

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**TRANSPIRAÇÃO E CRESCIMENTO FOLIAR DE
GENÓTIPOS DE BATATA EM FUNÇÃO DA FRAÇÃO
DE ÁGUA TRANSPIRÁVEL NO SOLO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

André Trevisan de Souza

Santa Maria, RS, Brasil.

2012

**TRANSPIRAÇÃO E CRESCIMENTO FOLIAR DE
GENÓTIPOS DE BATATA EM FUNÇÃO DA FRAÇÃO DE
ÁGUA TRANSPIRÁVEL NO SOLO**

André Trevisan de Souza

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Área de concentração em Engenharia de água e solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola**

Orientador: Prof. Arno Bernardo Heldwein

Santa Maria, RS, Brasil.

2012

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Souza, André Trevisan de
Transpiração e crescimento foliar de genótipos de
batata em função da fração de água transpirável no solo /
André Trevisan de Souza.-2012.
45 p.; 30cm

Orientador: Arno Bernardo Helwein
Coorientador: Nereu Augusto Streck
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2012

1. Solanum tuberosum 2. Tolerância à seca 3. Estresse
hídrico I. Helwein, Arno Bernardo II. Streck, Nereu
Augusto III. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação de Mestrado

**TRANSPIRAÇÃO E CRESCIMENTO FOLIAR DE GENÓTIPOS DE
BATATA EM FUNÇÃO DA FRAÇÃO DE ÁGUA TRANSPIRÁVEL NO
SOLO**

elaborada por
André Trevisan de Souza

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Agrícola

COMISSÃO EXAMINADORA:


Arno Bernardo Heldwein, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)


Genei Antonio Dalmago, Dr. (Embrapa)


Evandro Zanini Righi, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 28 de fevereiro de 2012.

A toda minha família e a todos aqueles que estiveram ao meu lado, especialmente minha namorada Carla Coelho Kratz e meus pais Romalino Brandão de Souza e Vera Beatriz Trevisan de Souza.

Dedico...

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Romalino e Vera por todo o apoio durante os meus estudos e pelo exemplo de vida.

À minha namorada Carla, por todo o amor, incentivo e compreensão.

Ao professor Arno Bernardo Heldwein pela oportunidade, orientação e amizade

Ao professor Nereu Augusto Streck, que foi mais que um co-orientador por ter participado durante todo o processo de elaboração e execução desse trabalho sempre com muita dedicação, incentivo e amizade.

Aos colegas e amigos do Ensino Técnico, Graduação e Pós-graduação do Setor de Agrometeorologia da UFSM, que trabalharam muito durante a coleta de dados dos experimentos. A vocês o meu especial e sincero agradecimento.

Aos avaliadores desta dissertação, professores Genei Antonio Dalmago e Evandro Zanini Righi, pelas contribuições que enriqueceram esta dissertação.

Aos funcionários do Departamento de Fitotecnia pelo auxílio na instalação dos experimentos.

A Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desta dissertação, o meu sincero agradecimento.

“Eu que já não quero mais ser um vencedor
Levo a vida devagar pra não faltar amor”

Marcelo Camelo

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

TRANSPIRAÇÃO E CRESCIMENTO FOLIAR DE GENÓTIPOS DE BATATA EM FUNÇÃO DA FRAÇÃO DE ÁGUA TRANSPIRÁVEL NO SOLO

AUTOR: ANDRÉ TREVISAN DE SOUZA
ORIENTADOR: ARNO BERNARDO HELDWEIN
Local e data da defesa: Santa Maria, 28 de fevereiro de 2012.

O objetivo deste trabalho foi determinar a resposta da transpiração e do crescimento ao conteúdo de água disponível no solo, representado pela fração de água transpirável no solo (FATS), em três clones avançados (SMINIA 00017-6, SMINIA 02106-11 e SMINIA 793101-3) do Programa de Genética e Melhoramento de Batata da Universidade Federal de Santa Maria, adaptados as condições subtropicais e temperadas de cultivo e da cultivar Asterix. Foram realizados dois experimentos em casa de vegetação em Santa Maria, RS, na primavera (cultivo de safra), com plantio em 08/09/2010 e no outono (cultivo de safrinha), com plantio em 01/04/2011. A água disponível, representada pela FATS, a transpiração e o crescimento foliar foram medidos diariamente durante o período de imposição da deficiência hídrica. A FATS crítica que começa a afetar a transpiração, indicativo do início do fechamento estomático, foi de 0,36, 0,38, 0,41 e 0,29 para os clones SMINIA 02106-11, SMINIA 00017-6, SMINIA 793101-3 e Asterix, respectivamente no primeiro experimento e 0,26, 0,27, 0,21 e 0,22 no segundo experimento, indicando que a cultivar Asterix é menos tolerante ao déficit hídrico no solo no cultivo de primavera que os clones avançados. Já a FATS crítica que começa a afetar o crescimento foliar foi maior que para a transpiração, 0,44, 0,4, 0,46 e 0,47 no primeiro experimento para SMINIA 02106-11, SMINIA 00017-6, SMINIA 793101-3 e Asterix, respectivamente, e 0,27, 0,38, 0,29 e 0,26 no segundo experimento. Estes resultados confirmam a variabilidade genética da batata, e mostram que cada genótipo se relaciona de uma forma com o ambiente.

Palavras-chave: *Solanum tuberosum*. Tolerância à seca. Estresse hídrico.

ABSTRACT

Master of Science Dissertation
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

TRANSPIRATION AND LEAF GROWTH OF POTATO GENOTYPES AS A FUNCTION OF FRACTION OF TRANSPIRABLE SOIL WATER

AUTHOR: André Trevisan de Souza

ADVISOR: Arno Bernardo Heldwein

Location and date of presentation: Santa Maria, February 28th, 2012.

The objective of this study was to determine the response of transpiration and leaf growth to the fraction of transpirable soil water (FTSW), in three clones (SMINIA 02106-11, SMINIA 00017-6 and SMINIA 793101-3) of Potato Genetic and Breeding Program of the Federal University of Santa Maria, adapted to subtropical and temperate conditions of cultivation and the cultivar Asterix. Two experiments were conducted in a greenhouse in Santa Maria, in the Spring, with planting in 08/09/2010 and on the Fall, with planting on 01/04/2011. The available water, represented by FTSW, transpiration and leaf growth were measured on a daily basis, in each experiment, during the period of soil drying. The threshold FTSW that begins to affect transpiration, indicating the beginning of stomatal closure, was 0.36, 0.38, 0.41 and 0.29 for clones SMINIA 02106-11, SMINIA 00017-6, SMINIA 793101-3 and Asterix, respectively in the first period and 0.26, 0.27, 0.21 and 0.22 in the second period, indicating that the cultivar Asterix is less tolerant to soil water deficit cultivation in the spring than advanced clones. The threshold FTSW that begins to affect leaf growth was higher than for transpiration, 0.44, 0.40, 0.46 and 0.47 in the first experiment to SMINIA 02106-11, SMINIA 00017-6, SMINIA 793101-3 and Asterix, respectively, and 0.27, 0.38, 0.29 and 0.26 in the second experiment. These results confirm the genetic variability of the potato, and shows that each genotype is related in a way with the environment.

Keywords: *Solanum tuberosum*. Drought tolerance. Water stress.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Representação esquemática dos três estágios de hidratação das plantas associados à redução da umidade no solo..... 17
- Figura 2 – Temperaturas mínima (T_{min}) e máxima (T_{max}) diária do ar (a) durante os dois experimentos (E1 e E2), déficit de pressão de vapor do ar (DPV) diário às 15 horas (b) durante o segundo experimento (E2) e fotoperíodo (F) e radiação solar global (R_g) (c) no período dos dois experimentos (E1 e E2) com a cultura da batata. Santa Maria, RS, 2010-2011..... 28
- Figura 3 – Transpiração relativa normalizada (TR) em função da fração de água transpirável no solo (FATS) para os clones de batata SMINIA 02106-11 (a, b), SMINIA 00017-6 (c, d), SMINIA 793101-3 (e, f) e Asterix (g, h) cultivados em casa de vegetação em experimentos com início da aplicação do déficit hídrico em 05/09/2010 - E1 (a, c, e, g) e 03/05/2011 - E2 (b, d, f, h). Santa Maria, RS, 2010-2011. FATS crítica: fração de água transpirável no solo quando inicia a redução da transpiração das plantas devido ao início do fechamento estomático. 35
- Figura 4 – Crescimento foliar relativo (CFR) em função da fração de água transpirável no solo (FATS) para os clones de batata SMINIA 02106-11 (a, b), SMINIA 00017-6 (c, d), SMINIA 793101-3 (e, f) e Asterix (g, h) cultivados em casa de vegetação em experimentos com início da aplicação do déficit hídrico em 05/09/2010 - E1 (a, c, e, g) e 03/05/2011 - E2 (b, d, f, h). Santa Maria, RS, 2010-2011. FATS crítica: fração de água transpirável no solo quando inicia a redução do crescimento foliar..... 38

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Genealogia dos clones avançados do Programa de Genética e Melhoramento de Batata da Universidade Federal de Santa Maria e da cultivar utilizados nos dois experimentos. Santa Maria, RS, 2010-2011. 21
- Tabela 2 – Equações de estimativa da área de folíolos individuais (AF, cm²) a partir do produto do comprimento e da largura do folíolo (C L, cm²) e coeficiente de determinação ajustado (r²a) de quatro clones de batata. Santa Maria, RS, Brasil, 2011..... 24
- Tabela 3 – Número de repetições utilizadas para os tratamentos sem déficit hídrico (T1) e com déficit hídrico (T2) de cada genótipo nos dois experimentos (E1 e E2) com a cultura da batata. Santa Maria, RS, 2010-2011..... 29
- Tabela 4 – Biomassa seca total inicial e final, radicular, de tubérculos e aérea no final do período de imposição do déficit hídrico para os clones de batata SMINIA 02106-11, SMINIA 00017-6, SMINIA 793101-3 e Asterix, submetidos aos tratamentos sem déficit (T1) e com déficit hídrico (T2) a partir de cerca de 10 folhas, cultivados em casa de vegetação em vaso em dois experimentos, com início da aplicação do déficit hídrico em 05/09/2010 (E1) e 03/05/2011 (E2). Santa Maria, RS, 2010-2011..... 31
- Tabela 5 – Estatura média de plantas inicial e final e número médio de folhas inicial e final na haste principal dos clones de batata SMINIA 02106-11, SMINIA 00017-6, SMINIA 793101-3 e Asterix, submetidos aos tratamentos sem déficit (T1) e com déficit hídrico (T2) a partir de cerca de 10 folhas, cultivados em casa de vegetação em vaso em dois experimentos, com início da aplicação do déficit hídrico em 05/09/2010 (E1) e 03/05/2011 (E2). Santa Maria, RS, 2010-2011..... 32
- Tabela 6 – Transpiração total média e coeficiente de transpiração dos clones de batata SMINIA 02106-11, SMINIA 00017-6, SMINIA 793101-3 e Asterix, submetidos aos tratamentos sem déficit (T1) e com déficit hídrico (T2) a partir de cerca de 10 folhas, cultivados em casa de vegetação em vaso em dois experimentos, com início da aplicação do déficit hídrico em 05/09/2010 (E1) e 03/05/2011 (E2). Santa Maria, RS, 2010-2011..... 33
- Tabela 7 – Fração de água transpirável no solo em que inicia o fechamento estomático (FATS crítica) para transpiração relativa (TR) e para o crescimento foliar relativo (CFR) dos clones de batata SMINIA 02106-11, SMINIA 00017-6, SMINIA 793101-3 e Asterix, submetidos aos tratamentos sem déficit (T1) e com déficit hídrico (T2) a partir de cerca de 10 folhas, cultivados em casa de vegetação em vaso em dois experimentos, com início da aplicação do déficit hídrico em 05/09/2010 (E1) e 03/05/2011 (E2). Santa Maria, RS, 2010-2011..... 36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivo geral.....	13
1.2 Objetivos específicos.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 A cultura da batata.....	14
2.2 Déficit hídrico.....	15
2.3 Resposta ao déficit hídrico	18
3 MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 Aplicação da deficiência hídrica e avaliação das respostas das plantas	22
3.2 Normalização das variáveis	25
3.3 Variáveis ambientais	25
3.4 Análise estatística.....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5 CONCLUSÕES.....	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

1 INTRODUÇÃO

A batata é um dos principais alimentos da humanidade e faz parte da dieta de mais de um bilhão de pessoas. É uma planta tuberosa, cujo cultivo é importante em pequenas unidades de produção do Sul do Brasil (PEREIRA, 2003).

A planta da batata é bastante suscetível ao déficit hídrico por apresentar um sistema radicular reduzido e superficial, que representa menos de 2% da matéria seca total da planta. O déficit hídrico é uma situação comum durante a produção de muitas culturas no Sul do Brasil, podendo resultar em considerável impacto negativo no crescimento e desenvolvimento das plantas. Assim, sendo a batata a hortaliça de maior importância no país, há necessidade de se estudar mais detalhadamente a transpiração, o crescimento e o desenvolvimento dessa cultura em resposta ao déficit hídrico no solo. Durante as trocas gasosas da planta ocorre a transpiração e a assimilação de CO₂. Portanto, a medida da transpiração pode indicar indiretamente a atividade fotossintética da planta.

O conceito da fração de água transpirável no solo (FATS) tem sido utilizado na avaliação das respostas das plantas ao déficit hídrico. Neste conceito, assume-se que o conteúdo de água no solo utilizado pela planta para a transpiração varia entre o conteúdo de água no solo na capacidade de campo, quando a transpiração é potencialmente máxima, e o conteúdo de água no solo quando a transpiração da planta é igual a 10% da transpiração máxima (SINCLAIR; LUDLOW, 1986). Segundo Santos e Carlesso (1998), este conceito parece ser o que mais se aproxima da realidade como indicador da quantidade real de água no solo que pode ser extraída pelas plantas para a transpiração.

A resposta de parâmetros da transpiração e de parâmetros do crescimento e desenvolvimento à FATS foi anteriormente estudada em batata (WEISZ et al., 1994; LAGO, 2011). Apesar disso, novos clones têm sido desenvolvidos e introduzidos no Rio Grande do Sul e sua resposta à deficiência hídrica ainda não é conhecida, o que constituiu a motivação para propor esta dissertação. Uma fonte de novos clones é o Programa de Genética e Melhoramento de Batata da Universidade Federal de Santa Maria. A identificação de clones avançados tolerantes ao déficit hídrico é importante para minimizar as perdas de rendimento de produtividade na lavoura.

1.1 Objetivo geral

Auxiliar no processo de seleção de clones avançados de batata no Programa de Genética e Melhoramento de Batata da Universidade Federal de Santa Maria, com vistas a identificar genótipos com maior tolerância ao déficit hídrico no solo.

1.2 Objetivos específicos

Quantificar a resposta da transpiração e de variáveis do crescimento e desenvolvimento de clones de batata ao déficit hídrico no solo, e determinar a FATS em que a transpiração relativa e as variáveis de crescimento e desenvolvimento de cada clone começam a ser reduzidos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura da batata

A batata é uma planta originária das regiões altas da Cordilheira dos Andes na América do Sul, localizadas entre as latitudes de 65°N e 50°S. É uma dicotiledônea, da família Solanaceae, herbácea, com metabolismo C3. É cultivada em mais de 130 países devido a sua adaptabilidade a diferentes climas e topografias. O gênero *Solanum* possui cerca de 2000 espécies, das quais 160 formam tubérculos e destas, 20 são cultivadas. Entre estas, a mais importante economicamente e produzida no mundo é a espécie *Solanum tuberosum* ssp. *tuberosum* (BISOGNIN, 1996; FORTES; PEREIRA, 2003).

A batata é habitualmente cultivada como uma cultura anual na Região Sul do Brasil. A parte aérea é herbácea, com altura variável entre 0,5 a 0,7 m, podendo alcançar até 1,5 m na fase adulta. O ciclo de desenvolvimento da batata varia com a cultivar, podendo ser curto (<90 dias), médio (90-110 dias) ou longo (>110 dias) (FORTES; PEREIRA, 2003). As cultivares de ciclo longo têm hábito de crescimento indeterminado, as de ciclo curto são de crescimento determinado, apresentando o início da tuberização mais cedo que as demais (SOUZA, 2003).

Os tubérculos são formados a partir da diferenciação da extremidade dos estolões ou rizomas. Estes permitem a propagação da planta e são os órgãos de maior interesse econômico da batata. Na superfície do tubérculo encontram-se gemas dormentes, que, ao se desenvolverem, dão origem a um novo sistema de hastes e estolões (FORTES; PEREIRA, 2003).

No Brasil, a batata é a hortaliça de maior importância econômica. No ano 2011, estima-se que a produção foi 3.876.103 t de batata, numa área de 146.909 ha, com uma produtividade média de 26,4 t ha⁻¹ (IBGE, 2011). Os principais Estados produtores de batata são Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul, responsáveis por mais de 96% da produção nacional (IBGE, 2011). No Rio Grande do Sul, são plantados aproximadamente 22.000 ha, com uma produtividade média de 17,2 t ha⁻¹ (IBGE, 2011), sendo cultivada em três principais regiões: Norte/Nordeste/Serra/Hortências, Sul e Central (IBGE, 2010)

2.2 Déficit hídrico

A água é importante para as plantas porque constitui a matriz e o meio onde ocorrem a maioria dos processos bioquímicos essenciais à vida. É o componente mais abundante, representando entre 80 e 95% da massa de tecidos vegetais em crescimento. A água atua em funções básicas do metabolismo celular, como: solvente na maioria das reações bioquímicas; turgescência celular; transporte e translocação de solutos; controle estomático e consumo de uma porção considerável da energia solar incidente pela transpiração principalmente nas folhas, evitando o aumento excessivo da temperatura foliar (MARENCO; LOPES, 2005; TAIZ; ZEIGER, 2009).

A escassez de água no solo é, de longa data, o fator ambiental que mais limita o crescimento e rendimento das culturas agrícolas na maior parte do Planeta (BOYER, 1982). A redução do crescimento e as perdas de rendimento das culturas, verificadas em áreas secas, é, em grande parte, devido ao fechamento estomático em resposta ao baixo conteúdo de água no solo, o que diminui a entrada de CO₂ na câmara subestomática e com consequente redução da fotossíntese (WONG et al., 1985; STRECK, 2004; SENTELHAS; MONTEIRO, 2009). Assim, analisar as respostas das plantas e seus mecanismos de defesa ao déficit hídrico no solo é de grande importância para se diminuir os riscos na produção agrícola.

A quantidade de água no solo pode ser expressa por vários índices, como por exemplo, quantidade total de água armazenada (QTA), capacidade de armazenamento de água disponível para as plantas (CAD), fração de água disponível (FAD) e fração de água transpirável no solo (FATS). Por meio desses índices pode-se determinar o déficit hídrico no solo.

A QTA é definida como a quantidade de água que um solo pode armazenar entre a capacidade de campo (CC), que é definida como o conteúdo de água de um solo depois de ter sido saturado e de ter perdido o excesso de água gravitacional e o ponto de murcha permanente (PMP), que é considerado como o conteúdo de água no solo quando ocorre a murcha permanente das plantas que crescem nele (CARLESSO; ZIMMERMANN, 2000). Contudo, as plantas apresentam redução no crescimento antes que seja atingido o ponto de murcha permanente (CARLESSO, 1995; SOUZA; REICHARDT, 1996; CARLESSO; ZIMMERMANN, 2000). Outra dificuldade na utilização deste método é que a determinação está baseada somente na profundidade do sistema radicular, desconsiderando a densidade radicular, que é menor nas camadas mais profundas do solo, onde a água disponível não é

totalmente extraída (MASON et al., 1983 apud CARLESSO, 1995). De acordo com CARLESSO (1995), o tipo de solo é outra fonte de erro deste método.

O conceito de água extraível (RITCHIE, 1981) ou CAD (CARLESSO; ZIMMERMANN, 2000; PETRY, 2000) supera o conceito anterior por considerar uma combinação solo-cultura visto que é obtida pela diferença do conteúdo volumétrico de água entre os limites superior e inferior de disponibilidade de água às plantas, e considerando cada camada do perfil do solo explorado pelo sistema radicular da cultura (CARLESSO, 1995). O limite superior é definido como conteúdo de água no perfil do solo após a ocorrência da drenagem, a partir da saturação do solo por irrigação ou precipitação, sendo que muitas vezes a CC é utilizada como limite superior, e o limite inferior é considerado como o conteúdo de água no solo quando as plantas estiverem completamente senescidas (CARLESSO; ZIMMERMANN, 2000; PETRY, 2000). Este método também apresenta dificuldades na determinação da água disponível, para determinação do limite inferior a cultura deve apresentar um desenvolvimento normal do sistema radicular, e que nenhum estresse cause redução no crescimento radicular, pois isso pode levar a um aumento no conteúdo de água determinado como limite inferior. A água extraível não é determinada somente pela absorção de água pelas raízes, pois a evaporação de água do solo diminui o conteúdo de água nas camadas superficiais (CARLESSO, 1995).

A FAD é a razão entre a quantidade total de água, ou seja, o conteúdo de água volumétrico das camadas do solo explorado pelo sistema radicular em um dia específico, e a quantidade potencial de água no solo. Uma vantagem da FAD sobre outros indicadores de déficit hídrico é que ela depende primariamente da taxa de uso da água e das propriedades do solo, as quais podem ser determinadas com relativa facilidade nas culturas a campo (RITCHIE et al., 1972 apud SANTOS; CARLESSO, 1998). No entanto, apesar de muito utilizado, este conceito também apresenta desvantagens, pois nem toda a água disponível no solo é extraível pelas culturas (CARLESSO, 1995).

Porém, segundo Santos e Carlesso (1998), dentre esses índices, o conceito de FATS é o que mais se aproxima como indicador da quantidade real de água no solo que pode ser extraída pelas plantas para a transpiração. No conceito de FATS, assume-se que o conteúdo de água no solo utilizado pela planta para a transpiração varia entre o conteúdo de água no solo na capacidade de campo, quando a transpiração é máxima, e o conteúdo de água no solo, quando a transpiração da planta é igual a 10 % da máxima (SINCLAIR; LUDLOW, 1986).

São caracterizados três estágios de hidratação das plantas associados à redução de umidade no solo (SINCLAIR; LUDLOW, 1986; MUCHOW; SINCLAIR, 1991; BINDI et al.,

2005): o estágio I, quando a água está disponível livremente no solo, a planta não tem deficiência hídrica e sua condutância estomática e transpiração são máximas; o estágio II, quando a água disponível no solo faz com que a planta diminua sua condutância estomática e transpiração para manter seu balanço hídrico e turgescência celular, e o estágio III, quando os estômatos fecham e a perda de água se dá somente devido a condutância epidérmica (Figura 1).

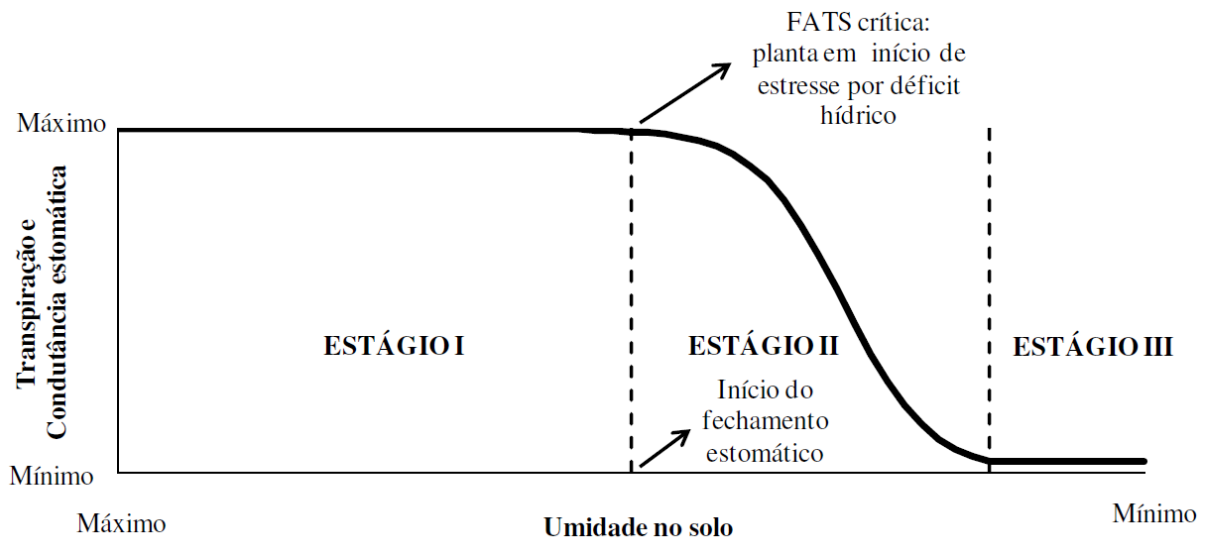


Figura 1 – Representação esquemática dos três estágios de hidratação das plantas associados à redução da umidade no solo.

Adaptado de (SINCLAIR 86 por LAGO 2011).

A FATS em que se inicia o fechamento estomático e, conseqüentemente, quando ocorre redução da transpiração das plantas foi determinado para várias espécies de importância agrícola, como feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), feijão mungo (*Vigna mungo* L.) e guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) (SINCLAIR; LUDLOW, 1986), soja (*Glycine max* (L.) Merrill) (SINCLAIR, 1986), trigo (*Triticum aestivum* L.) (AMIR; SINCLAIR, 1991), milho (*Zea mays* L.) (MUCHOW; SINCLAIR, 1991), batata (*Solanum tuberosum* L.) (WEISZ et al., 1994), videira (*Vitis vinifera* L.) (BINDI et al., 2005), eucalipto (*Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) e *Eucalyptus saligna* (Smith)) (MARTINS et al., 2008), batata (*Solanum tuberosum* L.) (LAGO et al., 2011) e mandioca (*Manihot esculenta*) (LAGO, 2011).

2.3 Resposta ao déficit hídrico

O déficit hídrico ocorre quando o conteúdo de água de uma célula ou tecido vegetal está abaixo do seu conteúdo de máxima hidratação (TAIZ; ZEIGER, 2009) e seu efeito sobre a maioria das culturas varia de acordo com a sua duração e intensidade e com o estágio de desenvolvimento das plantas. O estabelecimento lento e gradual do déficit hídrico permite o acionamento de mecanismos morfofisiológicos nos vegetais, minimizando os efeitos deletérios do déficit (CARLESSO; SANTOS, 1999).

Segundo Taiz e Zeiger (2009), as principais linhas de defesa das plantas ao déficit hídrico no solo são a inibição da expansão foliar, a expansão do sistema radicular, o fechamento estomático e a aceleração da senescência e abscisão das folhas. O déficit hídrico resulta em redução do conteúdo de água na planta, reduzindo o turgor. Como a expansão foliar depende do turgor, é bastante sensível ao déficit hídrico. Assim, a redução da área foliar é a primeira linha de defesa da planta contra o déficit hídrico no solo, pois uma planta com área foliar menor transpira menos, conseguindo assim conservar a água por um período mais longo. Com a inibição da expansão foliar há uma redução no consumo de carbono e energia na parte aérea, e uma proporção maior de fotoassimilados pode ser destinada ao sistema radicular, sustentando assim o crescimento das raízes no solo em busca de água, que pode ser considerado a segunda linha de defesa das plantas ao déficit hídrico. As plantas expostas ao estresse por déficit hídrico podem fechar os estômatos mesmo com presença de luz. O fechamento estomático é considerado a terceira linha de defesa das plantas ao déficit hídrico, sendo o mecanismo mais importante quando este ocorre de maneira mais rápida (TAIZ; ZEIGER, 2009). O mais provável é que os sinais químicos (ácido abscísico) das raízes comandam as respostas estomáticas ao déficit hídrico no solo (LAGO, 2011).

Lembrando o conceito de “tolerância ao estresse”, que se refere à aptidão da planta para enfrentar um ambiente desfavorável (TAIZ; ZEIGER, 2009), a cultura de batata se enquadra como pouco tolerante ao déficit hídrico, influenciando sua produtividade e qualidade de tubérculos (EPSTEIN; GRANT, 1973; DOOREMBOS; KASSAM, 1977; VAN LOON, 1981; OJALA et al., 1990; HARRIS, 1992; VAN der ZAAG, 1992; HSIAO, 1993; PORTER et al., 1999; IERNA; MAUROMICALE, 2006). Diferentemente de outras espécies, a batata fecha seus estômatos com a ocorrência de déficits hídricos leves, acarretando várias mudanças nas atividades fisiológicas que condicionam seu rendimento e qualidade (PEREIRA; SHOCK, 2006). O principal motivo apontado para a sensibilidade da batata ao

déficit hídrico tem sido o seu sistema radicular pouco desenvolvido e superficial (JEFFERIES, 1993; PORTER et al., 1999; LIU et al., 2006).

Segundo Sinclair e Ludlow (1986), em geral, as respostas das plantas ao déficit hídrico, quando avaliadas pela FATS, são muito similares. A maioria dos valores críticos de FATS, relatados para a transpiração e fotossíntese, estão entre 0,2 e 0,3. Segundo esses autores, as principais diferenças nas respostas das culturas ao déficit hídrico se devem às diferenças na quantidade de água que cada uma é capaz de extrair. Para a cultura da batata, Weisz et al. (1994) observaram que, em relação à transpiração, a batata respondeu similarmente a outras espécies com valores críticos de FATS de 0,2 e 0,35 para as cultivares BelRus e Katahdin, respectivamente. Porém, o crescimento folhar começou a declinar a partir de um valor crítico de FATS de 0,6 para as duas cultivares. O valor da FATS crítica (0,6) foi maior que qualquer valor reportado para outras culturas, indicando que para o parâmetro crescimento foliar, a batata parece responder de forma diferente, pois é mais sensível ao déficit hídrico que outras culturas, para os mesmos níveis da água extraível.

Lago (2011) também estudou a resposta de batata a FATS, utilizou a cultivar Macaca, que é bastante utilizada pelos bataticultores do sul do Rio Grande do Sul, e o clone avançado SMINIA 793101-3, clone muito promissor do Programa de Genética e Melhoramento de Batata da UFSM (PGMB). Neste trabalho foi observado que o clone SMINIA 793101-3 foi mais tolerante ao déficit hídrico no solo do que a cultivar Macaca e isto chamou a atenção dos pesquisadores do PGMB, e assim, surgiu o interesse em testar outros dos seus clones em desenvolvimento, a fim de encontrar clones mais tolerantes, o que motivou a realização do presente trabalho. Para isso foram selecionados três clones avançados do PGMB que apresentam características importantes que os candidatam a serem lançados como cultivares: qualidade de processamento, adaptação e produtividade de tubérculo, juntamente à cultivar Asterix, muito utilizada em todo o estado do Rio Grande do Sul, em especial na Depressão Central (FIOREZE, 2003).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos durante os anos de 2010 e 2011 em uma casa de vegetação na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em Santa Maria, RS (latitude: 29°43'S, longitude: 53°43'W e altitude: 95m). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cfa, Subtropical úmido, sem estação seca definida, com verões quentes (MORENO, 1961). A casa de vegetação utilizada nos experimentos tem as dimensões de 16 m de comprimento por 7 m de largura e 3,5 m de pé direito, com cobertura e laterais de placas duplas de policarbonato com transmissividade a radiação solar incidente perpendicular as placas em torno de 70%. Possui um sistema automático de controle de temperaturas máximas, regulada para quando a temperatura do ar atingisse 32°C um ventilador era acionado e forçava a entrada de ar por uma parede de argila expandida umedecida, diminuindo a temperatura. Os experimentos foram conduzidos em vasos na primavera, com o plantio no dia 08/09/2010 (E1) e no outono, dia 01/04/2011 (E2).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com dois tratamentos: com irrigação (T1) e sem irrigação (T2). Foram utilizados a cultivar Asterix e os clones avançados SMINIA 793101-3, SMINIA 00017-6 e SMINIA 02106-11, desenvolvidos pelo PGMB (Tabela 1). A escolha desses genótipos se deu por serem os clones avançados SMINIA 00017-6, SMINIA 02106-11 e SMINIA 793101-3 promissores no PGMB e a Asterix é uma cultivar bastante utilizada pelos bataticultores do Rio Grande do Sul. Lago (2011) utilizou o clone avançado SMINIA 793101-3 e a cultivar Macaca, e como a SMINIA 793101-3 se mostrou mais tolerante ao déficit hídrico no solo, foi utilizada novamente para servir como referência. Todos os clones são geneticamente distintos e possuem características que motivaram sua inclusão no trabalho. Os clones avançados SMINIA 00017-6 e SMINIA 793101-3 possuem boa qualidade de processamento, adaptação e alta produtividade de tubérculos, visto que o clone avançado SMINIA 02106-11 é bastante adaptado aos ambientes temperado e subtropical e a cultivar Asterix tem origem europeia, é antiga, porém consagrada entre os produtores.

Tabela 1 – Genealogia dos clones avançados do Programa de Genética e Melhoramento de Batata da Universidade Federal de Santa Maria e da cultivar utilizados nos dois experimentos. Santa Maria, RS, 2010-2011.

Genótipo	Genealogia
SMINIA 00017-6	SMINIA 793101-3 x NDO 860-2
SMINIA 02106-11	SMINIA 793101-3 x Arazatí
SMINIA 793101-3	Serrana INTA x 8800.1
Asterix	Cardinal x SVPVe 709

Foram utilizadas 10 repetições de cada genótipo para cada tratamento. Cada repetição foi constituída de um vaso plástico de 8 litros preenchido com solo (horizonte A) pertencente à unidade de mapeamento Santa Maria (Argissolo Bruno-Acinzentado alítico típico) (STRECK et al., 2008).

Os vasos foram dispostos sobre bancadas de 70 cm de altura e pintados de branco para reduzir a absorção de radiação solar pelas paredes externas, o que aumentaria a temperatura do solo e seria uma fonte de erro experimental. A correção da acidez e nutrientes do solo foi feita conforme análise de solo e recomendações técnicas para a cultura da batata (BISOGNIN, 1996; SBCS/CQFS, 2004).

Os tubérculos-semente utilizados nos experimentos, produzidos na safra anterior no PGMB, possuíam alta qualidade fitossanitária e apresentavam diâmetro em torno de 30 mm, estavam armazenados em câmara fria desde a colheita. Os tubérculos semente foram tratados com uma solução de 30 ppm de ácido giberélico e permaneceram em câmara fria a 20 °C por 15 dias (BISOGNIN et al., 1998). Após este processo de cura, foram novamente armazenados em câmara fria a 10°C até o plantio. A finalidade deste tratamento foi promover a quebra da dormência, quebra de dominância apical e consequente brotação uniforme dos tubérculos. Foi plantado um tubérculo por vaso e foi considerada como haste principal a primeira brotação que emergiu na superfície do solo, sendo as demais brotações retiradas assim que emergiam para padronizar uma haste por vaso, permitindo comparações.

3.1 Aplicação da deficiência hídrica e avaliação das respostas das plantas

A deficiência hídrica foi aplicada quando as plantas estavam com nove a doze folhas acumuladas na haste principal (WEISZ et al., 1994; LAGO et al., 2011). Das 20 repetições de cada genótipo, 10 repetições foram usadas como testemunha (T1), nas quais não foi aplicada deficiência hídrica. Além dos vasos com plantas, também havia seis vasos sem plantas, três com T1 e outros três com T2, cujos valores médios de perda de água por evaporação para atmosfera foram descontados de todos os vasos, por representarem a perda por evaporação do sistema.

Antes da aplicação do déficit hídrico, todos os vasos foram saturados com água e deixados drenar por 23 horas, momento em que considerou-se o solo estar em capacidade de campo. A fim de minimizar a perda de água pela evaporação do solo, todos os vasos foram cobertos com um filme plástico branco. Esse procedimento visou garantir que a água perdida do solo fosse apenas pela transpiração das plantas, isto é, para que a evaporação tendesse a zero. Após isto, foi determinado o peso inicial de cada vaso e a partir de então foi aplicada a deficiência hídrica nos vasos do T2, os quais não foram mais irrigados até o final do experimento.

Diariamente, às 16 horas, todos os vasos foram pesados em uma balança eletrônica com capacidade de 50 kg e precisão de 5g. Logo após a pesagem, cada vaso do T1 era irrigado com a quantidade de água transpirada pela planta desde o dia anterior, determinada pela diferença entre o peso do vaso no dia específico e o peso inicial (peso do vaso no dia em que foi aplicada a deficiência hídrica).

Os dados foram analisados com base na comparação da transpiração relativa (TR) com a fração de água transpirável no solo (FATS) para cada vaso. Os seis vasos sem planta também foram pesados diariamente. O objetivo foi contabilizar a pequena evaporação do solo que ocorre mesmo sendo cobertos pelo filme plástico e o valor médio diário de evaporação do T1 e do T2, que foi subtraído dos valores de transpiração diária das plantas de cada tratamento, antes do cálculo da transpiração relativa. A TR foi calculada pela equação (SINCLAIR; LUDLOW, 1986):

$$TR = \frac{MT2_j - MT2_{(j-1)}}{[\Sigma (MT1_j - MT1_{inicial})]/n} \quad (1)$$

em que MT_2 é a massa de cada vaso (repetição) no regime hídrico T2 (g vaso^{-1}), MT_1 é a massa de cada vaso (repetição) no regime hídrico T1 (g vaso^{-1}), 'j' refere-se ao dia, 'inicial' indica que é a MT_1 no dia de início da aplicação do déficit hídrico (início do experimento), e 'n' representa o número de repetições (plantas) no regime hídrico T1.

Os experimentos foram encerrados quando todas as plantas do T2 apresentavam $TR \leq 0,1$. A massa final foi considerada a massa do vaso quando a $TR \leq 0,1$. Foi imposto o limite de 0,1 (10%) por assumir-se que abaixo dessa taxa de transpiração os estômatos estão fechados e a perda de água é devida apenas à condutância cuticular, caracterizando-se como o estágio III da transpiração (SINCLAIR; LUDLOW, 1986).

Após o término de cada experimento foi calculada a FATS para cada vaso do T2, em cada dia, partindo do último para o primeiro dia de déficit hídrico. A FATS foi calculada pela equação (SINCLAIR; LUDLOW, 1986):

$$FATS = \frac{MT_{2j} - MT_{2final}}{MT_{2inicial} - MT_{2final}} \quad (2)$$

em que MT_2 é a massa de cada vaso (repetição) no regime hídrico T2 (g vaso^{-1}), 'j' refere-se ao dia, 'inicial' indica que é a MT_2 no dia de início da aplicação do déficit hídrico (início do experimento) e 'final' indica que é a MT_2 no dia do término do experimento.

Os parâmetros de crescimento avaliados foram a estatura das plantas (E) (comprimento da haste principal do nível do solo até o ponto de crescimento apical) e a área foliar (AF). O parâmetro de desenvolvimento avaliado foi o número de folhas acumuladas na haste principal (NF). As variáveis E e NF foram medidas no início da aplicação da deficiência hídrica e no último dia do experimento.

Para a variável AF, optou-se por medir o primeiro folíolo lateral esquerdo de cada folha das plantas em detrimento da folha inteira para conseguir determinar o momento em que aconteceria o enrolamento foliar, porém a tentativa foi frustrada pelo enrolamento e o murchamento foliar não apenas variarem durante o ciclo, mas também variarem durante o dia. Para se obter a AF (cm^2), foi elaborada uma equação para cada clone, para estimar a AF a partir das dimensões do folíolo. Foram coletados aproximadamente 60 folíolos de cada clone de plantas posteriormente descartadas, os quais foram escaneados e sua área em pixels foi determinada pelo programa Quant©. Essa área em pixels foi relacionada com a quantidade de

pixels de uma superfície com área conhecida para transformar a área foliar para escala métrica (cm²). Posteriormente foram determinadas equações de regressão linear simples entre AF e do produto entre as medidas C (maior comprimento do folíolo, da nervura central da folha até o ápice do folíolo) e L (maior largura do folíolo), usando o programa Table Curve Curve 2D Windows v2.03©. A equação utilizada para o cálculo da AF no experimento foi a que apresentou maior coeficiente de determinação (r²), sendo a função linear forçada a passar pela origem e mais ajustada para todos os genótipos (Tabela 2).

Tabela 2 – Equações de estimativa da área de folíolos individuais (AF, cm²) a partir do produto do comprimento e da largura do folíolo (C L, cm²) e coeficiente de determinação ajustado (r²_a) de quatro clones de batata. Santa Maria, RS, Brasil, 2011.

Genótipo	Equação	r ² _a
SMINIA 00017-6	AF = 0.7067*C L	0.994
SMINIA 02106-11	AF = 0.7189*C L	0.996
SMINIA 793101-3	AF = 0.6978*C L	0.994
Asterix	AF = 0.7026*C L	0.993

O somatório das AF de todos os folíolos laterais de cada planta foi determinada diariamente, a partir da aplicação da deficiência hídrica até o final do experimento. Com esses dados de AF diária foi calculado o crescimento foliar relativo (CFR) diário para cada clone, pela equação:

$$CFR = \frac{AFT2_j - AFT2_{j-1}}{[\sum (AFT1_j - AFT1_{j-1})]/n} \quad (3)$$

em que AFT2 é a área foliar de todos os folíolos medidos em cada planta (repetição) no regime hídrico T2 (cm² planta⁻¹), AFT1 é a área foliar de todos os folíolos medidos em cada planta (repetição) no regime hídrico T1 (cm² planta⁻¹), 'j' refere-se ao dia e 'n' representa o número de repetições (plantas) no regime hídrico T1.

Foi determinado, também, o coeficiente de transpiração (CT), o qual é um indicador utilizado na comparação da eficiência do uso da água pelas plantas (HSIAO; ACEVEDO, 1974). O CT é a quantidade de água, em litros, necessária para a produção de 1 kg de biomassa (L kg⁻¹ massa seca) (SILVA et al., 2004). Para realizar a determinação do CT foram

selecionadas três plantas de cada genótipo para cada experimento, antes da aplicação da deficiência hídrica, para a determinação da biomassa total inicial e, posteriormente, estas plantas foram secadas em estufa de ventilação forçada a 65°C para determinar a biomassa seca total inicial. Ao final do experimento foi determinada a biomassa total, de raízes, de tubérculos e da parte aérea em todas as plantas. O CT foi determinado por (SILVA et al., 2004):

$$CT = \frac{TT}{BF-BI} \quad (4)$$

em que TT é a transpiração total (L planta⁻¹), BF é a biomassa seca final (kg planta⁻¹) e BI é a biomassa seca inicial (kg planta⁻¹).

3.2 Normalização das variáveis

As variáveis transpiração e crescimento foliar foram submetidas a duas normalizações, sendo a primeira para que os valores (TR e CFR) variarem de 0 a 1 (equações 1 e 3) e a segunda para reduzir as variações entre as plantas, causadas por diferenças no tamanho das plantas (Sinclair & Ludlow, 1986; Ray & Sinclair, 1997). Para a segunda normalização usou-se os valores de TR e o CFR antes da deficiência hídrica começar a diminuir a transpiração e o crescimento foliar, respectivamente, e que corresponderam a valores de FATS igual ou maior que 0,5 (Lago, 2011) e calculou-se, para cada planta, a média dos valores de TR e CFR com FATS igual ou maior que 0,5, e todos os valores de TR e CFR foram divididos por estas médias.

3.3 Variáveis ambientais

As temperaturas mínima e máxima diárias do ar foram medidas durante cada experimento com um termômetro de mínima de álcool e um termômetro de máxima de mercúrio, respectivamente, instalados dentro de um mini abrigo meteorológico de madeira pintado de branco e instalado no centro da bancada. Para o segundo experimento foi instalado um psicrômetro sem ventilação forçada junto aos termômetros para determinar-se o déficit de pressão de vapor do ar (DPV) no interior da casa de vegetação, no qual diariamente às 15

horas foram realizadas leituras de temperatura no termômetro de bulbo molhado e bulbo seco. Foram usados os dados de brilho solar diário na estação meteorológica convencional, pertencente ao 8º Distrito de Meteorologia, localizada a aproximadamente 400 m da casa de vegetação onde foram conduzidos os experimentos, para calcular a densidade de fluxo de radiação solar global diária incidente no período.

3.4 Análise estatística

Os dados de TR e CFR, após passarem pela segunda normalização, foram plotados em função da FATS e foi ajustada uma equação logística do tipo $Y = 1/\{1 + \exp[-a(X - b)]\}$, em que Y é a variável dependente (TR e CFR), X é a FATS e “a” e “b” são coeficientes empíricos (SINCLAIR; LUDLOW, 1986; LECOEUR; SINCLAIR, 1996; RAY; SINCLAIR, 1997), os quais foram estimados por análise de regressão não linear no programa estatístico SAS (Statistical Analysis System). O valor de FATS crítica para TR e para CFR foi usado como indicador de tolerância ao déficit hídrico no solo Lago (2011) e foi estimado pela equação logística como sendo o valor da FATS quando a TR atinge 0,95 (LAGO, 2011).

As variáveis foram analisadas segundo fatorial 4x2 com cada planta constituindo uma repetição, sendo para a FATS crítica o fator A os clones (2 níveis) e o fator B os experimentos (2 níveis). Para as demais variáveis o fator A os clones (4 níveis) e o fator B os tratamentos (2 níveis). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos dois experimentos, a temperatura máxima diária do ar variou pouco devido a capacidade da estufa em controlar a temperatura máxima do ar, mas a temperatura mínima diária do ar variou consideravelmente (Figura 2a). As temperaturas mínimas absolutas durante E1 e E2 foram 9,2 e 4,0 °C, respectivamente, e as temperaturas máximas absolutas foram 32,0 °C na E1 e 31,6 °C na E2. O déficit de pressão de vapor (DPV) no E2 variou de 1,0 a 4,6 hPa as 15 horas (Figura 2b), valores considerados baixos (KINIRY et al., 1998), indicando que as plantas cresceram e desenvolveram em uma atmosfera de baixa demanda evaporativa. Os baixos valores de DPV são devido ao sistema de controle da temperatura máxima na casa de vegetação que, ao chegar na temperatura de 32 °C aciona um sistema de ventilação, o qual força a passagem de ar através de uma parede de argila expandida molhada. Devido a uma menor temperatura mínima no E2 do que no E1 (Figura 2a), a duração do primeiro experimento (em dias) foi menor, 24, 23, 23 e 25 dias, do que no segundo experimento, 32, 35, 36 e 33 dias para os clones SMINIA 02106-11, SMINIA 00017-6, SMINIA 793101-3 e Asterix, respectivamente. Essas épocas representam as condições de cultivo de primavera e outono realizadas na região de Santa Maria de acordo com Bisognin (1996), em que também o fotoperíodo e a densidade de fluxo de radiação solar apresentaram variação diferente (Figura 2c).

Devido a batata ser uma planta de propagação vegetativa a emergência é heterogênea e na E2 os tubérculos semente tiveram pouco tempo para superar a dormência, pois fora produzidos na primavera anterior. Os tubérculos semente apresentavam diâmetro em torno de 30 mm e de acordo com Müller et al. (2010), quanto menor os tubérculos, menor é a maturidade fisiológica e maior o período de dormência. Devido à desuniformidade na emergência e a seleção das plantas visando a homogeneidade, menos repetições foram usadas neste experimento. Além disso, durante a imposição do déficit hídrico, foram excluídas também algumas plantas que apresentaram sintoma de requeima (*Phytophthora infestans*), resultando em menor número de repetições do que no E1 (Tabela 3). Assim, o número de repetições efetivamente usado para cada clone e tratamento está definido na Tabela 3.

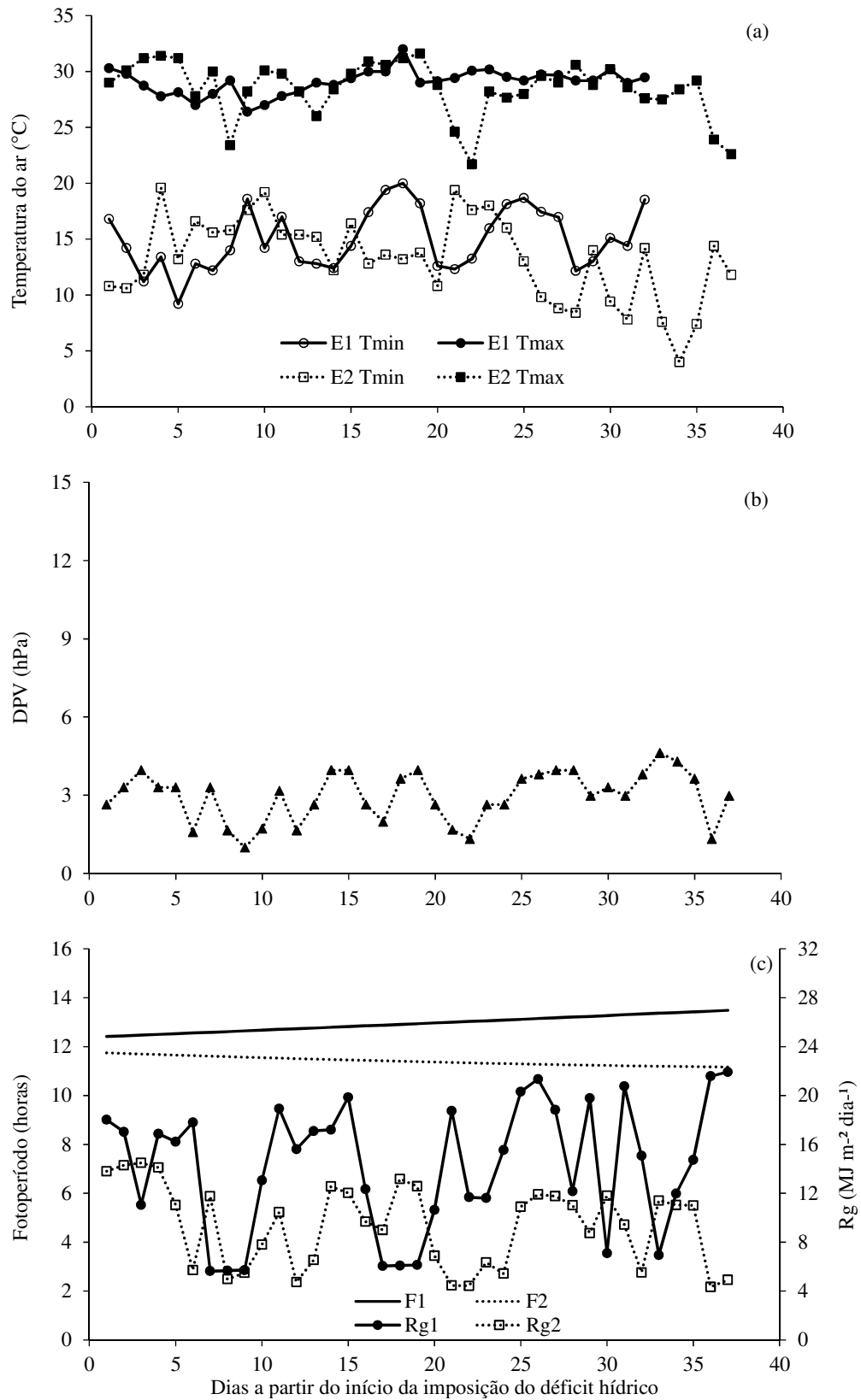


Figura 2 – Temperaturas mínima (Tmin) e máxima (Tmax) diária do ar (a) durante os dois experimentos (E1 e E2), déficit de pressão de vapor do ar (DPV) diário às 15 horas (b) durante o segundo experimento (E2) e fotoperíodo (F) e radiação solar global (Rg) (c) no período dos dois experimentos (E1 e E2) com a cultura da batata. Santa Maria, RS, 2010-2011.

Tabela 3 – Número de repetições utilizadas para os tratamentos sem déficit hídrico (T1) e com déficit hídrico (T2) de cada genótipo nos dois experimentos (E1 e E2) com a cultura da batata. Santa Maria, RS, 2010-2011.

Genótipo	E1		E2	
	T1	T2	T1	T2
SMINIA 02106-11	10	10	2	3
SMINIA 00017-6	10	10	9	8
SMINIA 793101-3	10	10	10	10
Asterix	10	10	7	4

Foram utilizadas plantas homogêneas para os dois experimentos, o que é confirmado pela diferença não significativa entre os clones em cada experimento da biomassa seca inicial (Tabela 4), sendo que cada valor foi obtido de três plantas de cada clone no momento da imposição do déficit hídrico. Não houve interação significativa entre clones e tratamentos para as variáveis de biomassa seca. A biomassa seca total não diferiu entre os clones nos dois experimentos, mas o tratamento de deficiência hídrica teve efeito sobre essa variável, pois a deficiência hídrica fez com que as plantas em déficit hídrico realizassem menos fotossíntese e produzisse menos fotoassimilados e, conseqüentemente, menos massa seca total, o mesmo ocorreu com a biomassa seca da parte aérea. Porém, a variável biomassa seca de raízes não diferiu entre tratamentos e entre clones, e apenas foi menor na cultivar Asterix no E2, indicando que não houve investimento no compartimento raízes como mecanismo de defesa contra o déficit hídrico, como ocorre em muitas espécies (SANTOS; CARLESSO, 1998). É possível que o curto período de deficiência hídrica tenha sido insuficiente para a planta translocar mais fotoassimilados para o crescimento radicular, pois no E2, que foi mais longo que o E1, houve um pequeno, não significativo, aumento de massa seca de raízes (Tabela 4).

No E1, ocorreu florescimento em todas as plantas e praticamente não ocorreu tuberização, certamente devido ao encurtamento do fotoperíodo ao longo do experimento (Figura 2), reforçando a hipótese da cultura da batata ser uma planta de dia longo para início do florescimento (HELDWEIN et al., 2009). No entanto, no E2 houve florescimento em apenas seis plantas e ocorreu tuberização em todas, resultado do decréscimo do fotoperíodo ao longo do experimento, concordando com Streck et al. (2007), de que condições de fotoperíodo mais curto ou diminuição do fotoperíodo ao longo do desenvolvimento vegetativo favorecem o início da tuberização, reforçando que a cultura da batata é uma planta de dia curto para o início da tuberização. A biomassa seca de tubérculos foi maior no tratamento sem

déficit e variou entre os clones, sendo menor no clone SMINIA 02106-11 e na cultivar Asterix (Tabela 4).

A estatura média e o número médio de folhas antes da imposição da deficiência hídrica não diferiram entre tratamentos como esperado, devido à seleção inicial de plantas homogêneas e não ter havido tempo suficiente para as plantas não estressadas desenvolverem-se o suficiente de modo a diferenciarem-se daquelas estressadas (Tabela 5). As plantas do clone SMINIA 02106-11 apresentaram estatura média inicial e final menores que as dos outros clones nos dois experimentos (Tabela 5). A estatura média final das plantas diferiu entre os tratamentos, sendo significativamente menor no tratamento com déficit hídrico. O clone SMINIA 02106-11 apresentou os menores valores de estatura nos dois experimentos.

O número final de folhas não diferiu significativamente entre tratamentos e entre clones para um mesmo experimento, concordando com Lago (2011), que verificou não haver diferença no número final de folhas entre dois clones de batata sob déficit hídrico e sem déficit hídrico e entre clones numa mesma época de cultivo.

Tabela 4 – Biomassa seca total inicial e final, radicular, de tubérculos e aérea no final do período de imposição do déficit hídrico para os clones de batata SMINIA 02106-11, SMINIA 00017-6, SMINIA 793101-3 e Asterix, submetidos aos tratamentos sem déficit (T1) e com déficit hídrico (T2) a partir de cerca de 10 folhas, cultivados em casa de vegetação em vaso em dois experimentos, com início da aplicação do déficit hídrico em 05/09/2010 (E1) e 03/05/2011 (E2). Santa Maria, RS, 2010-2011.

Genótipo	E1			E2		
	T1	T2	Média	T1	T2	Média
-----Biomassa seca total inicial (g planta ⁻¹)-----						
SMINIA 02106-11			2,7 A*			1,3 A
SMINIA 00017-6			1,9 A			1,0 A
SMINIA 793101-3			2,0 A			1,5 A
Asterix			2,4 A			1,0 A
Média			2,3			1,2
CV (%)			48			48
-----Biomassa seca total final (g planta ⁻¹)-----						
SMINIA 02106-11	21,1	12,7	16,9 A	13,9	12,0	12,5 A
SMINIA 00017-6	17,6	13,4	15,5 A	20,9	13,0	17,2 A
SMINIA 793101-3	18,1	12,7	15,4 A	16,3	13,6	15,0 A
Asterix	19,6	12,7	16,2 A	13,8	11,6	13,1 A
Média	19,1 a	12,9 b		16,9 a	12,9 b	
CV (%)			23			33
-----Biomassa seca radicular final (g planta ⁻¹)-----						
SMINIA 02106-11	5,7	4,7	5,2 A	1,3	1,4	1,3 A
SMINIA 00017-6	4,8	4,6	4,7 A	1,6	1,4	1,5 A
SMINIA 793101-3	5,1	5,1	5,1 A	1,1	1,4	1,3 A
Asterix	6,5	5,7	6,1 A	0,6	1,0	0,7 B
Média	5,5 a	5,0 a		1,1 a	1,3 a	
CV (%)			39			32
-----Biomassa seca de tubérculos final (g planta ⁻¹)-----						
SMINIA 02106-11				2,2	4,8	4,2 B
SMINIA 00017-6				11,0	6,9	9,1 A
SMINIA 793101-3				9,9	7,5	8,8 A
Asterix				7,5	6,0	7,0 AB
Média				9,3 a	6,8 b	
CV (%)						43
-----Biomassa seca aérea final (g planta ⁻¹)-----						
SMINIA 02106-11	15,5	8,0	11,7 A	10,4	5,9	7,0 A
SMINIA 00017-6	12,7	8,8	10,8 A	8,2	4,7	6,6 A
SMINIA 793101-3	13,0	7,6	10,3 A	5,2	4,6	4,9 A
Asterix	13,1	7,1	10,1 A	5,8	4,6	5,4 A
Média	13,6 a	7,9 b		6,4 a	4,8 b	
CV (%)			21			44

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro. CV= coeficiente de variação.

Tabela 5 – Estatura média de plantas inicial e final e número médio de folhas inicial e final na haste principal dos clones de batata SMINIA 02106-11, SMINIA 00017-6, SMINIA 793101-3 e Asterix, submetidos aos tratamentos sem déficit (T1) e com déficit hídrico (T2) a partir de cerca de 10 folhas, cultivados em casa de vegetação em vaso em dois experimentos, com início da aplicação do déficit hídrico em 05/09/2010 (E1) e 03/05/2011 (E2). Santa Maria, RS, 2010-2011.

Genótipo	E1			E2		
	T1	T2	Média	T1	T2	Média
-----Estatura média inicial (cm)-----						
SMINIA 02106-11	8,9	9,6	9,3 B*	4,6	8,0	6,3 B
SMINIA 00017-6	15,7	13,3	14,5 A	11,6	12,2	11,9 A
SMINIA 793101-3	17,0	17,1	17,1 A	12,4	14,4	13,4 A
Asterix	15,8	14,7	15,3 A	12,5	12,2	12,4 A
Média	14,6 a	13,7 a		10,3 a	11,7 a	
CV (%)			38			30
-----Estatura média final (cm)-----						
SMINIA 02106-11	30,8	22,3	26,5 C	20,0	25,5	22,7 B
SMINIA 00017-6	48,3	38,3	43,3 AB	39,5	36,8	38,2 A
SMINIA 793101-3	48,2	40,3	44,3 A	32,1	34,1	33,1 AB
Asterix	44,8	34,1	39,5 B	43,6	43,4	43,5 A
Média	43,0 a	33,8 b		33,8 a	34,9 a	
CV (%)			14			30
-----Número médio de folhas inicial-----						
SMINIA 02106-11	10,4	10,0	10,2 A	10,0	10,3	10,1 A
SMINIA 00017-6	9,8	9,8	9,8 A	10,0	10,4	10,2 A
SMINIA 793101-3	9,7	10,7	10,2 A	10,7	11,3	11,0 A
Asterix	9,7	9,8	9,7 A	9,2	10,0	9,6 A
Média	9,9 a	10,1 a		10,1 a	10,7 a	
CV (%)			11			12
-----Número médio de folhas final-----						
SMINIA 02106-11	16,6	16,5	16,5 A	15,5	16,3	15,9 A
SMINIA 00017-6	17,0	15,7	16,3 A	16,0	16,7	16,3 A
SMINIA 793101-3	16,4	16,5	16,45 A	15,4	16,1	15,7 A
Asterix	18,2	17,2	17,7 A	16,2	18,2	17,2 A
Média	17,0 a	16,5 a		15,8 a	16,8 a	
CV (%)			12			13

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro. CV= coeficiente de variação.

Na Tabela 6 estão os resultados de transpiração e coeficiente de transpiração, para os quais não houve efeito significativo da interação clones x regimes hídricos. As plantas em déficit hídrico apresentaram menor transpiração e coeficiente de transpiração do que as plantas sem déficit hídrico e não houve diferença significativa entre clones. A transpiração total média encontrada nesse trabalho foi superior aos 2601 e 1461 g planta⁻¹ encontrados por Lago (2011) para T1 e T2, respectivamente, e isto se deu devido ao período do experimento ter sido maior, graças ao menor déficit de saturação de vapor do ar, muito inferior no atual trabalho em relação àquele no abrigo telado onde os experimentos foram realizados por Lago (2011).

Tabela 6 – Transpiração total média e coeficiente de transpiração dos clones de batata SMINIA 02106-11, SMINIA 00017-6, SMINIA 793101-3 e Asterix, submetidos aos tratamentos sem déficit (T1) e com déficit hídrico (T2) a partir de cerca de 10 folhas, cultivados em casa de vegetação em vaso em dois experimentos, com início da aplicação do déficit hídrico em 05/09/2010 (E1) e 03/05/2011 (E2). Santa Maria, RS, 2010-2011.

Genótipo	E1			E2		
	T1	T2	Média	T1	T2	Média
	-----Transpiração (g planta ⁻¹)-----					
SMINIA 02106-11	3678	1774	2726 A*	2732	1968	2350 A
SMINIA 00017-6	2942	1769	2356 A	3467	1901	2684 A
SMINIA 793101-3	3128	1747	2438 A	2677	1909	2293 A
Asterix	3614	1752	2683A	2657	1864	2262 A
Média	3341 a	1761 b		2883 a	1911 b	
CV (%)	18			28		
	-----Coeficiente de transpiração (L kg ⁻¹ massa seca)-----					
SMINIA 02106-11	204	194	199 A	215	182	199 A
SMINIA 00017-6	197	162	180 A	174	161	168 A
SMINIA 793101-3	195	165	180 A	178	155	167 A
Asterix	215	179	197 A	174	179	177 A
Média	203 a	175 b		186 a	164 b	
CV (%)	18			16		

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro. CV= coeficiente de variação.

A relação da TR com a FATS para os quatro clones de batata nos dois experimentos estão representados na Figura 3. A variabilidade dos dados é elevada, principalmente na faixa de FATS entre 0,6 e 1,0, comum em experimentos que usam esta metodologia com outras culturas (RAY; SINCLAIR, 1997; SINCLAIR et al., 2005; WAHBI; SINCLAIR, 2007; MARTINS et al., 2008). Conforme Lago et al. (2011), quanto menor a temperatura do ar, a radiação solar e o DPV, maior é a variabilidade dos dados. Anteriormente, Sinclair e Ludlow (1986) também verificaram maior variabilidade quando a transpiração é menor. Apesar da variabilidade na Figura 2, é evidente a resposta da TR à FATS nos diferentes clones e experimentos. À medida que diminui a FATS, a TR varia em torno do valor máximo, e, a partir de um valor limite ou crítico (FATS crítica), a TR inicia a redução, iniciando o fechamento estomático (SINCLAIR; LUDLOW, 1986), um dos principais mecanismos de defesa que a planta usa para se adequar ao déficit hídrico no solo (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Para a variável FATS crítica (Tabela 7), houve efeito significativo da interação clone x época. No experimento de primavera (E1), a FATS crítica foi maior do que no experimento de outono (E2) em todos os clones, sem diferença significativa para a cultivar Asterix. Estes resultados são similares aos encontrados por Lago (2011) com a cultivar Macaca e o clone avançado SMINIA 793101-3.

A principal hipótese para a menor FATS crítica no experimento de outono é a baixa disponibilidade da radiação solar incidente nesta época do ano em regiões subtropicais como Santa Maria (HELDWIEN et al., 2009; LAGO, 2011), resultando em menor transpiração potencial. A maior disponibilidade de radiação solar em Santa Maria na primavera comparada ao outono pode causar um DPV um pouco maior, especialmente no turno da manhã.

No E1, a menor FATS crítica foi em Asterix e SMINIA 02106-11 (0,29 e 0,36) e a maior foi em SMINIA 00017-6 e SMINIA 793101-3 (0,38 e 0,41) e no E2 não houve diferença de FATS crítica entre os quatro genótipos (média de 0,24). Os valores de FATS crítica, quando a TR começa a ser reduzida, obtida nesse estudo apresentaram uma variação de 0,21 a 0,41, e estão dentro da faixa de valores encontrados em outros trabalhos com a cultura da batata como em Weisz et al. (1994) de 0,20 e 0,35 para as cultivares BelRus e Katahdin, respectivamente, e em Lago (2011) de 0,28 a 0,49 para a cultivar Macaca e para o clone avançado SMINIA793101-3, respectivamente.

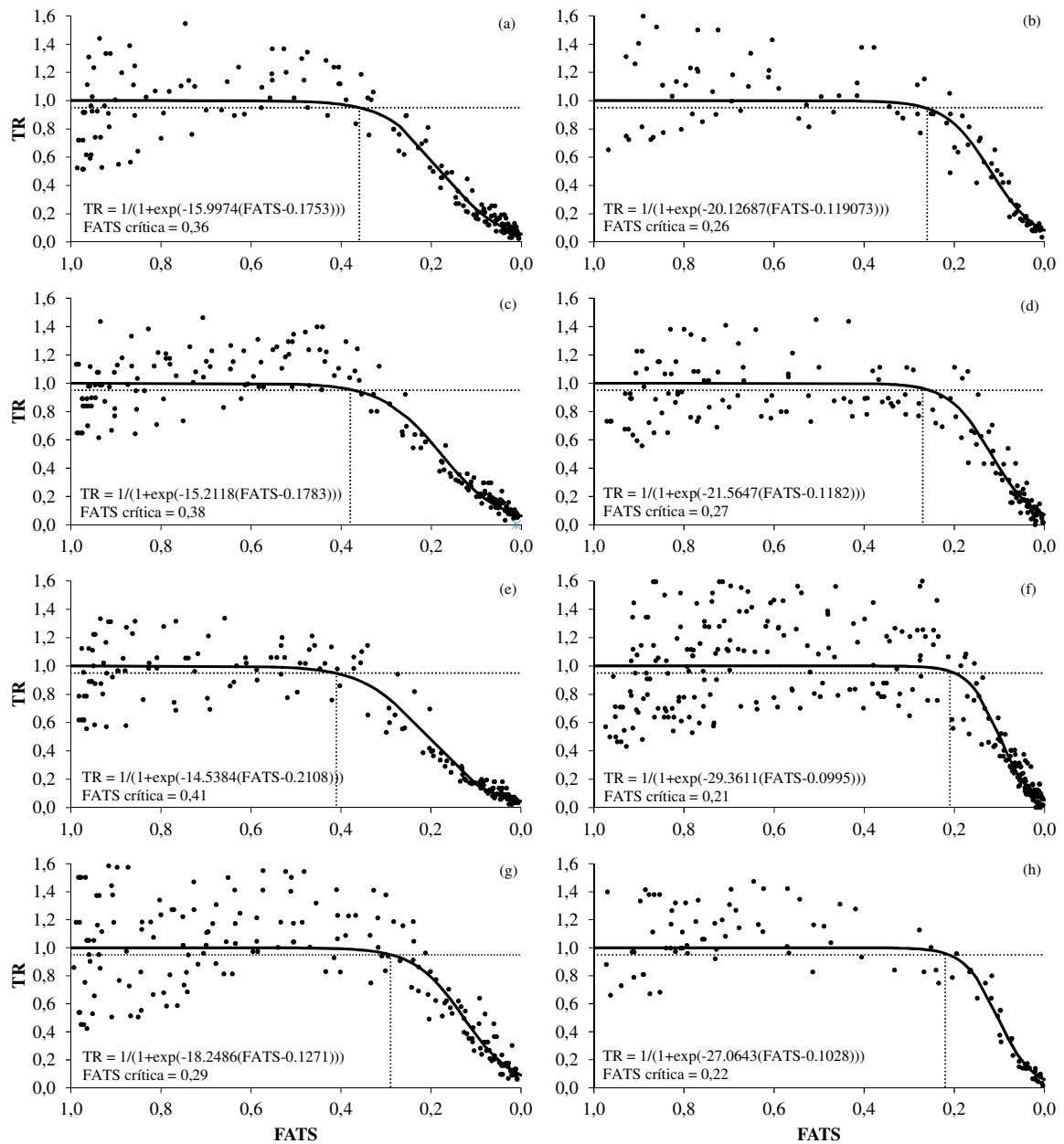


Figura 3 – Transpiração relativa normalizada (TR) em função da fração de água transpirável no solo (FATS) para os clones de batata SMINIA 02106-11 (a, b), SMINIA 00017-6 (c, d), SMINIA 793101-3 (e, f) e Asterix (g, h) cultivados em casa de vegetação em experimentos com início da aplicação do déficit hídrico em 05/09/2010 - E1 (a, c, e, g) e 03/05/2011 - E2 (b, d, f, h). Santa Maria, RS, 2010-2011. FATS crítica: fração de água transpirável no solo quando inicia a redução da transpiração das plantas devido ao início do fechamento estomático.

Tabela 7 – Fração de água transpirável no solo em que inicia o fechamento estomático (FATS crítica) para transpiração relativa (TR) e para o crescimento foliar relativo (CFR) dos clones de batata SMINIA 02106-11, SMINIA 00017-6, SMINIA 793101-3 e Asterix, submetidos aos tratamentos sem déficit (T1) e com déficit hídrico (T2) a partir de cerca de 10 folhas, cultivados em casa de vegetação em vaso em dois experimentos, com início da aplicação do déficit hídrico em 05/09/2010 (E1) e 03/05/2011 (E2). Santa Maria, RS, 2010-2011.

Genótipo	E1	E2	Média
-----FATS crítica para TR-----			
SMINIA 02106-11	0,36 AB a*	0,26 A b	0,31
SMINIA 00017-6	0,38 A a	0,27 A b	0,32
SMINIA 793101-3	0,41 A a	0,21 A b	0,31
Asterix	0,29 B a	0,22 A a	0,25
Média	0,36	0,24	
CV (%)			19
-----FATS crítica para CFR-----			
SMINIA 02106-11	0,44	0,27	0,36
SMINIA 00017-6	0,40	0,38	0,39
SMINIA 793101-3	0,46	0,29	0,38
Asterix	0,47	0,26	0,37
Média	0,44	0,30	

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro. CV= coeficiente de variação.

Na Figura 4 a variabilidade dos dados é maior que na Figura 3. Isto se deve ao fato da estimativa do crescimento foliar ser feito apenas em um folíolo de cada folha das plantas. Alguns folíolos não foram avaliados desde o início do experimento por apresentar o limbo contínuo com o folíolo seguinte, impedindo sua medição e outros foram excluídos por sofrerem danos mecânicos durante as avaliações. Isso fez com que, ao calcular o CFR aumentasse a variabilidade, apesar das equações para estimar a área foliar das plantas apresentar um r^2_a bastante elevado (Tabela 2). Além disso, não foi possível realizar a análise estatística para a FATS crítica para o CFR por esse mesmo motivo. O valor da FATS crítica para o CFR foi encontrado a partir dos dados de todas as plantas juntas, assim como realizado por Sinclair (1986), que não realizou análise estatística, já o valor da FATS crítica para o TR, que foi determinado para cada planta, sendo cada planta uma repetição para poder ser realizada a análise estatística pelo teste de Tukey (LAGO, 2011).

A resposta do CFR à FATS (Tabela 7) seguiu a mesma tendência que a TR, sendo a FATS crítica mais elevada no E2 do que no E1, tanto para a transpiração como para o

crescimento foliar. Os resultados variaram entre 0,47 e 0,26, próximo a faixa encontrada por Lago (2011), entre 0,49 a 0,29, e abaixo dos 0,6 encontrados por Weisz (1994), que testou clones adaptados a ambiente temperado. O CFR começa a reduzir antes que a TR para todos os clones, nos dois experimentos. Isto indica que o crescimento foliar é mais sensível ao déficit hídrico do que a transpiração, pois pode ter ocorrido diminuição da turgescência celular antes do mecanismo de fechamento estomático ser ativado, levando assim a uma redução na divisão e expansão celular e, conseqüente, redução do crescimento foliar (TAIZ; ZEIGER, 2009).

No E1 os valores de FATS crítica para o CFR foi similar entre os clones, variando de 0.40 a 0.47. Já no E2, o clone SMINIA 00017-6 apresentou uma FATS crítica de 0,38, mais elevada que os demais clones, SMINIA 793101-3, SMINIA 02106-11 e Asterix, com 0,29, 0,27 e 0,26, respectivamente. Assim, no E2 o clone SMINIA 00017-6 teve um CFR menor que os demais clones com uma FATS maior, e este artifício da planta faz com que ela conserve mais água no solo, visto que uma menor área foliar apresenta uma transpiração menor. Porém esta redução da área foliar, que é a primeira linha de defesa da planta contra o déficit hídrico no solo (TAIZ; ZEIGUER, 2009), pode afetar a produtividade da cultura, pois um menor índice de área foliar resulta em menor área de interceptação de radiação e assimilação de CO₂ pela planta (MÜLLER et al., 2005).

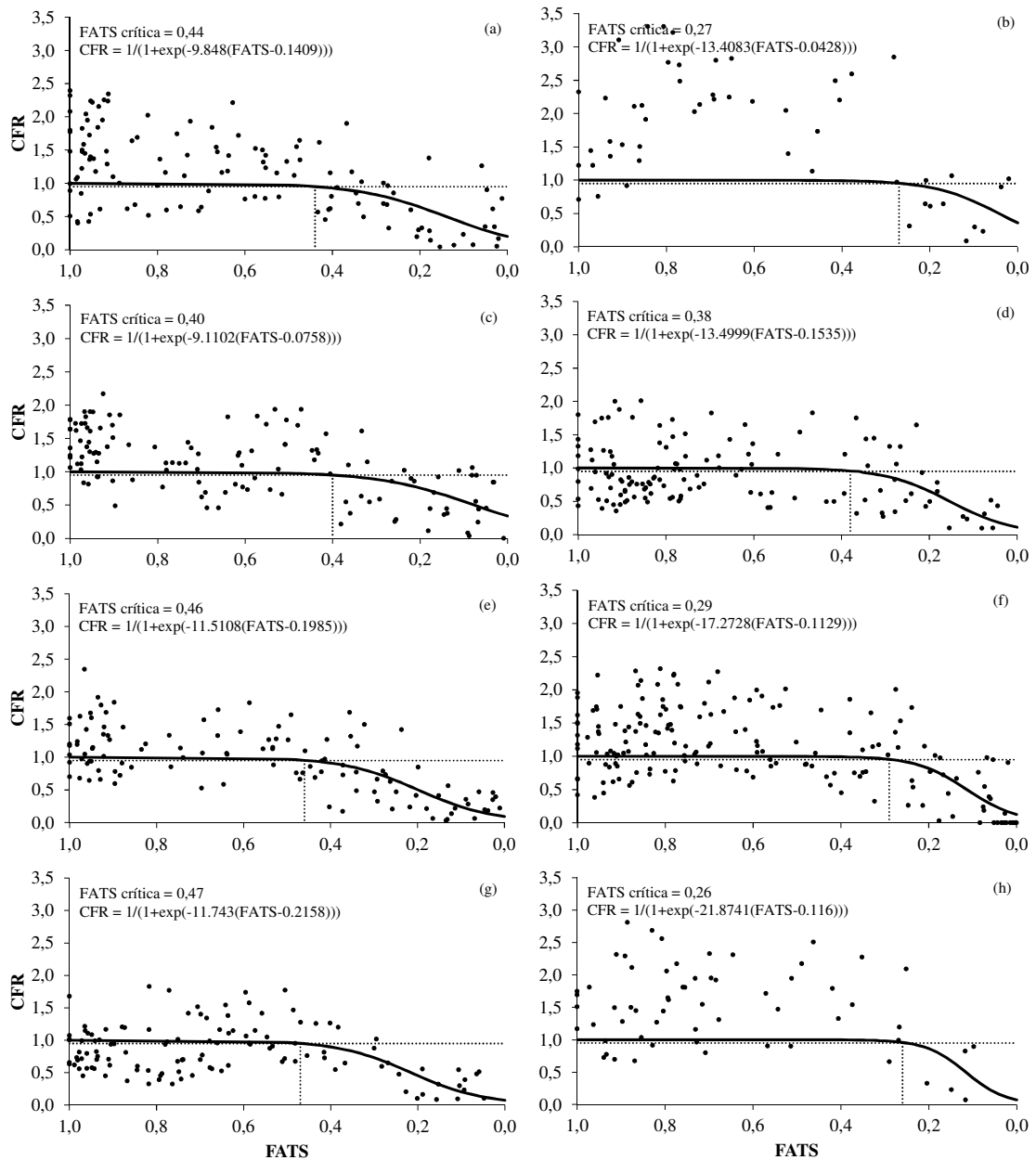


Figura 4 – Crescimento foliar relativo (CFR) em função da fração de água transpirável no solo (FATS) para os clones de batata SMINIA 02106-11 (a, b), SMINIA 00017-6 (c, d), SMINIA 793101-3 (e, f) e Asterix (g, h) cultivados em casa de vegetação em experimentos com início da aplicação do déficit hídrico em 05/09/2010 - E1 (a, c, e, g) e 03/05/2011 - E2 (b, d, f, h). Santa Maria, RS, 2010-2011. FATS crítica: fração de água transpirável no solo quando inicia a redução do crescimento foliar.

A tolerância ao déficit hídrico é um caráter genótipo-dependente. Em um trabalho que antecedeu este, Lago (2011) encontrou maior tolerância ao déficit hídrico no solo no clone SMINIA 793101-3 do PGMB, comparando com a cultivar Macaca, uma cultivar antiga, mas ainda bastante usada em cultivos convencionais no RS. A maior tolerância em relação a cultivar Macaca foi determinada pela maior FATS crítica do clone, indicando que o fechamento estomático ocorre mais cedo e assim conserva mais água no solo. Ressalta-se que o presente trabalho é uma continuação do trabalho de Lago (2011), em que outros dois clones promissores do PGMB e a cultivar Asterix, bastante usada pelos bataticultores do Rio Grande do Sul, são comparados com o clone SMINIA 793101-3. Pelos resultados (Tabela 7), a cultivar Asterix é menos tolerante ao déficit hídrico, tal como observou Lago (2011) com a cultivar Macaca comparando com o clone SMINIA 793101-3, e os dois outros clones tem tolerância similar ao SMINIA 793101-3. Esses resultados indicam que três clones do PGMB têm genes que conferem tolerância ao déficit hídrico no solo. Estes clones são promissores por terem adaptação ao ambiente subtropical, boa qualidade de chips e são resistentes às principais doenças, e pelos resultados deste trabalho e do trabalho de Lago (2011) tem também tolerância ao déficit hídrico no solo.

As curvas de resposta da transpiração a FATS apresentadas na Figura 3 tem aplicação direta em modelos matemáticos de simulação da cultura da batata. Fagundes et al. (2010) calibraram tais modelos nas condições do Rio Grande do Sul, porém não foi levado em consideração o efeito do déficit hídrico, ou seja, foi considerado que a cultura era irrigada. O próximo passo, agora possível, é levar em consideração o efeito do déficit hídrico sobre a transpiração e incorporar este efeito em modelos de batata para as cultivares (Macaca e Asterix) e clones locais.

Estudos de tolerância ao déficit hídrico das culturas agrícolas devem continuar sendo realizados, visto que podem ser caracterizados genótipos mais tolerantes, diminuindo o risco na produção agrícola, que é uma atividade de alto risco. Ainda há espaço para estudos desta característica na cultura da batata, pois o PGMB já formou genótipos com maior tolerância ao déficit hídrico que os tradicionalmente utilizados e está constantemente produzindo novos genótipos.

Como a resposta da planta ao déficit hídrico varia com o DPV, em trabalhos futuros é sugerido buscar um ambiente com DPV elevado (>15 hPa), visto que em situações de estiagem, a campo, esta situação é a predominante.

5 CONCLUSÕES

- A FATS crítica que começa a afetar a transpiração, indicativo do início do fechamento estomático, é mais elevada para os clones ‘SMINIA793101-3’ e “SMINIA 00017-6” do que para a cultivar “Asterix” nas condições de primavera.
- A cultivar Asterix foi menos tolerante ao déficit hídrico no solo que os clones avançados “SMINIA 793101-3” e “SMINIA 00017-6” o cultivo de primavera
- No cultivo de outono os clones apresentaram resposta similar de redução da transpiração ao déficit hídrico.
- O Programa de Genética e Melhoramento de Batata da UFSM possui clones com tolerância ao déficit hídrico no solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMIR, J.; SINCLAIR, T.R. A model of water limitation on spring wheat growth and yield. **Field Crops Research**, v. 29, p. 59-96, 1991.

BINDI, M. et al. Influence of water deficit stress on leaf area development and transpiration of Sangiovese Grapevines grown in pots. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 56, p. 68-72, 2005.

BISOGNIN, D. A.; CENTENARO, R.; MISSIO, E. L. Uso do ácido giberélico na quebra de dormência e de dominância apical em batata. **Ciência Rural**, v. 28, p. 205-213, 1998.

BISOGNIN, D.A. **Recomendações técnicas para o cultivo da batata no Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Boletim técnico, Centro de Ciências Rurais. Gráfica Universitária – UFSM. Santa Maria. 1996. 64 p.

BOYER, J.S. Plant productivity and environment. **Science**, v. 218, p. 443-448, 1982.

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: Água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural**, v. 25, p. 183-188, 1995.

CARLESSO, R.; SANTOS, R.F. Disponibilidade de água às plantas de Milho em solos de diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 17-25, 1999.

CARLESSO, R.; ZIMMERMANN, L. F. **Água no solo**: parâmetros para dimensionamento de sistemas de irrigação. Santa Maria: UFSM- Departamento de Engenharia Rural, 2000. 88 p.

DOOREMBOS, J.; KASSAM, A., H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1977, 193 p. (Irrigation and Drainage, n. 33).

EPSTEIN, E., GRANT, W.J. Water stress relation of the potato plant under field conditions. **Agronomy Journal**. v. 65, p. 400-404, 1973.

FAGUNDES, J. D. Produtividade simulada de tubérculos de batata em cenários de mudanças climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.45, p.351-360, 2010.

FIGEZE, C. A batata no estado do Rio Grande do Sul. In: PEREIRA, S.A.; DANIELS, J. (Eds.). **O cultivo da batata na região sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p. 44-52.

FORTES, G.R.L.; PEREIRA, J.E.S. Classificação e Descrição Botânica. In: PEREIRA, S.A.; DANIELS, J. (Eds.). **O cultivo da batata na região sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p. 69-79.

HARRIS, P.M. **The potato crop**. The scientific basis for improvement. Department of Agriculture, University of Reading. London: Chapman & Hall, Second edition, 1992.

HSIAO, T.C. Growth and productivity of crops in relation to water status. **Acta Horticulturae**, n. 335 (Irrigation and Horticultural Crops), 1993.

HELDWEIN, A.B. et al. Batata. In: MONTEIRO, J.E.B.A. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. p. 281-293.

HSIAO, T.C.; ACEVEDO, E. Plant responses to water deficits, water-use efficiency, and drought resistance. **Agricultural Meteorology**, v. 14, p. 59-84, 1974.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em 12 de janeiro de 2012.

IERNA, A.; MAUROMICALE, G. Physiological and growth response to moderate water deficit of off-season potatoes in a Mediterranean environment. **Agricultural Water Management**, v. 82, p. 193-206, 2006.

JEFFERIES, R.A.; MACKERRON, D.K.L. Responses of potato genotypes to drought. II: Leaf area index, growth and yield. **Annals of Applied Biology**, v. 122, p. 105-112, 1993.

KINIRY, J. R. et al. Radiation-use efficiency response to vapor pressure deficit for maize and sorghum. **Field Crops Research**, v. 56, p. 265–270, Apr. 1998.

LAGO, I. **Transpiração e crescimento foliar de clones de batata e de mandioca em resposta à fração de água transpirável no solo**. 92 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria Santa Maria, 2011.

LAGO, I.; STRECK, N. A.; BISOGNIN, D. A.; SOUZA, A. T.; DA SILVA, M.R. Transpiração e crescimento foliar de plantas de mandioca em resposta ao deficit hídrico no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1415-1423, 2011.

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

LIU, F. et al. Physiological responses of potato (*Solanum tuberosum* L.) to partial root-zone drying: ABA signalling, leaf gas exchange, and water use efficiency. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, p. 3727–3735, 2006.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa: UFV, 2005. 451 p.

MARTINS, F.B. et al. Deficiência hídrica no solo e seu efeito sobre transpiração, crescimento e desenvolvimento de mudas de duas espécies de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1297-1306, 2008.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 46 p.

MUCHOW, R.C.; SINCLAIR, T.R. Water deficits effects on maize yields modeled under current and “greenhouse” climates. **Agronomy Journal**, v. 83, p. 1052-1059, 1991.

MÜLLER, A. G. et al. Estimativa do índice de área foliar do milho a partir da soma de graus-dia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, p. 65-71, 2005.

MÜLLER, D. R. ; Bisognin, Dilson Antonio ; Morin, Glademir Roque ; Gnocato, Francisco Saccol . Dormência e dominância apical de diferentes tamanhos de tubérculos de batata. **Ciência Rural**, v. 40, p. 2454-2459, 2010.

OJALA, J.C. et al. Influence of and nitrogen management on potato yield and quality. **American Potato Journal**, v. 67, p. 29-43, 1990.

PEREIRA, A. da S. Melhoramento Genético. In: PEREIRA, S. A.; DANIELS, J. (Eds.). **O cultivo da batata na região sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p. 105-124.

PEREIRA, A. B.; SHOCK, C.C. **Development of irrigation best management practices for potato from a research perspective in the United States**. Sakia.org e-publish, v. 1, p. 1-20, 2006.

PETRY, M. T. **Interação solo-planta e disponibilidade de água no solo às plantas de sorgo e soja**. 2000. 127 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

PORTER, G.A. et al. Soil management and supplemental irrigation effects on potato: I. Soil properties, tuber yield, and quality. **Agronomy Journal**, v. 91, p. 416–425, 1999.

RAY, J.D.; SINCLAIR, T.R. Stomatal conductance of maize hybrids in response to drying soil. **Crop Science**, v. 37, p. 803-807, 1997.

REICHARDT, K. **A água em Sistemas Agrícolas**. São Paulo: Editora Manole, 1986. 188 p.

RITCHIE, J. T. Soil water availability. **Plant and Soil**, v. 58, p. 327-338, 1981a.

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

SBCS/CQFS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO / COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10^o ed. Porto Alegre, 2004. 394 p.

SENTELHAS, P.C.; MONTEIRO, J.E.B.A. Agrometeorologia dos cultivos. In: MONTEIRO, J.E.B.A. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. p. 281-293.

SILVA, W. et al. Índice de consumo e eficiência do uso da água em eucalipto, submetido a diferentes teores de água em convivência com a braquiária. **Floresta**, v. 34, p. 325-335, 2004.

SINCLAIR, T.R. Water and nitrogen limitations in soybean grain production I. Model Development. **Field Crops Research**, v. 15, p. 125-141, 1986.

SINCLAIR, T.R. et al. Daily transpiration rates of woody species on drying soil. **Tree physiology**, v. 25, p. 1469-1472, 2005.

SINCLAIR, T.R.; LUDLOW, M.M. Influence of soil water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes. **Australian Journal Plant Physiology**, v. 13, p. 319-340, 1986.

SOUZA, da S.S. Ecofisiologia. In: PEREIRA, S.A.; DANIELS, J. (Eds). **O cultivo da batata na região sul do Brasil**. Embrapa, 2003. p. 80-104.

STRECK, E.V., **Solos do Rio Grande do Sul**. 2°. Ed. EMATER/RS, Porto Alegre. 2008.

STRECK, N. A. et al. Simulating the development of field grown potato (*Solanum tuberosum* L.). **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 142, p. 1-11, 2007.

STRECK, N.A. Do we know how plants sense a drying soil? **Ciência Rural**, v. 34, p. 581-584, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.

Van der ZAAG, D.E. **Potatoes and their cultivations in the Netherlands**. Netherlands: The Netherlands Potato Consultative Institute, 1992 (Directorate for Agricultural Research Wageningen).

Van LOON, C.D. The effect of water stress on potato growth development and yield. **American Potato Journal**, v. 58, p. 51-69, 1981.

WAHBI, A.; SINCLAIR, T. R. Transpiration response of Arabidopsis, maize, and soybean to drying of artificial and mineral soil. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 59, n. 2, p. 188-192, Mar. 2007.

WEISZ, R. et al. Water deficit effects on potato leaf growth and transpiration: utilizing fraction extractable soil water for comparison with other crops. **American Potato Journal**, v. 71, p. 829-840, 1994.

WONG, S.C. et al. Leaf conductance in relation to rate of CO₂ assimilation. III. Influence of water stress and photoinhibition. **Plant Physiology**, v. 78, p. 830-834, 1985.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**TRANSPIRAÇÃO E CRESCIMENTO FOLIAR DE
GENÓTIPOS DE BATATA EM FUNÇÃO DA FRAÇÃO
DE ÁGUA TRANSPIRÁVEL NO SOLO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

André Trevisan de Souza

Santa Maria, RS, Brasil.

2012

**TRANSPIRAÇÃO E CRESCIMENTO FOLIAR DE
GENÓTIPOS DE BATATA EM FUNÇÃO DA FRAÇÃO DE
ÁGUA TRANSPIRÁVEL NO SOLO**

André Trevisan de Souza

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Área de concentração em Engenharia de água e solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola**

Orientador: Prof. Arno Bernardo Heldwein

Santa Maria, RS, Brasil.

2012

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Souza, André Trevisan de
Transpiração e crescimento foliar de genótipos de
batata em função da fração de água transpirável no solo /
André Trevisan de Souza.-2012.
45 p.; 30cm

Orientador: Arno Bernardo Helwein
Coorientador: Nereu Augusto Streck
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2012

1. Solanum tuberosum 2. Tolerância à seca 3. Estresse
hídrico I. Helwein, Arno Bernardo II. Streck, Nereu
Augusto III. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação de Mestrado

**TRANSPIRAÇÃO E CRESCIMENTO FOLIAR DE GENÓTIPOS DE
BATATA EM FUNÇÃO DA FRAÇÃO DE ÁGUA TRANSPIRÁVEL NO
SOLO**

elaborada por
André Trevisan de Souza

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Agrícola

COMISSÃO EXAMINADORA:


Arno Bernardo Heldwein, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)


Genei Antonio Dalmago, Dr. (Embrapa)


Evandro Zanini Righi, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 28 de fevereiro de 2012.

A toda minha família e a todos aqueles que estiveram ao meu lado, especialmente minha namorada Carla Coelho Kratz e meus pais Romalino Brandão de Souza e Vera Beatriz Trevisan de Souza.

Dedico...

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Romalino e Vera por todo o apoio durante os meus estudos e pelo exemplo de vida.

À minha namorada Carla, por todo o amor, incentivo e compreensão.

Ao professor Arno Bernardo Heldwein pela oportunidade, orientação e amizade

Ao professor Nereu Augusto Streck, que foi mais que um co-orientador por ter participado durante todo o processo de elaboração e execução desse trabalho sempre com muita dedicação, incentivo e amizade.

Aos colegas e amigos do Ensino Técnico, Graduação e Pós-graduação do Setor de Agrometeorologia da UFSM, que trabalharam muito durante a coleta de dados dos experimentos. A vocês o meu especial e sincero agradecimento.

Aos avaliadores desta dissertação, professores Genei Antonio Dalmago e Evandro Zanini Righi, pelas contribuições que enriqueceram esta dissertação.

Aos funcionários do Departamento de Fitotecnia pelo auxílio na instalação dos experimentos.

A Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desta dissertação, o meu sincero agradecimento.

“Eu que já não quero mais ser um vencedor
Levo a vida devagar pra não faltar amor”

Marcelo Camelo

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

TRANSPIRAÇÃO E CRESCIMENTO FOLIAR DE GENÓTIPOS DE BATATA EM FUNÇÃO DA FRAÇÃO DE ÁGUA TRANSPIRÁVEL NO SOLO

AUTOR: ANDRÉ TREVISAN DE SOUZA
ORIENTADOR: ARNO BERNARDO HELDWEIN
Local e data da defesa: Santa Maria, 28 de fevereiro de 2012.

O objetivo deste trabalho foi determinar a resposta da transpiração e do crescimento ao conteúdo de água disponível no solo, representado pela fração de água transpirável no solo (FATS), em três clones avançados (SMINIA 00017-6, SMINIA 02106-11 e SMINIA 793101-3) do Programa de Genética e Melhoramento de Batata da Universidade Federal de Santa Maria, adaptados as condições subtropicais e temperadas de cultivo e da cultivar Asterix. Foram realizados dois experimentos em casa de vegetação em Santa Maria, RS, na primavera (cultivo de safra), com plantio em 08/09/2010 e no outono (cultivo de safrinha), com plantio em 01/04/2011. A água disponível, representada pela FATS, a transpiração e o crescimento foliar foram medidos diariamente durante o período de imposição da deficiência hídrica. A FATS crítica que começa a afetar a transpiração, indicativo do início do fechamento estomático, foi de 0,36, 0,38, 0,41 e 0,29 para os clones SMINIA 02106-11, SMINIA 00017-6, SMINIA 793101-3 e Asterix, respectivamente no primeiro experimento e 0,26, 0,27, 0,21 e 0,22 no segundo experimento, indicando que a cultivar Asterix é menos tolerante ao déficit hídrico no solo no cultivo de primavera que os clones avançados. Já a FATS crítica que começa a afetar o crescimento foliar foi maior que para a transpiração, 0,44, 0,4, 0,46 e 0,47 no primeiro experimento para SMINIA 02106-11, SMINIA 00017-6, SMINIA 793101-3 e Asterix, respectivamente, e 0,27, 0,38, 0,29 e 0,26 no segundo experimento. Estes resultados confirmam a variabilidade genética da batata, e mostram que cada genótipo se relaciona de uma forma com o ambiente.

Palavras-chave: *Solanum tuberosum*. Tolerância à seca. Estresse hídrico.

ABSTRACT

Master of Science Dissertation
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

TRANSPIRATION AND LEAF GROWTH OF POTATO GENOTYPES AS A FUNCTION OF FRACTION OF TRANSPIRABLE SOIL WATER

AUTHOR: André Trevisan de Souza

ADVISOR: Arno Bernardo Heldwein

Location and date of presentation: Santa Maria, February 28th, 2012.

The objective of this study was to determine the response of transpiration and leaf growth to the fraction of transpirable soil water (FTSW), in three clones (SMINIA 02106-11, SMINIA 00017-6 and SMINIA 793101-3) of Potato Genetic and Breeding Program of the Federal University of Santa Maria, adapted to subtropical and temperate conditions of cultivation and the cultivar Asterix. Two experiments were conducted in a greenhouse in Santa Maria, in the Spring, with planting in 08/09/2010 and on the Fall, with planting on 01/04/2011. The available water, represented by FTSW, transpiration and leaf growth were measured on a daily basis, in each experiment, during the period of soil drying. The threshold FTSW that begins to affect transpiration, indicating the beginning of stomatal closure, was 0.36, 0.38, 0.41 and 0.29 for clones SMINIA 02106-11, SMINIA 00017-6, SMINIA 793101-3 and Asterix, respectively in the first period and 0.26, 0.27, 0.21 and 0.22 in the second period, indicating that the cultivar Asterix is less tolerant to soil water deficit cultivation in the spring than advanced clones. The threshold FTSW that begins to affect leaf growth was higher than for transpiration, 0.44, 0.40, 0.46 and 0.47 in the first experiment to SMINIA 02106-11, SMINIA 00017-6, SMINIA 793101-3 and Asterix, respectively, and 0.27, 0.38, 0.29 and 0.26 in the second experiment. These results confirm the genetic variability of the potato, and shows that each genotype is related in a way with the environment.

Keywords: *Solanum tuberosum*. Drought tolerance. Water stress.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Representação esquemática dos três estágios de hidratação das plantas associados à redução da umidade no solo..... 17
- Figura 2 – Temperaturas mínima (T_{min}) e máxima (T_{max}) diária do ar (a) durante os dois experimentos (E1 e E2), déficit de pressão de vapor do ar (DPV) diário às 15 horas (b) durante o segundo experimento (E2) e fotoperíodo (F) e radiação solar global (R_g) (c) no período dos dois experimentos (E1 e E2) com a cultura da batata. Santa Maria, RS, 2010-2011..... 28
- Figura 3 – Transpiração relativa normalizada (TR) em função da fração de água transpirável no solo (FATS) para os clones de batata SMINIA 02106-11 (a, b), SMINIA 00017-6 (c, d), SMINIA 793101-3 (e, f) e Asterix (g, h) cultivados em casa de vegetação em experimentos com início da aplicação do déficit hídrico em 05/09/2010 - E1 (a, c, e, g) e 03/05/2011 - E2 (b, d, f, h). Santa Maria, RS, 2010-2011. FATS crítica: fração de água transpirável no solo quando inicia a redução da transpiração das plantas devido ao início do fechamento estomático. 35
- Figura 4 – Crescimento foliar relativo (CFR) em função da fração de água transpirável no solo (FATS) para os clones de batata SMINIA 02106-11 (a, b), SMINIA 00017-6 (c, d), SMINIA 793101-3 (e, f) e Asterix (g, h) cultivados em casa de vegetação em experimentos com início da aplicação do déficit hídrico em 05/09/2010 - E1 (a, c, e, g) e 03/05/2011 - E2 (b, d, f, h). Santa Maria, RS, 2010-2011. FATS crítica: fração de água transpirável no solo quando inicia a redução do crescimento foliar..... 38

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Genealogia dos clones avançados do Programa de Genética e Melhoramento de Batata da Universidade Federal de Santa Maria e da cultivar utilizados nos dois experimentos. Santa Maria, RS, 2010-2011. 21
- Tabela 2 – Equações de estimativa da área de folíolos individuais (AF, cm²) a partir do produto do comprimento e da largura do folíolo (C L, cm²) e coeficiente de determinação ajustado (r²a) de quatro clones de batata. Santa Maria, RS, Brasil, 2011..... 24
- Tabela 3 – Número de repetições utilizadas para os tratamentos sem déficit hídrico (T1) e com déficit hídrico (T2) de cada genótipo nos dois experimentos (E1 e E2) com a cultura da batata. Santa Maria, RS, 2010-2011..... 29
- Tabela 4 – Biomassa seca total inicial e final, radicular, de tubérculos e aérea no final do período de imposição do déficit hídrico para os clones de batata SMINIA 02106-11, SMINIA 00017-6, SMINIA 793101-3 e Asterix, submetidos aos tratamentos sem déficit (T1) e com déficit hídrico (T2) a partir de cerca de 10 folhas, cultivados em casa de vegetação em vaso em dois experimentos, com início da aplicação do déficit hídrico em 05/09/2010 (E1) e 03/05/2011 (E2). Santa Maria, RS, 2010-2011..... 31
- Tabela 5 – Estatura média de plantas inicial e final e número médio de folhas inicial e final na haste principal dos clones de batata SMINIA 02106-11, SMINIA 00017-6, SMINIA 793101-3 e Asterix, submetidos aos tratamentos sem déficit (T1) e com déficit hídrico (T2) a partir de cerca de 10 folhas, cultivados em casa de vegetação em vaso em dois experimentos, com início da aplicação do déficit hídrico em 05/09/2010 (E1) e 03/05/2011 (E2). Santa Maria, RS, 2010-2011..... 32
- Tabela 6 – Transpiração total média e coeficiente de transpiração dos clones de batata SMINIA 02106-11, SMINIA 00017-6, SMINIA 793101-3 e Asterix, submetidos aos tratamentos sem déficit (T1) e com déficit hídrico (T2) a partir de cerca de 10 folhas, cultivados em casa de vegetação em vaso em dois experimentos, com início da aplicação do déficit hídrico em 05/09/2010 (E1) e 03/05/2011 (E2). Santa Maria, RS, 2010-2011..... 33
- Tabela 7 – Fração de água transpirável no solo em que inicia o fechamento estomático (FATS crítica) para transpiração relativa (TR) e para o crescimento foliar relativo (CFR) dos clones de batata SMINIA 02106-11, SMINIA 00017-6, SMINIA 793101-3 e Asterix, submetidos aos tratamentos sem déficit (T1) e com déficit hídrico (T2) a partir de cerca de 10 folhas, cultivados em casa de vegetação em vaso em dois experimentos, com início da aplicação do déficit hídrico em 05/09/2010 (E1) e 03/05/2011 (E2). Santa Maria, RS, 2010-2011..... 36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivo geral.....	13
1.2 Objetivos específicos.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 A cultura da batata.....	14
2.2 Déficit hídrico.....	15
2.3 Resposta ao déficit hídrico	18
3 MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 Aplicação da deficiência hídrica e avaliação das respostas das plantas	22
3.2 Normalização das variáveis	25
3.3 Variáveis ambientais	25
3.4 Análise estatística.....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5 CONCLUSÕES.....	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

1 INTRODUÇÃO

A batata é um dos principais alimentos da humanidade e faz parte da dieta de mais de um bilhão de pessoas. É uma planta tuberosa, cujo cultivo é importante em pequenas unidades de produção do Sul do Brasil (PEREIRA, 2003).

A planta da batata é bastante suscetível ao déficit hídrico por apresentar um sistema radicular reduzido e superficial, que representa menos de 2% da matéria seca total da planta. O déficit hídrico é uma situação comum durante a produção de muitas culturas no Sul do Brasil, podendo resultar em considerável impacto negativo no crescimento e desenvolvimento das plantas. Assim, sendo a batata a hortaliça de maior importância no país, há necessidade de se estudar mais detalhadamente a transpiração, o crescimento e o desenvolvimento dessa cultura em resposta ao déficit hídrico no solo. Durante as trocas gasosas da planta ocorre a transpiração e a assimilação de CO₂. Portanto, a medida da transpiração pode indicar indiretamente a atividade fotossintética da planta.

O conceito da fração de água transpirável no solo (FATS) tem sido utilizado na avaliação das respostas das plantas ao déficit hídrico. Neste conceito, assume-se que o conteúdo de água no solo utilizado pela planta para a transpiração varia entre o conteúdo de água no solo na capacidade de campo, quando a transpiração é potencialmente máxima, e o conteúdo de água no solo quando a transpiração da planta é igual a 10% da transpiração máxima (SINCLAIR; LUDLOW, 1986). Segundo Santos e Carlesso (1998), este conceito parece ser o que mais se aproxima da realidade como indicador da quantidade real de água no solo que pode ser extraída pelas plantas para a transpiração.

A resposta de parâmetros da transpiração e de parâmetros do crescimento e desenvolvimento à FATS foi anteriormente estudada em batata (WEISZ et al., 1994; LAGO, 2011). Apesar disso, novos clones têm sido desenvolvidos e introduzidos no Rio Grande do Sul e sua resposta à deficiência hídrica ainda não é conhecida, o que constituiu a motivação para propor esta dissertação. Uma fonte de novos clones é o Programa de Genética e Melhoramento de Batata da Universidade Federal de Santa Maria. A identificação de clones avançados tolerantes ao déficit hídrico é importante para minimizar as perdas de rendimento de produtividade na lavoura.

1.1 Objetivo geral

Auxiliar no processo de seleção de clones avançados de batata no Programa de Genética e Melhoramento de Batata da Universidade Federal de Santa Maria, com vistas a identificar genótipos com maior tolerância ao déficit hídrico no solo.

1.2 Objetivos específicos

Quantificar a resposta da transpiração e de variáveis do crescimento e desenvolvimento de clones de batata ao déficit hídrico no solo, e determinar a FATS em que a transpiração relativa e as variáveis de crescimento e desenvolvimento de cada clone começam a ser reduzidos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura da batata

A batata é uma planta originária das regiões altas da Cordilheira dos Andes na América do Sul, localizadas entre as latitudes de 65°N e 50°S. É uma dicotiledônea, da família Solanaceae, herbácea, com metabolismo C3. É cultivada em mais de 130 países devido a sua adaptabilidade a diferentes climas e topografias. O gênero *Solanum* possui cerca de 2000 espécies, das quais 160 formam tubérculos e destas, 20 são cultivadas. Entre estas, a mais importante economicamente e produzida no mundo é a espécie *Solanum tuberosum* ssp. *tuberosum* (BISOGNIN, 1996; FORTES; PEREIRA, 2003).

A batata é habitualmente cultivada como uma cultura anual na Região Sul do Brasil. A parte aérea é herbácea, com altura variável entre 0,5 a 0,7 m, podendo alcançar até 1,5 m na fase adulta. O ciclo de desenvolvimento da batata varia com a cultivar, podendo ser curto (<90 dias), médio (90-110 dias) ou longo (>110 dias) (FORTES; PEREIRA, 2003). As cultivares de ciclo longo têm hábito de crescimento indeterminado, as de ciclo curto são de crescimento determinado, apresentando o início da tuberização mais cedo que as demais (SOUZA, 2003).

Os tubérculos são formados a partir da diferenciação da extremidade dos estolões ou rizomas. Estes permitem a propagação da planta e são os órgãos de maior interesse econômico da batata. Na superfície do tubérculo encontram-se gemas dormentes, que, ao se desenvolverem, dão origem a um novo sistema de hastes e estolões (FORTES; PEREIRA, 2003).

No Brasil, a batata é a hortaliça de maior importância econômica. No ano 2011, estima-se que a produção foi 3.876.103 t de batata, numa área de 146.909 ha, com uma produtividade média de 26,4 t ha⁻¹ (IBGE, 2011). Os principais Estados produtores de batata são Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul, responsáveis por mais de 96% da produção nacional (IBGE, 2011). No Rio Grande do Sul, são plantados aproximadamente 22.000 ha, com uma produtividade média de 17,2 t ha⁻¹ (IBGE, 2011), sendo cultivada em três principais regiões: Norte/Nordeste/Serra/Hortências, Sul e Central (IBGE, 2010)

2.2 Déficit hídrico

A água é importante para as plantas porque constitui a matriz e o meio onde ocorrem a maioria dos processos bioquímicos essenciais à vida. É o componente mais abundante, representando entre 80 e 95% da massa de tecidos vegetais em crescimento. A água atua em funções básicas do metabolismo celular, como: solvente na maioria das reações bioquímicas; turgescência celular; transporte e translocação de solutos; controle estomático e consumo de uma porção considerável da energia solar incidente pela transpiração principalmente nas folhas, evitando o aumento excessivo da temperatura foliar (MARENCO; LOPES, 2005; TAIZ; ZEIGER, 2009).

A escassez de água no solo é, de longa data, o fator ambiental que mais limita o crescimento e rendimento das culturas agrícolas na maior parte do Planeta (BOYER, 1982). A redução do crescimento e as perdas de rendimento das culturas, verificadas em áreas secas, é, em grande parte, devido ao fechamento estomático em resposta ao baixo conteúdo de água no solo, o que diminui a entrada de CO₂ na câmara subestomática e com consequente redução da fotossíntese (WONG et al., 1985; STRECK, 2004; SENTELHAS; MONTEIRO, 2009). Assim, analisar as respostas das plantas e seus mecanismos de defesa ao déficit hídrico no solo é de grande importância para se diminuir os riscos na produção agrícola.

A quantidade de água no solo pode ser expressa por vários índices, como por exemplo, quantidade total de água armazenada (QTA), capacidade de armazenamento de água disponível para as plantas (CAD), fração de água disponível (FAD) e fração de água transpirável no solo (FATS). Por meio desses índices pode-se determinar o déficit hídrico no solo.

A QTA é definida como a quantidade de água que um solo pode armazenar entre a capacidade de campo (CC), que é definida como o conteúdo de água de um solo depois de ter sido saturado e de ter perdido o excesso de água gravitacional e o ponto de murcha permanente (PMP), que é considerado como o conteúdo de água no solo quando ocorre a murcha permanente das plantas que crescem nele (CARLESSO; ZIMMERMANN, 2000). Contudo, as plantas apresentam redução no crescimento antes que seja atingido o ponto de murcha permanente (CARLESSO, 1995; SOUZA; REICHARDT, 1996; CARLESSO; ZIMMERMANN, 2000). Outra dificuldade na utilização deste método é que a determinação está baseada somente na profundidade do sistema radicular, desconsiderando a densidade radicular, que é menor nas camadas mais profundas do solo, onde a água disponível não é

totalmente extraída (MASON et al., 1983 apud CARLESSO, 1995). De acordo com CARLESSO (1995), o tipo de solo é outra fonte de erro deste método.

O conceito de água extraível (RITCHIE, 1981) ou CAD (CARLESSO; ZIMMERMANN, 2000; PETRY, 2000) supera o conceito anterior por considerar uma combinação solo-cultura visto que é obtida pela diferença do conteúdo volumétrico de água entre os limites superior e inferior de disponibilidade de água às plantas, e considerando cada camada do perfil do solo explorado pelo sistema radicular da cultura (CARLESSO, 1995). O limite superior é definido como conteúdo de água no perfil do solo após a ocorrência da drenagem, a partir da saturação do solo por irrigação ou precipitação, sendo que muitas vezes a CC é utilizada como limite superior, e o limite inferior é considerado como o conteúdo de água no solo quando as plantas estiverem completamente senescidas (CARLESSO; ZIMMERMANN, 2000; PETRY, 2000). Este método também apresenta dificuldades na determinação da água disponível, para determinação do limite inferior a cultura deve apresentar um desenvolvimento normal do sistema radicular, e que nenhum estresse cause redução no crescimento radicular, pois isso pode levar a um aumento no conteúdo de água determinado como limite inferior. A água extraível não é determinada somente pela absorção de água pelas raízes, pois a evaporação de água do solo diminui o conteúdo de água nas camadas superficiais (CARLESSO, 1995).

A FAD é a razão entre a quantidade total de água, ou seja, o conteúdo de água volumétrico das camadas do solo explorado pelo sistema radicular em um dia específico, e a quantidade potencial de água no solo. Uma vantagem da FAD sobre outros indicadores de déficit hídrico é que ela depende primariamente da taxa de uso da água e das propriedades do solo, as quais podem ser determinadas com relativa facilidade nas culturas a campo (RITCHIE et al., 1972 apud SANTOS; CARLESSO, 1998). No entanto, apesar de muito utilizado, este conceito também apresenta desvantagens, pois nem toda a água disponível no solo é extraível pelas culturas (CARLESSO, 1995).

Porém, segundo Santos e Carlesso (1998), dentre esses índices, o conceito de FATS é o que mais se aproxima como indicador da quantidade real de água no solo que pode ser extraída pelas plantas para a transpiração. No conceito de FATS, assume-se que o conteúdo de água no solo utilizado pela planta para a transpiração varia entre o conteúdo de água no solo na capacidade de campo, quando a transpiração é máxima, e o conteúdo de água no solo, quando a transpiração da planta é igual a 10 % da máxima (SINCLAIR; LUDLOW, 1986).

São caracterizados três estágios de hidratação das plantas associados à redução de umidade no solo (SINCLAIR; LUDLOW, 1986; MUCHOW; SINCLAIR, 1991; BINDI et al.,

2005): o estágio I, quando a água está disponível livremente no solo, a planta não tem deficiência hídrica e sua condutância estomática e transpiração são máximas; o estágio II, quando a água disponível no solo faz com que a planta diminua sua condutância estomática e transpiração para manter seu balanço hídrico e turgescência celular, e o estágio III, quando os estômatos fecham e a perda de água se dá somente devido a condutância epidérmica (Figura 1).

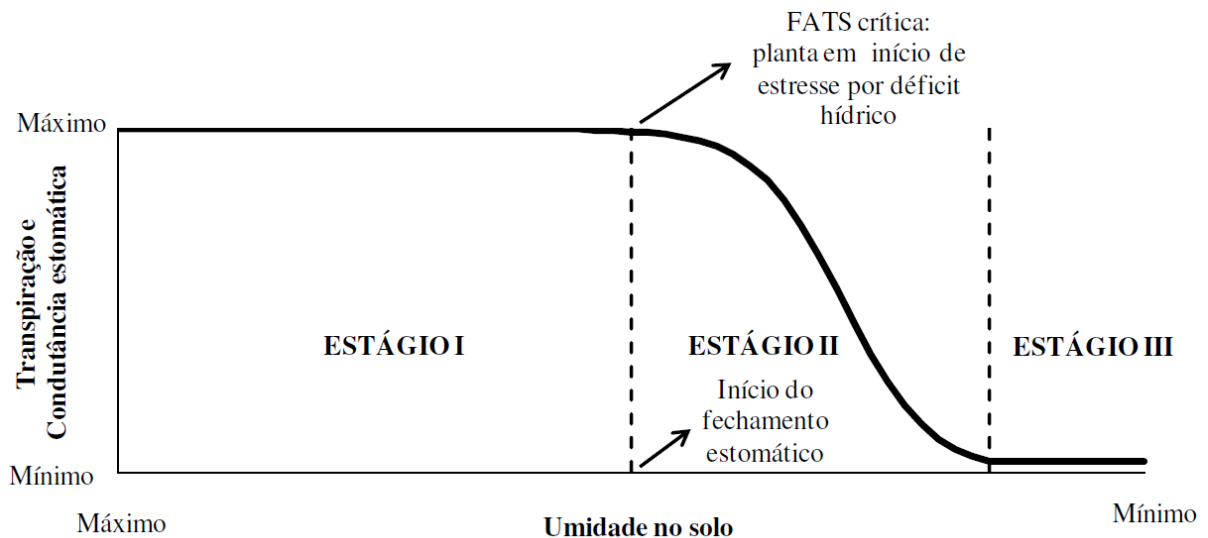


Figura 1 – Representação esquemática dos três estágios de hidratação das plantas associados à redução da umidade no solo.

Adaptado de (SINCLAIR 86 por LAGO 2011).

A FATS em que se inicia o fechamento estomático e, conseqüentemente, quando ocorre redução da transpiração das plantas foi determinado para várias espécies de importância agrícola, como feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), feijão mungo (*Vigna mungo* L.) e guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) (SINCLAIR; LUDLOW, 1986), soja (*Glycine max* (L.) Merrill) (SINCLAIR, 1986), trigo (*Triticum aestivum* L.) (AMIR; SINCLAIR, 1991), milho (*Zea mays* L.) (MUCHOW; SINCLAIR, 1991), batata (*Solanum tuberosum* L.) (WEISZ et al., 1994), videira (*Vitis vinifera* L.) (BINDI et al., 2005), eucalipto (*Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) e *Eucalyptus saligna* (Smith)) (MARTINS et al., 2008), batata (*Solanum tuberosum* L.) (LAGO et al., 2011) e mandioca (*Manihot esculenta*) (LAGO, 2011).

2.3 Resposta ao déficit hídrico

O déficit hídrico ocorre quando o conteúdo de água de uma célula ou tecido vegetal está abaixo do seu conteúdo de máxima hidratação (TAIZ; ZEIGER, 2009) e seu efeito sobre a maioria das culturas varia de acordo com a sua duração e intensidade e com o estágio de desenvolvimento das plantas. O estabelecimento lento e gradual do déficit hídrico permite o acionamento de mecanismos morfofisiológicos nos vegetais, minimizando os efeitos deletérios do déficit (CARLESSO; SANTOS, 1999).

Segundo Taiz e Zeiger (2009), as principais linhas de defesa das plantas ao déficit hídrico no solo são a inibição da expansão foliar, a expansão do sistema radicular, o fechamento estomático e a aceleração da senescência e abscisão das folhas. O déficit hídrico resulta em redução do conteúdo de água na planta, reduzindo o turgor. Como a expansão foliar depende do turgor, é bastante sensível ao déficit hídrico. Assim, a redução da área foliar é a primeira linha de defesa da planta contra o déficit hídrico no solo, pois uma planta com área foliar menor transpira menos, conseguindo assim conservar a água por um período mais longo. Com a inibição da expansão foliar há uma redução no consumo de carbono e energia na parte aérea, e uma proporção maior de fotoassimilados pode ser destinada ao sistema radicular, sustentando assim o crescimento das raízes no solo em busca de água, que pode ser considerado a segunda linha de defesa das plantas ao déficit hídrico. As plantas expostas ao estresse por déficit hídrico podem fechar os estômatos mesmo com presença de luz. O fechamento estomático é considerado a terceira linha de defesa das plantas ao déficit hídrico, sendo o mecanismo mais importante quando este ocorre de maneira mais rápida (TAIZ; ZEIGER, 2009). O mais provável é que os sinais químicos (ácido abscísico) das raízes comandam as respostas estomáticas ao déficit hídrico no solo (LAGO, 2011).

Lembrando o conceito de “tolerância ao estresse”, que se refere à aptidão da planta para enfrentar um ambiente desfavorável (TAIZ; ZEIGER, 2009), a cultura de batata se enquadra como pouco tolerante ao déficit hídrico, influenciando sua produtividade e qualidade de tubérculos (EPSTEIN; GRANT, 1973; DOOREMBOS; KASSAM, 1977; VAN LOON, 1981; OJALA et al., 1990; HARRIS, 1992; VAN der ZAAG, 1992; HSIAO, 1993; PORTER et al., 1999; IERNA; MAUROMICALE, 2006). Diferentemente de outras espécies, a batata fecha seus estômatos com a ocorrência de déficits hídricos leves, acarretando várias mudanças nas atividades fisiológicas que condicionam seu rendimento e qualidade (PEREIRA; SHOCK, 2006). O principal motivo apontado para a sensibilidade da batata ao

déficit hídrico tem sido o seu sistema radicular pouco desenvolvido e superficial (JEFFERIES, 1993; PORTER et al., 1999; LIU et al., 2006).

Segundo Sinclair e Ludlow (1986), em geral, as respostas das plantas ao déficit hídrico, quando avaliadas pela FATS, são muito similares. A maioria dos valores críticos de FATS, relatados para a transpiração e fotossíntese, estão entre 0,2 e 0,3. Segundo esses autores, as principais diferenças nas respostas das culturas ao déficit hídrico se devem às diferenças na quantidade de água que cada uma é capaz de extrair. Para a cultura da batata, Weisz et al. (1994) observaram que, em relação à transpiração, a batata respondeu similarmente a outras espécies com valores críticos de FATS de 0,2 e 0,35 para as cultivares BelRus e Katahdin, respectivamente. Porém, o crescimento folhar começou a declinar a partir de um valor crítico de FATS de 0,6 para as duas cultivares. O valor da FATS crítica (0,6) foi maior que qualquer valor reportado para outras culturas, indicando que para o parâmetro crescimento foliar, a batata parece responder de forma diferente, pois é mais sensível ao déficit hídrico que outras culturas, para os mesmos níveis da água extraível.

Lago (2011) também estudou a resposta de batata a FATS, utilizou a cultivar Macaca, que é bastante utilizada pelos bataticultores do sul do Rio Grande do Sul, e o clone avançado SMINIA 793101-3, clone muito promissor do Programa de Genética e Melhoramento de Batata da UFSM (PGMB). Neste trabalho foi observado que o clone SMINIA 793101-3 foi mais tolerante ao déficit hídrico no solo do que a cultivar Macaca e isto chamou a atenção dos pesquisadores do PGMB, e assim, surgiu o interesse em testar outros dos seus clones em desenvolvimento, a fim de encontrar clones mais tolerantes, o que motivou a realização do presente trabalho. Para isso foram selecionados três clones avançados do PGMB que apresentam características importantes que os candidatam a serem lançados como cultivares: qualidade de processamento, adaptação e produtividade de tubérculo, juntamente à cultivar Asterix, muito utilizada em todo o estado do Rio Grande do Sul, em especial na Depressão Central (FIOREZE, 2003).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos durante os anos de 2010 e 2011 em uma casa de vegetação na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em Santa Maria, RS (latitude: 29°43'S, longitude: 53°43'W e altitude: 95m). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cfa, Subtropical úmido, sem estação seca definida, com verões quentes (MORENO, 1961). A casa de vegetação utilizada nos experimentos tem as dimensões de 16 m de comprimento por 7 m de largura e 3,5 m de pé direito, com cobertura e laterais de placas duplas de policarbonato com transmissividade a radiação solar incidente perpendicular as placas em torno de 70%. Possui um sistema automático de controle de temperaturas máximas, regulada para quando a temperatura do ar atingisse 32°C um ventilador era acionado e forçava a entrada de ar por uma parede de argila expandida umedecida, diminuindo a temperatura. Os experimentos foram conduzidos em vasos na primavera, com o plantio no dia 08/09/2010 (E1) e no outono, dia 01/04/2011 (E2).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com dois tratamentos: com irrigação (T1) e sem irrigação (T2). Foram utilizados a cultivar Asterix e os clones avançados SMINIA 793101-3, SMINIA 00017-6 e SMINIA 02106-11, desenvolvidos pelo PGMB (Tabela 1). A escolha desses genótipos se deu por serem os clones avançados SMINIA 00017-6, SMINIA 02106-11 e SMINIA 793101-3 promissores no PGMB e a Asterix é uma cultivar bastante utilizada pelos bataticultores do Rio Grande do Sul. Lago (2011) utilizou o clone avançado SMINIA 793101-3 e a cultivar Macaca, e como a SMINIA 793101-3 se mostrou mais tolerante ao déficit hídrico no solo, foi utilizada novamente para servir como referência. Todos os clones são geneticamente distintos e possuem características que motivaram sua inclusão no trabalho. Os clones avançados SMINIA 00017-6 e SMINIA 793101-3 possuem boa qualidade de processamento, adaptação e alta produtividade de tubérculos, visto que o clone avançado SMINIA 02106-11 é bastante adaptado aos ambientes temperado e subtropical e a cultivar Asterix tem origem europeia, é antiga, porém consagrada entre os produtores.

Tabela 1 – Genealogia dos clones avançados do Programa de Genética e Melhoramento de Batata da Universidade Federal de Santa Maria e da cultivar utilizados nos dois experimentos. Santa Maria, RS, 2010-2011.

Genótipo	Genealogia
SMINIA 00017-6	SMINIA 793101-3 x NDO 860-2
SMINIA 02106-11	SMINIA 793101-3 x Arazatí
SMINIA 793101-3	Serrana INTA x 8800.1
Asterix	Cardinal x SVPVe 709

Foram utilizadas 10 repetições de cada genótipo para cada tratamento. Cada repetição foi constituída de um vaso plástico de 8 litros preenchido com solo (horizonte A) pertencente à unidade de mapeamento Santa Maria (Argissolo Bruno-Acinzentado alítico típico) (STRECK et al., 2008).

Os vasos foram dispostos sobre bancadas de 70 cm de altura e pintados de branco para reduzir a absorção de radiação solar pelas paredes externas, o que aumentaria a temperatura do solo e seria uma fonte de erro experimental. A correção da acidez e nutrientes do solo foi feita conforme análise de solo e recomendações técnicas para a cultura da batata (BISOGNIN, 1996; SBCS/CQFS, 2004).

Os tubérculos-semente utilizados nos experimentos, produzidos na safra anterior no PGMB, possuíam alta qualidade fitossanitária e apresentavam diâmetro em torno de 30 mm, estavam armazenados em câmara fria desde a colheita. Os tubérculos semente foram tratados com uma solução de 30 ppm de ácido giberélico e permaneceram em câmara fria a 20 °C por 15 dias (BISOGNIN et al., 1998). Após este processo de cura, foram novamente armazenados em câmara fria a 10°C até o plantio. A finalidade deste tratamento foi promover a quebra da dormência, quebra de dominância apical e consequente brotação uniforme dos tubérculos. Foi plantado um tubérculo por vaso e foi considerada como haste principal a primeira brotação que emergiu na superfície do solo, sendo as demais brotações retiradas assim que emergiam para padronizar uma haste por vaso, permitindo comparações.

3.1 Aplicação da deficiência hídrica e avaliação das respostas das plantas

A deficiência hídrica foi aplicada quando as plantas estavam com nove a doze folhas acumuladas na haste principal (WEISZ et al., 1994; LAGO et al., 2011). Das 20 repetições de cada genótipo, 10 repetições foram usadas como testemunha (T1), nas quais não foi aplicada deficiência hídrica. Além dos vasos com plantas, também havia seis vasos sem plantas, três com T1 e outros três com T2, cujos valores médios de perda de água por evaporação para atmosfera foram descontados de todos os vasos, por representarem a perda por evaporação do sistema.

Antes da aplicação do déficit hídrico, todos os vasos foram saturados com água e deixados drenar por 23 horas, momento em que considerou-se o solo estar em capacidade de campo. A fim de minimizar a perda de água pela evaporação do solo, todos os vasos foram cobertos com um filme plástico branco. Esse procedimento visou garantir que a água perdida do solo fosse apenas pela transpiração das plantas, isto é, para que a evaporação tendesse a zero. Após isto, foi determinado o peso inicial de cada vaso e a partir de então foi aplicada a deficiência hídrica nos vasos do T2, os quais não foram mais irrigados até o final do experimento.

Diariamente, às 16 horas, todos os vasos foram pesados em uma balança eletrônica com capacidade de 50 kg e precisão de 5g. Logo após a pesagem, cada vaso do T1 era irrigado com a quantidade de água transpirada pela planta desde o dia anterior, determinada pela diferença entre o peso do vaso no dia específico e o peso inicial (peso do vaso no dia em que foi aplicada a deficiência hídrica).

Os dados foram analisados com base na comparação da transpiração relativa (TR) com a fração de água transpirável no solo (FATS) para cada vaso. Os seis vasos sem planta também foram pesados diariamente. O objetivo foi contabilizar a pequena evaporação do solo que ocorre mesmo sendo cobertos pelo filme plástico e o valor médio diário de evaporação do T1 e do T2, que foi subtraído dos valores de transpiração diária das plantas de cada tratamento, antes do cálculo da transpiração relativa. A TR foi calculada pela equação (SINCLAIR; LUDLOW, 1986):

$$TR = \frac{MT2_j - MT2_{(j-1)}}{[\Sigma (MT1_j - MT1_{inicial})]/n} \quad (1)$$

em que MT_2 é a massa de cada vaso (repetição) no regime hídrico T2 (g vaso^{-1}), MT_1 é a massa de cada vaso (repetição) no regime hídrico T1 (g vaso^{-1}), 'j' refere-se ao dia, 'inicial' indica que é a MT_1 no dia de início da aplicação do déficit hídrico (início do experimento), e 'n' representa o número de repetições (plantas) no regime hídrico T1.

Os experimentos foram encerrados quando todas as plantas do T2 apresentavam $TR \leq 0,1$. A massa final foi considerada a massa do vaso quando a $TR \leq 0,1$. Foi imposto o limite de 0,1 (10%) por assumir-se que abaixo dessa taxa de transpiração os estômatos estão fechados e a perda de água é devida apenas à condutância cuticular, caracterizando-se como o estágio III da transpiração (SINCLAIR; LUDLOW, 1986).

Após o término de cada experimento foi calculada a FATS para cada vaso do T2, em cada dia, partindo do último para o primeiro dia de déficit hídrico. A FATS foi calculada pela equação (SINCLAIR; LUDLOW, 1986):

$$FATS = \frac{MT_{2j} - MT_{2final}}{MT_{2inicial} - MT_{2final}} \quad (2)$$

em que MT_2 é a massa de cada vaso (repetição) no regime hídrico T2 (g vaso^{-1}), 'j' refere-se ao dia, 'inicial' indica que é a MT_2 no dia de início da aplicação do déficit hídrico (início do experimento) e 'final' indica que é a MT_2 no dia do término do experimento.

Os parâmetros de crescimento avaliados foram a estatura das plantas (E) (comprimento da haste principal do nível do solo até o ponto de crescimento apical) e a área foliar (AF). O parâmetro de desenvolvimento avaliado foi o número de folhas acumuladas na haste principal (NF). As variáveis E e NF foram medidas no início da aplicação da deficiência hídrica e no último dia do experimento.

Para a variável AF, optou-se por medir o primeiro folíolo lateral esquerdo de cada folha das plantas em detrimento da folha inteira para conseguir determinar o momento em que aconteceria o enrolamento foliar, porém a tentativa foi frustrada pelo enrolamento e o murchamento foliar não apenas variarem durante o ciclo, mas também variarem durante o dia. Para se obter a AF (cm^2), foi elaborada uma equação para cada clone, para estimar a AF a partir das dimensões do folíolo. Foram coletados aproximadamente 60 folíolos de cada clone de plantas posteriormente descartadas, os quais foram escaneados e sua área em pixels foi determinada pelo programa Quant©. Essa área em pixels foi relacionada com a quantidade de

pixels de uma superfície com área conhecida para transformar a área foliar para escala métrica (cm²). Posteriormente foram determinadas equações de regressão linear simples entre AF e do produto entre as medidas C (maior comprimento do folíolo, da nervura central da folha até o ápice do folíolo) e L (maior largura do folíolo), usando o programa Table Curve Curve 2D Windows v2.03©. A equação utilizada para o cálculo da AF no experimento foi a que apresentou maior coeficiente de determinação (r²), sendo a função linear forçada a passar pela origem e mais ajustada para todos os genótipos (Tabela 2).

Tabela 2 – Equações de estimativa da área de folíolos individuais (AF, cm²) a partir do produto do comprimento e da largura do folíolo (C L, cm²) e coeficiente de determinação ajustado (r²_a) de quatro clones de batata. Santa Maria, RS, Brasil, 2011.

Genótipo	Equação	r ² _a
SMINIA 00017-6	AF = 0.7067*C L	0.994
SMINIA 02106-11	AF = 0.7189*C L	0.996
SMINIA 793101-3	AF = 0.6978*C L	0.994
Asterix	AF = 0.7026*C L	0.993

O somatório das AF de todos os folíolos laterais de cada planta foi determinada diariamente, a partir da aplicação da deficiência hídrica até o final do experimento. Com esses dados de AF diária foi calculado o crescimento foliar relativo (CFR) diário para cada clone, pela equação:

$$CFR = \frac{AFT2_j - AFT2_{j-1}}{[\sum (AFT1_j - AFT1_{j-1})]/n} \quad (3)$$

em que AFT2 é a área foliar de todos os folíolos medidos em cada planta (repetição) no regime hídrico T2 (cm² planta⁻¹), AFT1 é a área foliar de todos os folíolos medidos em cada planta (repetição) no regime hídrico T1 (cm² planta⁻¹), 'j' refere-se ao dia e 'n' representa o número de repetições (plantas) no regime hídrico T1.

Foi determinado, também, o coeficiente de transpiração (CT), o qual é um indicador utilizado na comparação da eficiência do uso da água pelas plantas (HSIAO; ACEVEDO, 1974). O CT é a quantidade de água, em litros, necessária para a produção de 1 kg de biomassa (L kg⁻¹ massa seca) (SILVA et al., 2004). Para realizar a determinação do CT foram

selecionadas três plantas de cada genótipo para cada experimento, antes da aplicação da deficiência hídrica, para a determinação da biomassa total inicial e, posteriormente, estas plantas foram secadas em estufa de ventilação forçada a 65°C para determinar a biomassa seca total inicial. Ao final do experimento foi determinada a biomassa total, de raízes, de tubérculos e da parte aérea em todas as plantas. O CT foi determinado por (SILVA et al., 2004):

$$CT = \frac{TT}{BF - BI} \quad (4)$$

em que TT é a transpiração total (L planta⁻¹), BF é a biomassa seca final (kg planta⁻¹) e BI é a biomassa seca inicial (kg planta⁻¹).

3.2 Normalização das variáveis

As variáveis transpiração e crescimento foliar foram submetidas a duas normalizações, sendo a primeira para que os valores (TR e CFR) variarem de 0 a 1 (equações 1 e 3) e a segunda para reduzir as variações entre as plantas, causadas por diferenças no tamanho das plantas (Sinclair & Ludlow, 1986; Ray & Sinclair, 1997). Para a segunda normalização usou-se os valores de TR e o CFR antes da deficiência hídrica começar a diminuir a transpiração e o crescimento foliar, respectivamente, e que corresponderam a valores de FATS igual ou maior que 0,5 (Lago, 2011) e calculou-se, para cada planta, a média dos valores de TR e CFR com FATS igual ou maior que 0,5, e todos os valores de TR e CFR foram divididos por estas médias.

3.3 Variáveis ambientais

As temperaturas mínima e máxima diárias do ar foram medidas durante cada experimento com um termômetro de mínima de álcool e um termômetro de máxima de mercúrio, respectivamente, instalados dentro de um mini abrigo meteorológico de madeira pintado de branco e instalado no centro da bancada. Para o segundo experimento foi instalado um psicrômetro sem ventilação forçada junto aos termômetros para determinar-se o déficit de pressão de vapor do ar (DPV) no interior da casa de vegetação, no qual diariamente às 15

horas foram realizadas leituras de temperatura no termômetro de bulbo molhado e bulbo seco. Foram usados os dados de brilho solar diário na estação meteorológica convencional, pertencente ao 8º Distrito de Meteorologia, localizada a aproximadamente 400 m da casa de vegetação onde foram conduzidos os experimentos, para calcular a densidade de fluxo de radiação solar global diária incidente no período.

3.4 Análise estatística

Os dados de TR e CFR, após passarem pela segunda normalização, foram plotados em função da FATS e foi ajustada uma equação logística do tipo $Y = 1/\{1 + \exp[-a(X - b)]\}$, em que Y é a variável dependente (TR e CFR), X é a FATS e “a” e “b” são coeficientes empíricos (SINCLAIR; LUDLOW, 1986; LECOEUR; SINCLAIR, 1996; RAY; SINCLAIR, 1997), os quais foram estimados por análise de regressão não linear no programa estatístico SAS (Statistical Analysis System). O valor de FATS crítica para TR e para CFR foi usado como indicador de tolerância ao déficit hídrico no solo Lago (2011) e foi estimado pela equação logística como sendo o valor da FATS quando a TR atinge 0,95 (LAGO, 2011).

As variáveis foram analisadas segundo fatorial 4x2 com cada planta constituindo uma repetição, sendo para a FATS crítica o fator A os clones (2 níveis) e o fator B os experimentos (2 níveis). Para as demais variáveis o fator A os clones (4 níveis) e o fator B os tratamentos (2 níveis). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos dois experimentos, a temperatura máxima diária do ar variou pouco devido a capacidade da estufa em controlar a temperatura máxima do ar, mas a temperatura mínima diária do ar variou consideravelmente (Figura 2a). As temperaturas mínimas absolutas durante E1 e E2 foram 9,2 e 4,0 °C, respectivamente, e as temperaturas máximas absolutas foram 32,0 °C na E1 e 31,6 °C na E2. O déficit de pressão de vapor (DPV) no E2 variou de 1,0 a 4,6 hPa as 15 horas (Figura 2b), valores considerados baixos (KINIRY et al., 1998), indicando que as plantas cresceram e desenvolveram em uma atmosfera de baixa demanda evaporativa. Os baixos valores de DPV são devido ao sistema de controle da temperatura máxima na casa de vegetação que, ao chegar na temperatura de 32 °C aciona um sistema de ventilação, o qual força a passagem de ar através de uma parede de argila expandida molhada. Devido a uma menor temperatura mínima no E2 do que no E1 (Figura 2a), a duração do primeiro experimento (em dias) foi menor, 24, 23, 23 e 25 dias, do que no segundo experimento, 32, 35, 36 e 33 dias para os clones SMINIA 02106-11, SMINIA 00017-6, SMINIA 793101-3 e Asterix, respectivamente. Essas épocas representam as condições de cultivo de primavera e outono realizadas na região de Santa Maria de acordo com Bisognin (1996), em que também o fotoperíodo e a densidade de fluxo de radiação solar apresentaram variação diferente (Figura 2c).

Devido a batata ser uma planta de propagação vegetativa a emergência é heterogênea e na E2 os tubérculos semente tiveram pouco tempo para superar a dormência, pois fora produzidos na primavera anterior. Os tubérculos semente apresentavam diâmetro em torno de 30 mm e de acordo com Müller et al. (2010), quanto menor os tubérculos, menor é a maturidade fisiológica e maior o período de dormência. Devido à desuniformidade na emergência e a seleção das plantas visando a homogeneidade, menos repetições foram usadas neste experimento. Além disso, durante a imposição do déficit hídrico, foram excluídas também algumas plantas que apresentaram sintoma de requeima (*Phytophthora infestans*), resultando em menor número de repetições do que no E1 (Tabela 3). Assim, o número de repetições efetivamente usado para cada clone e tratamento está definido na Tabela 3.

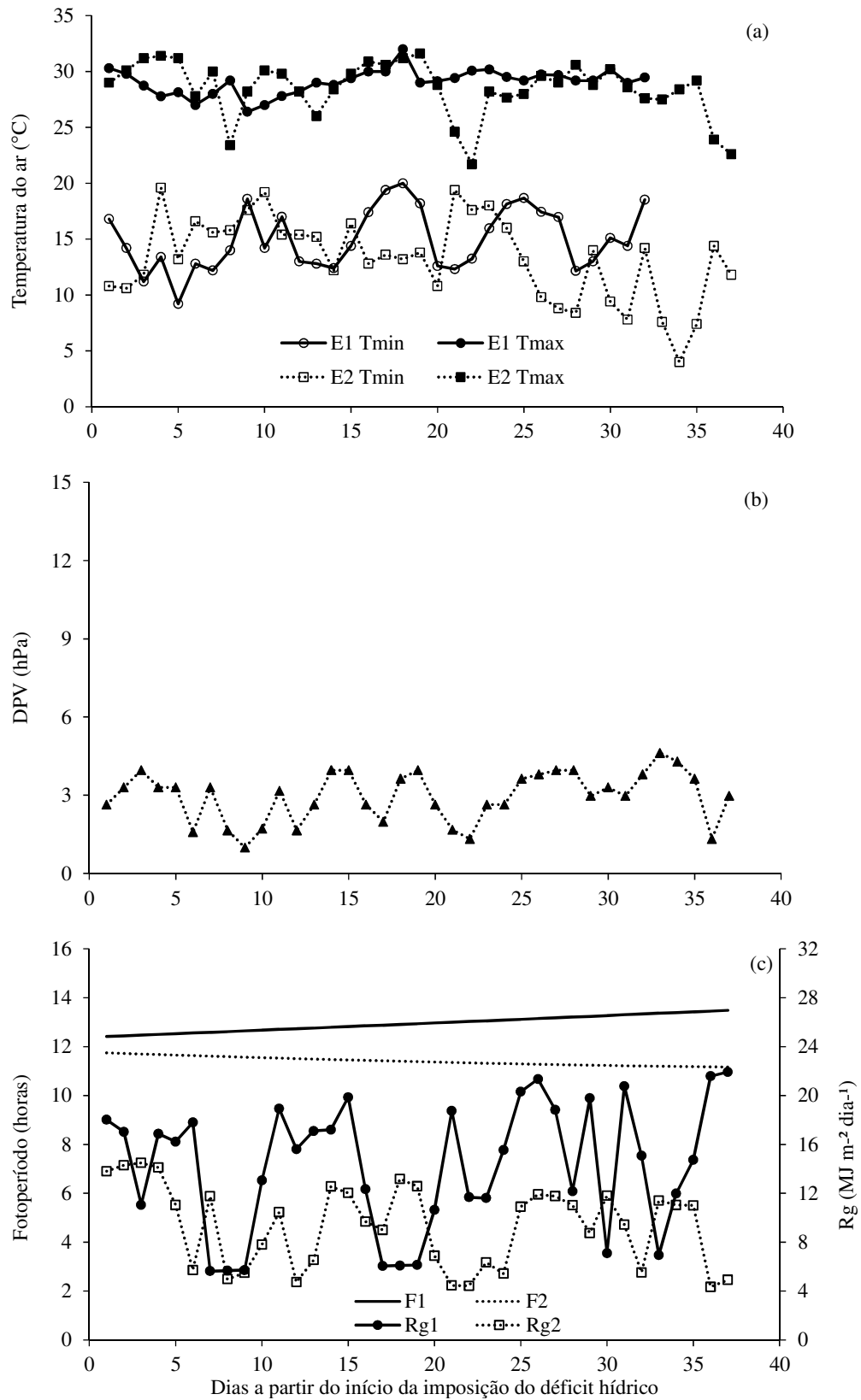


Figura 2 – Temperaturas mínima (Tmin) e máxima (Tmax) diária do ar (a) durante os dois experimentos (E1 e E2), déficit de pressão de vapor do ar (DPV) diário às 15 horas (b) durante o segundo experimento (E2) e fotoperíodo (F) e radiação solar global (Rg) (c) no período dos dois experimentos (E1 e E2) com a cultura da batata. Santa Maria, RS, 2010-2011.

Tabela 3 – Número de repetições utilizadas para os tratamentos sem déficit hídrico (T1) e com déficit hídrico (T2) de cada genótipo nos dois experimentos (E1 e E2) com a cultura da batata. Santa Maria, RS, 2010-2011.

Genótipo	E1		E2	
	T1	T2	T1	T2
SMINIA 02106-11	10	10	2	3
SMINIA 00017-6	10	10	9	8
SMINIA 793101-3	10	10	10	10
Asterix	10	10	7	4

Foram utilizadas plantas homogêneas para os dois experimentos, o que é confirmado pela diferença não significativa entre os clones em cada experimento da biomassa seca inicial (Tabela 4), sendo que cada valor foi obtido de três plantas de cada clone no momento da imposição do déficit hídrico. Não houve interação significativa entre clones e tratamentos para as variáveis de biomassa seca. A biomassa seca total não diferiu entre os clones nos dois experimentos, mas o tratamento de deficiência hídrica teve efeito sobre essa variável, pois a deficiência hídrica fez com que as plantas em déficit hídrico realizassem menos fotossíntese e produzisse menos fotoassimilados e, conseqüentemente, menos massa seca total, o mesmo ocorreu com a biomassa seca da parte aérea. Porém, a variável biomassa seca de raízes não diferiu entre tratamentos e entre clones, e apenas foi menor na cultivar Asterix no E2, indicando que não houve investimento no compartimento raízes como mecanismo de defesa contra o déficit hídrico, como ocorre em muitas espécies (SANTOS; CARLESSO, 1998). É possível que o curto período de deficiência hídrica tenha sido insuficiente para a planta translocar mais fotoassimilados para o crescimento radicular, pois no E2, que foi mais longo que o E1, houve um pequeno, não significativo, aumento de massa seca de raízes (Tabela 4).

No E1, ocorreu florescimento em todas as plantas e praticamente não ocorreu tuberização, certamente devido ao encurtamento do fotoperíodo ao longo do experimento (Figura 2), reforçando a hipótese da cultura da batata ser uma planta de dia longo para início do florescimento (HELDWEIN et al., 2009). No entanto, no E2 houve florescimento em apenas seis plantas e ocorreu tuberização em todas, resultado do decréscimo do fotoperíodo ao longo do experimento, concordando com Streck et al. (2007), de que condições de fotoperíodo mais curto ou diminuição do fotoperíodo ao longo do desenvolvimento vegetativo favorecem o início da tuberização, reforçando que a cultura da batata é uma planta de dia curto para o início da tuberização. A biomassa seca de tubérculos foi maior no tratamento sem

déficit e variou entre os clones, sendo menor no clone SMINIA 02106-11 e na cultivar Asterix (Tabela 4).

A estatura média e o número médio de folhas antes da imposição da deficiência hídrica não diferiram entre tratamentos como esperado, devido à seleção inicial de plantas homogêneas e não ter havido tempo suficiente para as plantas não estressadas desenvolverem-se o suficiente de modo a diferenciarem-se daquelas estressadas (Tabela 5). As plantas do clone SMINIA 02106-11 apresentaram estatura média inicial e final menores que as dos outros clones nos dois experimentos (Tabela 5). A estatura média final das plantas diferiu entre os tratamentos, sendo significativamente menor no tratamento com déficit hídrico. O clone SMINIA 02106-11 apresentou os menores valores de estatura nos dois experimentos.

O número final de folhas não diferiu significativamente entre tratamentos e entre clones para um mesmo experimento, concordando com Lago (2011), que verificou não haver diferença no número final de folhas entre dois clones de batata sob déficit hídrico e sem déficit hídrico e entre clones numa mesma época de cultivo.

Tabela 4 – Biomassa seca total inicial e final, radicular, de tubérculos e aérea no final do período de imposição do déficit hídrico para os clones de batata SMINIA 02106-11, SMINIA 00017-6, SMINIA 793101-3 e Asterix, submetidos aos tratamentos sem déficit (T1) e com déficit hídrico (T2) a partir de cerca de 10 folhas, cultivados em casa de vegetação em vaso em dois experimentos, com início da aplicação do déficit hídrico em 05/09/2010 (E1) e 03/05/2011 (E2). Santa Maria, RS, 2010-2011.

Genótipo	E1			E2		
	T1	T2	Média	T1	T2	Média
-----Biomassa seca total inicial (g planta ⁻¹)-----						
SMINIA 02106-11			2,7 A*			1,3 A
SMINIA 00017-6			1,9 A			1,0 A
SMINIA 793101-3			2,0 A			1,5 A
Asterix			2,4 A			1,0 A
Média			2,3			1,2
CV (%)			48			48
-----Biomassa seca total final (g planta ⁻¹)-----						
SMINIA 02106-11	21,1	12,7	16,9 A	13,9	12,0	12,5 A
SMINIA 00017-6	17,6	13,4	15,5 A	20,9	13,0	17,2 A
SMINIA 793101-3	18,1	12,7	15,4 A	16,3	13,6	15,0 A
Asterix	19,6	12,7	16,2 A	13,8	11,6	13,1 A
Média	19,1 a	12,9 b		16,9 a	12,9 b	
CV (%)			23			33
-----Biomassa seca radicular final (g planta ⁻¹)-----						
SMINIA 02106-11	5,7	4,7	5,2 A	1,3	1,4	1,3 A
SMINIA 00017-6	4,8	4,6	4,7 A	1,6	1,4	1,5 A
SMINIA 793101-3	5,1	5,1	5,1 A	1,1	1,4	1,3 A
Asterix	6,5	5,7	6,1 A	0,6	1,0	0,7 B
Média	5,5 a	5,0 a		1,1 a	1,3 a	
CV (%)			39			32
-----Biomassa seca de tubérculos final (g planta ⁻¹)-----						
SMINIA 02106-11				2,2	4,8	4,2 B
SMINIA 00017-6				11,0	6,9	9,1 A
SMINIA 793101-3				9,9	7,5	8,8 A
Asterix				7,5	6,0	7,0 AB
Média				9,3 a	6,8 b	
CV (%)						43
-----Biomassa seca aérea final (g planta ⁻¹)-----						
SMINIA 02106-11	15,5	8,0	11,7 A	10,4	5,9	7,0 A
SMINIA 00017-6	12,7	8,8	10,8 A	8,2	4,7	6,6 A
SMINIA 793101-3	13,0	7,6	10,3 A	5,2	4,6	4,9 A
Asterix	13,1	7,1	10,1 A	5,8	4,6	5,4 A
Média	13,6 a	7,9 b		6,4 a	4,8 b	
CV (%)			21			44

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro. CV= coeficiente de variação.

Tabela 5 – Estatura média de plantas inicial e final e número médio de folhas inicial e final na haste principal dos clones de batata SMINIA 02106-11, SMINIA 00017-6, SMINIA 793101-3 e Asterix, submetidos aos tratamentos sem déficit (T1) e com déficit hídrico (T2) a partir de cerca de 10 folhas, cultivados em casa de vegetação em vaso em dois experimentos, com início da aplicação do déficit hídrico em 05/09/2010 (E1) e 03/05/2011 (E2). Santa Maria, RS, 2010-2011.

Genótipo	E1			E2		
	T1	T2	Média	T1	T2	Média
-----Estatura média inicial (cm)-----						
SMINIA 02106-11	8,9	9,6	9,3 B*	4,6	8,0	6,3 B
SMINIA 00017-6	15,7	13,3	14,5 A	11,6	12,2	11,9 A
SMINIA 793101-3	17,0	17,1	17,1 A	12,4	14,4	13,4 A
Asterix	15,8	14,7	15,3 A	12,5	12,2	12,4 A
Média	14,6 a	13,7 a		10,3 a	11,7 a	
CV (%)			38			30
-----Estatura média final (cm)-----						
SMINIA 02106-11	30,8	22,3	26,5 C	20,0	25,5	22,7 B
SMINIA 00017-6	48,3	38,3	43,3 AB	39,5	36,8	38,2 A
SMINIA 793101-3	48,2	40,3	44,3 A	32,1	34,1	33,1 AB
Asterix	44,8	34,1	39,5 B	43,6	43,4	43,5 A
Média	43,0 a	33,8 b		33,8 a	34,9 a	
CV (%)			14			30
-----Número médio de folhas inicial-----						
SMINIA 02106-11	10,4	10,0	10,2 A	10,0	10,3	10,1 A
SMINIA 00017-6	9,8	9,8	9,8 A	10,0	10,4	10,2 A
SMINIA 793101-3	9,7	10,7	10,2 A	10,7	11,3	11,0 A
Asterix	9,7	9,8	9,7 A	9,2	10,0	9,6 A
Média	9,9 a	10,1 a		10,1 a	10,7 a	
CV (%)			11			12
-----Número médio de folhas final-----						
SMINIA 02106-11	16,6	16,5	16,5 A	15,5	16,3	15,9 A
SMINIA 00017-6	17,0	15,7	16,3 A	16,0	16,7	16,3 A
SMINIA 793101-3	16,4	16,5	16,45 A	15,4	16,1	15,7 A
Asterix	18,2	17,2	17,7 A	16,2	18,2	17,2 A
Média	17,0 a	16,5 a		15,8 a	16,8 a	
CV (%)			12			13

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro. CV= coeficiente de variação.

Na Tabela 6 estão os resultados de transpiração e coeficiente de transpiração, para os quais não houve efeito significativo da interação clones x regimes hídricos. As plantas em déficit hídrico apresentaram menor transpiração e coeficiente de transpiração do que as plantas sem déficit hídrico e não houve diferença significativa entre clones. A transpiração total média encontrada nesse trabalho foi superior aos 2601 e 1461 g planta⁻¹ encontrados por Lago (2011) para T1 e T2, respectivamente, e isto se deu devido ao período do experimento ter sido maior, graças ao menor déficit de saturação de vapor do ar, muito inferior no atual trabalho em relação àquele no abrigo telado onde os experimentos foram realizados por Lago (2011).

Tabela 6 – Transpiração total média e coeficiente de transpiração dos clones de batata SMINIA 02106-11, SMINIA 00017-6, SMINIA 793101-3 e Asterix, submetidos aos tratamentos sem déficit (T1) e com déficit hídrico (T2) a partir de cerca de 10 folhas, cultivados em casa de vegetação em vaso em dois experimentos, com início da aplicação do déficit hídrico em 05/09/2010 (E1) e 03/05/2011 (E2). Santa Maria, RS, 2010-2011.

Genótipo	E1			E2		
	T1	T2	Média	T1	T2	Média
	-----Transpiração (g planta ⁻¹)-----					
SMINIA 02106-11	3678	1774	2726 A*	2732	1968	2350 A
SMINIA 00017-6	2942	1769	2356 A	3467	1901	2684 A
SMINIA 793101-3	3128	1747	2438 A	2677	1909	2293 A
Asterix	3614	1752	2683A	2657	1864	2262 A
Média	3341 a	1761 b		2883 a	1911 b	
CV (%)			18			28
	-----Coeficiente de transpiração (L kg ⁻¹ massa seca)-----					
SMINIA 02106-11	204	194	199 A	215	182	199 A
SMINIA 00017-6	197	162	180 A	174	161	168 A
SMINIA 793101-3	195	165	180 A	178	155	167 A
Asterix	215	179	197 A	174	179	177 A
Média	203 a	175 b		186 a	164 b	
CV (%)			18			16

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro. CV= coeficiente de variação.

A relação da TR com a FATS para os quatro clones de batata nos dois experimentos estão representados na Figura 3. A variabilidade dos dados é elevada, principalmente na faixa de FATS entre 0,6 e 1,0, comum em experimentos que usam esta metodologia com outras culturas (RAY; SINCLAIR, 1997; SINCLAIR et al., 2005; WAHBI; SINCLAIR, 2007; MARTINS et al., 2008). Conforme Lago et al. (2011), quanto menor a temperatura do ar, a radiação solar e o DPV, maior é a variabilidade dos dados. Anteriormente, Sinclair e Ludlow (1986) também verificaram maior variabilidade quando a transpiração é menor. Apesar da variabilidade na Figura 2, é evidente a resposta da TR à FATS nos diferentes clones e experimentos. À medida que diminui a FATS, a TR varia em torno do valor máximo, e, a partir de um valor limite ou crítico (FATS crítica), a TR inicia a redução, iniciando o fechamento estomático (SINCLAIR; LUDLOW, 1986), um dos principais mecanismos de defesa que a planta usa para se adequar ao déficit hídrico no solo (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Para a variável FATS crítica (Tabela 7), houve efeito significativo da interação clone x época. No experimento de primavera (E1), a FATS crítica foi maior do que no experimento de outono (E2) em todos os clones, sem diferença significativa para a cultivar Asterix. Estes resultados são similares aos encontrados por Lago (2011) com a cultivar Macaca e o clone avançado SMINIA 793101-3.

A principal hipótese para a menor FATS crítica no experimento de outono é a baixa disponibilidade da radiação solar incidente nesta época do ano em regiões subtropicais como Santa Maria (HELDWIEN et al., 2009; LAGO, 2011), resultando em menor transpiração potencial. A maior disponibilidade de radiação solar em Santa Maria na primavera comparada ao outono pode causar um DPV um pouco maior, especialmente no turno da manhã.

No E1, a menor FATS crítica foi em Asterix e SMINIA 02106-11 (0,29 e 0,36) e a maior foi em SMINIA 00017-6 e SMINIA 793101-3 (0,38 e 0,41) e no E2 não houve diferença de FATS crítica entre os quatro genótipos (média de 0,24). Os valores de FATS crítica, quando a TR começa a ser reduzida, obtida nesse estudo apresentaram uma variação de 0,21 a 0,41, e estão dentro da faixa de valores encontrados em outros trabalhos com a cultura da batata como em Weisz et al. (1994) de 0,20 e 0,35 para as cultivares BelRus e Katahdin, respectivamente, e em Lago (2011) de 0,28 a 0,49 para a cultivar Macaca e para o clone avançado SMINIA793101-3, respectivamente.

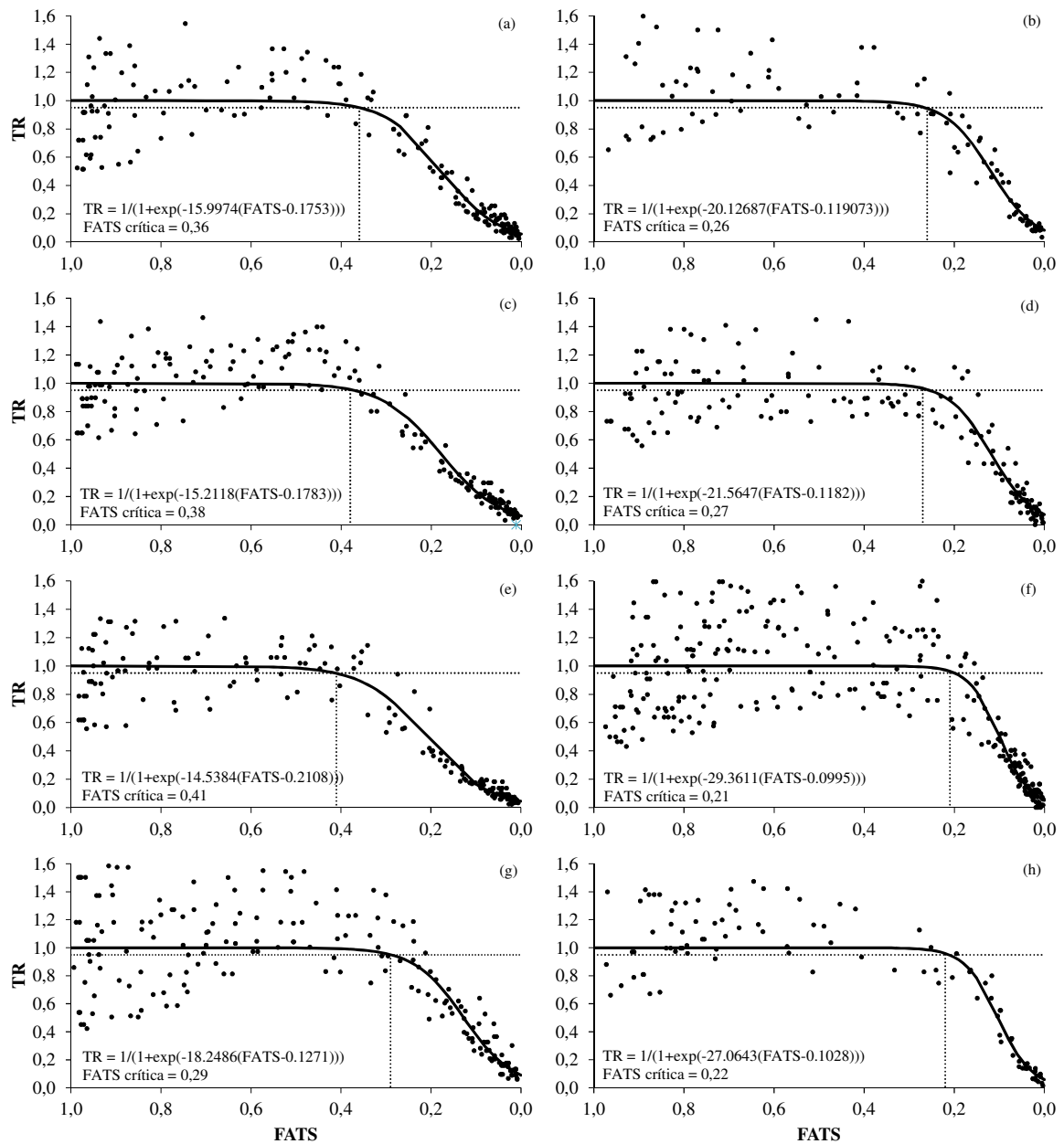


Figura 3 – Transpiração relativa normalizada (TR) em função da fração de água transpirável no solo (FATS) para os clones de batata SMINIA 02106-11 (a, b), SMINIA 00017-6 (c, d), SMINIA 793101-3 (e, f) e Asterix (g, h) cultivados em casa de vegetação em experimentos com início da aplicação do déficit hídrico em 05/09/2010 - E1 (a, c, e, g) e 03/05/2011 - E2 (b, d, f, h). Santa Maria, RS, 2010-2011. FATS crítica: fração de água transpirável no solo quando inicia a redução da transpiração das plantas devido ao início do fechamento estomático.

Tabela 7 – Fração de água transpirável no solo em que inicia o fechamento estomático (FATS crítica) para transpiração relativa (TR) e para o crescimento foliar relativo (CFR) dos clones de batata SMINIA 02106-11, SMINIA 00017-6, SMINIA 793101-3 e Asterix, submetidos aos tratamentos sem déficit (T1) e com déficit hídrico (T2) a partir de cerca de 10 folhas, cultivados em casa de vegetação em vaso em dois experimentos, com início da aplicação do déficit hídrico em 05/09/2010 (E1) e 03/05/2011 (E2). Santa Maria, RS, 2010-2011.

Genótipo	E1	E2	Média
-----FATS crítica para TR-----			
SMINIA 02106-11	0,36 AB a*	0,26 A b	0,31
SMINIA 00017-6	0,38 A a	0,27 A b	0,32
SMINIA 793101-3	0,41 A a	0,21 A b	0,31
Asterix	0,29 B a	0,22 A a	0,25
Média	0,36	0,24	
CV (%)			19
-----FATS crítica para CFR-----			
SMINIA 02106-11	0,44	0,27	0,36
SMINIA 00017-6	0,40	0,38	0,39
SMINIA 793101-3	0,46	0,29	0,38
Asterix	0,47	0,26	0,37
Média	0,44	0,30	

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro. CV= coeficiente de variação.

Na Figura 4 a variabilidade dos dados é maior que na Figura 3. Isto se deve ao fato da estimativa do crescimento foliar ser feito apenas em um folíolo de cada folha das plantas. Alguns folíolos não foram avaliados desde o início do experimento por apresentar o limbo contínuo com o folíolo seguinte, impedindo sua medição e outros foram excluídos por sofrerem danos mecânicos durante as avaliações. Isso fez com que, ao calcular o CFR aumentasse a variabilidade, apesar das equações para estimar a área foliar das plantas apresentar um r^2_a bastante elevado (Tabela 2). Além disso, não foi possível realizar a análise estatística para a FATS crítica para o CFR por esse mesmo motivo. O valor da FATS crítica para o CFR foi encontrado a partir dos dados de todas as plantas juntas, assim como realizado por Sinclair (1986), que não realizou análise estatística, já o valor da FATS crítica para o TR, que foi determinado para cada planta, sendo cada planta uma repetição para poder ser realizada a análise estatística pelo teste de Tukey (LAGO, 2011).

A resposta do CFR à FATS (Tabela 7) seguiu a mesma tendência que a TR, sendo a FATS crítica mais elevada no E2 do que no E1, tanto para a transpiração como para o

crescimento foliar. Os resultados variaram entre 0,47 e 0,26, próximo a faixa encontrada por Lago (2011), entre 0,49 a 0,29, e abaixo dos 0,6 encontrados por Weisz (1994), que testou clones adaptados a ambiente temperado. O CFR começa a reduzir antes que a TR para todos os clones, nos dois experimentos. Isto indica que o crescimento foliar é mais sensível ao déficit hídrico do que a transpiração, pois pode ter ocorrido diminuição da turgescência celular antes do mecanismo de fechamento estomático ser ativado, levando assim a uma redução na divisão e expansão celular e, conseqüente, redução do crescimento foliar (TAIZ; ZEIGER, 2009).

No E1 os valores de FATS crítica para o CFR foi similar entre os clones, variando de 0.40 a 0.47. Já no E2, o clone SMINIA 00017-6 apresentou uma FATS crítica de 0,38, mais elevada que os demais clones, SMINIA 793101-3, SMINIA 02106-11 e Asterix, com 0,29, 0,27 e 0,26, respectivamente. Assim, no E2 o clone SMINIA 00017-6 teve um CFR menor que os demais clones com uma FATS maior, e este artifício da planta faz com que ela conserve mais água no solo, visto que uma menor área foliar apresenta uma transpiração menor. Porém esta redução da área foliar, que é a primeira linha de defesa da planta contra o déficit hídrico no solo (TAIZ; ZEIGUER, 2009), pode afetar a produtividade da cultura, pois um menor índice de área foliar resulta em menor área de interceptação de radiação e assimilação de CO₂ pela planta (MÜLLER et al., 2005).

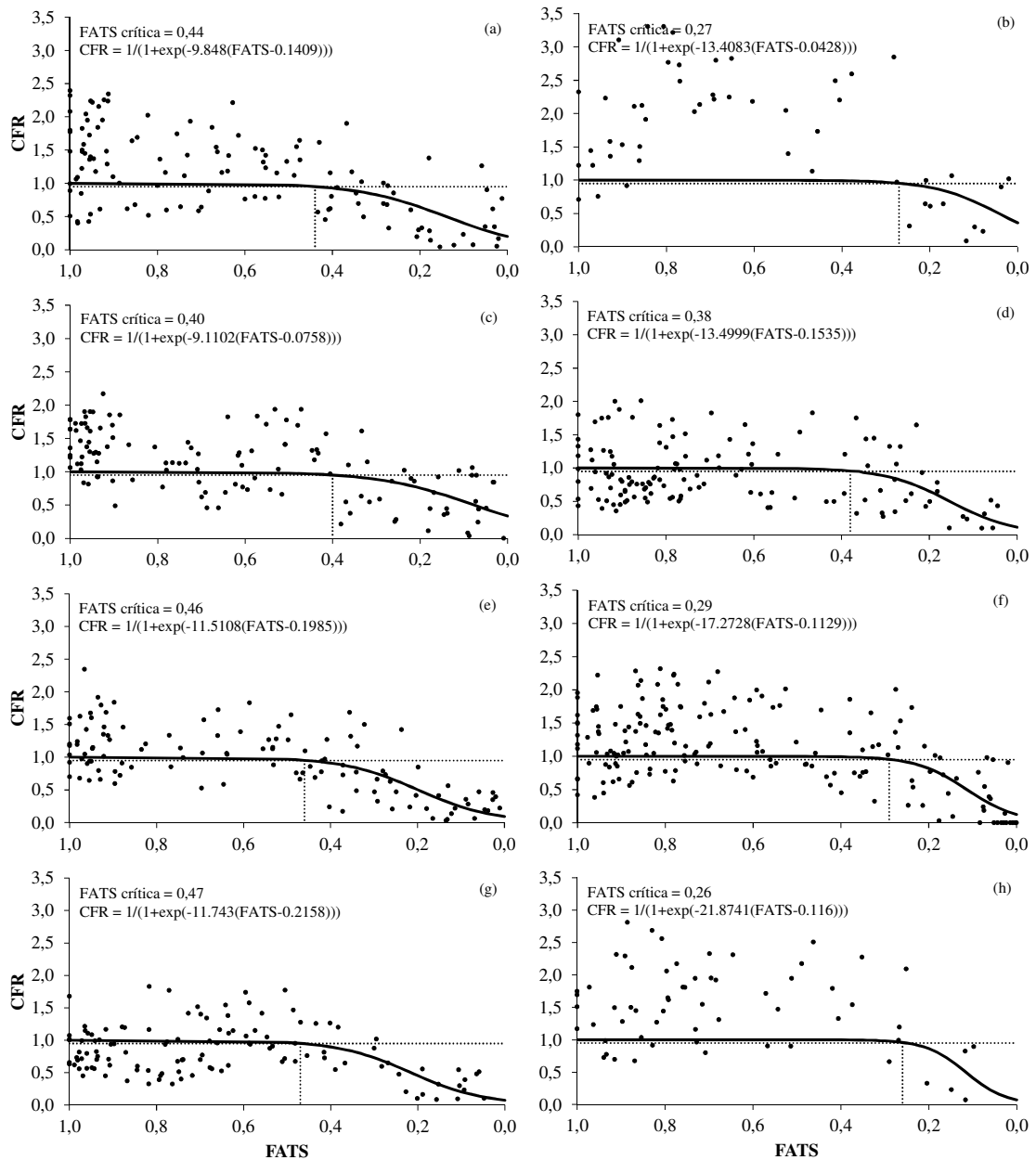


Figura 4 – Crescimento foliar relativo (CFR) em função da fração de água transpirável no solo (FATS) para os clones de batata SMINIA 02106-11 (a, b), SMINIA 00017-6 (c, d), SMINIA 793101-3 (e, f) e Asterix (g, h) cultivados em casa de vegetação em experimentos com início da aplicação do déficit hídrico em 05/09/2010 - E1 (a, c, e, g) e 03/05/2011 - E2 (b, d, f, h). Santa Maria, RS, 2010-2011. FATS crítica: fração de água transpirável no solo quando inicia a redução do crescimento foliar.

A tolerância ao déficit hídrico é um caráter genótipo-dependente. Em um trabalho que antecedeu este, Lago (2011) encontrou maior tolerância ao déficit hídrico no solo no clone SMINIA 793101-3 do PGMB, comparando com a cultivar Macaca, uma cultivar antiga, mas ainda bastante usada em cultivos convencionais no RS. A maior tolerância em relação a cultivar Macaca foi determinada pela maior FATS crítica do clone, indicando que o fechamento estomático ocorre mais cedo e assim conserva mais água no solo. Ressalta-se que o presente trabalho é uma continuação do trabalho de Lago (2011), em que outros dois clones promissores do PGMB e a cultivar Asterix, bastante usada pelos bataticultores do Rio Grande do Sul, são comparados com o clone SMINIA 793101-3. Pelos resultados (Tabela 7), a cultivar Asterix é menos tolerante ao déficit hídrico, tal como observou Lago (2011) com a cultivar Macaca comparando com o clone SMINIA 793101-3, e os dois outros clones tem tolerância similar ao SMINIA 793101-3. Esses resultados indicam que três clones do PGMB têm genes que conferem tolerância ao déficit hídrico no solo. Estes clones são promissores por terem adaptação ao ambiente subtropical, boa qualidade de chips e são resistentes às principais doenças, e pelos resultados deste trabalho e do trabalho de Lago (2011) tem também tolerância ao déficit hídrico no solo.

As curvas de resposta da transpiração a FATS apresentadas na Figura 3 tem aplicação direta em modelos matemáticos de simulação da cultura da batata. Fagundes et al. (2010) calibraram tais modelos nas condições do Rio Grande do Sul, porém não foi levado em consideração o efeito do déficit hídrico, ou seja, foi considerado que a cultura era irrigada. O próximo passo, agora possível, é levar em consideração o efeito do déficit hídrico sobre a transpiração e incorporar este efeito em modelos de batata para as cultivares (Macaca e Asterix) e clones locais.

Estudos de tolerância ao déficit hídrico das culturas agrícolas devem continuar sendo realizados, visto que podem ser caracterizados genótipos mais tolerantes, diminuindo o risco na produção agrícola, que é uma atividade de alto risco. Ainda há espaço para estudos desta característica na cultura da batata, pois o PGMB já formou genótipos com maior tolerância ao déficit hídrico que os tradicionalmente utilizados e está constantemente produzindo novos genótipos.

Como a resposta da planta ao déficit hídrico varia com o DPV, em trabalhos futuros é sugerido buscar um ambiente com DPV elevado (>15 hPa), visto que em situações de estiagem, a campo, esta situação é a predominante.

5 CONCLUSÕES

- A FATS crítica que começa a afetar a transpiração, indicativo do início do fechamento estomático, é mais elevada para os clones ‘SMINIA793101-3’ e “SMINIA 00017-6” do que para a cultivar “Asterix” nas condições de primavera.
- A cultivar Asterix foi menos tolerante ao déficit hídrico no solo que os clones avançados “SMINIA 793101-3” e “SMINIA 00017-6” o cultivo de primavera
- No cultivo de outono os clones apresentaram resposta similar de redução da transpiração ao déficit hídrico.
- O Programa de Genética e Melhoramento de Batata da UFSM possui clones com tolerância ao déficit hídrico no solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMIR, J.; SINCLAIR, T.R. A model of water limitation on spring wheat growth and yield. **Field Crops Research**, v. 29, p. 59-96, 1991.

BINDI, M. et al. Influence of water deficit stress on leaf area development and transpiration of Sangiovese Grapevines grown in pots. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 56, p. 68-72, 2005.

BISOGNIN, D. A.; CENTENARO, R.; MISSIO, E. L. Uso do ácido giberélico na quebra de dormência e de dominância apical em batata. **Ciência Rural**, v. 28, p. 205-213, 1998.

BISOGNIN, D.A. **Recomendações técnicas para o cultivo da batata no Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Boletim técnico, Centro de Ciências Rurais. Gráfica Universitária – UFSM. Santa Maria. 1996. 64 p.

BOYER, J.S. Plant productivity and environment. **Science**, v. 218, p. 443-448, 1982.

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: Água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural**, v. 25, p. 183-188, 1995.

CARLESSO, R.; SANTOS, R.F. Disponibilidade de água às plantas de Milho em solos de diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 17-25, 1999.

CARLESSO, R.; ZIMMERMANN, L. F. **Água no solo**: parâmetros para dimensionamento de sistemas de irrigação. Santa Maria: UFSM- Departamento de Engenharia Rural, 2000. 88 p.

DOOREMBOS, J.; KASSAM, A., H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1977, 193 p. (Irrigation and Drainage, n. 33).

EPSTEIN, E., GRANT, W.J. Water stress relation of the potato plant under field conditions. **Agronomy Journal**. v. 65, p. 400-404, 1973.

FAGUNDES, J. D. Produtividade simulada de tubérculos de batata em cenários de mudanças climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.45, p.351-360, 2010.

FIGEZE, C. A batata no estado do Rio Grande do Sul. In: PEREIRA, S.A.; DANIELS, J. (Eds.). **O cultivo da batata na região sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p. 44-52.

FORTES, G.R.L.; PEREIRA, J.E.S. Classificação e Descrição Botânica. In: PEREIRA, S.A.; DANIELS, J. (Eds.). **O cultivo da batata na região sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p. 69-79.

HARRIS, P.M. **The potato crop**. The scientific basis for improvement. Department of Agriculture, University of Reading. London: Chapman & Hall, Second edition, 1992.

HSIAO, T.C. Growth and productivity of crops in relation to water status. **Acta Horticulturae**, n. 335 (Irrigation and Horticultural Crops), 1993.

HELDWEIN, A.B. et al. Batata. In: MONTEIRO, J.E.B.A. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. p. 281-293.

HSIAO, T.C.; ACEVEDO, E. Plant responses to water deficits, water-use efficiency, and drought resistance. **Agricultural Meteorology**, v. 14, p. 59-84, 1974.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em 12 de janeiro de 2012.

IERNA, A.; MAUROMICALE, G. Physiological and growth response to moderate water deficit of off-season potatoes in a Mediterranean environment. **Agricultural Water Management**, v. 82, p. 193-206, 2006.

JEFFERIES, R.A.; MACKERRON, D.K.L. Responses of potato genotypes to drought. II: Leaf area index, growth and yield. **Annals of Applied Biology**, v. 122, p. 105-112, 1993.

KINIRY, J. R. et al. Radiation-use efficiency response to vapor pressure deficit for maize and sorghum. **Field Crops Research**, v. 56, p. 265–270, Apr. 1998.

LAGO, I. **Transpiração e crescimento foliar de clones de batata e de mandioca em resposta à fração de água transpirável no solo**. 92 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria Santa Maria, 2011.

LAGO, I.; STRECK, N. A.; BISOGNIN, D. A.; SOUZA, A. T.; DA SILVA, M.R. Transpiração e crescimento foliar de plantas de mandioca em resposta ao deficit hídrico no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1415-1423, 2011.

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

LIU, F. et al. Physiological responses of potato (*Solanum tuberosum* L.) to partial root-zone drying: ABA signalling, leaf gas exchange, and water use efficiency. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, p. 3727–3735, 2006.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa: UFV, 2005. 451 p.

MARTINS, F.B. et al. Deficiência hídrica no solo e seu efeito sobre transpiração, crescimento e desenvolvimento de mudas de duas espécies de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1297-1306, 2008.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 46 p.

MUCHOW, R.C.; SINCLAIR, T.R. Water deficits effects on maize yields modeled under current and “greenhouse” climates. **Agronomy Journal**, v. 83, p. 1052-1059, 1991.

MÜLLER, A. G. et al. Estimativa do índice de área foliar do milho a partir da soma de graus-dia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, p. 65-71, 2005.

MÜLLER, D. R. ; Bisognin, Dilson Antonio ; Morin, Glademir Roque ; Gnocato, Francisco Saccol . Dormência e dominância apical de diferentes tamanhos de tubérculos de batata. **Ciência Rural**, v. 40, p. 2454-2459, 2010.

OJALA, J.C. et al. Influence of and nitrogen management on potato yield and quality. **American Potato Journal**, v. 67, p. 29-43, 1990.

PEREIRA, A. da S. Melhoramento Genético. In: PEREIRA, S. A.; DANIELS, J. (Eds.). **O cultivo da batata na região sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p. 105-124.

PEREIRA, A. B.; SHOCK, C.C. **Development of irrigation best management practices for potato from a research perspective in the United States**. Sakia.org e-publish, v. 1, p. 1-20, 2006.

PETRY, M. T. **Interação solo-planta e disponibilidade de água no solo às plantas de sorgo e soja**. 2000. 127 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

PORTER, G.A. et al. Soil management and supplemental irrigation effects on potato: I. Soil properties, tuber yield, and quality. **Agronomy Journal**, v. 91, p. 416–425, 1999.

RAY, J.D.; SINCLAIR, T.R. Stomatal conductance of maize hybrids in response to drying soil. **Crop Science**, v. 37, p. 803-807, 1997.

REICHARDT, K. **A água em Sistemas Agrícolas**. São Paulo: Editora Manole, 1986. 188 p.

RITCHIE, J. T. Soil water availability. **Plant and Soil**, v. 58, p. 327-338, 1981a.

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

SBCS/CQFS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO / COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10° ed. Porto Alegre, 2004. 394 p.

SENTELHAS, P.C.; MONTEIRO, J.E.B.A. Agrometeorologia dos cultivos. In: MONTEIRO, J.E.B.A. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. p. 281-293.

SILVA, W. et al. Índice de consumo e eficiência do uso da água em eucalipto, submetido a diferentes teores de água em convivência com a braquiária. **Floresta**, v. 34, p. 325-335, 2004.

SINCLAIR, T.R. Water and nitrogen limitations in soybean grain production I. Model Development. **Field Crops Research**, v. 15, p. 125-141, 1986.

SINCLAIR, T.R. et al. Daily transpiration rates of woody species on drying soil. **Tree physiology**, v. 25, p. 1469-1472, 2005.

SINCLAIR, T.R.; LUDLOW, M.M. Influence of soil water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes. **Australian Journal Plant Physiology**, v. 13, p. 319-340, 1986.

SOUZA, da S.S. Ecofisiologia. In: PEREIRA, S.A.; DANIELS, J. (Eds). **O cultivo da batata na região sul do Brasil**. Embrapa, 2003. p. 80-104.

STRECK, E.V., **Solos do Rio Grande do Sul**. 2°. Ed. EMATER/RS, Porto Alegre. 2008.

STRECK, N. A. et al. Simulating the development of field grown potato (*Solanum tuberosum* L.). **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 142, p. 1-11, 2007.

STRECK, N.A. Do we know how plants sense a drying soil? **Ciência Rural**, v. 34, p. 581-584, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.

Van der ZAAG, D.E. **Potatoes and their cultivations in the Netherlands**. Netherlands: The Netherlands Potato Consultative Institute, 1992 (Directorate for Agricultural Research Wageningen).

Van LOON, C.D. The effect of water stress on potato growth development and yield. **American Potato Journal**, v. 58, p. 51-69, 1981.

WAHBI, A.; SINCLAIR, T. R. Transpiration response of Arabidopsis, maize, and soybean to drying of artificial and mineral soil. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 59, n. 2, p. 188-192, Mar. 2007.

WEISZ, R. et al. Water deficit effects on potato leaf growth and transpiration: utilizing fraction extractable soil water for comparison with other crops. **American Potato Journal**, v. 71, p. 829-840, 1994.

WONG, S.C. et al. Leaf conductance in relation to rate of CO₂ assimilation. III. Influence of water stress and photoinhibition. **Plant Physiology**, v. 78, p. 830-834, 1985.