

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM AGRONEGÓCIOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIOS**

João Guilherme Dal Belo Leite

**INOVAÇÃO TECNOLÓGICA NA AGRICULTURA COMO
ESTRATÉGIA DE ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS:
UM ESTUDO DE CASO**

**Porto Alegre
2008**

João Guilherme Dal Belo Leite

**INOVAÇÃO TECNOLÓGICA NA AGRICULTURA COMO
ESTRATÉGIA DE ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS:
UM ESTUDO DE CASO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócios da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agronegócios.

Orientador: Prof. Luiz Carlos Federizzi

Co-orientador: Prof. Homero Bergamaschi

**Porto Alegre
2008**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

L533i Leite, João Guilherme Dal Belo

Inovação tecnológica na agricultura como estratégia de adaptação às mudanças climáticas : um estudo de caso / João Guilherme Dal Belo Leite. – 2008.

95 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios, Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, 2008.

Orientador: Prof. Luiz Carlos Federizzi.

Co-orientador: Prof. Homero Bergamaschi

1. Agronegócios – Inovação tecnológica. 2. Impacto ambiental na agroindústria. 3. Mudanças climáticas – Efeitos na agricultura. I. Título.

CDU 631.1

Ficha elaborada pela Biblioteca da Escola de Administração UFRGS

JOÃO GUILHERME DAL BELO LEITE

**INOVAÇÃO TECNOLÓGICA NA AGRICULTURA COMO
ESTRATÉGIA DE ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS:
UM ESTUDO DE CASO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócios da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agronegócios.

Conceito final: B

Aprovado em 23 de dezembro de 2008.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Dabdab Waquil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Faculdade de Ciências Econômicas

Prof. Dr. Jean Philippe Palma Révillion – Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Ciências e Tecnologia de Alimentos

Profa. Dra. Denise Cybis Fontana - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Faculdade de Agronomia

Orientador – Prof. Dr. Luiz Carlos Federizzi - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Faculdade de Agronomia

Co-Orientador – Prof. Dr. Homero Bergamaschi - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Faculdade de Agronomia

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder saúde e perseverança durante todo o percurso de minha vida, pela companhia e força, levando-me a superar obstáculos e a alcançar meus objetivos.

A meu pai João Batista, que sempre me apoiou e amou incondicionalmente.

A minha irmã Jane, seu esposo e filho, pela atenção e apoio dedicados durante toda minha estada em Porto Alegre.

A Elizandra, pelo carinho e compreensão nesta etapa da minha vida.

Aos amigos e colegas que dividiram minhas angústias e compartilharam de minhas alegrias.

À orientação dos professores Luiz Carlos Federizzi e Homero Bergamaschi.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida durante o curso de Mestrado.

RESUMO

A área agrícola terrestre vem sofrendo progressivas ameaças ao longo dos últimos anos, em função do aumento da variabilidade climática. As alterações nos padrões climáticos globais incorrem em limitações aos sistemas agrícolas e, por consequência, a produção de alimentos no mundo. Num estudo de caso, este trabalho teve por objetivo verificar evidências de alterações climáticas e seus possíveis impactos sobre a agricultura, além de apontar estratégias adaptativas sob a ótica da inovação tecnológica. Foram utilizadas análises de regressão para verificar a ocorrência de tendências sobre o transcurso da temperatura do ar média, máxima e mínima na Depressão Central do Rio Grande do Sul. As mesmas análises também foram utilizadas para apontar possíveis tendências sobre o número de dias da emergência ao florescimento (DEF) e a soma térmica necessária para atingir o florescimento da cultura da aveia. Os dados referentes à temperatura compõem uma série histórica climática, que conta com observações diárias de temperatura de 1970 a 2007. Os dados referentes à cultura da aveia deram origem à série histórica fenológica. Esta foi utilizada como possível indicador de mudanças climáticas, através de alterações no ciclo da cultura. O histórico tecnológico da cultura da aveia, em 30 anos, foi utilizado como fonte de informações para apontar as principais inovações e sua contribuição como estratégia de adaptação frente às mudanças climáticas. As inovações apontadas foram classificadas como “autônomas” ou “planejadas”, de acordo com o cenário proposto pelo IPCC (2007). Os resultados foram reveladores à medida que atestaram a ocorrência de mudanças climáticas; porém, não pela elevação na temperatura média, mas sim pela maior amplitude térmica. Tal condição determinou oscilações interanuais na fenologia da cultura da aveia, porém sem a ocorrência de tendências. O histórico tecnológico de cultivo da aveia demonstrou que, apesar das inovações terem sido fundamentais para evolução da cultura, os avanços parecem ainda incipientes em relação ao clima. O plantio direto possibilitou adaptações autônomas, pelo manejo da data de semeadura, enquanto que o melhoramento genético convencional possibilitou adaptações planejadas, através do desenvolvimento de cultivares mais adaptadas ao clima.

Palavras-chave: *Avena sativa* L. Temperatura do ar. Fenologia. Série histórica. Tecnologia.

ABSTRACT

The global agricultural land has been suffering gradual threats in the last years in function of the increase in climatic variability. Alterations in the global climatic patterns incur limitations to the agricultural systems and, for consequence, to the food production in the world. As a case study this work aimed to verify evidences of climate alterations, their possible impacts to agricultural systems, beyond looking for adaptive strategies under the view of technological innovation. The regression analyses were used to verify the occurrence of trends on the medium, maximum and minimum air temperature. The same analyses were also used to indicate the occurrence of possible trends on the number of days from the emergency to flowering (DEF) and on the thermal sum necessary for reaching the flowering of oat crops. The temperature data composed a climatic historical series that was constructed with daily observations from 1970 to 2007. Data from oat crops were used to organize a phenological series. It also was used as a possible indicator of climate changes through oscillations in the crop cycle. A technological description of the oat production system during 30 years was established and used as a source of information to point the main innovations and its contribution, as a strategy of adaptation to climatic alterations. The found innovations had been classified as “autonomous” or “planned”, in agreement to the proposal of the IPCC (2007). The results confirmed the occurrence of climatic alterations, even not for rising the medium temperature, but for enlargement of the thermal extremities. Such condition results in inter-annual phenological variation, but without any trend. The technological description of the production system of oat demonstrated that, although the innovations were very important for the evolution in time, advances related to the climate were weak. No-tillage enabled autonomous adaptations due to alterations of the sowing calendar, while the conventional genetic improvement allowed planned adaptations to development of genotypes better climate adapted.

Key-words: *Avena sativa* L. Air temperature. Phenology. Historical series. Technology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Temperatura do ar média, máxima e mínima do mês de maio de 1981 a 2007 na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS	54
Figura 2 - Temperatura do ar média, máxima e mínima do mês de junho de 1981 a 2007 na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS	55
Figura 3 - Temperatura do ar média, máxima e mínima do mês de julho de 1981 a 2007 na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS	56
Figura 4 - Temperatura do ar média, máxima e mínima do mês de agosto de 1981 a 2007 na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS	57
Figura 5 - Temperatura do ar média, máxima e mínima do mês de setembro de 1981 a 2007 na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.....	58
Figura 6 - Temperatura do ar média, máxima e mínima do mês de outubro de 1981 a 2007 na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.....	59
Figura 7 - Desvio padrão da temperatura média, máxima e mínima de 1970 a 2007, para cada mês do ano na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul - RS	60
Figura 8 - Ocorrência relativa de anos Neutros, de El Niño e La Niña de 1877 a 2007, divididos em sub-períodos de 26 anos cada.....	62
Figura 9 - Anomalia da temperatura média anual de 1970 a 2007 em relação à média da temperatura de todo o período na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul - RS	63
Figura 10 - Anomalia da temperatura máxima anual de 1970 a 2007 em relação à média da temperatura máxima de todo o período na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul - RS	64
Figura 11 - Anomalia da média da temperatura mínima anual de 1970 a 2007 em relação à média da temperatura mínima de todo o período na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul - RS	65
Figura 12 - Dias da emergência ao florescimento – DEF da aveia, para as cultivares mais precoces, mais tardias e testemunhas no período de 1981 a 2007na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul - RS	69
Figura 13 - Soma térmica acumulada durante os meses que compreendem a emergência ao florescimento das cultivares mais precoces, mais tardias e testemunhos de 1981 a 2007 na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul - RS.....	70
Figura 14 -Relação entre o número de dias da emergência ao florescimento – DEF e a soma térmica para as cultivares testemunhas de aveia de 1981 a 2007, EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS	71
Figura 15 - Evolução do rendimento médio de grãos de aveia no Estado do Rio Grande do Sul, 1981 a 2007	75

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Correlação entre a temperatura média, máxima e mínima (Tmed, Tmax e Tmin) e a anomalia da temperatura média, máxima e mínima (ATmed, ATmax e ATmin) de 1970 a 2007 na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.....66**
- Tabela 2 – Regressão da temperatura média, máxima e mínima (Tmed, Tmax e Tmin) e da anomalia da temperatura média, máxima e mínima (ATmed, ATmax e ATmin) de 1970 a 2007 na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.....67**
- Tabela 3 - Evolução das cultivares precoces e tardias de aveia e o número de dias da emergência ao florescimento (DEF) de 1981 a 2007 na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS74**
- Tabela 4 - Evolução do ciclo (DEF) das cultivares testemunhas no período de sua substituição entre os anos de 1983 a 1988 e 1993 a 2000 na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.....79**

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	OBJETIVOS	12
1.1.1	Geral	12
1.1.2	Específicos	12
1.2	HIPÓTESES	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	INOVAÇÃO TECNOLÓGICA.....	13
2.1.1	Inovação tecnológica sobre a ótica Schumpeteriana	14
2.1.2	Inovação tecnológica na agricultura	18
2.1.2.1	Inovação tecnológica na cultura da aveia	27
2.2	MUDANÇAS CLIMÁTICAS	29
2.2.1	Mudanças climáticas e os sistemas agrícolas	31
2.2.2	Vulnerabilidade dos sistemas naturais	33
2.2.3	Fenologia como indicador de mudanças climáticas	34
2.2.4	Adaptação em sistemas agrícolas	37
2.2.5	Mudanças climáticas regionais	41
2.3	SISTEMAS DE CULTIVO NO SUL DO BRASIL	43
2.3.1	Aveia Branca (<i>Avena sativa</i> L.)	44
3	MATERIAL E MÉTODOS	46
3.1	DADOS FENOLÓGICOS	46
3.2	SÉRIE CLIMÁTICA.....	48
3.3	ANÁLISE DE REGRESSÃO.....	50
3.4	ANÁLISE DE CORRELAÇÃO	51
3.5	INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1	SÉRIE CLIMÁTICA.....	54
4.2	SÉRIE FENOLÓGICA.....	68
4.3	INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS E O CULTIVO DA AVEIA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL	73
4.3.1	Melhoramento genético	73
4.3.2	Manejo e sistema de produção	77

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
	REFERÊNCIAS	84

1 INTRODUÇÃO

O crescente consumo de combustíveis fósseis e a transformação de áreas florestais em agrícolas através da queima são importantes fontes emissoras, e de quantidades crescentes de gases de efeito estufa na atmosfera da Terra. Os principais gases de efeito estufa de origem antrópica incluem o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O). O aumento da concentração destes gases na atmosfera vêm aumentando o aquecimento da superfície terrestre, o que determinou o desencadeamento de mudanças climáticas globais. As principais características das mudanças climáticas são o aumento na temperatura média global (aquecimento global), alteração dos regimes de precipitação pluvial, derretimento das calotas polares, geleiras e redução da cobertura de neve, aquecimento, acidificação e elevação do nível da água dos oceanos (UNFCCC, 2007).

O último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC – sigla do inglês, 2007ab) dissipou muitas incertezas sobre as mudanças do clima no globo. Os resultados apresentados revelam que o aquecimento do clima terrestre é real. Além disso, são fortes as evidências de que o propalado aquecimento é, em grande parte, antropogênico devido sua contribuição na emissão de gases de efeito estufa (principalmente CO_2). No último século as concentrações atmosféricas de dióxido de carbono aumentaram de 278 ppm (partes por milhão) no período pré-industrial para 379 ppm em 2005. Aliado a este fato, a temperatura média global no mesmo período subiu 0,74 °C. As maiores taxas de aquecimento foram observadas nos últimos 25 anos (1981 a 2005), sendo que 11 dos 12 anos mais quentes já registrados ocorreram nos últimos 12 anos. Segundo as previsões do IPCC (2007a) para o século 21 o aquecimento global se tornará ainda mais dramático. Mesmo que os países reduzam suas emissões de gases de efeito estufa, a Terra continuará a se aquecer. As previsões para 2100 variam de 1,8 °C a 4 °C de aumento na temperatura média global.

Como resultado do aquecimento global espera-se um aumento no tipo, frequência e intensidade de extremos climáticos como ciclones tropicais (incluindo furacões e tufões), enchentes, secas e precipitações pluviais de grande escala. Mudanças em alguns destes eventos já foram observadas, como é o caso do aumento da frequência e intensidade de ondas de calor e precipitações de grande intensidade (UNFCCC, 2007).

Tais mudanças terão efeitos amplos sobre o meio-ambiente e, conseqüentemente, sobre as sociedades, incluindo recursos hídricos, agricultura e segurança alimentar, saúde humana, ecossistemas naturais e sua biodiversidade. Aumentos na temperatura poderão levar muitas espécies de diversos locais à extinção (acima de 30% com um aumento de 2° C na temperatura média global). Os ecossistemas mais afetados ou mais vulneráveis são recifes de corais, florestas boreais, picos gelados de montanhas e regiões mediterrâneas (IPCC, 2007b).

Aproximadamente 40% da superfície terrestre é utilizada para produção de alimentos. Essas áreas vêm ao longo dos últimos anos sofrendo progressivas ameaças em função do aumento da variabilidade climática (FAO, 2005).

Apesar das recentes reduções nas taxas de crescimento populacional, as estimativas indicam ser necessário, para satisfazer a demanda, um aumento de 55% na produção global de cereais para 2030 e 80% de aumento para 2050. Para viabilizar esse crescimento em produção cerca de 250 milhões de hectares terão de se tornar produtivos. De modo geral, o total de áreas agrícolas a serem expandidas está localizado em países em desenvolvimento, sendo que a maior proporção está concentrada na região do Sub-Sahara africano e na América Latina (FAO, 2005).

Para atender às projeções de crescimento populacional e à demanda per capita por alimento, os aumentos históricos de produção agrícola deverão continuar, eventualmente, dobrando a produção atual. Apesar de seu desempenho, a agricultura apresenta alto grau de sensibilidade às variações climáticas. Essas explicam grande parte das variações na produção de alimentos entre os anos. Um exemplo disso é o fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS). Seus ciclos associados de secas e precipitações torrenciais explicam entre 15% e 35% das variações globais na produção de sementes de oleaginosas, trigo e outros cereais.

Apesar dos sistemas agrícolas serem conhecidos por sua alta dependência do clima, poucas evidências dessa relação foram encontradas no último relatório do IPCC (2007). Isso se deve, em grande parte pela forte influência de fatores não climáticos na agricultura, especialmente relacionados a práticas de manejo, mudanças tecnológicas, assim como preços de mercado e políticas de subsídio (EASTERLING, 2003; MENZEL *et al.*, 2006). Mudanças na fenologia dos cultivos dão importantes evidências das respostas às recentes mudanças climáticas regionais. A alta correlação entre a temperatura e o ciclo dos cultivos agrícolas permite identificar alterações no clima, através da antecipação ou atraso em algumas etapas do desenvolvimento das espécies. Estudos realizados na Alemanha (MENZEL *et al.*, 2006) revelaram que, entre 1951 e 2004, a antecipação de fases fenológicas em cultivos agrícolas

(2,1 dias década⁻¹) foi significativamente inferior àquelas que ocorreram em espécies silvestres e frutíferas arbóreas (4,4 a 7,1 dias década⁻¹). Todos os estudos relacionados à Europa revelaram que o aquecimento recente provocou antecipação numa parte significativa do calendário agrícola.

O Programa de Melhoramento da Aveia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul possui uma extensa base de dados sobre o cultivo. As informações são provenientes dos ensaios de cultivares instalados na Estação Experimental Agronômica, desde 1979. Essa base conta com informações sobre a fenologia do cultivo, as quais podem ser utilizadas como indicadores de impactos de mudanças climáticas. Essa análise, ainda é reforçada pelos dados de temperatura do ar provenientes da estação agrometeorológica localizada na mesma estação experimental. A disponibilidade destes dados oferece a oportunidade de apontar possíveis alterações no clima, além de medir os impactos do mesmo sobre a agricultura através de alterações na fenologia da aveia. O conhecimento destas variáveis tornou-se crítico, recentemente, pela necessidade de identificar e avaliar opções de adaptação frente às mudanças climáticas dos últimos anos (HOWDEN, 2007).

O termo adaptação representa ações de ajustamento em práticas, processos e capital em resposta a ameaças reais ou potenciais (projetadas) das mudanças climáticas. Estas podem ocorrer no ambiente de tomada de decisão (social ou institucional), ou ainda alterando opções técnicas ou capacidades para que tais ações possam ser realizadas. O IPCC (2007) define o processo de adaptação em sistemas agrícolas em adaptações “autônomas” e “planejadas”. Genericamente, adaptações autônomas são aquelas que utilizam o conhecimento e a tecnologia existentes em resposta às mudanças climáticas. Assim, podem ser utilizadas pelos próprios produtores através da modificação ou ajustamento em práticas de manejo, uso de insumos, períodos de semeadura entre outros. Adaptações planejadas, no entanto, referem-se à expansão da capacidade adaptativa através da mobilização de instituições de pesquisa e políticas governamentais, a fim de estabelecer um ambiente favorável e durável à adaptação, o que requer investimentos em novas tecnologias e infra-estrutura (IPCC, 2007b).

A inovação tecnológica na agricultura, assim como em outros segmentos, desempenha um importante papel. Seja oriundo de dentro da propriedade rural ou fora dela, é praticamente impossível dissociar a agricultura moderna da inovação tecnológica. Muitas das principais inovações que representaram avanços no melhoramento de espécies, mecanização agrícola e insumos estão diretamente relacionados à superação de obstáculos que, de alguma forma, limitavam a sustentação ou mesmo o progresso dos cultivos. O histórico de modernização da

agricultura revela, no entanto, que nem sempre o progresso tecnológico trouxe apenas benefícios aos sistemas de produção. A busca por alternativas mais produtivas resultou na degradação de recursos naturais, como a água e o solo (ROMEIRO; SALLES FILHO, 1997). Além disso, a expansão da agricultura viabilizada pela mecanização dos sistemas de produção contribuiu fortemente para as emissões de gases de efeito estufa, principalmente no Brasil (MCT, 2004). Recentemente, com o aumento das preocupações ambientais, as inovações tendem a seguir caminhos mais sustentáveis, sendo que o clima parece ser o maior e mais notório obstáculo a ser enfrentado pelo desenvolvimento tecnológico.

Desta forma, é destacada a importância de se desenvolver trabalhos voltados à inovação tecnológica e às mudanças climáticas, principalmente em regiões em desenvolvimento. A expansão do conhecimento nesta área é fundamental para o entendimento dos possíveis impactos do clima e o desenvolvimento de estratégias adaptativas mais eficientes, viabilizando assim a sustentabilidade dos sistemas agrícolas ao longo do tempo. Além disso, garantir a produção de alimentos em regiões subdesenvolvidas vem deixando de ser uma preocupação local, consolidando-se como uma questão de segurança alimentar mundial.

As mudanças climáticas consolidam-se como importante componente de risco a sustentação dos sistemas agrícolas. Frente a tais condições, estratégias adaptativas tornam-se fundamentais na atenuação dos impactos e na sustentação da agricultura no mundo. Para tanto é fundamental o desenvolvimento tecnológico, no suprimento de alternativas capazes de tornar os sistemas de produção mais adaptados e, assim, aptos a responder satisfatoriamente às crescentes demandas mundiais. Frente a esse contexto coloca-se a seguinte questão de pesquisa: A inovação tecnológica é capaz de viabilizar a adaptação da agricultura frente às mudanças climáticas de curto prazo¹?

¹ Refere-se à série climática de 38 anos utilizada neste trabalho. Em se tratando de dados meteorológicos é comum a análise de períodos maiores (> 100 anos), especialmente nos estudos de mudanças climáticas (IPCC, 2007ab). Por esse parâmetro, a série utilizada foi classificada como curta.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Verificar a ocorrência de mudanças climáticas no Estado do Rio Grande do Sul e possíveis impactos sobre a fenologia da aveia, e discutir a inovação tecnológica como estratégia adaptativa a estas mudanças.

1.1.2 Específicos

- a) avaliar o transcurso das temperaturas médias, máximas e mínimas como indicador de mudanças climáticas na Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul;
- b) verificar a ocorrência de modificações no padrão de fenologia da cultura da aveia desencadeadas por alterações na temperatura média do ar na região ecoclimática da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul;
- c) identificar possíveis inovações autônomas ou planejadas como estratégia adaptativa frente aos impactos de mudanças climáticas e a eventual predominância de uma ou outra no processo adaptativo do cultivo da Aveia.

1.2 HIPÓTESES

- a) ocorreram mudanças climáticas nos últimos 30 anos no sul do Brasil;
- b) as mudanças climáticas ocorridas no sul do Brasil influenciaram as fenofases do cultivo da aveia no Estado do Rio Grande do Sul;
- c) como estratégias de adaptação, inovações tecnológicas podem atenuar impactos causados por mudanças climáticas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

As grandes mudanças tecnológicas são acompanhadas por transformações econômicas, sociais e institucionais, visto que as inovações tecnológicas surgem a partir de uma contínua interação entre motivação econômica e condições institucionais, adequadas ao seu desenvolvimento.

A revolução industrial, ao se analisar sob o enfoque tecnológico, se caracterizou pela substituição do esforço humano pelas máquinas, através da utilização de novas fontes de energia e outros recursos produtivos até então não utilizados.

Schumpeter (1982) considerou que a mudança de tecnologia é o motor do desenvolvimento, revolucionando a estrutura econômica por dentro de um processo inovador. Para este autor, a inovação é apresentada como uma nova combinação dos meios de produção que se constitui em um elemento central da economia. De um modo geral, a inovação pode ser o resultado de planos formais de pesquisa e desenvolvimento ou mesmo de esforços informais possibilitados através da construção de habilidades e competências no processo de aprendizado prático.

A geração de inovações envolve eventos que dificilmente podem ser atribuídos à sorte, visto que demandam contínuos recursos e esforços direcionados para o trabalho, desenvolvimento, testes e implementação. Assim, os investimentos em inovação são justificados quando há a necessidade de obtenção de resultados superiores. O processo inovativo ainda pode ser definido como a capacidade de uma empresa de criar novos produtos que incorporem tecnologias diferentes das existentes e ainda possa satisfazer as necessidades essenciais dos consumidores de modo mais efetivo que os produtos existentes (CHANDY; TELLIS, 1998).

Para Freeman e Perez (1988), as inovações podem ser classificadas em duas categorias distintas – inovações radicais e inovações incrementais. A inovação radical é apresentada como sendo o desenvolvimento e introdução de um novo produto, processo ou forma de organização da produção inteiramente nova. Este tipo de inovação caracteriza uma mudança

ou ruptura estrutural com o padrão tecnológico anterior. Por outro lado, a inovação incremental se refere à introdução de melhorias em um produto, processo ou organização da produção não caracterizando uma ruptura com o padrão tecnológico vigente.

Os investimentos realizados em atividades inovadoras (sejam estas incrementais ou radicais) implicam na corrida contra as demandas de uso eficiente de recursos em curto prazo, por causa da natureza incerta dos retornos de investimentos e do tempo necessário para o retorno das inovações (MENDEL; FERREIRA, 2006).

De acordo com Freeman (1989), tecnologia significa um conjunto de conhecimentos sobre técnicas e é freqüentemente utilizada para abranger tanto o conhecimento por si só, bem como a incorporação tangível deste conhecimento em um sistema operacional de produção de um bem ou serviço.

Dentro do atual cenário global caracterizado por grandes transformações sociais, econômicas, políticas, institucionais e climáticas, há a possibilidade de se observar o aumento da competição por novas formas de atuação, novos insumos, novos produtos, bem como novos processos de produção que sejam capazes de atender às necessidades de nosso tempo através da evolução obtida a partir da proposição de inovações tecnológicas

2.1.1 Inovação tecnológica sobre a ótica Schumpeteriana

Mais de cinquenta anos se passaram a partir de quando o economista Joseph Schumpeter descreveu a dinâmica do processo de inovação tecnológica, através de um processo chamado por ele de “destruição criadora”. Enquanto a maioria dos economistas do século vinte focou seus estudos na competição sobre condições de equilíbrio estático do mercado, Schumpeter insistia no argumento de que o desequilíbrio era a força que guiava o capitalismo da época (HART; MILTEIN, 1999).

No discurso de Schumpeter o capitalismo é um processo evolutivo e não pode ser visto como algo estacionário. O centro dinâmico da economia capitalista, ou seja, os grandes responsáveis pelas mudanças e evolução do sistema são as inovações tecnológicas, que destroem a antiga estrutura produtiva, criando uma nova.

Por esta razão, considera-se a análise estático-comparativa inadequada para trabalhar com traços essencialmente dinâmicos da economia capitalista. Desta forma, substitui-se o equilíbrio, seja como resultado ou ferramenta metodológica, por uma análise da dinâmica endógena das indústrias, onde a competição é o centro da teoria (SCHUMPETER, 1961).

É por causa da competição que as empresas procuram criar as vantagens competitivas. O ambiente competitivo, essencial para o surgimento e desenvolvimento das novas tecnologias, não implica num grande número de competidores, mas ao contrário. O monopólio é visto como uma consequência natural do processo e das condições para a inovação, ou seja, o ambiente competitivo pode existir tanto em mercados oligopolizados como em monopólios.

A inovação é um dos conceitos centrais da abordagem Schumpeteriana. É um dos componentes da trilogia invenção – inovação – difusão, exercendo um papel de destaque entre as outras. É através dela que se desencadeia o novo paradigma técnico econômico. Segundo Schumpeter (1982), existem cinco tipos de inovação, sendo elas:

- a) a introdução de um novo bem (ou diferenciação de produtos já existentes);
- b) a introdução de um novo método de produção;
- c) a abertura de um novo mercado (criação de novas necessidades para as pessoas);
- d) a conquista de uma nova fonte de matérias-primas;
- e) o estabelecimento de uma nova organização (oligopólios ou monopólios).

A diferença básica do modo em que as atividades inovadoras são estruturadas e organizadas pode ser relacionada aos padrões de inovação descritos por *Schumpeter Mark I* e *Schumpeter Mark II* (BRESCHI; MALERBA; ORSENIGO, 2000). Em *Schumpeter Mark I* é caracterizado o processo chamado de “destruição criadora” com a entrada relativamente fácil de novas tecnologias e empresas através de atividades inovadoras. Neste processo ocorre o desenvolvimento mais intenso de novas empresas com idéias inovadoras, que desafiam empresas já estabelecidas e continuamente interrompem os modelos correntes de produção, organização e distribuição. *Schumpeter Mark II* é, no entanto, pautado no processo de “acumulação criadora” com a prevalência de grandes e estabelecidas empresas e a presença de relevantes barreiras à entrada de novas inovações. Pelo seu considerável estoque de conhecimento em tecnologias e áreas específicas, competências em P&D, produção e distribuição e vultosos recursos financeiros, grandes empresas criam significativas barreiras à

entrada de novos empreendimentos e à consolidação de pequenas empresas (BRESCHI; MALERBA; ORSENIGO, 2000).

Durante o desenvolvimento da firma é possível que a organização evolua de Schumpeter Mark I para Schumpeter Mark II. De acordo com a visão do ciclo de vida² da indústria, no início do seu desenvolvimento, quando tecnologias estão se modificando rapidamente, as incertezas são muito altas e as barreiras à entrada são muito baixas, novas firmas são as principais inovadoras e, assim, tornam-se fundamentais para a dinâmica industrial. Depois que a indústria se desenvolve e eventualmente amadurece e as mudanças tecnológicas seguem trajetórias bem definidas, economias de escala, curvas de aprendizado, barreiras à entrada e recursos financeiros se tornam importantes no processo competitivo. Desta forma, grandes firmas com poder de monopólio tornam-se líderes no processo inovativo (KLEPPER, 1996).

Em Schumpeter Mark I e Mark II os padrões de inovação foram também conhecidos como o de expansão (*widening*) e especialização (*deepening*). O modelo inovativo de expansão está relacionado a uma base de atividades inovadoras que está continuamente se expandindo através da entrada de novas inovações e pelo desgaste da competitividade e avanços tecnológicos das firmas estabelecidas. Por outro lado, o modelo inovativo de especialização está relacionado ao domínio de poucas firmas, que estão continuamente inovando através da acumulação de capacitações tecnológicas e inovadoras ao longo do tempo (MALERBA; ORSENIGO, 1996). A verificação empírica destes dois modelos tem estado no centro da pauta dos economistas da inovação desde o seu princípio. Para Breschi *et al* (2000) o processo inovativo pode ser explicado pelo resultado de diferentes “regimes tecnológicos” impostos pela natureza da tecnologia. Especificamente, os padrões setoriais de inovação estão relacionados à natureza do regime tecnológico. Um regime tecnológico pode ser genericamente definido pela combinação particular de quatro fatores fundamentais: oportunidades tecnológicas, apropriabilidade da inovação, cumulatividade dos avanços tecnológicos e detenção do conhecimento básico da atividade inovadora (BRESCHI; MALERBA; ORSENIGO, 2000).

² O progresso tecnológico sofrido pela indústria no processo de evolução, de seu nascimento até a maturidade é alvo de inúmeros estudos. Quando às indústrias são jovens, existem muitas entrantes, firmas que oferecem diferentes versões do produto, a taxa de inovação em produto é alta e o mercado da firma altera-se rapidamente. Apesar do aquecimento do mercado as entradas subsequentes diminuem as taxas de inovação e diversidade do produto, os esforços passam a se concentrar no processo produtivo. Este processo evolutivo passou a ser conhecido também como ciclo de vida do produto (KLEPPER, 1996).

- a) *oportunidades tecnológicas* - refletem a relação ente inovação e os recursos investidos em pesquisa. Grandes oportunidades proporcionam poderosos incentivos financeiros ao empreendimento da atividade inovadora e caracterizam um ambiente econômico que não está funcionalmente limitado por escassez financeira³;
- b) *apropriabilidade da inovação* - sumariza as possibilidades de proteger a inovação de possíveis imitações que possam se beneficiar pela replicação da atividade inovadora. Alta apropriabilidade significa que existem meios de satisfatoriamente proteger a inovação da imitação. Condições de baixa apropriabilidade caracterizam um ambiente econômico onde a inovação é rapidamente assimilada pelas demais firmas e passa ser replicada;
- c) *cumulatividade dos avanços técnicos* - está relacionada ao fato de que o conhecimento das atividades inovadoras forma o alicerce das inovações futuras. Assim, as inovações de hoje determinam a trajetória das que virão. Estas são graduais melhorias acumuladas ao longo do tempo ou mesmo criam precedente para novo conhecimento que servirá de base para inovações em áreas relacionadas. Altos níveis de cumulatividade são, portanto, típicos de ambientes econômicos caracterizados pela continuidade em atividades inovadoras e retornos crescentes. Como consequência, firmas inovadoras tendem a inovar em tecnologias específicas e ao longo de trajetórias específicas, ao contrário de firmas não-inovadoras;
- d) *detenção do conhecimento base* – refere-se à natureza do conhecimento, que é o alicerce da atividade inovadora da firma. Conhecimento da tecnologia envolve várias etapas como: especificidade da tecnologia, conhecimento tácito, complexidade e independência de outros fatores, sendo que muitos destes citados diferem entre diferentes tecnologias.

De acordo com esta interpretação os padrões de inovação propostos por Schumpeter (expansão e especialização) podem ser vistos como resultados de regimes tecnológicos específicos. Padrões do tipo expansivo são determinados por condições de alta oportunidade e

³ O ambiente de oportunidades pode alterar-se amplamente no curso da evolução das indústrias. Em muitas indústrias oportunidades tecnológicas podem eventualmente esgotar-se como enfatizado na literatura sobre o ciclo de vida da indústria. Por outro lado, existem indústrias onde oportunidades são regeneradas e recriadas pelas atividades inovadoras da firma, como as de P&D (KLEPPER, 1996).

baixa apropriabilidade, o que favorece a contínua entrada de novos inovadores na indústria, e por condições de baixa cumulatividade, o que não permite a perpetuação do sucesso da inovação no nível da firma. Por outro lado, o modelo de especialização é determinado por alta oportunidade, apropriabilidade e cumulatividade, o que permite aos inovadores continuamente acumular conhecimento tecnológico, capacidades e, assim, construir vantagens inovadoras sobre os não-inovadores e aos potenciais entrantes (MALEBRA; ORSENIGO, 1996).

As características da inovação são fundamentais na determinação dos esforços e investimentos em P&D. Neste sentido, trava-se um debate acadêmico e político sobre o papel do Estado e do setor privado nas sociedades modernas, inclusive no que se refere à manutenção e financiamento de instituições de pesquisa. Há certo consenso de que a relação de financiamento da pesquisa agropecuária pelos setores públicos e privados não é suplementar. Isso significa que, a diminuição da contribuição do Estado não irá mobilizar automaticamente investimentos adicionais por parte do setor privado (PORTUGAL; CONTINI, 1997).

O setor privado investe menos que o desejado em Ciência e Tecnologia por três fatores básicos: não apropriabilidade dos resultados; incerteza quanto ao sucesso da pesquisa; e indivisibilidade dos investimentos. Assim, caberia ao setor público atuar naqueles segmentos em que as possibilidades de apropriação pelo setor privado de parcela de exploração dos resultados não se mostram atrativas (PORTUGAL; CONTINI, 1997).

2.1.2 Inovação tecnológica na agricultura

Existem três conceitos que precisam ser esclarecidos para o melhor entendimento do notório processo de mudanças ocorrido na agricultura, nos últimos anos. São eles: modernização da agricultura, industrialização da agricultura e a formação dos complexos agroindustriais. A modernização da agricultura resulta de mudanças na base técnica de produção agrícola. Este processo ganhou corpo no pós-guerra com a introdução de máquinas agrícolas (tratores importados), produtos químicos ou industrializados (fertilizantes sintéticos, agrotóxicos...) além da incorporação de sementes e variedades melhoradas. Esta fase se caracteriza pela mudança na base técnica de produção, que transforma a produção essencialmente artesanal ou camponesa numa agricultura intensiva na utilização de insumos e

maquinário agrícola num esforço de aumentar a produtividade (KAGEYAMA *et al.*, 1990; GRAZIANO, 1998).

A industrialização da agricultura, iniciada na década de 1960, traz consigo o conceito que envolve a idéia de transformação da agricultura num ramo de produção muito próximo ao de uma indústria, uma vez que utiliza determinados insumos na produção de matérias-primas para outros ramos de produção. Fundamentalmente, ao invés de produzir bens de consumo final pela mão-de-obra artesanal, altamente integrada aos sistemas naturais, a agricultura industrializada depende de insumos processados, além do que passa a ser uma fornecedora de bens intermediários ou matérias-primas para outras indústrias de transformação (KAGEYAMA *et al.*, 1990).

Finalmente, no período pós-1975 tem-se a constituição dos complexos agroindustriais (CAIs) a partir da integração intersetorial entre as indústrias fornecedoras de insumos para a agricultura, a agricultura propriamente dita e as agroindústrias processadoras. É importante destacar que a integração entre a agricultura e a indústria processadora, bem como as imposições técnicas que esta estabeleceu sobre a produção agrícola se tornou possível na medida em que se pôde assegurar uma oferta de equipamentos, insumos e variedades agronômicas compatível com as necessidades técnicas impostas à agricultura. Desta forma, para a consolidação dos CAIs o desenvolvimento prévio dos processos de modernização e industrialização da agricultura são fundamentais, uma vez que as relações intersetoriais dos CAIs só puderam se intensificar e manter-se estáveis quando o setor de máquinas e insumos para a agricultura encontrava-se montado no país (GRAZIANO, 1998).

Em linhas gerais, há consenso sobre como o modo de produção agrícola evoluiu e de como o progresso técnico tem estreita relação com esta evolução. A introdução de inovações tornou-se um elemento imprescindível, visto que seria o único caminho para superar as restrições naturais próprias da agricultura, especialmente aquelas relativas à disponibilidade e a fertilidade do solo e ao ritmo pré-determinado dos seres vivos. Tais limitações surgiram com o crescimento populacional e o desenvolvimento econômico, os quais pressionavam os sistemas agrícolas por volumes de produção cada vez maiores.

O lento e irreversível processo de mudanças que a agricultura sofreu, a partir da Revolução Industrial, foi sensivelmente acelerado no Século 20, quando as primeiras máquinas agrícolas vinham propor o desuso de ferramentas tradicionais, tornando-as rudimentares frente à complexidade de, por exemplo, uma ceifa-colhedora. O uso de máquinas agrícolas representadas em primeiro lugar, pelas semeadoras e colhedoras iniciou

uma verdadeira revolução tecnológica na agricultura. Estas não apenas retinham a capacidade de muitos homens, trabalhando juntos e ao mesmo tempo, como também possibilitavam a incorporação acelerada de fronteiras agrícolas, tal como se deu nos Estados Unidos, e o cultivo de terras até então consideradas inapropriadas. O Século 19 foi palco destas mudanças, e do início do uso de conhecimentos de base científica para a produção de inovações capazes de interferir, direta e indiretamente, nas “restrições naturais” da produção agrícola (SALLES FILHO, 1993).

A evolução do regime tecnológico dominante na agricultura ocorreu devido à resposta de substituição de uma restrição ambiental por uma restrição comercial e de gestão do processo produtivo. Até a revolução industrial o esforço tecnológico para aumentar o rendimento da terra e a produtividade do trabalho agrícola estava condicionado pela disponibilidade de recursos dentro do espaço agrícola, dada a inexistência de fontes exógenas de nutrientes e energia. Com o advento da revolução industrial, a disponibilidade de fontes exógenas de nutrientes e energia tornam tecnicamente possível superar os limites naturais impostos pela disponibilidade destes recursos dentro do espaço agrícola (ROMEIRO; SALLES FILHO, 1997).

De modo geral, no início do Século 20 praticamente todo aumento na produção agrícola, tanto animal quanto vegetal, ocorreu como resultado do aumento na área cultivada. Porém, no final do século, grande parte do incremento em produção já era devido aos aumentos na produtividade da terra. Nos países desenvolvidos o início deste processo de transição ocorreu no final do Século 19. Na maioria dos países em desenvolvimento tal processo não se iniciou até a segunda metade do Século 20, sendo que para alguns dos países mais pobres ainda sequer começou (RUTTAN, 2005; 2002).

Durante a segunda metade do Século 20 a população global mais que dobrou – de aproximadamente 2,5 bilhões em 1950 para 6,0 bilhões em 2000. O aumento populacional e da renda no mundo triplicou a demanda por produtos agrícolas. Para 2050 projeta-se um crescimento populacional no globo entre 9 e 10 bilhões de pessoas. As expectativas são de que a maior parte deste crescimento ocorra em países pobres, onde mesmo aumentos moderados na renda (poder de compra) combinados às projeções de crescimento populacional podem ainda dobrar a demanda por alimentos até 2050 (JOHNSON, 2000; UNFCCC, 2007).

Em escala global, a agricultura foi bem sucedida em satisfazer a demanda crescente por alimentos durante os últimos 50 anos. O rendimento de grãos básicos, como trigo e arroz aumentou enormemente, os preços dos alimentos caíram, a taxa de aumento da produção de

alimentos excedeu, em geral, a demanda pelos mesmos, e a fome crônica diminuiu (GLISSMAN, 2005).

A intensificação dos sistemas agrícolas, pressionados pelo aumento da demanda por alimentos resultou não apenas em grandes incrementos de produção, mas também severos impactos sobre o meio ambiente. Assim, nas últimas décadas o padrão tecnológico de modernização da agricultura vem sendo questionado por razões de ordem ecológica e econômica. Os efeitos cumulativos dos desequilíbrios ecológicos causados por estas práticas se tornam progressivamente mais evidentes, ao mesmo tempo em que reduzem a eficácia econômica destas. No primeiro momento, a restrição ambiental era definida basicamente pela disponibilidade de fontes de nutrientes e de energia dentro do espaço agrícola. Agora este fator está nos limites biológicos e na degradação deste espaço (ROMEIRO; SALLES FILHO, 1997).

O processo de intensificação da produção agrícola e industrial contribuiu fortemente para degradação do solo e da água, co-evolução de pragas e patógenos (o que lhes atribuiu resistência aos métodos convencionais de controle). Soma-se a isto a modificação dos padrões dos regimes de temperatura e precipitações pluviais, associados à acumulação de gases de efeito estufa na atmosfera e alta dependência de combustíveis fósseis não renováveis (TILMAN *et al.*, 2001; RUTTAN, 1996; GLIESSMAN, 2005).

O regime tecnológico da agricultura moderna (produtivista), bem como as trajetórias seguidas, parecem estar se direcionando para um modelo de ação mais preciso e racional. Este se prenuncia como um novo regime tecnológico, com uma nova direção geral do padrão tecnológico da agricultura, movendo-se do atual modelo produtivista, voltado para ganhos em produtividade, por um qualitativista e diversificado (ROMEIRO; SALLES FILHO, 1997).

Assim, para os próximos 50 anos será necessário que os sistemas agrícolas no mundo respondam, além da crescente demanda por alimentos, também às preocupações com os recursos naturais e a sustentabilidade do meio ambiente. Para tanto, será necessário o melhor entendimento da comunidade (política e científica) das forças que determinam as fontes, a taxa e a direção da mudança tecnológica (RUTTAN, 1996; 1997).

No que diz respeito ao desenvolvimento tecnológico e a agricultura são descritos três pontos básicos pelos quais a mesma se coloca diante da inovação: a) a agricultura é basicamente usuária de inovação e, portanto, as fontes inovadoras estão localizadas junto a produtores e fornecedores de tecnologia, que se encontram, essencialmente, fora da unidade

de produção agrícola; b) inovar neste padrão tem significado, ao longo de sua constituição, inovar principalmente em processos; e c) os mecanismos de apropriabilidade das inovações pelos usuários são teoricamente muito frágeis. Assim, o processo inovativo seria primariamente um processo de adoção e de difusão de tecnologias desenvolvidas por firmas cujas principais atividades estão fora da atividade agrícola (SALLES FILHO, 1993).

Existem duas abordagens teóricas principais voltadas à problemática da inovação tecnológica na agricultura: a da teoria da inovação induzida e a da modernização agrícola baseada na idéia de complexos agroindustriais (CA). O primeiro de cunho neoclássico enfatiza a inovação como um processo induzido a partir da disponibilidade relativa dos fatores; o segundo, não-clássico, destaca os papéis das indústrias a montante e a jusante da agricultura como responsáveis pelo processo inovativo (SALLES FILHO; FERREIRA, 1990).

Os fundamentos da teoria da inovação induzida foram propostos por Hicks (*The Theory of Wages*, 1932), a partir da idéia de que a escassez relativa dos fatores, com seus reflexos nos preços relativos, induzem uma seqüência de mudanças técnicas que reduz o uso daquele fator, relativamente aos outros. Desta forma, as restrições impostas sobre o crescimento econômico pela escassez de recursos são superadas pelo progresso técnico que facilita a substituição de fatores relativamente escassos por outros relativamente abundantes. Este conceito introduziu um contraponto à visão tradicional, onde a mudança técnica é vista como exógena ao sistema econômico (como produto de avanços autônomos no conhecimento científico e técnico) enquanto que a teoria da inovação induzida representa um esforço para interpretar o processo de mudança técnica como endógeno ao sistema econômico. Assim, a mudança técnica representa uma resposta dinâmica às mudanças na disponibilidade de recursos e ao crescimento da demanda (HAYAMI; RUTTAN, 1988).

De acordo com a teoria da inovação induzida a taxa e direção da mudança tecnológica na agricultura seriam determinadas pela integração entre a demanda de produtos e a dotação de fatores. Por exemplo, quando a demanda por alimentos aumenta, devido ao crescimento da população e/ou da renda per capita, a demanda por insumos também aumenta, mais ou menos, proporcionalmente. As taxas distintas de mudança nos preços de fatores resultam, por sua vez, em mudança no nível de renda e na distribuição de renda entre os proprietários de fatores, afetando, portanto, a demanda de produtos agregados (HAYAMI; RUTTAN, 1988).

Do ponto de vista empírico, a inovação induzida é de um reducionismo revelador. Tecnologias mecânicas seriam desenvolvidas para atender à escassez de mão-de-obra e

tecnologias químicas (fertilizantes) para a escassez de terra. Os produtores rurais, preocupados em economizar fatores escassos, pressionariam as instituições públicas de pesquisa e as empresas de insumos para que estas desenvolvam as inovações necessárias. Este é, pois, um modelo típico de *demand pull*, dado que as inovações partem, necessária e determinadamente, das demandas do mercado. Esta visão se sustenta no pressuposto neoclássico da racionalidade maximizadora e de que existe a possibilidade do conhecimento apriorístico da direção, na qual o mercado está puxando a atividade inventiva (DOSI, 1984).

No que diz respeito à concepção do processo inovativo presente nas teorias de *demand pull*, Dosi (1984) aponta para três fraquezas básicas: i) um conceito de ação passiva e mecânica das mudanças técnicas, em função das condições de mercado, ii) a incapacidade em definir o “porquê” e o “quando” de certas inovações ao invés de outras, e de um certo ritmo ao invés de outro; e iii) a não consideração de mudanças na capacidade inventiva, que não apresenta qualquer relação com os mercados.

A inovação induzida é resumidamente uma abordagem reducionista e limitada porque desconhece questões relacionadas à oferta de tecnologia (e, portanto, das trajetórias tecnológicas dos setores produtores de tecnologia), pressupõe uma troca perfeita de informações entre agricultores e os produtores da tecnologia e não reconhece a geração de inovação desconectada de demandas diretas do mercado. Entretanto, mostra que, no caso da agricultura as relações com o mercado são importantes (SALLES FILHO; FERREIRA, 1990).

No enfoque de complexo agroindustrial (CA), por outro lado, existem, pelo menos, três abordagens possíveis. A primeira delas é baseada na análise do complexo industrial feita a partir da matriz de impactos de relações intersetoriais. A segunda enfatiza o papel das agroindústrias alimentares na questão da modernização e das transformações sócio-econômicas. A última abordagem trata de forma conjunta os três elos de constituição do complexo agroindustrial: agricultura e indústria, a montante e a jusante, com especial ênfase no papel modernizante do elo a montante (SALLES FILHO; FERREIRA, 1990).

As noções de complexo agroindustrial revelaram os resultados do processo inovativo na agricultura, mas não os explicam, porque chegam, no máximo, a mostrar que as inovações entendem a certa lógica industrial, ignorando que há um processo interativo de aprendizado. Há uma estrutura complexa de *feedbacks* entre o ambiente econômico e a direção da atividade econômica. Uma tentativa teórica da mudança técnica deveria definir a natureza destes mecanismos interativos (DOSI, 1984).

Ignorando as interações e os determinantes das trajetórias tecnológicas, o conceito de complexo agroindustrial acaba, mesmo involuntariamente, aproximando-se de um modelo de *technology push*, uma vez que a inovação surge na agricultura, simplesmente, por ter sido gerada na indústria, por qualquer motivo que seja. Tal condição implica no pressuposto de que a tecnologia é essencialmente dada, e de que a base técnica da indústria permanece basicamente estável; não no sentido de que nenhuma mudança técnica seja admissível, mas somente aquelas que não afetem decisivamente as trajetórias e os paradigmas tecnológicos vigentes, resultando em inovações incrementais que não chegam a alterar a ordenação dos vínculos intersetoriais e, assim, a composição dos complexos (POSSAS, 1991).

Muitas proposições discutem os pontos fracos de ambos os modelos. Entre elas destacou-se a abordagem a partir das relações usuário-produtor, útil para compreender os mecanismos que levam à inovação na agricultura, resultante de sua estreita e crescente interação com a indústria (LUNDWALL, 1988).

O modelo parte da constatação de que, na economia contemporânea, uma parcela substancial das atividades inovadoras é realizada em unidades separadas dos potenciais usuários da inovação. Esta é a situação mais freqüentemente encontrada na agricultura moderna, onde as unidades responsáveis pelas atividades inovadoras, via de regra, são indústrias, seja a montante ou a jusante da agricultura. Entre usuário e produtor surge um mercado cuja análise deverá ser feita não apenas a partir das relações quantitativas de preço/volume, mas principalmente, tendo em conta as relações qualitativas que aí se formam. Isto implica reconhecer que há um processo de aprendizagem na relação que está à disposição dos atores. Também significa reconhecer que há uma interdependência entre os sujeitos econômicos, embora formalmente eles estejam independentes (SALLES FILHO; FERREIRA, 1990).

A inovação seria resultado da combinação de elementos organizativos com os de mercado. Assim, ao fluxo de informações de preço e volume e às transações realizadas por unidades formalmente independentes combinam-se fluxos de informações qualitativas envolvendo a interdependência entre eles. Este padrão deverá dar lugar a uma forma hierárquica de relação, refletindo o fato de que uma parte domina a outra, seja pelo seu poder financeiro ou por sua superioridade em pesquisa e desenvolvimento (SALLES FILHO; FERREIRA, 1990).

Deste modo, como se faz necessária uma análise dinâmica do processo inovativos, é fundamental captar a interatividade entre os modelos, pois assim, podem-se perceber os condicionantes internos e externos às estratégias empresariais. Segundo Salles Filho (1993), o processo inovativo é caracterizado por um ambiente de incerteza, no qual as condições e os resultados não são conhecidos de antemão; condicionados por fatores relativos à natureza da tecnologia; objetivamente buscado pelos agentes econômicos; e mais ou menos dependente do aprendizado e de capacidades tecnológicas individuais e coletivas. Segundo o autor cinco categorias de fontes de inovação na agricultura podem ser apontadas:

- a) fontes privadas de organização empresarial industrial, cujo principal negócio é a produção e venda de insumos para os mercados agrícolas, onde se incluem, para a agricultura vegetal, a indústria de pesticidas, que em parte, está ligada à indústria farmacêutica e à indústria química; a indústria de fertilizantes químicos, notadamente as firmas produtoras de nitrogenados, fosfatados e potássicos; a indústria de máquinas e equipamentos agrícolas; a indústria de sementes e a de produtos veterinários e alimentação animal;
- b) fontes privadas relacionadas às agroindústrias verticalizadas, ou às integrações e semi-integrações agroindustriais, que produzem tecnologia agrícola visando o consumo cativo ou indireto. São exemplos as firmas integradoras de abate e processamento de carne de suínos e aves, que desenvolvem métodos de organização da produção agrícola, repassando-os aos produtores integrados, e que também são responsáveis por parte da prescrição de normas técnicas que balizam os critérios para produção;
- c) fontes privadas, mas de organização coletiva, sem fins lucrativos, como cooperativas e associações de produtores (ou associações de cooperativas), cujo principal objetivo é o desenvolvimento e a transferência de novas tecnologias, sejam elas produtos (variedades melhoradas) ou práticas agrícolas, tais como métodos de plantio, dosagens de adubação e de pesticidas, métodos de controle de pragas, de criação animal, irrigação, colheita, armazenagem, etc;
- d) fontes institucionais públicas, onde se localizam universidades, instituições de pesquisa e empresas públicas. A estas estão relacionadas atividades de P&D, de transferência de tecnologia, de desenvolvimento comercial de produtos e de testes de produtos das indústrias de insumos do primeiro grupo;

e) unidades agrícolas de produção, em cujas práticas se estabelecem novos conhecimentos derivados de um processo de aprendizado que, muitas vezes, pode ser traduzido em inovações, mesmo que não incorporadas em produtos. Em alguns casos, ocorre o desenvolvimento de espécies melhoradas através de métodos de seleção massal tanto de plantas como de animais, dentro da própria propriedade. Estas habilidades desenvolvidas pelo produtor, pela sua prática agrícola constituem um importante aprendizado que determina um maior grau de cumulatividade de conhecimento e capacitação tecnológica, o que lhe pode conferir posições vantajosas para empreender inovações.

Numa primeira constatação é possível identificar óbvias diferenças entre as motivações destes cinco grupos. Enquanto o primeiro grupo se organiza técnica e economicamente para a comercialização de inovações no mercado, os outros só eventualmente assumem esta postura. Tanto o terceiro como o quarto grupos são enquadráveis na categoria de instituições, onde a motivação fundamental é a de agrupar esforços de P&D. Estas atividades exigem escala de pesquisa, têm problemas evidentes de apropriabilidade, apresentam largos prazos de maturação (trabalhos de melhoramento genético) e são permeadas de elevado grau de incerteza. Estas diferenças são fundamentais para o entendimento dos determinantes do processo inovativo (SALLES FILHO, 1993).

Desta forma, por mais que se discuta a existência de complementaridades entre as tecnologias agrícolas é preciso reconhecer que, de modo geral, a expressão da eficiência global do padrão tecnológico depende do uso simultâneo de insumos (sementes melhoradas, irrigação, adubos, agrotóxicos, máquinas...). Esses são fornecidos pela indústria, o que determina uma influência muito grande na direção do processo inovativo decorrente do desempenho das firmas líderes, daqueles setores industriais comumente chamados de “indústrias a montante da agricultura” (SALLES FILHO, 1993).

2.1.2.1 Inovação tecnológica na cultura da aveia

Várias fontes de inovações influenciaram o desenvolvimento do cultivo da aveia no Estado do Rio Grande do Sul nos últimos anos. No entanto, os mais significativos parecem estar relacionados ao melhoramento genético. A história recente dos trabalhos de pesquisa com aveia no Brasil iniciou em 1974, com o programa de melhoramento genético de aveia da UFRGS e, em 1977, com o Programa de Melhoramento Genético de Aveia da Universidade de Passo Fundo (UPF). Esses trabalhos estão descritos em Floss *et al.* (1985), Federizzi, Bertagnolli e Carvalho (1996), Federizzi *et al.* (1999), Federizzi (2002), Floss (2002), e Federizzi e Mundstock (2004).

Com a participação de instituições de pesquisa dos Estados Unidos da América na década de 1970, iniciou-se a seleção de genótipos com resistência às ferrugens da folha (*Puccinia coronata* f. sp. *Avenae* Fraser & Led) e do colmo (*Puccinia graminis* f. sp. *Avenal* Erix SS. & Henning). Recentemente, foram disponibilizadas para o cultivo 52 novas cultivares provenientes de seis programas diferentes de melhoramento. Desse total, 41 são oriundas dos Programas de Melhoramento Genético da UPF e da UFRGS. O desenvolvimento continuado de novas cultivares permitiu o rápido crescimento da área semeada com aveia e sua inserção no sistema de plantio direto. Segundo dados da Conab (2008) a área cultivada com aveia no país passou de 39.800 ha em 1976 para 356.800 ha em 2006.

Os avanços do melhoramento genético ocorreram, também, sobre o rendimento de grãos. Na década de 1940, os maiores rendimentos médios ficavam em torno de 600 kg ha⁻¹ (FEDERIZZI, 2002). Atualmente, os rendimentos médios superiores alcançam cerca de 3.500 kg ha⁻¹, embora possam atingir mais de 4.500 kg ha⁻¹ em lavouras comerciais.

Outra importante característica alterada pelo melhoramento foi o ciclo de desenvolvimento da aveia – o número de dias da semeadura à colheita foi reduzido de 190 para menos de 130 dias. Na grande maioria, as novas cultivares são precoces, com ciclo inferior a 135 dias, em razão do gene de insensibilidade ao fotoperíodo, especialmente as desenvolvidas pela UFRGS (LOCATELLI *et al.*, 2006). O número de dias entre a semeadura e o florescimento é importante fator de adaptação da aveia aos diferentes sistemas de cultivo. Essa mudança foi fundamental para que a aveia pudesse integrar o sistema de produção

adotado pelos agricultores, com duas safras por ano na mesma área, juntamente com o plantio direto, sem atrasar o início da cultura de verão.

Outro aspecto importante foi a pressão de seleção exercida, nos últimos anos, sobre a qualidade dos grãos de aveia. A qualidade física do grão, como peso hectolítrico, peso de mil grãos, tamanho e uniformidade, foram caracteres bastante influenciados pelo melhoramento genético da aveia por sua importância para o rendimento da indústria. Assim, as principais cultivares lançadas desde 1993 apresentam excelente qualidade industrial, fazendo com que o rendimento na indústria passasse de 50% para 68%. Assim, a cada 100 kg de grãos que entram na indústria, saem 68 kg de produtos processados.

As cultivares precursoras eram também excessivamente altas (acima de 150 cm) o que incorria em acamamento (tombamento) freqüente, causado pelo vento e pela precipitação pluvial, o que prejudicava a colheita e a qualidade dos grãos colhidos. O melhoramento genético viabilizou a redução da estatura média das cultivares atuais, entre 90 e 120 cm (FLOSS *et al.*, 2001). Avanços ainda foram feitos sobre a tolerância das cultivares à toxidez de alumínio no solo, tolerância ao frio (geadas) em regiões mais altas e à incidência de moléstias causadoras de manchas foliares relacionadas à cobertura do solo no sistema de plantio direto.

Outra inovação relevante refere-se à alteração do manejo utilizado no cultivo da aveia nas últimas décadas. Esta condição foi determinada em grande parte pela implantação do sistema de semeadura direta ou plantio direto.

No início da década de 1970, o manejo do preparo do solo para implantação da cultura da aveia tinha ritual estabelecido (LEAL, 1972). Neste sistema, que perdurou por mais de 100 anos, a área passava por várias etapas de aração e gradagem, para o destorroamento completo do solo. Este preparo, chamado de tradicional, foi largamente usado no revolvimento do campo nativo no período de expansão da área agrícola. O sistema permite a incorporação de resíduos de culturas, de plantas invasoras, de adubos e corretivos a uma grande profundidade. O trabalho suplementar da grade destorroa completamente o solo, formando uma cama para a germinação das sementes. A conjugação deste tipo de preparo do solo, no entanto, pelo grande revolvimento do solo, torna-o muito mais sujeito a erosão e, se utilizado continuamente, provoca a compactação de camadas de solo a certa profundidade, que limita a passagem das raízes e da água (MUNDSTOCK, 1983).

No sistema de plantio direto, em contrapartida, o revolvimento do solo é mínimo. Neste processo, que se expandiu durante a década 1980, a semeadura ocorre através de apenas uma operação mecânica, com máquina especialmente desenhada para tal fim. Uma das destacadas vantagens deste sistema é a reduzida erosão do solo, visto que, tanto o revolvimento, quanto a exposição aos efeitos erosivos da precipitação pluvial são reduzidos (MUNDSTOCK, 1983).

Adicionalmente à redução nas perdas de solo, o plantio direto trouxe outras vantagens relacionadas à flexibilização e ampliação do período de semeadura da aveia. A drástica redução das atividades relacionadas ao preparo do solo diminuiu, também, o tempo necessário neste processo. Assim, o plantio passou a ocupar um número menor de dias na agenda do produtor rural, que pode aproveitar melhor o calendário agrícola, tanto no inverno quanto no verão (CBPA, 1991; 1995; 2000).

2.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Sistemas físicos e biológicos de todos os continentes e da maioria dos oceanos já estão sendo afetados pelas mudanças climáticas recentes. Os efeitos do clima em sistemas humanos, no entanto, são mais difíceis de identificar devido à influência de processos adaptativos e não climáticos. Os dados de mudanças globais mostram ser provável que o aquecimento provocado pelo homem durante as últimas três décadas teve notável influência em muitos sistemas, tanto físicos quanto biológicos. Contudo, recentemente, muitos estudos vêm mostrando relações diretas entre as respostas dos sistemas físicos e biológicos e as mudanças climáticas associadas à ação antropogênica (IPCC, 2007a).

As áreas agrícolas, com pastagens e florestas, que ocupam 60% da superfície da Terra, estão sendo progressivamente expostas a ameaças advindas do aumento da variabilidade climática e, no longo prazo, pelas mudanças climáticas. Mudanças anormais na temperatura do ar e na precipitação resultaram em aumento na frequência e intensidade de secas e enchentes, o que pode comprometer a viabilidade desses ecossistemas num futuro próximo (FAO, 2007).

Segundo o último relatório publicado pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2007b; sigla em inglês), resultados de modelagens para uma amplitude de locais no globo encontraram resultados associados ao melhor desempenho de alguns cultivos. Em regiões de médias a altas latitudes, aumentos moderados a médios nas temperaturas locais (1-3°C), associados com aumento dos níveis de dióxido de carbono (CO₂) e mudanças no regime de precipitações pluviais, podem incorrer em sutis aumentos no rendimento dos cultivos. Em regiões de baixas latitudes, mesmo aumentos moderados na temperatura (1-2°C), provavelmente, incorrerão em impacto negativo para maioria dos cereais. Estes resultados indicam, no total, uma projeção de aumento no potencial global de produção de alimentos com um aumento nas temperaturas médias locais, numa amplitude de 1 a 3°C, mas decréscimo para aumentos de temperatura superiores.

A redução nas taxas de crescimento populacional e o aumento da proporção de pessoas melhor alimentadas (dietas mais ricas), as quais requerem calorias adicionais, são projeções que conduzem a uma desaceleração da demanda global por alimento. Em paralelo com a redução no crescimento da demanda, a FAO (2005) estima uma redução na taxa de crescimento da produção agrícola global de 2,2% ano⁻¹ durante os últimos 30 anos para 1,6% ano⁻¹ de 2000 a 2015, 1,3% ano⁻¹ de 2015 a 2030 e 0,8% ano⁻¹ de 2030 a 2050. Tal condição, ainda assim, implica em aumento de 55% na produção global de cereais para 2030 e 80% de aumento para 2050. Para viabilizar este crescimento em produção, de forma relativamente fácil, outros 185 milhões de ha de áreas não irrigadas para o cultivo de grãos (+19%) e outros 60 milhões de ha de áreas irrigadas (+30%) terão de se tornar produtivos.

De modo geral, o total de áreas agrícolas a serem expandidas está localizado em países em desenvolvimento, sendo que a maior proporção está localizada na região do Sub-Sahara africano e na América Latina, o que pode resultar em *trade-offs* diretos com seus respectivos ecossistemas (CASSMAN *et al.*, 2003). Além da expansão no uso de terras agrícolas, também se espera um aumento nos rendimentos dos grãos. As projeções indicam para um aumento no rendimento dos cereais, dos atuais 2,7 toneladas ha⁻¹ para 3,8 toneladas ha⁻¹ em 2050 (FAO, 2005). Apesar destes incrementos na produção de alimentos, ainda existirão graves problemas de segurança alimentar a serem considerados. Áreas no Sub-Sahara africano, Ásia e América Latina, com altas taxas de crescimento populacional e degradação dos recursos naturais, provavelmente, continuarão com elevadas taxas de pobreza e insegurança alimentar (ALEXANDRATOS, 2005). Além disso, mudanças climáticas adicionam um desafio duplo: o de satisfazer a demanda por alimentos (cereais) enquanto, ao mesmo tempo, proteger os

recursos naturais e incrementar a qualidade ambiental nestas regiões (CASSMAN *et al.*, 2003).

2.2.1 Mudanças climáticas e os sistemas agrícolas

A distribuição interanual, mensal e diária das variáveis climáticas (como temperatura, radiação solar, precipitação pluvial, pressão de vapor d'água no ar e velocidade dos ventos) afeta um grande número de processos, físicos, químicos e biológicos, que são responsáveis pela produtividade dos sistemas agrícolas, florestais e aquáticos. A distribuição latitudinal dos cultivos, pastagens e florestas é uma função das condições climáticas e atmosféricas correntes, assim como do fotoperíodo. O total das precipitações durante as estações do ano, assim como seu padrão de variabilidade são de grande importância nos sistemas agrícolas, pastoris e florestais (OLESEN; BINDI, 2002).

Os efeitos ou impactos das variações no clima são amplos. Alguns desses efeitos podem incorrer em resultados positivos aos sistemas agrícolas. Considerando-se, porém, que as mudanças no clima são constantes é possível que tais efeitos sejam temporários (FAO, 2008). Um exemplo disto é a chamada “fertilização do efeito estufa” que resultará em efeitos benéficos em locais onde a grande concentração de CO₂ estimulará o crescimento vegetal. As expectativas para que tal ocorra são essencialmente em regiões temperadas, com expectativas de aumento no rendimento de 10% a 25% para cultivos com menor eficiência fotossintética (plantas cultivadas - C3), e de 0% a 10% para aquelas com maior eficiência fotossintética (plantas cultivadas - C4), considerando que os níveis de CO₂ na atmosfera alcancem a concentração de 550 ppm; no entanto, tais efeitos provavelmente não influenciarão as projeções mundiais de produção de alimentos (TUBIELLO *et al.*, 2007).

Os impactos da elevação da temperatura média global terão efeitos diferenciados dependendo da região. Para aquecimentos moderados (elevações de 1° C a 3° C da temperatura média) espera-se efeitos benéficos sobre os rendimentos de cultivos e pastagens em regiões temperadas, enquanto que em regiões tropicais e sazonalmente secas é provável que tenha efeitos negativos, principalmente para cereais. Com aquecimentos superiores a 3° C as expectativas são de efeitos negativos em todas as regiões (IPCC, 2007a). A produção de carne e outros derivados serão influenciados pelas tendências na produção agrícola, uma vez

que aproximadamente 25% da área destinada à produção de grãos é destinada à alimentação animal (FAO, 2008).

Os cultivos apresentam limiares de respostas ao clima, as quais afetam seu crescimento, desenvolvimento e rendimento (PORTER; SEMENOV, 2005). Assim, prejuízos no rendimento podem ser causados aos cultivos de cereais e frutíferas pela extensão de períodos com calor excessivo associado a estágios específicos do desenvolvimento, como na formação dos órgãos reprodutivos, sejam sementes ou frutos (WHEELER *et al.*, 2000; WOLLENWEBER; PORTER; SCHELLBERG, 2003). Extremos climáticos de curto prazo, como tempestades e enchentes, variações climáticas interanuais e decadais, assim como mudanças de correntes de grande escala, como o El Niño (ENOS – El Niño Oscilação Sul), têm importante efeito na produção de cultivos agrícolas, pastagens e florestamento (TUBIELLO, 2005).

Alguns estudos mostram os efeitos do ENOS sobre os cultivos agrícolas, nas regiões de produção agrícola da Austrália, por exemplo. Sob condições de El Niño a probabilidade de redução da produção em relação às médias históricas regionais é estimada em 75%, com impactos sob o PIB de 0,75 a 1,6% (O'MEAGHER, 2005). Estudos realizados pela Agência Internacional de Desenvolvimento dos Estados Unidos, através de observação e simulação de dados climáticos, avaliaram os impactos e as expectativas para ocorrência de secas sob a ótica da produção agrícola e segurança alimentar na África. Os resultados mostraram que a ocorrência de secas no leste africano é importante, mas não a causa dominante da falta de alimento na região; o aquecimento do oceano Índico é uma causa comum de secas; esse aquecimento do oceano Índico é, provavelmente, de origem antropogênica e constitui uma mudança climática alarmante, que já está impactando milhões de pessoas em sete nações ao longo da costa leste africana (FUNK *et al.*, 2008).

Recentemente, as oscilações de inverno do Atlântico Norte (NAO – North Atlantic Oscillation) têm mostrado correlação com o clima do verão subsequente, conduzindo a condições de tempo mais quentes e secas durante a formação e maturação dos grãos de trigo no Reino Unido e, conseqüentemente, melhorando a qualidade do grão (ATKINSON *et al.*, 2005); porém, essas mesmas condições reduzem o crescimento de verão das pastagens devido ao efeito das secas.

O balanço hídrico e os extremos climáticos são chaves para proporcionar impactos sobre os sistemas agrícolas e florestais. Previsões de redução nas precipitações são estimadas em mais de 90% pelos modelos de simulação climática para o do final do Século 21, para as

regiões ao norte e ao sul dos subtropicais (IPCC, 2007a). Aumentos nas precipitações extremas são também muito prováveis de ocorrer na maioria das áreas de produção agrícola do sul e leste asiático, no leste da Austrália e no norte da Europa (CHRISTENSEN *et al.*, 2007). Globalmente, cerca de 3,6 bilhões de hectares (aproximadamente 27% da superfície da Terra) são muito áridos para agricultura convencional (baseada no fornecimento de água pela precipitação pluvial). Considerando a disponibilidade de água, apenas 1,8% destas áreas áridas seriam aptas para produção de cereais sob irrigação (FISCHER *et al.*, 2006).

Estresses múltiplos, como disponibilidade limitada a recursos hídricos, redução da biodiversidade e poluição do ar, estão aumentando a sensibilidade às mudanças climáticas e reduzindo a resiliência no setor agrícola (FAO, 2003). Recursos naturais estão sendo degradados, através da erosão do solo, salinização em áreas irrigadas, degradação em áreas áridas pelo pastejo animal intensivo, exaustão dos lençóis freáticos, aumento da suscetibilidade a doenças e aumento da resistência das pragas favorecidas pela difusão dos monocultivos e o uso de agrotóxicos.

2.2.2 Vulnerabilidade dos sistemas naturais

Mudanças no regime de precipitação pluvial, temperatura, extensão da estação de crescimento e na frequência de extremos climáticos implicam em grandes esforços para preparar, principalmente, países em desenvolvimento no enfrentamento dos impactos relacionados ao clima na agricultura. Dentre os desafios emergentes está à necessidade em assistir países com limitações econômicas e de infra-estrutura, baixo nível tecnológico, acesso limitado à informação e conhecimento, instituições ineficientes e acesso limitado a recursos (FAO, 2007).

A vulnerabilidade à variabilidade climática, incluindo neste ponto os extremos ambientais, é dependente tanto do contexto onde ocorre como do risco associado (BROOKS; ADGER; KELLY, 2005). Em sistemas agrícolas a vulnerabilidade depende de sua exposição e sensibilidade às condições climáticas e da capacidade de enfrentar tais mudanças. Uma comparação entre os lados da fronteira entre os Estados Unidos e México revela como os fatores sociais, políticos, econômicos e históricos contribuem para diferentes níveis de vulnerabilidade entre agricultores vivendo sob mesmas condições edafoclimáticas

(VASQUEZ-LEON; WEST; FINAN, 2003). Reformas institucionais e econômicas relacionadas com o processo de globalização (como remoção ou redução de subsídios e aumento da competição através das importações) reduzem a capacidade de alguns agricultores em responder às variações climáticas (O'BRIEN *et al.*, 2004). Desta forma, esforços para reduzir a vulnerabilidade e facilitar a adaptação às mudanças climáticas na agricultura são influenciados, tanto positivamente quanto negativamente, pelas mudanças associadas com a globalização (EAKIN; LEMOS, 2006).

A região do Sub-Sahara, no continente Africano, é um exemplo de uma área no globo que continua altamente vulnerável à insegurança alimentar (FUNK *et al.*, 2008). Secas, enchentes e pragas agrícolas são alguns dos fatores agravantes à segurança alimentar da região, que pode ser influenciada ainda por futuras mudanças climáticas. Algumas alternativas e iniciativas de desenvolvimento relacionadas à agricultura podem ser restritas pelo nível de riqueza, falta de informação e estrutura institucional ineficiente, com conseqüências potencialmente negativas para futuras adaptações a períodos de maior estresse climático (REID; VOGEL, 2006).

2.2.3 Fenologia como indicador de mudanças climáticas

Apesar dos sistemas agrícolas e florestais serem conhecidos pela alta dependência ao clima, poucas evidências foram encontradas no último relatório de dados do IPCC (2007b). Tal condição é devida, provavelmente, pela forte influência de fatores não climáticos na agricultura e, em menor proporção, nos sistemas florestais, especialmente relacionadas a práticas de manejo, mudanças tecnológicas, assim como preços de mercado e políticas de subsídio (EASTERLING, 2003; MENZEL *et al.*, 2006). As tendências mundiais de aumento do rendimento da maioria dos cultivos nos últimos 40 anos impulsionados, principalmente, pelo incremento tecnológico do melhoramento genético de plantas cultivadas, controle de pragas e doenças, fertilização e mecanização agrícola, tornam difícil a identificação de sinais de mudanças climáticas (HAFNER, 2003).

Mudanças na fenologia⁴ dos cultivos dão importantes evidências das respostas às recentes mudanças climáticas regionais. Tais mudanças são aparentes em cultivos perenes, como as frutíferas, que são menos dependentes das decisões anuais de manejo dos agricultores, quando comparadas aos cultivos anuais de grãos. Mudanças fenológicas são comumente observadas em conjunto com mudanças nas práticas de manejo realizadas pelos produtores rurais. Estudos realizados na Alemanha (MENZEL et al., 2006) revelaram que, entre 1951 e 2004, a antecipação de fases fenológicas em cultivos agrícolas (2,1 dias década⁻¹) foi significativamente inferior àquelas que ocorreram em espécies silvestres e frutíferas arbóreas (4,4 a 7,1 dias década⁻¹). Todos os estudos relacionados à Europa revelaram que o aquecimento recente provocou antecipação numa parte significativa do calendário agrícola.

Trabalhos recentes mostram através de séries históricas, associadas a índices agroclimáticos, evidências sobre a alteração na fenologia dos cultivos relacionada principalmente ao aumento da temperatura, como o alongamento da estação de crescimento e a soma térmica diária durante o ciclo de desenvolvimento do cultivo. Tal condição é ilustrada pela antecipação da última geada da primavera e atraso da primeira geada de outono, o que parece estar claro nas regiões temperadas da Eurásia (MENZEL, 2003). Em contrapartida, nos países saarianos os aumentos de temperatura associados à redução da estação chuvosa tem levado a uma redução do período vegetativo dos cultivos impedindo assim, que os mesmos completem seu ciclo (MOHAMED; DUIVENBOODEN; ABDOUSSALLAM, 2002).

Genericamente, tendências em variáveis climáticas individuais ou combinadas em indicadores agroclimáticos demonstram haver antecipação na fenologia dos cultivos de grande parte da América do Norte e Europa, o que vem sendo atribuído ao aquecimento global recente. Em regiões temperadas há um claro sinal de redução do risco de geada, alongamento da estação de crescimento, incremento na produção de biomassa, aumento das populações de insetos e expansão das ocorrências de incêndios acidentais. Tais efeitos são difíceis de serem detectados estatisticamente, uma vez que sofrem forte influência de fatores não-climáticos. Ainda que os impactos atuais sejam economicamente restritos e sua magnitude altamente relacionada com a capacidade ou habilidade de adaptação das sociedades, tanto sistemas agrícolas quanto florestais mostram ser vulneráveis aos aumentos anormais da temperatura global (IPCC, 2007b).

⁴ Fenologia: 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. Sinteticamente, visa avaliar as mudanças periódicas na aparência e constituição dos seres vivos por causas ambientais e através da observação dos processos periódicos visíveis (DE FINA; RAVELO, 1973).

A duração do ciclo das cultivares de cereais de estação fria, cultivadas no Sul do Brasil, tem-se mostrado variável, principalmente devido à ação da temperatura do ar. No cultivo da aveia tal condição se consolidou graças ao gene de insensibilidade ao fotoperíodo (MUNDSTOCK, 1983; LOCATELLI *et al.*, 2006).

A temperatura do ar é o principal elemento a influenciar o desenvolvimento e crescimento vegetal, e uma das melhores maneiras de relacioná-la ao desenvolvimento é por meio do uso do sistema de unidades térmicas ou graus-dia. O uso de graus-dia admite uma relação linear entre o acréscimo de temperatura do ar e a taxa de desenvolvimento a qual, apesar das restrições, permite determinar a temperatura-base ou mesmo a duração das fases fenológicas das culturas (CAMARGO; BRUNINI; MIRANDA, 1987).

Assim, fenofases como o florescimento, por exemplo, ocorrerão em função das temperaturas médias diárias que, acumuladas (soma térmica) vão desencadear o processo de florescimento. A ocorrência deste fenômeno ainda está atrelada à precocidade da cultivar, a qual pode ser modificada através do melhoramento genético. A utilização da fenologia como indicador de mudanças climáticas em sistemas biológicos vem tendo reconhecida importância desde o início das publicações do IPCC, sendo estabelecida como base para análise de dados históricos ou de longa duração (MORELLATO, 2007).

A temperatura é um dos fatores principais que controla o crescimento das plantas e também sua distribuição sobre a terra (MOTA, 1986). Muitos processos fisiológicos nas plantas superiores ocorrem entre temperaturas de 0 a 40°C. Portanto, existe uma ampla faixa de temperatura para o crescimento das culturas, embora suas especificidades possibilitem que algumas sejam mais adaptadas a baixas, moderadas ou a altas temperaturas.

Independente de quão favorável possam ser as condições de luz, o crescimento da planta pára quando a temperatura cai abaixo de um certo valor mínimo ou excede um máximo. Entre estes limites, existe um ótimo de temperatura no qual o crescimento se dá com maior rapidez. Em culturas típicas de estação fria, como aveia, trigo, centeio e cevada, os pontos são todos comparativamente baixos: mínimo de 0° a 5°C, ótimo de 25° a 31°C e máximo de 31° a 37°C (MOTA, 1986).

O conceito de graus-dia data de mais de 200 anos atrás. Ele afirma que o crescimento de uma planta é diferente, de acordo com a quantidade de calor à qual ela é submetida durante toda a sua vida, e essa quantidade de calor é expressa em graus-dia. Um grau-dia é a medida da diferença da temperatura média diária acima do mínimo de temperatura necessário para

uma espécie. A soma dos graus-dia ao longo de um período que compreende parte ou todo ciclo de desenvolvimento de um cultivo também é chamada de soma térmica (MOTA, 1986).

2.2.4 Adaptação em sistemas agrícolas

Por mais de uma década, desde a abertura da Convenção das Nações Unidas sobre mudanças climáticas em 1992 no Rio de Janeiro, a ênfase da pesquisa e negociações esteve pautada basicamente em estratégias mitigadoras ao invés de adaptativas. Mitigação refere-se a ações ou práticas com o objetivo de reduzir as emissões globais de gases de efeito estufa ou mesmo o seqüestro de carbono no solo e na biomassa as quais foram tratadas pelo Protocolo de Kyoto. Recentemente, as negociações nas reuniões da Conferência das Partes estão começando a focar suas atenções em adaptação. Adaptações referem-se a ajustes em sistemas ecológicos, sociais ou econômicos em resposta a estímulos, efeitos ou impactos de mudanças climáticas reais ou esperadas. Referem-se a mudanças em processos, práticas e estruturas a fim de mediar potenciais danos ou mesmo se beneficiar de oportunidades associadas a mudanças climáticas (IPCC, 2007b).

Estratégias adaptativas na agricultura são representadas por ações de ajustamento de práticas agrícolas, processos e capital em resposta às ameaças causadas por mudanças climáticas. Assim como mudanças no ambiente de tomada de decisão, no que se refere às diferentes estruturas institucionais e sociais e às alterações nas opções técnicas, que podem afetar o potencial ou capacidade para essas ações serem realizadas (IPCC, 2007b).

Em linhas gerais, as adaptações encontradas foram mais efetivas nas latitudes médias e menos efetivas nas latitudes baixas de regiões em desenvolvimento, pobres em recursos e onde a habilidade dos agricultores em responder e adaptar-se foi menor.

Em sistemas agrícolas a adaptação é dividida em duas categorias, segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2007b): “adaptações autônomas”, que consistem no processo de utilização do conhecimento e de tecnologias existentes, em respostas às experiências de mudanças no clima; e “adaptações planejadas”, que consistem no incremento da capacidade adaptativa pela mobilização de instituições e políticas em firmar ou

estabelecer condições favoráveis, que propiciem a adaptação efetiva e investimento em novas tecnologias e infra-estrutura. Historicamente, a agricultura tem mostrado altos níveis de adaptabilidade aos impactos das variações climáticas e que, embora existam muitos estudos dos impactos das mudanças climáticas, existem poucos que fazem a comparação com e sem adaptação (MENZEL *et al.*, 2006).

Muitas das opções de adaptações autônomas estão relacionadas a atividades de manejo de risco ou incremento do rendimento das propriedades rurais. Em sistemas agrícolas existem muitas formas potenciais de alterar o gerenciamento da propriedade para enfrentar as projeções de mudanças atmosféricas e climáticas (SMITHERS; BLAY-PALMER, 2001; EASTERLING, 1996; TRNKA *et al.*, 2004; JOHNSTON; CHIOTTI, 2000; SMIT *et al.*, 2000; EASTERLING *et al.*, 2003; CHALLINOR *et al.*, 2007). Estas adaptações incluem:

- a) alteração de *inputs* com variedades e/ou espécies para outras mais apropriadas no que se refere aos seus requerimentos de soma térmica e vernalização, e/ou com maior resistência a choques de calor e secas; alteração das doses de fertilizantes para manter a qualidade dos frutos e grãos de acordo com as condições climáticas e alteração da quantidade e velocidade da irrigação e outras práticas de manejo da água;
- b) amplo uso de tecnologias para conservar a umidade do solo e uso da água mais eficientemente, especialmente em áreas com precipitações decrescentes;
- c) manejo da água para prevenir alagamentos, erosão do solo e lixiviação de nutrientes em áreas com precipitações crescentes;
- d) alterar o período ou local das atividades agrícolas;
- e) diversificação da renda pela integração de outras atividades na propriedade, como a integração lavoura-pecuária e turismo rural;
- f) incremento na eficiência do manejo de pragas, doenças e plantas-daninhas, através do uso de variedades resistentes, manejo integrado de pragas e doenças e programas de monitoramento da lavoura;
- g) utilização da previsão estacional do tempo com o objetivo de reduzir os riscos na produção.

Se forem amplamente adotadas, sozinhas ou em combinação, essas adaptações autônomas possuem substancial potencial de compensar impactos negativos das mudanças climáticas e tirar vantagem dos positivos. Na Itália, por exemplo, um estudo de modelagem

verificou que práticas simples de adaptação surtiram efeito. Mudança de variedade e data de semeadura, com o intuito de evitar estresse por calor e déficit hídrico durante os meses mais secos e quentes, alterou significativamente impactos negativos previstos ao rendimento do sorgo (-48 a -58%), para uma condição neutra ou de ganhos marginais (0 a +12%; TUBIELLO *et al.*, 2000).

Os benefícios da adaptação variam de acordo com o cultivo e entre diferentes regiões e alterações na temperatura; no entanto, em média, o processo adaptativo proporciona um benefício de aproximadamente 10% sobre o rendimento, quando comparado a um sistema sem qualquer adaptação. Outra forma de verificar tal efeito é o fato da adaptação traduzir-se na prevenção de perdas em rendimentos de grãos de arroz, trigo e milho, causadas pelo aumento da temperatura acima de 1,5 a 3°C em regiões tropicais e 4,5 a 5°C em regiões temperadas. Aquecimentos superiores a estas amplitudes, em cada região, excedem a sua capacidade adaptativa. Os benefícios das “adaptações autônomas” tendem a estabilizar com o aumento das temperaturas, enquanto seus potenciais impactos negativos aumentam (HOWDEN; CRIMP, 2005).

Adaptações autônomas podem não ser suficientes para enfrentar mudanças climáticas, assim tornando-se necessárias ações de planejamento – adaptações planejadas. Muitas políticas baseadas em mudanças climáticas foram identificadas para sistemas agrícolas (HOWDEN *et al.*, 2003; KURUKULASURIYA; ROSENTHAL, 2003; AGGARWAL *et al.*, 2004; ANTLE *et al.*, 2004). Estas podem desenvolver atividades adaptativas, como o desenvolvimento de infra-estrutura ou construção de capacidade de adaptação de uso amplo na comunidade e instituições locais, geralmente pela mudança do ambiente de tomada de decisões sob o qual está o gerenciamento das atividades de adaptação autônomas. O planejamento efetivo e a capacidade de criar capacidades adaptativas às mudanças climáticas podem incluir:

- a) gerentes de empresas precisam estar convictos que as mudanças climáticas são reais e que provavelmente se intensificarão. Neste ponto, políticas de monitoramento climático e comunicação eficiente das condições do tempo são muito importantes;
- b) as empresas precisam estar convencidas de que as mudanças climáticas projetadas irão significativamente impactar em seus negócios. Neste ponto podem ser auxiliadas por políticas de apoio a pesquisa, sistemas de análise e extensão, e redes de comunicação que forneçam estas informações;

- c) necessidade de tornar projetos técnicos disponíveis em respostas às mudanças projetadas. Nesse campo inclui-se o fortalecimento dos bancos de germoplasma, biotecnologia, e a revisão de técnicas convencionais em função das novas condições;
- d) desenvolver a capacidade de realizar contínuos ajustes e melhoramentos nas adaptações pelo entendimento do que está realmente funcionando e o que não está e por que, através da monitoração das adaptações as mudanças climáticas, seus custos e resultados.

Adaptações autônomas ou planejadas podem ainda serem definidas como resilientes⁵ de curto prazo e de longo prazo, respectivamente (EASTERLING, 1996). Ajustes ou adaptações de curto prazo às mudanças climáticas são esforços em manter os sistemas agrícolas estabilizados, porém mais resilientes. São adaptações autônomas, uma vez que não são necessárias mudanças políticas ou novas linhas de pesquisa para seu desenvolvimento ou utilização. Ajustes de curto prazo são desta forma, a linha de frente na luta contra as mudanças climáticas. Adaptações de longo prazo, no entanto, são a habilidade de um organismo, comunidade ou sistema em alterar sua forma ou função em resposta a uma distúrbio continuamente repetido. A noção de adaptação se aplica a sistemas agrícolas quando, por exemplo, um fator de produção básico se torna mais ou menos escasso durante um longo período de tempo, promovendo mudanças na forma e função dos sistemas de cultivo. Estas adaptações em sistemas agrícolas se referem, principalmente, a alterações na infra-estrutura, produção e desenvolvimento de tecnologias, mecanismos de mercado e políticas governamentais em resposta a algum tipo de estímulo ambiental ou econômico (EASTERLING, 1996).

A habilidade ou potencial dos diferentes sistemas em responderem satisfatoriamente às variações e mudanças climáticas é conhecido como capacidade adaptativa. A presença desta capacidade tem mostrado ser uma condição necessária para o desenvolvimento e implementação de estratégias adaptativas efetivas na redução da probabilidade e magnitude dos danos resultantes de mudanças climáticas (BROOKS; ADGER; KELLY, 2005). Capacidade adaptativa também possibilita que setores industriais e instituições tirem proveito das oportunidades e eventuais benefícios de mudanças no clima, como o alongamento da

⁵ O termo resiliência se refere à habilidade de um organismo, comunidade ou ecossistema em absorver distúrbios de magnitudes variadas e retornar ao seu estado inicial (EASTERLING, 1996).

estação de crescimento em regiões de clima temperado e o aumento do potencial par ao truísmo.

Inovações tecnológicas podem exercer uma importante função em adaptações às mudanças climáticas. Sistemas mais eficientes no consumo de energia, melhoramento de plantas cultivadas, técnicas de dessalinização e purificação da água são algumas das opções que podem fortificar as estratégias de enfrentamento às mudanças climáticas (IPCC, 2007b).

Comumente, tecnologias adaptativas e inovações são desenvolvidas através de programas de pesquisa financiados pelo setor público ou privado. O desenvolvimento de inovações relacionadas a novas estratégias ou tecnologias em resposta a novas condições é um importante aspecto do processo de adaptação, particularmente, sobre condições incertas do clima no futuro. Apesar de o desenvolvimento tecnológico poder ser considerado como um aspecto chave da capacidade adaptativa de uma sociedade, muitos estudos demonstraram que, em se tratando de adaptação o desenvolvimento econômico e tecnológico, não são os únicos importantes, mas também são fundamentais os fatores sociais, tais como recursos humanos e estruturas de governança (IPCC, 2007b).

2.2.5 Mudanças climáticas regionais

Muitos trabalhos vêm sendo realizados na América Latina com o objetivo de estimar os prováveis impactos das mudanças sobre os sistemas agrícolas. Existe uma grande diversidade de projeções que convergem na indicação do aumento das extremidades e variabilidade climática, as quais terão impactos distintos, de acordo com o grau de vulnerabilidade e da capacidade adaptativa de cada região (IPCC, 2007b). Apesar da grande variabilidade nas projeções sobre o rendimento das culturas, os cultivos da soja e do arroz destacam-se pela maior consistência entre os trabalhos realizados. As projeções indicam para uma redução nos rendimento do arroz e aumento do rendimento da soja a partir de 2010. Os trabalhos também concordam que aumentos ainda maiores na variabilidade climática incorrerão em severas reduções no rendimento das plantas cultivadas (IPCC, 2007b).

Regionalmente, os impactos das mudanças climáticas estão relacionados, em sua grande parte, pelo aumento na frequência e intensidade associado ao fenômeno climático El

Niño (UNFCCC, 2007). El Niño Oscilação Sul (ENOS⁶) é um fenômeno de grande escala que ocorre no Oceano Pacífico tropical. O fenômeno se refere a uma combinação de dois mecanismos que demonstram, de forma marcante, o vínculo existente entre o oceano e a atmosfera. Quando ocorre, tanto pode provocar aumento das precipitações médias com concentração das precipitações pluviais em alguns meses do ano, como incorrer em estiagens (BERLATO; FONTANA, 2003). Apesar do número crescente de trabalhos, pouco se sabe ainda sobre os efeitos do aquecimento global e o fenômeno El Niño. O consenso está no fato de que principalmente no último século, o evento vem se tornando cada vez mais marcante e com maior ocorrência de eventos de El Niño sobre os de La Niña (HANSEN *et al.*, 2006; COBB *et al.*, 2003; BERLATO; FONTANA, 2003).

O aumento na ocorrência de El Niño para o Brasil representa, genericamente, um aumento das precipitações médias para a região Sul e redução da mesma nas regiões Norte e Nordeste. Apesar da relevância do componente hídrico, especialmente para as regiões áridas do Norte e do Nordeste o maior risco associado aos extremos climáticos parece ser os efeitos da elevação da temperatura média no país. Tal risco está associado à incidência de temperaturas elevadas em períodos críticos do cultivo, como no florescimento, por exemplo, quando provocaria o abortamento floral (PINTO *et al.*, 2005).

Dados de séries históricas em estações meteorológicas vêm demonstrando também a tendência de aquecimento em algumas regiões do Brasil. Trabalhos realizados no Estado do Rio Grande do Sul relatam aumentos de temperatura do ar em dez de treze estações meteorológicas utilizadas no estudo e distribuídas em todo o Estado. Neste trabalho foram observadas variações de temperatura de até 2,1° C no período de 1916 a 2005, sendo que na última década (1996 a 2005), ocorreram os aumentos mais notáveis (MACHADO; BLANK; ASSIS, 2007). Tal aquecimento parece ser devido, principalmente, a aumentos nas temperaturas mínimas diárias. Segundo Steinmetz *et al.* (2007) e Siqueira *et al.* (2007), em trabalhos realizados na estação agroclimática de Pelotas/RS, houve aumento da temperatura mínima de 1,11° C no período de 1893 a 2006, enquanto que a temperatura máxima pouco variou.

⁶ O El Niño (EM) representa o componente oceânico do fenômeno, enquanto a Oscilação Sul (OS) representa a contrapartida atmosférica. O fenômeno ENOS faz parte de uma variação irregular em torno das condições normais do oceano e da atmosfera na região do Pacífico tropical. Um extremo desta variação é representado pelas condições de El Niño, quando ocorre um aquecimento das águas simultaneamente com diminuição da pressão atmosférica no Pacífico leste, e o outro extremo da variação é representado pelas condições de La Niña, quando ocorre um resfriamento das águas e aumento na pressão atmosférica na região leste do Pacífico (BERLATO; FONTANA, 2003).

Em resposta às mudanças descritas, trabalhos vêm sendo realizados com o intuito de descrever prováveis impactos de mudanças climáticas sobre determinadas regiões, principalmente sob a ótica do zoneamento agrícola. Segundo esta corrente, os cultivos tendem a mover-se de uma região para outra ou entre diferentes épocas do ano, de acordo com expectativa de aquecimento. Assim, podem tanto desaparecer de regiões onde estavam consolidados como surgir em outras onde pouco ou nada haviam sido cultivados, além de prováveis deslocamentos de épocas de cultivo (MARIN *et al.*, 2007; WREGGE *et al.*, 2007; PANDOLFO *et al.*, 2007; EMBRAPA; UNICAMP, 2008).

No entanto, parecem ser incipientes os estudos que levam em conta os processos adaptativos através do desenvolvimento tecnológico, tanto oriundo da propriedade rural quanto de fora dela. Destaca-se o melhoramento genético, utilização de insumos, mecanização agrícola, previsão agroclimática, entre outros. Tais processos estão consolidados como suportes da agricultura moderna, visto que vêm sendo fundamentais para superação de diferentes obstáculos encontrados nos diferentes sistemas de produção. Além disso, parece ser frágil o conhecimento sobre até que ponto tais processos adaptativos são eficientes no sentido em que viabilizam a produção agrícola, de forma sustentável ao longo do tempo.

2.3 SISTEMAS DE CULTIVO NO SUL DO BRASIL

A sucessão de sistemas de cultivo, na maioria das regiões, envolve dois cultivos por ano (inverno e verão). No Sul do Brasil, cereais de inverno como a aveia, trigo e cevada são semeados de abril a junho (de acordo com o local onde será cultivado e a finalidade do cultivo) e colhidos de outubro a novembro. Cultivos de verão são predominantemente milho e soja, semeados de Setembro a Novembro após a cultura de inverno utilizada previamente como cobertura do solo, forragem ou na produção de grãos e sementes (SUTTIE; REYNOLDS, 2004).

O bom desempenho num sistema de sucessão de cultivos está estreitamente relacionado à escolha e planejamento adequado tanto das espécies de inverno quanto das de verão, possibilitando o máximo aproveitamento da área sob cultivo, além de proporcionar efeitos benéficos à sucessão de cultivos. Os cultivos devem estar ajustados de forma que não

incorram em conflitos nas datas de semeadura ou colheita, por exemplo. Além disso, sua sucessão deve estar associada a interações positivas e que permitam a sustentação do sistema.

2.3.1 Aveia Branca (*Avena sativa* L.)

Os dados sobre o surgimento dos primeiros cultivos de aveia no Brasil são do início da década de 1930. A introdução da cultura ocorreu através de colonizadores espanhóis, que colonizaram o Uruguai e a Argentina e, então, a introduziram no Estado do Rio Grande do Sul.

Apesar da atividade já possuir aproximadamente 40 anos no País, somente em 1992 a produção nacional passou a atender 100% da demanda industrial pelo produto, sendo que até 1985 toda aveia utilizada na indústria alimentícia tinha de ser trazida ou comprada do Uruguai e da Argentina.

O cultivo de aveia (preta ou branca) destina-se à produção de grãos, forragem verde, feno, silagem, adubo verde e cobertura do solo no período de inverno, antecipando a implantação das culturas de verão. Além disso, a aveia é uma excelente alternativa para o cultivo de inverno no Sul do Brasil, quando o objetivo é a diversificação da exploração agrícola. A área cultivada com aveia branca vem se consolidando como alternativa para viabilizar a rotação de culturas, diferenciando-se da aveia preta (*Avena strigosa* S.), uma vez que essa última não apresenta qualidade industrial (CBPA, 2000).

Considerando as diversas variedades de aveia branca existentes, além da produção de grãos com alta qualidade industrial e alto rendimento, ainda podem ser associadas outras características, como a produção de forragem verde e produção de grãos a partir do rebrote. Por tais características a aveia representa uma das culturas de inverno mais importantes do Rio Grande do Sul, podendo ser utilizada como fonte de alimento humano e animal, além de servir como cobertura do solo, muito importante com prática conservacionista do solo e indispensável no sistema de semeadura direta (FLOSS *et al.*, 1996).

A aveia, embora tenha grande produção mundial, é o sexto cereal em grãos produzidos. Os maiores produtores de aveia no mundo são a antiga União Soviética, Estados Unidos, países da Comunidade Européia e Argentina. O Brasil é um dos poucos países do

mundo onde a área de aveia branca teve um significativo crescimento, tendo condições para tornar-se um grande exportador no mercado internacional. Outro aspecto favorável ao país é o sistema de produção adotado pelos produtores rurais de duas culturas por ano (FEDERIZZI, 1998).

A produção de grãos de aveia cresceu 627% no período de 1977 a 1997, fazendo com que o país passasse de importador a exportador deste cereal. Os Estados com maior produção são o Paraná com aproximadamente 75% (391 mil toneladas) da produção nacional e o Rio Grande do Sul com 20% (103 mil toneladas) do total produzido (MAPA, 2007). O crescimento da demanda de grãos de aveia branca, nos últimos anos, é devido ao aumento do consumo humano e animal de derivados do grão. Este aumento da produção foi acompanhado por uma melhora na qualidade industrial dos grãos produzidos, em termos de sua massa específica (ph – peso hectolítrico), maior tamanho dos grãos e menor percentagem de casca (BINOTTO, 2000).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DADOS FENOLÓGICOS

Como estudo de caso, este trabalho se baseou na análise de séries históricas referentes à cultura da aveia, na Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul. Para isto foram coletados dados referentes às principais fenofases da cultura, além da série climática.

Os dados fenológicos foram obtidos em experimentos de longa duração conduzidos na Estação Experimental Agronômica (EEA/UFRGS), pertencente à Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. A EEA/UFRGS ocupa uma área de 1.576 hectares entre os Km 38,0 e 40,3 da rodovia BR-290, que liga Porto Alegre a Uruguaiana, no município de Eldorado do Sul, na região ecoclimática da Depressão Central do Rio Grande do Sul. A sede da EEA/UFRGS está localizada à latitude 30° 05' Sul, longitude 51° 40' Oeste e altitude média de 46 m (BERGAMASCHI *et al.*, 2003). Nela está instalado o programa de melhoramento genético da aveia, que conta com dados dos ensaios de cultivares de 1979 a 2007. Foram coletados dados referentes à data de semeadura, emergência, florescimento e rendimento de grãos. As cultivares foram agrupadas em precoces, tardias e testemunhas⁷.

As cultivares tardias e precoces foram selecionadas, basicamente, pela duração de seu ciclo (em dias) da emergência ao florescimento. Assim, sobre a base de dados originais provenientes do ensaio de cultivares da EEA, que contava com aproximadamente 19 cultivares em média a cada ano de 1981 a 2007, foram selecionadas aquelas de maior e menor ciclo. Frequentemente, neste período, ocorreu a presença de cultivares com a mesma duração do ciclo em dias. Nesses casos eram coletados os dados para todo o grupo de cultivares. Para as cultivares, testemunhas, no entanto, o critério de seleção foi diferente. Foram selecionadas as cultivares, que permaneceram nos ensaios pelo período mais longo. Esta condição favoreceria a verificação de possíveis efeitos da temperatura sobre a cultivar durante o

⁷ Cultivares utilizadas, em programas de melhoramento como referência, não recebem tratamento ou seleção e, de modo geral apresentam o melhor desempenho nos ensaios de campo. São úteis para medir o desempenho das demais cultivares. Geralmente permanecem por vários anos nos ensaios, sem serem substituídas.

período de análise, uma vez que, neste caso, a substituição de genótipos durante os anos foi menor.

As datas de emergência e florescimento foram utilizadas no cálculo do DEF - dias da emergência ao florescimento. Este parâmetro foi utilizado como indicador fenológico de possíveis mudanças climáticas, em particular da temperatura do ar. Este critério se baseou na correlação entre a temperatura e o desenvolvimento da aveia, em que DEF seria um possível indicador de mudanças no clima, que implicaria em variações na duração do ciclo das cultivares.

Para cada cultivar o DEF permitiu, assim, verificar a ocorrência de avanços ou antecipações em suas respectivas datas de florescimento ao longo do tempo de observação. Este seria um indicador de redução ou aumento da temperatura do ar, durante o período que vai da emergência até o florescimento.

Apesar de a série fenológica contar com informações desde 1979, o conjunto de dados utilizado neste trabalho é referente aos anos de 1981 a 2007. Tal escolha se justifica pela ausência de parte dos dados de 1980. Optou-se, assim, por limitar a série histórica de modo que não houvesse lacunas entre os anos de 1979 e 1981, permitindo que fosse feita uma análise de dados de uma série homogênea e ininterrupta.

A análise dos dados de cada ano da série se restringiu aos meses de maio a outubro, que abrangem o período da germinação ao florescimento de todo o conjunto, de variedades, das mais precoces às, mais tardias, incluindo as testemunhas.

A relação entre DEF e a temperatura do ar considerou a soma térmica. Esta foi calculada pela soma de graus-dia acumulados durante o período de crescimento da cultura.

O método utilizado para o cálculo da soma térmica é conhecido como método direto, que se adapta a cultivos de inverno. Basicamente consiste na soma das temperaturas médias diárias, desde que as mínimas não sejam inferiores a 0 °C e as máximas superiores a 35 °C (MOTA, 1986). O emprego do método foi facilitado, uma vez que os extremos térmicos mencionados não foram observados durante o período de análise.

Na elaboração das planilhas, a soma térmica foi calculada para cada cultivar individualmente, uma vez que a emergência e a floração das mesmas ocorreram, na maioria dos casos, em datas distintas.

A soma de graus-dia foi realizada durante o período da emergência ao florescimento. Estes dados foram, então, utilizados na elaboração de gráficos, a fim de identificar possíveis tendências de efeitos (elevação ou declínio) sobre o DEF no período.

3.2 SÉRIE CLIMÁTICA

Os dados meteorológicos foram coletados em estação agrometeorológica localizada na EEA/UFRGS. A estação iniciou suas atividades em 1968, porém com interrupções ocasionais pela falta de alguns instrumentos. A partir de 5 de março de 1970, passou a efetuar observações ininterruptas e completas. De 1970 a 1994 (série de 25 anos) a coleta de dados foi feita em uma estação meteorológica convencional. Nela, a temperatura do ar era medida em abrigo meteorológico padrão pela Organização Meteorológica Mundial, com venezianas duplas de madeira, pintadas de branco, cujos instrumentos ficavam a 1,5 m acima do solo gramado (BERGAMASCHI *et al.*, 2003). A partir de 1995, os dados passaram a ser coletados numa estação automática da marca Campbell, assim perfazendo os registros de 1995 a 2007 (série de 13 anos). Neste caso, o sensor de temperatura se localiza dentro de um abrigo de discos superpostos em forma de veneziana, a 2 m acima do solo gramado. Esta estação está situada a cerca de 500 m distante da primeira, também em topografia plana (BERGAMASCHI *et al.*, 2003).

Para estudos de possíveis mudanças climáticas foi feita a análise dos dados meteorológicos referentes à temperatura do ar, média, máxima e mínima no período de 1970 a 2007, 1970 a 1994 e 1995 a 2007. Apesar da análise dos dados fenológicos iniciar no ano de 1981, a análise dos anos anteriores foi utilizada para identificar possíveis tendências sobre o transcurso da temperatura, numa série mais longa de dados.

A série histórica de temperatura do ar dispõe de informações diárias, por decêndio e mensais. Durante o período de 1981 a 2007, nos meses de maio a outubro, foram utilizadas as médias por decêndio, para verificar possíveis tendências sobre o transcurso da temperatura média, máxima e mínima nos terços de cada mês. As médias mensais serviram para observar a presença de tendências sobre todos os meses da série histórica, de 1970 a 2007. Também, foram elaborados gráficos com médias anuais da temperatura média, máxima e mínima, calculados a partir das médias mensais de cada ano. A temperatura média anual permitiu

também, a elaboração de gráficos de anomalia. A anomalia foi calculada pela diferença (positiva ou negativa) entre a média de cada ano e a média de todo período (1970 a 2007). Este tipo de representação possibilita a visualização da posição de cada ano, em relação à média do período observado⁸.

Na estação convencional a temperatura média era calculada pela seguinte fórmula compensada:

$$T = (T9 + 2T21 + TM + Tm)/5$$

Onde:

T é a temperatura média diária;

T9 é a temperatura às 9h;

T21 é a temperatura às 21h;

TM é a temperatura máxima diária;

Tm é a temperatura mínima diária.

O observador fazia as leituras às 9, 15 e 21h (12, 18 e 24h TMG) em termômetro de coluna de mercúrio. Também fazia leituras da temperatura mínima em termômetro de coluna de álcool, às 9h, e a temperatura máxima em termômetro de mercúrio, às 21h.

Na estação automática o sensor de temperatura do ar é interrogado a cada 10 segundos, e as médias de cada 15 minutos são armazenadas num módulo de memória. O *datalogger* efetua o cálculo da temperatura média das 24h (da 0 às 24h) e identifica os valores máximos (temperatura máxima) e mínimos (temperatura mínima) do período. Neste caso, portanto, reduz-se o risco de erro humano nas leituras.

As temperaturas médias decendiais, mensais e anuais foram obtidas pela média aritmética das temperaturas média, máxima e mínima diárias.

Anos neutros, de El Niño e La Niña foram classificados de acordo com a definição de TRENBERTH (1997). Segundo o autor são considerados anos de El Niño aqueles períodos

⁸ A média das temperaturas anuais tem sido tomada como um indicador mais abrangente, utilizado para apontar alterações climáticas em séries históricas longas. Este procedimento é comumente utilizado nas publicações do IPCC para demonstrar o comportamento médio da temperatura globalmente.

cuja média móvel de cinco meses da anomalia mensal da temperatura da superfície do mar seja $\geq 0,5$ °C ou $\leq -0,5$ °C para anos de La Niña, por no mínimo seis meses consecutivos.

3.3 ANÁLISE DE REGRESSÃO

A partir dos dados meteorológicos e fenológicos foi feita análise de regressão dos mesmos, de modo que a equação que descreve a reta de regressão pudesse expressar a existência de tendência de aumento, decréscimo ou estabilidade sobre os dados no período de análise. Para tanto foi utilizado teste de hipóteses ao nível de significância de 5% e 1%, onde foi possível identificar a tendência das séries temporais, pela rejeição ou aceitação da “hipótese nula” através da equação de regressão demonstrada.

$$Y_t = a + bx + e_t$$

Onde:

Y_t é o valor da variável dependente no tempo “t”;

a é o ponto de intersecção da linha de tendência com o eixo “Y”;

b é a declividade da linha de tendência (coeficiente angular);

x é o valor de “t” da série histórica;

e_t é o termo aleatório ou componente aleatório.

As oscilações passíveis de ocorrerem sobre a tendência estimada, foram consideradas através da adição de um componente aleatório ou termo aleatório na equação de regressão supracitada.

A regressão da série climática compreendeu dados decendiais, mensais e anuais. Os resultados desta análise, no entanto, foram apresentados parcialmente neste trabalho, visto que não apresentaram tendência significativa ao nível de 5% e 1%. Este fato é devido ao grande número de informações e gráficos gerados, os quais não ajudariam na análise e entendimento do transcurso da temperatura do ar e fenologia da aveia. Os dados foram submetidos a análise

de regressão múltipla com variáveis dependentes (ano) e variáveis binárias (muda), tendo os dados de 1970 a 1994 (estação meteorológica convencional) recebido a unidade “0” e os dados referentes a 1994 a 2007 (estação meteorológica automática) recebido a unidade “1”. A análise de regressão dos dados foi feita com o auxílio das ferramentas estatísticas do aplicativo Excel 2007, SPSS e SAS.

Os pressupostos da homocedasticidade e linearidade foram testados através da elaboração de gráficos dos resíduos. Genericamente, os resíduos representam a diferença entre aquilo que foi realmente observado e o que foi previsto pelo modelo de regressão (CALLEGARI-JAQUES, 2003). O gráfico foi construído com os resíduos no eixo vertical e os valores esperados de y (variável dependente), no horizontal. Os pontos devem ficar distribuídos de forma equilibrada acima e abaixo de uma linha imaginária paralela ao eixo x na altura do resíduo zero, formando uma faixa aproximadamente retangular. A violação do pressuposto da homocedasticidade produz faixas em forma de cone, enquanto a violação do pressuposto da linearidade produz faixas curvas.

Utilizou-se o teste de Durbin-Watson para verificar a presença de autocorrelação nas séries históricas. Este teste serve para detectar se há presença significativa de autocorrelação entre os resíduos em um modelo de regressão. O coeficiente de Durbin- Watson mede a correlação entre cada resíduo e o resíduo da observação imediatamente anterior. Um indicador de que algo está errado com a regressão é o valor extremamente baixo ou alto do d de Durbin-Watson, que sugere uma forte autocorrelação. O valor calculado do d varia entre 0 e 4, e quando se aproxima de 2, indica a ausência de autocorrelação. Quanto mais próximo dos extremos, mais provável é a existência do problema e a necessidade de correção na análise de regressão (GREENE, 1990). Para o cálculo do valor d de Durbin-Watson foi utilizado o aplicativo SPSS – 16.0.

3.4 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

Foi calculada a correlação entre o número de dias entre a emergência de plântulas e florescimento da aveia (DEF) e a soma térmica de cada período. A análise de correlação também foi utilizada para as variáveis temperatura do ar média, máxima e mínima conforme foi descrito para regressão. A correlação dos dados foi feita com o auxílio das ferramentas

estatísticas do aplicativo Excel 2007, SPSS e SAS. Para avaliar a significância do coeficiente de correlação, testou-se a aceitação ou rejeição da “hipótese nula” ao nível de significância de 5% e 1%, utilizando para tanto a distribuição *t*.

Uma vez determinada a existência de correlação na população, avaliou-se qualitativamente sua intensidade. Para isto utilizaram-se os intervalos propostos por Callegari-Jacques (2003), os quais são:

- a) 0 – nula;
- b) 0 a 0,3 – fraca;
- c) 0,31 a 0,6 – regular;
- d) 0,61 a 0,9 – forte;
- e) 0,91 a 1 – muito forte;
- f) 1 – plena ou perfeita.

3.5 INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS

A evolução das cultivares utilizadas nos ensaios do programa de melhoramento genético da EEA/UFRGS foi utilizada como indicador do processo de inovação tecnológica. Os genótipos precoces e tardios, os quais representam os dados utilizados para a análise da fenologia, foram agrupadas no formato de tabela. Esta estrutura permitiu verificar o surgimento de novos genótipos ao longo do período de 1981 a 2007. Adicionalmente, as cultivares foram acompanhadas de seu respectivo DEF. Este é, também, um indicador do processo de inovação tecnológica, uma vez que compõe parte das características da cultivar e, assim, serve para apontar possíveis tendências do melhoramento genético.

Além disso, utilizou-se o estudo de dados secundários referentes ao histórico tecnológico da cultura da aveia. Esta análise se baseou em trabalhos seminais, sobre manejo e produção de culturas de inverno no Estado do Rio Grande do Sul. As informações coletadas foram utilizadas em uma análise histórico-comparativa, como o objetivo de encontrar mudanças no padrão tecnológico adotado ao longo dos anos. Essa observação compreendeu o início da década de 1970 até 2007.

A análise do histórico tecnológico possibilitou identificar a ocorrência de inovações tecnológicas, tenham elas sido desenvolvidas dentro da propriedade rural ou fora dela, a partir de P&D público e/ou privado.

As inovações foram classificadas segundo sua origem em “autônomas” ou “planejadas”. Esta nomenclatura foi sugerida pelo IPCC (2007b) em sua discussão sobre estratégias adaptativas dos sistemas agrícolas frente às mudanças climáticas.

Genericamente adaptações autônomas são aquelas que não exigem nenhum tipo de planejamento prévio. Relacionam-se basicamente a tomada de decisão do produtor rural e envolvem a utilização diferenciada de insumos, data de semeadura, irrigação, utilização de recursos para previsão do clima, alteração das doses de fertilizantes, escolha de variedades e/ou espécies mais apropriadas no que se refere aos seus requerimentos de soma térmica e vernalização, e/ou com maior resistência a choques de calor e secas, entre outros.

Por outro lado adaptações planejadas exigem gerenciamento prévio, envolvem a esfera institucional e política na tomada de decisões. Neste nível, as mudanças climáticas precisam estar necessariamente assimiladas e inserindo assim em políticas governamentais, planos de pesquisa e desenvolvimento de tecnológicas tanto pela iniciativa pública quanto privada.

Apesar de terem o mesmo objetivo tais adaptações ainda distinguem-se no tempo. Enquanto as adaptações autônomas têm um efeito de curto prazo, uma vez que estão relacionadas à tomada de decisão do produtor rural, adaptações planejadas, no entanto, passam pelo planejamento e desenvolvimento institucional. Desta forma, precisam de mais tempo no seu desenvolvimento, porém, em contrapartida são efetivas por um período maior de tempo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 SÉRIE CLIMÁTICA

Na análise do transcurso das médias da temperatura do ar média, máxima e mínima não foi observada, em nenhum mês, a tendência de aumento ou redução da temperatura, ao nível de 5% de significância. Nas figuras que seguem (Figuras 1 a 6) é possível observar que, apesar da ausência de tendência, as médias das temperaturas do ar apresentam variação entre os anos e meses analisados.

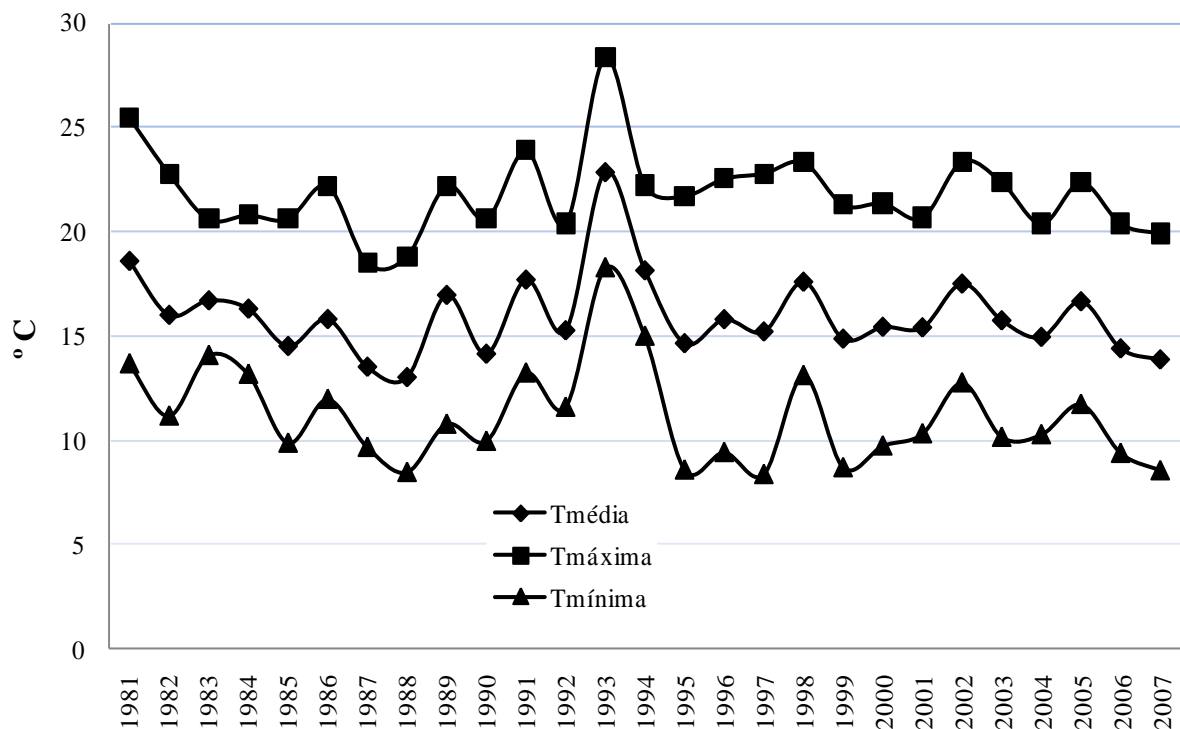


Figura 1 - Temperatura do ar média, máxima e mínima do mês de maio de 1981 a 2007 na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS

No mês de maio (Figura 1) houve oscilações nas médias das temperaturas médias, mínimas e máximas. A maior variação ocorreu na média das temperaturas mínimas entre os anos de 1993 e 1995, quando a diferença foi de 18 °C para 8 °C. A regressão das séries temporais de temperatura não foi significativa para este mês, a um nível de significância de

5%, demonstrando não haver tendência de mudança para as médias das temperaturas mínimas, médias e máximas nos 27 anos de observação.

No mês de junho, apesar das oscilações serem menores, quando comparadas ao mês de maio, são mais frequentes e se, destacaram nos anos de 1989 e 1996. As médias das temperaturas mínimas atingiram uma variação de 8 °C entre os anos de 1986, 1989 e 1996. Não se constatou tendência de alteração nas médias das temperaturas ao longo do período de análise. Verifica-se que a média das mínimas foi inferior a 5 °C nos anos de 1989 e 1996, apontando para grande possibilidade de ocorrência de geadas. Anos assim podem provocar atrasos no desenvolvimento das plantas, uma vez que a ocorrência de geadas no mês de junho pode retardar a germinação de cultivos de inverno, como trigo, aveia, centeio, entre outros. Quando o objetivo da produção é forragem, esses eventos incorrem em retardo da disponibilidade de pasto, o qual pode provocar importantes perdas à produção de carne e/ou leite.

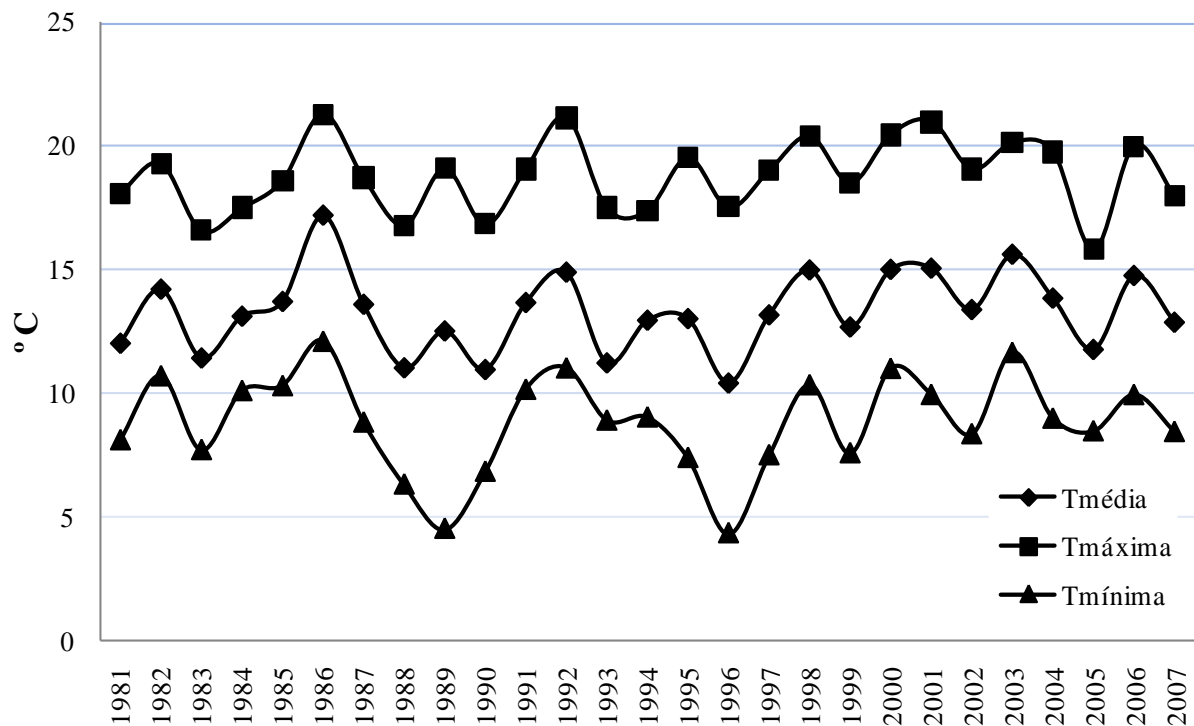


Figura 2 - Temperatura do ar média, máxima e mínima do mês de junho de 1981 a 2007 na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS

O mês de julho (Figura 3), da mesma forma, apresentou grandes oscilações nas médias das temperaturas observadas. Destaca-se a média das temperaturas mínimas, com as maiores variações. As maiores amplitudes (diferença entre a temperatura máxima e mínima) ocorreram nos anos de 1987 e 1998, quando a média das mínimas foi de 14 °C, e nos anos de 1996 e 2000, quando a média das mínimas foi de aproximadamente 4 °C. Houve, assim, variação de 10 °C entre os anos. Esta variação, em termos práticos, é determinante do aumento dos riscos associados aos sistemas de cultivo. Enquanto em alguns anos as temperaturas podem ser amenas (14 °C), em outros existe alta probabilidade de ocorrência de geadas (4 °C). A média das temperaturas, no entanto, não apresentou tendência de alteração ao longo da série histórica.

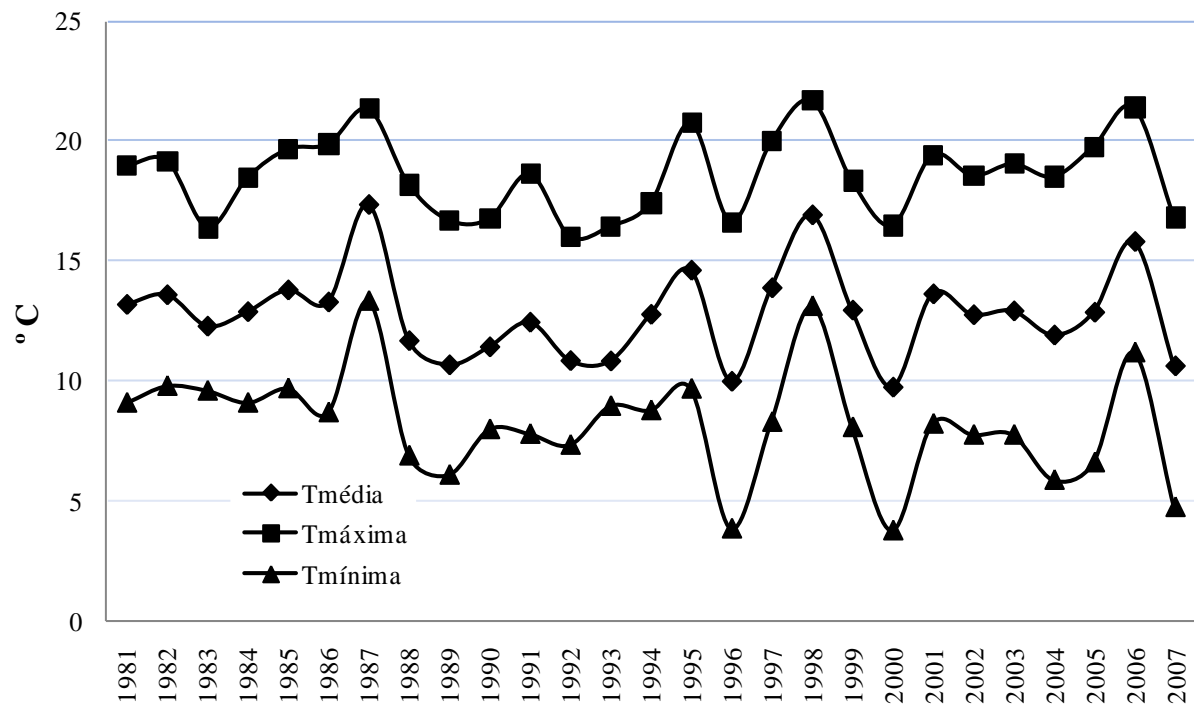


Figura 3 - Temperatura do ar média, máxima e mínima do mês de julho de 1981 a 2007 na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS

As maiores amplitudes térmicas, entre todos os meses observados, foram encontradas no mês de agosto (Figura 4). Novamente, a média das temperaturas mínimas teve as maiores oscilações. A média das mínimas foi de 18 °C em 1993 e de 5 °C em 2000, numa variação de 13° C. Assim, como no mês de julho, a grande variabilidade na temperatura mínima incorre em maiores riscos aos cultivos agrícolas hibernais, associados à formação de geada.

No caso da aveia, nas regiões mais quentes do Estado, como é o caso do município de Eldorado do Sul, a recomendação para data de semeadura vai de 15 de maio a 30 de julho. Semeaduras mais precoces, associadas frequentemente ao cultivo subsequente do milho, culminam com o florescimento no mês de agosto. Nesta condição, os riscos de perdas na produção aumentam consideravelmente, uma vez que a ocorrência de geadas nesta fase provoca o abortamento floral, impedindo a formação do grão (CBPA, 2000; PINTO *et al.*, 2005). Baixas temperaturas do ar são igualmente prejudiciais durante o período de formação de grãos. Geadas nessa época podem paralisar o crescimento, resultando, em grãos mal formados e de baixo peso específico, reduzindo o rendimento e a qualidade da produção na colheita (MUNDSTOCK, 1983).

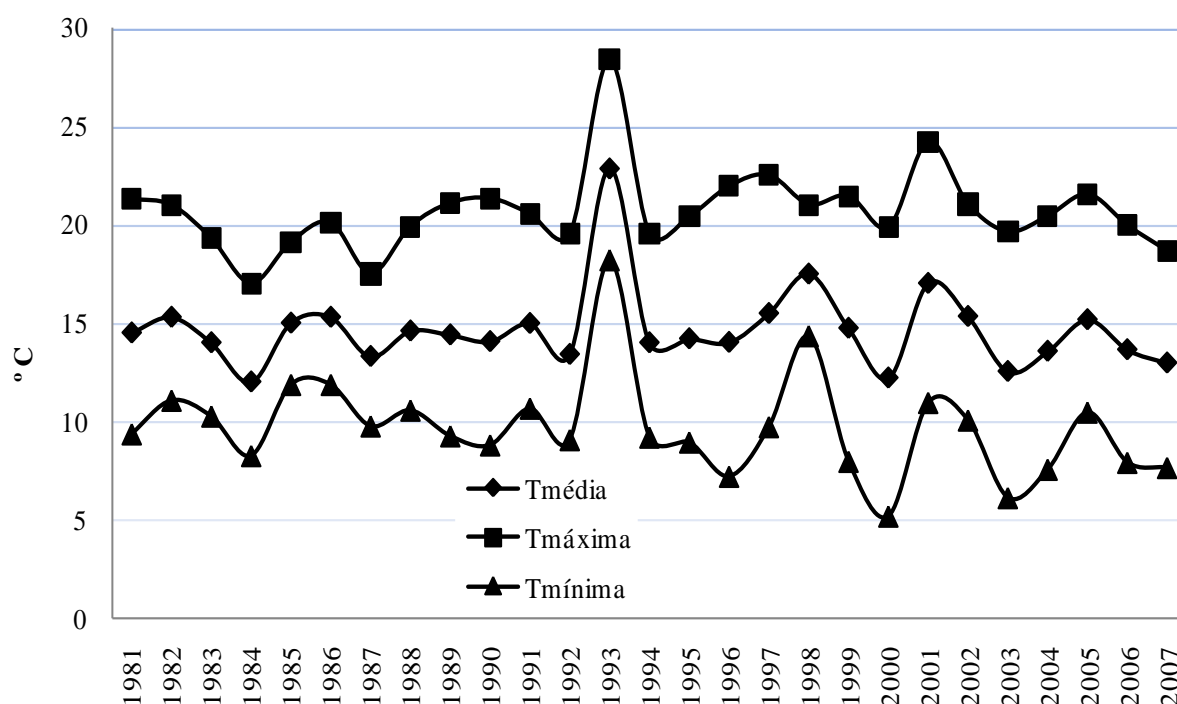


Figura 4 - Temperatura do ar média, máxima e mínima do mês de agosto de 1981 a 2007 na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS

A variabilidade na média das temperaturas diminuiu consideravelmente no mês de setembro (Figura 5). Neste mês, a temperatura mínima não se diferenciou em relação à média e a máxima, como havia ocorrido nos meses anteriores. A amplitude térmica ficou entre 4 e 6 °C e foi relativamente constante no período de observação, não apresentando tendência de alteração.

No mês de setembro grande parte das cultivares mais precoces de aveia já havia florescido e estava dando início ao desenvolvimento dos grãos. Este período é muito importante, uma vez que contribui para a determinação do rendimento de grãos. Nos meses que vão do florescimento à colheita, têm-se como referência temperaturas médias próximas a 19 °C como, sendo ideais ao desenvolvimento da aveia. Oscilações amplas ao redor desse valor podem afetar a produção. Como já foi discutida, a ocorrência de geadas aumenta a probabilidade de perdas de produção. Por outro lado, temperaturas excessivamente altas também podem ser prejudiciais. O fenômeno decorrente deste processo é chamado de “golpe de calor”, que se manifesta pela paralisação da formação dos grãos quando as plantas são submetidas a temperaturas superiores a 30 °C por dois ou mais dias, aliadas a baixa umidade do ar (MUNDSTOCK, 1983). Pelos resultados obtidos é pouco provável a ocorrência de golpes de calor, uma vez que a média das temperaturas máximas não ultrapassou 25 °C nos meses mais quentes de setembro e outubro (Figuras 5 e 6). É importante destacar, no entanto, que esta análise apenas contemplou o período de germinação a florescimento, sendo que o risco se mantém durante o enchimento de grãos. Assim, para uma análise mais confiável, seria preciso contemplar, ao menos, o mês de novembro, quando a maior parcela das cultivares está no final de seu ciclo e a temperatura média tende a ser superior.

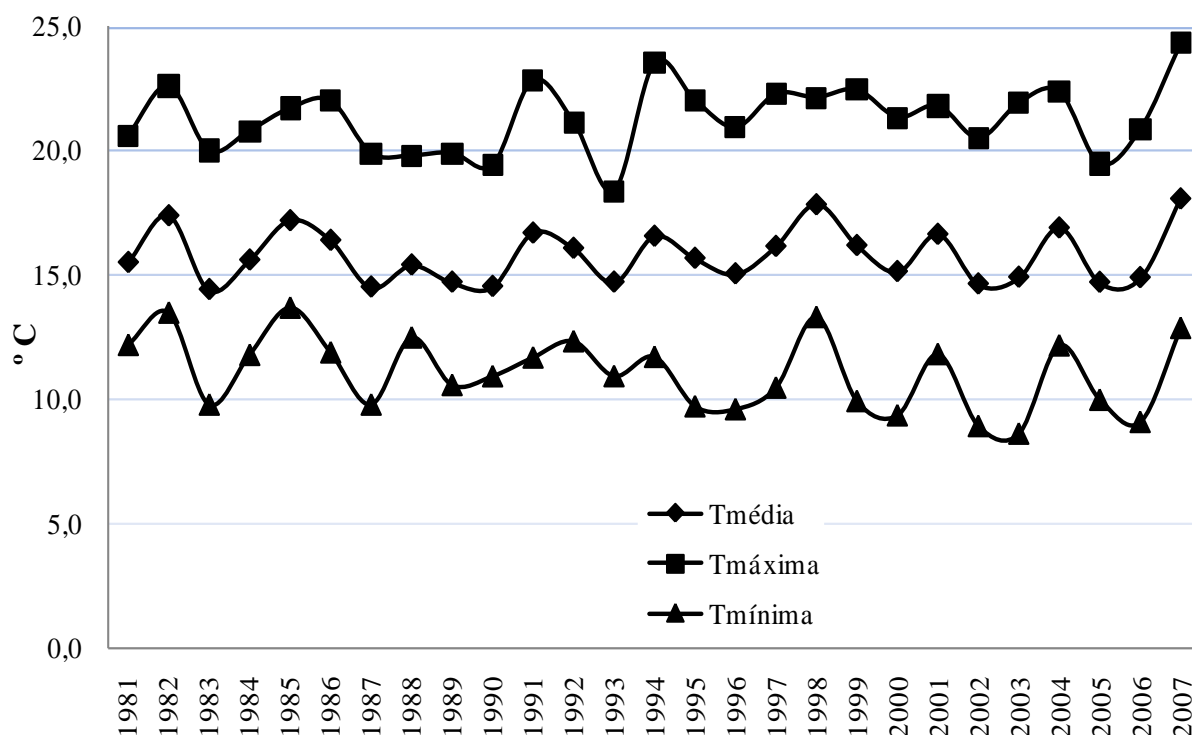


Figura 5 - Temperatura do ar média, máxima e mínima do mês de setembro de 1981 a 2007 na EEA/UFGRS, Eldorado do Sul, RS

Em outubro (Figura 6) a oscilação na média das temperaturas máximas e médias foi ainda menor que as observadas no mês de setembro (Figura 5). As médias das temperaturas mínimas, no entanto, foram ligeiramente superiores, apresentando diferenças de até 6 °C nos anos de 1990, 1995, 2002 e 2004. Da mesma forma que nos meses anteriores, as médias das temperaturas no mês de outubro não apresentaram tendência de alteração, a um nível de significância de 5%.

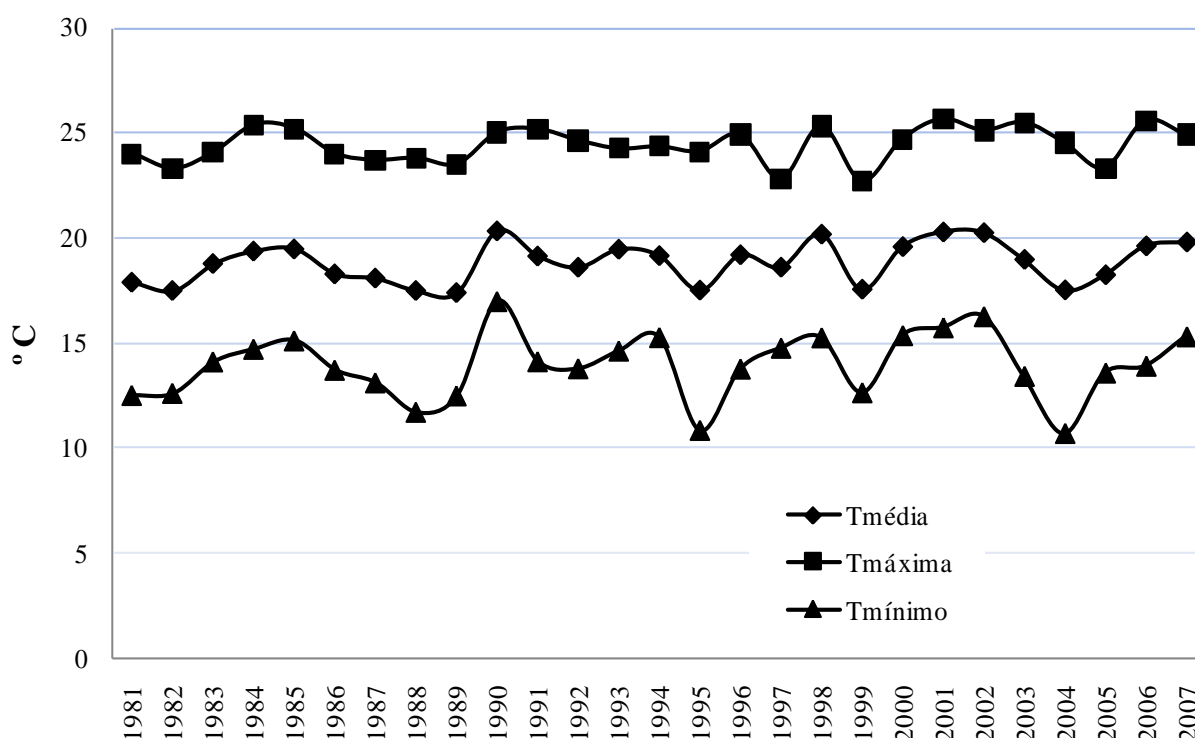


Figura 6 - Temperatura do ar média, máxima e mínima do mês de outubro de 1981 a 2007 na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS

A variabilidade da temperatura do ar pode ser ilustrada, ainda, pelo seu desvio padrão. Na Figura 7 pode-se verificar que as maiores variações nas médias mensais da temperatura do ar ocorrem durante o período de outono – inverno, nos meses de maio a agosto. Estes dados representam, em conjunto as variações mês a mês da média das temperaturas máximas, médias e mínimas discutidas anteriormente. As maiores variações foram das médias das temperaturas mínimas, quando o valor do desvio padrão chegou próximo de 2,3 °C, nos meses de maio a agosto. Os menores valores de desvio padrão foram observados nos meses de dezembro e janeiro, calculados em 0,8 e 0,7 °C aproximadamente.

A variação do desvio padrão, acompanhada da ausência de tendência sobre a temperatura do ar são indicativos do aumento nos extremos climáticos. O desvio padrão da temperatura média no mês de janeiro demonstra que, existe uma probabilidade de 68% de ocorrência de temperaturas entre 25 e 23,6 °C (média do mês, 24,3 °C). No entanto, no mês de maio, a mesma probabilidade está associada à ocorrência de temperaturas entre 13,8 e 18,4 °C (média do mês, 16,1 °C). Esta análise está baseada nos pressupostos da distribuição normal, a qual define que aproximadamente 68% dos valores de dada população estão no intervalo de um desvio padrão acima e abaixo de sua média (CALLEGARI-JACQUES, 2003). Assim, os meses de inverno representam o período de maiores oscilações sobre a temperatura do ar, incorrendo em maiores riscos de frustrações para as culturas desta época.

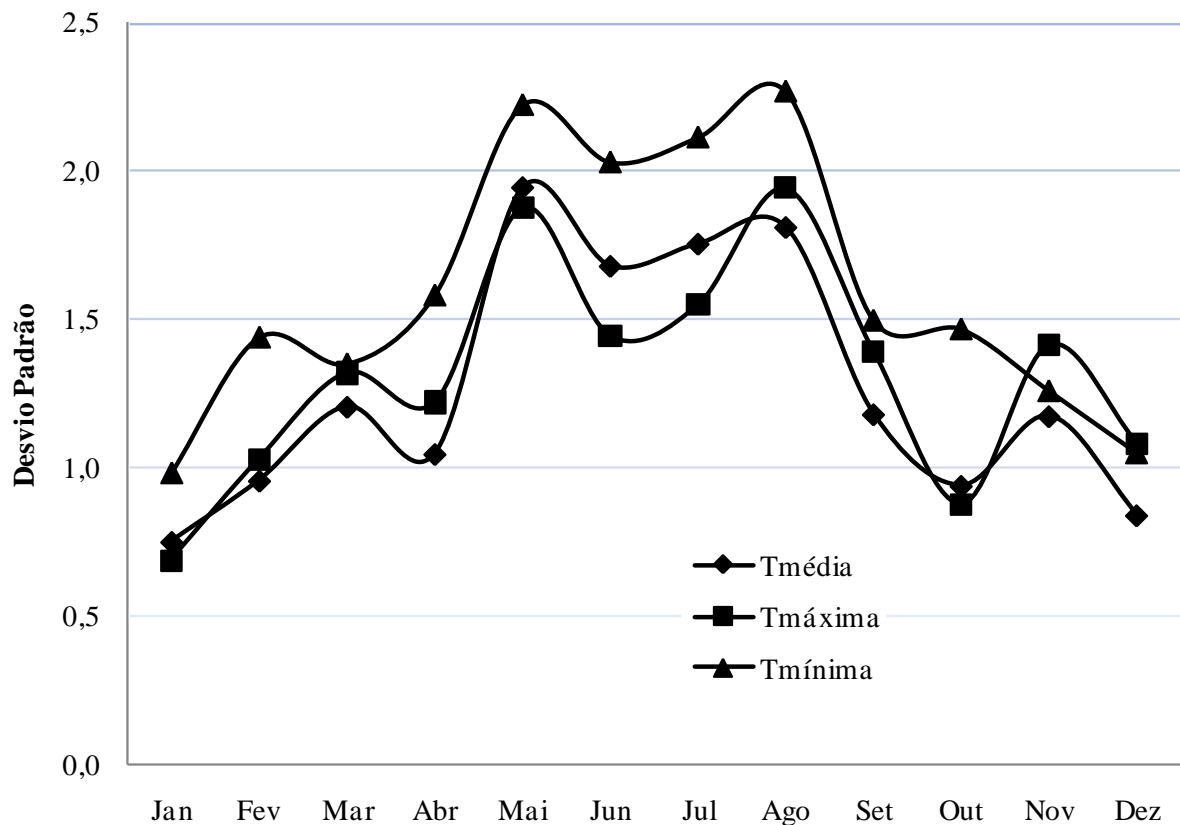


Figura 7 - Desvio padrão da temperatura média, máxima e mínima de 1970 a 2007, para cada mês do ano na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul - RS

Na Figura 8 é possível observar a ocorrência de anos neutros ou com a presença de eventos de El Niño ou La Niña durante 130 anos, de 1877 a 2007. Nesta série, verifica-se a redução, nos subperíodos de 26 anos, de anos neutros em detrimento da maior ocorrência de El Niño.

Genericamente, a ocorrência de El Niño no Brasil é associada a alterações no regime de precipitação pluvial. Apesar da relevância do componente hídrico, especialmente para as regiões áridas do Norte e Nordeste, o aumento na temperatura média pode ser crucial, especialmente se estiver associado a períodos críticos, como florescimento e enchimento de grãos, por exemplo, quando pode provocar perdas de produção (PINTO *et al.*, 2005; MUNDSTOCK, 1983).

Apesar de não haver consenso sobre a correlação dos eventos de El Niño e La Niña com o aquecimento global (HANSEN *et al.*, 2006; COBB *et al.*, 2003), observou-se aumento em sua frequência nos últimos anos. Anos neutros, que representavam aproximadamente 60% dos anos no sub-período de 1877 a 1902 passaram a representar pouco mais de 10% de 1981 a 2007 (Figura 8). Em contrapartida, eventos de El Niño, que ocorreram em cerca de 30% dos anos no subperíodo de 1877 a 1902, dobraram sua participação (60%) nos últimos 26 anos (Figura 8). O aumento na ocorrência destes eventos pode estar contribuindo para maior variação da temperatura média mínima, como mostra a Figura 7.

No Estado do Rio Grande do Sul o efeito dos eventos de El Niño e La Niña sobre a temperatura foram descritos por Berlato e Fontana (2003). Observou-se que, para ambos os eventos climáticos, os efeitos tendem a serem maiores para temperatura média mínima, a qual apresenta as maiores oscilações. Em anos de La Niña, a maioria dos meses do ano apresenta anomalia negativa (mais frio), mas com destaque para outubro e novembro, meses em que as anomalias negativas médias chegam próximas a 1,5°C.

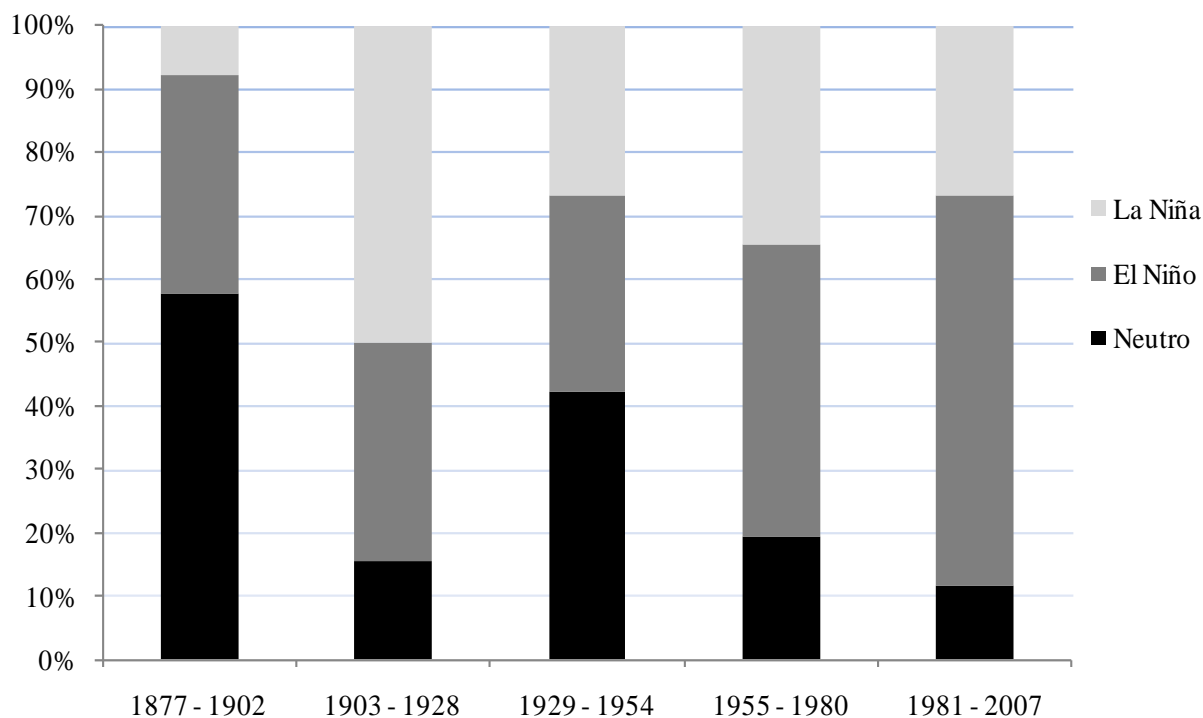


Figura 8 - Ocorrência relativa de anos Neutros, de El Niño e La Niña de 1877 a 2007, divididos em sub-períodos de 26 anos cada.

Fonte: Climate Prediction Center (2008).

Em anos de El Niño, há uma forte tendência das temperaturas médias mínimas serem superiores às das dos neutros de maio a junho (BERLATO; FONTANA, 2003). Tal período coincide, em parte, com o de maior variação na temperatura de maio a agosto, demonstrada pelo desvio padrão na Figura 7.

Apesar de os dados apresentados não indicarem tendência de aquecimento no período, são reveladores, uma vez que apontam na direção do aumento dos extremos climáticos, os quais caracterizam um ambiente mais instável e, portanto, de maior risco à atividade agrícola.

Na Figura 9 é possível verificar a grande variabilidade da temperatura média anual, quando comparada com a média da temperatura no período (anomalia). A grande variabilidade nos anos, no entanto, não caracteriza tendência, de elevação ou declínio na temperatura do ar, a um nível de significância de 5%. A média das temperaturas médias no período de 38 anos foi de 18,8 °C e equivale ao valor 0,0 °C do gráfico. Os maiores valores de amplitude térmica foram positivos, ou seja, com temperaturas superiores à média do período. Os anos mais quentes foram 1973 e 1998, com anomalias pouco superiores a 1 °C. Em contrapartida, o ano mais frio foi 1976, com média das temperaturas médias de aproximadamente 0,9 °C abaixo da média de toda série histórica.

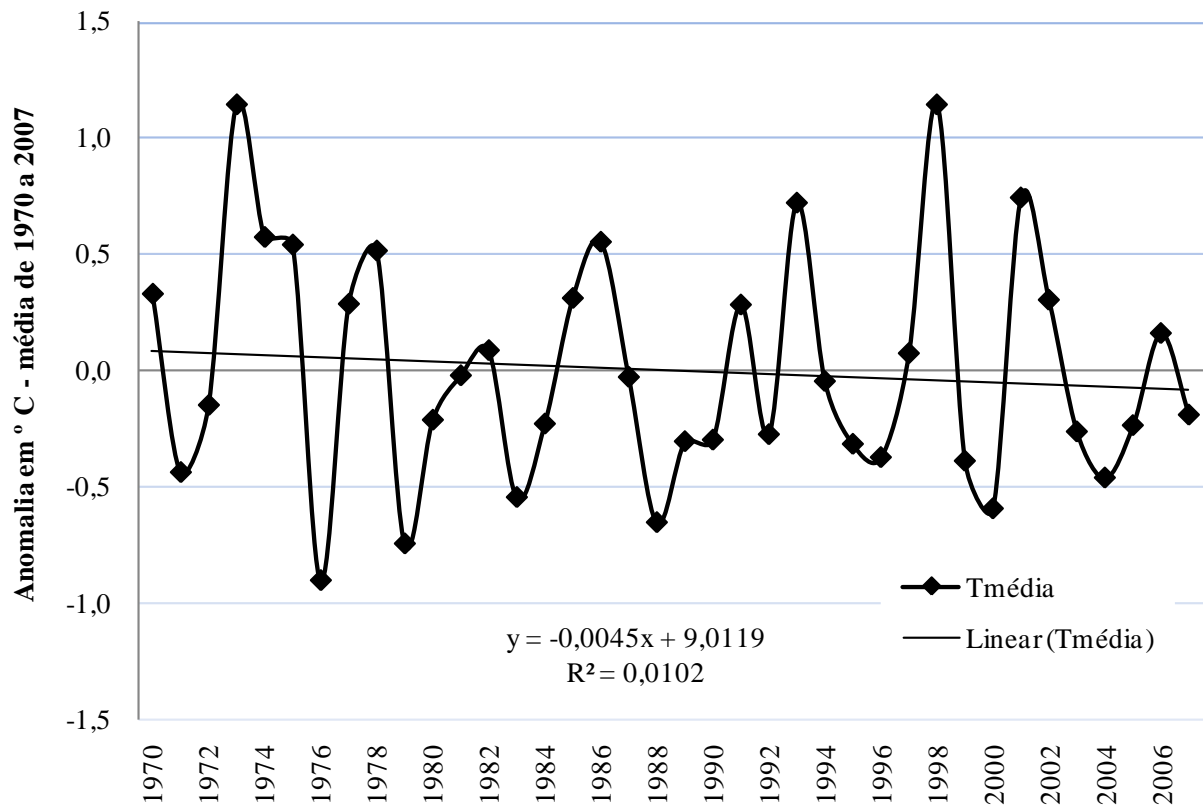


Figura 9 - Anomalia da temperatura média anual de 1970 a 2007 em relação à média da temperatura de todo o período na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul - RS

Ao contrário do padrão observado para anomalia da média das temperaturas médias, a média das temperaturas máximas apresentou tendência de elevação significativa ao nível de 5%, para a série de 38 anos. O coeficiente de determinação (R^2) de 22% indica o grau de ajustamento da reta aos valores observados (Figura, 10). É possível observar que houve anomalias negativas na primeira metade do período, seguidas de anomalias positivas na segunda metade. A média das temperaturas máximas foi de 24,5 °C e equivale ao valor de 0,0 °C no gráfico. A menor média das temperaturas máximas ocorreu no ano de 1983, quando a anomalia negativa foi de 0,9 °C aproximadamente. A maior média das temperaturas máximas, em contrapartida, ocorreu em 2002 e também foi da ordem de 0,9 °C. Observa-se que, dos últimos 13 anos, somente 2000 apresentou temperatura abaixo da média do período, sendo que todos os demais apresentam anomalias positivas.

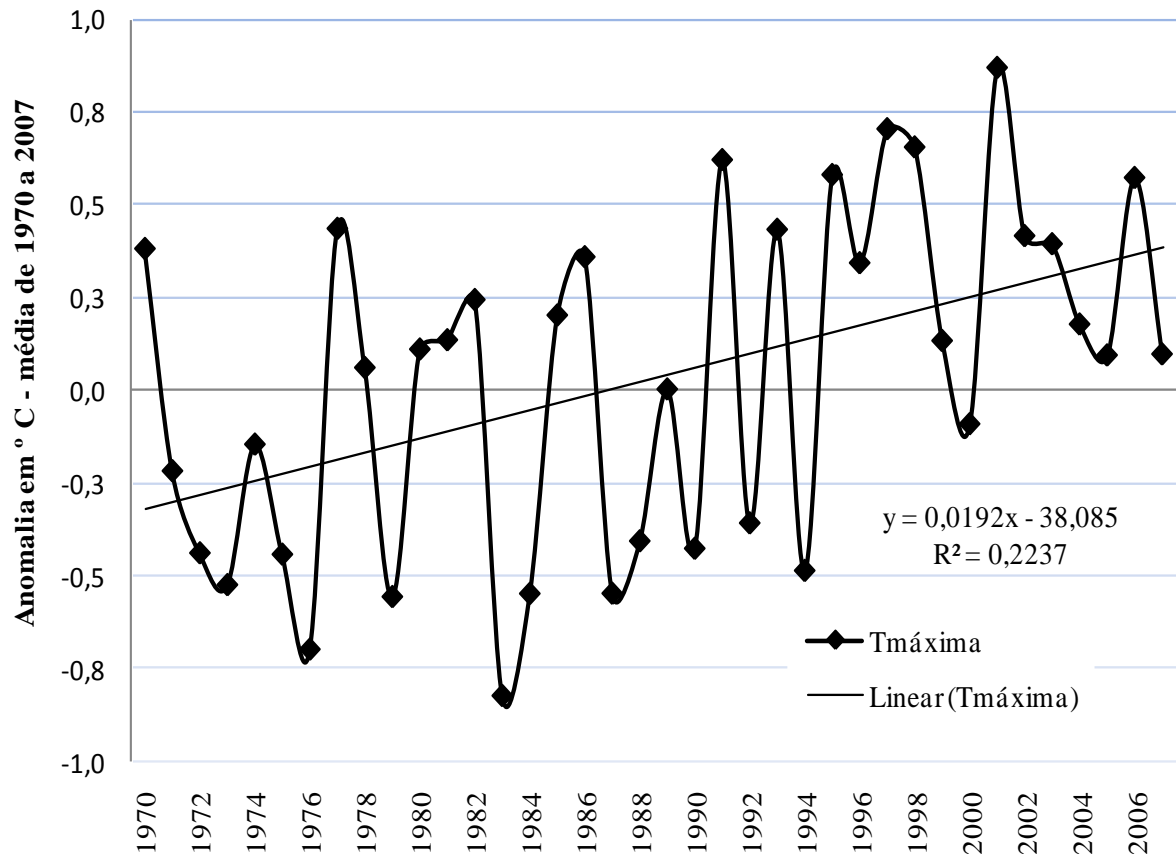


Figura 10 - Anomalia da temperatura máxima anual de 1970 a 2007 em relação à média da temperatura máxima de todo o período na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul - RS

Da mesma forma, a média das temperaturas mínimas do ar (Figura 11) apresentou tendência de declínio significativo ao nível de 5%, ao longo do período analisado. No entanto, ao contrário da temperatura máxima, essas tendem a declinar com o passar do tempo. Esses resultados explicam a ausência de tendência sobre a média das temperaturas médias (Figura 9). Como os resultados apresentam tendências opostas para a média das temperaturas máximas e mínimas, os mesmos se compensam e reduzem a tendência de alteração na média das temperaturas médias, na série histórica analisada. A média das temperaturas mínimas anuais foi de 13,9 °C e apresenta as maiores oscilações entre os anos. A maior média das temperaturas mínimas ocorreu em 1993, quando foi 2,0 °C superior, e a menor ocorreu em 1996, quando foi 1,5 °C inferior à média das temperaturas mínimas de toda série. Apesar da grande variação da temperatura mínima, observa-se que, até 1987, a variação ou oscilação em torno da média não passou de 0,5 °C negativos. A partir de 1988 as oscilações negativas alcançaram 1,5 °C, no mínimo três vezes inferiores aos anos precedentes.

As médias anuais da temperatura média, máxima e mínima para os meses de maio a outubro não apresentaram tendência de alteração ao nível de 5% de significância. Este

resultado pode estar associado à maior variabilidade da temperatura no período (Figura 7), o que reduz a probabilidade de tendência, seja de elevação ou declínio da temperatura do ar.

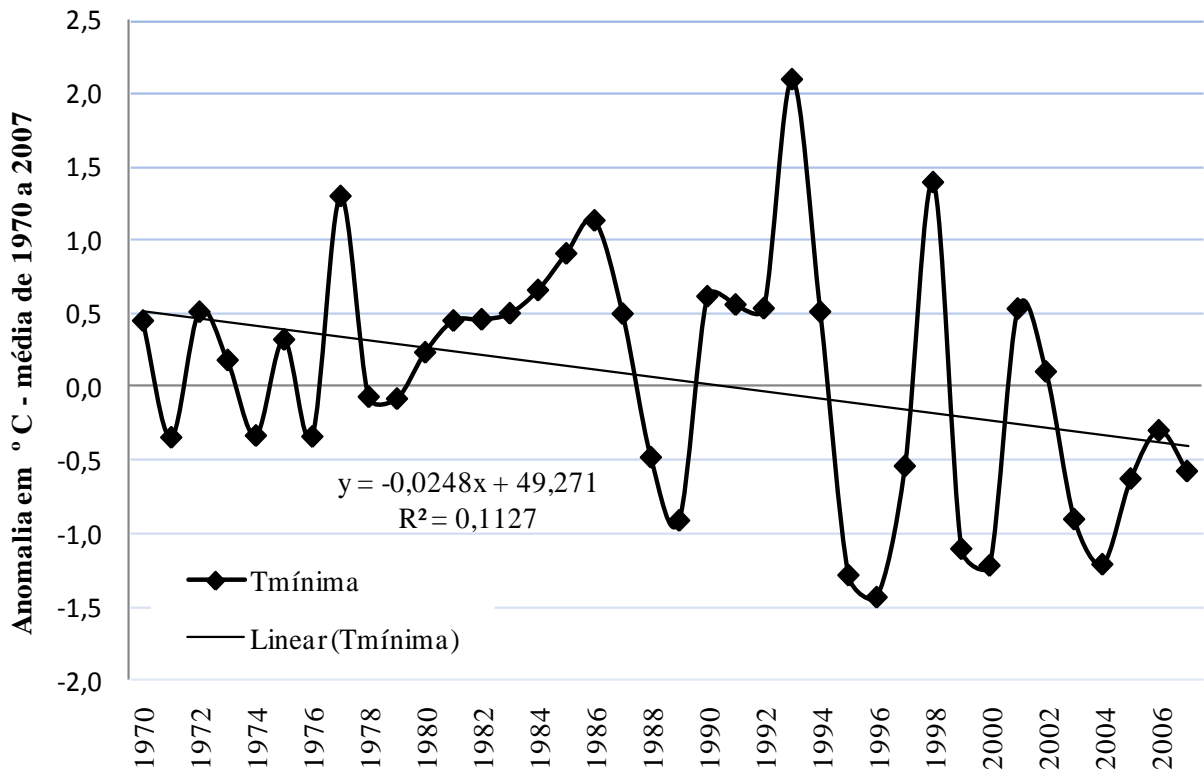


Figura 11 - Anomalia da média da temperatura mínima anual de 1970 a 2007 em relação à média da temperatura mínima de todo o período na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul - RS

Por outro lado, o transcurso anual da temperatura máxima e mínima, a partir do início da década de 1990, levantou a hipótese de uma possível influência da substituição da estação meteorológica convencional pela automática, ocorrida em meados daquela década.

A utilização de estações meteorológicas automáticas vem crescendo, pela sua praticidade no gerenciamento de um número maior de variáveis em tempo real e com elevados níveis de precisão (SOUZA; GALVANI; ASSUNÇÃO, 2002). Por este motivo, séries históricas iniciadas por dados de estações meteorológicas convencionais e encerradas por estações meteorológicas automáticas parece estar crescendo. Trabalhos que utilizaram temperaturas médias (fórmula compensada), máximas e mínimas do ar indicaram existir alta concordância entre valores gerados por ambas as modalidades de estações meteorológicas (SOUZA; GALVANI; ASSUNÇÃO, 2002; 2003; CUNHA; MARTINS, 2004; PEREIRA *et al.*, 2008). No entanto, algumas restrições são feitas para a temperatura média de acordo com

o método de cálculo utilizado em estações meteorológicas convencionais (SENTELHAS *et al.*, 1997).

Quando analisados conjuntamente, o período que compreende a coleta de dados na estação meteorológica convencional (1970 a 1994) apresenta resultados distintos do período cujos dados foram coletados na estação meteorológica automática (1995 a 2005) para temperatura máxima e mínima. Na Tabela 1 verifica-se que as correlações entre os valores da temperatura média (Tmed) e anomalia da temperatura média (ATmed) não foram significativos em nenhum período. No entanto, para as temperaturas máximas e mínimas (Tmax e Tmin) e anomalia da temperatura máxima (ATmax) e mínima (ATmin) as correlações foram significativas ao nível de 5% e 1%, para as variáveis ano e binária respectivamente (Tabela 1). Estes resultados apontam para intensificação da correlação entre a temperatura máxima e mínima no final do período de análise e, quando os dados foram obtidos a partir da estação meteorológica automática.

Tabela 1- Correlação entre a temperatura média, máxima e mínima (Tmed, Tmax e Tmin) e a anomalia da temperatura média, máxima e mínima (ATmed, ATmax e ATmin) de 1970 a 2007 na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.

VARIÁVEIS	ANO	BINÁRIA
Tmed	-0.106 ^{ns}	-0.061 ^{ns}
Tmax	0.467 [*]	0.564 ^{**}
Tmin	-0.332 [*]	-0.544 ^{**}
ATmed	-0.100 ^{ns}	-0.057 ^{ns}
ATmax	0.467 [*]	0.564 ^{**}
ATmin	-0.326 [*]	-0.538 ^{**}

ns – não significativo

* significativo a 5%

** significativo a 1%

Na Tabela 2 observa-se que, para as anomalias da temperatura média a regressão não foi significativa em nenhum período, o que está de acordo com os resultados apresentados pela Figura 9, a qual faz referência ao período de 1970 a 2007. No entanto, para as temperaturas e anomalias das temperaturas máxima e mínima, os resultados demonstraram ser distintos (Tabela 2). Os efeitos de ano não apresentaram resultado significativo, porém, verificou-se o oposto para a temperatura e anomalia das temperaturas máxima e mínima. A temperatura máxima apresentou tendência de elevação ao nível de significância de 5%, enquanto que a temperatura mínima apresentou tendência de declínio ao nível de 1% de significância. Estes resultados demonstram que nos últimos anos houve um aumento das temperaturas (e anomalias) máximas e mínimas (Tabelas 1 e 2, e Figuras 10 e 11).

Tabela 2 – Regressão da temperatura média, máxima e mínima (Tmed, Tmax e Tmin) e da anomalia da temperatura média, máxima e mínima (ATmed, ATmax e ATmin) de 1970 a 2007 na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.

VARIÁVEL	R ²	B		SIGNIFICÂNCIA DE B ¹	
		Ano	Binária	Ano	Binária
Tmed	0.013	-0.171	0.069	ns	ns
Tmax	0.319	0.10	0.556	ns	*
Tmin	0.336	0.353	-0.834	ns	**
ATmed	0.012	-0.165	0.079	ns	ns
ATmax	0.319	0.10	0.556	ns	*
ATmin	0.331	0.358	-0.832	ns	**

1 - significância do teste t para b = 0

Apesar da satisfatória concordância entre os resultados gerados pelas estações meteorológicas convencionais e automáticas, especialmente em se tratando das temperaturas máximas e mínimas, os resultados dão indícios de que a alteração do equipamento de coleta de dados possa ter influenciado os resultados da temperatura do ar pela diferença observada nos últimos anos da série (Tabela 2). As alterações verificadas podem se atribuídas a um conjunto de fatores. Estes podem ser inerentes à troca de equipamento, o tipo de abrigo em que se encontram os sensores, sua localização em relação ao solo, à mudança no sistema de coleta e cálculo dos dados finais, à possibilidade de falhas humanas no sistema convencional, entre outros. Por outro lado, é importante considerar que a EEA/UFRGS preserva suas características naturais em termos de vegetação, sendo que ambas as estações meteorológicas (convencional e automática) foram mantidas distantes de obstáculos ou outros fatores que pudessem alterar o balanço energético e o regime de ventos em micro-escala. A maior precisão e confiabilidade na coleta de dados pela estação meteorológica automática dão indícios de que as variações na temperatura do ar vêm se intensificando nos últimos anos. Tais resultados estão de acordo com os apresentados pelo IPCC (2007ab).

Os resultados ainda demonstram a importância de considerar, nas análises de séries históricas, alterações de equipamentos ou método de coleta e cálculo da temperatura do ar em estudos de tendências de variação deste elemento.

Apesar de não apontarem para aumento da temperatura média, como seria esperado, os resultados apresentados são coerentes com as perspectivas de mudanças climáticas. Tal condição se justifica pela ampliação dos extremos de temperatura que, apesar de não impactarem diretamente a temperatura média, incorrem em severos impactos sob os cultivos, pela grande instabilidade climática entre anos.

Steinmetz *et al.* (2007) e Siqueira *et al.* (2007) verificaram aumento das temperaturas mínimas e máximas do ar de 1893 a 2006 e 1951 a 2006 respectivamente, para o município de Pelotas, RS. De acordo com Althaus e Berlato (2007) o transcurso da temperatura mínima anual apresentou tendência de elevação para maior parte das regiões do Estado do Rio Grande do Sul de 1936 a 2000. Porém, em parte das regiões da Depressão Central e da Campanha, as temperaturas mínimas declinaram sem, no entanto, apresentarem tendência significativa. Os resultados indicam que, embora haja uma tendência geral de elevação das temperaturas mínimas no Estado do Rio Grande do Sul, é possível que algumas regiões apresentem padrões distintos, como é o caso da Depressão Central. Adicionalmente, indicam existir tendências diferenciadas do clima para diferentes regiões do Estado, o que alerta para o perigo de possíveis generalizações sobre o mesmo, o que destaca a importância de estudos que, na medida do possível, descrevam regionalmente as alterações do clima.

Os resultados apresentados permitem comprovar a primeira hipótese do trabalho, uma vez que atestam a existência de mudança climática, caracterizada pelo aumento dos extremos térmicos. Ao contrário do esperado, nenhuma tendência foi verificada para temperatura média. É possível, que o descompasso com as tendências globais esteja relacionado ao fato de que, a maior parte dos trabalhos contemplados pelo IPCC foi realizada em regiões de clima temperado. Essas regiões podem estar apresentando uma resposta, ao menos em parte, distinta daquelas sob clima tropical e subtropical. Por outro lado, a série histórica analisada é relativamente curta (38 anos), o que limita a generalização das tendências obtidas.

4.2 SÉRIE FENOLÓGICA

Os resultados da análise sobre a fenologia da cultura da aveia demonstraram haver tendência de redução do número de dias da emergência ao florescimento – DEF, porém, somente para as cultivares mais tardias ao nível de significância de 5%. Nenhuma tendência foi observada para as cultivares mais precoces e testemunhas (Figura 12). Percebe-se que, a partir do início da década de 1990, a redução do número de dias da emergência ao florescimento das variedades mais tardias foi de aproximadamente 30 dias.

Apesar da redução no DEF, é pouco provável ainda, que a principal causa tenha sido o aumento da temperatura no período. Nos ensaios de cultivares foram acrescentados novos

genótipos, assim como o descarte de outros, principalmente de cultivares mais tardias. A aproximação das curvas, a partir do início da década de 1990, seria um indicador da predominância de cultivares com genótipos mais precoces, ou seja, a gradativa eliminação daquelas com ciclo mais longo. Esse processo se deu, basicamente, pela inserção da cultura da aveia em sistemas de produção com duas culturas agrícolas por ano. Este processo foi fundamental para a consolidação da aveia principalmente no sistema de plantio direto, rotação de culturas e na integração lavoura-pecuária.

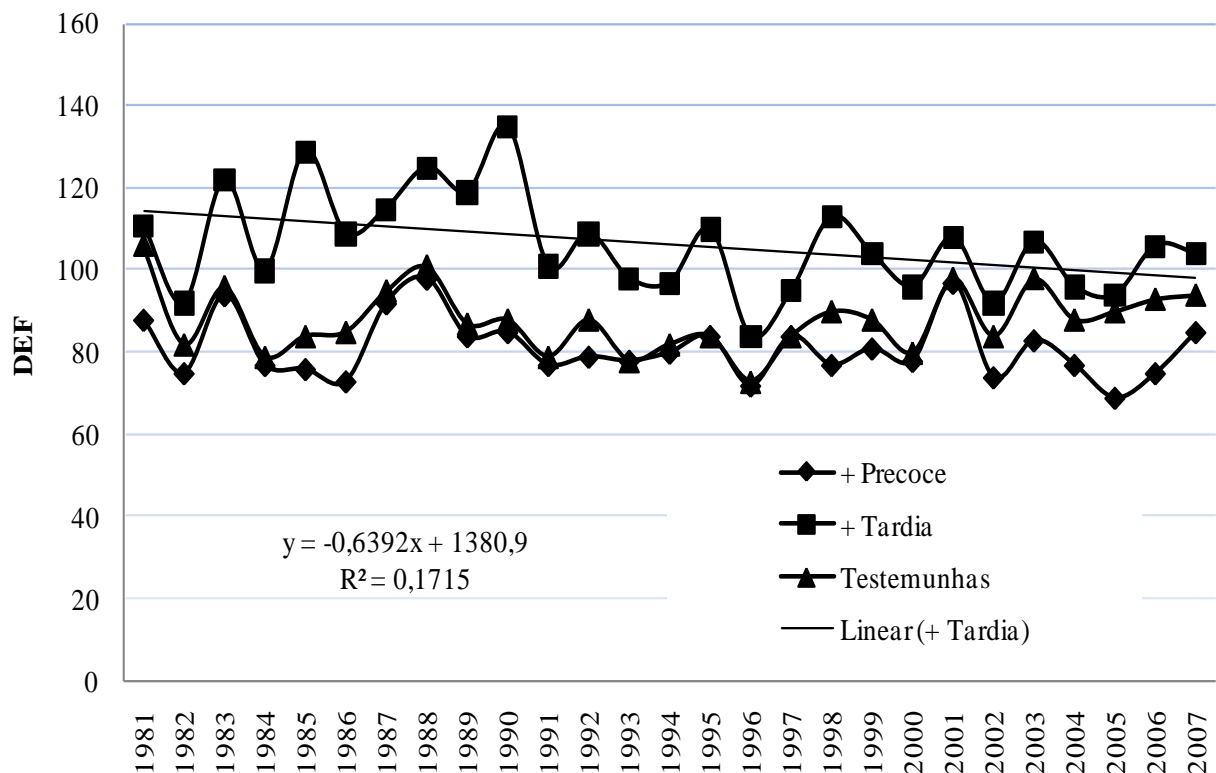


Figura 12 - Dias da emergência ao florescimento – DEF da aveia, para as cultivares mais precoces, mais tardias e testemunhas no período de 1981 a 2007 na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul - RS

Embora tenha ocorrido a substituição de cultivares com ciclos mais tardios, observa-se considerável variabilidade no período. Esse fato se justifica pela variabilidade interanual da temperatura média que, assim como o DEF, não apresentou nenhuma tendência. Essa implica em oscilações no ciclo das culturas, as quais podem adiantar ou atrasar etapas do seu desenvolvimento, de acordo com o transcurso da temperatura média do ar. Na Figura 12 percebe-se que, para as cultivares precoce e testemunhas ocorreu uma variação de aproximadamente 20 dias, entre os anos 1982 e 1983. Oscilações deste tipo podem

comprometer a produção pela exposição da cultura a períodos climáticos adversos (frio ou calor excessivos), além de requererem maior grau de gerenciamento das variáveis climáticas.

A variação da soma térmica no mesmo período é semelhante ao DEF (Figura 13). Como se nota, houve redução da soma térmica para as cultivares mais tardias, com aproximação das curvas no terço final do período. Assim como para o DEF, a análise de regressão apresenta tendência significativa de redução da soma térmica para as cultivares mais tardias. Este resultado corrobora para a constatação de que genótipos mais tardios vêm sendo descartados, com conseqüente redução na necessidade térmica para a floração.

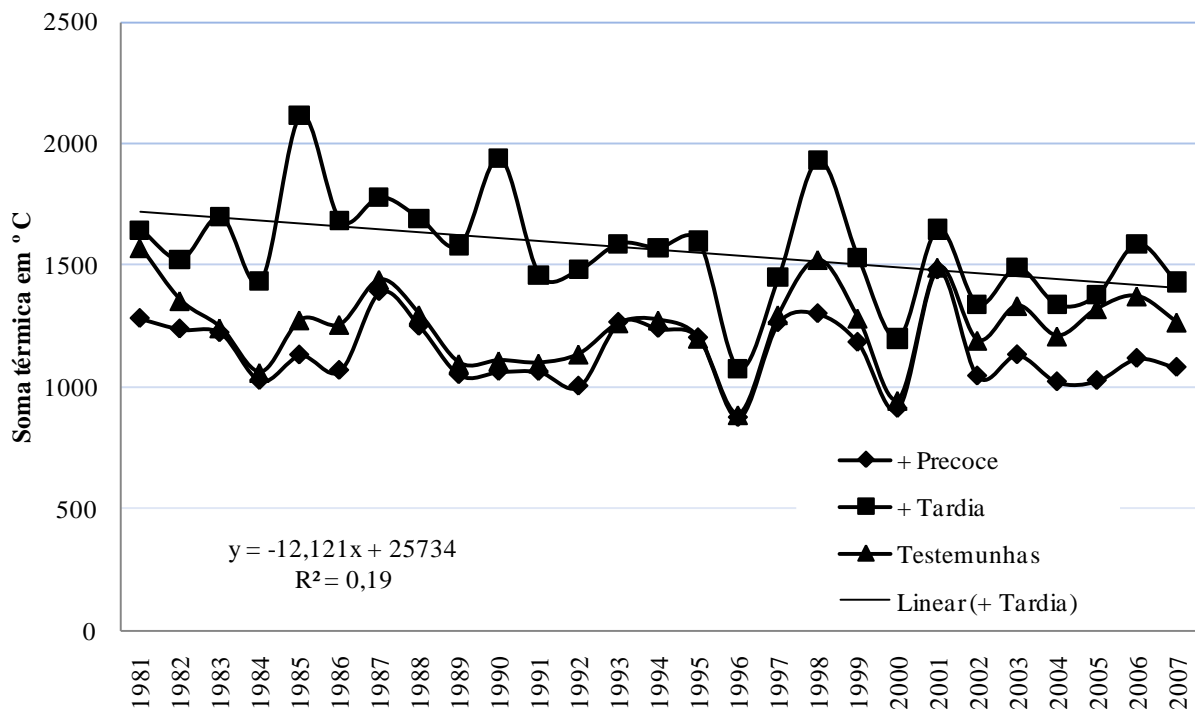


Figura 13 - Soma térmica acumulada durante os meses que compreendem a emergência ao florescimento das cultivares mais precoces, mais tardias e testemunhas de 1981 a 2007 na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS

A substituição de genótipos, descrita para as cultivares mais tardias também foi observada nas mais precoces. Estas, no entanto, pouco se modificaram em relação à sua precocidade, visto que, ao longo do período, poucas alterações foram observadas tanto no DEF quanto na soma térmica. Diferentemente, nas testemunhas, poucas alterações de genótipo foram observadas no período de análise. A cultivar UFRGS7 foi utilizada como testemunha nos ensaios de 1983 a 2000, totalizando 18 anos consecutivos. Mesmo neste caso, onde o mesmo genótipo foi preservado nos ensaios por aproximadamente 2/3 do período de observação, nenhuma tendência foi constatada. Tais resultados indicam que as alterações climáticas não resultaram em tendência de adiantamento ou atraso da fenologia da cultura da

aveia. No entanto, incorreram em significativas variações interanuais no DEF, as quais, em alguns anos, foram superiores a 20 dias (Figura 12). Esses resultados são coerentes com os de temperatura, os quais demonstram não haver tendência de alteração sobre a temperatura média nos meses de desenvolvimento da aveia, porém elevadas variações interanuais. Assim como o DEF, a soma térmica apresentou variações interanuais, as quais refletem basicamente, as oscilações da temperatura média no período.

A relação entre o DEF e a soma térmica é representada pela Figura 14. Essa demonstra correlação forte, direta e significativa ao nível de 5%. Este resultado destaca a importância da variabilidade térmica interanual nos meses mais frios (maio a outubro) e seus impactos sobre a fenologia das culturas de inverno. Isso implica em possíveis alterações no calendário agrícola, pela modificação do ciclo das culturas, as quais responderiam às oscilações na temperatura média do ar. Embora o valor elevado do coeficiente de correlação ($r = 70\%$), esta análise demonstra que há outras causas de variação de DEF, além de possíveis erros de método e coleta de dados no campo.

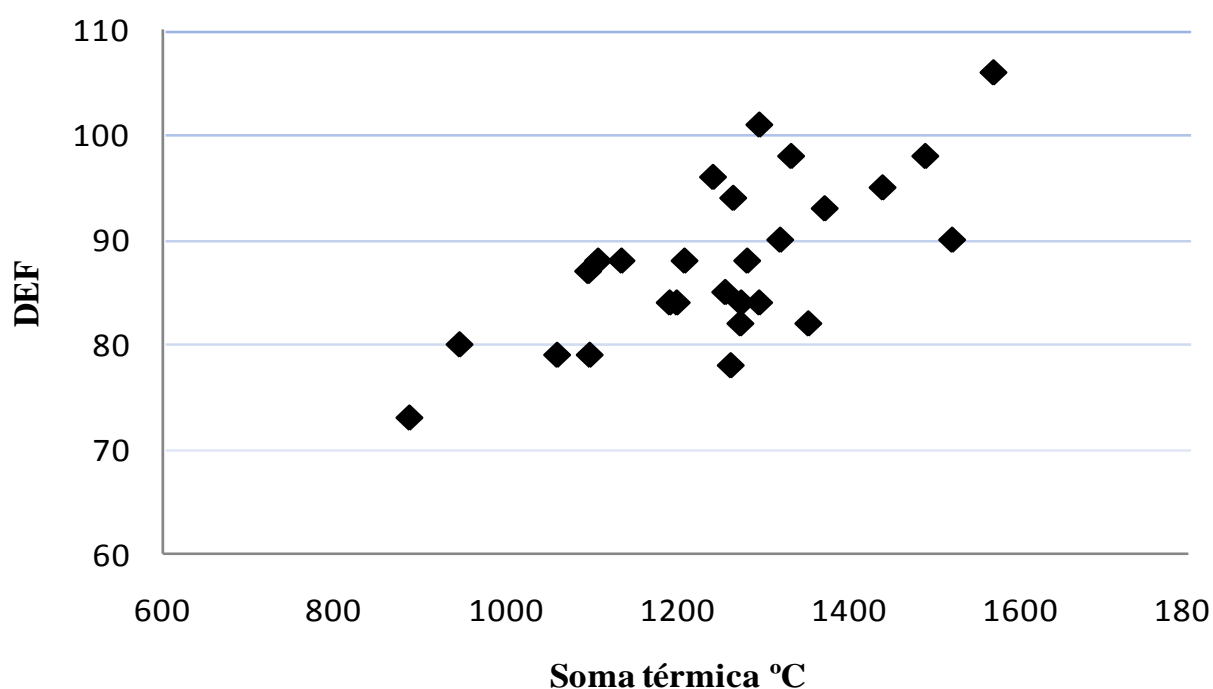


Figura 14 -Relação entre o número de dias da emergência ao florescimento – DEF e a soma térmica para as cultivares testemunhas de aveia de 1981 a 2007, EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS

O método direto (MOTA, 1983) de estimação da soma térmica desconsidera temperaturas basais para cereais de inverno, entre 0 e 4 °C aproximadamente, as quais podem

causar a paralisação do desenvolvimento, atrasando o ciclo das culturas. Por outro lado, embora as cultivares sejam todas de primavera, um provável processo de vernalização pode interferir nas relações entre a fenologia da cultura e as disponibilidades térmicas. Este pode ocorrer em alguns genótipos, que reduzem sua necessidade de calor para o florescimento após receberem exposição ao frio no estágio de plântula. Variedades que dependem deste processo para o florescimento são chamadas “de inverno”, que se diferenciam das variedades “de primavera”, pois estas não respondem ou têm baixa resposta à vernalização (BERGAMASCHI, 2007).

As cultivares de aveia utilizadas no Sul do Brasil são de primavera. No entanto, alguns genótipos podem apresentar resposta ao tratamento de frio, incorrendo em possíveis alterações no seu ciclo. Deve-se considerar ainda, na análise de correlação apresentada (Figura 14), o efeito da substituição de genótipos ao longo do período. Apesar desse problema ser menor para variedades testemunhas é importante, uma vez que genótipos diferentes têm respostas distintas à soma térmica, podendo ser mais precoces ou mais tardios. O conhecimento destas variáveis deve ser levado em consideração quando da utilização de indicadores fenológicos para alterações no clima, permitindo, assim, maior confiabilidade aos resultados encontrados.

Os resultados apresentados para a fenologia da cultura da aveia permitem confirmar a segunda hipótese. Apesar de não haver tendência, as variações interanuais no ciclo da cultura (DEF) demonstram efeitos da variabilidade térmica. Estes incorrem em alterações no calendário agrícola, pelo atraso ou antecipação no ciclo das culturas de inverno.

As análises de regressão realizadas apresentaram desempenho adequado nos testes de homocedasticidade, linearidade e autocorrelação, não comprometendo os resultados ou a sua discussão.

4.3 INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS E O CULTIVO DA AVEIA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

4.3.1 Melhoramento genético

Os programas de melhoramento genético tiveram importante contribuição no progresso técnico da cultura da aveia. A Tabela 3 demonstra tal progresso, pela substituição de genótipos ao longo do período de 1981 a 2007.

A substituição das cultivares ao longo dos anos teve objetivos diversos. O número de dias da emergência ao florescimento (DEF) foi alterado devido à sua importância, principalmente para as cultivares tardias. Na Tabela 3 observa-se que, até aproximadamente metade do período (1993), 78% das cultivares tardias tinham DEF superior a 100 dias, enquanto que, para o restante do período esta participação se reduziu a 50%. Esta constatação pode ser visualizada na Figura 12, que apresenta a tendência de declínio de DEF das cultivares mais tardias. A alteração do ciclo de desenvolvimento da aveia foi fundamental para sua inserção num sistema de produção com duas culturas por ano (LOCATELLI et al., 2006). Esta condição viabilizou a consolidação da aveia no sistema de plantio direto, como rotação de cultura, cobertura do solo e/ou integração lavoura-pecuária.

Tabela 3 - Evolução das cultivares precoces e tardias de aveia e o número de dias da emergência ao florescimento (DEF) de 1981 a 2007 na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS

ANO	CULTIVARES		DEF		RENDIMENTO kg ha ⁻¹
	Precoces	Tardias	Precoces	Tardias	
1981	UPF77S030	UPF77S039	88	111	1028
1982	UPF77S030	UPF77291	75	92	549
1983	UFRGS81A02	UFRGS79A03	94	122	991
1984	UFRGS82A06	CORONADO	77	100	967
1985	UFRGS82A06	UFRGS-2 (T)	76	129	1100
1986	UFRGS-8(UFRGS82A06)	CORONADO	73	109	969
1987	UFRGS-8(UFRGS82A06)	UPF-8	92	115	1201
1988	UFRGS-8	UPF-2	98	125	1100
1989	UFRGS861604	UPF87S097	84	119	1100
1990	UFRGS-8	UPF-9	85	135	1490
1991	UFRGS-8	UPF-10	77	101	1500
1992	UFRGS-8	UPF-10	79	109	1092
1993	UFRGS-7(T)	UPF-10	78	98	1080
1994	UFRGS-14	UPF-10	80	97	961
1995	UFRGS7	UPF7	84	110	1561
1996	UFRGS-17	UPF-14	72	84	1065
1997	UFRGS-7	UPF-7	84	95	1187
1998	IAC-7	UPF-7	77	113	1577
1999	UFRGS-19	UPF-7	81	104	1595
2000	IAC-7	UPF-7	78	96	1694
2001	UFRGS-16	UPF-15	97	108	1550
2002	UPF22-TEMPRANA	CFT-2	74	92	1880
2003	URS-22	UFRGS-15	83	107	1885
2004	UPF-19	UPF-18	77	96	1990
2005	UPFA-22	UPF-18	69	94	2000
2006	UPFA-22	UPF-18	75	106	1450
2007	UPFA-22 TEMPRANA	UPF-18	85	104	1920

Além da alteração de ciclo, o melhoramento genético contribuiu para o aumento do rendimento das cultivares ao longo do período de 1981 a 2007. A Figura 15 demonstra o progresso no rendimento médio de grãos das cultivares de aveia no Estado do Rio Grande do Sul. De 1981 a 2007 a aveia dobrou seu rendimento de grãos, com tendência de elevação significativa ao nível de 5%. Possivelmente, este processo acompanhou o avanço da área ocupada com a cultura no Sul do Brasil, que passou de 39.800 ha em 1976 para 356.800 ha em 2006 (CONAB, 2008). Além das características produtivas dos genótipos, avanços foram feitos também sobre a resistência a moléstias, rendimento industrial e estatura das cultivares (FLOSS *et al.*, 1985; 2001).

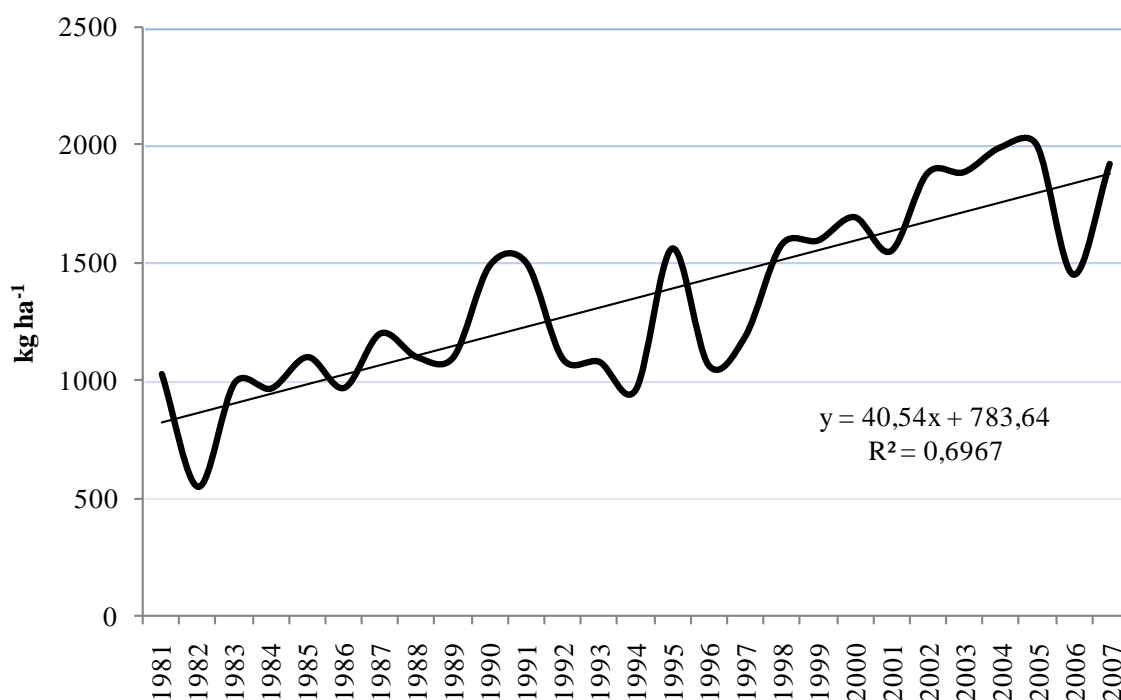


Figura 15 - Evolução do rendimento médio de grãos de aveia no Estado do Rio Grande do Sul, 1981 a 2007
 Fonte: Conab (2008).

No entanto, é possível que o progresso do melhoramento genético nas últimas décadas não tenham tido as mudanças climáticas como principal motivação, para o desenvolvimento de novas cultivares. Em sua grande maioria, a adaptação dos genótipos esteve relacionada à elevação do rendimento de grãos, resistência a doenças e ao sistema de cultivo. Assim, frente às inovações relatadas, não foi possível identificar estratégias adaptativas, sejam elas autônomas ou planejadas (IPCC, 2007b). Embora os dados climáticos apontem para a ampliação de extremos climáticos, através do aumento das temperaturas máximas e redução das mínimas, é muito possível que isto não tenha sido considerado nos programas de melhoramento de aveia no Sul do país.

É preciso levar em consideração, no entanto, que os progressos citados para a cultura da aveia foram realizados em programas de melhoramento convencionais. Estes utilizam métodos que envolvem a seleção dos materiais genéticos no campo, num processo que pode durar até 12 anos, entre a criação de uma cultivar e seu lançamento comercial (WERLAN; NOVAIS, 2007). Neste processo é provável, independentemente do foco do melhoramento, que os materiais com melhor desempenho sejam também os mais adaptados ao clima. As técnicas da biotecnologia visam reduzir o tempo para produção e lançamento da cultivar (5 a 6 anos), basicamente pela eliminação das etapas realizadas no campo. A eliminação completa

ou parcial da seleção de campo pode ser crucial num cenário de aumento da variabilidade climática. Nestas condições, a seleção de cultivares num curto período de tempo (2 a 3 anos) implicaria em maiores riscos, visto que, ao serem lançadas comercialmente, podem encontrar condições climáticas diferentes e, assim, comprometer seu desempenho na lavoura.

O melhoramento convencional, assim, pode ser considerado uma estratégia adaptativa planejada frente às mudanças climáticas. No entanto, esta parece ser uma resposta ainda incipiente frente ao seu potencial, que, neste trabalho é ilustrado pela evolução das cultivares de aveia. Os avanços sobre a genética da aveia, apesar de não terem tido o clima como principal motivação, dão indicativos de que o desenvolvimento da pesquisa permitiu a manipulação dos materiais existentes visando cultivares mais adaptadas e produtivas. Logo, espera-se que avanços também possam ser feitos em relação ao clima.

A habilidade ou potencial em responder às mudanças climáticas, de forma rápida e eficiente, e evitando ao máximo danos e perdas, é conhecida como “capacidade adaptativa”. Para isto, o desenvolvimento tecnológico é considerado aspecto chave em uma sociedade (BROOKS; ADGER; KELLY, 2005).

O sucesso do melhoramento genético, no entanto, dependerá também da velocidade e da intensidade das mudanças climáticas. Mudanças de curto prazo inviabilizam a produção de novas cultivares e, portanto, determinariam perdas aos sistemas agrícolas.

Trabalhos recentes estimam que as perdas do agronegócio brasileiro, podem chegar a R\$ 7,4 bilhões com o aumento da temperatura até 2020 (+ 2 °C), com possibilidade de dobrar em 2070 (+ 5,4 °C). Dentre os cultivos mais afetados a soja e o café ocupam posição de destaque, que poderão representar 40% e 33% das perdas totais, respectivamente. Espera-se que apenas a mandioca e a cana-de-açúcar possam se beneficiar deste cenário. Neste rumo, trabalhos vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de produzir cultivares mais resistentes a altas temperaturas e ao déficit hídrico. Apesar de os estudos estarem avançados, pondera-se que, mesmo resultando em plantas mais resistentes, estas fariam frente ao aumento de, no máximo, 2 °C na temperatura. Acima disso, é pouco provável o sucesso do melhoramento convencional. Como alternativa a essa limitação podem ser utilizados os “transgênicos de segunda geração”, os quais, além de serem tolerantes a alguns tipos de agrotóxicos, ainda teriam adaptação aos estresses ambientais (EMBRAPA; UNICAMP, 2008).

Como inovação tecnológica, o melhoramento genético se caracteriza pelo desenvolvimento de um novo bem ou produto (SCHUMPETER, 1982), o qual é representado

pelas novas cultivares lançadas comercialmente, ano a ano. A estreita relação entre as demandas dos produtores rurais e o processo de P&D, dá indícios de proximidade entre o melhoramento genético e a teoria da inovação induzida – *demand pull*. Segundo esta teoria, a taxa e direção da mudança tecnológica na agricultura seriam determinadas pela integração entre a demanda de produtos e a dotação de fatores (HAYAMI; RUTTAN, 1988). Basicamente, ela representa os efeitos das demandas do mercado, que pressionam os produtores rurais e estes, por sua vez, pressionam as instituições por alternativas tecnológicas mais eficientes, neste caso, cultivares melhoradas. Apesar das limitações desta abordagem, apontadas por Dosi (1984) e Salles Filho (1990), o processo de inovação induzida destaca a grande importância das relações com o mercado, no caso da agricultura (SALLES FILHO; FERREIRA, 1990).

Em linhas gerais, vem-se reconhecendo que, na economia moderna, a maior parcela das atividades inovadoras é realizada em unidades separadas dos potenciais usuários da inovação. Esta situação é típica para os sistemas de produção agrícola, onde as unidades responsáveis pelas atividades inovadoras são indústrias ou instituições, seja a montante ou a jusante da propriedade rural (SALLES FILHO; FERREIRA, 1990). Os programas de melhoramento, segundo Salles Filho (1993), compõem uma das cinco principais fontes de inovação tecnológica na agricultura. Esta está relacionada a atividades de P&D, de transferência de tecnologia, de desenvolvimento comercial de produtos e de testes de produtos para indústrias privadas de insumos.

Adicionalmente, o melhoramento genético destaca o papel das instituições em termos de P&D na agropecuária (PORTUGAL; CONTINI, 1997). Os resultados desta relação refletem o aumento de mais de 100% no rendimento de grãos de aveia no Estado do Rio Grande do Sul de 1981 a 2007, e na expansão da área cultivada que, no mesmo período, foi multiplicada por nove.

4.3.2 Manejo e sistema de produção

Na trajetória tecnológica do cultivo da aveia, o plantio direto se destacou como uma das inovações mais relevantes, desde o início da década de 1970 (LEAL, 1972; MUNDSTOCK, 1983; CBPA, 1992; 1995; 2000).

O processo de substituição do sistema convencional de preparo e cultivo do solo pelo plantio direto se iniciou, no Brasil, na década de 1970. A principal motivação, para tanto, eram os proeminentes problemas enfrentados pelos agricultores relacionados a perdas de solo, água, fertilizantes, agrotóxicos, além da contaminação e assoreamento de rios e córregos. Tais fatores culminaram na perda da fertilidade do solo, redução do rendimento dos cultivos e poluição dos mananciais (EMBRAPA, 2008).

Recentemente, com a crescente preocupação com o clima, o plantio direto vem sendo também considerado estratégia de mitigação às mudanças climáticas. O menor revolvimento proporciona o aumento gradativo dos teores de carbono do solo, conseqüentemente reduzindo as emissões de CO₂ para a atmosfera. Associa-se a isto a diminuição significativa de consumo de petróleo (60 a 70 % a menos de óleo diesel), em função da redução do tráfego de máquinas sobre a lavoura (EMBRAPA, 2008). Por suas reconhecidas características, comprovadas amplamente pela pesquisa agropecuária brasileira, o plantio direto é a mais importante ação ambiental brasileira em atendimento às recomendações da conferência da Organização das Nações Unidas (Eco-92) e da Agenda 21 brasileira, indo ao encontro do que foi acordado na assinatura do Protocolo Verde (EMBRAPA, 2008).

Apesar da notória preocupação com os impactos ambientais e o uso de recursos naturais pelos sistemas agrícolas, o plantio direto parece ter sido pouco influenciado por questões climáticas, no período de sua implantação. No início da década de 1970 as emissões dos gases de estufa e as mudanças climáticas globais não tinham destaque na pauta das preocupações ambientais. O primeiro relatório anual do IPCC somente seria elaborado em 1990, aproximadamente 20 anos após o início dos trabalhos pioneiros com plantio direto no Brasil. As maiores evidências de mudança no clima, no entanto, somente seriam apontadas no último relatório anual do IPCC em 2007 (IPCC, 2007ab).

O descompasso temporal, ou mesmo os objetivos para os quais a tecnologia foi desenvolvida, não são empecilho para que a mesma seja utilizada como estratégia adaptativa frente às mudanças climáticas. O plantio direto é citado pelo IPCC (2007) como ferramenta a ser utilizada pelos agricultores na mitigação dos impactos das mudanças climáticas principalmente através da redução nas emissões de CO₂.

A princípio o plantio direto parece ter pouca relação com estratégias adaptativas, uma vez que é caracterizado pela mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e não a adaptação as mesmas. No entanto, a ampliação do calendário agrícola culminou com o aumento das possibilidades ao agricultor, que pode optar pelo período de semeadura mais adequado,

conforme o objetivo da produção, a variedade selecionada ou até mesmo suas expectativas sobre o clima. Este efeito pode ser verificado, pela evolução no ciclo das cultivares testemunhas utilizadas nos ensaios de melhoramento nos períodos de 1983 a 1988 e 1993 a 2000 (Tabela 4).

Entre 1983 e 1988 foi o período de transição da cultivar Coronado para UFRGS7, observa-se que a diferença na média de seus ciclos (DEF) é de aproximadamente 20 dias (Tabela 4). Esta diferença demonstra uma possível tendência de redução no número de dias do ciclo das cultivares, que se inicia em 1983, com o objetivo de inserir a cultura da aveia num sistema de produção com dois cultivos anuais. Por outro lado, no período mais recente entre 1993 e 2000 a tendência de redução no ciclo não se confirmou, com a substituição da cultivar UFRGS7 pela UFRGS14 que, por sua vez, parece ser mais tardia (3 dias). A consolidação do plantio direto durante a década de 1990 (EMBRAPA, 2008) teve importante influência neste processo. A implementação deste sistema impactou diretamente sobre o melhoramento, que desviou seu foco da redução do ciclo, uma vez que através do plantio direto os agricultores tiveram folga suficiente no calendário tanto, que a cultivar UFRGS14 foi sutilmente mais tardia (Tabela 4).

Tabela 4 - Evolução do ciclo (DEF) das cultivares testemunhas no período de sua substituição entre os anos de 1983 a 1988 e 1993 a 2000 na EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS

ANO	DEF		ANO	DEF	
	Coronado	UFRGS7		UFRGS7	UFRGS14
1983	121	96	1993	78	81
1984	100	79	1994	82	80
1985	104	84	1995	84	92
1986	109	85	1996	73	73
1987	107	95	1997	84	84
1988	119	101	1998	90	91
			1999	88	89
			2000	80	93
MÉDIA	110	90		82	85

Segundo a classificação proposta pelo IPCC (2007) a alteração na data de semeadura é denominada como adaptação autônoma, uma vez que está relacionada com a tomada de decisão do produtor rural em relação ao melhor período para implantação do cultivo agrícola. Em se tratando do clima, a previsão climática passa a ter fundamental importância no suporte à tomada de decisão pelos agricultores. Com o aumento da variabilidade climática, apontada pelos resultados, a data de semeadura teria destacada importância, principalmente através da

evitação de golpes de calor e geadas durante fases críticas do desenvolvimento da cultura, como a emergência e o florescimento.

Esta condição tem especial importância quando o objetivo da produção de aveia é para forragem. Neste caso, a recomendação seria para que a cultura fosse implantada o mais cedo possível, possibilitando o pastejo precoce, uma vez que a disponibilidade da pastagem de verão é crítica neste período (FLORES *et al.*, 2008). O excesso de precipitação pluvial, muitas vezes, impossibilitava o preparo do solo (sistema convencional) e, conseqüentemente, a semeadura da pastagem. Com o plantio direto este inconveniente foi praticamente eliminado. Quando a produção de aveia for destinada à colheita dos grãos, a maior flexibilidade no calendário, viabilizada pelo plantio direto, permite o melhor ajuste da semeadura de acordo com o ciclo da cultivar escolhida pelo produtor. Em ambos os casos, o plantio direto reduz os riscos e proporciona o melhor aproveitamento do calendário, permitindo ao produtor decidir de acordo com o objetivo de sua produção (forragem ou grãos).

Estudos realizados na Europa demonstraram que a simples alteração da data de semeadura, associada a cultivares mais adaptadas, resultou na redução dos impactos negativos provocados pela seca e calor excessivos (TUBIELLO *et al.*, 2000). Os benefícios da adaptação variam de acordo com o cultivo e entre diferentes regiões. No entanto, para variações na temperatura, em média, processos adaptativos autônomos beneficiam de aproximadamente 10% sobre o rendimento, quando comparados a um sistema sem qualquer adaptação (HOWDEN; CRIMP, 2005).

Em termos de inovação, além da introdução de um novo bem ou produto, o plantio direto representa a introdução de um novo método de produção (SCHUMPETER, 1982). Assim, como grande parte das inovações em sistemas agrícolas, seu desenvolvimento ocorreu fora da propriedade rural, o que evidencia a importância das unidades geradoras de inovação e sua íntima relação com os sistemas de produção (SALLES FILHO; FERREIRA, 1990). Esta situação é marcante tanto para o plantio direto quanto para o melhoramento genético, uma vez que as unidades responsáveis pelas atividades inovadoras são empresas a montante da produção rural.

Segundo a classificação proposta por Salles Filho (1993), dentre as principais fontes de inovação na agricultura, o plantio direto compõe fontes privadas de organização empresarial industrial, cujo principal negócio é a produção e venda de insumos para os mercados agrícolas.

A substituição do sistema convencional pelo plantio direto é um exemplo das recentes tendências para o desenvolvimento tecnológico da agricultura. Nas últimas décadas o padrão tecnológico de modernização da agricultura vem passando por um processo de reformulação, por questões de ordem ecológica e econômica. Os efeitos cumulativos dos desequilíbrios ecológicos causados por práticas como o sistema convencional de cultivo, tornaram-se progressivamente mais evidentes, ao mesmo tempo em que reduziram sua eficiência econômica (ROMEIRO; SALLES FILHO, 1997).

O sistema plantio direto representou, assim, uma evolução frente ao processo de intensificação e expansão da agricultura, que, durante grande parte das décadas de 1970 a 1980, contribuiu fortemente para degradação do solo e da água, principalmente (TILMAN *et al.*, 2001; RUTTAN, 1996; GLIESSMAN, 2005). Tais evoluções dão indícios de que o regime tecnológico da agricultura moderna, voltado para os ganhos em produtividade, estaria se alterando na direção de sistemas mais sustentáveis (ROMEIRO; SALLES FILHO, 1997). Neste contexto, o plantio direto representa um significativo progresso aos sistemas agrícolas na busca de alternativas que, além de atenderem às crescentes demandas por alimentos, também incorporem as preocupações com os recursos naturais e a sustentabilidade do meio ambiente.

Os resultados do processo de inovação tecnológica na cultura da aveia permitem confirmar a terceira hipótese deste trabalho. O melhoramento genético, com base em métodos convencionais, caracterizou estratégia de adaptação planejada. Enquanto isto, o plantio direto, pela viabilização do planejamento e tomada de decisão do agricultor, caracterizou estratégia de adaptação autônoma.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da análise de regressão dos dados climáticos deste trabalho apontam para a existência de mudanças climáticas no período de 1970 a 2007. Apesar de nenhuma tendência ter sido encontrada para a média das temperaturas médias, o oposto se verificou para as médias das temperaturas mínimas e máximas. Essas apresentaram tendência de diminuição e elevação, respectivamente. Esta condição determina aumento dos extremos térmicos sem, no entanto, determinar alteração sobre a temperatura média.

O número de dias da emergência ao florescimento da cultura da aveia não apresentou tendência ao longo do período de 1981 a 2007. No entanto, foi influenciado pelas variações interanuais da temperatura do ar, as quais são mais pronunciadas nos meses de inverno. Assim, culturas hibernais estão sujeitas a elevados riscos de oscilação em seu ciclo devido às variações da temperatura do ar.

A inovação tecnológica demonstrou ser fundamental na implementação de estratégias adaptativas frente às mudanças climáticas. O melhoramento genético baseado em métodos convencionais que possibilitam o desenvolvimento de genótipos mais adaptados, caracterizou-se como estratégia adaptativa planejada. No entanto, a contribuição dos programas de melhoramento parece ser ainda incipiente, frente ao grande potencial desta tecnologia. O plantio direto se configurou como estratégia adaptativa autônoma, pela sua contribuição no melhor aproveitamento do calendário agrícola.

A principal contribuição deste trabalho está centrada na discussão das variações do clima no Sul do Brasil e na importância das inovações tecnológicas frente a este cenário. Os resultados mostram um padrão, de certa forma, distinto da tendência global anunciada pelo IPCC (2007). Tal constatação serve de alerta tanto aos produtores rurais quanto aos geradores de tecnologia, uma vez que revela a possível existência de especificidades regionais, que precisam ser levadas em consideração na tomada de decisão, seja ela dentro ou fora da propriedade rural. Além disso, o trabalho destaca a importância da inovação tecnológica em sistemas agrícolas como forma de adaptação, apontando, no entanto, o desenvolvimento ainda incipiente, em se tratando de mudanças no clima. Os resultados indicam, ainda, que a variabilidade climática pode ser a direção na busca de alternativas tecnológicas mais eficientes como estratégias adaptativas, especialmente durante os meses de inverno.

Das limitações deste trabalho, destaca-se a análise restrita de uma cultura, feita em um local apenas, e a curta duração das séries históricas avaliadas. Este fato se deve, basicamente, à escassa disponibilidade de dados, que permitam a análise dos impactos de possíveis oscilações climáticas sobre sistemas agrícolas, através da fenologia das culturas. Outro aspecto relevante é o fato de que, apesar de as maiores oscilações climáticas ocorrerem no período de outono – inverno, os principais cultivos agrícolas no Estado se desenvolvem no verão. A análise conjunta, assim, contemplaria tanto o período de maior variação quanto o período mais significativo para produção agrícola do Estado.

Diante do apresentado sugere-se que, na medida do possível, trabalhos futuros façam a análise de, pelo menos, dois cultivos: um de inverno e outro de verão. Desta forma, seria possível apontar possíveis impactos do clima durante todos os meses do ano. Adicionalmente, serão relevantes os trabalhos que discutam a questão dos extremos climáticos, como forma de reduzir os crescentes riscos associados à produção agrícola, assim como aqueles voltados ao processo de inovação tecnológica na agricultura.

REFERÊNCIAS

AGGARWAL, P. K. *et al.* Adapting food systems of the Indo-Gangetic plains to global environmental change: key information needs to improve policy formulation. **Environmental Science and Policy**, Exeter, v. 7, n. 6, p. 487-498, Dec. 2004.

ALEXANDRATOS, N. Countries with rapid population growth and resources constrains: issues of food, agriculture and development. **Population and Development Review**, New York, v. 31, n. 2, p. 237-258, June 2005.

ALTHAUS, D.; BERLATO, M. A. Tendência observada das temperaturas máximas e mínimas do Estado do Rio Grande do Sul, período 1936-2000. In: XIX SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 19., 2007, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 2007. 1 CD-ROM.

ANTLE, J. M. *et al.* Adaptation, spatial heterogeneity, and the vulnerability of agricultural systems to climate change and CO₂ fertilization: an integrated assessment approach. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 64, n. 3, p. 289-315, Nov. 2004.

ATKINSON, M. D. *et al.* Summer climate mediates UK wheat quality response to winter North Atlantic Oscillation. **Agriculture, Forest and Meteorology**, Amsterdam, v. 130, n. 1, p. 27-37, May 2005.

BERGAMASCHI, H. O clima como fator determinante da fenologia das plantas. In: REGO, G. M.; NEGRELLE, R. R. B.; MORELLATO, L. P. C (Orgs.). **Fenologia**: ferramenta para conservação, melhoramento e manejo de recursos vegetais arbóreos. Colombo: Embrapa Florestas, 2007.

BERGAMASCHI, H. *et al.* **Clima da estação experimental da UFRGS (e região de abrangência)**. Porto Alegre: UFRGS, 2003.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. **El Niño e La Niña**: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul – aplicações de previsões climáticas na agricultura. Porto Alegre: UFRGS, 2003.

BINOTTO, E. **Os fatores comportamentais dos gestores das propriedades rurais na adoção das mudanças tecnológicas na produção da aveia branca no Rio Grande do Sul**. 2000. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

BRESCHI, S.; MALERBA, F.; ORSENIGO, L. Technological regimes and Schumpeterian patterns of innovation. **Economic Journal**, Cambridge, v. 110, n. 463, p. 388-410, Abr. 2000.

BROOKS, N.; ADGER, W. N.; KELLY, P. M. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and implications for adaptation. **Global, Environment Change**, Guildford, v. 15, n. 2, p. 151-163, July 2005.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003.

CAMARGO, M. B. P.; BRUNINI, O.; MIRANDA, M. A. C. Temperatura-base para cálculo dos graus-dia para cultivares de soja em São Paulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 115-121, Feb. 1987.

CASSMAN, K. G. *et al.* Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality, **Annual Review of Environment and Resources**, Palo Alto, v. 28, n. 6, p. 315-358, July 2003.

CBPA. Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia. Recomendações da Comissão Sul - Brasileira de Pesquisa de Aveia. In: REUNIÃO DA COMISSÃO SUL - BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 11., 1991, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: UPF, 1991. p. 7-38.

CBPA. Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia. **Recomendações tecnológicas para o cultivo de Aveia**. Passo Fundo: UPF, 1995.

CBPA. Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia. **Recomendações Técnicas para a cultura da Aveia**. Pelotas: UFPel, 2000.

CHALLINOR, A. J. *et al.* Adaptation of crops to climate change through genotypic responses to mean and extreme temperature. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 119, n. 2, p. 190-204, Feb. 2007.

CHANDY, R. K.; TELLIS, G. J. Organizing for radical product innovation: the overlooked role of willingness to cannibalize. **Journal of Marketing Research**, Chicago, v. 35, n. 4, p. 474-487, Nov. 1998.

CHRISTENSEN, J. H. *et al.* **Regional climate projections**. Climate change 2007: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel for Climate Change. United Kingdom: Cambridge University Press, 2007.

Climate Prediction Center. **Historical El Niño/ La Nina episodes**. Disponível em: <http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>. Acesso em: 10 de ago. 2008.

COBB, K. M. *et al.* El Niño/Southern oscillation and tropical Pacific climate during the last millennium. **Nature**, London, v. 424, n. 6946, p. 271-276, July 2003.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries históricas da área plantada, produtividade e produção de aveia no Brasil**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?PAG=131>>. Acesso em: 10 out. 2008.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Estudo comparativo entre elementos meteorológicos obtidos em estações meteorológicas convencional e automática em Botucatu, SP, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 103-111, jun. 2004.

DE FINA, A. L.; RAVELO, A. C. Fenologia. In: _____. **Climatologia y fenologia agrícolas**. Buenos Aires: EUDEBA, 1973.

DOSI, G. **Technical change and industrial transformation**. London: Mac. Press, 1984.

EAKIN, H.; LEMOS, M. C. Adaptation and the state: Latin America and the challenge of capacity-building under globalization. **Global Environment Change**, Guildford, v. 16, n. 1, p. 7-18, Feb. 2006.

EASTERLING, W. E. Adapting North American agriculture to climate change in review. **Agriculture and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 80, n. 1, p. 1-53, June 1996.

EASTERLING, W. E.; CHHETRI, N.; NIU, X. Z. Improving the realism of modeling agronomic adaptation to climate change: simulating technological substitution. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 60, n. 1-2, p. 149-173, Sept. 2003.

EMBRAPA; UNICAMP. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. 2008. Disponível em: <http://www.climaeagricultura.org.br/CLIMA_E_AGRICULTURA_BRASIL_300908_FINAL.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2008.

EMBRAPRA. **Plataforma plantio direto**. Disponível em: <<http://www22.sede.embrapa.br/plantiodireto/IntroducaoHistorico/sistemaPlantioDireto.htm>> Acesso em: 10 nov. 2008.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Strengthening coherence in FAO's initiatives to fight hunger**. Rome: FAO Press, 2003.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **World agriculture: towards 2030/50**. Rome: FAO Press, 2005.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Adaptation to climate change in agriculture, forestry and fisheries: perspective, framework and priorities**. 2007. Disponível em: <http://www.fao.org/sd/dim_en1/en1_070401_en.htm>. Acesso em: 10 nov. 2007.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Climate change and food security: a framework document (2008)**. 2008. Disponível em: <<http://www.fao.org/forestry/media/15538/0/0/>>. Acesso em: 15 jul. 2008.

FEDERIZZI, L. C.; BERTAGNOLLI, P.; CARVALHO, F. I. F. Genetics of plant height of oat (*Avena sativa* L.). **Journal of Genetics & Breeding**, Rome, v. 50, n. 2, p. 137-145, Giu. 1996.

FEDERIZZI, L. C. Comércio internacional de aveia: tendências e perspectivas futuras. In: REUNIÃO DA COMISSÃO SUL – BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 18., 1998, Londrina. **Anais...** Londrina: UEL, 1998. p. 49-52.

FEDERIZZI, L. C. *et al.* Melhoramento de aveia. In: BOREM, A. (Org.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 1999.

FEDERIZZI, L. C. Progressos no melhoramento genético de aveia no Brasil: história, principais resultados e perspectivas futuras. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 22., 2002, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: UPF, 2002. 1 CD-ROM.

FEDERIZZI, L. C.; MUNDSTOCK, C. M. Fodder oats: an overview for south America. In: SUTTIE, J. M.; REYNOLDS, S. G. (Orgs.). **Fodder oats: a world overview**. Rome: FAO Press, 2004.

FISCHER, G. *et al.* Climate change impacts on irrigation water requirements: effects of mitigation, 1990 – 2080. **Technological Forecasting and Social Change**, New York, v. 74, n. 7, p. 1083-1107, Sept. 2006.

FLORES, R. A. *et al.* Produção de forragem de populações de azevém anual no Estado do Rio Grande do Sul, **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 7, p. 1168-1175, jul. 2008.

FLOSS, E. *et al.* Aveia no Brasil. In: CONTRIBUIÇÃO DO CNPT E UPF PARA A I REUNIÃO DE ESPECIALISTAS NACIONAIS DO CONE SUL EM AVEIA, CEVADA E TRITICALE, 1., 1985, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1985. 1 CD-ROM.

FLOSS, E. L. *et al.* Produção e industrialização de aveia. In: REUNIÃO DA COMISSÃO SUL - BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 16., 1996, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1996. 1 CD-ROM.

FLOSS, E. L. *et al.* Análise conjunta do ensaio brasileiro de cultivares recomendadas de Aveia-Branca, 2000. In: RESULTADOS EXPERIMENTAIS DA XXI REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 21., 2001, Lages. **Anais...** Lages: UDESC, 2001. 1 CD-ROM

FLOSS, E. L. Pesquisa de aveia: do acadêmico ao desenvolvimento. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 22., 2002, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: UPF, 2002. 1 CD-ROM

FREEMAN, C.; PEREZ, C. Structural crisis of adjustment, business cycles and investment behaviour. In: DOSI, G. *et al* (Orgs.). **Technical change and economic theory**. London: Printer Publishers, 1988.

FREEMAN, C. **The economics of industrial innovation**. 2. ed. Cambridge: The MIT Press, 1989.

FUNK, C. *et al.* Warming of the Indian Ocean threatens eastern and southern African food security but could be mitigated by agricultural development. **Proceedings of the National Academy of Sciences of The United States of America**, Washington, v. 105, n. 32, p. 11081-11086, Aug. 2008.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2001.

GRAZIANO, J. S. **A nova dinâmica da agricultura brasileira**. 2. ed. Campinas: UNICAMP, 1998.

GREENE, W. H. **Econometric Analysis**. New York: Macmillan Publishing, 1990.

HAFNER, S. Trends in maize, Rice and wheat yields for 188 nations over the past 40 years: a prevalence of linear growth. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 97, n. 1-3, p. 275-283, July 2003.

HANSEN, J. *et al.* Global temperature change, **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 103, n. 39, p. 14288-14293, Sept. 2006.

HART, S. L.; MILSTEIN, M. B. Global sustainability and the creative destruction of industries. **Sloan Management Review**, Cambridge, v. 41, n. 4, p. 23-33, July 1999.

HAYAMI, Y.; RUTTAN, V. W. Desenvolvimento agrícola: teoria e experiências internacionais. In: _____. **Uma teoria de mudança técnica e institucional**. Brasília: EMBRAPA, 1988.

HOWDEN, S. M. *et al.* **An overview of the adaptive capacity of the Australian agricultural sector to climate change: options, costs and benefits**. Australia: Australian Greenhouse Office, 2003.

HOWDEN, S. M.; CRIMP, S. Assessing dangerous climate change impacts on Australia's wheat industry. In: MODSIM INTERNATIONAL CONGRESS ON MODELING AND SIMULATION. MODELING AND SIMULATION SOCIETY OF AUSTRALIA AND NEW ZEALAND, 2005, Melbourne. **Anais...** Melbourne: MODSIM, 2005. 1 CD-ROM.

HOWDEN, S. M. *et al.* Adapting agriculture to climate change. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 104, n. 50, p. 19691-19696, Dec. 2007.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. The Physical Science Basis. **Summary for policy makers**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel for Climate Change. Cambridge, 2007a. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>>. Acesso em: 20 mar. 2008.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel for Climate Change. Cambridge, 2007b. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg2.htm>>. Acesso em: 20 mar. 2008.

JOHNSON, D. G. Population, food, and knowledge. **The American Economic Review**, Nashville, v. 90, n. 1, p. 1-14, Mar. 2000.

JOHNSTON, T.; CHIOTTI, Q. Climate change and the adaptability of agriculture: a review. **Air & Waste Manage, Association**, Pittsburgh, v. 50, n. 4, p. 563-569, Apr. 2000.

KAGEYAMA, A. O novo padrão agrícola brasileiro: do complexo rural aos complexos agroindustriais. In: DELGADO, G. C. (Org.). **Agricultura e políticas públicas**. Brasília: IPEA, 1990.

KAZMIER, L. J. **Estatística aplicada a economia e administração**. São Paulo: Makron Books, 1982.

KLEPPER, S. Entry, exit, growth, and innovation over the product life cycle. **The American Economic Review**, Nashville, v. 86, n. 3, p. 562-583, June 1996.

KURUKULASURIYA, P.; ROSENTHAL, S. **Climate change and agriculture**: a review of impacts and adaptations. Washington: World Bank Environment Department, 2003.

LEAL, J. C. **Plantas da lavoura Sul Rio-Grandense**. Porto Alegre: UFRGS, 1972.

LOCATELLI, A. B. *et al.* Loci affecting flowering time in oat under short day conditions. **Genome**, Ottawa, v. 49, n. 12, p. 1528-1538, Dec. 2006.

LUNDWALL, B. Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation. In: DOSI, G. *et al.* (Orgs.). **Technical change and economic theory**. London: Francis Pinter, 1988.

MACHADO, J. P.; BLANK, D. M. P.; ASSIS, S. V. Variação interdecadal da temperatura média do ar no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA – CBA, 15., 2007, Aracaju. **Anais...** Aracaju: UFS, 2007. 1 CD-ROM.

MALERBA, F.; ORSENIGO, L. Schumpeterian patterns of innovation are technology-specific. **Research Policy**, Amsterdam, v. 25, n. 3, p. 451-478, May 1996.

MAPA. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Estatísticas**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 10 nov. 2007.

MARIN, F. R. *et al.* Efeito das mudanças climáticas sobre a aptidão climática para cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju. **Anais...** Aracaju: UFS, 2007. 1 CD-ROM.

MCT. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Inventário de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa não controlados pelo protocolo de Montreal**. 2004. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0004/4199.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2008.

MENDEL, P. R.; FERREIRA, G. C. A gestão de alianças estratégicas como base para a inovação tecnológica: o caso de uma empresa petroquímica. In: SIMPÓSIO DE GESTÃO DA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 24., 2006, Gramado. **Anais...** Gramado: ANPAD, 2006. 1 CD-ROM.

MENZEL, A. Plant phenological anomalies in Germany and their relation to air temperature and NAO. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 57, n. 3, p. 243-263, Apr. 2003.

MENZEL, A. *et al.* Farmer's annual activities are not tracking speed of climate change. **Climate Research**, Oldendorf, v. 32, n. 3. p. 201-207, Oct. 2006.

MOHAMED B.; DUIVENBOODEN, N. V.; ABDOUSSALLAM, S. Impact of climate change on agricultural production in the Sahel. Part 1. Methodological approach and case study for millet in Niger. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 54, n. 3, p. 327-348, Aug. 2002.

MORELLATO, L. P. C. Fenologia e suas aplicações no estudo e monitoramento de mudanças climáticas. In: REGO, G. M.; NEGRELLE, R. R. B.; MORELLATO, L. P. C (Orgs.). **Fenologia: ferramenta para conservação, melhoramento e manejo de recursos vegetais arbóreos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007.

MOTA, F. S. **Meteorologia Agrícola**. São Paulo: Nobel, 1983.

MUNDSTOCK, C. M. **Cultivo dos cereais de estação fria**. Porto Alegre: NBS, 1983.

O'BRIEN, K. *et al.* Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and economic globalization in India. **Global Environment Change**, Guildford, v. 14, n. 4, p. 303-313, Dec. 2004.

O'MEAGHER, B. Policy for agricultural drought in Australia: an economics perspective. In: BOTTERILL L. C.; WILHITE D. (Orgs.). **From disaster response to risk management: Australia's National Drought Policy**. Dordrecht: Springer, 2005.

OLESEN, J. E.; BINDI, M. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 16, n. 4, p. 239-262, June 2002.

PANDOLFO, C. *et al.* Possíveis impactos das mudanças climáticas na distribuição de áreas potenciais de cultivo da cultura da banana e da maçã no Estado de Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju. **Anais...** Aracaju: UFS, 2007. 1 CD-ROM.

PINTO, H. S. *et al.* Global warming and future Brazilian agriculture scenarios. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF BIOMETEOROLOGY – ICB, 17., 2005, Garmisch Partenkirchen. **Anais...** Garmisch Partenkirchen: ICB, 2005. 1 CD-ROM.

PEREIRA, L. M. *et al.* Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática em Londrina – PR. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 2, p. 299-306, abr. 2008.

PORTER, J. R.; SEMENOV, M. A. Crop responses to climatic variation. **Philosophical Transactions of The Royal Society B: Biological Sciences**, London, v. 360, n. 1463, p. 2021-2035, Nov. 2005.

PORTUGAL, A. D; CONTINI, E. O público e o privado na pesquisa agropecuária brasileira. In: XXXV CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 35., 1997, Natal. **Anais...** Natal: Sober, 1997. 1 CD-ROM.

POSSAS, M. L. . Concorrência, inovação e complexos industriais: algumas questões conceituais. **Cadernos de Ciências e Tecnologia**, Brasília, v. 8, n. 1-3, p. 78-97, jan. 1991.

REID, P.; VOGEL, C. Living and responding to multiple stressors in South África: Glimpses from KwaZulu-Natal. **Global Environment Change**, Guildford, v. 16, n. 2, p. 195-206, May 2006.

ROMEIRO, A.; SALLES FILHO, S. Dinâmica de inovações sob restrição ambiental. In: ROMEIRO, A. *et al.* (Orgs.). **Economia do meio ambiente: teoria, política e a gestão de espaços regionais**. Campinas: UNICAMP, 1997.

RUTTAN, V. W. Induced innovation and path dependence: a reassessment with respect to agricultural development and the environment. **Technological Forecasting and Social Change**, New York, v. 53, n. 1, p. 41-59, May 1996.

RUTTAN, V. W. Induced innovation, evolutionary theory and path dependence: sources of technical change. **Economic Journal**, Cambridge, v. 107, n. 444, p. 1520- 1529, Sept. 1997.

RUTTAN, V. W. Productivity growth in world agriculture: sources and constraints. **The Journal of Economic Perspectives**, Nashville, v. 16, n. 4, p. 161-184, Sept. 2002.

RUTTAN, V. W. Scientific and technical constraints on agricultural production: prospects for the future. In: THE AMERICAN PHILOSOPHICAL SOCIETY. **Proceedings of the American Philosophical Society**. Philadelphia, 2005.

SALLES FILHO, S. L. M.; FERREIRA, O. P. O processo inovativo na agricultura: uma proposta de interpretação. In: SEMINÁRIO MUDANÇA TÉCNICA E REESTRUTURAÇÃO AGROINDUSTRIAL, 1., 1990, Campinas. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 1990. p. 1-20.

SALLES FILHO, S. L. M. **A dinâmica tecnológica da agricultura**: perspectivas da biotecnologia. 1993. 240 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Economia, Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

SCHUMPETER, J. A. **Capitalismo, socialismo, democracia**. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1961.

SCHUMPETER, J. A. **Teoria do desenvolvimento econômico**: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico. São Paulo: Abril Cultural, 1982.

SIQUEIRA, O. J. W. *et al.* Distribuição de médias e variabilidade de uma série histórica de dados climáticos diários, Pelotas – RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA – CBA, 15., 2007, Aracajú. **Anais...** Aracajú: UFS, 2007. 1 CD-ROM.

SENTELHAS, P. C. *et al.* Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estações convencional e automática. **Revista Brasileira de Agrometeorológica**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 215-221, dez. 1997.

SMIT, B. *et al.* An anatomy of adaptation to climate change and variability. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 45, n. 1, p. 223-251, Apr. 2000.

SMITHERS, J.; BLAY-PALMER, A. Technology innovation as a strategy for climate adaptation in agriculture. **Applied Geography**, Oxford, v. 21, n. 2, p. 175-197, Apr. 2001.

SOUZA, I. A.; GALVANI, E.; ASSUNÇÃO, H. F. Avaliação de elementos meteorológicos monitorados por estações convencionais e automática. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: CBMET, 2002. 1 CD-ROM.

SOUZA, I. A.; GALVANI, E.; ASSUNÇÃO, H. F. Estudo comparativo entre elementos meteorológicos monitorados por estações convencional e automática na região de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 203-207, July 2003.

STEINMETZ, S. *et al.* Influência do aquecimento global sobre as temperaturas máximas, mínimas e médias anuais na região de pelotas, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA – CBA, 15., 2007, Aracajú. **Anais...** Aracajú: UFS, 2007. 1 CD-ROM.

SUTTIE, J. M.; REYNOLDS, S. G. **Fodder oats: a world overview**. Rome: FAO Press, 2004.

TILMAN, D. *et al.* Forecasting agriculturally driven global environmental change. **Science**, Washington, v. 292, n. 5515, p. 281-284, Apr. 2001.

TRENBERTH, K. E. The definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Boston, v. 78, n. 12, p. 2771-2777, Dec., 1997.

TRNKA, M.; DUBROVSKY, M.; SALUD, Z. Climate change impacts and adaptation strategies in spring barley production in the Czech Republic. **Climatic Change**. Dordrecht, v. 64, n. 1-2, p. 227–255, May 2004.

TUBIELLO, F. N. *et al.* Effects of climate change and elevated CO₂ on cropping systems: model predictions at two Italian locations. **Europe Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 13, n. 2/3, p. 179-189, July 2000.

TUBIELLO, F. N. Climate variability and agriculture: perspectives on current and future challenges. In: KNIGHT, B (Org.). **Impact of climate change, variability and weather fluctuations on crops and their produce markets**. Cambridge: Cambridge Press, 2005.

TUBIELLO, F. N. *et al.* Crop response to elevated CO₂ and world food supply. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 26, n. 3, p. 215-223, Apr. 2007.

UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. **Climate change: impacts, vulnerabilities and adaptation in developing countries**. 2007. Disponível em: <http://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/tx/t/pub_07_impacts.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2008.

VASQUEZ-LEON, M.; WEST, C. T.; FINAN, T. J. A comparative assessment of climate vulnerability: agriculture and ranching on both sides of the US-Mexico border. **Global Environmental Change**, Guildford, v. 13, n. 3, p. 159-173, Oct. 2003.

WERLANG, A.; NOVAIS, R. Q. C. A biotecnologia e a produção de baixo custo, **Ciência e Conhecimento**, São Jerônimo, v. 2, n. 2, p. 1-8, jul. 2007.

WHEELER, T. R. *et al.* Temperature variability and the yield of annual crops. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 82, n. 1/3, p. 159-167, Dec. 2000.

WOLLENWEBER, B.; PORTER, J. R.; SCHELLBERG, J. Lack of interaction between extreme high-temperature events at vegetative and reproductive growth stages in wheat. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 189, n. 3, p. 142–150, June 2003.

WREGGE, M. S. et al. Influência do aquecimento global sobre a fruticultura de clima temperado na região Sul do Brasil diante de alguns cenários de mudanças climáticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007. Aracaju. **Anais...** Aracaju: UFS, 2007. 1 CD-ROM.