



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

**AVALIAÇÃO DA DEFICIÊNCIA HÍDRICA
NO ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL**

LEANDRO KOTECK

Florianópolis/SC

2011/1

**AVALIAÇÃO DA DEFICIÊNCIA HÍDRICA
NO ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL**

Relatório de Estágio do Curso de Agronomia

*Relatório de estágio curricular
apresentado ao Curso de
Graduação em Agronomia do
Centro de Ciências Agrárias
da Universidade Federal de
Santa Catarina, como
requisito parcial para a
obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo.*

Acadêmico: Leandro Koteck

Professor Orientador: Dr. Rosandro Boligon Minuzzi

Supervisor: Dr. Ângelo Mendes Massignam

Florianópolis/ SC

2011/1

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
RESUMO	viii
1. APRESENTAÇÃO	vi
2. CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA	2
2.1 EPAGRI	2
2.2 CIRAM	3
3. INTRODUÇÃO	5
4. OBJETIVOS	7
4.1 OBJETIVO GERAL	7
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	8
5.1 CLIMA DE SANTA CATARINA	8
5.2 BALANÇO HÍDRICO	8
5.3 DEFICIÊNCIA HÍDRICA	10
5.3.1 DEFICIÊNCIA HÍDRICA E DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS	11
5.3.2 DEFICIÊNCIA HÍDRICA E A CULTURA DO MILHO	12
5.4 EXCEDENTE HÍDRICO	14
5.5 EVAPOTRANSPIRAÇÃO	15
5.6 ÍNDICE DE SATISFAÇÃO DAS NECESSIDADES DE ÀGUA (ISNA)	16
6. MATERIAIS E MÉTODOS	17
6.1 DADOS E ÁREA DE ESTUDOS	17
6.2 ÍNDICE DE SATISFAÇÃO DAS NECESSIDADES DE ÀGUA	19
6.3 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS – SISAGRO II	200
6.4 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS – MICROSOFT EXCEL	222
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
7.1 DEFICIÊNCIA HÍDRICA EM SANTA CATARINA	23
7.2 DEFICIÊNCIA HÍDRICA X RENDIMENTO DO MILHO	25
8. CONCLUSÃO	28
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

AGRADECIMENTOS

Agradeço **ao Altíssimo, aos amados Mestres, e a meu Santo Guru**, Venerável Mestre Lakshmi Daimon, por me acompanharem em todos os momentos transcendentais do caminho.

Agradeço **à minha família, meu pai, minha mãe e minha avó**, pelo apoio em todos os sentidos e pelo amor incondicional.

Agradeço **à toda equipe de pesquisa do CIRAM – EPAGRI** e do Departamento de Zoneamento Agroambiental, em especial, ao **Dr. Ângelo Mendes Massignam** por todo o conhecimento, boa-vontade e ajuda concedida durante a realização do estágio.

Agradeço ao **Professor Rosandro Boligon Minuzzi** por suas sábias orientações.

Agradeço a todos os meus colegas, dentre eles aos **meus amigos** de forma muito especial. Porém dentre meus amigos, meus dois melhores amigos que me acompanharam nesta trajetória acadêmica: **Kaka e Neto**.

Despeço-me da vida acadêmica com as seguintes palavras:

“Pode ser que um dia deixemos de nos falar...

Mas, enquanto houver amizade,

Faremos as pazes de novo.

Pode ser que um dia o tempo passe...

Mas, se a amizade permanecer,

Um de outro se há de lembrar.

Pode ser que um dia nos afastemos...

Mas, se formos amigos de verdade,

A amizade nos reaproximará.

Pode ser que um dia não mais existamos...

Mas, se ainda sobrar amizade,

Nasceremos de novo, e nos encontraremos.

*Pode ser que um dia tudo acabe...
Mas, com a amizade construiremos tudo novamente,
Cada vez de forma diferente.
Sendo único e inesquecível cada momento
Que juntos viveremos e nos lembraremos para sempre.*

*Há duas formas para viver a sua vida:
Uma é acreditar que não existe milagre.
A outra é acreditar que todas as coisas são um milagre.”*

Albert Einstein

Peço que Deus e a Divina Providência lhes abençoem e vos acompanhem à todos, retribuindo em dobro todo carinho, companheirismo e ajuda que me concederam.

LISTA DE FIGURAS

PÁGINA

1. Localização geográfica das estações meteorológicas utilizadas no estudo e as regiões climaticamente homogêneas.....17
2. Janela de apresentação do programa Sisagro II- Sistema de Agrometeorologia para Computador.....20
3. Área de trabalho do Sisagro II para o cálculo de balanço hídrico (Penman).....21
4. Programa Microsoft Excel para construção de tabelas dinâmicas.....22
5. Rendimento da cultura do milho e média da ETR/ETP dos meses de novembro à março do município de Campos Novos, SC nas safras 1985/86 a 2008/09.....26
6. Rendimento do milho e linha de tendência tecnológica para o município de Campos Novos, em série desde 1970 a 2010.....27
7. Diferença entre o rendimento e a tendência tecnológica.....28

LISTA DE TABELAS**PÁGINA**

1. Estações meteorológicas, com o código, posição geográfica, número de anos da série histórica e região climática a qual pertencem.....18
2. Média mensal e decencial do ISNA e média decencial de deficiência hídrica.....24

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar a deficiência hídrica no Estado de Santa Catarina e seu impacto na produtividade da cultura do milho. Para tal, calcularam-se balanços hídrico, na escala mensal e decendial ao longo de anos, com dados de 20 estações meteorológicas. Foram geradas médias mensais e decendiais do ISNA (Índice de Satisfação das Necessidades de Água) = ETR/ET_o para cada estação e também médias decendiais de deficiência hídrica. Os resultados do ISNA mensal e decendial mostram valores elevados e próximos à 1,0, juntamente com os baixos valores de deficiência hídrica decendial, indicam que Santa Catarina apresenta poucos problemas climatológicos quanto a deficiência hídrica. Porém, o Estado não está isento de episódios de deficiência hídrica, e estas quando ocorrem, afetam diretamente a produtividade do milho.

Palavras chaves: deficiência hídrica, ISNA, rendimento, milho.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the water deficit in the State of Santa Catarina and its impact on productivity of maize. For this, water balances were calculated at monthly and ten-day range over the years, with data from 20 meteorological stations. Were generated average monthly and ten-days of CWRI (Crop Water Requirement Index) = ETR / ET_o for each station and even average ten-days from water deficit. The results of the CWRI monthly and ten-day show high values and close to 1.0, along with the low values of ten-day water deficit indicate that Santa Catarina has few climatic problems as water deficit. However, the State is not free from episodes of water deficit, and when they occur, directly affect the productivity of maize.

Key words: water deficit, CWRI, yield, maize.

1. APRESENTAÇÃO

O presente estágio de conclusão do curso de Agronomia da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, foi realizado na empresa EPAGRI - CIRAM, durante o período de 14 de março à 10 de junho de 2011, tendo como supervisor o Dr. Ângelo Mendes Massignam, pesquisador. Foi-me designado como orientador o professor Rosandro Boligon Minuzzi, Dr. do Departamento de Engenharia Rural do Centro de Ciências Agrárias – CCA.

2. CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

2.1 EPAGRI

A Epagri - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S/A – foi fundada no ano de 1991, quando foram incorporadas numa só instituição a Empresa Catarinense de Pesquisa Agropecuária S.A. (Empasc), a Associação de Crédito e Assistência Rural de Santa Catarina (Acaresc), a Associação de Crédito e Assistência Pesqueira de Santa Catarina (Acarpesc) e o Instituto de Apicultura de Santa Catarina (Iasc). A fusão aproximou os trabalhos de pesquisa e extensão rural, somando décadas de experiência em diferentes áreas, e fortaleceu ainda mais o setor. Em 2005, a Empresa também incorporou o Instituto de Planejamento e Economia Agrícola de Santa Catarina (Instituto Cepa/SC) e, na mesma data, a Assembléia de Acionistas aprovou a transformação da Epagri em empresa pública.

Os motivos da dita integração institucional foram o de aperfeiçoar os recursos e atividades, unindo mais as frentes de pesquisadores e extensionistas, buscando melhorias e desenvolvimento rural progressivo no Estado.

No ano de 2005, outra instituição foi incorporada à Epagri, o Instituto de Planejamento e Economia Agrícola de Santa Catarina – Instituto Cepa/SC. E na mesma época, por decisão dos acionistas, a empresa se tornou pública.

A missão da Epagri tem como fundamento o conhecimento, a tecnologia e a extensão para o desenvolvimento sustentável do meio rural, em benefício da sociedade como um todo. Seus objetivos e metas são promover a preservação, recuperação, conservação e utilização sustentável dos recursos naturais. Buscar a competitividade da agricultura catarinense frente a mercados globalizados, adequando os produtos às exigências dos consumidores. Promover a melhoria da qualidade de vida do meio rural e pesqueiro. Essa missão é realizada através da estrutura organizacional da Epagri, que compreende, no nível político-estratégico, a sede administrativa, integrada pelos órgãos deliberativos

e de fiscalização, a diretoria executiva, as gerências estaduais e as assessorias, competindo-lhes a formulação de políticas, diretrizes, estratégias e o estabelecimento de prioridades; análise da gestão econômico-financeira; coordenação, avaliação, suporte institucional e articulação interinstitucional.

No nível tático-operacional, compete às gerências regionais – compostas por escritórios municipais, às unidades de pesquisa, com seus campos experimentais, e aos centros de treinamento – o cumprimento das políticas, diretrizes, estratégias e prioridades; formulação e execução de projetos; administração dos recursos humanos, materiais e financeiros; articulação e suporte intra-regional; participação nos planos municipais de desenvolvimento rural e na articulação local (EPAGRI, 2011).

2.2 CIRAM

O Ciram foi fundado em 1998 com o objetivo de brindar ao Estado de Santa Catarina uma estrutura capaz de levantar e monitorar seus recursos naturais e ambientais. Está localizado em Florianópolis, SC, juntamente com a Sede Administrativa da Epagri, integrado a uma rede de estações experimentais e centros especializados, localizados estrategicamente nas diversas regiões agroecológicas do Estado de Santa Catarina. Tem como público alvo os profissionais da pesquisa, da extensão, centros de treinamento da Epagri, entidades ambientalistas, empresas privadas, universidades, autoridades catarinenses e, em especial, a família do agricultor e suas organizações.

Tem como objetivo, integrar dados e informações dos recursos ambientais de forma eficiente, estruturando um centro de referência com equipamentos, materiais e equipe multidisciplinar para o desenvolvimento de pesquisas e tecnologias e para a prestação de serviços especializados. A Epagri/Ciram valoriza o intercâmbio com outras instituições estaduais, nacionais e internacionais, por meio de cooperação técnico-científica, inserindo-se no contexto global da administração de informações sobre recursos ambientais.

Sua missão é gerar, disponibilizar e difundir informações e tecnologias ambientais para o desenvolvimento sustentável da agricultura, ambientes

marinhos e aquáticos e dos agroecossistemas catarinenses, proporcionando qualidade de vida aos cidadãos. O Centro é uma unidade de excelência e referência em pesquisa e difusão de informações ambientais em Santa Catarina e no Brasil, reconhecida por tratar os problemas ambientais com visão sistêmica, apresentar propostas de soluções adequadas ao setor produtivo e ao meio ambiente, estar comprometida com o bem-estar da sociedade e armazenar, organizar, gerar, disponibilizar e difundir informações ambientais (EPAGRI, 2011).

3. INTRODUÇÃO

O conhecimento das condições climáticas de uma determinada região é necessário para que se possam estabelecer estratégias, que visem o manejo mais adequado dos recursos naturais, almejando dessa forma, a busca por um desenvolvimento sustentável e a implementação das práticas agropecuárias viáveis e seguras para os diversos biomas da região.

O planejamento hídrico é a base para se dimensionar qualquer forma de manejo integrado dos recursos hídricos, assim, o balanço hídrico permite o conhecimento da necessidade e disponibilidade hídrica no solo ao longo do tempo, sendo possível classificar o clima de uma região, realizar o zoneamento agroclimático e ambiental, o período de disponibilidade e necessidade hídrica no solo, além de favorecer ao gerenciamento integrado dos recursos hídricos (LIMA e SANTOS, 2009). Ou seja, o balanço hídrico é uma primeira avaliação de uma região, que se determina a contabilização de água de uma determinada camada do solo onde se defini os períodos secos (deficiência hídrica) e úmidos (excedente hídrico) de um determinado local (REICHARDT, 1990).

A disponibilidade hídrica é o fator mais importante para a expressão do rendimento potencial de uma cultura. Um dos indicadores utilizados para quantificá-la é a evapotranspiração relativa, definida como a relação entre a evapotranspiração real (*ETR*), decorrente da disponibilidade hídrica existente, e a evapotranspiração máxima (*ET_m*) da cultura em cada subperíodo de desenvolvimento. Através dessa relação, é possível explicar o rendimento relativo de uma cultura (JENSEN, 1968).

A freqüência e a intensidade do déficit hídrico limitam a produção agrícola mundial. A maioria das culturas possui um estágio de desenvolvimento no qual a deficiência hídrica causa maior redução na produção. Se não houver reposição de água no solo pela precipitação pluvial ou por irrigação, o estresse hídrico na cultura se tornará irreversível (RODRIGUES et al., 1997).

O milho, como sendo uma das culturas mais importante no Estado de Santa Catarina, possui grande exigência hídrica. Segundo TOMMASELLI & VILLA NOVA (1995), sua produtividade pode ser bastante reduzida devido à

deficiência hídrica, principalmente se ocorrer durante a floração e enchimento de grão (MATZENAUER & FONTANA, 1987).

Para o seu crescimento e desenvolvimento, as plantas dependem da sua construção genética, e das condições ambientais do solo e do clima. Em geral, os agricultores conhecem mais sobre o manejo do solo do que como explorar corretamente os recursos climáticos (MOTA, 1977).

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

- Avaliar a deficiência hídrica no Estado de Santa Catarina.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar o impacto da deficiência hídrica no rendimento da cultura do milho.

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 CLIMA DE SANTA CATARINA

Nas atividades agrícolas os estudos climáticos são peças chaves no momento do planejamento e posteriormente no cultivo de uma determinada cultura agrícola. Principalmente porque a agricultura é um setor da economia de extrema importância, funcionando em muitos casos como um fator de desenvolvimento regional.

Santa Catarina, por sua localização geográfica, é um dos Estados da federação que apresenta melhor distribuição de precipitação pluviométrica durante o ano. Os principais sistemas meteorológicos responsáveis pelas chuvas no estado são as frentes frias, os vórtices ciclônicos, os cavados de níveis médios, a convecção tropical, a ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) e a circulação marítima (MONTEIRO, 2001)

O relevo de Santa Catarina contribui, fundamentalmente, na distribuição diferenciada da precipitação em distintas áreas do Estado. Naquelas mais próximas às encostas de montanhas, as precipitações são mais abundantes, pois a elevação do ar úmido e quente favorece a formação de nuvens cumuliformes, resultando no aumento do volume de precipitação local. Neste sentido, são observados índices maiores de precipitação nos municípios próximos à encosta da Serra Geral, quando comparados aos da zona costeira (MONTEIRO, 2001).

CARPANEZZI et al.(1988) afirma que a posição geográfica do estado, entre outros fatores, torna-se fundamental em sua configuração climática. Assim, o estado apresenta os seguintes tipos climáticos: subtropical, úmido, com temperaturas médias mensais que variam entre 13°C e 25°C.

5.2 BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico é uma metodologia muito utilizada para se avaliar o armazenamento de água no solo e quantificar déficits e excesso hídrico ao longo do tempo, para determinar o regime hídrico de um local, sem necessidade de medidas diretas das condições do solo. Este é um sistema contábil de monitoramento da água do solo e resulta da aplicação do princípio

de conservação da massa em um volume de solo vegetado (PEREIRA et al., 1997).

Para se efetuar o balanço hídrico de uma cultura é necessário, portanto, computar as entradas de água no solo via precipitação pluvial ou irrigação, a partir da sua infiltração na superfície, e as saídas, representadas pela drenagem interna, evapotranspiração e deflúvio superficial num volume de solo, com base na configuração do sistema radicular da cultura em estudo, em determinado período de tempo; se a quantidade de água que entra no tempo considerado for maior que a quantidade que sai durante o mesmo período, o saldo será positivo e, caso contrário, será negativo. Tanto o saldo positivo como o negativo serão medidos pela variação de armazenagem de água no perfil do solo no período considerado (LIBARDI, 1995).

Segundo CINTRA et al. (2000) a importância do balanço hídrico como ferramenta para avaliar a intensidade das saídas e entradas de água no solo e, por conseguinte, para definição dos períodos mais prováveis de déficit hídrico para a cultura, está relacionada não só ao conhecimento dos fatores que o compõem (evapotranspiração, precipitação, drenagem interna ou ascensão capilar) como, também, ao conhecimento das características da planta, principalmente da sua fenologia, que representa o ponto de partida para a interpretação coerente dos resultados do balanço.

O conhecimento das variáveis que compõe o balanço hídrico favorece ao planejamento agropecuário e as práticas de controle de produção, ou seja, disponibilizar informações que permitem aos produtores identificar as fragilidades climáticas, sendo uma ferramenta essencial para o sucesso de um empreendimento agrícola, que inclui a decisão de optar ou não por sistemas de irrigação para suprir a deficiência hídrica no solo (SANTOS et al., 2010)

Os resultados de balanço hídrico podem ser utilizados no zoneamento agroclimático, na determinação da demanda hídrica potencial das culturas irrigadas, no planejamento de pesquisa, e para identificar o regime hídrico de uma região (AGUILAR, et al., 1986).

É necessária efetivamente a determinação da variável evapotranspiração (ET) para que se possa conhecer a disponibilidade hídrica do solo, ou seja, o seu armazenamento (ARM). Este armazenamento (ARM), que indica a quantidade de água retida no solo num determinado período,

segundo ORSELLI & SILVA (1988) é função do armazenamento anterior e das entradas e saídas de água no período considerado...” existindo um limite máximo para o armazenamento, decorrente do tipo de solo e das exigências hídricas de cada vegetação, sendo conhecido este limite, como Capacidade de Campo (CC). Quando os valores do armazenamento superam a capacidade de campo, ocorre então excedente hídrico.

5.3 DEFICIÊNCIA HÍDRICA

A ocorrência de deficiência hídrica em plantas cultivadas afeta o crescimento e o desenvolvimento das culturas em todo o mundo. Desde os antigos povos sumérios, o homem tem procurado uma alternativa mais efetiva do aproveitamento da água para superar os efeitos do déficit hídrico às plantas.

A deficiência hídrica que ocorre no solo é a relação entre a evapotranspiração potencial e a evapotranspiração real das plantas, ou seja, a umidade do solo está abaixo do desejável fazendo com que a planta reduza suas atividades metabólicas, conseqüentemente diminuindo o crescimento e desenvolvimento da mesma. Essa indisponibilidade hídrica é que deve ser repostas pelas chuvas e/ou irrigação para que se tenha a expressão de toda a potencialidade produtiva de uma espécie.

Existem vários índices que podem ser utilizados para expressar a quantidade de água no solo e, a partir deles, pode-se determinar o déficit hídrico no solo, como exemplo, a quantidade total de água armazenada (QTA), capacidade de armazenamento de água disponível (CAD), fração de água disponível (FAD) e fração de água transpirável no solo (FATS) (MARTINS, et al., 2008).

Um dos índices mais utilizados é o CAD e é determinada pela diferença de conteúdo volumétrico de água entre o limite superior e inferior de disponibilidade, considerando-se cada camada do perfil do solo explorado pelo sistema radicular das plantas. Desta forma, a água do solo disponível às plantas é definida para uma combinação particular solo-cultura. As características químicas, físicas e biológicas do solo têm influência direta na quantidade de água no solo disponível às plantas; assim, se houve qualquer restrição física, química ou biológica, em alguma camada do perfil do solo, que

altere o desenvolvimento do sistema radicular, a disponibilidade será afetada porque essa água armazenada não pode ser extraída pelas plantas. Por outro lado, na determinação tradicional somente as características físicas do solo são utilizadas na avaliação do armazenamento de água no solo, considerando-se que somente o potencial de água no solo influencie o desenvolvimento radicular e absorção de água, isto é, a quantidade de água armazenada no perfil do solo é conservadoramente a mesma, independente da cultura ou da existência de restrições ao desenvolvimento das plantas (SANTOS & CARLESSO, 1998).

O total da deficiência é bastante sensível a uma mudança na capacidade de armazenamento de umidade de solo. VAN BAVEL (1953) investigou a dependência de dias secos com a capacidade de armazenamento de umidade na Carolina do Norte, no período de 1892 a 1951. Ele encontrou que o número de dias secos durante a estação de crescimento, 15 de maio a 27 de agosto, foi no mínimo de 20 dias em qualquer ano para uma capacidade de armazenamento de 25 mm, mas seria zero no ano mais úmido para uma capacidade de armazenagem de 15 mm ou mais.

A freqüência e a intensidade da deficiência hídrica constituem os fatores mais importantes à limitação da produção agrícola mundial. De acordo com ORTOLANI & CAMARGO (1987) sem se considerar os efeitos extremos, esta limitação é responsável por 60 a 70% da variabilidade final da produção.

5.3.1 DEFICIÊNCIA HÍDRICA E DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS

A falta de água no solo é, sem dúvida, a principal causa de redução na produção vegetal (BRUNINI, et al., 2001).

A redução da água disponível no solo para a planta influencia negativamente o seu crescimento e desenvolvimento (SINCLAIR & LUDLOW, 1986). Dessa forma, a produtividade agrícola e florestal é influenciada pela disponibilidade de água no solo. LEVIT (1980) salienta a importância de analisar as respostas das plantas e seus mecanismos de defesa ao déficit hídrico no solo.

A deficiência hídrica provoca alterações no comportamento vegetal cuja irreversibilidade vai depender do genótipo, da duração, da severidade e do estágio de desenvolvimento da planta. Segundo LEVIT (1980) no entendimento das respostas das plantas ao déficit hídrico é de fundamental importância se quantificar a capacidade de armazenamento de água no solo e analisar a influência dos mecanismos de adaptação das plantas à redução da disponibilidade de água no solo, pois, de acordo com KIEHL (1979) a quantidade de água armazenada no solo disponível às plantas varia com a textura e as características físicas do solo.

Estresses abióticos como a seca podem reduzir significativamente rendimentos em lavouras, restringindo as latitudes e os solos onde espécies, comercialmente importantes podem ser cultivadas. As implicações são enormes uma vez que, não somente produtores, mas toda a sociedade é afetada (FARIAS et al., 2001).

O déficit hídrico é uma situação comum à produção de muitas culturas, podendo apresentar um impacto negativo substancial no crescimento e desenvolvimento das plantas (LECOEUR & SINCLAIR, 1996); Assim, existe um conflito entre a conservação da água pela planta e a taxa de assimilação de CO₂ para produção de carboidratos (TAIZ & ZEIGER, 1991). A necessidade em se resolver este conflito leva a planta a desenvolver mecanismos morfofisiológicos, que as conduzem a economizar água para uso em períodos posteriores (MCCREE & FERNANDÉZ, 1989) levando assim as plantas a tentarem atingir a produção de sementes.

5.3.2 DEFICIÊNCIA HÍDRICA E A CULTURA DO MILHO

Vários trabalhos tratando da necessidade de água do milho (*Zea mays*) foram realizados no Brasil (BRUNINI, et al., 2001). Os trabalhos de ESPINOZA (1979, 1980) foram desenvolvidos em condições de cerrado, onde a ocorrência de “veranicos” é bastante elevada, enquanto que os de BRUNINI (1981, 1982) foram conduzidos em condições de clima mais úmido.

O milho, assim como a maioria das culturas, requer a interação de um conjunto de fatores edafoclimáticos apropriados ao seu bom desenvolvimento.

Sua importância econômica é caracterizada pelas diversas formas de utilização, que vai desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia.

Segundo o CEPA (2011), em Santa Catarina, o milho é uma das culturas mais importante, seja em relação ao montante da área plantada, seja em relação ao volume da produção. O estado destaca-se no cenário nacional como grande produtor de suínos e de aves, atividades que estão ligadas diretamente à produção de milho. Já em relação à quantidade de área plantada, destaca-se a produção de milho nas pequenas propriedades rurais, em sua maioria de até 50 ha, que são predominantes no estado de Santa Catarina.

Santa Catarina está entre os estados brasileiros de maior produção da cultura (alcançou 6.300 kg/ha na safra 2009/10). O grande problema da produtividade do milho em Santa Catarina é a oscilação que há entre a potencialidade tecnológica e as restrições impostas pelo clima, basicamente carência de água durante o ciclo produtivo.

O potencial de uso e ocupação de uma determinada paisagem depende essencialmente das características ambientais do local. No caso do milho, os fatores edafoclimáticos (solo e clima) são considerados os mais importantes para o desenvolvimento da cultura, bem como para a definição dos sistemas de produção. Em relação ao clima, embora o milho responda à interação dos diversos elementos climáticos, os de maior influência sobre a cultura são a radiação solar, a precipitação e a temperatura. Estes fatores atuam eficientemente nas atividades fisiológicas interferindo diretamente na produção de grãos e de matéria seca.

O milho, apesar de ser uma cultura com boa resistência às adversidades meteorológicas, é uma cultura de grande exigência hídrica. A exigência hídrica de uma cultura é uma função dos elementos climáticos e da cultura em si, principalmente do seu índice de área foliar (IAF), que é utilizado para obter-se um coeficiente de cultura. Portanto, ao longo do seu crescimento e desenvolvimento, geralmente a maior exigência hídrica coincide com o subperíodo crítico, em que a deficiência hídrica afeta em maior escala o rendimento. Este subperíodo está compreendido entre a antese e a maturação leitosa, no qual o IAF se mantém próximo do máximo (NIED et al., 2005).

Segundo TOMMASELLI & VILLA NOVA (1995), sua produtividade pode ser bastante reduzida devido à deficiência hídrica, principalmente quando ocorre em torno do período de florescimento. Quando o déficit hídrico ocorre durante o período crítico da cultura, a produtividade de grãos é afetada, reduzindo, principalmente, o número de grãos por espiga (MATZENAUER, 1994; BERGONCI et al., 2001). A caracterização do nível de risco e o conhecimento dos períodos com maior frequência de deficiência hídrica no solo constituem elementos muito úteis à delimitação de áreas e épocas aptas para a semeadura.

A água é o principal fator condicionante das safras de milho de verão, a exemplo do que ocorre nas regiões produtoras deste cereal do mundo. As estatísticas de produção revelam que, nos anos em que ocorrem períodos secos durante os meses de verão, a produtividade das culturas de verão é reduzida, causando prejuízos às cadeias produtivas (MATZENAEUR et al., 2002). Por este motivo, é importante compreender e quantificar os processos que envolvem relações clima-planta, em particular as relações hídricas, a fim de implementar medidas capazes de reduzir os impactos das estiagens sobre a produção dessas espécies.

5.4 EXCEDENTE HÍDRICO

O excedente hídrico representa a quantidade de água precipitada que, por não ser absorvida pelo solo, não ser utilizadas pelas plantas e nem evapotranspirada, escoar pela superfície do terreno e é imediatamente incorporada à rede de drenagem. Todo solo possui um limite específico de estocagem de água, além do qual fica saturado. Sempre que é atingido esse limite, a quantidade de água fornecida pelas chuvas é superior às necessidades de evapotranspiração.

A estimativa dos excedentes de água é de considerável importância prática para os agricultores. Ela não dá somente uma indicação da possível diminuição da erosão do solo, mas também da intensidade do lixiviamento dos nutrientes químicos no solo (MOTA, 1977).

5.5 EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A evapotranspiração consiste no processo inverso da precipitação, pois é a contabilização da perda de água que foi evaporada do solo somada a transpiração das plantas (MENDONÇA et al., 2003), sendo extremamente importante no computo do balanço hídrico. Pode ser representada de duas maneiras: pela Evapotranspiração Potencial (ETP) ou Evapotranspiração de referência (ET_o) e a Evapotranspiração Real (ETR).

A evapotranspiração potencial (ETP) representa a quantidade máxima de água evaporada e transpirada pela vegetação em função das condições climáticas locais, como temperatura média mensal, duração média do dia no mês e número de dias do mês, podendo ser estimada facilmente por meio de fórmulas desenvolvidas e testadas para várias condições climáticas, uma vez que a medida direta é extremamente difícil e onerosa. A evapotranspiração real (ETR) “é a quantidade de água realmente utilizada por uma extensa superfície vegetada com grama, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo, porém, com ou sem restrição hídrica” (SENTELHAS, et al., 1999).

A evapotranspiração é um termo bastante estudado devido a sua importância, já que é a estimativa do consumo de água pelas plantas. A primeira citação foi efetuada por THORTHWAITE em 1948, onde dizia que o fenômeno chamado evapotranspiração potencial, é considerado como: a perda máxima de água em uma superfície de solo bem umedecido, completamente coberta por uma vegetação, em fase de desenvolvimento ativo e com dimensões suficientemente grandes de modo a minimizar os efeitos de energia advectiva local. Se algumas dessas condições não forem atendidas, tem-se a evapotranspiração real. Quase que, simultaneamente, PENMAN (1948), na Inglaterra, também definiu a evapotranspiração potencial ressaltando que a vegetação deveria ser rasteira e com altura uniforme. De um modo geral a grama foi tomada como padrão, em razão da sua utilização nos postos meteorológicos (PEREIRA et al., 1997).

Existem diversos métodos que estimam a evapotranspiração por meio de modelos que necessitam do conhecimento das variáveis meteorológicas. Esses modelos podem ser simples, até os mais complexos. A escolha do método a ser utilizado é em função da disponibilidade de dados climáticos. A

Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem (ICID) e a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), consideram o método de PENMAN-MONTEITH (PM) como padrão para estimativas de evapotranspiração de referência, a partir de dados meteorológicos, sendo utilizado também para avaliar outros métodos (SMITH, 1991). Esse método, no entanto, exige um maior número de dados meteorológicos, o que muitas vezes limita a sua utilização, sendo empregado principalmente em projetos de pesquisas (PEREIRA et al., 1997). Para SEDIYAMA (1996), o método de PM apresenta a vantagem de proporcionar bons resultados tanto em termos horários quanto em diários, sendo também preferível utilizá-los quando os dados lisimétricos são de qualidade duvidosa.

Segundo Villa Nova (1987), as principais variáveis meteorológicas influentes no processo de evapotranspiração são a temperatura, a precipitação, a radiação solar, a velocidade do vento e a umidade relativa. Torna-se complicado analisar separadamente a ação de cada um dos elementos meteorológicos no processo, pois os mesmos agem interligados.

5.6 ÍNDICE DE SATISFAÇÃO DAS NECESSIDADES DE ÁGUA (ISNA)

O Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA) é determinado mediante utilização do balanço hídrico seqüencial. É a componente mais importante do balanço hídrico na definição dos riscos climáticos por ser um indicador da necessidade de água pela planta. Neste trabalho, como o ISNA não foi calculado para uma cultura específica, é obtido pela seguinte relação:

$$ISNA = ETR / ETo$$

Sendo: ETR, a evapotranspiração real, e ETo, a evapotranspiração de referência (ou potencial), estimada pelo método de Penman-Monteith (Padrão FAO-1998).

6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 DADOS E ÁREA DE ESTUDOS

Para desenvolvimento do presente trabalho foram utilizados dados de 20 estações meteorológicas no Estado de Santa Catarina (Figura 1) pertencentes à EPAGRI (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina) e ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

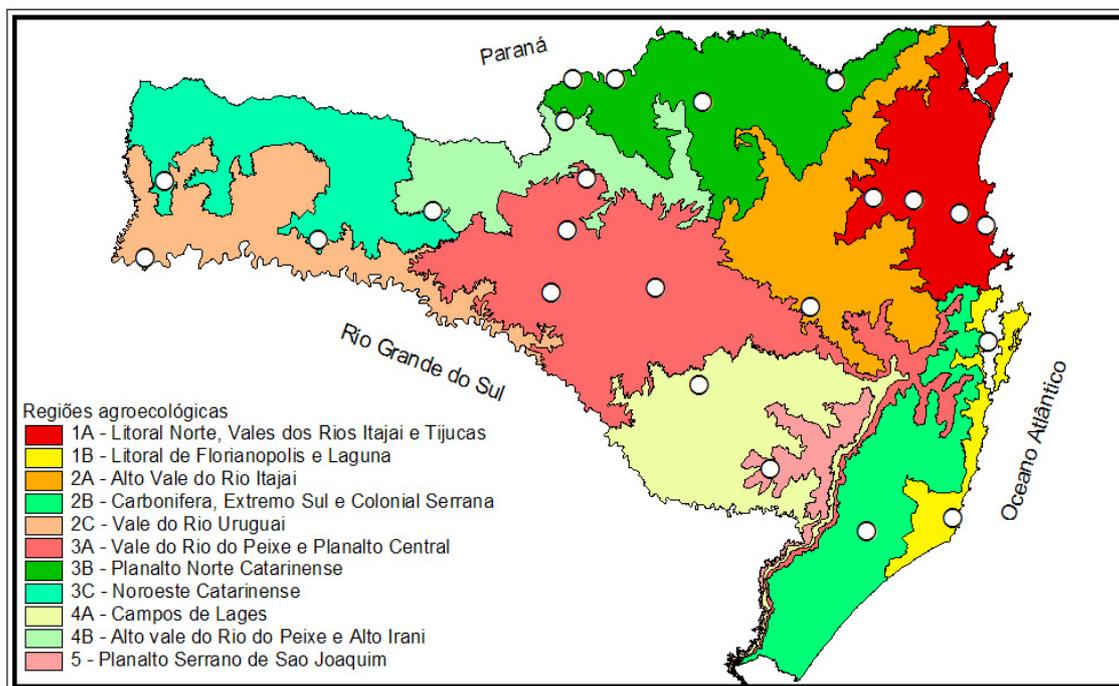


Figura 1 - Localização geográfica das estações meteorológicas utilizadas no estudo e as regiões climaticamente homogêneas de acordo com Braga & Ghellre (1999).

As variáveis meteorológicas utilizadas foram temperaturas média, máxima e mínima do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento a 10 metros e insolação. Informações adicionais de cada estação meteorológica estão dispostas na Tabela 1, como município e região climática a qual pertence.

Os dados de produtividade e rendimento do milho foram obtidos no ICEPA (2011). Para estudar os efeitos da deficiência hídrica no milho foi escolhido o município de Campos Novos, utilizando-se as médias de ETR/ETO de dezembro à março, coincidindo com o período de floração e enchimento de grão (excluindo safrinha), sendo este o momento mais crítico e susceptível de deficiência hídrica.

Tabela 1 - Estações meteorológicas, com o código, coordenadas geográficas, número de anos da série histórica e região climática a qual pertencem.

Regiões	Código da estação	Nome Estação	Série (anos)	Latitude	Longitude	Altitude
	167	Indaial	18	26.91	49.2	86.13
1A	34	Blumenau	18	26.91	49.07	12.7
	78	Camboriú	17	27	48.6	9
1B	124	São José	24	27.60	48.61	2
2A	191	Ituporanga	24	27.418	49.6	475
2B	434	Urussanga	21	28.53	49.31	48
2C	477	Itapiranga	21	27.1	53.6	200
	60	Caçador	24	26.8	50.98	960
3A	442	Videira	21	27.02	51.14	774
	469	Campos Novos	25	27.38	51.21	964.23
	507	Curitibanos	16	27.28	50.6	1016
	515	Major Vieira	18	26.36	50.3	765
3B	302	Porto União	19	26.2	51.06	778.04
	205	Irineópolis	18	26.25	50.8	778.79
	585	Porte Serrada	18	26.92	51.92	1100
3C	108	Chapecó	21	27.0	52.63	679
	361	São Miguel d'Oeste	21	26.7	53.50	700
4A	230	Lages	25	27.8	50.32	937.73
4B	582	Matos Costa	14	26.47	51.14	1200
5	352	São Joaquim	21	28.27	49.93	1376

6.2 ÍNDICE DE SATISFAÇÃO DAS NECESSIDADES DE ÁGUA

Pelo balanço hídrico, pode-se obter uma das variáveis mais importantes e utilizadas na definição de riscos climáticos: o Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA), definido pela relação entre evapotranspiração real (ETR) e a evapotranspiração potencial (ETP ou ETo) da cultura, por ser um indicador de atendimento da necessidade de água pela planta (BRUNINI, 2001).

O método utilizado para a estimativa de ETo foi o de PENMAN & MONTEITH. Este é o método padrão da FAO (Allen et al. 1998), e entre outros motivos para sua escolha é o maior número de variáveis meteorológicas utilizadas e influentes nesse processo físico, e também por estudos demonstrarem sua maior precisão em relação a outros métodos (DE LORENZI, 2010).

$$ET_o = \frac{0,4085 \cdot S \cdot (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_a + 273} u_2 (e_s - e_a)}{S + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (6)$$

onde:

S – gradiente da curva pressão vapor VS temperatura, (kPa °C⁻¹)

R_n – radiação solar líquida disponível, (MJ.m⁻².d⁻¹)

G – fluxo de calor no solo, (MJ.m⁻².d⁻¹)

γ – 0,063 é a constante psicrométrica, (kPa °C⁻¹)

u₂ – velocidade do vento a 2 m, (m.s⁻¹)

e_s – pressão de saturação do vapor de água atmosférico, (kPa)

e_a – pressão atual do vapor de água atmosférico, (kPa)

T_a – temperatura média diária do ar, (°C).

6.3 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS – SISAGRO II

O programa (Figura 2) Sisagro II (Sistema de Agrometeorologia para Computador), desenvolvido na EPAGRI-CIRAM, foi utilizado para o cálculo de balanço hídrico e da evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith.



Figura 2 – Janela de apresentação do programa Sisagro II- Sistema de Agrometeorologia para Computador.

Figura 3 – Área de trabalho do Sisagro II para o cálculo de balanço hídrico (Penman-Monteith).

No cálculo do balanço hídrico (Figura 3), o programa estimou a radiação solar a partir da insolação. A pressão e o psicrômetro adotados para os balanços foram estimados pelo programa. Foi adotado CAD (capacidade de campo) e ARM (armazenamento) de 105 mm, calculado de acordo as particularidades da cultura do milho. O negativo-acumulado da série inicial adotado para os cálculos foi zero (0).

Para cada estação rodou-se o balanço hídrico nas escalas mensal e decendial. Exclusivamente, a estação de Campos Novos foi selecionada para realização de balanço hídrico a nível diário, já que foi utilizada para estudo de relação da produtividade da cultura milho associada à deficiência hídrica.

6.5 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS – MICROSOFT EXCEL

Com o Microsoft Excel (Figura 4), importaram-se as tabelas de balanço hídrico geradas pelo SISAGRO II e com isso desenvolveram-se tabelas dinâmicas para cada estação com os dados, média de ETR/ETP a nível mensal e decendial, e também a média decendial de deficiência hídrica (em mm).

ANO	MÊS	DECÊNIO	PRECIP.	ETP	PR-ETP	N.A.	VAL. ARM.	ALT.	ETR	DEFIC.	EXC.	ETR/ETP
1986	1	1	64,92	55,01	9,91	0	105	0	55,01	0	9,91	1
Total geral	0,9912	0,9556	0,9472	0,9772	0,992	0,9996	0,9988	0,9728	0,997916667	0,99875	0,97375	0,947083333

Figura 4 – Programa Microsoft Excel para construção de tabelas dinâmicas

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 DEFICIÊNCIA HÍDRICA EM SANTA CATARINA

A Tabela 3 mostra que os valores do ISNA mensal e decendial foram altos, sendo que apenas a estação de Blumenau (**0,89 e 0,84**) mostrou média do ISNA mensal e decendial menor que 0,9. Na média, Santa Catarina é um Estado com poucos problemas de deficiência hídrica, já que sua distribuição pluviométrica é uma das melhores do país ao longo do ano (MONTEIRO, 2001). Assim sendo, a média mensal de todas as estações trabalhadas foi **de 0,97** e a média decendial de todas as estações foi **de 0,94**, o que nos demonstra que Santa Catarina é uma região agroclimática muito favorável à agricultura, sem riscos significativos à produção agrícola no que se refere à questão hídrica. A estação com a maior média do ISNA foi a de São Joaquim, com valores mensais e decendiais de **0,99 e 0,97**, respectivamente.

Outro resultado observado foi que as médias mensais são sempre mais elevadas que as médias decendiais. Quanto maior a escala, menor o número de dados e com isso a tendência lógica e matemática de uma queda nos valores à medida que a escala de períodos se torna menor. Em estudos feitos por ASSAD & SANO (1998) mostra que o coeficiente de variação associado à precipitação mensal é muito elevado, e sendo a deficiência hídrica, diretamente dependente deste, torna-se necessário que as análises estatísticas sejam feitas em períodos menores.

Tabela 3 – Média mensal e decendial de ISNA e média decendial de deficiência hídrica

Regiões	Código da estação	Nome Estação	Série (anos)	Altitude	ETR/ETP (Mensal)	ETR/ETP (Decendio)	Média Decendial de DEFIC. (mm)
1A	167	Indaial	18	86.13	0,98	0,95	1,2
	34	Blumenau	18	12.7	0,89	0,84	8,12
	78	Camboriú	17	9	0,98	0,96	1
1B	124	São José	24	2	0,95	0,92	2,74
2A	191	Ituporanga	24	475	0,97	0,94	2,72
2B	434	Urussanga	21	48	0,98	0,96	1,31
2C	477	Itapiranga	21	200	0,95	0,92	3
3A	60	Caçador	24	960	0,98	0,95	1,46
	442	Videira	21	774	0,98	0,96	1,06
	469	Campos Novos	25	964.23	0,97	0,95	1,77
	507	Curitibanos	16	1016	0,97	0,94	1,89
3B	515	Major Vieira	18	765	0,97	0,95	1,25
	302	Porto União	19	778.04	0,98	0,95	1,32
	205	Irineópolis	18	778.79	0,98	0,96	0,94
3C	585	Ponte Serrada	18	1100	0,98	0,96	1,11
	108	Chapecó	21	679	0,97	0,94	2,27
	361	São Miguel d'Oeste	21	700	0,97	0,93	2,64
4A	230	Lages	25	937.73	0,98	0,96	1,17
4B	582	Matos Costa	14	1200	0,98	0,95	1,21
5	352	São Joaquim	21	1376	0,99	0,97	0,73

Ao analisarmos a média decendial de deficiência hídrica, podemos constatar que apenas a estação de Blumenau teve valor de destaque acima de 3mm, com média de **8,12mm** por decêndio. Não obstante, os valores de deficiência hídrica das estações demonstram-se de baixo risco agroclimático e muito favoráveis aos cultivos agrícolas, sendo a média da deficiência hídrica de todas as estações estabelecida em **1,92mm por decêndio**. Quando se trabalha com médias decendiais de deficiência hídrica, muitas vezes valores baixos são mascarados. O exemplo disso é a estação de Campos Novos, que possui a média baixa de **1,71mm por decêndio**, no período de janeiro a março de 1991 apresentou **média de 17,92mm por decêndio**.

Não obstante, alguns estudos, como EMBRAPA (1997) e EPAGRI (1999), apontam que Santa Catarina não apresenta problemas de deficiência hídrica e MOTA (1977) ainda caracteriza o Estado como uma região com excesso hídrico durante todo o ano.

7.2 DEFICIÊNCIA HÍDRICA X RENDIMENTO DO MILHO

O conceito de estresse hídrico, baseado na relação ETR/ET_o (ISNA) foi desenvolvido em função dos trabalhos de MOTA (1979); BROWN (1977); BAIER (1977); DENMEAD & SHAW (1968); BRUNINI (1981, 1987); CAMARGO & HUBBARD (1990), na qual a penalização para produtividade ou desenvolvimento é baseada na divisão de (ETR/ET_o) em um determinado período.

A Figura 5 mostra a relação entre o rendimento do milho e o ISNA para o município de Campos Novos, considerando os meses de novembro a março, onde se processa o período compreendido entre semeadura e colheita desta cultura. Tendencialmente, os períodos de deficiência hídrica acompanham grande parte das quedas de produtividade, como exemplo, os resultados observados em 1991.

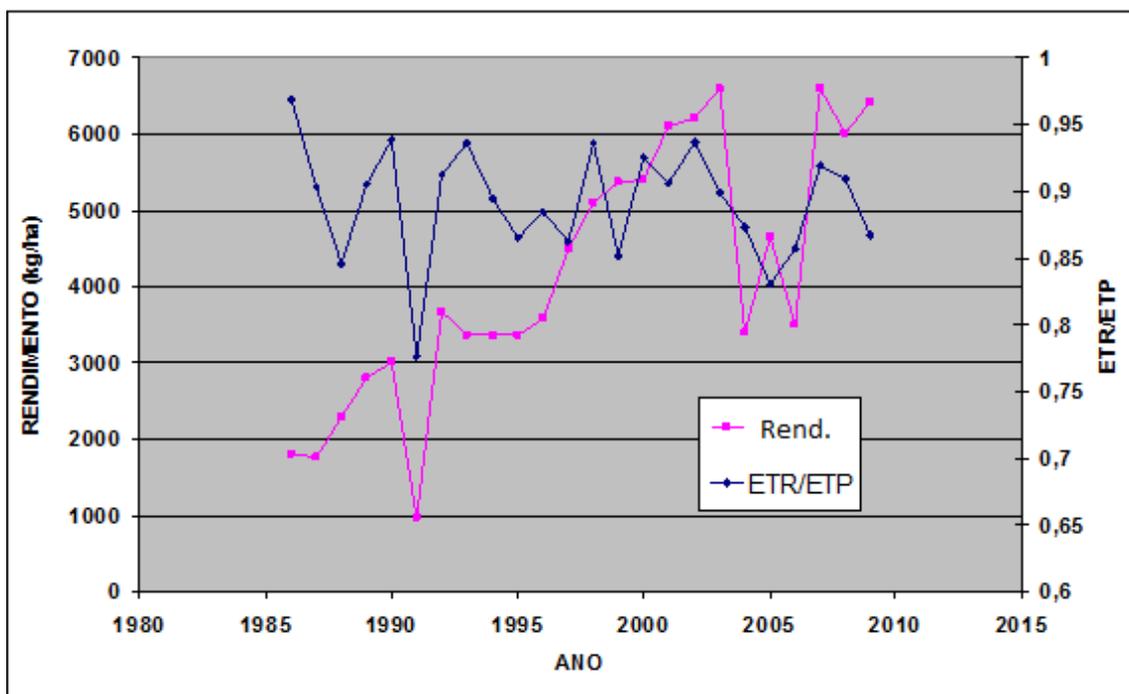


Figura 5 – Rendimento da cultura do milho e média da ETR/ETP dos meses de novembro à março do município de Campos Novos, SC nas safras 1985/86 a 2008/09.

SANS et al., (2001), afirmam que independente do tipo de solo e das condições climáticas, somente quando em torno de 70% da água extraível é retirada, a cultura do milho começa a sofrer estresse hídrico. Para ISNA abaixo de 0,4, a produtividade fica comprometida, ou seja, não há retorno econômico.

Porém, não podemos ignorar que dentre muitos os fatores, o nível tecnológico atual comparado ao de outrora vêm mudando e com isso há incremento indiscutível no rendimento e produtividade do milho e de todas as culturas agrícolas. Na tentativa de isolar ainda mais as variáveis climáticas e o aspecto da deficiência hídrica, realizou-se uma regressão segmentada para obter uma linha de tendência tecnológica (Figura 6).

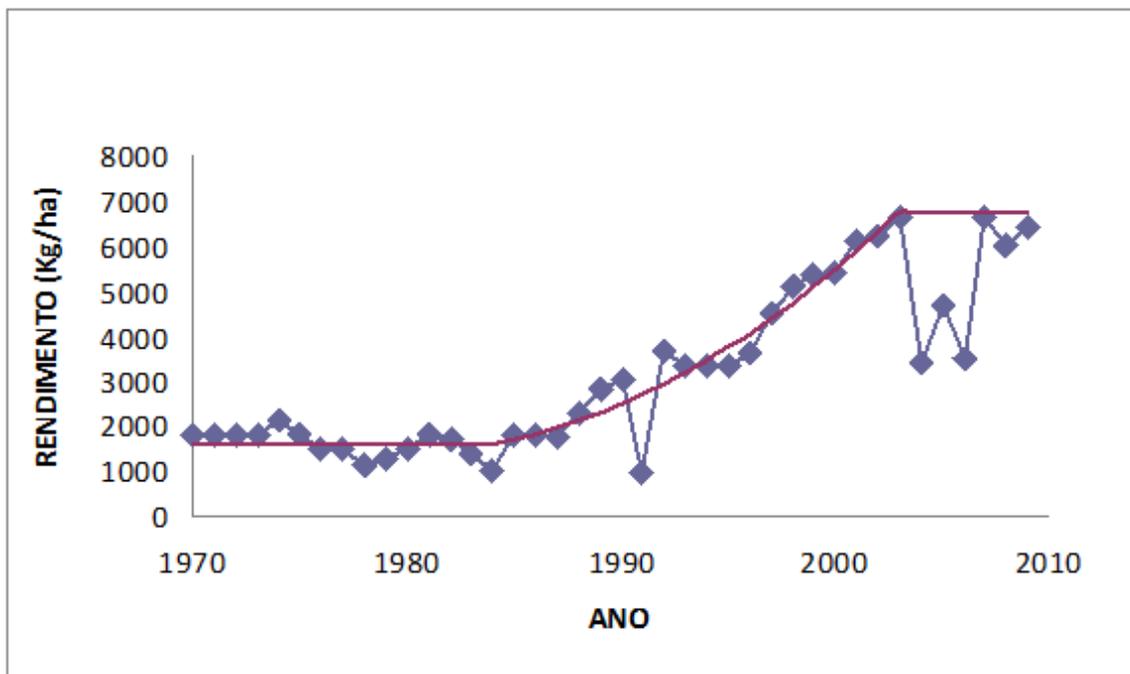


Figura 6 – Rendimento do milho e linha de tendência tecnológica para o município de Campos Novos, em série desde 1970 a 2010.

Obteve-se uma regressão segmentada em três partes. Do ano de 1970 a 1983, e de 2003 em diante, temos uma função de 1º grau linear e constante. De 1983 a 2003, temos uma função de 2º grau e de crescimento exponencial, onde,

Se ano > 1983 e ano < 2003, então:

$$\text{Rend.} = 36607162 - 36992,5 \cdot \text{ANO} + 9,345816 \cdot \text{ANO}^2$$

Se 2003 em diante, o rendimento é constante e linear.

A partir da linha de tendência tecnológica, podemos isolar ainda mais a variável hídrica, sendo essa expressa na Figura 7, onde temos a variação do rendimento do milho desconsiderando o avanço tecnológico. Foram considerados dados de balanços hídricos apenas no período de safra, entre os meses de novembro a março, para o município de Campos Novos, SC.

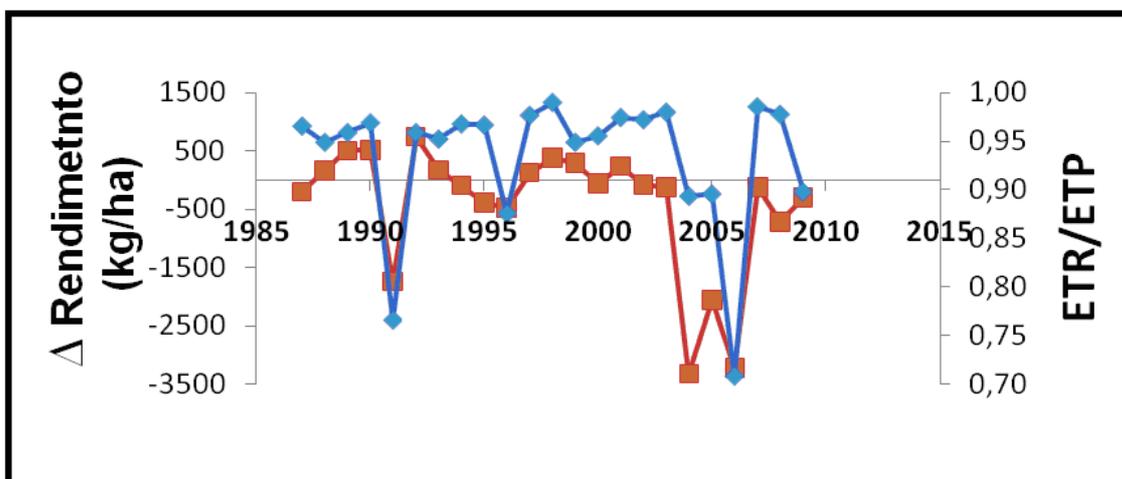


Figura 7 – Diferença entre o rendimento e a tendência tecnológica.

Percebe-se a variação do rendimento de milho em relação à influência da tecnologia no período apresentado. Observa-se que entre os anos de 1990 a 1992 houve uma queda nas duas series. A proximidade das duas linhas neste período representa que a queda da produtividade foi por motivos hídricos. Abaixo de 0,90 há queda significativa de produtividade; e abaixo de 0,80, esta é mais acentuada.

No período de 2003 a 2005 temos duas quedas significativas no rendimento, porém a distância entre as duas séries na primeira queda indica que esta não foi por motivos de deficiência hídrica. Já na segunda queda, a proximidade das séries revela o cenário contrário.

8. CONCLUSÕES

Diante dos resultados mais relevantes, pode-se concluir que:

- Pela climatologia, Santa Catarina apresenta poucos problemas para a agricultura quanto à deficiência hídrica. Porém, o Estado não está isento de episódios de deficiência hídrica, e estas quando ocorrem, afetam diretamente a produtividade do milho.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROCONSULT. **Ficha técnica para zoneamento climático do milho** em Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

AGUILAR, D.J., KRUKER, R.J.M., CALHEIROS, R.O. et al. **Determinação da Evapotranspiração Potencial e Balanço Hídrico da Região da Grande Dourados**. Dourados: EMBRAPA-UEPAE, 1986. 150 p.

ALLEN, R. G.; JENSEN, M. E.; WRIGHT, J. L. **Operational estimates of reference evapotranspiration**. *Agronomy Journal*, Madison, v.81, n.4, p.650-662,1989.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop e evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 297p (FAO Irrigation and Drainager Paper,56),1998.

ASSAD, E.D., SANO, E.E. **Sistema de informações geográficas. Aplicações na agricultura**. Brasília: EMBRAPA SPI, 1998. 434p.

BAIER, W. **Relationship between soil moisture actual potential evapotranspiration**. In: *Proceedings Of Hydrology Symposium N^o 6*, p. 155-204. 1977.

BARRETO, P. N.; SILVA R. B. C.; SOUZA, W. S.; COSTA, G. B.; NUNES, H. G. G. C.; SOUSA, B. S. B. Análise do balanço hídrico durante eventos extremos para áreas de floresta tropical de terra firme da Amazônia Oriental. In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2009, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte. CD.

BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, H.; SANTOS, A.O.; FRANÇA, S.; RADIN, B. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.949-956, 2001

BRAGA, H. J., GHELLRE, R. Proposta de diferenciação climática para o Estado de Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11, 1999, Florianópolis., **Anais...**Florianópolis, SC.,S.B.Agro, 1999. CD-Rom.

BROWN, J.W. Alleviation of salinity and high temperature stress by plant growth regulators into lettuce seeds via acetona. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.10, p.716-721, 1977.

BRUNINI, O. **Estudo do transporte de água no sistema de solo planta atmosfera para a cultura do milho**. Relatório CNPq, 1981. 100p.

BRUNINI, O. **Balanço hídrico em condições de campo para cultivares de milho**. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 14., 1982, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis, 1982.

BRUNINI, O.; ZULLO JÚNIOR, J.; PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; SAWAZAKI, E.; DUARTE, P. D.; PATERNIANI, M. E. Riscos climáticos para a cultura do milho no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 519-526, 2001. Número especial.

CAMARGO, M.P.B.; HUBBARD, K.G. Drought sensitivity indices for a sorghum crop. **Journal Produc. Agric.**, 12 (2) p. 312-316, 1990.

CARPANEZZI, A. A. et al. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado de Santa Catarina**. Curitiba: EMBRAPA-CNPq, 1988. 103 p. (Documento 21).

CARVALHO, S.M. ; STIPP, N.A.F. Contribuição ao Estudo do Balanço Hídrico no Estado do Paraná: uma proposta de classificação qualitativa. Londrina: **Geografia**. v.13 n.1. 2004.

CEPA – INSTITUTO DE PLANEJAMENTO E ECONOMIA AGRÍCOLA DE SANTA CATARINA. **Banco de dados de produção de milho**. Florianópolis: 2011

CEPA - INSTITUTO DE PLANEJAMENTO E ECONOMIA AGRÍCOLA DE SANTA CATARINA.. Acessado 10/05/2011, disponível em: <<http://cepa.epagri.sc.gov.br>>.

CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L. & SAAD, A.M. **Balanço hídrico no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro**. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, 4:23-28, 2000.

DENMEAD, O.T. & SHAW, R. H. **Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions.** *Journal Agrom.*, V 43. p. 385-390, 1968.

DE LORENZI, K.S. **Comparação da evapotranspiração de referência pelos métodos Penman-Monteith e Thorthwaite no Estado de Santa Catarina.** Tese de conclusão de curso, UFSC, Eng. Rural, Florianópolis, 2010, 40p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (EMBRAPACNPS. Documentos, 1).

EPAGRI – **Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina.** 1999. 94p. (Boletim Técnico, 105).

EPAGRI. **Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina.** Governo do Estado de Santa Catarina. Disponível em: <<http://www.epagri.sc.gov.br>>. Acesso em: 14 mar 2011.

EPAGRI/CIRAM. **Dados meteorológicos.** Banco de dados, 2011.

ESPINOZA, W. Efeito da densidade de plantio sobre a evapotranspiração do milho irrigado na época seca no cerrado do Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.14, p.343-350, 1979.

ESPINOZA, W. Extração de água pelo milho em latossolo da região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.15, p.69-78, 1980.

FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E.D.; ALMEIDA, I.R.; EVANGELISTA, B.A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. **Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 415-421, 2001.

JENSEN, M.E. Water consumptions by agricultural plants. In: KOZLOWSKY, T.T. (Ed). **Water deficits and plant growth.** New York: Academic, 1968. V.2, p.1-22

LEVIT, J. **Responses of plants to environmental stresses.** II. Water, radiation, salt and the other stress. New York, Academic Press, 1980. 606p.

LECOEUR, J.; SINCLAIR, R.T. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. **Crop Science**, Madison, v.36, p.331-335, 1996.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba, 1995. 497p.

LIMA, F. B.; SANTOS, G. O. **Balanço hídrico-espacial da cultura para o uso e ocupação atual da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Rita, Noroeste do Estado de São Paulo**. 2009. 89 f. Monografia. Fundação Educacional de Fernandópolis, Fernandópolis - SP, 2009.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Ceres, 1979. 191-215p.

MARTINS, F. B. et. al., **Deficiência hídrica no solo e seu efeito sobre a transpiração, crescimento e desenvolvimento de mudas de duas espécies de eucalipto**. R. Bras. Ci. Solo, 32:1297-1306, 2008.

MASSIGNAM, A.M.; PANDOLFO, C.; HAMMES, L. A.; PEREIRA, E.S. Variabilidade e probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas decendiais do ar no Estado de Santa Catarina. Lages-SC, **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.4, n.2, p. 109-119, 2005.

MATZENAUER, R.; WESTPHALEN, S.L.; BERGAMASCHI, H. Relações entre a evapotranspiração do milho e as fórmulas de Penman e Thornthwaite. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.18, p.1207-1214, 1983.

MATZENAUER, R. **Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento de milho, em função da disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Sul**. 1994. 172p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MATZENAUER, R.; FONTANA, D.C. Relação entre rendimento de grãos e altura de chuva em diferentes períodos de desenvolvimento do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 5., 1987, Belém. **Coletânea de trabalhos**. Belém: SBA, 1987. p.3-6.

MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A.; MALUF, J.R.T.; BARNI, N.A.; BUENO, A.C.; DIDONE, I.A.; ANJOS, C.S.; MACHADO, F.A.; SAMPAIO, M.R. **Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e**

soja, no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Fepagro, 2002. 105p. (BOLETIM Fepagro, 10).

McGREE, K.J.; FERNÁNDEZ, C.J. Simulation model for studying physiological water stress responses of whole plants. **Crop Science**, Madison, v.29, p.353-360, 1989.

MEDEIROS, A. T. **Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba, CE.** 2002. 103 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP, 2002.

MENDONÇA, J. C. SOUSA, E. F.; BERNARDO, S.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003.

MONTEIRO, M. A. **Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano.** Geosul, Florianópolis, v.16, n.31, p 69-78, jan./jun. 2001

MOTA, F. S. (1977). **Meteorologia agrícola.** 3^a ed. São Paulo: Nobel, 376 p.

MOTA, F.S. da, AGENDES, M.O. de O., SILVA, J.B. da Risco de secas para a cultura da soja em diferentes regiões climáticas e tipos de solo do Rio Grande do Sul. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.44, n.394, p.11-30, 1991.

MOTA, F.S. da, AGENDES, M.O. de O., SIGNORINI, E. Informação agroclimatológica para planejamento da irrigação do feijoeiro no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p.141-148, 1993.

MOTA, F.S. da, BEIRSDORF, M.I.C., ACOSTA, M.J.C. et al. **Zoneamento agroclimático do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** Pelotas: IPEAS, 1974. v.2. 122p. (IPEAS. Circular, 50).

MOTA, F.S. da, ZAHLER, P.J.M. **Clima, agricultura e pecuária no Rio Grande do Sul.** Pelotas: Ed. Livr. Mundial, 1994. 166p.

NIED, A.H.; HELDWEIN, A.B.; ESTEFANEL, V.; SILVA, J.C. da; ALBERTO, C.M. Épocas de semeadura do milho com menor risco de ocorrência de deficiência hídrica no município de Santa Maria, RS, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, p.995- 1002, 2005.

ORTOLANI, A.A.; CAMARGO, M.B.P. Influência dos fatores climáticos na produção. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1987. p.71-100.

PEREIRA, A. R., NOVA, N. A. V., SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba, SP. Editora FAELQ, 183p. 1997.

PEREIRA, A R. **Simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather**. Piracicaba: ESALQ-USP, 2005.

ORSELLI, L. & SILVA, J. T. N. **Contribuição ao estudo do Balanço Hídrico em Santa Catarina**. Florianópolis, Ed. UFSC. Série Didática: Bioclimatologia. n. II , outubro,1988.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Barueri (SP): Manole, 1990.

RODRIGUES, L.N.; MANTOVANI, E.C.; RAMOS, M.M.; SEDIYAMA, G.C. O modelo de Ritchie na determinação da evapotranspiração do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 44, p.191-204, 1997

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

SANS, L.M.A., ASSAD, E.D., GUIMARÃES, D.P. et al. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de milho na Região Centro-Oeste do Brasil e para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, p.527-535, 2001. Número Especial – Zoneamento Agrícola.

SANTOS, R. F. e CARLESSO, R.,1998. **Deficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2, n.3, p. 287-294.

Santos, G.O; Hernandez, F.B.T.; Rossetti, J.C.. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 4, n. 3, p.142-149, 2010.

SEDIYAMA, G. C. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria,v.4,n.1. p.1-12. 1996.

SENTELHAS, P. C., PEREIRA, A. R., ANGELOCCI, L.R. Meteorologia Agrícola. Piracicaba–SP. Universidade de São Paulo. Departamento de Ciências Exatas, fevereiro, 1999.p 46-70.

SINCLAIR, T.R. & LUDLOW, M.M. **Influence of soil water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes**. Aust. J. Plant Physiol., 13:319-340, 1986.

SMITH, M. **Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements**. Rome FAO. 45p. 1991.

TAIZ, L.; ZEIGER. **Plant Physiology**. California: The Benjamin/ Cummings Publishing Company, Inc., Redwood City, 1991.

TOMMASELLI, J.T.G.; VILLA NOVA, N.A. Épocas de plantio de milho em função das deficiências hídricas no solo em Cambará, PR. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.4, p.505-514, abr. 1995.

VAN BAVEL, C. H. M., 1953. **A drought criterion and its application in evaluating drought** incidence and hazard. Agronomy J.

VILLA NOVA, N. A. **Principais métodos climáticos de estimativa de aplicação de água de irrigação**. Piracicaba. ESALQ/ Departamento de Física e Meteorologia, 22p. 1987.