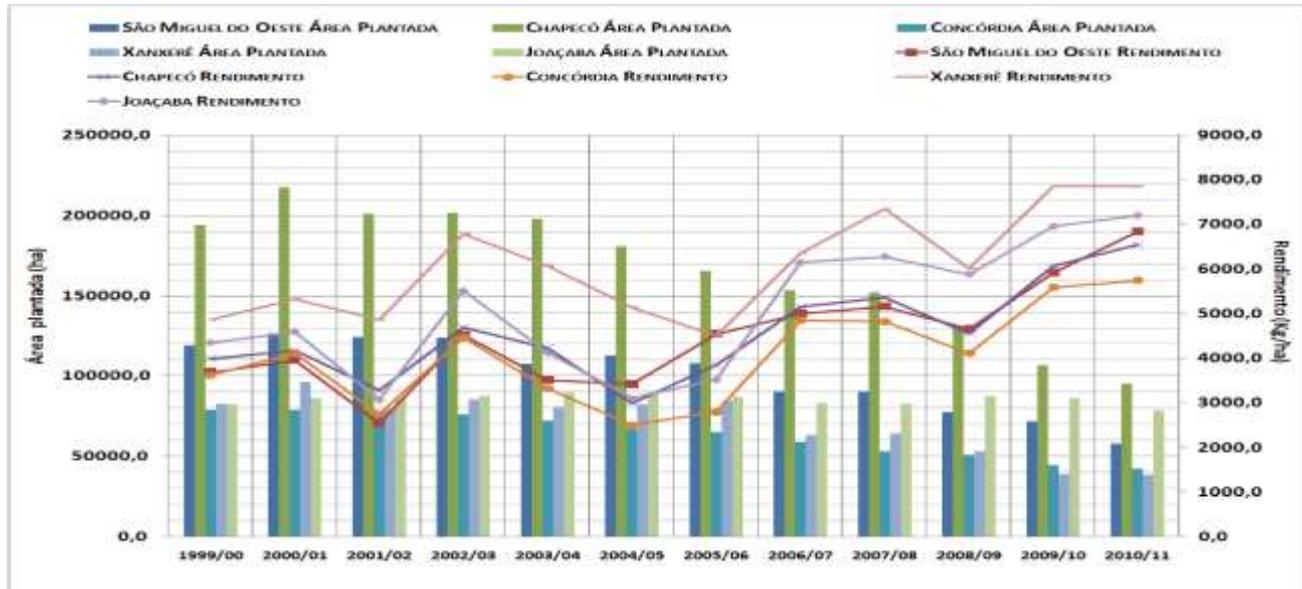
[...] a perda da atratividade econômica para muitos produtores de baixa escala de produção; as mudanças nos sistemas de produção de suínos (há

alguns anos, boas partes dos suinocultores produziam parte ou todo milho que consumiam na alimentação dos animais); o fato de muitos produtores de leite destinar parte crescente das suas tradicionais áreas de milho para grão para a silagem. Dessa forma, desde meados da década de 1990, a área plantada no Estado foi reduzida em 577 mil hectares; 482 mil hectares dos quais na Mesorregião Oeste Catarinense. (CEPA/EPAGRI, 2013, p. 64)

Apesar da queda da área plantada, o rendimento agrícola do milho em todas as microrregiões do Oeste Catarinense tem aumentado desde a safra 2002/03 como se observa na figura 2, alcançando na safra 2010/11 o maior rendimento do período, correspondendo mais que o dobro do rendimento da safra 2004/05.

Este crescimento segundo o Informe Conjuntural do milho do CEPA/EPAGRI (2010) ocorreu em função da assimilação de tecnologia por parte dos agricultores, no entanto, também reconhece que mesmo os avanços técnicos na produção e o uso do sistema de plantio direto (que aumenta a retenção de água no solo) não subtraíram os problemas climáticos como o regime irregular da precipitação pluvial e de outros elementos climáticos como a radiação solar, vento, umidade relativa do ar e a temperatura (CEPA/EPAGRI, 2010; CIRAM/EPAGRI, 2009 e AYOADE, 2011), que podem impactar o desenvolvimento do milho e o seu rendimento agrícola. Assim, o milho pode apresentar variações anuais e regionais no rendimento de grãos, causados por deficiências hídricas ocasionadas por estiagem durante o desenvolvimento da cultura (CEPA/EPAGRI, 2009). Além disso, o milho em suas etapas fenológicas tem diferentes exigências em relação ao insumo clima (EMBRAPA, 2006).

Figura 1 Área Plantada e Rendimento do Milho entre 1999 a 2011 nas microrregiões que compõe a MOC.



Fonte: Safras 1999/00; 2000/01 e 2001/02- Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina do CEPA/EPAGRI (2002/03) e (2003/04); Safras 2002/03 até 2010/11. Produção Agrícola Municipal IBGE (2013) – <http://www.sidras.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=839&z+t&o=11&i=p>

Desta maneira é necessário reconhecer as características climáticas da região e compreender suas variabilidades.

Na MOC o clima é o mesotérmico úmido com chuvas regulares e um regime pluviométrico trimodal, ou seja, com três períodos mais chuvosos outono, primavera e verão. Os totais pluviométricos anuais ficam entre 2000 até mais de 2.400mm e a temperatura média anual variando entre 16 a 20°C com médias máximas no verão entre 21 a 24°C e médias mínimas no inverno entre 13 a 15°C demonstrando a grande amplitude térmica anual característica das regiões de clima mesotérmico. (GRIMM, 2009)

Apesar da regularidade climática da precipitação pluvial da região, esta também está submetida à variabilidades de baixa frequência. Estudos como Grimm (2003, 2004) Grimm e Flach (2010) e Molion (2008) relacionaram excessos e déficits pluviométricos às oscilações interanuais do Pacífico, como as fases (positiva, negativa e neutralidade) do Fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) e à Oscilação Decadal do Pacífico (ODP).

Especificamente para a MOC (Sacco, 2010) identificou eventos de estiagem no período de 2001 a 2006 que estiveram relacionadas às fases de neutralidade e de El Niño de categoria fraca. Normalmente há uma correlação entre as estiagens e os episódios La Niña na Região Sul. Neste período Sacco (2010) relacionou as estiagens aos bloqueios atmosféricos e ao dipolo entre a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a Massa Tropical Continental, que causam estiagem e ondas de calor na Região Sul. Minuzzi (2010) também encontrou relação entre o ENOS e a precipitação pluvial em Santa Catarina e, especificamente na MOC.

Portanto, o clima possui uma importância fundamental no planejamento agrícola, seja ele em macro ou micro escala por causa da dificuldade de sua previsibilidade (clima), principalmente, num território de características subtropicais como Santa Catarina, onde as variabilidades de baixa frequência tem influenciado o ritmo climático da precipitação pluvial mais do que em outras regiões do Brasil com características climáticas tropicais mais demarcadas. Assim, o estudo do ritmo climático pode fornecer subsídios ao planejamento das atividades agrícolas. Também porque segundo Informe Conjuntural do CEPA/EPAGRI (2010) a queda da produtividade do milho em Santa Catarina, já referida anteriormente, causou prejuízos que se refletiram no movimento financeiro no comércio, na arrecadação de impostos, além de obrigarem os governos a promoverem ações para a sustentação da renda dos produtores e de negociações referentes à postergação de

parcelas dos financiamentos contratados. Os ganhos ou perdas de produtividade do milho também acabam por impactar um número considerável de agricultores, assim como a cadeia produtiva e os preços praticados tanto no mercado interno como no mercado externo.

Considerando a unidade regional que caracteriza a MOC, tanto em termos de fatores físicos como econômicos, chama atenção as diferenças no desenvolvimento fenológico do milho e de seu rendimento nas diferentes microrregiões no contexto das estiagens registradas nos últimos 10 anos. Assim, o foco dessa investigação é de como os fatores topoclimáticos (forma, orientação e altitude do relevo) se combinam com os de mesoescala (sistemas atmosféricos) e de macroescala (teleconexões oceânicas), de modo a influenciar no rendimento das safras das diferentes microrregiões, em anos de déficit e de regularidade das precipitações.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Central

Analisar a influência das variabilidades climáticas no desempenho agrônômico do milho na Mesorregião Oeste Catarinense

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar os elementos do clima e as variabilidades climáticas que mais influenciam no desenvolvimento e desempenho agrônômico do milho.
- Comparar as possíveis influências dos fatores geográficos e dos sistemas atmosféricos na distribuição espacial e nos totais de precipitação pluvial.
- Relacionar o ritmo climático pluvial, os fatores geográficos e o rendimento do milho com as variabilidades climáticas.

Esta dissertação foi organizada em sete (7) capítulos. No primeiro capítulo da introdução serão apresentados a problemática, os objetivos da pesquisa; no segundo capítulo serão apresentadas a localização da região, as características econômicas e as geográficas regionais que possam influenciar no ritmo climático da precipitação pluvial na MOC. No terceiro capítulo serão detalhados os procedimentos metodológicos da pesquisa. No quarto capítulo, será apresentada as características climáticas da região, a descrição dos sistemas atmosféricos que atuam sazonalmente na região, produtores ou não de precipitação, bem como as variabilidades climáticas que influenciam no ritmo pluvial. No quinto capítulo são identificados os elementos climáticos de maior influência na duração da floração, enchimento e maturação dos grãos, o calendário climático agrícola de Santa Catarina e a simulação da duração da floração, enchimento e maturação dos grãos durante as safras de menor e maior rendimento agrícola. No sexto capítulo são apresentados os resultados e as discussões em cima da análise rítmica pluvial e das variabilidades climáticas incidentes. No sétimo e último capítulo são apresentadas as conclusões e sugestões para novas pesquisas.

2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO REGIONAL

A Mesorregião Oeste Catarinense (MOC), delimitada por critérios do IBGE (2005), compreende uma área de 27.303,5 mil quilômetros quadrados, estando dividida em cinco microrregiões como se pode observar da figura 3. Nesta figura, além da localização, se pode observar as características hipsométricas da mesorregião e a localização das estações meteorológicas.

A MOC é a mesorregião mais continental do estado, fazendo fronteira com a Argentina. Com relação ao relevo, observa-se que há um aumento das altitudes de sul para norte e de oeste para leste. Nas microrregiões de São Miguel do Oeste e Chapecó predominam altitudes entre 400 e 800 m, estando suas estações meteorológicas situadas mais ao sul nas posições mais elevadas, em torno dos 700 m de altitude. A microrregião de Concórdia apresenta uma situação geográfica muito semelhante à delas, porem, a estação Concórdia da Agência Nacional de Águas (ANA), está situada no Vale do Rio do Peixe a 585 m de altitude, na Microrregião de Joaçaba. Nesta as altitudes predominantes estão entre 800 e 1200 m. No norte e nordeste desta as elevações alcançam até 1600 m, porem todas as estações meteorológicas situam-se abaixo dos 800 m, no médio Vale do Rio do Peixe. Na microrregião de Xanxerê, mais da metade da área situa-se entre 800 e 1200 m, estando a estação meteorológica de Xanxerê a 840 m, enquanto a de Ponte Serrada está a 1100 m de altitude.

2.1 Caracterização Fisiográfica Regional

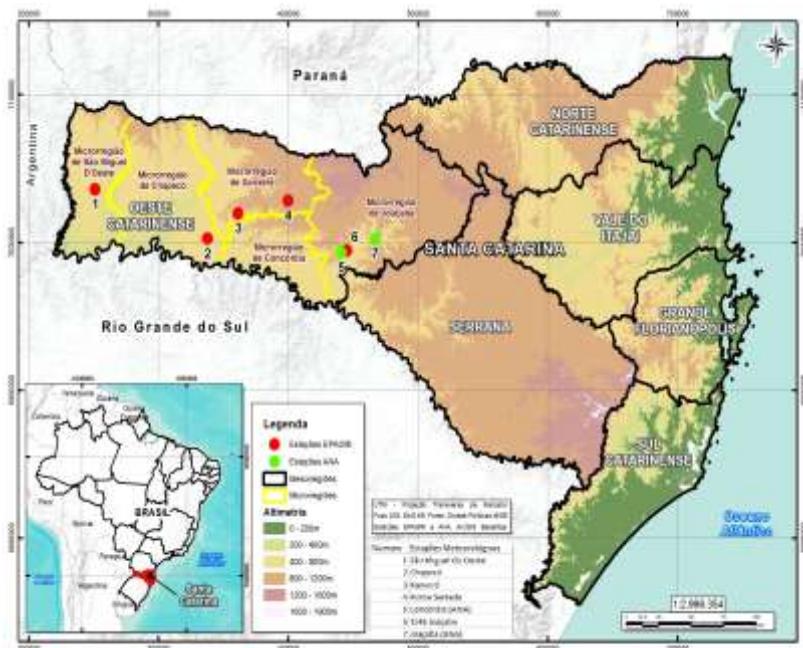
Na caracterização fisiográfica regional da MOC destacam-se as formas de relevo, as características do solo, as elevadas altitudes e a cobertura vegetal, além do uso do solo dentro dos espaços agrários. Fatores estes que influenciam a distribuição espacial da precipitação pluvial e o armazenamento de água no solo e são imprescindíveis para o desenvolvimento do milho. Entre estes fatores Monteiro (2001) destaca a influência do relevo e da altitude sobre o volume da precipitação em algumas microrregiões da MOC, como aquelas próximas ao vale do Rio Uruguai como a estação de Chapecó situada dentro microrregião de Chapecó (figura 3) onde os totais anuais pluviométricos são bem inferior às áreas mais ao norte, próxima às encostas das Serras do Capanema, da Fortuna e do Chapecó como as estações de Xanxerê e Ponte Serrada encontradas na microrregião de Xanxerê (figura 3). Um exemplo é a

cidade de Xanxerê localizada a 791 metros de altitude junto do sopé da serra, onde o total médio anual é de 2.390 mm (NIMER, 1989).

A região apresenta características geomorfológicas variadas como serras, depressões e vales formando uma densa rede hidrográfica com destaque para a Bacia do Rio Uruguai, cujos principais rios são, o Uruguai, o Peperi-Iguaçu, o Chapecozinho afluente do Rio Chapecó, o próprio Rio Chapecó, o Irani, o do Peixe, o Jacutinga e Rio das Antas onde se encontram as estações de Joaçaba e Concórdia nas microrregiões de Concórdia e Joaçaba com altitudes variando entre 200 a 1.600 metros (SANTA CATARINA, 1997). As áreas mais altas como o Planalto dissecado pelo Rio Iguaçu/Rio Uruguai estão constituídas com embasamento de rochas efusivas básicas. No norte e na microregião de Chapecó, rochas efusivas de sequência ácida, constituem o embasamento da unidade geomorfológica Planalto dos Campos Gerais, abarcando a microrregião de Xanxerê e as serras de Capanema e da Fartura e a Serra do Gregório.

Portanto, na MOC encontram-se duas unidades geomorfológicas: a do Planalto dos Campos Gerais e do Planalto Dissecado Rio Iguaçu e Rio Uruguai (ROSA; HERRMANN, 1986), caracterizadas por modelados de dissecção provenientes de controle estrutural e do intenso trabalho erosivo da rede de drenagem (HORN FILHO, 1997). Nos vales encaixados na forma de “V” do planalto dissecado do rio Uruguai, o estreitamento do vale pode dificultar a atuação dos sistemas atmosféricos diminuindo o volume de precipitação. Já nos vales dos rios com leitos rasos, em forma de “U”, que correm sobre basaltos de diáclases horizontais, o alargamento da planície facilita a atuação dos sistemas atmosféricos aumentando a precipitação, principalmente, próximos aos sopés de serras pelo efeito orográfico.

Figura 2 – Mapa de Santa Catarina identificando a Mesorregião Oeste Catarinense e as suas respectivas microrregiões e as estações meteorológicas



Fonte: Mesorregiões e Microrregiões IBGE (2005); Estações Meteorológicas Epagri¹ e ANA².

2.2 Caracterização Geoeconômica

A MOC é o principal produtor de alimentos do estado, respondendo por 57,85% da produção de alimentos de origem animal, com destaque para as carnes processadas (suínos e aves) e do gado leiteiro. O leite produzido em aproximadamente 85.000 propriedades já corresponde a 70% da produção do estado, atraindo investimento de

¹ Estações Epagri: 1 – São Miguel do Oeste (700m); 2 – Chapecó (679m); 3 – Xanxerê (840m); 4 – Ponte Serrada (1.100m) e 6 – Joaçaba(776m).

² Estações ANA: 5 – Concórdia(585m); 7 – Joaçaba(560m).

várias empresas para o processamento e comercialização, destacando-se empresas como a Cedrense, Cooperoeste e a Tirol.

Na produção vegetal destacam-se o milho, a soja, o feijão, o fumo e as frutas. Segundo o IBGE (2012), a MOC é uma das maiores mesorregiões produtoras de milho do Brasil apresentando 294.294 hectares de área plantada e 1.415.232 toneladas produzidas em 2012. O milho produzido na região é quase que totalmente utilizado na criação das aves e suínos, parte da cadeia produtiva agroindustrial.

Além do setor de grãos dominado por grupos empresariais de diversos setores, a produção é comprada e processada por empresas ligadas às grandes agroindústrias (Brasil Foods), cooperativas (Cooper Central Aurora) e atacadistas (família Tozzo).

O destaque econômico na MOC do setor agropecuário alterou o uso e ocupação do solo da região. Tanto que no final da década de 1990, cerca de 81% do território MOC estava ocupado por coberturas de campos naturais e cultivados e áreas urbanizadas associadas com vegetação secundária, lavouras e pastagens. Nos 19% restantes do território da região encontram-se áreas remanescentes de formações fitogeográficas: Floresta Estacional Decidual (mata caducifólia); Floresta Ombrófila Mista (Araucária) ao norte (Serra da Fartura), com estrato arbustivo da erva-mate (*Ilex paraguariensis*), nas áreas mais altas, onde sucedem de quatro a seis meses frios e até seis meses quentes durante o ano; de Savanas (Campos do Planalto) em Campo Erê e nordeste da mesorregião e acima dos 800 metros em terrenos lixiviados e aplainados com estrato de gramíneas cespitosas e rizomatosas com elementos arbustivos ou arbóreos (capões e Floresta de galerias) (Santa Catarina, 1997).

Com relação ao uso do solo se destacam as culturas anuais, as pastagens e o reflorestamento (silvicultura de pinus), que cobrem de 48% e até quase 70% das áreas de alta e média declividade. Curiosamente as áreas de preservação permanente se concentram nas médias declividades. As áreas de baixa declividade representam de 30 a 50% do total, exceto na microrregião de Xanxerê onde totaliza 73%. Essas são ocupadas com culturas anuais e pastagens. A maior área de ocupação urbana ocorre na microrregião de Chapecó não chegando a 2,5% da área total. Neste sentido percebe-se a importância da atividade agropecuária na mesorregião.

Como se observa na figura 4, em quase todas as regiões microrregiões as culturas anuais, perenes e pastagens, são cultivados em terrenos com alta e média declividade. Isto contribui com o maior escoamento superficial pluvial diminuindo o armazenamento de água

disponível dentro do solo para o desenvolvimento do milho. A situação só é melhor nas microrregiões de Chapecó e Xanxerê, onde respectivamente 49,2% e 73% são áreas ocupadas pela cultura do milho e que apresentam baixa declividade permitindo aumento da infiltração de água no solo. Tanto que ambas as microrregiões são as que apresentaram como observou na figura 2 o melhor rendimento entre 1999-2011.

Figura 3 - Comparativo da topografia e uso e ocupação dos solos entre as microrregiões.



Fonte: Embrapa (2000) In: Secretária do Estado de Planejamento e Gestão de Santa Catarina (2003).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para alcançar os objetivos, a pesquisa foi dividida em cinco partes: na primeira, a revisão bibliográfica com vistas a sustentar o arcabouço teórico-metodológico; na segunda, a análise do rendimento agrícola do milho durante o período de 1999 a 2011; na terceira, a caracterização climática, na quarta parte, a simulação da duração da floração, enchimento e maturação dos grãos durante as safras de menor e maior rendimento agrícola e na quinta e última parte a análise rítmica climática durante a floração, enchimento e maturação dos grãos e a comparação com as variabilidades climáticas.

Na primeira etapa da revisão bibliográfica foram analisadas as produções científicas de referência relacionadas: as variabilidades climáticas interdecenais (ODP) e interanuais (ENOS); do ritmo climático e da análise rítmica de Monteiro (1976); a fenologia e desenvolvimento do milho segundo Embrapa (2006) e também da atuação e climatologia dos sistemas atmosféricos.

A metodologia de análise rítmica utilizada nesta pesquisa e proposta por Monteiro (1976) é uma análise geográfica multiescalar por considerar no estudo geográfico do clima várias escalas espaciais da micro até a macroescala. Portanto, se faz necessário esclarecer as escalas espaciais utilizadas na pesquisa. Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007) as escalas espaciais do clima são divididas em macroclima que vai do clima global (terra) passando pelo clima zonal (tropical, temperado, polar) até chegar ao clima regional (continente, oceanos, etc), escalas estas subordinadas à circulação geral da atmosfera (notadamente as células de alta e baixa pressões e a fatores geográficos maiores como grandes divisões do relevo, oceano e continente). Na escala intermediária encontra-se o mesoclima considerada uma unidade intermediária entre a unidade superior (macroclima) e a unidade inferior (microclima), sendo as regiões naturais sem limites territoriais definidos características desta escala. Já o clima regional é uma subunidade entre a ordem superior e esta de mesoescala. Dentro da mesoclima ainda se encontram o clima local (determinadas características locais como uma grande cidade, um litoral, área agrícola, uma floresta etc.) e o topoclima (relevo). Apesar desta definição mais ou menos demarcada o dinamismo dos movimentos atmosféricos (sistemas atmosféricos) notadamente da circulação secundária ou regional, que irão definir as dimensões das subunidades do mesoclima. Na escala microclimática algumas características geográficas locais como o uso e ocupação do solo são consideradas na interface com a mesoescala

podendo explicar variantes climáticas dentro de uma mesmo clima regional.

Desta maneira no âmbito do macroclima considera-se a influência dos índices oceânicos da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e do El Niño Oscilação Sul (ENOS) sobre a dinâmica dos sistemas atmosféricos (circulação secundária) na região subtropical da América do Sul, especificamente, a Mesorregião Oeste Catarinense (clima regional) e os resultados sobre o regime climático nas estações meteorológicas (clima local). No âmbito do clima local o posicionamento das estações meteorológicas dentro das microrregiões geográficas e as influências topoclimáticas (forma, orientação do relevo) e também microclimática (do uso e ocupação do solo) são consideradas para avaliar o ritmo dos elementos climáticos incidentes sobre o desenvolvimento do milho nas fases de floração, enchimento e maturação dos grãos.

Portanto, na interface entre macroclima (índices oceânicos – variabilidades climáticas) e microclima (plantações de milho) encontra-se a mesoescala que vai desde o clima regional até as características do clima local e do topoclima.

Na segunda parte foram coletados junto do CEPA/EPAGRI, nas Sínteses Anuais da Agricultura Catarinense, os dados referentes à área plantada, colhida, produção e rendimento agrícola do milho das microrregiões de Chapecó, São Miguel do Oeste, Xanxerê, Joaçaba, Concórdia. Estes dados agrícolas do milho foram complementados pelos dados obtidos no sítio IBGE (2013) - referência no Sistema de Recuperação Automática – SIDRA do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Os dados de produção do milho coletados juntos ao CEPA e ao IBGE foram utilizados para produzir gráficos com a variação produtiva (área plantada e rendimento agrícola) do milho entre 1999 a 2011. A partir destes gráficos foram identificadas as safras de 2001/02 e 2004/05 com o menor rendimento da microrregião de São Miguel do Oeste, a safra 2004/05 com o menor rendimento da microrregião de Chapecó e Ponte Serrada e a safra 2010/11 como a de maior rendimento da microrregião de São Miguel do Oeste, Chapecó, Ponte Serrada, Xanxerê e Joaçaba. Considerando sua maior abrangência a safra 2004/05 foi esta escolhida como a menor para fins de comparação com a de maior rendimento 2010/11.

Na terceira parte da caracterização climática foram coletados dados pluviométricos mensais entre 1999 a 2011 das estações meteorológicas¹ utilizadas no estudo (Fig 3.) Em função da falta de dados pluviométricos mensais nas estações de Chapecó, Joaçaba e Concórdia foi efetuada a técnica do preenchimento de falhas utilizando

dados pluviométricos de estações vizinhas e produzindo gráficos de dispersão (regressão linear) entre a estação vizinha e a estação que faltavam os dados. Com esta técnica estatística foi possível preencher os dados mensais que faltavam nas estações citadas acima.

Com estes dados, primeiro foram produzidos gráficos com a precipitação pluvial total anual e a média anual entre 1999 a 2011, com objetivo de observar a tendência climática para este período. Para a distribuição estacional da precipitação pluvial foram produzidos gráficos com a precipitação média mensal entre 1999 a 2011 e identificadas às estações do ano mais chuvosas: primavera e verão.

Na quarta parte, para simulação da duração da floração e enchimento e maturação dos grãos foi utilizado o software Aquacrop 4.0 da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) tendo como dados de entrada: os dados climáticos (precipitação pluvial diária, evapotranspiração diária, temperatura máxima e mínima diária); características do solo e da cultura do milho; o valor de CO₂ e as informações sobre o manejo do solo (direto e convencional).

Para dar início a simulação, primeiramente na janela de entrada do Aquacrop 4.0, é necessário criar os arquivos de precipitação pluvial diária, temperatura máxima e mínima diária e evapotranspiração diária para formar um arquivo único climático com os dados das estações meteorológicas considerando como período de referência o início da semeadura do dia 01º de setembro até 31 de maio do ano posterior. Além disso, são inseridos os arquivos de manejo da cultura (plantio direto ou convencional) e das características fenológicas cultura do milho, do tipo de solo e o arquivo de CO₂ utilizado como referência (378,8 ppm), referente a concentração média medida no ano 2005, no Observatório de Mauna Loa, no Havaí.

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada aplicando os dados de temperatura do ar na metodologia proposta Penman-Monteith (Padrão FAO-1998) utilizando o software CROPWAT 4.0 também da FAO tendo como dados de entrada a temperatura mínima e máxima diária.

O plantio direto é realizado semeando diretamente sobre os restos vegetais da colheita anterior, enquanto no plantio convencional o solo é revolvido e os restos vegetais misturados ao solo para depois se proceder a semeadura. Com o plantio direto a evaporação da água do solo se torna menor que no plantio convencional o que garante maior reserva de água no solo para a planta. O que durante períodos mais longos sem chuvas garante o desenvolvimento regular do vegetal.

Com arquivos climáticos prontos, os arquivos de CO₂, de manejo do plantio (convencional ou direto) e das características da cultura do milho e do tipo de solo é possível iniciar a simulação da duração de floração, enchimento e maturação dos grãos nas estações meteorológicas de São Miguel do Oeste, Ponte Serrada e Chapecó para as safras 2004/05 e 2010/11 e de Joaçaba e Xanxerê para a safra 2010/11, que apresentavam os dados climáticos necessários para as simulações e a produção dos gráficos de análise rítmica. Para dar início as simulações é necessário escolher o dia inicial de semeadura que no caso foram os dias: 1º de setembro, 1º de outubro e 1º de novembro considerando as características climáticas da MOC e as indicações do CEPA/EPAGRI (2010) de que os meses de semeadura do milho em Santa Catarina têm ocorrido em Janeiro, Agosto, Setembro, Outubro, Novembro e Dezembro. Além disso, nas simulações foram feitas com o arquivo de plantio direto e também com o arquivo de plantio convencional das respectivas estações meteorológicas já mencionadas anteriormente.

Além de estimar a ocorrência da floração, do enchimento e da maturação dos grãos o software Aquacrop 4.0 gerou importantes dados agrícolas que foram também analisados como: potencial de produção de biomassa³ (toneladas/hectare), a produção de biomassa⁴ (toneladas/hectare e o rendimento agrícola⁵ (toneladas/hectare) utilizados para a produção da figura 12.

Identificadas a duração da floração, do enchimento e maturação dos grãos foi possível iniciar a quinta e última parte da pesquisa que é análise rítmica climática, sua relação com o desenvolvimento do milho e comparação com as variabilidades climáticas. Segundo Monteiro (1971) o ritmo climático é a expressão da sucessão dos estados atmosféricos, que leva, ao conceito do “habitual” tendo em vista que há variações e desvios que geram diferentes graus de distorções até atingir padrões “extremos”. Assim Monteiro (1971) argumenta que qualquer critério de avaliação pelos totais anuais é utilizável apenas para efeitos comparativos limitados, entre localidades diferentes numa longa série de anos. O conceito de Ritmo Climático deve primeiro considerar que as variações anuais devem ser percebidas pelas variações mensais dos elementos climáticos. Repetindo-se as variações mensais em anos

³ - Considera segundo os dados climáticos qual o potencial de produção de todo o conjunto do milho desde o grão até as folhas, talo, caule, etc.

⁴ - Tudo o que milho produz (grãos e parte vegetal como folhas, talo, caule).

⁵ - Somente os grãos de milho produzidos em função dos dados climáticos de entrada.

consecutivos determina-se o fundamento para noção de regime climático.

Para identificar o ritmo climático pluvial foram gerados gráficos de análise rítmica com os dados diários de precipitação pluvial, evapotranspiração, temperatura máxima e mínima e os sistemas atmosféricos utilizando o programa Excell 2007 durante a floração, enchimento e maturação dos grãos da safra 2004/05 nas estações de São Miguel do Oeste, Chapecó e Ponte Serrada e da Safra 2010/11 das estações São Miguel do Oeste, Chapecó, Ponte Serrada, Xanxerê e Joaçaba.

O ritmo da precipitação pluvial, das temperaturas e da evapotranspiração foram relacionados às características geográficas estações meteorológicas, e, se o regime climático diário atendeu às necessidades climáticas do milho durante as fases de floração, enchimento e maturação dos grãos nas safras de menor e maior rendimento agrícola.

O regime climático e a atuação dos sistemas atmosféricos foram comparados aos índices mensais da Variabilidade Climáticas Interanual (ENOS) e Interdecenal (ODP) - obtidos no sítio da NOAA (2014) e que serão apresentados no terceiro capítulo onde se aborda a caracterização climática e suas variabilidades.

4. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA REGIÃO E SUAS VARIABILIDADES

Na Região Sul do Brasil predominam, mais ao sul, em torno dos 30°S, os climas característicos das latitudes médias, onde o regime de precipitação é regular e mais uniforme ao longo do ano, com maiores totais acumulados durante o inverno. Ao norte e nordeste da região, acima dos 23°S, predomina o típico regime pluviométrico de monção com a estação chuvosa iniciando-se na primavera e terminando no início do outono, quando começa a estação seca que se estende pelo inverno. Além das características latitudinais subtropicais que garantem maior amplitude do ciclo anual de temperatura no Brasil, com um maior contraste entre o inverno e o verão, a altitude do relevo é um importante fator climático que provoca alterações na temperatura (como a precipitação nival no outono e inverno), influenciando também na distribuição espacial da precipitação pluvial.

Grimm (2009) reitera que na porção sul da Região Sul a chuva é melhor distribuída geográfica e temporalmente (Tabela 1). Assim, na MOC ocorre um acréscimo de 25% de precipitação anual de sudoeste para nordeste, em virtude da influência orográfica (MONTEIRO, M. A. e MENDONÇA, 2014).

Quadro 2 – Precipitação Média mensal na MOC por Estação do Ano

Estação	Verão (Janeiro)	Outono (Abril)	Inverno (Julho)	Primavera (Outubro)
Precipitação (mm)	170	110 a 140	130 a 150	170 a 210

Fonte: Grimm, Ferraz e Gomes (1998)

Como se observa na tabela 2, não há total homogeneidade entre as normais de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar entre as microrregiões. A precipitação média anual varia de 1500-1700 mm até 2000-2300 mm, a temperatura de 16 a 19 graus C e a umidade entre 76 e 80%. O relevo e a altitude explicam em parte estas variações espaciais. A estação da microrregião de Joaçaba apresenta os menores volumes pluviométricos. Isto pode estar associado a sua localização no vale do Rio do Peixe, protegida de determinadas trajetórias dos sistemas, que se deslocam de oeste para leste, enquanto o vale se posiciona na direção N-S. Já as microrregiões de Chapecó, São Miguel do Oeste e Concórdia -

apresentam temperatura e precipitação média anual e umidade relativa do ar média com valores semelhantes; com alguma diferença nos valores de precipitação máxima em 24h. Especialmente as duas primeiras estações se posicionam praticamente no topo do relevo predominante nestas microrregiões, sem obstáculos para a circulação dos sistemas produtores de precipitação.

A microrregião de Xanxerê apresenta a maior precipitação média anual e a máxima em 24 horas por que a estação meteorológica encontra-se no sopé da Serra do Gregório (800-1200m), o que em função da trajetória do sistema, pode potencializar o total de precipitação e a umidade relativa do ar pelo efeito orográfico. Monteiro (2001) corrobora com essa afirmação. A estação Xanxerê, entretanto, por estar entre as mais elevadas da região apresenta a temperatura média anual mais baixa.

Quadro 3 – Caracterização Climática por Microrregiões

Microrregiões	Temp. Média Anual (°C)	Precipitação Média Anual (mm)	Precipitação Máxima em 24 horas (mm)	Umidade Relativa do Ar (%)
Chapecó	18-19	1700-1900	140	76 a 78 %
Joaçaba	17-18	1500-1700	120	76 a 80 %
Concórdia	18-19	1700-1900	160	76 a 78 %
São Miguel do Oeste	18-19	1700-1900	160	76 a 78 %
Xanxerê	16-17	2100-2300	160	78 a 80 %

Fonte: Atlas Climatológica do Estado de Santa Catarina 2002 – Epagri/Ciram

A Climatologia da precipitação pluvial baseada na normal climatológica do período de 1961-1990 para as microrregiões foi apresentada na parte introdutória da caracterização climática regional. No entanto, se faz também necessário para fins comparativos analisar a distribuição anual e mensal da precipitação das estações meteorológicas utilizadas na pesquisa durante o período de 1999 a 2011.

4.1 Distribuição da precipitação pluvial total anual - 1999 a 2011

Como se observa na figura 5 em todos os anos a estação meteorológica com maior volume pluviométrico foi Ponte Serrada em função da sua elevada cota altimétrica (1.100 metros). As estações de Joaçaba e Concórdia foram as que apresentaram os menores volumes pluviométricos corroborando a afirmação de que o relevo pode causar um efeito de sotavento reduzindo os totais de precipitação. Já as estações de Chapecó e São Miguel do Oeste apresentaram volumes pluviométricos semelhantes.

Além disso, para todas as estações meteorológicas a média e a variabilidade espacial da precipitação pluvial do período de 1999 a 2011 ficou dentro da normal climatológica de 1961-1990.

Em função da falta de dados pluviométricos mensais entre 1999 a 2006 da estação de Xanxerê foram utilizados os dados da estação meteorológica de Ponte Serrada que apresentava todos os dados entre 1999 a 2011 e também por esta estação ser uma boa referência climática por estar localizada próxima a estação de Xanxerê.

Figura 4 - Total de Precipitação Anual (mm) das Estações Meteorológicas da Mesorregião Oeste Catarinense entre 1999-2011

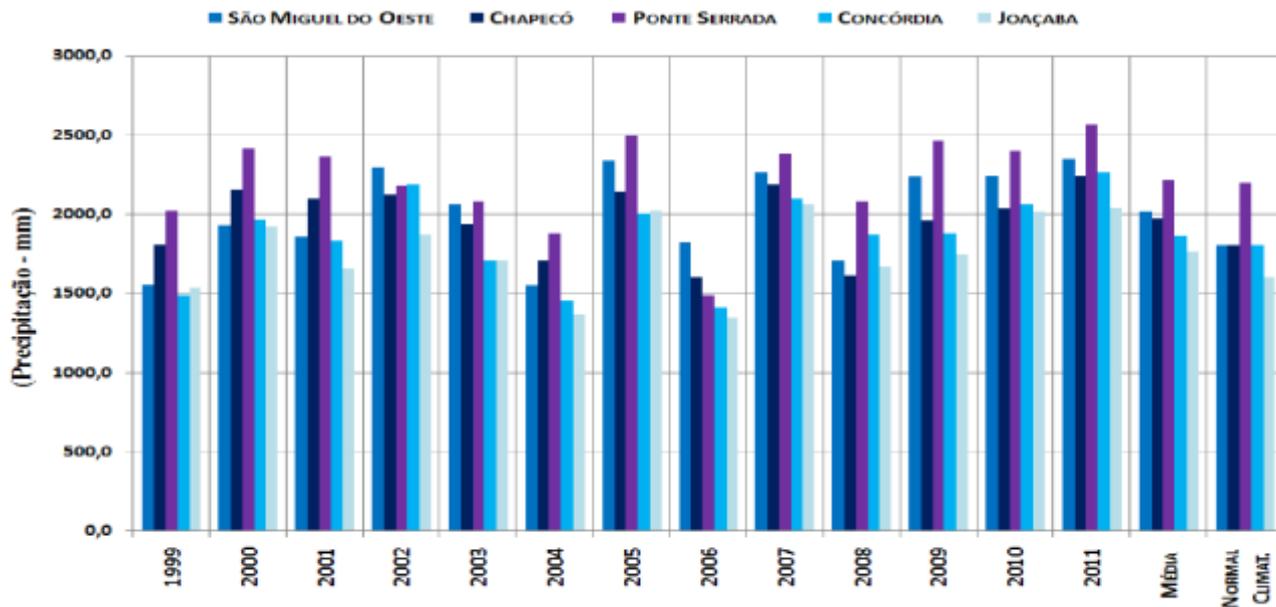


Figura elaborada pelo autor

Fonte: Estações Meteorológicas EPAGRI e ANA.

4.2 Climatologia dos Sistemas Atmosféricos na MOC

A climatologia dos sistemas atmosféricos tem um papel imprescindível para compreender o ritmo climático pluvial das estações meteorológicas durante o período de 1999 a 2011. Além da climatologia dos sistemas atmosféricos atuantes é importante relacionar estes sistemas com as características geográficas encontradas nas estações meteorológicas.

Entre os sistemas atmosféricos atuantes e influentes na MOC cabe destacar: Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM's); massa Tropical Continental (mTC), Zona de Convergência do Atlântico Sul(ZCAS); Jato de Baixos Níveis da América do Sul(JBNAS); Frentes Frias (FF), Frentes Frias Litorâneas (FFL), Bloqueios Atmosféricos (BLO) e Jatos de Altos Níveis (JANs), o Subtropical (JST) e o Polar (JP).

Nimer (1989) já indicava que os sistemas atmosféricos predominantes no oeste (MOC) da Região Sul são as correntes perturbadoras de Sul (anticiclone polar e a descontinuidade frontal Frentes Frias) atuando mais durante o outono e o inverno e as correntes perturbadoras de Oeste formadas pelas linhas de instabilidade tropicais (IT) atuando durante as estações de transição (outono e primavera) e no verão. Atualmente se distingue como sistemas atmosféricos instáveis de oeste de origem tropical aos CCM's e JBNAS. Enquanto, a mTC é uma massa produtora de estabilidade.

Os CCM's, também conhecidos como uma categoria extrema de Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCMs) se organiza em diversas escalas espaciais, desde células isoladas, de poucas centenas de metros, até grandes aglomerados convectivos, de milhares de quilômetros, com ciclos de vida da ordem de dias e compostos por diferentes tipos de nuvens. Os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCMs) são responsáveis pela maior parte da precipitação nas latitudes médias na estação quente, atuando preferencialmente na faixa latitudinal entre 15 e 30 ° Sul na primavera e verão (DIAS, ROZANTE e MACHADO, 2009). Conforte (1997) destacou maior frequência de CCMs nos meses de primavera (39%) seguindo pelo outono (27%), verão (22%) e, por último no inverno (12%). Esta afirmação de Conforte pode ser observada na figura 6, que em todas as estações meteorológicas da MOC os maiores volumes pluviométricos se concentraram nos meses da primavera (outubro) e outono (abril).

Grimm, 2009 constatou que entre a primavera e o outono (de outubro a abril), o principal sistema atmosférico atuante é o Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM), intensificado e relacionado com a mudança sazonal do jato subtropical (JST) um vento de altos níveis (JAN's) – que no outono e primavera atua na MOC. O CCM interatua com

ventos de baixos níveis; úmidos e quentes, vindos do norte e frequentemente intensificados pelos Jatos de Baixos Níveis da América do Sul (JBNAS).

Além da influência de outros sistemas como o JBNAS e as Frentes Frias, os CCM's tem sua gênese e dinâmica relacionada à circulação valemontanha; coberturas vegetais; ondas de gravidade provocadas pelos Andes. Pelas recentes pesquisas os fatores geográficos que mais influenciam a formação dos CCM's são a altitude, declividade e orientação do relevo. O ciclo de vida dos CCM's, principalmente, o início da formação encontra-se então na dependência da situação geográfica, relacionada com o modelado: como a cadeia de montanhas dos Andes a oeste, o vale dos rios Paraguai, Uruguai, Chapecó, Peperi-Guaçú e Paraná e, mais a leste, a Serra do Mar. (DIAS, ROZANTE e MACHADO, 2009). Portanto, as características geográficas como as formações fitogeográficas, o relevo e a hidrografia podem ser responsáveis pelo início ou intensificação do sistema, contribuindo como uma calha, recebendo a umidade originária da Bacia Amazônica por meio dos Jatos de Baixos Níveis (JBNAS).

A maior atuação dos CCMs na primavera se relaciona a ambientes repletos de aerossóis, parte dos quais atuam como núcleos de condensação da umidade em gotas de nuvem, cujos impactos na produção de chuva, em particular quanto à severidade do sistema convectivo podem ser significativos. Isto significa dizer que possíveis queimadas para a preparação da terra ou durante períodos de seca podem ser consideradas na intensificação das chuvas. (DIAS, ROZANTE e MACHADO, 2009)

Vários autores como Conforte (1997), Torres e Nicolini (2002) Salio, Nicolini e Zipser (2007) identificaram a influência clara do JBNAS na gênese e dissipação dos CCMs. Além disso, o JBNAS é a principal fonte de água para a maior parte da bacia da Prata (incluindo a bacia do rio Uruguai e dos tributários) (WANG e PAEGLE, 1996). Assim o JBNAS como sistema atua junto dos CCM's para provocar as precipitações, principalmente, na primavera e no verão na MOC.

Outro importante sistema atmosférico atuante na MOC é a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (Grimm, 2009). A ZCAS é formada por uma banda de nuvens de precipitações das regiões subtropicais e se assemelha aos sistemas frontais e são limites em direção ao pólo da massa de ar úmido de origem tropical ou monçônica associadas a um grande de umidade (razão da mistura) em baixos níveis (Kodama, 1992).

A presença e a variabilidade espacial das ZCAS tem sido associada às diversas escalas espaço-temporais como as fases quentes do ENOS (El Niño) que parecem ser favoráveis a persistência deste sistema no oceano

em mais de quatro (4) dias, em oposição as fases neutras ou frias (La Niña). Em escalas de tempo interanuais, o fenômeno El Niño exerce um papel importantíssimo na variabilidade da monção da América do Sul e na ZCAS, inclusive na ocorrência de eventos extremos de precipitação (Carvalho e Jones, 2009)

Com as ZCAS intensificadas na região Sudeste, os rios Paraná (Norte) e Paraguai (Norte) tendem a aumentar suas vazões, ao passo que as vazões nos rios Uruguai (Sul) e Negro (Sul) tendem a diminuir. (Robertson e Mechoso, 2000). A menor vazão do rio Uruguai e de seus tributários configura menores volumes pluviométricos nas microrregiões de São Miguel do Oeste, Chapecó e Ponte Serrada onde estão localizadas algumas das estações utilizadas nesta pesquisa. .

As ZCAS durante o mês de janeiro tende a se posicionar mais ao oeste, devido ao aumento de precipitação no Altiplano Andino, precipitação essa oriunda dos JBNAS que tem sua umidade originada na Amazônia. Portanto, a influência do relevo e da altitude foram determinantes para o máximo de precipitação na parte leste da região central dos Andes e na parte oeste da região sul dos Andes (NOGUÉS – PAEGLE ET AL, 2002).

Estudando as relações entre as variações do JBNAS a leste da região central dos Andes e ZCAS, Liebmann et al (2004) evidenciaram de que, quando o fluxo de umidade na América do Sul é alto, o qual é transportado pelo JBNAS, a convecção sobre a ZCAS é fraca e vice-versa. Outro importante ator na dinâmica deste sistema atmosférico é a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) para alterar a variabilidade de padrões de circulação e precipitação do Sistema de Monções da América do Sul (SMAS). No Nordeste da Argentina, Uruguai e Sul do Brasil (Mesorregião Oeste) uma diminuição (aumento) na precipitação está associada a fortes (fracas) manifestações da ZCAS e deslocamentos ao norte de sua posição climatológica. Assim quando da forte atuação da ZCAS existe uma tendência de diminuição da precipitação e a fraca atuação da ZCAS leva a um aumento da precipitação na Bacia do Prata (Barros et al, 2000) e consequentemente na MOC.

Cavalcanti e Kousky (2009) afirmam de que as Frentes Frias (FF's) afetam o tempo sobre a América do Sul (consequentemente também na MOC) durante todo o ano, geralmente se deslocam de sudoeste para nordeste e sobre o continente e o oceano Atlântico adjacente. Além disso, existe uma boa correspondência entre chuvas concentradas e os períodos das passagens de frentes (CAVALCANTI e KOUSKY, 2009). Além das Frentes Frias, outro importante sistema são as Frentes Frias Litorâneas que apesar do deslocamento costeiro em determinadas situações sua passagem

influencia o tempo e o clima na MOC, principalmente, nas estações e microrregiões localizadas na porção leste da MOC como Joaçaba e Concórdia.

Segundo Cavalcanti e Kousky (2009) em relação à climatologia das Frentes Frias de 1979 a 2005, existe um forte gradiente sobre a região Sul e Central do Brasil decorrente da diminuição de incursões de frentes frias em direção ao equador em relação ao centro da Argentina. As frentes frias são mais freqüentes na MOC de maio a setembro e menos frequentes durante o verão (dezembro a fevereiro). Embora no verão ocorram passagens de frentes sobre o Sudeste do Brasil que induzem convecção e precipitação nas regiões tropicais e subtropicais da América do Sul e que alimentam a ZCAS, estas nem sempre satisfazem ao critério considerado para a identificação de casos, que leva em conta queda de temperatura, o aumento da pressão e a mudança na direção do vento (CAVALCANTI e KOUSKY, 2009).

As frentes frias parecem apresentar variabilidade interanual na sua frequência de atuação sobre o Brasil. Segundo Andrade (2005), não se observou um padrão para um número máximo ou mínimo de sistemas frontais que atingem regiões específicas em eventos de El Niño e La Niña.

Os Jatos de Altos Níveis (JANs), segundo a (OMM, 1992) são correntes de ar em forma de um estreito cano ou conduto, quase horizontal, geralmente próximo da tropopausa, cujo eixo localiza-se ao longo de uma linha de velocidade máxima e de fortes cisalhamentos horizontais e verticais. O núcleo da corrente de jato é a linha ao longo do qual as velocidades do vento são máximas tanto na vertical quanto na horizontal. A corrente de jato localiza-se entre 9.000 e 13.000 metros de altitude (ESCOBAR, 2009). O Jato Subtropical (JST) é relativamente constante em sua posição em determinada estação do ano, e predomina nos campos médios sazonais do vento e é o Jato mais atuante na MOC (ESCOBAR, 2009). Por outro lado, o JP é altamente variável em sua posição sazonal sobre uma ampla faixa de latitudes médias e subtropicais e tem menor atuação sobre a MOC. No inverno o JP migra para o norte da América do Sul e aumenta sua elevação, enquanto no verão ele se desloca para o sul do continente sul americano, acompanhando o caminho das frentes frias (ESCOBAR, 2009).

Outra importante característica do jato é que tem um papel importante no deslocamento e intensificação das frentes frias. Por isso que os JAN's quando atuam conjuntamente com as FFs podem aumentar o volume pluviométrico na MOC (ESCOBAR, 2009).

Os Bloqueios Atmosféricos (BLO) são sistemas atmosféricos formados por um Anticiclone quente gerado em latitudes mais altas

dividindo os JANs e impedindo o deslocamento para oeste dos sistemas sinóticos como as frentes e os ciclones. O que significa que quando os Bloqueios Atmosféricos atuam inibem a chegada de sistema produtores de precipitação pluvial como as Frentes Frias. (AMBRIZZI, MARQUES E NASCIMENTO, 2009).

Com relação à climatologia segundo Marques (2006) os Bloqueios apresentam maior frequência entre abril a setembro e menor frequência entre outubro e março. Ou seja, são mais atuantes no inverno do que no verão.

4.3 Distribuição da Precipitação Pluvial Média Mensal entre 1999-2011

A distribuição da precipitação média mensal durante o período de 1999 a 2011 é importante de ser analisada porque permite traçar um parâmetro em relação à variabilidade entre as estações do ano e a comparação com as normais climatológicas mensais.

Como se observa na figura 6, em todas as estações meteorológicas o mês mais chuvoso foi outubro e a estação mais chuvosa foi Ponte Serrada assim como na precipitação pluvial total anual.

Em relação ao regime de precipitação pluvial mensal as estações ficaram dentro da normal climatológica, sendo os meses da primavera e do verão os mais chuvosos, no entanto, o mês de abril que corresponde à estação de transição no caso, o outono, também apresentou volume de chuva significativo, enquanto o restante dos meses de outono e inverno foram menos chuvosos. Isto confirma a observação de (GRIMM, 2009) que o Oeste de Santa Catarina apresenta dentro do ciclo anual de precipitação um regime trimodal, ou seja, com máximos relativos na primavera, verão e outono. Dentro desse regime trimodal, principalmente na primavera é significativa contribuição dos CCM's para o aumento da precipitação pluvial em todas as microrregiões (GRIMM, 2009).

Considerando que o deslocamento dos CCM's e das frentes frias acontece de oeste para leste as estações localizadas mais a oeste como São Miguel do Oeste e Chapecó apresentaram em outubro, como se observa na figura 6, os maiores volumes pluviométricos em comparação com as estações de Concórdia e Joaçaba localizadas mais a leste da MOC. Enquanto, na estação de Ponte Serrada localizada próxima ao sopé da Serra o efeito orográfico e também a elevada cota altimétrica favoreceram o maior registro pluviométrico no mês de outubro entre todas as estações meteorológicas.

Figura 5. Distribuição da precipitação pluvial mensal média entre 1999 a 2011 em todas as estações meteorológicas.

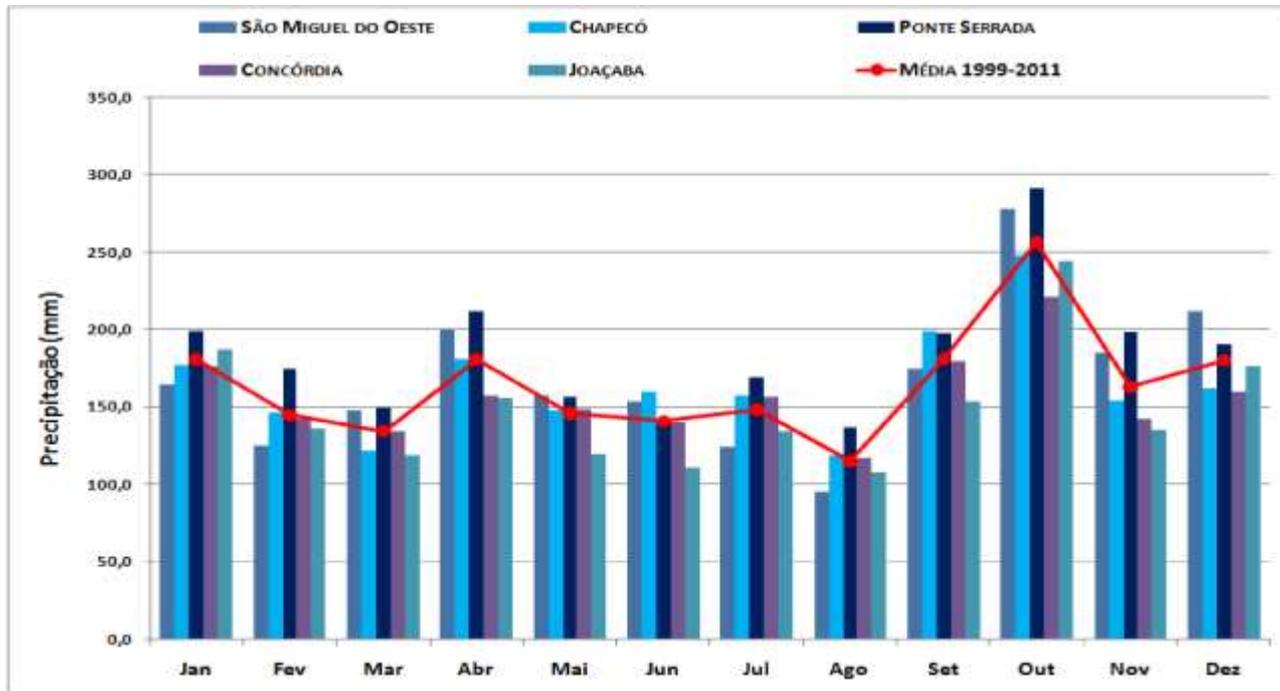


Figura elaborada pelo autor.

Fonte: Estações Meteorológicas EPAGRI e ANA.

4.4 Variabilidades Climáticas

O clima e suas mudanças viraram pauta de discussão nos meios acadêmicos e científicos, na mídia, nas escolas e na sociedade como um todo. Essas mudanças climáticas estariam alterando a circulação regional e geral da atmosfera assim como o ritmo dos elementos climáticos (chuva, temperatura, regime de ventos, entre outros) que é o resultado desta circulação. Porém, atestar uma mudança climática leva a observação dos elementos climáticos durante um período de 30 a 35 anos, um período usualmente aplicado para cálculo dos valores das normais climáticas. Desta forma o que se pode identificar nas séries históricas atuais são variabilidades climáticas, que incluem flutuações no clima dentro de um período menor entre 30-35 anos (AYOADE, 2011).

As variabilidades climáticas apresentam várias escalas temporais das quais as mais estudadas são as escalas interanuais e interdecenais. Por isso, para compreender a distribuição espaço-temporal da precipitação e de outros elementos climáticos na MOC, dentro de uma condição de variabilidade, se examinará além da variação interanual do fenômeno ENOS, a Oscilação Decenal do Pacífico (ODP) proposta por MANTURA ET. AL (1997).

A ODP como variabilidade climática foi escolhida porque segundo Andreoli e Kayano (2009) entre os diversos modos de variabilidade decenal e multidecenal esta modula as teleconexões do ENOS em algumas regiões do Globo inclusive na América do Sul. Já o ENOS apresenta reconhecida influencia no ritmo climático, especialmente da precipitação, no sul do Brasil (GRIMM e TEDESCHI, 2004; NERY 2005; MINUZZI, 2010). Outra importante constatação de Andreoli e Kayano (2009) é que dentro do monitoramento climático rotineiro não se considerava as fases da ODP, porém os resultados apresentados por estes autores sugerem que o monitoramento possa ser melhorado com a incorporação dos índices desta variabilidade decenal. Desta forma um monitoramento climático mais completo pode ser utilizado de maneira mais eficaz no planejamento de atividades estratégicas como a agricultura, energia e abastecimento de água.

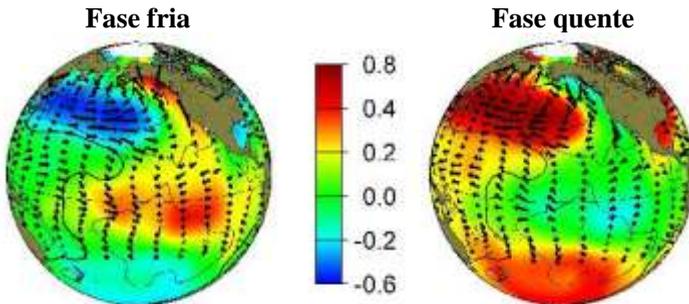
4.4.1 Variabilidade Climática Decenal – Oscilação Decadal do Pacífico - ODP

A Oscilação Decadal do Pacífico – ODP foi apresentada por Mantua et al. (1997) quando, ao utilizarem Funções Ortogonias

Empíricas - FOE não rotacionadas de séries de TSM não filtradas na região do Pacífico Norte (acima dos 20°N) identificaram um modo que definiram como “Pacific Decadal Oscillation (PDO)”. Espacialmente esta variabilidade relembra o modo do Pacífico Norte (Barlow; Nigam; Berbery, 2001), mas temporalmente é similar ao modo de Zhang et al. (1997). Além disso, Mantua et. al. (1997) mostraram que a mudança de regime por volta de 1976-77 não foi um evento único. Essa variabilidade climática da Temperatura Superficial do Mar (TSM) do Pacífico foi relacionada com a produtividade da criação de salmão na costa oeste dos Estados Unidos (Mantua et. Al, 1997).

Esse modo de variabilidade climática como se observa na Figura 7, apresenta duas fases: uma quente e uma fria, cada uma com duração aproximada de 25 anos. Durante a fase quente configura-se um forte sistema de baixa pressão das Aleutas, águas de superfície mais fria do que o normal no Pacífico Norte Central e Oeste, e mais quente do que o normal na costa oeste das Américas e no Pacífico Tropical Central e Leste. Na fase fria (oposta) da ODP os padrões da Temperatura da Superfície do Mar aparecem com sinais invertidos (Mantua et. Al, 1997).

Figura 6. Localização Geográfica da fase fria e quente da ODP



Fonte: <http://jisao.washington.edu/pdo/>

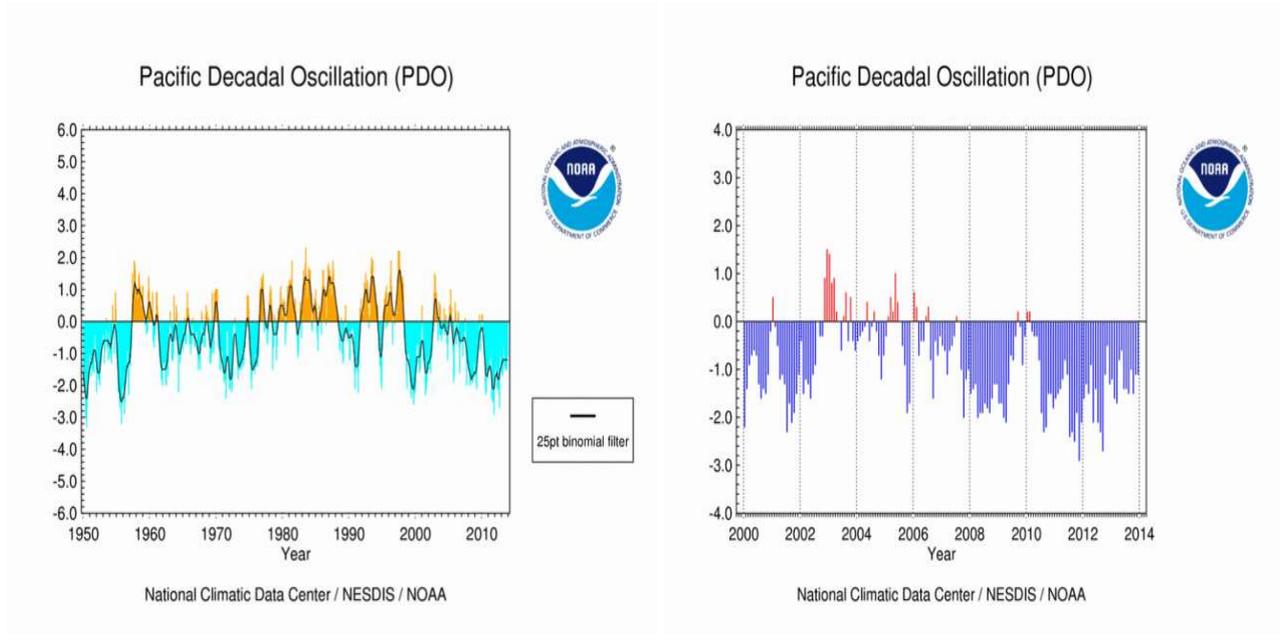
As fases frias da ODP ocorreram em 1900-1924 e 1947-1976, e as fases quentes, durante 1925-1946 e de 1977 a meados de 1990. As mudanças de fases da ODP, que tem duração aproximada de 20-30 anos, são relativamente abruptas. Segundo Minobe (1999) elucidou as três mudanças de regime (1924, 1947, 1976) envolveram uma reversão de

fase entre as oscilações pentadecenal (período de aproximadamente 50 anos) e bidecenal (período de 17 anos). Ele verificou que ambas as oscilações são necessárias para explicar as mudanças de regime: o modo pentadecenal ajusta a escala de tempo para regimes climáticos, enquanto o modo bidecenal, por meio da sincronização com o anterior, tem um papel importante na transição abrupta de um regime para o próximo. Dessas mudanças, a de 1976/1977 foi razoavelmente bem estudada (TRENBERTH, 1990; TRENBERTH; HURRELL, 1994; MILLER ET AL., 1994; DESER; ALEXANDER ; TIMLIN , 1996; SEAGER ET. AL, 2001), 2001). Assim, a variabilidade decenal e multidecenal do Pacífico podem ter dois modos coexistentes: um restrito às médias latitudes do Pacífico Norte (modo do Pacífico Norte; p. ex. DESER E BLACKMON, 1995; BARLOW, NIGAM E BERBERY, 2001), com períodos de oscilação de 50 anos, e outro com sinais comparáveis aos trópicos e extratropicais com período de oscilação de 20 a 30 anos (ZHANG, WALLACE E BATTISTI, 1997; MESTAS-NUÑEZ E ENFIELD, 1999) (ANDREOLI E KAYANAO, 2009).

Alguns autores – como Schwing e Moore (2000), Minobe (2000), Hare e Mantua (2000) – sugerem que por volta de 1998/1999 ocorreu outra mudança de regime da ODP. Esta mudança de regime para a fase fria pode ser constatada na figura 8 quando se observa os índices predominantemente negativos da ODP, durante 1999 a 2011 que compreende o período pesquisado, tanto para o gráfico com os índices entre 1950 a 2013 quanto no gráfico entre 2000 a 2013.

Além dos dois gráficos da figura 8, a tabela 3 com os índices mensais da ODP também demonstram o predomínio dos índices negativos, entre 1999 a 2011, confirmando a ocorrência de uma nova fase fria da ODP.

Figura 7 - Índices mensais da ODP de 1950 a 2013 e do ano 2000 até o final de 2013



Fonte: National Climate Data Center (NCDC)/ National Oceanic And Atmospheric Administration (NOAA).

Quadro 4 – Índices da ODP

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1999	-0,32	-0,66	-0,33	-0,41	-0,68	-1,30	-0,96	-0,96	-1,53	-2,23	-2,05	-1,63
2000	-2,00	0,83	0,29	0,35	-0,05	-0,44	-1,19	-1,19	-1,24	-1,30	-0,53	0,52
2001	0,60	0,29	0,45	-0,31	-0,30	-0,47	-0,77	-0,77	-1,37	-1,37	-1,26	-0,93
2002	0,27	-0,64	-0,43	-0,32	-0,63	-0,35	0,60	0,60	0,43	0,42	1,51	2,10
2003	2,09	1,75	1,51	1,18	0,89	0,68	0,88	0,88	0,01	0,83	0,52	0,33
2004	0,43	0,48	0,61	0,57	0,88	0,04	0,85	0,85	0,75	-0,11	-0,63	0,17
2005	0,44	0,81	1,36	1,03	1,86	1,17	0,25	0,25	-0,46	-1,32	-1,50	0,20
2006	1,03	0,66	0,05	0,40	0,48	1,04	-0,65	-0,65	-0,94	-0,05	-0,22	0,14
2007	0,01	0,04	-0,36	0,16	-0,10	0,09	0,50	0,50	-0,36	-1,45	-1,08	-0,58
2008	-1,00	0,77	-0,71	-1,52	-1,37	-1,34	-1,70	-1,70	-1,55	-1,76	-1,25	-0,87
2009	-1,40	-1,55	-1,59	-1,65	-0,88	-0,31	0,09	0,09	0,52	0,27	-0,40	-0,08
2010	0,83	0,82	0,44	0,78	0,62	-0,22	-1,27	-1,27	-1,61	-1,06	-0,82	-1,21
2011	-0,92	-0,83	-0,69	-0,42	-0,37	-0,69	-1,74	-1,74	-1,79	-1,34	-2,33	-1,79

Tabela elaborada pelo autor

Fonte: <http://jisao.washington.edu/pdo>

Observações por satélites mostraram que os valores de radiação solar, no mínimo do último ciclo solar de 11 anos de manchas em 2006 ($1365,3 \text{ Wm}^{-2}$), ficaram abaixo dos mínimos dos dois ciclos anteriores. A variação da atividade solar dos últimos 300 anos sugere que nos próximos ciclos de manchas solares, ou seja, até cerca de 2030, a atividade solar seja comparável às duas primeiras décadas do século XX. Portanto, com o Pacífico em uma nova fase fria e a atividade solar mais baixa, é muito provável que as condições climáticas globais registradas entre 1947-1976 (última fase fria da ODP, anterior a atual) venham a se repetir qualitativamente, ou seja, um arrefecimento global nas próximas duas décadas, semelhante ao que aconteceu na fase fria anterior (MOLION, 2008).

A ODP parece ter uma relação sensível à variabilidade pluviométrica e aos processos hidrológicos de algumas bacias do Norte-Centro, do Sul, e Sudeste (MOLION, 2008). Em recente pesquisa Marques (2010) mostrou que a fase fria da ODP de 1946 até 1975/76 coincidiu com o menor volume da precipitação pluviométrica na Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão no Sul de Santa Catarina; enquanto a partir de 1976 até a virada do século e milênio, predominou a fase quente coincidindo com o período de aumento das chuvas. Entretanto, Spinelli (2012) identificou que na Bacia do Rio do Peixe, entre 1999-2009, durante a fase fria da ODP, ocorreram mais desvios positivos pluviométricos, ou seja, os totais anuais ficaram dentro da normalidade ou acima.

Portanto, não é certo que só a verificação dos índices da ODP seja suficiente para ajudar a explicar os desvios negativos ou positivos de precipitação pluvial na MOC, mas também os índices das variabilidades interanuais como o ENOS.

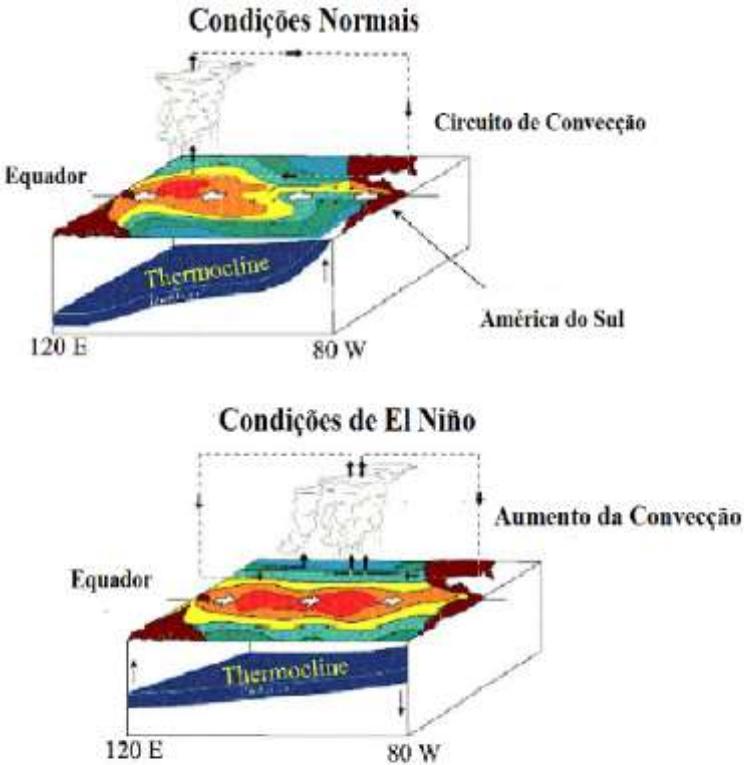
4.4.2 Variabilidades Climáticas Interanuais - El Niño Oscilação Sul - ENOS

O regime climático da precipitação pluvial também pode ser relacionado às variações climáticas interanuais como El Niño (EN) e La Niña (LN). O El Niño – Oscilação Sul (ENOS) é o principal modo de variabilidade interanual na América do Sul e, é caracterizado por anomalias na temperatura da superfície do mar (TSM). Durante episódios de El Niño, a TSM do Oceano Pacífico Equatorial Central e Leste fica maior que o normal. Estas anomalias estão explicitadas pela grande capacidade de armazenagem calorífica dos oceanos,

principalmente, o Pacífico, por ser mais extenso, que influencia demasiadamente a Circulação Oceano-Atmosfera provocando as variações climáticas decorrentes do aquecimento ou resfriamento dele próprio – Oceano Pacífico na região equatorial. Estas condições que indicam a presença do Fenômeno El Niño são o enfraquecimento dos ventos alísios e o aumento da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Oceano Pacífico Equatorial Leste. Como consequência, ocorre uma diminuição das águas mais frias que afloram próximas à costa oeste da América do Sul como se observa na figura 9 (Grimm, 2009). Em condições normais ou de neutralidade do ENOS, como se observa na figura 9 as águas superficiais relativamente ficam mais frias no Pacífico Equatorial Leste, junto à costa oeste da América do Sul, e relativamente mais aquecidas no Pacífico Equatorial Oeste, próximo à costa australiana e a região da Indonésia influenciando os ventos alísios que sopram de leste para oeste favorecendo a ressurgência próxima à costa oeste da América do Sul. (Grimm, 2009).

As fontes anômalas tropicais de calor associadas a episódios ENOS perturbam as circulações divergentes de Walker (zonal) e de Hadley (meridional) sobre a América do Sul e produzem trens de ondas de Rossby (devido à divergência anômala em altos níveis), que são anomalias de circulação rotacional que se propagam para os extratropicais, com importantes efeitos sobre os subtropicais e extratropicais do continente. Essa reposta está nos principais modos de variabilidade interanual da circulação atmosférica no Hemisfério Sul, de interesse para o Brasil. É o caso, por exemplo, do padrão Pacífico-América do Sul (PSA na sigla em inglês), que parece estar associado ao ENOS, correspondendo ao trem de ondas que se propaga para o sudeste a partir do Pacífico Tropical, e então para o equador, atingindo a América do Sul. Estas anomalias acabam aumentando a convecção atmosférica nessas regiões, enquanto se esfria no Pacífico Oeste, onde a convecção e a precipitação diminuem, e nos subtropicais ao norte e ao sul (GRIMM, 2003).

Figura 8 Dinâmica atmosférica em condições normais e condições de El Niño

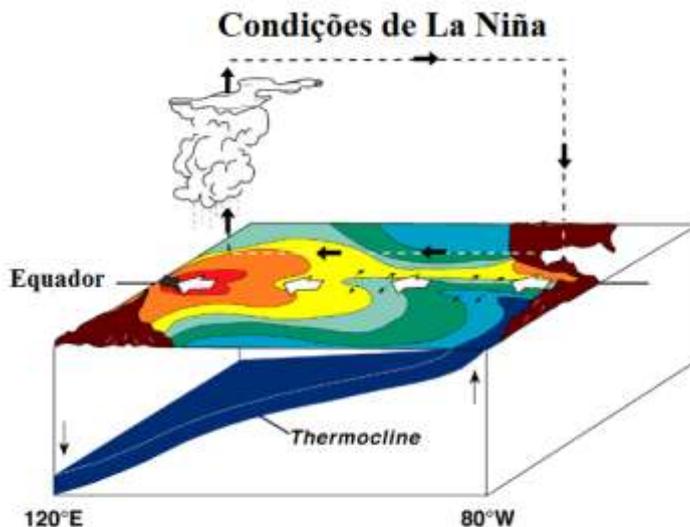


Adaptado pelo autor.

Fonte: http://earthguide.ucsd.edu/virtualmuseum/climatechange1/11_1.shtml

Já durante a ocorrência do La Niña como se observa figura 10, as condições estão associadas à intensificação dos ventos alísios e ao declínio da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Pacífico Equatorial Leste. As águas adjacentes à costa oeste da América do Sul tornam-se ainda mais frias devido à intensificação do movimento de ressurgência (Grimm, 2009).

Figura 9 – Condições atmosféricas associadas a La Niña.



Adaptado pelo autor.

Fonte: http://earthguide.ucsd.edu/virtualmuseum/climatechange1/11_1.shtml

4.4.2.1 As influências do ENOS no ritmo climático pluvial sazonal e da atuação dos sistemas atmosféricos

Sabe-se que o sul do Brasil e a MOC sofrem uma grande influência do ENOS (GRIMM et al., 1998; GRIMM, 2003, 2004), como anomalias positivas (negativas) de precipitação em EN(LN), durante a primavera e também durante o outono e o inverno de anos EN (GRIMM et al., 1998). Grimm (2003, 2004) mostra que durante um episódio ENOS algumas regiões do Brasil sofrem impactos significativos de anomalias de precipitação, como as regiões: Centro-Leste e Sul do Brasil; nos meses de novembro a fevereiro, afetando regiões populosas e de grande importância para a agricultura e para hidroeletricidade. Além disso, Grimm e Flach (2010) têm mostrado uma relação forte entre os episódios do ENOS e a ocorrência de eventos extremos de precipitação na região Sul do Brasil.

Quanto a influência sazonal do ENOS no clima da região Sul do Brasil e especificamente na MOC, a primavera é mais significativamente afetada. Isto ocorre principalmente, em novembro (0), início do episódio de EN (LN), quando fortes anomalias positivas (negativas) ocorrem no Sul do Brasil, enquanto anomalias de sinal contrário predominam no Centro-Leste e Norte (GRIMM, 2009). Durante novembro anomalias anticiclônicas predominam em baixos níveis sobre o Centro-Leste do Brasil, nos trópicos e subtropicais por causa da maior subsidência sobre a Amazônia, indicada pela convergência em altos níveis, enquanto anomalias ciclônicas predominam sobre o sudoeste da América do Sul. A entrada de umidade do Atlântico Equatorial é favorecida, mas desviada pela Cordilheira dos Andes para o Sul do Brasil, onde a convergência de umidade é dominante. Em altos níveis, onde as ondas de Rossby são mais visíveis, o par ciclone-anticiclone subtropical fortalece o jato subtropical e advecção de vortacidade ciclônica sobre o Sul do Brasil, o que favorece o movimento ascendente. Essas anomalias de circulação e transporte de umidade levam a maior frequência de ciclogênese (Frentes Frias) e de CCMs, que já são frequentes no oeste (MOC) do Sul do Brasil. Durante eventos LN, as anomalias de circulação são aproximadamente opostas às dos eventos EN, com pequenos deslocamentos, assim como as anomalias de precipitação, mais fortes no Sul e Centro-Leste do Brasil (GRIMM, 2009).

Durante o verão as anomalias no Sul são relativamente fracas e de sinal não uniforme em toda a região, coerente com os resultados de Grimm (2003, 2004). Em janeiro (+), as anomalias no Norte persistem, mas as do Centro-Leste invertem-se, e as do Sul enfraquecem e até se invertem em algumas áreas. Depois de fevereiro (+) as condições no Centro-Leste e Sul tendem a retornar às condições de primavera, porém com anomalias mais fracas (GRIMM, 2009).

No outono (+) de EN, principalmente em abril, há aumento de precipitação no Sudeste/Sul do Brasil, enquanto em LN o efeito não é tão forte. Quando os episódios EN persistem até outono/inverno (+), anomalias positivas ocorrem no outono (+) em parte do Sul do Brasil, Argentina e Paraguai, enquanto no inverno (+) somente em partes do Sul do Brasil (Grimm, ET al., 1998; 2000). Essas anomalias estão associadas às piores enchentes na Bacia do Paraná-Prata, incluindo o Rio Uruguai e os seus tributários localizados dentro da MOC (GRIMM, 2009).

Em Janeiro (+) de episódios EN, há fortalecimento da baixa térmica continental subtropical. A menor pressão no continente induz a

convergência em baixos níveis e movimento ascendente, com a ajuda das montanhas nessa região, produzindo uma circulação ciclônica no Sudeste do Brasil. Esta estrutura termodinâmica aumenta a precipitação na região Centro-Leste do Brasil, enquanto as anomalias úmidas no Sul do Brasil quase desaparecem. O aumento da precipitação na região da ZCAS no verão de eventos EN também foi reportado por Carvalho, Jones e Liebmann (2004). Anomalias de circulação e precipitação em janeiro (+) de LN são quase opostas, porém mais fortes no Centro-Leste e Sul do Brasil (GRIMM, 2009).

Minuzzi (2010) com objetivo de identificar a influência do ENOS sobre o regime de precipitação em Santa Catarina entre 1982 a 2004 constatou para os meses outubro, novembro, janeiro, abril e maio os maiores coeficientes (mais significativos) - entre a Temperatura Superficial do Mar – TSM e a precipitação. Sendo que os meses de novembro, janeiro, fevereiro e maio foram os mais chuvosos durante El Ninos moderados e fortes.

Além da variabilidade sazonal Minuzzi (2010) identificou também a variabilidade espacial da precipitação pluvial na MOC. Os meses de janeiro e fevereiro são mais chuvosos nos vales dos afluentes do rio Uruguai. Durante os eventos de La Nina, o mês de outubro do ano 0 (de início do ENOS) foi considerado seco para as microrregiões de Concórdia, Joaçaba e Xanxerê. O mês de novembro do ano 0 foi considerado muito seco em toda a Mesorregião do Oeste Catarinense, já - dezembro do ano 0 e janeiro do ano +1 foram considerados chuvosos nos vales dos afluentes do rio Uruguai. O mês de fevereiro do ano +1 foi considerado seco para a região norte do Oeste Catarinense, enquanto os meses de abril e maio do ano +1 para as microrregiões de Concórdia e Joaçaba foram considerados chuvosos. Isto significa dizer que características geográficas influenciam os efeitos do ENOS sobre a precipitação pluvial em toda MOC.

Apesar da tendência positiva (negativa) de precipitação com atuação do El Niño (La Niña) apresentada por Grimm (2003), Grimm (2004), Grimm (2009) e Minuzzi (2010), Sacco (2010) concluiu que durante os eventos de estiagem entre 2001 a 2006 na MOC o fenômeno ENOS esteve caracterizado por suas fases neutras e El Niño fraco o que vem a levantar a hipótese de que somente em eventos de El Niño/La Niña moderados a fortes ocorra significativo impacto sobre a precipitação pluvial.

Em estudo mais recente Spinelli (2012) identificou que na Bacia do Rio do Peixe, onde se situa a microrregião e a estação meteorológica de Joaçaba, aproximadamente 70% dos anos chuvosos ocorreram

durante episódios de El Niño. Entretanto, os extremos de precipitação ocorreram tanto em anos de El Niño como de La Niña.

Contudo, apesar dos impactos descritos serem geralmente consistentes, durante eventos de ENOS, há significativa variabilidade intereventos, em razão das diferenças e das intensidades das anomalias de TSM no oceano Pacífico de um evento para o outro como se observa na tabela 4 com o índice ONI⁶ do ENOS calculado pela NOAA.

Neste o índice do ENOS (El Niño e La Niña), no sítio <http://ggweather.com/enso/oni.htm>, apresenta uma classificação com Niños ou La Niñas fracos, moderados e fortes como se observa na tabela 4.

⁶ ONI – Oceanic Niño Index é o índice criado pela NOAA para determinar a fase positiva, neutra e negativa do ENOS.

Quadro 5 – Índice Oceânico Trimestral do ENOS

Categoria	Temporada			JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ
	1999	-	2000												
LFa	1999	-	2000	-1.0	-1.1	-1.1	-1.3	-1.5	-1.7	-1.7	-1.5	-1.2	-0.9	-0.8	-0.7
LFa	2000	-	2001	-0.6	-0.5	-0.6	-0.6	-0.8	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	-0.1
Neutro	2001	-	2002	0.0	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	0.0	0.1	0.3	0.5	0.7
EM	2002	-	2003	0.8	0.8	0.9	1.2	1.3	1.3	1.1	0.8	0.4	0.0	-0.2	-0.1
Neutro	2003	-	2004	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3
EFa	2004	-	2005	0.5	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
LFa	2005	-	2006	0.2	0.1	0.0	-0.2	-0.5	-0.8	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	0.0	0.1
EFa	2006	-	2007	0.2	0.3	0.5	0.8	1.0	1.0	0.7	0.3	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3
LM	2007	-	2008	-0.4	-0.6	-0.8	-1.1	-1.2	-1.4	-1.5	-1.5	-1.2	-0.9	-0.7	-0.5
LFa	2008	-	2009	-0.3	-0.2	-0.1	-0.2	-0.5	-0.7	-0.8	-0.7	-0.5	-0.2	0.2	0.4
EM	2009	-	2010	0.5	0.6	0.8	1.1	1.4	1.6	1.6	1.3	1.0	0.6	0.1	-0.4
LFo	2010	-	2011	-0.9	-1.2	-1.4	-1.5	-1.5	-1.5	-1.4	-1.2	-0.9	-0.6	-0.3	-0.2

Legenda: EFa = El Niño Fraco, EM = El Niño Moderado e Efo = El Niño Forte /LFa – La Niña Fraca, LM = La Niña Moderada e Lfo = Forte La Niña.

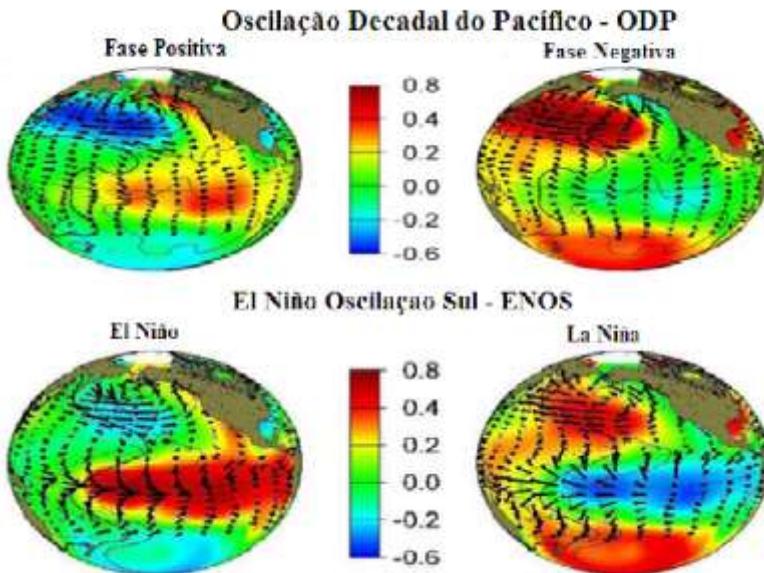
Fonte: <http://ggweather.com/enso/oni.htm>

In:(NOAA/CPC) http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensovears.shtml.

4.4.3 Teleconexões ENOS – ODP

No contexto da variabilidade de TSM entre eventos, Wang (1995) encontrou que os eventos El Niño anteriores a fins dos anos 1970 tiveram início com um aquecimento no Pacífico Equatorial Central. A intensidade e a frequência de El Niño e La Niña variam com o regime da ODP. Na fase fria da ODP, os eventos têm frequências equivalentes, e na fase quente, os eventos El Niño são mais frequentes e mais intensos como se observa na figura 11.

Figura 10- Teleconexão ENOS-ODP



Fonte: www.landscheidt.info

Sob a ótica da grande variabilidade das teleconexões do ENOS entre eventos, vários trabalhos investigaram a modulação destas pela ODP. Um dos trabalhos pioneiros foi o de Gershunov e Barnett (1998), no qual se mostrou que os padrões de Pressão ao Nível do Mar - PNM e

precipitação na América do Norte associadas aos ENOS estiveram mais fortes e coerentes quando a ODP e o ENOS estavam em fase. De modo similar, Kayano e Andreoli (2006a) sugeriram que as diferenças nos padrões de precipitação associados ao ENOS sobre a América do Sul podem estar relacionadas à ODP. A sugestão desses trabalhos é que a ODP cria um *background* que atua construtivamente (destrutivamente) quando o ENOS e a ODP estão na mesma fase (fase oposta) (Kayano e Andreoli, 2009).

Kayano e Andreoli (2006-a), com base nas variações do índice da ODP, analisaram padrões de teleconexões do ENOS relacionado a variações de precipitações na América do Sul para as três fases da ODP: positiva, negativa e neutra. Esse enfoque considera mudanças observadas em um regime climático de 20 a 30 anos. Os resultados mostram que os padrões de teleconexões do ENOS relacionados a variações de precipitação na América do Sul são consideravelmente mais intensas (fracas) quando o ENOS e a ODP estão na mesma fase (fase oposta) (KAYANO; ANDREOLI, 2006a). Por outro lado, durante a fase neutra da ODP, as anomalias de precipitação na América do Sul associadas a eventos El Niño e La Niña mostram magnitudes comparáveis, porém com mais sinais opostos (KAYANO; ANDREOLI, 2006a).

Assim, as autoras sugeriram que a ODP e o ENOS podem ter efeitos combinados nas distribuições anômalas da precipitação em algumas regiões, agindo construtivamente (anomalias intensas e bem definidas quando estão na mesma fase, e destrutivamente (anomalias fracas e ruidosas quando estão em fases opostas) (Kayano e Andreoli, 2009). Seiler et al. (2013,) identificam o início da fase fria da ODP a partir de 2007, baseados em séries de dados da Bolívia, que admitem problemáticos. Entretanto eles confirmam resultados de investigações de Garreaud et al. (2009) que identificam para o Altiplano Andino temperaturas mais elevadas durante a fase positiva da ODP e EN no verão, mais chuvas durante a mesma fase ODP nas planícies e menos chuvas durante episódios de EN no verão nos Andes bolivianos. Os autores argumentam que é desafiante a identificação da influência destas variabilidades, bem como a combinação das mesmas nos diferentes climas.

5. AS NECESSIDADES CLIMÁTICAS DO MILHO

O milho apresenta necessidades climáticas que variam de acordo com as suas fases fenológicas ou de desenvolvimento. Estas necessidades climáticas são explicadas pela Fenologia que é o ramo da Ecologia que estuda os fenômenos periódicos dos seres vivos e suas relações com as condições do ambiente, tais como temperatura, luz, umidade, etc. (DE FINA & RAVELO, 1973). Ou seja, ela estuda como os aspectos ambientais, notadamente os elementos climáticos irão influenciar no desenvolvimento do vegetal em todas as suas fases.

Dentre os elementos climáticos que influenciam o desenvolvimento do milho se destacam: a temperatura, fotoperíodo e a precipitação. No caso da temperatura, a disponibilidade térmica influencia de forma direta, de tal forma que locais ou períodos mais quentes determinam desenvolvimento mais rápido das plantas. Muitas espécies apresentam respostas à variação na duração do dia (fotoperíodo). A indução ao florescimento é o principal mecanismo de resposta, que determina a passagem da planta do crescimento vegetativo ao processo reprodutivo. Numa espécie sensível ao fotoperíodo, um mesmo cultivar terá seu ciclo alterado ao ser cultivado em diferentes épocas ou diferentes latitudes. Porém, para o milho o fotoperíodo não é tão importante, pois, esta é considerada uma planta de dias curtos, que não necessita de tanta luminosidade. Espécies com ciclos anuais temporários como o milho ajustam seus estádios de desenvolvimento ao ritmo climático pluvial. Isso significa dizer que a regularidade pluviométrica é importante para o desenvolvimento das culturas agrícolas (EMBRAPA, 2006).

Portanto, os elementos do tempo e clima, cuja variabilidade mais influenciam no desenvolvimento do vegetal do milho são: a temperatura e o regime pluviométrico.

5.1. Temperatura

Dentre os elementos climáticos (insumos climáticos) importantes para o desenvolvimento do milho encontra-se a temperatura que influencia sobremaneira o metabolismo do vegetal, ou seja, quanto maior a temperatura, mais rápido o vegetal irá desenvolver, assim como do contrário o metabolismo é desacelerado (EMBRAPA, 2006).

Para o milho plantado na região Sul (MOC) a temperatura representa o fator mais limitante sendo que os limites toleráveis ficam entre 10°C e 30°C, portanto quando a temperatura fica abaixo dos 10°C

o crescimento praticamente não existe e em períodos longos que a temperatura situa-se acima dos 30°C o rendimento dos grãos decresce. Já a temperatura ideal para o pleno desenvolvimento do milho fica entre 24 e 30°C (EMBRAPA 2006).

Durante o período de germinação na fase vegetativa as temperaturas ideais do solo ficam entre 25°C e 30°C, sendo que as temperaturas inferiores a 10°C ou superiores a 40°C causam prejuízo sensível à germinação. Durante a floração na fase de reprodução as temperaturas médias superiores a 26 °C aceleram o desenvolvimento dessa fase, e as inferiores a 15,5 °C o retardam, enquanto durante a polinização temperaturas acima de 33°C reduzem sensivelmente a germinação do grão de pólen. Na fase da maturação e enchimento dos grãos, temperaturas inferiores a 15°C retardam a maturação dos grãos (EMBRAPA, 2006).

5.2 – Precipitação Pluvial – Umidade do Solo

Além da temperatura outro importante fator climático no desenvolvimento do milho é a umidade do solo. A umidade do solo esta condicionada ao ritmo da precipitação, da temperatura, da umidade relativa do ar e da evapotranspiração em cada região.

O milho é uma cultura que apresenta uma exigência muito grande de água, no entanto, pode ser cultivada em regiões onde as precipitações variam de 250 mm até 5.000 mm anuais. Para a garantia de uma produção satisfatória sem necessidade de irrigação, a cultura do milho demanda um consumo total de água entre 400 a 700 mm, para ciclos com duração de 100 a 145 dias (EMBRAPA, 2006).

Nos primeiros estádios de crescimento durante a fase vegetativa até o início da fase reprodutiva em uma região com clima quente e seco a necessidade pluviométrica dificilmente excede os 3,0 mm/dia como se observa na tabela 5. Durante a fase do crescimento vegetativo o déficit hídrico ocasiona diminuição na taxa fotossintética e posteriormente o desenvolvimento dos grãos é afetado diretamente pela menor massa vegetativa. Já durante a fase reprodutiva e da maturação dos grãos o consumo pode se elevar de 5 a 7,5 mm diários. No entanto com altas temperaturas e umidade relativa do ar muito baixa, o consumo pode chegar até 10 mm/dia por causa do aumento da evapotranspiração da planta, pois:

Na fase do florescimento, a ocorrência de dessecação dos estilos-estigmas (aumento do grau

de protandria) aborto dos sacos embrionários, distúrbios na meiose, aborto das espiguetas e morte dos grãos de pólen resultarão em redução do rendimento. Déficit hídrico na fase de enchimento de grãos afetará o metabolismo da planta e fechamento de estômatos, reduzindo a taxa fotossintética. (EMBRAPA, 2006, p. 2)

Portanto, durante o seu ciclo de crescimento, o milho, necessita da presença da água para poder desenvolver seus processos fisiológicos. Porém, existem estádios fenológicos que a falta de água é mais crítica quando se necessita obter um maior rendimento produtivo. Durante a polinização de 15 a 20 dias o milho necessita de um aporte regular de água para que sua flor (pendão e espiga) tenha pólen e estigma (cabelos da espiga), permitindo o desenvolvimento até a fase do enchimento e maturação dos grãos (EPAGRI, 2010)

Desta forma, como se observa na tabela 6 a fase da reprodução (polinização e florescimento) e da maturação (formação e enchimento dos grãos) são as fases em que o milho necessita de maior quantidade de água (precipitação). Isto significa dizer que períodos com falta de água (stress hídrico) ou excessos pluviométricos diários prejudicam o desenvolvimento do milho podendo ocasionar queda do rendimento agrícola. Do contrário, a presença regular de água durante estas fases de desenvolvimento do milho podem proporcionar aumento do rendimento agrícola.

Quadro 6 - Necessidades Climáticas diárias do milho durante as fases de desenvolvimento.

Elementos Climáticos	Fases de Desenvolvimento		
	Vegetativa	Reprodutiva (Floração e polinização)	Enchimento e maturação dos Grãos
Temperatura	10 a 30°C	15,5 a 26°C	15 a 30°C
Precipitação	3,0 mm	5,0 a 7,5 mm	5,0 a 7,5 mm

Tabela Elaborada pelo autor.
Fonte: EMBRAPA (2006)

5.3 Calendário Climático Agrícola do Milho

Para avaliar a influência do ritmo climático e suas variabilidades sobre a cultura e o rendimento agrícola do milho é necessário conhecer o calendário climático agrícola específico em Santa Catarina, com os períodos de plantio e fases de desenvolvimento estimadas.

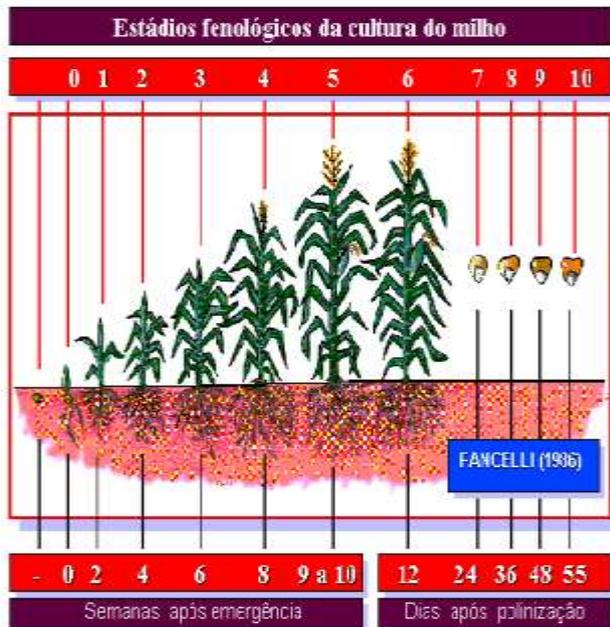
Segundo EMBRAPA (2006), no sul do Brasil, o milho geralmente é plantado de agosto a setembro, quando o rendimento agrícola, especificamente, das lavouras catarinenses favorecidas pela subtropicalidade do estado podem ser superior aos 8.000 kg/há. No entanto, para o CEPA/EPAGRI (2010) o plantio do milho em Santa Catarina tem ocorrido nos meses de Janeiro, Agosto, Setembro, Outubro e Novembro e Dezembro. Porém, predominantemente o plantio inicia-se entre setembro a dezembro (os meses mais quentes e chuvosos) quando é dispensada a necessidade de irrigação.

Os estádios fenológicos da cultura do milho no Brasil propostos por Fancelli (1986) foram adaptados de Hanway, 1966 e Nel & Smit, 1978, conservando os critérios de observação dos estádios originais. Nesta periodização como se observa na figura 12, o ciclo de desenvolvimento do milho ficou entre 125 a 130 dias, dividido em 10 estádios desde a germinação até a maturação dos grãos.

Apesar de apresentar a época aproximada de ocorrência de cada estágio ou fase de desenvolvimento do milho, Fancelli (1986) reconhece que esta periodização varia bastante com o tipo de cultivar, e principalmente, com as condições climáticas (sobretudo térmicas) de cada região. Assim a partir dos dados climáticos diários (temperatura mínima e máxima, precipitação pluvial e evapotranspiração) das estações meteorológicas o número total de dias do ciclo de desenvolvimento do milho para cada estação meteorológica é apresentado na tabela 7.

Desta forma os 10 (dez) estádios fenológicos do milho apresentando por Fancelli (1986) foram transformados em duas fases de desenvolvimento: a fase reprodutiva (da floração) e a fase do enchimento e da maturação dos grãos. Serão estes dois períodos considerados na análise rítmica climática.

Figura 11. Estádios fenológicos da cultura do milho



Estádio 1 - Planta com 4 folhas totalmente desdobradas - 2 semanas após a emergência.

Estádio 2 - Planta apresentando 8 folhas totalmente desdobradas - 4 semanas após a emergência.

Estádio 3 - Plantas com 12 folhas totalmente desdobradas - 6 semanas após a emergência.

Estádio 4 - Emissão do pendão - 8 semanas após a emergência.

Estádio 5 - Florescimento e polinização - 9 a 10 semanas.

Estádio 6 - Grãos leitosos - 12 dias após a polinização.

Estádio 7 - Grãos pastosos - 24 dias após a polinização.

Estádio 8 - Grãos farináceos (início da formação de "dentes") - 36 dias após a polinização.

Estádio 9 - Grãos duros - 48 dias após a polinização.

Estádio 10 - Grãos fisiologicamente maduros - 54 dias após a polinização.

Fonte: Fancelli (1986, adaptado de HANWAY, 1966 e Nel & SMIT, 1978).

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos quadros 7 e 8 são apresentados a duração das os períodos de floração, enchimento e maturação dos grãos do milho resultantes das simulações feitas no Aquacrop 4.0 nas safras 2004/05 e 2010/2011, respectivamente, para cada estação meteorológica. A safra 2004/05 foi escolhida porque na maioria das microrregiões foi a safra com menor rendimento agrícola do período entre 1999 a 2011. Enquanto 2010/11 foi a safra com o maior rendimento agrícola em todas as microrregiões.

Pode-se constatar a importância das variabilidades climáticas no resultado das duas safras apresentadas na figura 12 com rendimentos opostos. Sabe-se que o ENOS é a principal variabilidade climática que influencia o ritmo climático interanual no Brasil e na MOC, no Sul do Brasil, principalmente na primavera e outono-inverno. Em geral eventos El Niño são responsáveis por anomalias positivas de precipitação causando inundações e La Niña por anomalias negativas e estiagem. Considerando-se a complementaridade entre variabilidades climáticas, principalmente em virtude da abrangência espacial e temporal, examinou-se também o papel da Oscilação Decadal do Pacífico, que também apresenta fases positivas (quentes) e negativas (frias) como o ENOS, porém em escala decenal, mas com influências semelhantes e construtivas quando as fases são coincidentes.

Na safra 2004/2005, observou-se que o evento El Niño de fraca intensidade iniciou-se no trimestre JJA de 2004, podendo influenciar na primavera, especialmente em novembro, anomalias positivas no Sul do Brasil. Sacco (2010) registrou estiagens na região de novembro de 2004 a março de 2005. Nos meses de novembro e dezembro os índices de ODP foram negativos e por isso oposto ao do ENOS, agindo destrutivamente, ou seja, com anomalias fracas e ruidosas (Kayano e Andreoli, 2009), o que pode explicar porque neste evento El Niño ocorreu déficit e não excesso e nem mesmo regularidade na distribuição de chuvas.

Durante a safra 2004/05 a irregularidade no ritmo climático pluvial resultante da atuação das ZCAS e dos Bloqueios Atmosféricos durante a fase de floração foi determinante para prejudicar o desenvolvimento do milho assim como os resultados da produção de biomassa e do rendimento agrícola observados na figura 12. Além disso, os resultados da simulação para a safra 2004/05 (quadro 7) demonstraram que duração da floração, do enchimento e da maturação dos grãos foi praticamente o mesmo nas estações de São Miguel do Oeste e Chapecó, e tardio em Ponte Serrada, provavelmente em função

das menores temperaturas que retardam o crescimento do milho. Ponte Serrada se situa acima de 400 m de altitude em relação às demais.

Há aumento da precipitação na região das ZCAS (Centro-leste) nos eventos El Niño (Carvalho, Jones e Liebmann(2004) e por conseguinte, pelo dipolo com a Baixa do Chaco, estiagens no Sul, como constatado por Sacco (2010). Precipitações como as registradas em fevereiro e março de 2005, durante eventos de ZCAS, com totais inferiores a 20 mm e concentração espaço-temporal, parecem ter origem local, pelo efeito topográfico que é notável nos maiores totais de precipitação (GRIMM, 2009).

Quadro 7 – Estimativa da duração das fases de floração, enchimento e maturação dos grãos por estação meteorológica durante a safra 2004/05 .

Estação	Safra	Semeadura	Floração	Enchimento e maturação dos grãos
São Miguel do Oeste	2004/05	01º/09	17/12/2004 a 01/01/2005	02/01/2005 a 12/02/2005
		01º/10	09 a 22/01 de 2005	23/01/2005 a 05/03/2005
		01º/11	31/01/2005 a 14/02/2005	15/02/2005 a 28/03/2005
Chapecó	2004/05	01º/09	16 a 31/12/2004	01º/01/2005 a 11/02/2005
		01º/10	09 a 22/01/2005	23/01/2005 a 06/03/2005
		01º/11	31/01/2005 a 14/02/2005	15/02/2005 a 28/03/2005
Ponte Serrada	2004/05	01º/09	11 a 29/01/2005	30/01/2005 a 24/03/2005
		01º/10	02 a 20/02/2005	21/02/2005 a 15/04/2005
		01º/11	23/02/2005 a 12/03/2005	13/03/2005 a 19/05/2005

Tabela elaborada pelo autor.

Para a safra 2010/11 (quadro 8) as fases de floração enchimento e maturação foram mais curtas em São Miguel do Oeste e Chapecó e mais longas em Ponte Serrada, enquanto em Joaçaba e Xanxerê o período foi intermediário entre São Miguel do Oeste e Chapecó e Ponte Serrada. A Estação Ponte Serrada por sua maior altitude, registra temperaturas mais baixas, o que deve influenciar na duração do ciclo fenológico do milho.

Além disso, a duração da floração, enchimento e da maturação dos grãos em todas as semeaduras foi maior na safra 2010/11 do que a safra 2004/05 em função das temperaturas amenas durante a safra 2010/11 que prolongaram o ciclo de desenvolvimento do milho.

Na comparação entre as estações meteorológicas durante a safra 2010/11 (figura 12) é possível constatar que São Miguel do Oeste foi a estação menos produtiva, Chapecó e Ponte Serrada foram as estações mais produtivas e Joaçaba e Xanxerê ficaram numa posição intermediária com resultados muito parecidos.

Na safra 2010/2011, o evento La Niña também se iniciou no trimestre JJA de 2010. Observa-se nos gráficos de análise rítmica que os meses de janeiro e especialmente fevereiro foram chuvosos, quando se espera enfraquecimento das anomalias negativas para janeiro e condições semelhantes a da primavera porém mais fracas, ou seja, menos precipitação. Entretanto, os índices de ODP desde junho foram negativos, apesar de se enfraquecerem a partir de janeiro. Neste caso ambos índices atuaram construtivamente, representando um Pacífico mais frio. Isto pode ter contribuído para a circulação se dirigir para o continente mais aquecido, em função das diferenças de pressão, passando a reforçar os processos convectivos, que da Amazônia se deslocam na direção do Paraná-Prata, como jatos de baixos níveis que alimentam os sistemas convectivos no sul do Brasil, explicando a regularidade da distribuição de chuvas em um evento La Niña.

Quadro 8 – Estimativa da duração das fases de floração, enchimento e maturação dos grãos por estação meteorológica durante a safra 2010/11 .

Estação	Safra	Semeadura	Floração	Maturação dos grãos
São Miguel do Oeste	2010/11	01º/09	25/12/2010 a 08/01/2011	09/01 a 17/02/2011
		01º/10	12/01 a 25/01/2011	26/01 a 09/03/2011
		01º/11	31/01/2011 a 12/02/2011	13/02 a 30/03/2011
Chapecó	2010/11	01º/09	26/12/2010 a 09/01/2011	10/01 a 20/02/2011
		01º/10	13/01 a 26/01/2011	27/01 a 11/03/2011
		01º/11	31/01 a 14/02/11	15/02 a 31/03/2011
Ponte Serrada	2010/11	01º/09	17/01 a 02/02/11	03/02 a 29/03/2011
		01º/10	03 a 20/02/11	21/02 a 24/04/2011
		01º/11	21/02 a 11/03/11	12/03 a 30/05/2011
Joaçaba	2010/11	01º/09	05 a 20/01/2011	21/01 a 08/03/2011
		01º/10	23/01 a 06/02/2011	07/02/2011 a 28/03/2011
		01º/11	09/02 a 24/02/2011	25/02/2011 a 22/04/2011
Xanxerê	2010/11	01º/09	06/01 a 20/01/2011	21/01/2011 a 09/03/2011
		01º/10	23/01 a 06/02/2011	07/02/2011 a 29/03/2011
		01º/11	09/02 a 24/02/2011	25/02/2011 a 21/04/2011

Tabela elaborada pelo autor.

Durante a safra 2004/05 os índices do El Niño (quadro 4) foram neutros a fracos, enquanto para safra 2010/11 os índices foram neutros e, principalmente, de La Niña Forte.

Na estação meteorológica de Ponte Serrada, a diferença produtiva entre a safra 2004/05 e 2010/11 foi muito pequena. Nas estações de São Miguel do Oeste e Chapecó a safra 2004/05 foi menos produtiva que a safra 2010/11. No entanto, em Chapecó a diferença entre as safras foi maior do que em São Miguel do Oeste porque em Chapecó as condições climáticas foram menos favoráveis ao desenvolvimento e rendimento agrícola do milho (Figura 12)

Na comparação entre as estações meteorológicas durante a safra 2010/11 é possível constatar que São Miguel do Oeste foi a estação menos produtiva, Chapecó e Ponte Serrada foram as estações mais produtivas e Joaçaba e Xanxerê ficaram numa posição intermediária com resultados muito parecidos.

Houve pouca diferença produtiva nas simulações utilizando o sistema de plantio direto e o sistema de plantio convencional tanto na safra 2004/05 quanto na safra 2010/11. No entanto, mesmo com pouca diferença entre o plantio direto e o convencional, o plantio direto foi sempre mais produtivo. Provavelmente isto tenha ocorrido porque nos períodos sem chuvas o sistema de plantio direto garantiria maior reserva de água no solo para o desenvolvimento do milho.

Para entender as diferenças produtivas identificadas pelas simulações e também no rendimento agrícola real apresentado na introdução foram analisados os gráficos de análise rítmica durante a floração, enchimento e maturação dos grãos da safra 2004/05 nas estações de São Miguel do Oeste, Chapecó e Ponte Serrada e da safra 2010/11 nestas estações e também em Joaçaba e Xanxerê.

Figura 12 –Resultados agrícolas das simulações do Aquacrop 4.0 por safra e estação meteorológica

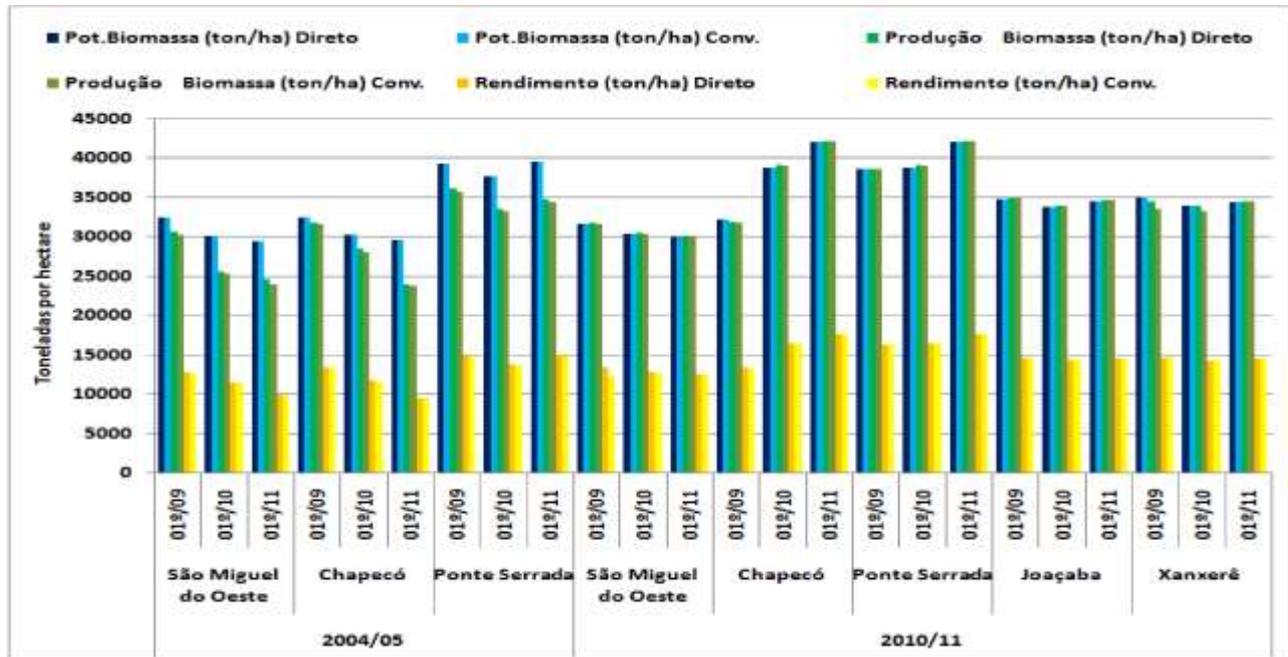


Figura elaborada pelo autor.

6.1 Safra 2004/05

Para a safra 2004/05 (quadro 6) foi possível constatar que para as três datas de semeadura, a floração, o enchimento e a maturação dos grãos tiveram nas estações de São Miguel do Oeste e Chapecó a mesma duração. Enquanto na estação de Ponte Serrada a duração das fases da floração, enchimento e maturação dos grãos foram mais prolongados

Durante o período de 17 de dezembro de 2004 a 28 de março de 2005 os dias sem chuvas estiveram associados a posição da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e aos Bloqueios Atmosféricos. A ZCAS é um sistema atmosférico que, como visto no capítulo 4, está relacionado a um dipolo que causa chuvas concentradas na região Sudeste e estiagem na Região Sul. Os Bloqueios Atmosféricos podem desviar as frentes nas latitudes mais altas também causando estiagem no sul do Brasil. Já os dias chuvosos ocorreram principalmente sob a ação de sistemas convectivos, e menos frequentemente pela atuação dos Jatos de Altos Níveis (JANs) e das Frentes Frias. Inclusive foi possível constatar a ação das Frentes Frias Litorâneas na produção de precipitação em São Miguel do Oeste, mesmo que com volumes abaixo da precipitação provocada pelas Frentes Frias de trajetória mais central.

Já entre 1º de abril até 19 de maio os sistemas atmosféricos mais atuantes foram as Frentes Frias, as Frentes Frias Litorâneas, o sistemas convectivos (como o CCM), os Jatos de Alto (JANs) e de Baixos Níveis da América do Sul (JBNAS) associados às Frentes Frias.

6.1.1 Estação São Miguel do Oeste

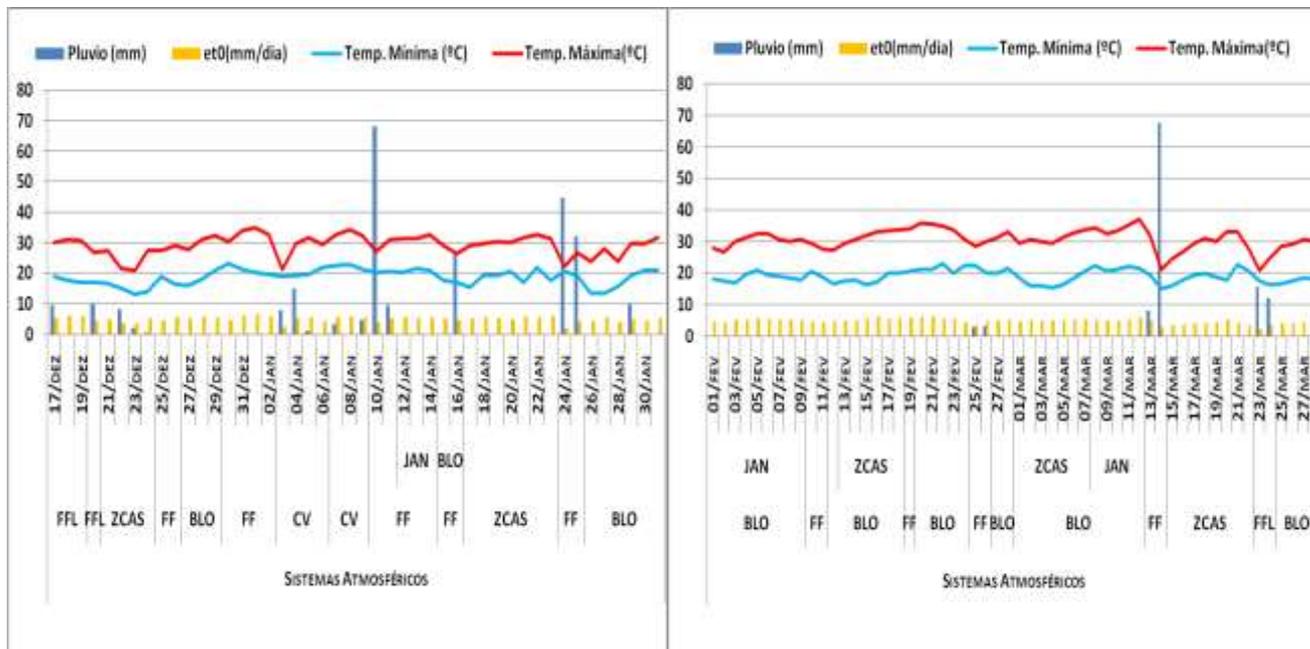
Na estação de São Miguel do Oeste na simulação em que o milho foi semeado no dia 01º de setembro durante a floração, o enchimento e maturação dos grãos (quadro 6) o ritmo pluvial foi regular até o final de janeiro quando as necessidades climáticas diárias de chuva foram atendidas em 11 dias. No entanto, do final de janeiro até 12 de fevereiro ocorreu um longo período sem chuvas que somados às elevadas temperaturas acima dos 30°C aumentaram a evapotranspiração e a perda de água do milho.

Durante a fase da floração com o milho sendo semeado dia 01º de outubro o regime pluviométrico foi regular, no entanto, no final da fase da maturação dos grãos, do final de janeiro a 13 de março (um período de cerca de 42 dias), o volume pluviométrico total deste período foi de

cerca 10 a 15 mm e somados as elevadas temperaturas provocaram grande perda de água para o milho.

Já para a simulação com o milho sendo semeado dia 01° de novembro de 2004 o maior período sem chuvas, com temperaturas máximas acima das necessidades climáticas e grande evapotranspiração ocorreu exatamente no período de floração que é a fase em que o milho mais necessita de água (chuva ou irrigação) para se desenvolver. Na fase final da maturação dos grãos de 15 de fevereiro a 28 de março de 2005 as necessidades pluviométricas diárias foram atendidas em apenas quatro (4) dias. Não por acaso, foram identificados os maiores percentuais de stress hídrico e também os menores valores de potencial e produção de biomassa e de rendimento agrícola do milho entre os três períodos de plantio simulados (figura 13).

Figura 13–Análise Rítmica da Estação Meteorológica de São Miguel do Oeste - 17 de Dezembro de 2004 a 28 de Março de 2005.



Fonte: Estação Meteorológica EPAGRI; Software CROPWAT/FAO; Boletim Climanálise CPTEC/INPE (2004; 2005)

6.1.2 Estação de Chapecó

Em Chapecó as fases de floração, enchimento e maturação ocorreram com apenas um dia de defasagem em relação às mesmas em São Miguel do Oeste, ou seja, a simulação do desenvolvimento do milho, a partir dos dados destas duas estações, praticamente coincidiu. Quando a simulação foi feita com o milho sendo semeado dia 1º de setembro de 2004 durante as fases de floração e da maturação dos grãos (quadro 6) o ritmo pluvial foi irregular, apesar do registro de um evento de 80 mm dia 20 de dezembro provocado por uma Frente Fria Litorânea (FFL). Esta FFL na estação de São Miguel provocou no dia 19 de dezembro precipitação de menos de 10 mm. Essa diferença na quantidade de precipitação deve ter sido provocada pela localização mais a leste da estação de Chapecó recebendo maior influência da FFL do que a estação de São Miguel do Oeste, localizada a aproximadamente a 100 km a oeste.

Na simulação das fases de floração, enchimento e maturação do milho semeado dia 1º de outubro, choveu em apenas 6 dos 57 dias, não atendendo a demanda pluviométrica diária do milho nesta fase, principalmente, em razão da distribuição irregular de chuva. Apesar das temperaturas mínimas atenderem as necessidades climáticas, as temperaturas máximas estiveram sempre acima dos 30°C aumentando a evapotranspiração diária durante o período. Portanto, o regime pluviométrico foi bastante irregular.

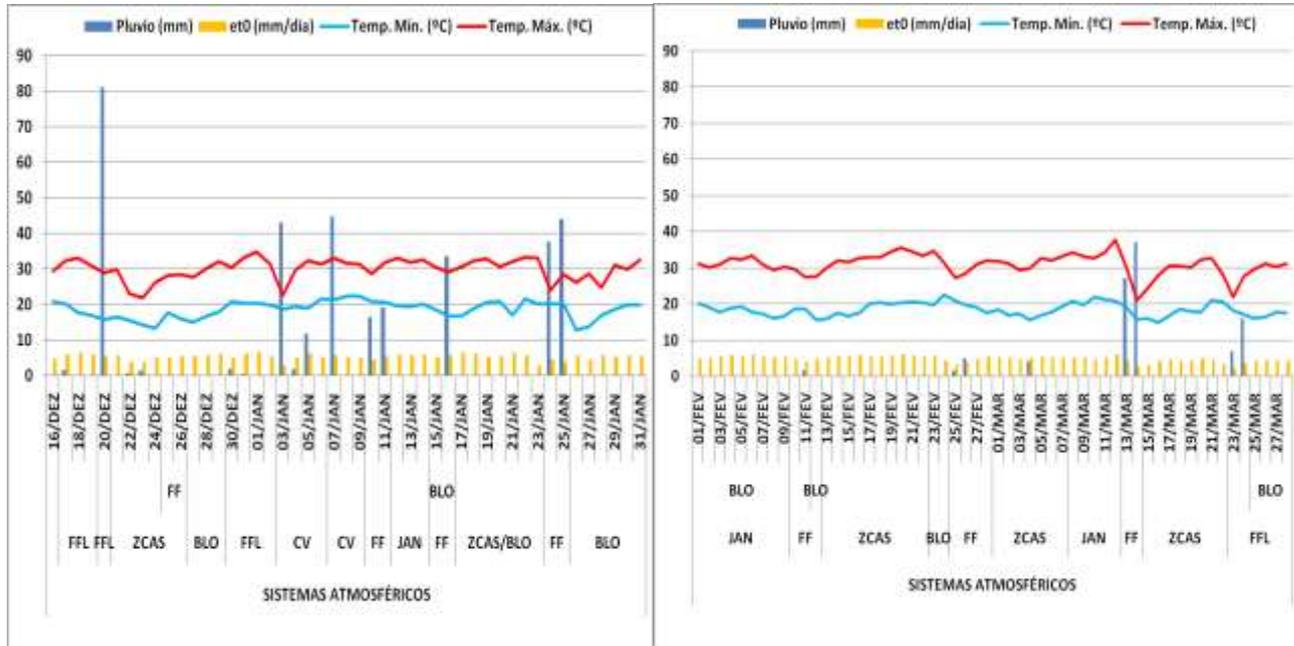
Cabe destacar que entre 26 de janeiro e 11 de fevereiro as chuvas foram tão escassas que acumularam neste período apenas um (1) mm. A escassez de chuvas somadas às elevadas temperaturas entre 25°C a quase 36°C aumentaram a evapotranspiração diária diminuindo a disponibilidade de água no solo.

Quando a semeadura do milho foi simulada para dia 1º de novembro de 2004 choveu suficiente para a demanda diária em apenas 04 dos 57 dias da floração e da maturação dos grãos. Como já tinha sido verificado na análise das simulações anteriores (1º de setembro e 1º de outubro), choveu apenas 1 mm durante o período da floração do milho plantado neste terceiro período. Apesar de que em dois dias o acumulado de precipitação alcançou 63 mm, isto parece não ter compensado o período de 40 dias de escassez de chuvas. As temperaturas máximas ficaram entre 24°C a 36°C o que, principalmente nos dias sem chuvas, aumentou os valores de evapotranspiração diários entre 4,5 a 6,0 mm.

Pode-se verificar com os resultados obtidos na simulação que durante a floração e maturação dos grãos para o milho semeado a partir de 01° de setembro tanto no sistema de plantio direto como no plantio convencional ocorreu ligeiro stress hídrico, principalmente, durante a floração – que é fase mais sensível à falta de água. O stress hídrico do milho, assim como o déficit hídrico no solo, apesar de pequeno na simulação pode ter sido efetivamente muito maior em função do regime pluviométrico irregular e das elevadas temperaturas. O menor rendimento agrícola estimado no milho plantado dia 01° de outubro (figura 13) pode estar relacionado a um maior período de exposição do milho à situação de stress hídrico do que naquele plantado em 01° de setembro.

Já na simulação do milho semeado dia 1° de novembro foi identificado o maior stress hídrico entre os três períodos de semeadura justamente na fase da floração quando o milho necessita de mais água. Tanto que na simulação do milho sendo semeado dia 1° de novembro (figura 13) o rendimento foi de cerca de 4.000 toneladas/há menor do que para o semeado dia 1° de setembro. O que também acabou determinando que o milho semeado dia 1° de novembro apresentasse os menores desempenhos entre as três datas simuladas de semeadura.

Figura 14 - Análise Rítmica da Estação Meteorológica de Chapecó – 16 de Dezembro de 2004 a 28 de Março de 2005.



Fonte: Estação Meteorológica EPAGRI; Software CROPWAT/FAO; Boletim Climanálise CPTEC/INPE (2004; 2005)

6.1.3 Estação de Ponte Serrada

Em Ponte Serrada durante as fases de floração, enchimento e maturação dos grãos, na simulação do milho semeado dia 1º de setembro (quadro 6), a necessidade pluviométrica diária foi atendida em apenas 8 dos 54 dias do período. Em janeiro as chuvas foram regulares e volumosas. No entanto, entre os dias 30/01 a 24/02 (26 dias), devido ao longo período de bloqueio, o acumulado pluviométrico foi de apenas 3 mm, não proporcionando atendimento da necessidade pluviométrica diária (quadro 5) para esta fase de desenvolvimento do milho. Este período de estiagem foi também observado nas estações de São Miguel do Oeste e Chapecó onde a quantidade de chuva foi menor que em Ponte Serrada. Apesar da escassez de chuvas, as temperaturas mínimas em alguns dias estiveram abaixo dos 16°C em função altitude de 1.100 metros desta estação e as temperaturas máximas oscilaram entre 23 a 29°C não ultrapassando os 30°C como aconteceu em São Miguel do Oeste e Chapecó o que diminuiu a perda de água do milho por meio da evapotranspiração favorecendo o pleno desenvolvimento da cultura em Ponte Serrada. Tanto que segundo a simulação (figura 13) os valores de produção de biomassa e rendimento do milho em Ponte Serrada superaram as estações de Chapecó e São Miguel do Oeste para o mesmo período de plantio. A falta de chuva no período de maturação foi compensada pelo volume e regularidade da chuva no período de floração e pela menor evapotranspiração.

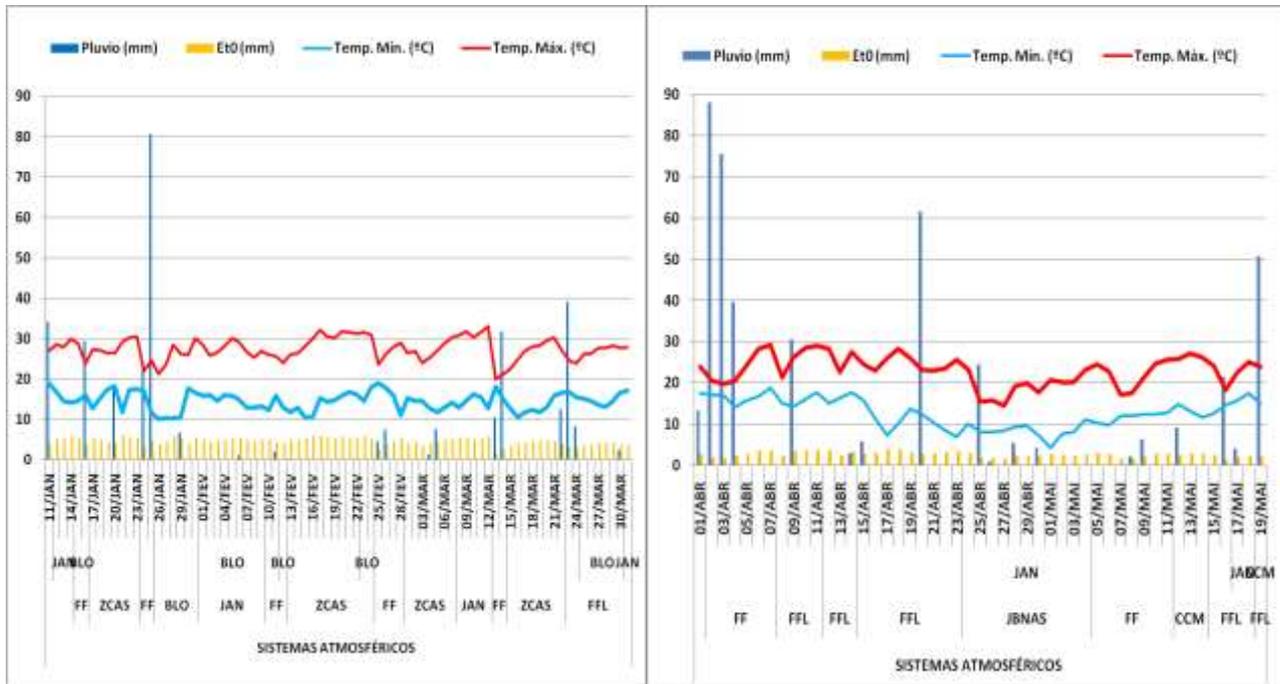
Durante a floração do milho semeado dia 01º de outubro, o longo período de escassez de chuvas associado às altas temperaturas aumentaram a perda de água por evapotranspiração justamente quando esta cultura é mais suscetível a falta de chuvas (água). Isto acabou influenciando na menor produção de biomassa e rendimento agrícola neste período de plantio, mesmo com a regularidade pluviométrica e demanda térmica diária atendida durante a maturação dos grãos. Isto significa dizer que problemas de desenvolvimento da planta na fase da floração não podem ser totalmente reparados na fase posterior da maturação dos grãos comprometendo assim o rendimento agrícola da cultura.

Já para simulação do milho semeado dia 1º de novembro tanto na fase da floração quanto na fase do enchimento e maturação dos grãos o ritmo pluvial foi regular e as temperaturas diárias atenderam as necessidades climáticas para o período permitindo o pleno desenvolvimento do milho que alcançou segundo as estimativas (Figura

13) a produção de biomassa e rendimento agrícola parecidos com o milho plantado dia 1º de setembro.

Fica claro que para a estação de Ponte Serrada o relevo (altimetria) influenciou o regime térmico aumentando a duração do ciclo, e provavelmente, por isso, resultando em maior produção de biomassa e rendimento do que em São Miguel do Oeste e Chapecó.

Figura 15– Análise Rítmica da Estação Meteorológica de Ponte Serrada – 11 de Janeiro a 19 de Maio de 2005.



Fonte: Estação Meteorológica EPAGRI: Software CROPWAT/FAO; Boletim Climanalise CPTEC/INPE (2005).

6.2 Safra 2010/11

Para a safra 2010/11 a floração, o enchimento e a maturação (quadro 7) também ocorreram em São Miguel do Oeste e Chapecó no mesmo período, o que mostra uma homogeneidade do clima no extremo oeste. Em Joaçaba e Xanxerê a floração e maturação iniciaram duas semanas mais tarde e a maturação demorou uma semana a mais do que a das duas primeiras, representando uma segunda regionalização produtiva. Já Ponte Serrada foi a estação com duração mais longa da floração, enchimento e maturação, iniciando quase um mês depois de São Miguel do Oeste e Chapecó e necessitando de quase um mês para completar a maturação.

Entre o período climático de 25 de dezembro de 2010 a 31 de março de 2011, a regularidade pluviométrica esteve relacionada à atuação de sistemas como as Frentes Frias Litorâneas, de dois CCMs, de um JBNAS, dos JANs (associados às Frentes Frias e a ZCAS) e da atuação da ZCAS (localizada sobre a região sul do Brasil neste período). Somente em curto período no mês de fevereiro a ZCAS esteve associada à escassez de chuvas. A ZCAS durante esta safra 2010/11 esteve mais relacionada às chuvas do que da sua escassez (que é a característica climática associada a este sistema atmosférico) demonstrando que este sistema também pode estar associado à regularidade pluviométrica.

Entre 1º de abril a 30 de maio o ritmo pluvial foi mais irregular do que no primeiro período e as chuvas foram provocados por Frentes Frias, CCMs (nos dias mais chuvosos) e nos dias sem chuvas pela atuação das ZCAS.

6.2.1 Estação de São Miguel do Oeste

Segundo as estimativas no Aquacrop 4.0 (quadro 7) a floração, enchimento e maturação dos grãos do milho semeado nos três períodos (1º/09, 1º/10 e 1º/11) ocorreram entre 25 de dezembro de 2010 a 30 de março de 2011.

Considerando o milho semeado dia 1º de setembro de 2010 as fases de floração e da maturação dos grãos foram estimadas, respectivamente, entre 25 de dezembro de 2010 a 08 de janeiro de 2011 e de 09 de janeiro a 17 de fevereiro de 2011.

Como pode ser observado, durante a floração o ritmo pluvial foi regular e intercalado com 3 a 4 dias sem chuvas, enquanto a necessidade pluviométrica diária só foi atendida em 5 dos 15 dias (figura 17). Já durante o enchimento e a maturação dos grãos choveu em 19 dos 38 dias

e em 13 dias as necessidades pluviométricas diárias do milho foram alcançadas. As temperaturas atenderam a necessidade climática térmica do milho, exceto em alguns dias de janeiro quando as máximas superaram os 30°C. O regime pluviométrico regular e as temperaturas conjugadas diminuíram os valores de evapotranspiração diária provavelmente inibindo o stress hídrico do milho e aumentando a disponibilidade de água no solo durante as fases de floração e maturação.

Este ritmo climático proporcionou ótimas condições climáticas para o desenvolvimento do milho tanto que os resultados da simulação (figura 13) identificaram maior produção de biomassa e rendimento agrícola do milho em relação à safra 2004/05. No entanto, o rendimento e a produção de biomassa foram maiores no plantio direto do que no plantio convencional.

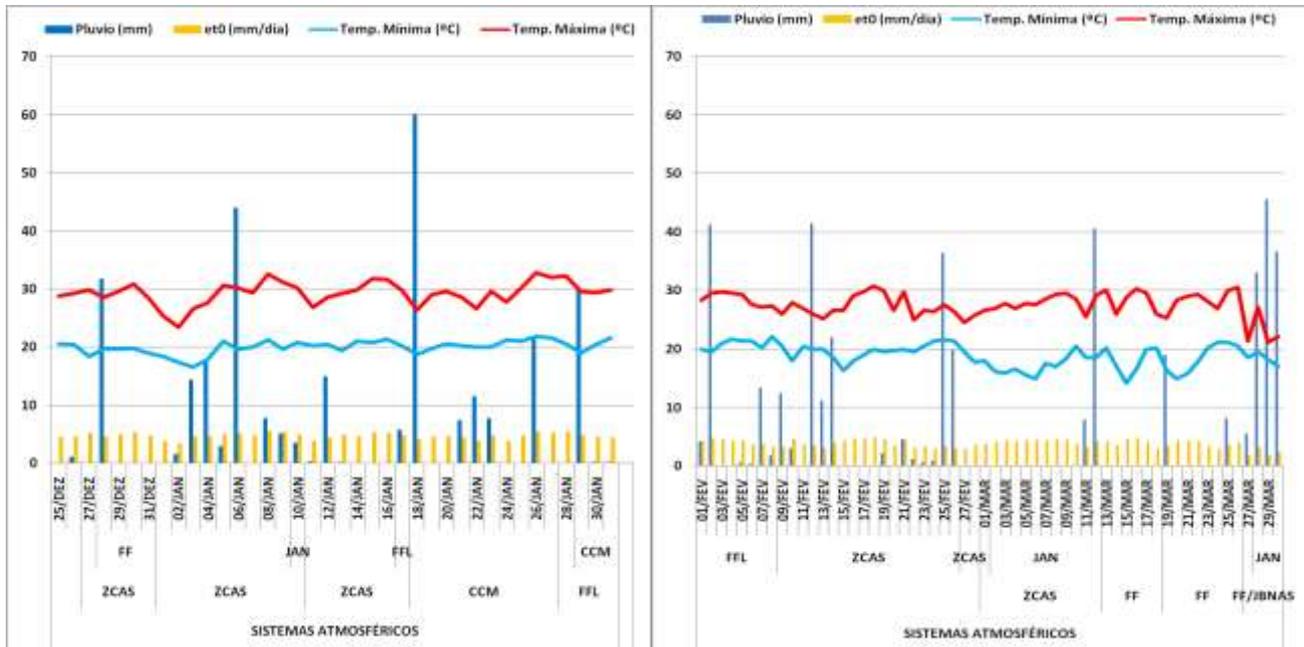
Para o milho semeado dia 1º de outubro de 2010 (quadro 7) as fases de floração, enchimento e da maturação dos grãos foram estimadas, respectivamente, entre 12 a 25 de janeiro de 2011 e 26 de janeiro a 09 de março de 2011. Durante este período o regime pluviométrico foi regular e as temperaturas na maior parte do período atenderam as necessidades climáticas. Nos meses de janeiro e fevereiro quando as temperaturas máximas ultrapassaram os 30°C aumentando a evapotranspiração, as perdas de água no solo foram compensadas pela regularidade das chuvas.

As condições climáticas observadas durante as fases de floração, enchimento e maturação com o milho semeado dia 1º de outubro foram tão favoráveis quanto no do dia 1º de setembro. No entanto, a produção de biomassa e o rendimento agrícola (figura 13) foram ligeiramente menores.

Na semeadura do milho simulado para o dia 01º de novembro de 2010 (quadro 7) as fases de floração e da maturação dos grãos foram estimadas, respectivamente, entre 31 de janeiro e 12 de fevereiro de 2011 e 13 de fevereiro a 30 de março de 2011. Durante os 13 dias da floração como já foi constatado na análise do milho semeado a partir do 1º de setembro de 2010 o ritmo pluvial foi regular. Já no mês de março ocorreram três (3) períodos com 5, 7 e 10 dias sem chuvas, no entanto em nove (9) dias os volumes diários ultrapassaram em muito as necessidades climáticas, alcançando no final de março mais de 50 mm. As temperaturas máximas que poderiam aumentar a evapotranspiração em nenhum dia ultrapassaram os 30°C e juntamente com excedentes pluviométricos garantiram a reserva de água no solo para milho.

Apesar da simulação com a semeadura iniciando dia 1º de novembro ter apresentado a menor produção de biomassa e rendimento agrícola entre os três períodos de semeadura, a diferença entre eles foi muito pequena (figura 13).

Figura 16 - Análise Rítmica da Estação Meteorológica de São Miguel do Oeste - 25 de Dezembro de 2010 a 30 de Março de 2011.



Fonte: Estação Meteorológica EPAGRI; Software CROPWAT/FAO; Boletim Climanálise CPTEC/INPE (2010; 2011).

6.2.2 Estação de Chapecó

Segundo as estimativas no Aquacrop 4.0 (quadro 7) a duração da floração, enchimento e maturação dos grãos do milho semeado nos três períodos (1º/09, 1º/10 e 1º/11) ocorreram entre 26 de dezembro de 2010 e 31 de março de 2011.

Na semeadura do milho dia 1º de setembro de 2010 as fases de floração, enchimento e da maturação dos grãos ocorreram, respectivamente entre 26 de dezembro de 2010 a 09 de janeiro de 2011 e entre 10 de janeiro e 20 de fevereiro de 2011. Durante os 15 dias da floração a necessidade pluviométrica diária do milho foi atendida em apenas três dias, enquanto a temperatura máxima ficou entre 24 a 31°C elevando a evapotranspiração e diminuindo a disponibilidade de água no solo para o milho nesta fase (figura 18). Na fase do enchimento e da maturação dos grãos as chuvas ocorreram em intervalos de 2 a 3 dias e atenderam a necessidade pluviométrica diária em 14 dos 44 dias. As temperaturas mínimas atenderam a necessidade climática desta fase, já as temperaturas máximas oscilaram, na maioria dos dias, entre 25 a 30°C o que também configura um ritmo térmico dentro das necessidades climáticas da fase da maturação dos grãos. Este ritmo térmico aliado ao regime pluviométrico regular diminuíram os volumes diários de evapotranspiração e as perdas de água no solo.

O ritmo pluvial na estação de Chapecó para o milho semeado dia 1º de setembro foi mais irregular na fase da floração que na estação de São Miguel provavelmente em função da trajetória das Frentes Frias e da ZCAS que atuaram mais pelo Oeste da MOC.

As condições climáticas, principalmente, na fase da floração comprometeram a produção de biomassa e o rendimento agrícola na simulação do milho com plantio iniciando dia 1º de setembro de 2010, (referência para a safra 2010/11). No entanto, estes resultados foram superiores aos resultados da simulação com plantio iniciando dia 1º de setembro de 2004 (referência para a safra 2004/05).

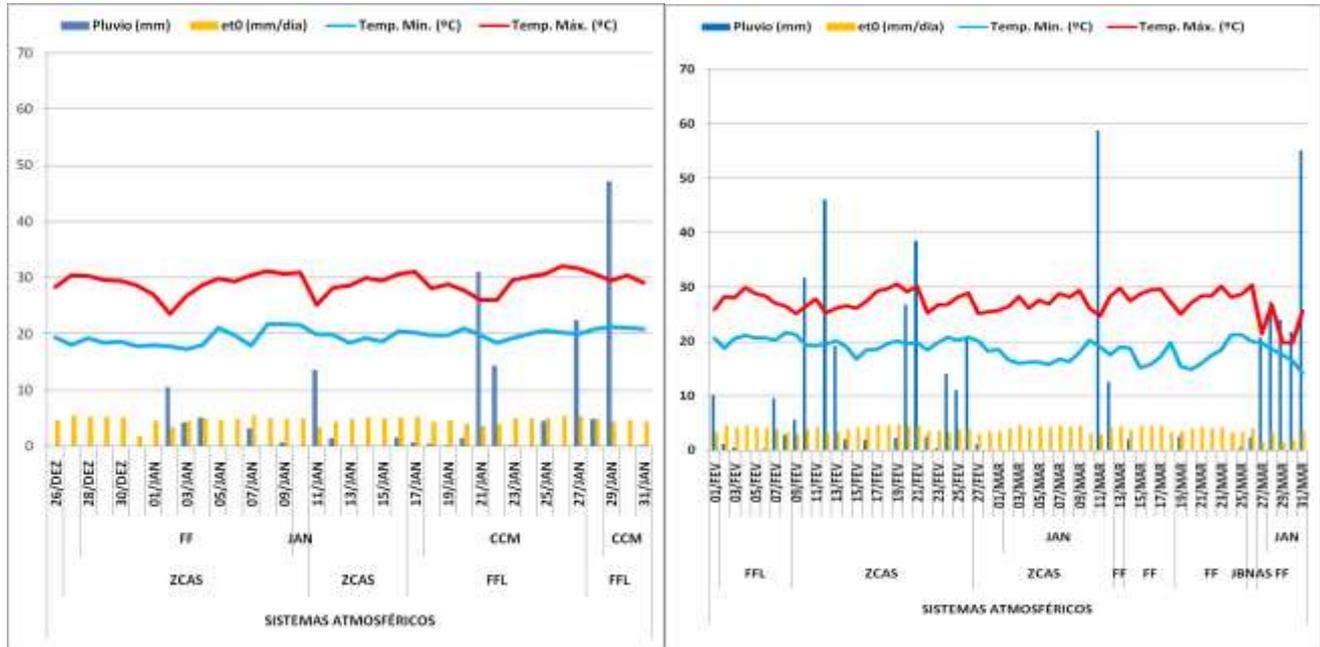
Para o milho semeado dia 1º de outubro de 2010 as fases de floração, enchimento e da maturação dos grãos ocorreram, respectivamente entre 13 a 26 de janeiro de 2011 e entre 27 de janeiro e 11 de março de 2011. Enquanto na fase da floração com plantio iniciando dia 1º de setembro o regime pluviométrico foi irregular na fase de floração com a semeadura iniciando dia 1º de outubro o regime pluviométrico foi mais regular e as temperaturas atenderam as necessidades climáticas de ambas as fases de desenvolvimento do milho.

Estas condições climáticas favoreceram o desempenho da produção de biomassa e do rendimento agrícola para o milho semeado dia 1º de outubro de 2010 superando os resultados produtivos da semeadura iniciada dia 1º de setembro e também os resultados da estação de São Miguel do Oeste para o mesmo período de plantio, além de superar os resultados agrícolas simulados no mesmo período de plantio da safra 2004/05.

Considerando o milho semeado dia 1º de novembro de 2010 as fases de floração e da maturação dos grãos ocorreram, respectivamente entre 31 de janeiro a 14 de fevereiro de 2011 e entre 15 de janeiro e 31 de março de 2011. Durante a fase da floração o ritmo climático pluvial foi regular e as temperaturas entre 24 a 28°C diminuíram a evapotranspiração garantindo a reserva de água disponível no solo para o milho (figura 18). Na fase da maturação dos grãos do milho, as chuvas ocorreram em 20 dos 45 dias deste período. Dos 20 dias de chuva em 12 a necessidade pluviométrica diária foi atendida. Entre o final de fevereiro e o início de março foi observado um período de 11 dias sem chuvas e ainda no mês de março mais um período de 13 dias sem chuvas que podem ter prejudicado o enchimento e a maturação dos grãos. No entanto, a regularidade pluviométrica na segunda metade do mês de fevereiro somado aos volumes totais de 66 mm dos dias 11 e 12 de março e a volta das chuvas no final do mês de março podem ter compensado esse período sem chuvas. Além disso, as temperaturas máximas em todo o mês de março ficaram entre 25 a 30°C diminuindo os valores de evapotranspiração diária e o déficit hídrico no solo.

Os resultados da produção de biomassa e do rendimento agrícola da simulação com o milho semeado dia 1º de novembro de 2010 foram maiores que os resultados da estação de São Miguel do Oeste. Além do que entre os três datas de semeadura 1º de novembro foi o milho mais produtivo demonstrando que as condições climáticas nesta data de semeadura foram mais favoráveis ao desenvolvimento do milho e assim como para o milho semeado 1º de setembro e 1º de outubro este superou os resultados produtivos do mesmo período da safra 2004/05

Figura 17 - Análise Rítmica da Estação Meteorológica de Chapecó –26 de Dezembro de 2010 a 31 de Março de 2011.



Fonte: Estação Meteorológica EPAGRI; Software CROPWAT/FAO; Boletim Climanálise CPTEC/INPE (2010; 2011)

6.2.3 Estação de Ponte Serrada

Segundo as estimativas no Aquacrop 4.0 (quadro 7) a floração, enchimento e maturação dos grãos do milho semeado (1º/09, 1º/10 e 1º/11) na estação de Ponte Serrada ocorreram entre 17 de janeiro a 30 de maio de 2011.

Considerando a semeadura do milho dia 1º de setembro de 2010 a fase da floração, enchimento e da maturação dos grãos foram estimadas, respectivamente, entre 17 de janeiro a 02 de fevereiro de 2011 e 03 de fevereiro a 29 de março de 2011. As necessidades climáticas pluviométricas diárias foram atendidas em 30 dos 71 dias da floração, enchimento e da maturação dos grãos e o regime climático foi regular, principalmente, durante a floração. As temperaturas máximas ficaram quase sempre abaixo dos 30°C diminuindo a perda de água por evapotranspiração, enquanto as temperaturas mínimas ficaram dentro das necessidades climáticas para a floração.

As condições climáticas, principalmente, na fase da floração garantiram as reservas de água no solo permitindo o bom desenvolvimento do milho que resultou em produção de biomassa e rendimento agrícola superiores ao mesmo período da safra 2004/05. Tanto que o rendimento agrícola do milho semeado partir de 01º de setembro de 2010 foi dois mil toneladas maior que o milho plantado no mesmo período da safra 2004/05. Além disso, em comparação com a estação de São Miguel do Oeste e Chapecó o ritmo pluvial foi mais regular porque na estação de Ponte Serrada o relevo com vale mais aberto permite a passagem dos sistemas atmosféricos.

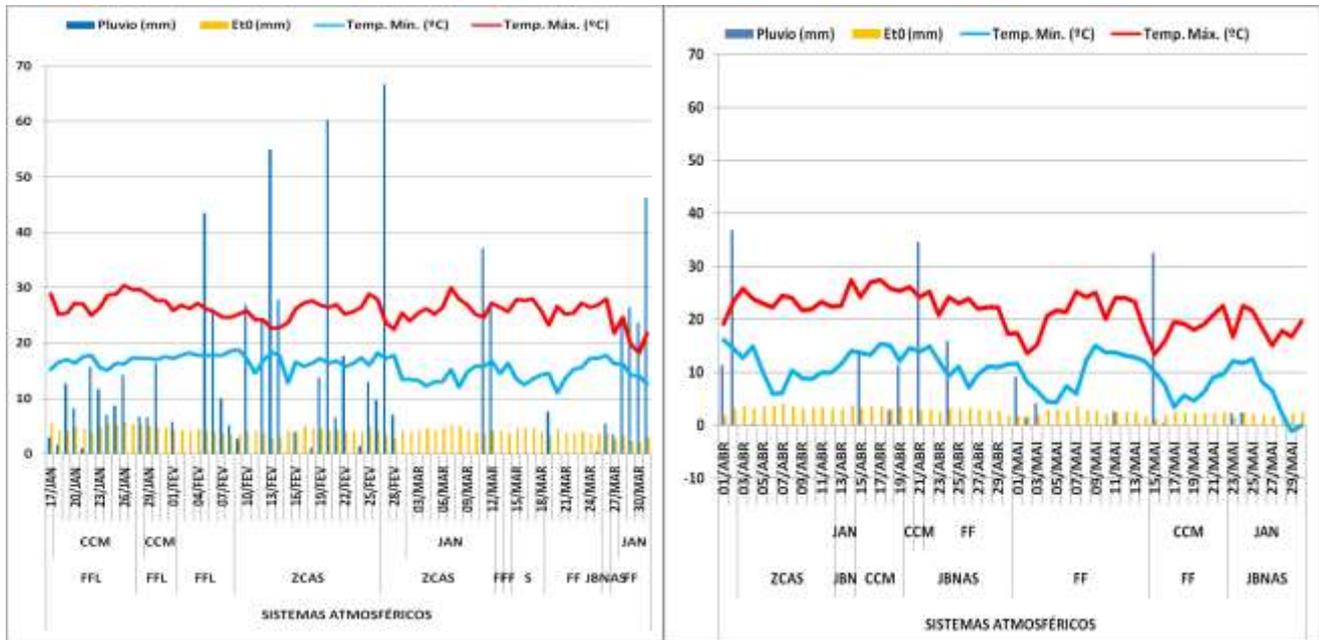
No milho semeado dia 1º de outubro de 2010 as fases da floração e da maturação dos grãos foram estimadas, respectivamente, entre 03 a 20 de fevereiro de 2011 e 21 de fevereiro a 24 de abril de 2011. Durante a floração e maturação dos grãos as necessidades climáticas pluviométricas diárias foram atendidas em 24 dias e o regime pluvial foi bastante regular. As temperaturas máximas não superaram os 27°C diminuindo as perdas por evapotranspiração, mesmo nos 12 dias contínuos sem chuvas verificados em abril.

Considerando o milho semeado dia 1º de novembro de 2010 as fases da floração e da maturação dos grãos foram estimadas, respectivamente, 21 de fevereiro a 11 de março de 2011 e 12 março a 30 de maio 2011. Durante as fases da floração, enchimento e da maturação dos grãos o ritmo pluvial foi regular e as temperaturas em poucos dias ultrapassaram os 30°C. No mês de abril e maio quando o regime pluviométrico não foi tão regular as temperaturas em torno de 25°C

diminuíram possíveis perdas por evapotranspiração garantindo reservas de água durante a fase final da maturação dos grãos.

A temperatura mínima em função da elevada altitude da estação, não ultrapassou os 5°C em alguns dias de abril e maio, no entanto, na maioria dos dias a temperatura ficou acima dos 10°C, dentro das necessidades climáticas térmicas da fase de maturação dos grãos. As baixas temperaturas diminuíram a velocidade de crescimento do milho, porém sem prejudicar a qualidade do desenvolvimento do vegetal. Tanto que, durante as fases da floração, enchimento e maturação neste terceiro período de semeadura, as condições climáticas foram mais favoráveis do que as do milho semeado dia 1º de setembro e 1º de outubro, porque apresentaram os maiores valores de produção de biomassa e rendimento agrícola entre os três períodos de plantio (figura 13).

Figura 18- Análise Rítmica da Estação Meteorológica de Ponte Serrada – 17 de janeiro a 30 de maio de 2011.



Fonte: Estação Meteorológica EPAGRI; Software CROPWAT/FAO; Boletim Climanálise CPTEC/INPE (2011)

6.2.4 Estação de Joaçaba

Segundo as estimativas no Aquacrop 4.0 (Quadro 7) a duração da da floração, enchimento e maturação dos grãos do milho semeado nos três períodos (1º/09, 1º/10 e 1º/11) na estação de Joaçaba ocorreram entre 05 de janeiro a 22 de abril de 2011.

Considerando a semeadura do milho dia 1º de setembro de 2010 a fase da floração, enchimento e da maturação dos grãos foram estimadas, respectivamente, 05 a 20 de janeiro de 2011 e 21 de janeiro a 08 de março de 2011. Durante a fase da floração choveu durante 10 dos 15 dias (figura 20), porém, em apenas três dias a necessidade climática pluviométrica diária foi atendida. Em alguns dias as temperaturas máximas alcançaram os 32°C aumentando a evapotranspiração, principalmente, nos dias sem chuvas. No entanto, não ocorreu durante a floração nenhum longo período sem chuvas, o que juntamente com os volumes diários excedentes às necessidades climáticas garantiram o estoque de água no solo, mesmo com as perdas por evapotranspiração nos dias mais quentes.

Na fase do enchimento e da maturação dos grãos (21/01 a 08/03) as necessidades climáticas pluviométricas diárias foram atendidas durante 19 dos 30 dias. Somente no final da maturação do final de fevereiro ao início do mês de março (figura 20) ocorreu um período com aproximadamente 12 dias sem chuvas que poderia ter comprometido a maturação dos grãos. Entretanto, as temperaturas máximas no final da maturação ficaram entre 21 a 27°C diminuindo as perdas de água por evapotranspiração.

As condições climáticas favoreceram o desenvolvimento do milho semeado dia 1º de setembro, período que apresentou a maior produção de biomassa (34874 toneladas) e rendimento agrícola (14648 toneladas) entre os três períodos de semeadura (Figura 13).

Considerando o milho semeado dia 1º de outubro de 2010 (quadro 7) as fases da floração e da maturação dos grãos foram estimadas, respectivamente, 23 de janeiro a 06 de fevereiro de 2011 e 07 de fevereiro a 28 de março de 2011. Durante a fase da floração, choveu em 10 dos 15 dias. Dos 10 dias de chuvas em 07 dias as necessidades pluviométricas diárias foram atendidas. As temperaturas mínimas sempre estiveram dentro das necessidades climáticas. Já as temperaturas máximas foram maiores ficando entre 28º a 32°C no final de janeiro elevando a evapotranspiração para mais de 5,0 mm diários. No entanto, a disponibilidade de chuvas durante este período compensou as perdas por evapotranspiração. No início de fevereiro as temperaturas mínimas

ficaram dentro das necessidades, enquanto as temperaturas máximas foram menores que em janeiro ficando entre 25 a 28°C, diminuindo as perdas de água pela evapotranspiração. As perdas de água no solo em fevereiro foram ainda menores porque os volumes pluviométricos diários foram maiores que em janeiro.

Durante o restante do mês de fevereiro o regime pluviométrico para o milho semeado dia 01° de setembro foi regular. Do final de fevereiro até quase final de março ocorreram três períodos sem chuvas que podem ter prejudicado a maturação, no entanto, no final do ciclo o retorno das chuvas pode ter compensando estas perdas. As temperaturas máximas durante todo o mês de março ficaram entre 21°C a 29°C o que diminui a perda de água por evapotranspiração que ficou entre 1,2 a 4,5 mm diários.

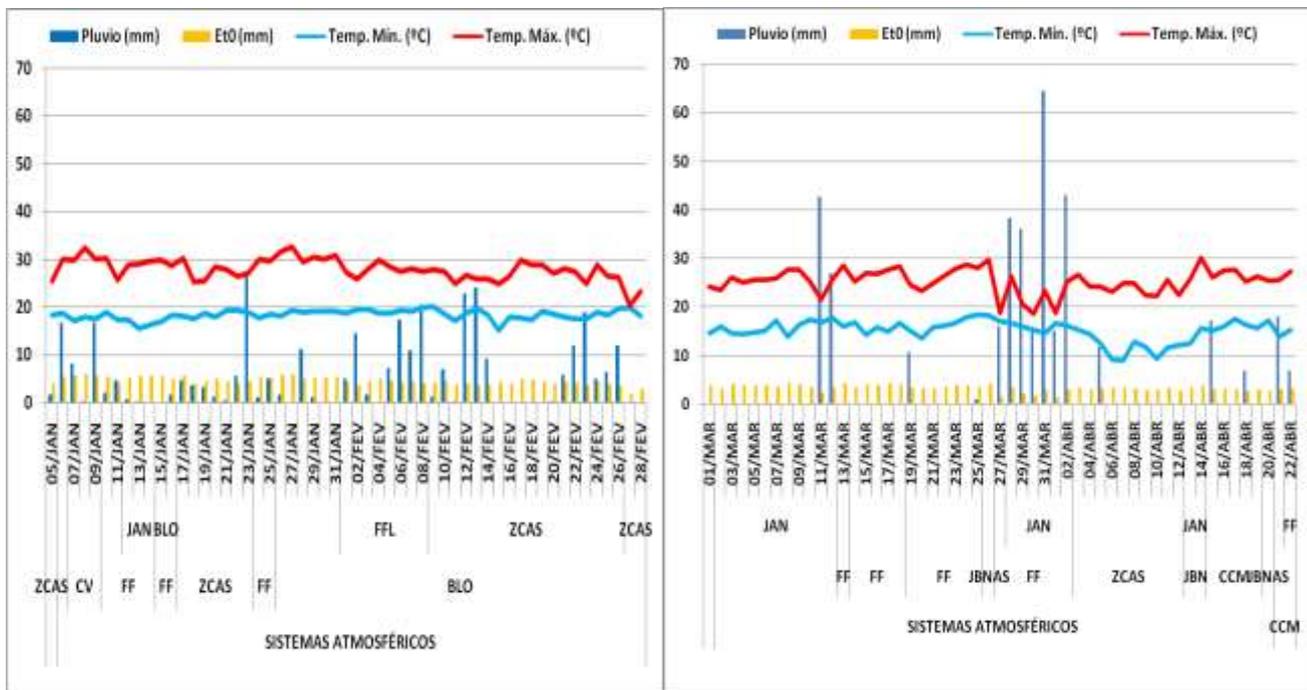
As condições climáticas com altas temperaturas durante a floração podem ter comprometido um pouco o desenvolvimento do milho nesta fase fazendo com que plantio do dia 1° de outubro apresentasse a menor produção de biomassa e o menor rendimento agrícola entre os três períodos de simulação. No entanto, cabe salientar que a diferença foi pequena (figura 13). Quando o sistema de plantio escolhido na simulação foi o convencional o rendimento agrícola estimado foi maior que na simulação com o sistema de plantio direto.

Considerando o milho semeado dia 01° de novembro de 2010 as fases da floração e da maturação dos grãos foram estimadas, respectivamente, 09 a 24 de fevereiro 2011 e 25 de fevereiro a 22 de abril de 2011. Durante a fase da floração as necessidades climáticas pluviométricas foram atendidas em 08 dos 15 dias desta fase (figura 20). No curto período sem chuvas as temperaturas máximas ficaram entre 24 a 29°C elevando a evapotranspiração para mais de 4,00 mm por dia. No entanto, os volumes pluviométricos diários acima das necessidades climáticas diárias garantiram as reservas de água no solo para o milho. Na fase da maturação dos grãos as necessidades climáticas pluviométricas diárias foram atendidas em 17 dias e em muitos ultrapassaram bastante o mínimo necessário. Isto compensou os períodos sem chuvas durante os meses de março e abril. Além disso, as temperaturas máximas no mesmo período não foram tão elevadas para aumentar a evapotranspiração e a conseqüente perda de água no solo.

Considerando o ritmo climático pluvial durante a floração e maturação dos grãos, o milho plantado no dia 01° de novembro apresentou praticamente os mesmos valores de produção de biomassa e rendimento agrícola do que o plantado dia 01° de outubro, enquanto o

milho plantado dia 01º de setembro apresentou o maiores valores de produção estimados entre as três datas de plantio.

Figura 19 – Gráficos de Análise Rítmica da Estação Meteorológica de Joaçaba – 05 de janeiro a 22 de abril de 2011.



Fonte: Estação Meteorológica EPAGRI; Software CROPWAT/FAO; Boletim Climanálise CPTEC/INPE (2011)

6.2.5 Estação de Xanxerê

Segundo as estimativas no Aquacrop 4.0 (quadro 7) a floração, enchimento e maturação dos grãos do milho semeado nos três períodos (01º/09, 01º/10 e 01º/11) ocorreram entre 06 de janeiro a 21 de abril de 2011.

Considerando o semeado milho dia 01º de setembro de 2010 (quadro7) as fases da floração, do enchimento e da maturação dos grãos foram estimadas, respectivamente, entre 06 a 20 de janeiro de 2011 e 21 de janeiro a 09 de março de 2011. Durante a fase da floração em apenas cinco (5) dos quinze (15) dias a necessidade pluviométrica climática diária foi atendida (figura 21). As temperaturas máximas não ultrapassaram os 30°C e a evapotranspiração ficou entre 3,6 a 5,0 mm/dia diminuindo a água no solo disponível para o milho. Na fase da maturação do final de janeiro ao início de março as chuvas foram mais regulares, principalmente, no mês de fevereiro em função da atuação das ZCAS um sistema geralmente associado a períodos sem chuvas. Durante esta fase em 20 dos 47 dias a necessidade climática foi atendida. As temperaturas máximas ficaram abaixo dos 30°C e evapotranspiração oscilou entre 2,00 a 4,0 mm diários diminuindo as perdas de água no solo.

O ritmo climático pluvial da estação de Xanxerê para o milho semeado dia 1º de setembro apresentou condições para a ocorrência de déficit hídrico, principalmente, durante a fase da floração resultando em produção de biomassa e rendimento agrícola comparativamente menor que a estação de Ponte Serrada no mesmo período. Apesar das duas estações: Xanxerê e Ponte Serrada encontrarem-se na mesma microrregião as características geográficas como relevo e altimetria são diferentes. Em Xanxerê o relevo dificulta a atuação dos sistemas atmosféricos, enquanto em Ponte Serrada a maior altitude e a proximidade com o sopé da serra potencializa a regularidade e volume de precipitação pluvial. Além disso, os resultados produtivos da simulação com o sistema de plantio direto foram maiores do que com o sistema de plantio convencional.

Considerando o milho semeado dia 1º de outubro de 2010 a fase da floração e da maturação dos grãos na estação de Xanxerê foram estimadas, respectivamente, entre 23 de janeiro a 06 de fevereiro de 2011 e 07 de fevereiro a 29 de março de 2011.

Durante os 15 dias da fase da floração somente em cinco a necessidade pluviométrica diária foi atendida (figura 21). Na maior parte dos dias da floração as temperaturas máximas não ultrapassaram os

30°C fazendo com que a evapotranspiração não fosse tão alta e aumentasse as perdas de água no solo.

Na fase do enchimento e maturação dos grãos em 19 dos 51 dias as necessidades pluviais diárias foram atendidas, somente em dois períodos em março respectivamente com 5 e 12 dias não ocorreram chuvas. Durante os dias sem chuvas no mês de março as temperaturas máximas ficaram em alguns dias um pouco acima dos 28°C o que não aumentou tanto a perda de água no solo por evapotranspiração.

O ritmo climático pluvial na fase da floração do milho semeado dia 1º de outubro foi o mesmo do milho plantado dia 1º de setembro. Já na fase maturação dos grãos os dois períodos sem chuvas do mês de março prejudicaram o desenvolvimento do milho plantado dia 1º de outubro e resultaram em produção de biomassa e rendimento menores que no período anterior. E novamente os resultados produtivos foram menores quando o sistema de plantio escolhido foi o convencional.

Considerando o milho semeado dia 01º de novembro de 2010 as fases da floração e da maturação dos grãos na estação de Xanxerê foram estimadas, respectivamente, 09 a 25 de fevereiro 2011 e 26 de fevereiro a 21 de abril de 2011(quadro 7).

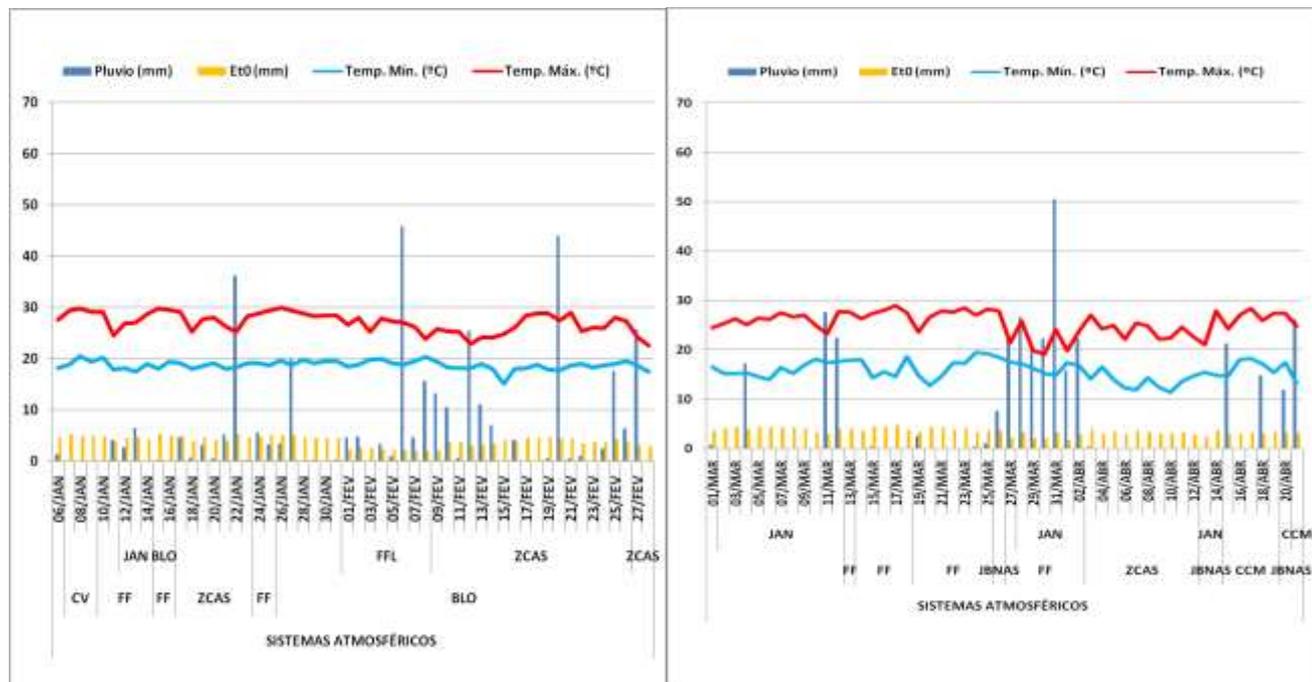
Durante a fase de floração o ritmo pluvial foi mais regular que nas duas semeaduras anteriores. Ou seja, as necessidades pluviais diárias foram alcançadas em 09 dos 17 dias desta fase. Além disso, as temperaturas máximas em poucos dias excederam os 27°C o que diminuiu a evapotranspiração e a perda de água no solo. Na fase da maturação dos grãos como já foi demonstrado para o ciclo do milho semeado em 01º de outubro ocorreram dois períodos sem chuvas em março. Em abril, ocorreu mais um período sem chuvas que durou 12 dias e que pode ter comprometido o desenvolvimento do milho. No entanto, as temperaturas máximas durante estes 12 dias não excederam os 28°C diminuindo a evapotranspiração e a perda de água no solo. Porém, isto não evitou as perdas de água no solo por evapotranspiração durante este período. Os períodos com chuva em abril estiveram relacionados às Frentes Frias, os JBNs e os CCMs corroborando a afirmação apresentada no capítulo 3 na qual estes sistemas são mais frequentes durante as estações de transição como o outono (abril). Enquanto, os períodos sem chuvas estiveram relacionados, principalmente, as ZCAS.

Comparando a estação de Xanxerê com a estação de Joaçaba é possível constatar que as semelhanças das características geográficas (geomorfológicas) de vales encaixados em V onde se encontram estas duas estações dificultam a atuação dos sistemas atmosféricos

determinando ritmo climático pluvial semelhante e períodos de floração, enchimento e maturação dos grãos idênticos. Além de também determinar entre estas duas estações resultados produtivos segundo as simulações muito semelhantes.

Comparando as três simulações, o milho semeado em 1º de setembro apresentou o melhores resultados agrícolas (figura 13) em função do regime pluviométrico mais regular, enquanto o menor rendimento foi verificado no milho semeado em 1º de outubro. Enquanto o milho semeado dia 1º de novembro a produção de biomassa e o rendimento foi maior quando foi escolhido o sistema de plantio direto. No entanto, a diferença de rendimento entre o sistema de plantio direto e o sistema de plantio convencional foi muito baixa.

Figura 20 – Análise Rítmica da Estação Meteorológica de Xanxerê – 06 de janeiro a 21 de abril de 2011.



Fonte: Estação Meteorológica EPAGRI; Software CROPWAT/FAO; Boletim Climanálise CPTEC/INPE (2011)

7. CONCLUSÃO

Os elementos climáticos com maior influência sobre o rendimento do milho nas safras 2004/05 e 2010/11, durante as fases de floração, enchimento e maturação dos grãos foram a precipitação pluvial diária e as temperaturas máximas e mínimas diárias. Além disso, a regularidade de chuva foi mais importante para o desenvolvimento do milho do que os totais pluviométricos. Isto significa dizer que volumes pluviométricos concentrados não garantem o aporte regular de água na floração, enchimento e maturação dos grãos do milho assim como no rendimento agrícola do mesmo. Por outro lado, mesmo em situações de boa distribuição de precipitação, as baixas temperaturas retardam a ocorrência da floração e maturação, enquanto as temperaturas máximas acima de 30°C aumentam a evapotranspiração reduzindo a disponibilidade de água no solo, o que também prejudica o rendimento.

Os fatores geográficos, principalmente, o relevo e a altitude influenciaram o ritmo climático pluvial e térmico determinando o atraso ou o adiantamento no desenvolvimento vegetal do milho. A estação meteorológica de Ponte Serrada localizada a 1.100 metros de altitude e que registrou temperaturas mais baixas, na estimativa no Aquacrop apresentou o ciclo de desenvolvimento do milho mais longo, no entanto, sem prejuízo do bom desenvolvimento do vegetal.

O ritmo climático pluvial observado nos gráficos de análise rítmica permitiu definir na MOC três zonas climáticas: a primeira englobando Joaçaba e Xanxerê com menores volumes diários de chuva em função do relevo que dificultou a passagem dos sistemas atmosféricos; a segunda - São Miguel do Oeste e Chapecó onde o relevo facilitou o deslocamento dos sistemas atmosféricos determinando um ritmo climático pluvial mais regular e volumes pluviométricos diários maiores nestas estações e por último, Ponte Serrada que apresentou os maiores volumes diários e a maior regularidade das três zonas.

Nesta pesquisa pode-se constatar segundo a série de dados analisadas de que a melhor época de plantio do milho para as estações meteorológicas de São Miguel do Oeste, Chapecó, Xanxerê e Joaçaba tanto para a safra 2004/05 como para a safra 2010/11 foi 1º de setembro, enquanto para a estação de Ponte Serrada a melhor época de plantio foi 1º de outubro e 1 de novembro.

Isto significa dizer que para as estações meteorológicas localizadas em regiões com altitudes mais baixas e temperaturas mais altas o plantio tardio do milho pode prejudicar o seu desenvolvimento.

Além disso, em função de apresentar os melhores resultados produtivos, a estação de Ponte Serrada e a região onde ela se localiza apresentou-se, climaticamente, como a melhor região para o plantio e o desenvolvimento da cultura do milho dentro da MOC.

Em futuras pesquisas o período vegetativo apesar de não ser tão suscetível a variações climáticas da precipitação pluvial e da temperatura ele pode também ser analisado para identificar influências sobre o rendimento agrícola do milho ou de outras culturas. Além disso, a análise mais apurada dos fatores geográficos como o relevo pode explicar a relação com os sistemas atmosféricos, as variabilidades e consequentemente com o ritmo climático. Também considerar o peso ou percentual de influência do clima sobre o desenvolvimento e o rendimento das culturas agrícolas.

Quadro 9 – Melhores épocas de plantio durante a safra 2004/05 e 2010/11 segundo o ritmo climático pluvial das estações meteorológicas.

Período de Plantio	01° de setembro		01° de Outubro		01° de Novembro	
	2004/05	2010/11	2004/05	2010/11	2004/05	2010/11
Estações Meteorológicas						
São Miguel do Oeste	1 ^a	1 ^a	2 ^a	2 ^a	3 ^a	3 ^a
Chapecó	1 ^a	1 ^a	2 ^a	2 ^a	3 ^a	3 ^a
Xanxerê	-	1 ^a	2 ^a	2 ^a	3 ^a	3 ^a
Joaçaba	-	1 ^a	2 ^a	2 ^a	3 ^a	3 ^a
Ponte Serrada	3 ^a	3 ^a	2 ^a	2 ^a	1 ^a	1 ^a

Tabela Elaborada pelo autor.

Fonte: Simulações feitas no software Aquacrop 4.0 da FAO.

REFERÊNCIAS

Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration. Rome: **FAO, 1998**. 297p. Irrigation and Drainage Paper, 56.

ANDRADE, K. M. **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais e padrões de comportamento para o verão na América do Sul**. 2005. 185.f. (INPE-14056-TDI/1067). **Dissertação de Mestrado (Mestrado em Meteorologia)** – INPE, São José dos Campos, 2005. Disponível em: <http://urlib.net/cptec.inpe.br/jeferson/2005/06.15.17.12>

ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M.T. Cap. 23: **Variabilidade Decenal a Multidecenal**. IN: CAVALCANTI [ET AL.], Iracema F. A. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

AYOADE, J. O. **Introdução a climatologia para os trópicos**. 15. ed. Rio de Janeiro (RJ): Bertrand Brasil, 2011. 332p

BARLOW, M.; NIGAM, S. BERBERRY, E.H. ENSO, Pacific decadal variability, and U.S. summertime precipitation, drought, and streamflow. **Journal of Climate**, v. 144, p.2105-2128, 2001.

CAZES-BOEZIO, G.; ROBERTSON, A. W.; MECHOSO, C.R. Seasonal dependence of ENSO teleconnections over South America and relationships with precipitation in Uruguay. **Journal of Climate**, v. 16, p. 1159-1176, 2003.

CARVALHO, L. M. V; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal of Climate**, v.17, p. 88-108, 2004.

CAVALCANTI [ET AL.], Iracema F. A. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CAVALCANTI, I. A.; KOUSKY, V.E. : Cap. 9: **Frentes frias sobre o Brasil**. IN: CAVALCANTI [ET AL.], Iracema F. A. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CEPA – Santa Catarina. Informativos agropecuários. Home Page do Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola - Epagri/Cepa. 2010. Disponível em: http://cepa.epagri.sc.gov.br/Informativos_agropecuarios/graos/graos_1904.2010.htm. Acessado em 06 de junho de 2011.

CIRAM/EPAGRI. Home Page do Centro de Informações e Recursos Ambientais e Hidrometeorologia de Santa Catarina. Disponível em http://ciram.epagri.sc.gov.br/ciram_arquivos/arquivos/portal/agricultura/zoneAgricola/Milho_NT2009.pdf Acessado em: 13 de junho de 2011.

CEPA – Santa Catarina. Home Page Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola - Epagri/Cepa– disponível em <http://cepa.epagri.sc.gov.br/> acessado 25/06/2012.

CLIMANÁLISE. Boletim de Monitoramento e Análise Climática, v. 19, n. 12, 2004k. Disponível em <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/pdf/pd04/dez04.pdf>; Acessado em: 10 de junho de 2014.

_____. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 20, n. 01, 2005a. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/pdf/pdf05/jan05.pdf>; Acessado em: 10 de junho de 2014.

_____. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 20, n. 02, 2005b. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/pdf/pdf05/fev05.pdf>; Acessado em: 10 de junho de 2014.

_____. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 20, n. 03, 2005c. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/pdf/pdf05/mar05.pdf>; Acessado em: 10 de junho de 2014.

_____. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 20, n. 04,

2005d. Disponível em
<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/pdf/pdf05/abr05.pdf>;
Acessado em: 10 de junho de 2014.

_____. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 20, n. 05,
2005e. Disponível em:
<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/pdf/pdf05/mai05.pdf>;
Acessado em: 10 de junho de 2014.

_____. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 25, n. 12,
2010m. Disponível em:
<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/pdf/pdf10/dez10.pdf>
Acessado em: 10 de junho de 2014.

_____. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 26, n. 01,
2011a. Disponível em:
<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/pdf/pdf11/jan11.pdf>
Acessado em: 10 de junho de 2014.

_____. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 26, n. 02,
2011b. Disponível em:
<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/pdf/pdf11/fev11.pdf>.
Acessado em: 10 de junho de 2014.

_____. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 26, n. 03,
2011c. Disponível em
<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/pdf/pdf11/mar11.pdf>.
Acessado em: 10 de junho de 2014.

_____. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 26, n. 04,
2011d. Disponível em:
<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0411.shtml>. Aces
sado em: 10 de junho de 2014.

_____. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 26, n. 05,
2011e. Disponível em:
<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0511.shtml>. Aces
sado em: 10 de junho de 2014.

CONFORTE, J.C. **Um estudo de complexos convectivos de mesoescala sobre a América do Sul.** 1997. 140 f. Tese (Doutorado) – INPE, São José dos Campos, 1997.

CRUZ, [ET AL.], J. C. **Manejo da cultura do milho.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. Acessado em: 10 de julho de 2013 Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/19631/1/Circ_87.pdf

DE FINA, A.L. & RAVELO, A.C. **Fenologia.** In: **De Fina, A.L. e Ravelo, A.C. Climatologia y Fenologia Agrícolas,** Buenos Aires, EUDEBA, p.201-209, 1973.

DESER, C. ALEXANDER, M.A.; TIMLIN, M.S. Upper-ocean variations in the North Pacific during 1971-1990. **Journal of Climate,** v.9, p. 1840-1855, 1996.

SILVA DIAS, M.A. F. RAZANTE, J.B. MACHADO, L.A.T.: Cap. 12: **Complexos Convectivos de Mesoescala na América do Sul.** IN: CAVALCANTI [ET AL.], Iracema F. A. **Tempo e Clima no Brasil.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

ESCOBAR, Gustavo: Capítulo 8: **Jatos de Altos Níveis.** IN: CAVALCANTI [ET AL.], Iracema F. A. **Tempo e Clima no Brasil.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

FANCELLI, A. L. **Plantas Alimentícias: guia para aula, estudos e discussão.** Centro Acadêmico “Luiz de Queiroz”. ESALQ/USP: 1986. 131p.

GERSHUNOV, A. BARNETT, T. O. Interdecadal modulations of ENSO teleconnections. **Bulletim American Meteorology Society,** v. 79, p. 2175-2725, 1998.

GRIMM, A. M. The El Niño Impact on Summer Monsoon in Brazil: Regional Processes versus Remote influences. **Journal of Climate,** v. 16, p. 263-280, 2003.

GRIMM, A. M. How do La Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil? **Climate Dynamics**, 22, n.2-3, 123-138, 2004

GRIMM, A.M. O Clima da Região Sul do Brasil Título do Capítulo In: CAVALCANTI, I. ET AL. **Tempo e Clima no Brasil**, Oficina de Textos: São Paulo, 2009.

GRIMM, A.M.; FLACH, Rafaela. Eventos extremos e totais mensais de precipitação na América do Sul durante ENOS e condições normais no clima presente e em cenários futuros In: **Anais: Congresso Brasileiro de Meteorologia** – 2010.

HARE, S.R.; MANTUA, N. J. Empirical evidence of North Pacific regime shifts in 1977 and 1989. **Progress in Oceanography**, v. 47, p. 103-146, 2000.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapas Interativos: mapa de divisões territoriais do Brasil. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão Escala 1: 50000 – ano de 2005. Disponível em <http://www.mapas.ibge.gov.br/divisao/viewer.htm>. Acessado em 10 de setembro de 2011.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal: Culturas Temporárias e Permanentes**. Vol. 39. Ano: 2013. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2012/>.

KAYANO, M.T.; ANDREOLI, R.V. Relations of South American summer rainfall anomalies interannual variations with the Pacific Decadal Oscillation. **Int. J. Climatology**, DOI: 10.1002/joc. 1417, 2006a.

KODAMA, Y. **Large-Scale Common Features of Subtropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal Zone, the SCPZ and the SACZ)**. Parte I: Characteristics of Subtropical Frontal Zones. *J. Meteor. Soc. Japan*, v. 70 p.813-836. 1992 a.

LIEBMANN [ET AL.] Subseasonal variations of rainfall in South America in the vicinity of the low level jet East of the Andes and

comparison to those in the South Atlantic Convergence Zone. **Journal of Climate**, v. 17, n. 19 p. 3829-3842, 2004.

MANTUA, N.J., S.R. HARE, Y. ZHANG, J.M. WALLACE, and R.C. FRANCIS. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 78, pp. 1069-1079, 1997.

MARENGO, J.A. ET AL. Climatoloy of the low level Jet east of the Andes as derived from NCEP/NCAR reanalyses. **Journal of Climate**, v. 17 p. 2261-2280, 2004.

MARQUES, Rafael. **Variabilidade da Precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão/SC de 1946 a 2006. 207p. Dissertação (Mestrado)**. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós Graduação em Geografia, Florianópolis, 2010. Disponível em: <http://www.tede.ufsc.br>

MESTAS-NUÑES, A.M.; ENFIELD, D. B. Rotated global modes of non-ENSO sea surface temperature variability. **Journal of Climate**, v. 12. p 2734-2746, 1999.

MILLER, A.J.; CAYAN, D.R.; BARNETT, T.P.; GRAHAM, N.E.; OBERHUBER, J.M. The 1976-77 climate shift of the Pacific Ocean. **Journal of Oceanography**, v.7, p.21-26. 1994.

MINOBE, S. Resonance in bidecadal and pentadecadal climate oscillations over the North Pacific: role one climatic regime shifts. **Geophys, Res. Lett.**, v. 26 p. p. 855-858, 1999.

MINOBE, S. Spatio-temporal structure of the pentadecadal variability for the North Pacific. **Progress in Oceanography**, v.47, p. 381-408, 2000.

MINUZZI, R.B. Chuvas em Santa Catarina durante eventos El Niño de Oscilação Sul. **In: Revista Geosul**, Florianópolis, Editora da UFSC, v. 25, n. 50, p 107 – 127, jul/dez. 2010.

MOLION, Luiz Carlos Baldicero. Aquecimento Global, El Niño, Manchas Solares e Oscilação Decadal do Pacífico. **IN: Revista**

Climanálise 2 Ano 03, Número 01, 2008: CPTEC/INPE – Ministério da Ciência e Tecnologia.

MONTEIRO, C. A. F. Análise Rítmica em Climatologia – Problemas da Atualidade Climática em São Paulo e achegas de um programa de trabalho **In: Boletim Geográfico**, 1971, São Paulo: Editora USP.

MONTEIRO, M.A. Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. **In: Revista Geosul Revista do Departamento de Geociências da UFSC**, Florianópolis, Editora da UFSC, n.31, p. 69-78, 2001.

MONTEIRO, Maurici A.; MENDONÇA, Magaly. Dinâmica Atmosférica do Estado de Santa Catarina. In: HERRMANN, M. L. de P.(Org.). **Atlas de Desastres Naturais do Santa Estado de Santa Catarina**, Florianópolis: Instituto Histórico e Geográfico de Santa Catarina e Cadernos Geográficos, 2 ed. atual. e rev., 2014, p.5-12 (impresso e CD), 2014

NAKAZAWA, T. Tropical super clusters within intraseasonal variations over the western pacific. **J. Meteor. Soc. Japan**, v.66 p. 823-839, 1988

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

NOGUÉS E PAEGLE [ET AL.]. Progress in Pan American CLIVAR research: Understanding the South American Monsoon. **Meteorológica**, v. 27, p. 3-30, 2002.

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM). Vocabulário Meteorológico Internacional. Publicación WMO (Word Meteorological Organization), 1992.

SACCO, Francine Gomes. **Configurações atmosféricas em eventos de estiagem de 2001 a 2006 na mesorregião Oeste Catarinense**. 106 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-graduação em Geografia, Florianópolis, 2010. Disponível em: <http://www.tede.ufsc.br>

SALIO, P. NICOLINI, M.; ZIPSER, E. J. Mesooscale convective systems over Southeastern South America and their relationship with the

South American Low Level Jet. **Montly Weather Review**, v. 135, p. 1290-1309, 2007.

SANTA CATARINA. **Bacias Hidrográficas de SC: Diagnóstico Geral**. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. Florianópolis, 1997- 163 p.

SEAGER ET. AL. Wind-driven shifts in the latitude Kuroshio-Oyashio extention and generation os SST anomalies on decadal timescales. **Journal of Climate**, v. 14, p. 4249-4265, 2001

SEILER, C.; HUTJES, R. W. A.; KABAT, P. Climate Variability and Trends in Bolivia. **Journal of Applied Meteorology and Climatology** v. 52, jan 2013, p.130-146.

SECRETÀRIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Levantamento Agropecuário de Santa Catarina**, 2002-2003.

SILVA DIAS, M.A. F. RAZANTE, J.B. MACHADO, L.A.T.: Cap. 12: **Complexos Convectivos de Mesoescala na América do Sul**. IN: CAVALCANTI [ET AL.], Iracema F. A. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina – 2001-2002. Florianópolis: Epagri/Cepa, 2002.

_____. 2002-2003. Florianópolis: Epagri/Cepa, 2003.

_____. 2003-2004. Florianópolis: Epagri/Cepa, 2004. Disponível em: http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/sintese_2004.pdf. Acessado em: 10 de maio de 2013.

_____. 2004-2005. Florianópolis: Epagri/Cepa, 2005. Disponível em: http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/sintese_2005.pdf. Acessado em: 10 de maio de 2013.

_____. 2005-2006. Florianópolis: Epagri/Cepa, 2006. Disponível em: http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/sintese_2006.pdf. Acessado em: 10 de maio de 2013.

_____. 2006-2007. Florianópolis: Epagri/Cepa, 2007. Disponível em: http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/sintese_2007.pdf. Acessado em: 10 de maio de 2013.

_____. 2007-2008. Florianópolis: Epagri/Cepa, 2008. Disponível em: http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/sintese_2008.pdf. Acessado em: 10 de maio de 2013.

_____. 2008-2009. Florianópolis: Epagri/Cepa, 2009. Disponível em: http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/sintese_2009.pdf. Acessado em: 10 de maio de 2013.

_____. 2009-2010. Florianópolis: Epagri/Cepa, 2010. Disponível em: http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/sintese_2010.pdf. Acessado em: 10 de maio de 2013.

_____. 2010-2011. Florianópolis: Epagri/Cepa, 2011. Disponível em: http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/sintese_2010_2011.pdf. Acessado em: 10 de maio de 2013.

SCHWING, F. MOORE, C. A year without a summer of Califórnia, or a harbinger of climate shift ? EOS, **Trans. American Geophysical Union**, v.81 p. 301, 304-305, 2000.

TORRES, J.C.; NICOLINI, M. A composite for mesoscale convective systems over southern South America and its relationship to low level Jet events. **VAMOS/CLIVAR/WCRP Conference on South American low-level jet**. Santa Cruz de La Sierra, Bolívia. Resumos..., 2002.

TRENBERTH, K. E. Recent observed interdecadal climate changes in the Northern Hemisphere. **Bulletin American Meteorological Society.**, v. 71 p. 988-993, 1990.

TRENBERTH, K. E.; J. W. Decadal atmospheric-ocean variations in the Pacific. **Climate Dynamics**, v.9 p. 303-319, 1994.

TUBELIS e NASCIMENTO. Antônio. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo: Nobel. 1986.

WANG, B. Interdecadal changes in El Niño onset in the last four decades. **Journal of Climate**, v. 8, p. 267-285. 1995

WANG, M. PAEGLE, J. Impact of analysis uncertainty upon regional atmospheric moisture flux. **J. Geophys. Res.**, v. 101, p. 7291-7303, 1996.

ZHANG, Y., WALLACE, J. M.; BATTISTI, D. ENSO – like interdecadal variability: 1900-93. **Journal of Climate**, v.10, p. 1004-1020, 1997.

Referência da figura 3. Título disponível em: <http://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/pdo.php>. Acessado em 14 de janeiro de 2014,

Referência do texto. Título disponível em: http://circam.epagri.sc.gov.br/circam_arquivos/arquivos/portal/agricultura/zoneAgricola/Milho_NT2009.pdf acessado em 16/09/2012.

Referência da figura 4. Título disponível em: <http://jisao.washington.edu/pdo>. Acessado dia 13 de Abril de 2013.

Referência da tabela 4 <http://ggweather.com/enso/oni.htm>
In:(NOAA/CPC)http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.