

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

**DENSIDADE DE PLANTIO E PODA DA PARTE AÉREA
NA PARTIÇÃO DE MASSA SECA DE PLANTAS
DE BATATA EM HIDROPONIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Jacso Dellai

**Santa Maria, RS, Brasil
2007**

**DENSIDADE DE PLANTIO E PODA DA PARTE AÉREA
NA PARTIÇÃO DE MASSA SECA DE PLANTAS
DE BATATA EM HIDROPONIA**

por

Jacso Dellai

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia.**

Orientador: Prof. Dilson Antônio Bisognin, Ph.D.

Santa Maria, RS, Brasil

2007

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

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

**DENSIDADE DE PLANTIO E PODA DA PARTE AÉREA
NA PARTIÇÃO DE MASSA SECA DE PLANTAS
DE BATATA EM HIDROPONIA**

elaborada por
Jacso Dellai

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Dilson Antônio Bisognin, Ph.D.
(Presidente/Orientador)

Jerônimo Luiz Andriolo, Dr. (UFSM)

Carlos Rogério Mauch, Dr. (UFPEl)

Santa Maria, 02 de março de 2007.

A Deus, aos meus pais Jaime Dellai e Enoemia
de Arruda Dellai, ao meu irmão Alex Dellai e a
minha namorada Fabiana Garafini,

Dedico...

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e pelo apoio e coragem nos momentos difíceis.

Aos meus pais Jaime Dellai e Enoemia de Arruda Dellai, meus primeiros mestres ao me ensinarem os valores da vida, pelo amor e apoio incondicional em todos os momentos.

A minha namorada Fabiana Garafini, pelo amor, carinho e compreensão em todos os momentos.

Ao professor Dilson Antônio Bisognin, pela orientação, confiança e amizade, além da essencial contribuição para minha formação intelectual e científica.

Ao professor Jerônimo Luiz Andriolo, pela co-orientação, amizade e pela colaboração fundamental no desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Nereu Augusto Streck, pela co-orientação, amizade e incentivo na iniciação científica.

Aos demais professores do Departamento de Fitotecnia, pela atenção e amizade.

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

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

A todos os colegas e amigos do Departamento de Fitotecnia, em especial aos bolsistas dos setores de Genética e Melhoramento de Batata e de Agrometeorologia, pelo apoio, convívio e amizade.

Obrigado !

RESUMO

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

DENSIDADE DE PLANTIO E PODA DA PARTE AÉREA NA PARTIÇÃO DE MASSA SECA DE PLANTAS DE BATATA EM HIDROPONIA

AUTOR: Jacso Dellai
ORIENTADOR: Dilson Antônio Bisognin
Local e data da Defesa: Santa Maria, 02 de março de 2007

O sistema hidropônico mostra-se como um importante avanço no processo de produção de tubérculos-semente de batata. Existe carência de informações a respeito das técnicas de manejo a serem adotadas no cultivo hidropônico de batata, principalmente por se tratar de uma técnica recente. Dentre os problemas apresentados por esse sistema, destaca-se o excessivo crescimento da parte aérea das plantas, o que afeta a eficiência do processo de multiplicação de tubérculos. A densidade de plantio e a poda da parte aérea interferem no equilíbrio entre o crescimento dos compartimentos vegetativo e generativo, modificando a distribuição dos assimilados na planta. O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da densidade de plantio e da poda da parte aérea sobre a partição de massa seca de plantas de batata cultivadas em hidroponia, visando reduzir o crescimento da parte aérea e aumentar a translocação de massa seca para os tubérculos. Foi conduzido um experimento para estudar o efeito da densidade de plantio no crescimento e na partição de massa seca de plantas de batata durante a primavera de 2004. As densidades de plantio utilizadas foram 25, 44, 100 e 400 covas.m⁻². Foi conduzido outro experimento para estudar o efeito de restrições no crescimento da área foliar, através da poda verde, na partição de massa seca no outono e primavera de 2005. Os tratamentos foram a poda da parte aérea sempre que as plantas atingiam a altura de 10, 20 e 30 cm e a testemunha sem poda. A densidade de plantio e a poda verde alteraram a partição de massa seca de plantas de batata cultivadas em hidroponia. O crescimento das plantas e a fração tubérculos atingiram a saturação a partir da densidade de 100 covas.m⁻², a qual pode ser empregada para a produção de batata em sistema hidropônico. O incremento da densidade de plantio aumenta o número de tubérculos sem afetar a produção de massa seca de tubérculos. A poda verde a 30 cm de altura pode ser empregada para restringir o crescimento da parte aérea de plantas de batata cultivadas em hidroponia, porém com uma pequena redução de produtividade no cultivo de primavera.

Palavras-chave: *Solanum tuberosum* L., produção de assimilados, área foliar, redução da parte aérea.

ABSTRACT

Master's Thesis
Graduation Program of Agronomy
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brazil

PLANT DENSITY AND PRUNING IN THE DRY MATTER PARTITIONING OF HYDROPONICALLY CULTIVATED POTATO

AUTHOR: Jacso Dellai
ADVISOR: Dilson Antônio Bisognin
Location and date of presentation: Santa Maria, March 02nd, 2007

Hydroponic system is an important improvement of the potato production process of tuber seeds. There is not enough information about management techniques of hydroponically cultivated potato. A main problem of this production system is the excessive shoot growth, which results in a low propagation rate. Planting density and pruning may change the relationship between shoot and tuber growth, affecting dry matter partitioning. The objective of this work was to study the effect of planting density and pruning in the dry matter partitioning of hydroponically cultivated potato plants to reduce shoot growth and increase tuber dry matter accumulation. One experiment was carried out to study the effect of planting density in the growth and dry matter partitioning of potato plants during spring 2004. Planting densities of 25, 44, 100 and 400 hills.m⁻² were evaluated. Another experiment was carried out to study the effect of leaf area restriction with pruning in the dry matter partitioning during fall and spring 2005 growing seasons. The treatments were pruning aerial parts of plants at 10, 20, and 30 cm height and control (with no pruning). Planting density and pruning affected dry matter partitioning of hydroponically cultivated potato plants. Planting density of 100 hills.m⁻² results in the highest plant growth and tuber fraction production. This density should be used to the production of potato in hydroponic system. Increasing hill density improves tuber number yield without reducing tuber dry matter production. Pruning plants at 30 cm high is a management practice that can be used to restrict shoot growth of potato plants grown hydroponically, with small yield reduction during spring.

Key words: *Solanum tuberosum* L., assimilate production, leaf area, shoot reduction.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

FIGURA 1 – Índice de área foliar de plantas de batata cultivadas em diferentes densidades em hidroponia. Santa Maria, RS, 2004	26
FIGURA 2 – Produção de massa seca (g.m^{-2}) total, vegetativa e dos tubérculos de plantas de batata cultivadas em diferentes densidades em hidroponia. Santa Maria, RS, 2004	27
FIGURA 3 – Fração tubérculos de plantas de batata cultivadas em diferentes densidades em hidroponia. Santa Maria, RS, 2004	28
FIGURA 4 - Massa seca (MS) média de tubérculos e número de tubérculos por metro quadrado de plantas de batata cultivadas em diferentes densidades em hidroponia. Santa Maria, RS, 2004	29

CAPÍTULO II

FIGURA 1 – Valores diários de temperatura média do ar externa e da radiação solar incidente interna nos cultivos de outono (a) e primavera (b). Santa Maria, RS, 2005	42
FIGURA 2 – Produção de massa seca (g.m^{-2}) total, dos tubérculos e vegetativa de plantas de batata das cultivares Macaca e Asterix cultivadas em hidroponia com diferentes índices de área foliar. Santa Maria, RS, 2005	43
FIGURA 3 – Fração tubérculos de plantas de batata das cultivares Macaca e Asterix cultivadas em hidroponia com diferentes índices de área foliar. Santa Maria, RS, 2005	44
FIGURA 4 – Massa seca (MS) média de tubérculos e número de tubérculos por metro quadrado de plantas de batata das cultivares Macaca e Asterix cultivadas em hidroponia com diferentes índices de área foliar. Santa Maria, RS, 2005.....	45
FIGURA 5 – Eficiência de uso de radiação (RUE) para a produção de massa seca total e de tubérculos de plantas de batata das cultivares Macaca e Asterix cultivadas em hidroponia com diferentes índices de área foliar. Santa Maria, RS, 2005	46

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

TABELA 1 – Número de hastes por planta, porcentagem de sobrevivência e comprimento da haste principal (cm) de plantas de batata cultivadas em hidroponia. Santa Maria, RS, 2004	25
---	----

CAPÍTULO II

TABELA 1 – Índice de área foliar (IAF) e massa seca (MS) retirada da parte aérea de plantas de batata das cultivares Macaca e Asterix cultivadas em hidroponia, submetidas a diferentes níveis de poda da parte aérea em duas épocas de cultivo. Santa Maria, RS, 2005	37
--	----

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – Modelos utilizados no Capítulo I	54
APÊNDICE B – Graus de liberdade (GL) e quadrado médio (QM) do quadro de análise da variância para as variáveis índice de área foliar (IAF) e massa seca (MS) retirada da parte aérea de plantas de batata das cultivares Macaca e Asterix cultivadas em hidroponia, submetidas a diferentes níveis de poda verde da parte aérea em duas épocas de cultivo. Santa Maria, RS, 2005.....	55
APÊNDICE C – Modelos utilizados no Capítulo II.....	56

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3. CAPÍTULO I - Partição de massa seca de plantas de batata em diferentes densidades de plantio em hidroponia	19
3.1 Resumo	19
3.2 Abstract	20
3.3 Introdução	20
3.4 Material e Métodos	22
3.5 Resultados e Discussão	24
3.6 Conclusão	30
4. CAPÍTULO II - Poda da parte aérea na partição de massa seca de plantas de batata em hidroponia	31
4.1 Resumo	31
4.2 Abstract	32
4.3 Introdução	32
4.4 Material e Métodos	34
4.5 Resultados e Discussão	36
4.6 Conclusão	41
5. DISCUSSÃO GERAL	47
6. CONCLUSÕES GERAIS	49
7. REFERÊNCIAS	50

1. INTRODUÇÃO GERAL

A batata (*Solanum tuberosum* L.), pertencente à família *Solanaceae*, é originária da América do Sul, onde é cultivada há mais de 7000 anos. A difusão para outros países, inclusive para o Brasil, ocorreu a partir de 1570, após a batata ter sido levada para a Europa pelos espanhóis (Hawkes, 1994). Atualmente, a batata é o quarto alimento mais consumido no mundo, com uma produção anual de 320 milhões de toneladas (FAO, 2005). No Brasil, a área cultivada é de aproximadamente 142.000 ha e a produtividade de 22 t.ha⁻¹, onde os principais produtores são os Estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul, sendo estes Estados responsáveis por aproximadamente 98% da produção nacional (IBGE, 2006). No RS, a área cultivada é de cerca de 30 mil hectares, com produtividade média de 12 t.ha⁻¹.

Um dos principais entraves da cultura de batata no Brasil é a baixa disponibilidade de tubérculos-semente de boa qualidade, com preços acessíveis aos produtores. Os sistemas de produção de tubérculos-semente até então utilizados no Brasil apresentam deficiências, principalmente com relação às baixas taxas de multiplicação e reduzida qualidade do material produzido. Nesse contexto, evidencia-se a importância da introdução de novos métodos de multiplicação de tubérculos-semente. Dentre esses novos métodos, destaca-se o sistema hidropônico, o qual mostra-se como um importante avanço no processo de produção de tubérculos-semente de batata (Medeiros et al., 2002).

Existe carência de informações a respeito das técnicas de manejo a serem adotadas no cultivo hidropônico de batata (Ritter et al., 2001), principalmente por se tratar de uma técnica recente. Dentre os problemas apresentados por esse sistema, destaca-se o excessivo crescimento da parte aérea das plantas, o que acarreta dificuldades no manejo da cultura e aumenta o consumo de solução nutritiva. O crescimento exagerado da parte aérea consome assimilados, os quais poderiam ser destinados aos tubérculos, aumentando assim a produtividade. Além disso, também se verificam problemas relacionados com o sombreamento e acamamento de plantas, o que resulta na diminuição do potencial produtivo da planta ou até mesmo na inibição da

tuberização. Há necessidade de definir práticas de manejo capazes de interferir na partição da massa seca de forma a alocar para os tubérculos uma parcela maior dos assimilados produzidos, aumentando assim a eficiência do sistema hidropônico de produção de tubérculos.

Para maximizar a produção de tubérculos é necessário atingir a produção potencial de assimilados em nível de planta inteira e direcionar para o crescimento dos tubérculos a maior fração possível desses assimilados. O transporte dos assimilados para os tubérculos depende da força de dreno, que pode ser alterada pela poda verde e densidade de plantas (Andriolo & Falcão, 2000), as quais interferem na produção e partição de assimilados (Schvambach et al., 2002). A poda verde é uma técnica freqüentemente empregada em plantas hortícolas para manejar o compartimento vegetativo das plantas e aumentar a fração da massa seca alocada para os órgãos de acúmulo e reserva, especialmente em cultivos com excessivo crescimento vegetativo (Sandri et al., 2002). De maneira geral, a poda da parte vegetativa reduz a área foliar da cultura. Conseqüentemente, a densidade de plantio pode ser aumentada, de forma a otimizar simultaneamente a eficiência de interceptação da radiação solar pela cultura e a partição da massa seca para os tubérculos.

O objetivo geral deste trabalho foi estudar o efeito da densidade de plantio e da poda da parte aérea sobre a partição de massa seca de plantas de batata cultivadas em hidroponia, visando reduzir o crescimento da parte aérea e aumentar a translocação de massa seca para os tubérculos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A cultura da batata no Brasil ocupa a área de aproximadamente 142.000 ha, com produtividade média de 22 t.ha⁻¹. Os principais Estados produtores são Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul, responsáveis por aproximadamente 98% da produção nacional (IBGE, 2006). No RS, a área cultivada é de cerca de 30 mil hectares, com produtividade média de 12 t.ha⁻¹. A produtividade média das lavouras brasileiras está bem abaixo da produtividade das lavouras da Europa, as quais produzem acima de 40 t.ha⁻¹. Uma das razões da baixa produtividade é a escassez de batata-semente de boa qualidade a preços acessíveis. A implantação das lavouras com tubérculos-semente de baixa qualidade fitossanitária é um dos principais fatores que afetam negativamente a produtividade (Kim et al., 2000; Medeiros et al., 2002). Além disso, a multiplicação vegetativa facilita a perpetuação de doenças fúngicas, bacterianas e, principalmente, viróticas, as quais causam grandes perdas de produção (Fortes & Pereira, 2003).

Historicamente, o Brasil sempre esteve na dependência da importação de tubérculos-semente de batata de boa qualidade. Segundo a Associação Nacional da Batata, na safra 2002-2003 foram importadas cerca de 2700 toneladas de tubérculos-semente, principalmente da Holanda (52,5%), Canadá (21,94%) e Chile (21,49%). Além de aumentar o custo de produção da cultura, as importações podem favorecer o surgimento de doenças que ainda não ocorrem no Brasil, além de não serem suficientes para atender a demanda.

Os sistemas tradicionais de produção de sementes pré-básicas de batata até então utilizados no Brasil apresentam como característica comum a reduzida eficiência, em razão dos baixos índices de multiplicação de tubérculos (Medeiros et al., 2002). A baixa disponibilidade de tubérculos-semente, associada aos elevados custos de mão-de-obra desses sistemas, afeta diretamente o preço pago pelo produtor. Esses custos elevados muitas vezes limitam a aquisição de sementes de qualidade adequada, obrigando o produtor a utilizar materiais propagativos de baixo potencial genético e fitossanitário. Na Região Sul, a maioria dos produtores de batata pertence ao segmento

da agricultura familiar, que não possui recursos para a renovação das sementes com a frequência necessária e geralmente utiliza tubérculos-semente com altos índices de infecção virótica (Daniels et al., 2002).

Outro fator a ser considerado em relação aos métodos tradicionais de multiplicação de tubérculos-semente é a rapidez com a qual os materiais propagativos são recontaminados nas etapas de produção de batata-semente. As áreas destinadas à produção de batata-semente são escolhidas e conduzidas de forma diferenciada das áreas de produção de batata consumo. São manejadas a fim de se obter um cultivo com alta qualidade fitossanitária e uma produção com elevada porcentagem de tubérculos-semente comercializáveis (Bisognin, 1996). Mesmo assim, levantamento da incidência de viroses em áreas de produção de batata-semente a partir de material pré-básico, nas principais regiões produtoras dos Estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, revela índices de infecção de até 35% das plantas amostradas (Daniels et al., 2002).

Nesse contexto, evidencia-se a importância do desenvolvimento de novos métodos de produção de tubérculos-semente que possam superar esses problemas, sendo o cultivo hidropônico uma técnica que merece destaque (Rolot & Seutin, 1999; Ritter et al., 2001). A hidroponia é uma técnica alternativa de cultivo protegido, na qual o solo é substituído por uma solução aquosa contendo os elementos minerais indispensáveis aos vegetais (Faquin & Furlani, 1999).

A escolha do sistema hidropônico a ser empregado depende, entre outros fatores, do porte da espécie a ser cultivada e, principalmente, da disponibilidade e custo dos materiais com potencial de uso como substratos (Andriolo et al., 2004). Um sistema hidropônico bastante utilizado é o NFT (*Nutrient Film Technique*), com pequeno ou nenhum uso de substratos. Esse sistema se destaca, entre outros fatores, pela praticidade na implantação da cultura e pela limpeza dos produtos colhidos. Segundo Andriolo (1999), esse método apresenta algumas limitações, como: exigência de conhecimentos técnicos necessários para o adequado manejo e preparação da solução nutritiva; elevada temperatura da solução nutritiva nos dias mais quentes do ano, podendo atingir níveis prejudiciais ao crescimento das plantas; dificuldade no

suprimento adequado de oxigênio para as plantas e elevado consumo de energia elétrica empregada para a circulação da solução nutritiva em intervalos curtos de tempo.

Uma adaptação do sistema NFT consiste na utilização de substratos para o cultivo das plantas. Um substrato agrícola é todo material, natural ou artificial, colocado em um recipiente, puro ou em mistura, que permite a fixação do sistema radicular e serve de suporte à planta (Blanc, 1987). As principais vantagens do cultivo em substrato, comparativamente com os demais sistemas de cultivo, são os custos menores e a simplicidade operacional, além de evitar problemas de crescimento e desenvolvimento das raízes e melhorar o controle da nutrição mineral das culturas (Andriolo, 2002). Diversos são os tipos de substratos que podem ser utilizados, tanto minerais quanto orgânicos. Para a escolha de um determinado tipo de substrato, deve-se considerar principalmente o potencial do material, além do custo e da disponibilidade. Nesse sentido, a utilização de areia mostra-se como uma boa alternativa, devido a grande estabilidade física, baixo custo, maior disponibilidade nas distintas regiões do País e a maior facilidade de limpeza e desinfestação, quando necessárias (Andriolo et al., 2004).

No cultivo hidropônico com substrato, a água e os nutrientes minerais são fornecidos através da fertirrigação, de modo a suprir a demanda das plantas. O destino da solução nutritiva drenada em cada fertirrigação efetuada é um sério problema desse método de cultivo. Por esse motivo, os sistemas de cultivo em substrato com solução perdida, denominados sistemas abertos, nos quais a solução nutritiva é drenada para o ambiente, vêm sendo substituídos por sistemas fechados, capazes de recolher e reutilizar os volumes drenados (Andriolo, 2002).

A maior taxa de multiplicação de tubérculos em sistemas hidropônicos contribui para a superação do principal problema apresentado pelos métodos tradicionais de produção de tubérculo-semente. Os sistemas eliminam a possibilidade de contaminação das plantas por patógenos de solo, desde que utilizado material propagativo não infectado, contribuindo para a obtenção de tubérculos-semente de boa qualidade fisiológica e fitossanitária (Medeiros et al., 2002). Outro aspecto importante é

a dispensa da aplicação de produtos químicos para desinfestação do solo, com evidentes benefícios para o ambiente.

Existe grande carência de informações a respeito das técnicas de manejo a serem adotadas no cultivo hidropônico de batata (Ritter et al., 2001), principalmente por se tratar de uma técnica recente. Dentre os problemas apresentados por esse sistema, destaca-se o excessivo crescimento da parte aérea das plantas, o que afeta a eficiência do processo de multiplicação de tubérculos-semente. O crescimento exagerado da parte aérea consome grande quantidade de assimilados, os quais poderiam ser destinados aos tubérculos, aumentando assim a produtividade. Além disso, também se verificam problemas relacionados com o sombreamento e acamamento de plantas, o que resulta na diminuição do potencial produtivo da planta ou até mesmo a inibição da tuberização. Surge então a necessidade do estudo de práticas de manejo que interfiram na partição de massa e melhorem a eficiência do sistema hidropônico de produção de tubérculo-semente.

A fixação de biomassa por uma cultura depende da quantidade de radiação solar recebida durante o seu ciclo (Cockshull et al., 1992). A absorção da radiação incidente pelas culturas depende principalmente do índice de área foliar (IAF), das condições meteorológicas e de práticas de manejo da cultura (Radin et al., 2003). Sendo assim, a produção de massa seca em nível da planta inteira depende diretamente do compartimento vegetativo, que é responsável pela produção de assimilados. Para maximizar a produção de tubérculos é necessário atingir a produção potencial de assimilados em nível de planta inteira e direcionar para o crescimento dos tubérculos a maior fração possível desses assimilados.

O transporte dos assimilados para os tubérculos depende da força de dreno, que pode ser alterada pela poda verde e densidade de plantas (Andriolo & Falcão, 2000), as quais interferem na produção e partição de assimilados (Schvambach et al., 2002). A poda verde é uma técnica freqüentemente empregada em plantas hortícolas para manejar o compartimento vegetativo das plantas e aumentar a fração da massa seca alocada para os órgãos de acúmulo e reserva, especialmente em cultivos com excessivo crescimento vegetativo (Sandri et al., 2002). De maneira geral, a poda da

parte vegetativa reduz a área foliar da cultura. Conseqüentemente, a densidade de plantio pode ser aumentada, de forma a otimizar simultaneamente a eficiência de interceptação da radiação solar pela cultura e a partição da massa seca para os tubérculos.

3. CAPÍTULO I

PARTIÇÃO DE MASSA SECA DE PLANTAS DE BATATA EM DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTIO EM HIDROPONIA

DRY MATTER PARTITIONING OF POTATO PLANTS GROWN HIDROPONICALLY AT DIFFERENT PLANTING DENSITIES

3.1 Resumo

A produção de tubérculos-semente em hidroponia representa um importante avanço para a cadeia produtiva da batata, principalmente pela obtenção de elevada taxa de multiplicação e manutenção da qualidade fisiológica e sanitária dos tubérculos. Dentre os problemas apresentados por esse sistema, destaca-se o excessivo crescimento da parte aérea das plantas, o que afeta a eficiência do processo de multiplicação de tubérculos. A densidade de plantas interfere no equilíbrio entre o crescimento dos compartimentos vegetativo e generativo da planta, e é uma prática de manejo pouco estudada no cultivo hidropônico de batata. Este trabalho teve como objetivo estudar o efeito da densidade de plantio no crescimento e na partição de matéria seca de plantas de batata cultivadas em hidroponia. O experimento foi conduzido em telado durante a primavera de 2004. Os tratamentos consistiram das densidades de plantio de 25, 44, 100 e 400 covas.m⁻². Em cada cova foi plantado um minitubérculo da cultivar Macaca com diâmetro entre 5 e 10 mm. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com três repetições. O crescimento da planta e a fração tubérculos atingiram a saturação a partir da densidade de 100 covas.m⁻², a qual pode ser empregada para a produção de minitubérculos de batata em sistema hidropônico.

Palavras-chave: *Solanum tuberosum* L., produção de assimilados, competição intra-específica, área foliar.

3.2 Abstract

Hydroponic production of potato seeds represents an important improvement to the potato production chain. This improvement is mainly associated to the high multiplication rate and physiological and sanitary quality of produced tubers. The excessive shoot growth reduces tuber rate multiplication and represents an main holdup of the hidroponic production system. Plant density interferes in the growth relationship between vegetative and generative parts. Plant density was not well studied in potato plants grown hydroponically. The objective of this work was to study the effect of planting density in the growth and dry matter partitioning of potato plants grown hydroponically. The experiment was carried out in green house during spring 2004. Planting densities of 25, 44, 100 and 400 hills.m⁻² were studied. One minituber (diameter between 5 and 10 mm) of the cultivar Macaca was planted in each hill. The experimental design was completely randomized, with three replications. The planting density of 100 hills.m⁻² results in the highest plant growth and tuber fraction production. This density should be used to the production of potato minitubers in hydroponic system.

Key Words: *Solanum tuberosum* L., assimilates production, intra-specific competition, leaf area.

3.3 Introdução

A utilização de tubérculos-semente de boa qualidade fitossanitária é um dos aspectos mais importantes para a obtenção de elevadas produtividades na cultura da

batata. Os sistemas de produção até então utilizados no Brasil apresentam como característica comum a reduzida eficiência, em razão dos baixos índices de multiplicação de tubérculos, com reflexos diretos no preço pago pelo produtor (Medeiros et al., 2002). A tecnologia de produção de tubérculos-semente em sistema hidropônico representa um importante avanço para a cadeia produtiva da batata. As principais vantagens atribuídas ao cultivo hidropônico de batata são a elevada taxa de multiplicação e a manutenção da qualidade fisiológica e sanitária de tubérculos-semente (Medeiros et al., 2002).

Por se tratar de uma tecnologia recente, existe grande carência de informações a respeito das técnicas de manejo a serem adotadas de modo a otimizar a produção de batata-semente (Ritter et al., 2001). Dentre os problemas apresentados por esse sistema, destaca-se o excessivo crescimento da parte aérea das plantas, o que afeta a eficiência do processo de multiplicação de tubérculos. Além disso, existem poucas informações a respeito da densidade de plantio a ser empregada no cultivo hidropônico de batata, sendo esta informação de grande importância para a otimização desse sistema de cultivo, já que a densidade de plantio é um dos fatores que mais influencia a produtividade das culturas agrícolas (Mead, 1970).

A produção de biomassa das hortaliças por unidade de área foliar depende simultaneamente da disponibilidade de radiação solar que chega na superfície da cobertura vegetal e da fração dessa radiação que é interceptada pelas folhas para realizar a fotossíntese (Cockshull et al., 1992). Dessa forma, a densidade de plantas deve ser ajustada de forma a atingir o índice de área foliar (IAF) ótimo a fim de interceptar o máximo de radiação solar para a fotossíntese (Andriolo, 1999) e ao mesmo tempo maximizar a fração de matéria seca alocada para os órgãos de reserva, possibilitando um aumento na produtividade (Schvambach et al., 2002).

A partição de assimilados depende das relações entre as fontes, representadas principalmente pelas folhas, e drenos, representados pelos tubérculos. Para aumentar a força das fontes, a área foliar pode ser aumentada por meio de uma maior densidade de plantio (Cockshull et al., 1992). A força das fontes influencia fortemente o crescimento da planta e, por conseqüência, o número de drenos (Andriolo, 1999).

Nesse caso, o efeito da densidade na distribuição de massa seca entre as partes vegetativas e generativas de plantas de batata ocorre de maneira indireta, mediante alteração no número de tubérculos em crescimento, os quais modificam a força de dreno das plantas. Por interferir no equilíbrio entre o crescimento dos compartimentos vegetativo e generativo da planta, modificações na densidade de plantio causam efeito na produção de assimilados pela fotossíntese, no crescimento, no desenvolvimento e na partição da massa seca entre os órgãos da planta (Papadopoulos & Pararajasingham, 1997; Schwambach et al., 2002).

O crescimento vegetativo está ligado à acumulação de matéria seca, que normalmente responde em curva assintótica ao aumento da densidade, ou seja, a produção aumenta até atingir um ponto de máximo, a partir do qual não é verificada resposta (Castro et al., 1987). Alguns resultados experimentais sugerem que o pico de produtividade coincide com a densidade populacional que determina a estabilidade de crescimento da produção de matéria seca vegetativa (Heuvelink & Buiskool, 1995; Schwambach et al., 2002). Possíveis causas da redução na produtividade causada pela elevada densidade de plantas são o maior consumo de água e maior suscetibilidade às pragas e doenças, o que contribui para a diminuição tanto do crescimento como do período de duração da área foliar influenciando a fotossíntese, transpiração e produção final de massa seca (Brown & Dixon, 1997).

Este trabalho teve como objetivo estudar o efeito da densidade de plantio no crescimento e na partição de matéria seca de plantas de batata cultivadas em hidroponia.

3.4 Material e Métodos

O experimento foi conduzido durante a primavera de 2004 (plantio em 03 de setembro), em telado do Programa de Genética e Melhoramento de Batata, no Departamento de Fitotecnia da UFSM, Santa Maria, RS. As plantas foram cultivadas em um sistema hidropônico fechado com uso de areia grossa como substrato (Andriolo, 2006). Foram montadas bancadas com telhas de fibrocimento, com 1,1 m de largura

total e 3,8 m de comprimento, dispostas em declividade de aproximadamente 1,5%. A solução nutritiva utilizada continha as seguintes quantidades de nutrientes (mmol.L^{-1}): 0,3587 de KH_2PO_4 ; 1,1684 de KNO_3 ; 2,1828 de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; 0,7122 de MgSO_4 e 0,0462 de quelato de ferro. Os micronutrientes foram fornecidos por meio de uma solução comercial padrão. As fertirrigações foram feitas duas vezes ao dia (9 e 16h) desde o plantio até o fechamento do dossel das plantas, e quatro vezes ao dia (9, 13, 16 e 18h) após esse período até o final do ciclo, durante 15 minutos.

Os tratamentos consistiram das densidades de plantio de 25, 44, 100 e 400 covas. m^{-2} , obtidas pelos espaçamentos de 20x20, 15x15, 10x10 e 5x5 cm entre covas, respectivamente, em um delineamento inteiramente casualizado. Em cada cova foi plantado um minitubérculo da cultivar Macaca com diâmetro entre 5 e 10 mm. Próximo ao momento em que as plantas atingiram o IAF máximo, identificado pelo início da senescência das folhas basais, foi feita a coleta de 10 plantas (repetições) em cada tratamento, das quais foram separadas as folhas e hastes para as determinações de massa seca da parte aérea e IAF. O material coletado foi seco em estufa de circulação forçada de ar, na temperatura de 60°C, até obter peso constante entre pesagens consecutivas. O IAF foi obtido a partir de 30 discos de área igual a 0,5026 cm^2 de folhas representativas das diferentes partes do dossel vegetativo. Foi ajustada uma relação entre a massa seca e a área dos discos, a qual foi utilizada para estimar a área foliar a partir da massa seca de folhas.

Quando as plantas apresentaram senescência de aproximadamente 50% das folhas na parte basal do dossel foi feita a colheita de todas as plantas da parcela, excetuando-se a bordadura. Foi feita a contagem do número de plantas e de tubérculos produzidos na parcela e determinada a massa fresca dos tubérculos. A massa seca de tubérculos foi determinada em uma amostra de 10 tubérculos, representativa do tratamento, a qual foi seca em estufa de circulação forçada de ar, na temperatura de 60°C, até obter peso constante entre pesagens consecutivas.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$) ou submetidas ao ajuste de modelos de regressão não lineares, conforme o caso.

3.5 Resultados e Discussão

Nas maiores densidades de plantio resultou um menor número de hastes por cova e uma maior altura da haste principal (Tabela 1). Tal comportamento evidencia prováveis efeitos da elevada competição intra-específica no cultivo em altas densidades, onde as plantas apresentam maior competição por luz, água e nutrientes (Sangoi, 2000). A maior alongação da haste em densidades elevadas pode estar relacionada com a elevada competição por luz (Oliveira, 2000), sendo que a destinação de assimilados responsáveis por esse crescimento pode representar um dreno importante para a parte aérea em detrimento dos tubérculos. A densidade de 400 covas.m⁻² afetou a sobrevivência das plantas, promovendo uma drástica redução na quantidade de material propagativo. Altas densidades de plantio aumentam a suscetibilidade ao acamamento e reduzem a porcentagem de sobrevivência (TOURINO et al., 2002). Essa informação é importante, visto que o cultivo hidropônico tem como principal objetivo a multiplicação de material propagativo de alto custo e elevada qualidade, sendo indesejável a perda de propágulos devido a baixa sobrevivência.

Foram ajustados modelos exponenciais do tipo $y = a + b \cdot (1 - \exp^{-cx})$ para a relação entre densidade de plantio e as variáveis IAF, massa seca total, massa seca vegetativa e número de tubérculos por metro quadrado, e do tipo $y = a + b \cdot \exp^{-cx}$ para as variáveis fração tubérculos e massa seca média de tubérculos. Optou-se pelo uso de modelos não lineares não somente pelo aumento do coeficiente de determinação, mas principalmente pelo comportamento mais realístico do ponto de vista biológico de tais equações para representar o efeito da densidade de plantio no presente estudo. Segundo Hunt (1982), a escolha de uma equação ou modelo para representar o comportamento biológico das plantas deve considerar os padrões fisiológicos e estatísticos, sem obsessões a detalhes de ordem racional, técnica estatística ou de procedimento experimental.

Tabela 1 – Número de hastes por cova, comprimento da haste principal (cm) e porcentagem de sobrevivência de plantas de batata cultivadas em hidroponia. Santa Maria, RS, 2004.

Densidade (covas.m ⁻²)	Nº hastes.cova ⁻¹	Comprimento da haste principal (cm)	% sobrevivência
25	2,07 a*	47 b	74,4 a
44	1,77 ab	50 b	70,8 a
100	1,83 ab	64 a	76,8 a
400	1,43 b	71 a	45 b

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

O aumento da densidade de plantio incrementou o IAF, o qual variou entre 6,5 a 19 entre a menor e maior densidade (Figura 1). Tais valores podem ser considerados elevados, comparando-se com o cultivo a campo, onde o IAF máximo fica ao redor de 6 (Wright & Stark, 1990). A partir da densidade de 100 covas.m⁻² foi verificada a estabilização do IAF, sendo um indicativo como densidade adequada para maximizar a área foliar.

Nas culturas, em geral, na fase inicial de crescimento até o estágio de completa interceptação da radiação solar pelas folhas, a taxa de produção de assimilados aumenta até um valor máximo em função do IAF (Castro et al., 1987). Portanto, a produção fotossintética é incrementada com o aumento do IAF, porém não indefinidamente. À medida que o IAF aumenta, as folhas inferiores vão sendo sombreadas e, conseqüentemente, a taxa fotossintética média de toda a área foliar é diminuída (Castro et al., 1987). Foi demonstrado que plantas de batata em lavoura de produção de tubérculos para consumo com IAF igual entre 3 e 4 absorvem cerca de 95% da radiação solar incidente (Khurana & McLaren, 1982; Andriolo et al., 2006; Cogo et al., 2006). Nessas lavouras, a densidade de plantio é um dos mecanismos de manejo através do qual é limitado o número de tubérculos por área, a fim de maximizar o tamanho dos tubérculos. No caso da produção de minitubérculos, o número é mais

importante do que o tamanho, sendo necessário aumentar a densidade de plantio e a área foliar para sustentar o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

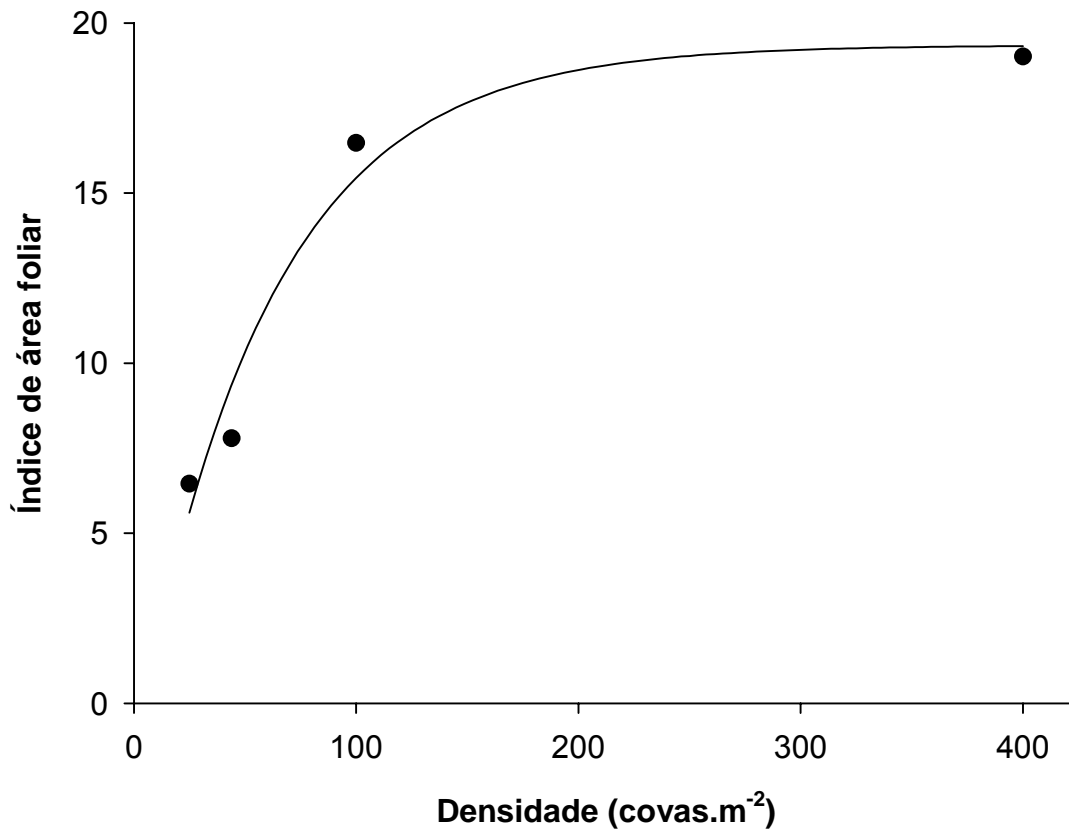


Figura 1 – Índice de área foliar de plantas de batata cultivadas em diferentes densidades em hidroponia. Santa Maria, RS, 2004.

Assim como para o IAF, a produção de massa seca total atingiu ponto de saturação próximo a densidade de 100 covas.m⁻² (Figura 2). Comportamento similar apresentou a curva de produção de massa seca vegetativa, revelando não haver resposta em densidades maiores. Tal resultado era esperado, visto que o crescimento vegetativo está ligado à acumulação de massa seca que normalmente aumenta até atingir um ponto de máximo, a partir do qual não é verificada resposta (Castro et al., 1987; Ewert, 2004).

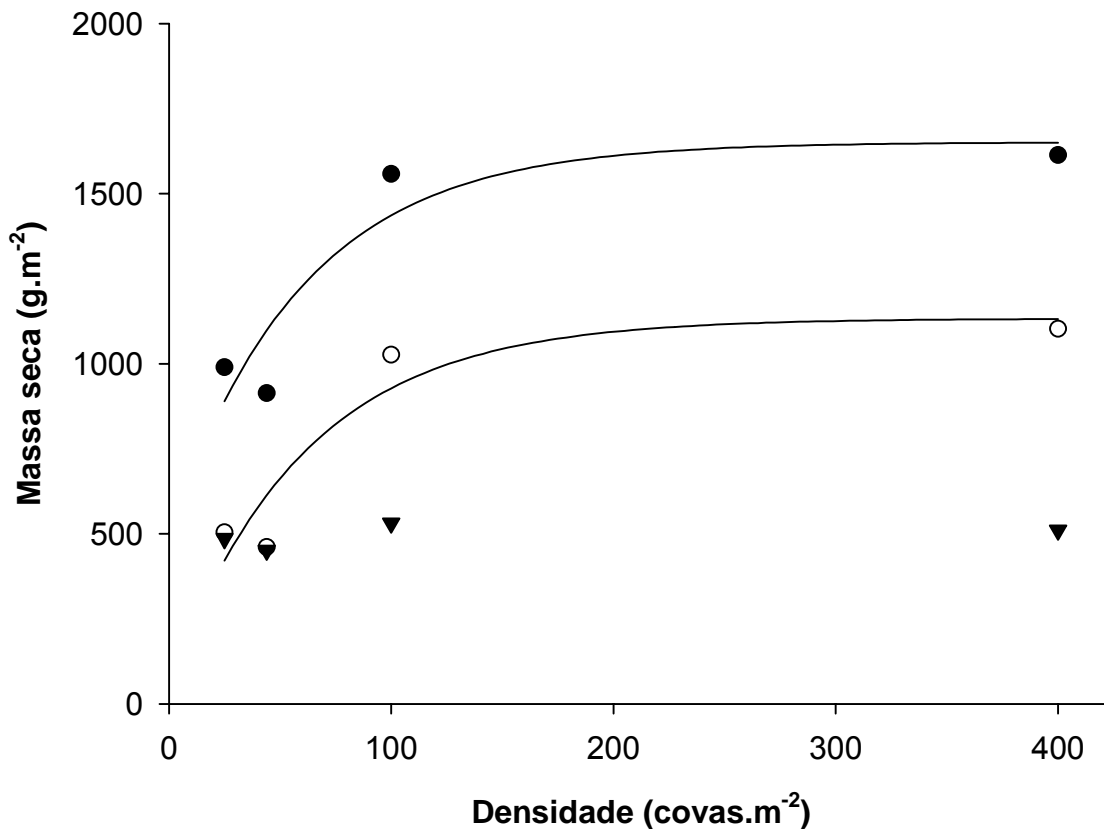


Figura 2 – Produção de massa seca (g.m^{-2}) total (●), vegetativa (○) e dos tubérculos (▼) de plantas de batata cultivadas em diferentes densidades em hidroponia. Santa Maria, RS, 2004.

A densidade de plantio não afetou a produção de massa seca de tubérculos, sendo que o valor médio foi de 495 g.m^{-2} (Figura 2). A semelhança na produção de massa seca de tubérculos por unidade de área, independentemente da densidade utilizada, pode ser explicada pela compensação entre os componentes do rendimento massa seca média e número de tubérculos por área.

A fração tubérculos foi menor nas maiores densidades, mas estabilizando a partir da densidade de 100 covas.m^{-2} (Figura 3). A alteração na fração tubérculos mostra que a densidade de plantio altera a distribuição de massa seca nas plantas de batata. O aumento da densidade de plantas induz uma maior absorção de radiação solar e produção de massa seca total. O fato de a fração tubérculos ter diminuído com a densidade de plantio indica que houve uma limitação na partição dos assimilados das

fontes para os drenos. Dessa forma, a fração extra de radiação solar interceptada pela cultura pelo incremento do IAF ficou acumulada na parte aérea das plantas, favorecendo o crescimento vegetativo e contribuindo para a diminuição da fração de massa seca alocada para os tubérculos. O aumento na fração vegetativa em função do aumento da densidade de plantio também foi observado em outras hortaliças, como pepino (Marcelis, 1993; Schvambach et al., 2002) e tomate (Andriolo & Falcão, 2000).

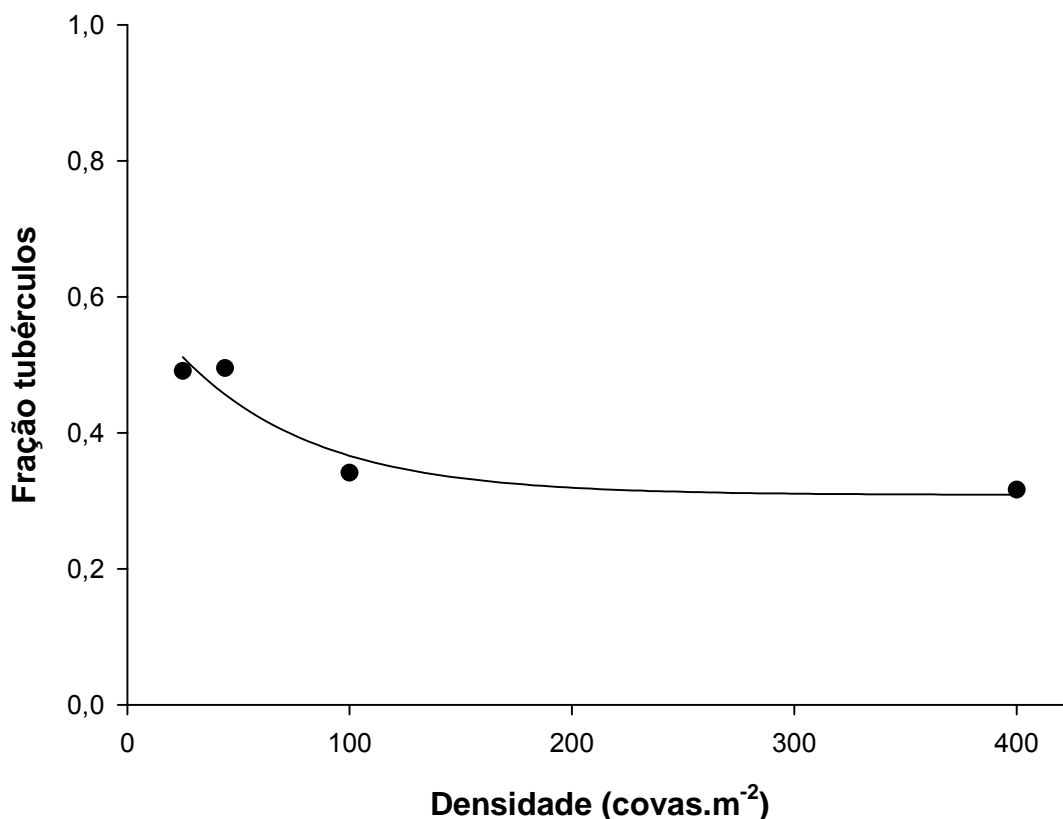


Figura 3 – Fração tubérculos de plantas de batata cultivadas em diferentes densidades em hidroponia. Santa Maria, RS, 2004.

A densidade de plantio afetou o número e a massa seca média dos tubérculos produzidos (Figura 4). O número de tubérculos.m⁻² aumentou com a densidade, variando de 100 a 600 tubérculos.m⁻² na densidade de 25 e 400 covas.m⁻², respectivamente. O aumento número de tubérculos era esperado devido ao maior número de plantas por unidade de área. A produção obtida com a densidade de 100 covas.m⁻² está próxima a obtida por Medeiros et al. (2002) em sistema hidropônico

similar ao utilizado no presente estudo, e encontra-se acima da produção obtida pelos métodos convencionais de multiplicação de tubérculo-semente no solo. O maior número de tubérculos obtido com a densidade de 400 covas.m⁻² está relacionado à produção de tubérculos com diâmetro inferior a 5 mm. Tubérculos muito pequenos dificilmente são utilizados como material propagativo, devido a freqüente desidratação, ao baixo número de gemas e de reservas nutricionais que dificultam a emergência e o estabelecimento das plântulas. Além disso, apesar do número de tubérculos por unidade de área ser um importante parâmetro para a produção hidropônica de batata-semente, deve ser salientado que uma elevada densidade aumenta o consumo de solução nutritiva e a probabilidade de acamamento das plantas, além de dificultar a circulação de ar no dossel e aumentar o período de molhamento foliar, o que pode levar a uma incidência maior de doenças.

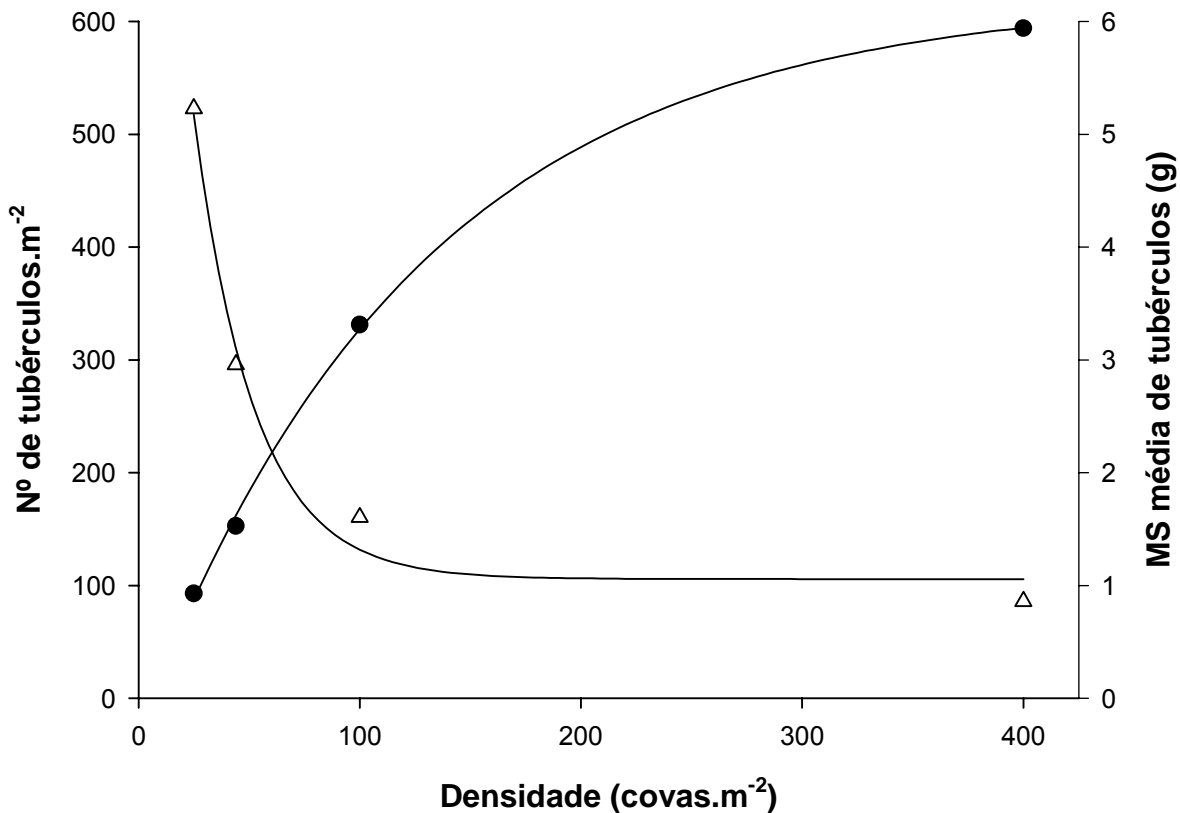


Figura 4 – Massa seca (MS) média de tubérculos (Δ) e número de tubérculos por metro quadrado (●) de plantas de batata cultivadas em diferentes densidades em hidroponia. Santa Maria, RS, 2004.

A massa seca média dos tubérculos diminuiu com o aumento da densidade de plantio, atingindo a estabilização na densidade próxima a 100 covas.m⁻². Essa diminuição do tamanho está associada ao maior número de tubérculos produzidos em densidades maiores. Além disso, a produção total de assimilados de uma planta é diretamente proporcional à fotossíntese, a qual é uma função da absorção do fluxo de radiação solar incidente. Com o aumento da densidade de plantio há uma redução da área foliar por planta e, conseqüentemente, da quantidade de assimilados disponíveis para cada planta considerada individualmente (Streck et al., 1998). Disso resulta que a massa média dos órgãos de acúmulo diminui com o aumento da densidade de plantio.

Os resultados deste trabalho mostram que o aumento da densidade de plantio diminui a massa seca média de tubérculos, sem afetar a produção total. Portanto, para a produção de tubérculos de batata em sistema hidropônico é possível adequar a densidade de plantio ao destino da produção, ou seja, utilizar menores densidades quando o objetivo for a produção de tubérculos maiores para o plantio a campo. Maiores densidades de plantio podem ser utilizadas para aumentar a taxa de multiplicação, quando tubérculos menores podem ser utilizados para a propagação. Além disso, a densidade de plantio também altera a partição de massa seca para a fração vegetativa, sendo favorecida até a densidade de 100 covas.m⁻².

3.6 Conclusão

O crescimento da planta e fração tubérculos atingem a saturação a partir da densidade de 100 covas.m⁻², a qual pode ser empregada para a produção de minitubérculos de batata em sistema hidropônico.

4. CAPÍTULO II

PODA DA PARTE AÉREA NA PARTIÇÃO DE MASSA SECA DE PLANTAS DE BATATA EM HIDROPONIA

PRUNING IN THE DRY MATTER PARTITIONING OF POTATO PLANTS GROWN HIDROPONICALLY

4.1 Resumo

Plantas de batata cultivadas em hidroponia apresentam elevado crescimento da parte aérea em detrimento da fração tubérculos, o que afeta a taxa de multiplicação de tubérculos. O objetivo deste trabalho foi determinar o efeito de restrições no crescimento da área foliar através da poda verde na partição de massa seca de plantas de batata em hidroponia. O experimento foi conduzido em telado, no outono e primavera de 2005. Foram utilizados minitubérculos (diâmetro entre 5 e 10 mm) das cultivares Macaca e Asterix, no espaçamento de 10 cm entre covas. Os tratamentos foram a poda verde da parte aérea aos 10, 20 e 30 cm e a testemunha sem poda. O experimento foi um fatorial (poda verde x época x cultivar) no delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. A massa seca retirada pela poda no cultivo de primavera foi maior do que no cultivo de outono e na cultivar Macaca do que na Asterix. A poda foi eficaz em reduzir o índice de área foliar das plantas de ambas as cultivares e afetou a produção e partição de massa seca das plantas. A poda verde a 30 cm de altura pode ser empregada para restringir o crescimento da parte aérea de plantas de batata cultivadas em hidroponia, porém com uma pequena redução de produtividade no cultivo de primavera.

Palavras-chave: *Solanum tuberosum* L., partição de assimilados, área foliar, redução da parte aérea.

4.2 Abstract

Potato plants grown hydroponically have an elevated shoot growth and an impairment of tuber growth, which reduces the multiplication rate. The objective of this work was to determine the effect of shoot growth restriction through pruning in the dry matter partitioning of potato plants grown hydroponically. The experiment was carried out in green house during fall and spring 2005 growing seasons. Minitubers (diameter between 5 and 10 mm) of the cultivars Macaca and Asterix were planted in the density of 10 cm between hills. The treatments were pruning aerial parts of plants at 10, 20, and 30 cm height and control (with no pruning). The experiment was factorial (pruning x epoch x cultivar) in random design with four replications. The pruned dry matter was higher during spring than fall and for the cultivar Macaca than Asterix. Pruning was efficient to reduce leaf area index of Macaca and Asterix plants. Pruning affected dry matter production and partitioning. Pruning plants at 30 cm high is a management practice that can be used to restrict shoot growth of potato plants grown hydroponically, with small yield reduction during spring.

Key Words: *Solanum tuberosum* L., assimilates partitioning, leaf area, shoot reduction.

4.3 Introdução

O sistema hidropônico de produção de batata-semente mostra-se como um importante avanço na cadeia produtiva da batata, principalmente por possibilitar a obtenção de elevadas taxas de multiplicação e a manutenção da qualidade fisiológica e sanitária dos propágulos vegetativos (Rolot & Seutin, 1999; Ritter et al., 2001). No

entanto, existe carência de informações a respeito das técnicas de manejo a serem adotadas no cultivo hidropônico de batata (Ritter et al., 2001). Uma das dificuldades a ser superada é o elevado crescimento da parte aérea das plantas, que reduz a fração de tubérculos e afeta negativamente a taxa de multiplicação de tubérculos. A elevada fração vegetativa consome grandes quantidades de solução nutritiva, o que aumenta o custo de produção, e de assimilados que poderiam ser destinados aos tubérculos.

A produção de massa seca em nível da planta inteira depende diretamente do compartimento vegetativo, que é responsável pela produção de assimilados. Para maximizar a produção de tubérculos é necessário atingir a produção potencial de assimilados em nível de planta inteira e direcionar para o crescimento e desenvolvimento dos tubérculos. O transporte dos assimilados para os tubérculos depende da força de dreno, a qual pode ser alterada pela poda verde e densidade de plantas (Andriolo & Falcão, 2000), uma vez que essas práticas interferem na produção e partição de assimilados (Schvambach et al., 2002). A poda verde da parte aérea é uma técnica freqüentemente empregada em plantas hortícolas para manejar o compartimento vegetativo e aumentar a fração da massa seca alocada para os órgãos de acúmulo e reserva, especialmente em cultivos com excessivo crescimento vegetativo (Sandri et al., 2002). Espécies como o tomateiro, o melão e o pepino são conduzidas com podas sistemáticas durante o ciclo de produção (Goto & Tivelli, 1998). Nesse sentido, a poda verde da parte aérea pode ser uma alternativa para aumentar a fração de tubérculos da batata cultivada em hidroponia.

A poda de ramos vegetativos, bem como de folhas jovens, pode modificar substancialmente os níveis de fitohormônios endógenos nas plantas de batata, já que estes são importantes locais de síntese de giberelinas e auxinas (Menzel, 1981). Elevada síntese de giberelinas associada com a translocação para os estolões, processo favorecido por condições de altas temperaturas, pode inibir a tuberização (Menzel, 1981). A poda também quebra a dominância apical e favorece o surgimento de ramos laterais, devido principalmente à remoção da fonte de suprimento de auxinas (Galston et al., 1980). Outra consequência da remoção parcial da parte aérea através da poda verde é o aumento da penetração de luz e de ar no dossel de plantas, maximizando o número de folhas fotossinteticamente ativas. Além disso, a poda da

parte aérea reduz o porte das plantas, o número de folhas e o índice de área foliar (IAF), facilitando as operações de controle fitossanitário e diminuindo a predisposição ao ataque de pragas e doenças (Campos et al., 1987).

O objetivo deste trabalho foi determinar o efeito de restrições no crescimento da área foliar através da poda verde na partição de massa seca de plantas de batata em hidroponia.

4.4 Material e Métodos

O experimento foi conduzido em telado do Programa de Genética e Melhoramento de Batata, Departamento de Fitotecnia da UFSM, RS (latitude 29°42'S, longitude 53°48'W e altitude 95 m). As plantas foram cultivadas em um sistema hidropônico fechado com uso de areia grossa como substrato (Andriolo, 2006). A solução nutritiva utilizada continha as seguintes quantidades de nutrientes (mmol.L^{-1}): 0,3587 de KH_2PO_4 ; 1,1684 de KNO_3 ; 2,1828 de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; 0,7122 de MgSO_4 e 0,0462 de quelato de ferro. Os micronutrientes foram fornecidos por meio de uma solução comercial padrão. As fertirrigações foram feitas duas vezes ao dia (9 e 16h) desde o plantio até o fechamento do dossel das plantas, e quatro vezes ao dia (9, 13, 16 e 18h) após esse período até o final do ciclo, durante 15 minutos.

As plantas foram cultivadas no outono (plantio em 23 de março) e primavera (plantio em 05 de setembro) de 2005. Foram utilizados minitubérculos (diâmetro entre 5 e 10 mm) das cultivares Macaca e Asterix, no espaçamento de 10 cm entre covas. Os tratamentos foram a poda verde da parte aérea aos 10, 20 e 30 cm e a testemunha sem poda. A poda verde foi realizada duas vezes por semana para manter as plantas na altura desejada. O material vegetal podado foi seco em estufa de circulação forçada de ar, na temperatura de 60°C, até obter peso constante entre pesagens consecutivas, para determinar a massa seca total da parte aérea produzida nos diferentes tratamentos. O experimento foi um fatorial (poda x época x cultivar) no delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições.

Próximo ao momento em que as plantas atingiram o IAF máximo, identificado pelo início da senescência das folhas na parte basal do dossel nas plantas testemunhas, foi feita a coleta de 10 plantas em cada repetição, das quais foram separadas as folhas e hastes para as determinações de massa seca da parte aérea e IAF. O IAF foi obtido a partir de 30 discos de área igual a $0,5026 \text{ cm}^2$ de folhas representativas das diferentes partes do dossel vegetativo, os quais foram pesados após secagem em estufa de circulação forçada de ar, na temperatura de 60°C , até obter peso constante entre pesagens consecutivas. Foi ajustada uma relação entre a massa seca e a área dos discos, a qual foi empregada para estimar a área foliar a partir da massa seca de folhas. Quando as plantas testemunhas apresentaram senescência de aproximadamente 50% das folhas, foi feita a colheita de todas as plantas da parcela, excetuando-se a bordadura. Foi contado o número de plantas e de tubérculos produzidos na parcela e determinada a massa fresca dos tubérculos. A massa seca de tubérculos foi determinada em uma amostra de 10 tubérculos, representativa da repetição, a qual foi seca em estufa.

A radiação solar global incidente (R_g) no interior do telado foi estimada pela insolação diária, segundo o modelo proposto por Angström, com os coeficientes ajustados para Santa Maria (Estefanel et al., 1990), corrigida pelo coeficiente de transmissividade do telado, igual a 0,73 (Buriol et al., 1995). Os dados de insolação e temperatura foram obtidos na Estação Climatológica Principal, pertencente ao 8º DISME/INMET e localizada a aproximadamente 200 m do telado.

Aos dados de IAF e massa seca retirada pela poda aplicou-se análise de variância pelo teste F, considerando-se a altura da poda, a época de cultivo e a cultivar como fatores principais. As médias dos tratamentos e as curvas de produção de massa seca em função do IAF foram comparadas pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$) ou ajustadas por regressões lineares e não lineares, conforme o caso.

4.5 Resultados e Discussão

A radiação solar apresentou grande variação entre as épocas de cultivo, sendo que a média diária no interior do telado foi de 7,15 e 10,46 MJ.m⁻².dia⁻¹, com total acumulado durante o ciclo de 572,13 e 826,14 MJ.m⁻², respectivamente no outono e na primavera (Figura 1a). No outono, a temperatura média diária do ar foi de 20,1°C e, na primavera, de 18,7°C (Figura 1b). A amplitude térmica diária do ar foi similar entre as épocas de cultivo, com médias de 9,9°C no outono e 10,1°C na primavera.

A análise da variância da massa seca retirada pela poda mostrou efeito significativo dos fatores altura de poda, época de cultivo e cultivar. A massa seca retirada da parte aérea das plantas no cultivo de primavera foi maior do que no cultivo de outono e na cultivar Macaca do que Asterix. No cultivo de outono, para ambas as cultivares, a massa seca retirada das plantas não variou com a altura da poda (Tabela 1). Já no cultivo de primavera, a massa seca retirada com poda a 20 e 30 cm foi maior que com poda a 10 cm. Portanto, o crescimento da parte aérea no outono foi menos afetado pela altura da poda do que no cultivo de primavera.

A poda verde foi eficaz em reduzir o IAF das plantas de ambas as cultivares, e esta redução foi influenciada pela época de cultivo (Tabela 1). No cultivo de outono, os valores de IAF variaram de 2,2 a 4,8, nos tratamentos com poda a 10 e a 30 cm de altura, respectivamente, atingindo valor máximo de 9,3 na testemunha, com a cultivar Asterix. No cultivo de primavera, o IAF foi similar ao cultivo de outono para os tratamentos com poda a 10 e 20 cm, e maior para os tratamentos com poda a 30 cm e testemunha (6,8 e 17,5, respectivamente).

O IAF da testemunha, tanto para o cultivo de outono quanto para o de primavera, pode ser considerado elevado, já que no cultivo a campo o IAF máximo da cultura da batata varia entre 3,5 e 6,0 (Wright & Stark, 1990). O ambiente protegido pode ser um fator relacionado com um maior IAF, como verificado para a cultura de tomateiro (Radin et al., 2003). O ambiente protegido apresenta menor disponibilidade de radiação solar, e nessas situações, as folhas têm maior superfície e são mais finas do que folhas que crescem expostas diretamente ao sol. Além disso, o sistema hidropônico utilizado

apresentava elevada densidade de plantas (100 covas por metro quadrado) e grande disponibilidade de água e nutrientes, o que favorece o crescimento vegetativo das plantas e, conseqüentemente, o aumento do IAF.

Tabela 1 – Índice de área foliar (IAF) e massa seca (MS) retirada da parte aérea de plantas de batata das cultivares Macaca e Asterix cultivadas em hidroponia, submetidas a diferentes níveis de poda da parte aérea em duas épocas de cultivo. Santa Maria, RS, 2005.

Poda verde	IAF ¹		MS retirada ²	
	Outono	Primavera	Outono	Primavera
Macaca				
10 cm	A 2,2 b ³	A 2,2 c	B 153,6 a	A 287,0 b
20 cm	A 2,8 a	A 5,1 bc	B 104,5 a	A 340,4 a
30 cm	B 3,4 a	A 6,2 b	B 117,5 a	A 388,7 a
Testemunha	B 7,6 a	A 16,4 a	A 0 b	A 0 c
Asterix				
10 cm	A 2,3 b	A 3,5 c	B 82,8 a	A 219,1 b
20 cm	A 4,1 a	A 5,1 bc	B 78,5 a	A 304,9 a
30 cm	B 4,8 a	A 6,8 b	B 87,9 a	A 307,4 a
Testemunha	B 9,3 a	A 17,5 a	A 0 b	A 0 c

¹ Índice de área foliar.

² Massa seca total (g.m⁻²) retirada por ocasião da poda verde durante o período experimental.

³ Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Para representar as relações entre o IAF e as variáveis estudadas, foram ajustadas regressões lineares e modelos exponenciais do tipo $y = a + b \cdot (1 - \exp^{-cx})$. A utilização de modelos não lineares é justificada não somente pelo aumento do coeficiente de determinação, mas principalmente pelo comportamento mais realístico do ponto de vista biológico apresentados por tais modelos no presente estudo. A escolha de uma equação ou modelo para representar o comportamento biológico das plantas deve considerar os padrões fisiológicos e estatísticos, sem obsessões a detalhes de ordem racional, técnica estatística ou de procedimento experimental (Hunt, 1982).

O controle do IAF das plantas através da poda verde afetou a produção de massa seca das plantas de batata. No cultivo de outono, a produção de massa seca da cultivar Macaca teve ponto de máxima próximo ao IAF de 5 (Figura 2a), o qual foi obtido com poda das plantas na altura de 30 cm, para ambas as cultivares. De forma similar, a cultivar Asterix apresentou pouca resposta quanto à produção de massa seca a partir do IAF de 5, obtido com poda das plantas na altura de 20 cm, onde, considerando-se a produção de massa seca total, o aumento de praticamente 100% do IAF (de 4,8 para 9,3) repercutiu num aumento de pouco mais de 20% na produção de massa seca total (Figura 2b).

No cultivo de primavera, a produção de massa seca aumentou de forma linear em relação ao IAF e semelhante para ambas as cultivares (Figuras 2c e 2d). Essa linearidade deve ser considerada apenas para os intervalos de IAF apresentados nesse estudo e não para IAFs maiores, tendo em vista que as plantas foram coletadas no momento em que apresentavam IAF próximo ao máximo. As plantas da testemunha apresentaram uma elevada produção de massa seca total, praticamente o dobro em relação ao cultivo de outono. Porém, a produção de massa seca total foi determinada essencialmente pela elevada fração vegetativa das plantas. A produção de massa seca de tubérculos da testemunha no cultivo de primavera foi similar ao cultivo de outono, ao redor de 500 g.m^{-2} . No cultivo de outono, a fração tubérculos atingiu o ponto de máxima com valor ao redor de 0,6 em ambas as cultivares, com um IAF próximo de 5 (Figuras 3a e 3b). No cultivo de primavera, devido ao elevado crescimento vegetativo das plantas, a fração tubérculos foi menor, situando-se abaixo de 0,4 em ambas as cultivares (Figuras 3c e 3d).

As plantas que tiveram o IAF reduzido pela poda na primavera apresentaram valores baixos de produção de massa seca de tubérculos em comparação ao cultivo de outono. Isso pode estar relacionado com a evolução das variáveis ambientais da radiação solar e do fotoperíodo durante o período de cultivo. No cultivo de outono, a radiação solar diminuiu com o decorrer do ciclo da cultura. Quando as plantas atingiram o IAF máximo, é provável que a tuberização já tivesse início. Nessa fase, a radiação solar incidente é menor do que no início de período de crescimento, porém é maior a fração absorvida da radiação global incidente no dossel de plantas. No cultivo de

primavera, embora a radiação solar tenha aumentado no decorrer do ciclo, a saturação da absorção pelo IAF pode não ter ainda ocorrido quando teve início a tuberização. Um dos mecanismos de adaptação vegetal para maximizar a interceptação da radiação solar é o aumento da expansão foliar, a qual é favorecida no início da primavera, porque a demanda hídrica da cultura ainda é baixa, quando comparada com o verão e o início do outono. Posteriormente, quando a saturação da absorção da radiação solar foi atingida, o IAF acumulado tornou-se exagerado, consumindo assimilados para sua manutenção e reduzindo a alocação desses assimilados para os tubérculos.

A menor produção de tubérculos na primavera pode estar relacionada também com a evolução do fotoperíodo. As espécies de hortaliças que têm o desenvolvimento e o crescimento controlados por esse elemento meteorológico passam por uma fase de reduzido crescimento vegetativo no outono, comparável à senescência das folhas das espécies caducifólias. Esse efeito é consequência de alterações no balanço hormonal da planta, como mecanismo adaptativo de sobrevivência durante o inverno, que ocorre principalmente pela degradação dos hormônios do crescimento. Na primavera ocorre o processo inverso, com o aumento da síntese desses hormônios (Taiz & Zeiger, 2004). As modificações hormonais decorrentes do fotoperíodo podem ser uma das causas das diferenças no crescimento vegetativo da parte aérea e na partição dos assimilados entre os cultivos de outono e de primavera.

A massa seca média dos tubérculos mostrou-se proporcional ao IAF em ambas as cultivares e épocas de cultivo (Figura 4). Engels & Marschner (1997) verificaram que a redução da relação fonte/dreno de plantas individuais, através da remoção da metade da área foliar, diminuiu a taxa de crescimento dos tubérculos por planta em 50%, indicando que a taxa de crescimento de tubérculos é limitada pela capacidade de fonte da planta. Isso explica a maior produção de massa seca de tubérculos e também o seu maior tamanho nas plantas com IAFs mais elevados. A maior produção deveu-se a maior massa média e não ao número de tubérculos produzidos. No cultivo de batata em hidroponia, a massa média de tubérculos não é um fator de grande relevância, e sim o número de tubérculos produzidos por unidade de área. No cultivo de outono, o número máximo de tubérculos, em torno de 300 por metro quadrado, coincide com o IAF próximo a 5, em ambas as cultivares (Figuras 4a e 4b). Essa produção está próxima a

obtida por Medeiros et al. (2002), e encontra-se acima da produção obtida pelos métodos convencionais de multiplicação de tubérculos no solo. No cultivo de primavera, o número de tubérculos produzidos aumentou de acordo com o aumento do IAF, porém em proporções bem menores, onde o aumento de mais de 300% do IAF (de 5,1 para 17,5) resultou em aumento de pouco mais de 20% no número de tubérculos produzidos.

A relação existente entre a produção de matéria seca e a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) interceptada ou absorvida tem sido amplamente usada para definir a eficiência de uso da radiação (RUE) pelas culturas (Costa et al., 1996). A produção de tubérculos tem sido diretamente relacionada com a PAR interceptada pelas plantas durante o ciclo da cultura (Khurana & McLaren, 1982). A conversão da radiação solar em biomassa depende da interceptação e, por esse motivo, a RUE aumenta com o aumento da área foliar, até atingir a saturação (Schvambach et al., 2002). Tal comportamento foi verificado no cultivo de outono, em ambas as cultivares, onde a RUE saturou com IAF próximo a 5, com valor próximo a 2 g MS.MJ^{-1} de Rg (Figura 5a e 5b). A eficiência de conversão foi maior no cultivo de outono, época em que houve menor disponibilidade de radiação solar. Estes valores estão próximos ao encontrados em campo, ao redor de 2,5 e $1,9 \text{ g MS.MJ}^{-1}$ de Rg no outono e primavera, respectivamente (Kooman & Rabbinge, 1996). No cultivo de primavera, onde os valores de IAF foram maiores, a RUE teve relação linear com o IAF, em ambas as cultivares (Figuras 5c e 5d). Como a absorção de Rg tende a saturar em IAFs próximo a 5, o acúmulo de radiação tende a ser similar em todos os tratamentos, fazendo com que a curva de RUE tenha comportamento determinado pela produção de massa seca, a qual também foi linear no cultivo de primavera.

Outra vantagem indireta que pode ser associada à poda da parte aérea na multiplicação hidropônica de tubérculos é a possibilidade de utilização de estacas das hastes retiradas pela poda na propagação dessa cultura. Essa técnica é eficiente para aumentar a taxa de multiplicação de tubérculos, de maneira prática e econômica, além de possibilitar sua propagação durante os diferentes períodos do ano (Pereira & Fortes, 2004).

4.6 Conclusão

A poda verde a 30 cm de altura pode ser empregada para restringir o crescimento da parte aérea de plantas de batata cultivadas em hidroponia, porém com uma pequena redução de produtividade no cultivo de primavera.

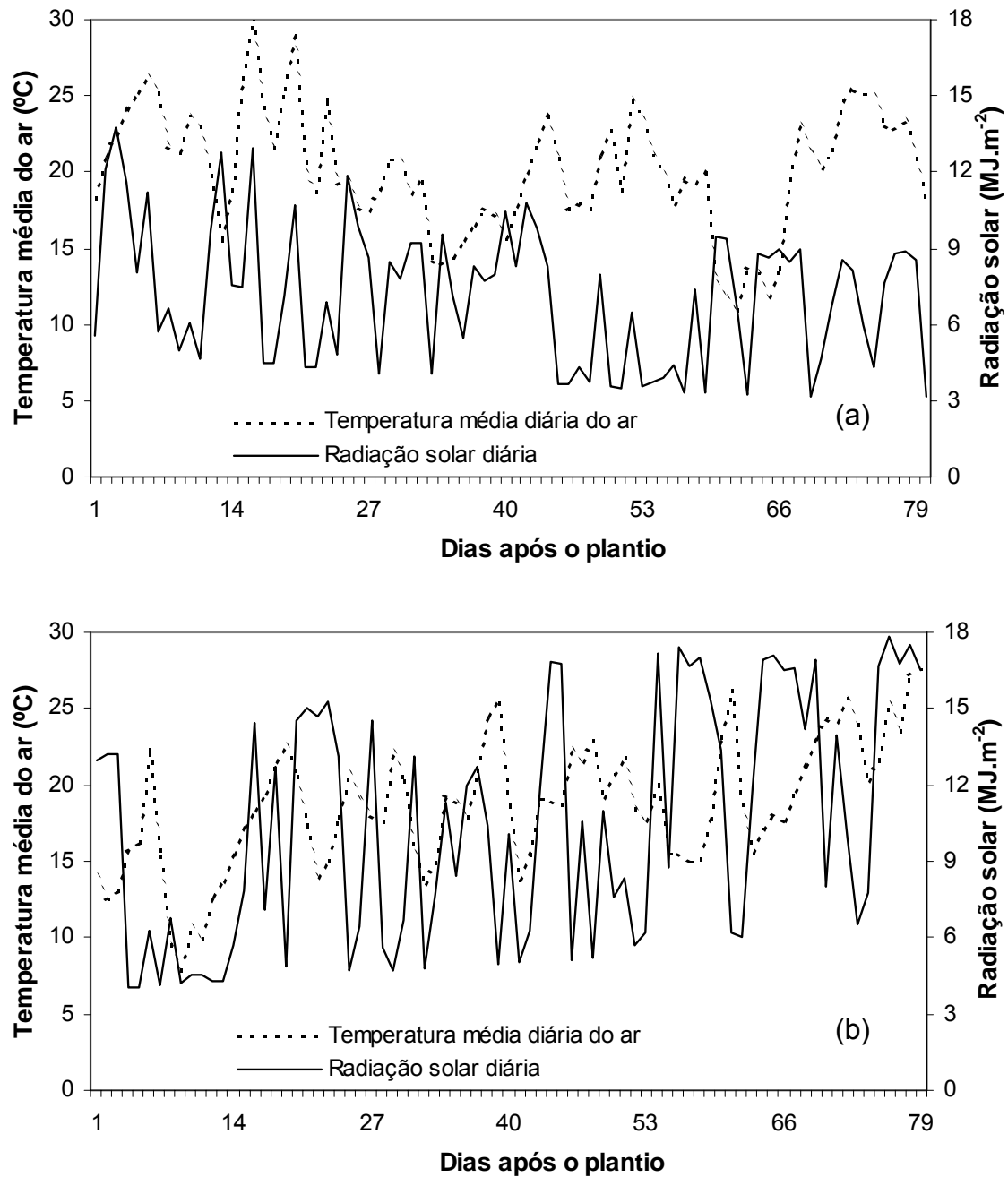


Figura 1 – Valores diários de temperatura média do ar externa e da radiação solar incidente interna nos cultivos de outono (a) e primavera (b). Santa Maria, RS, 2005.

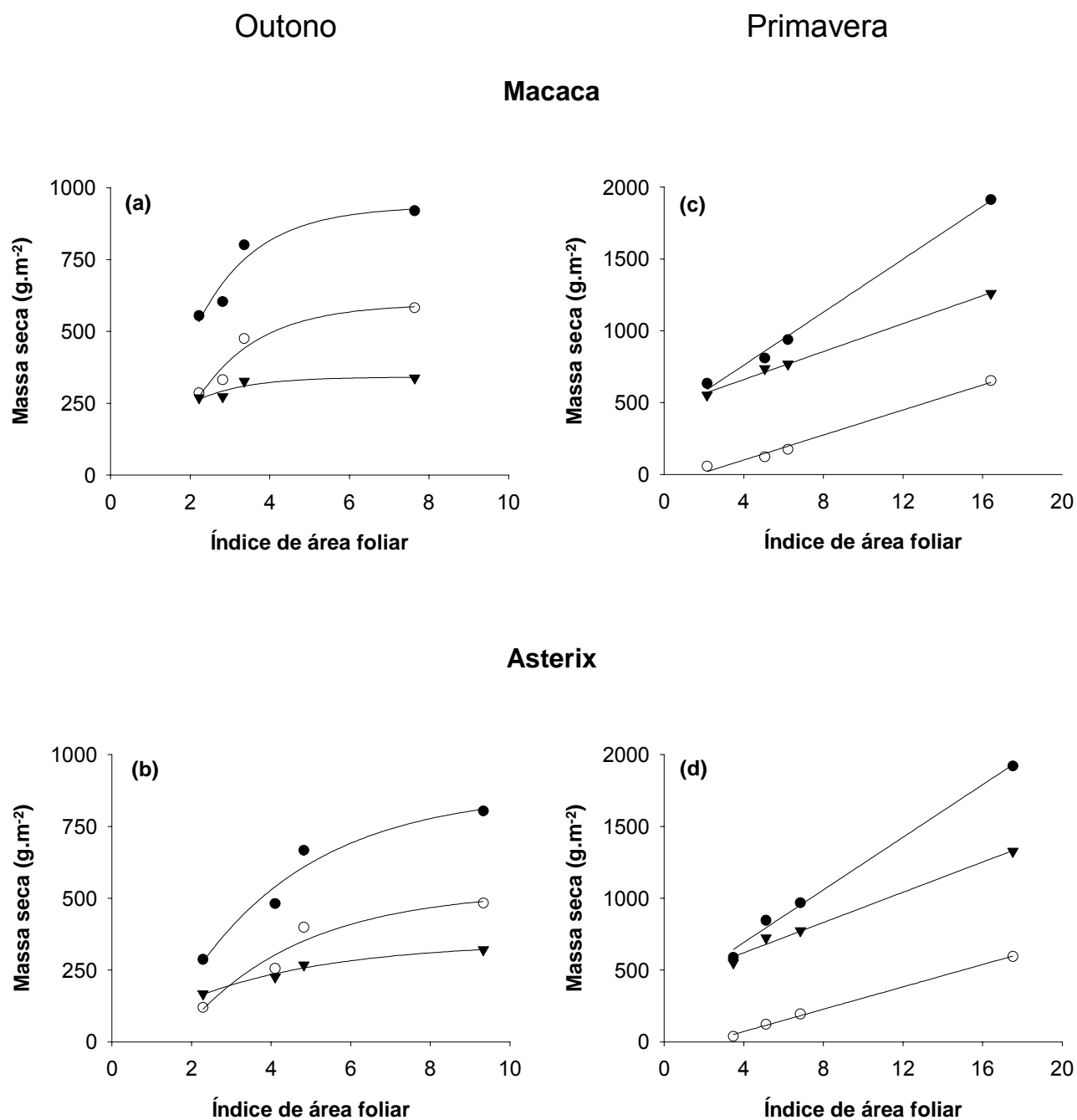


Figura 2 – Produção de massa seca (g.m⁻²) total (●), dos tubérculos (○) e vegetativa (▼) de plantas de batata das cultivares Macaca e Asterix cultivadas em hidroponia com diferentes índices de área foliar. Santa Maria, RS, 2005.

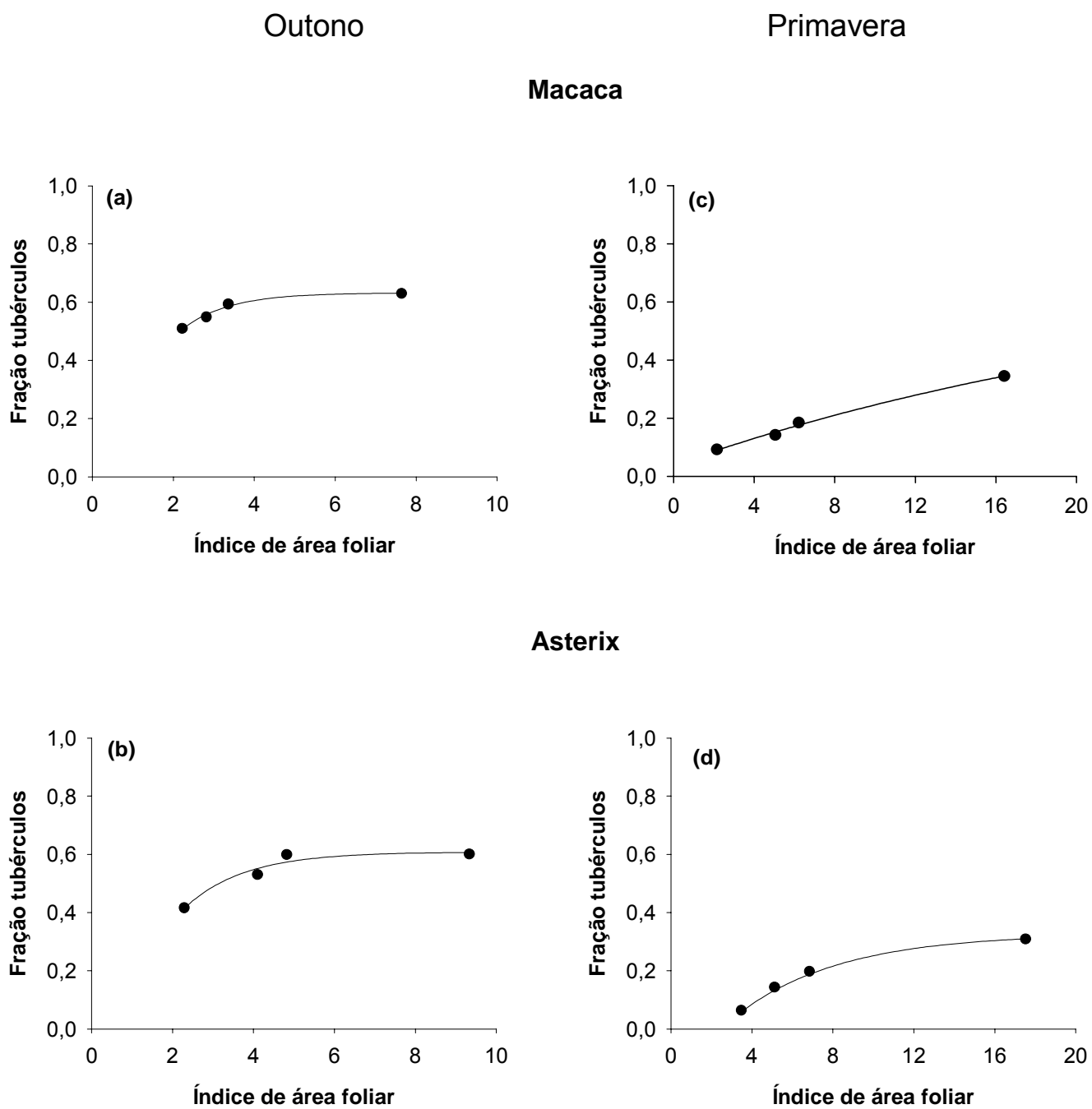


Figura 3 – Fração tubérculos de plantas de batata das cultivares Macaca e Asterix cultivadas em hidroponia com diferentes índices de área foliar. Santa Maria, RS, 2005.

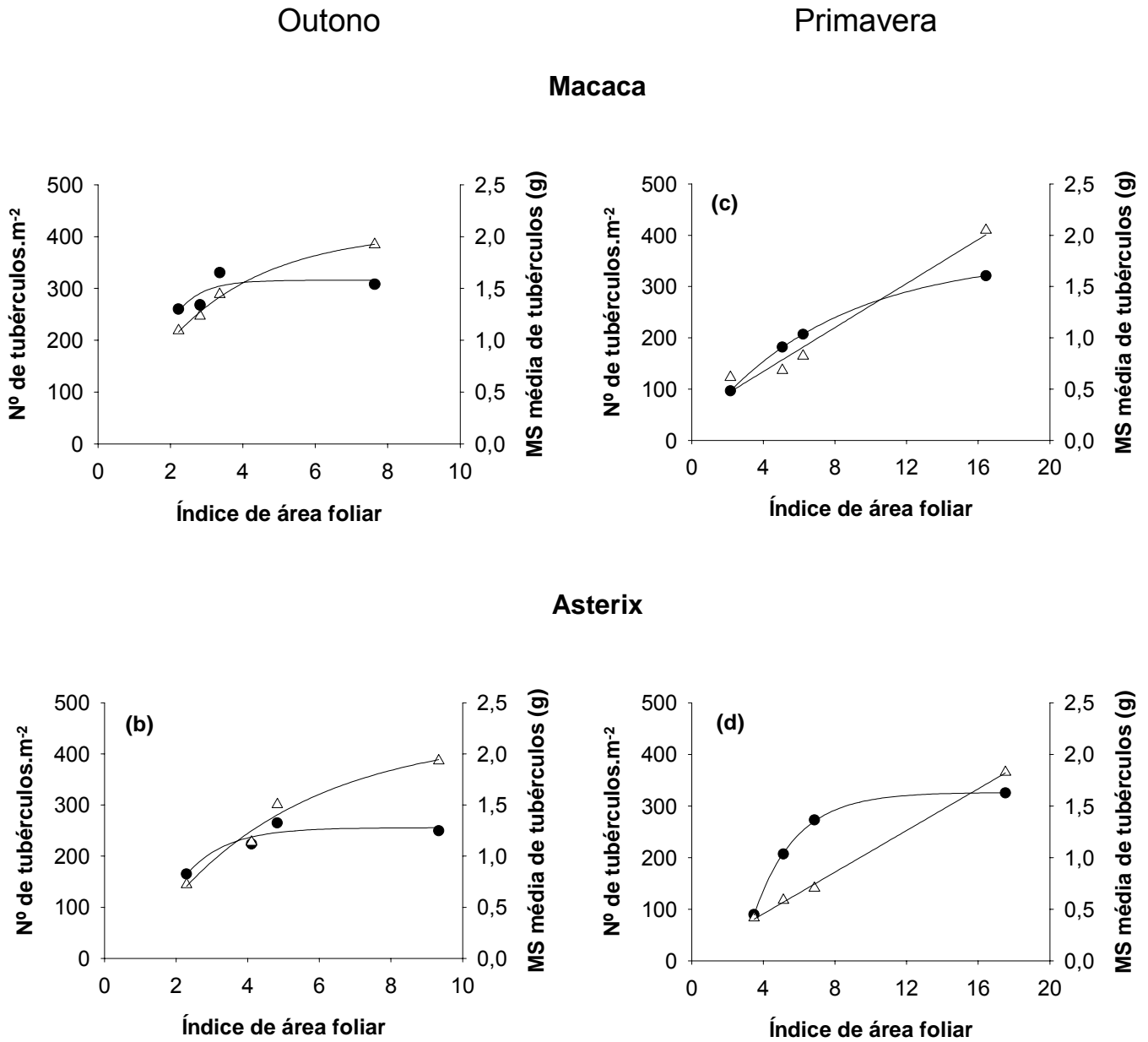


Figura 4 – Massa seca (MS) média de tubérculos (Δ) e número de tubérculos por metro quadrado (●) de plantas de batata das cultivares Macaca e Asterix cultivadas em hidroponia com diferentes índices de área foliar. Santa Maria, RS, 2005.

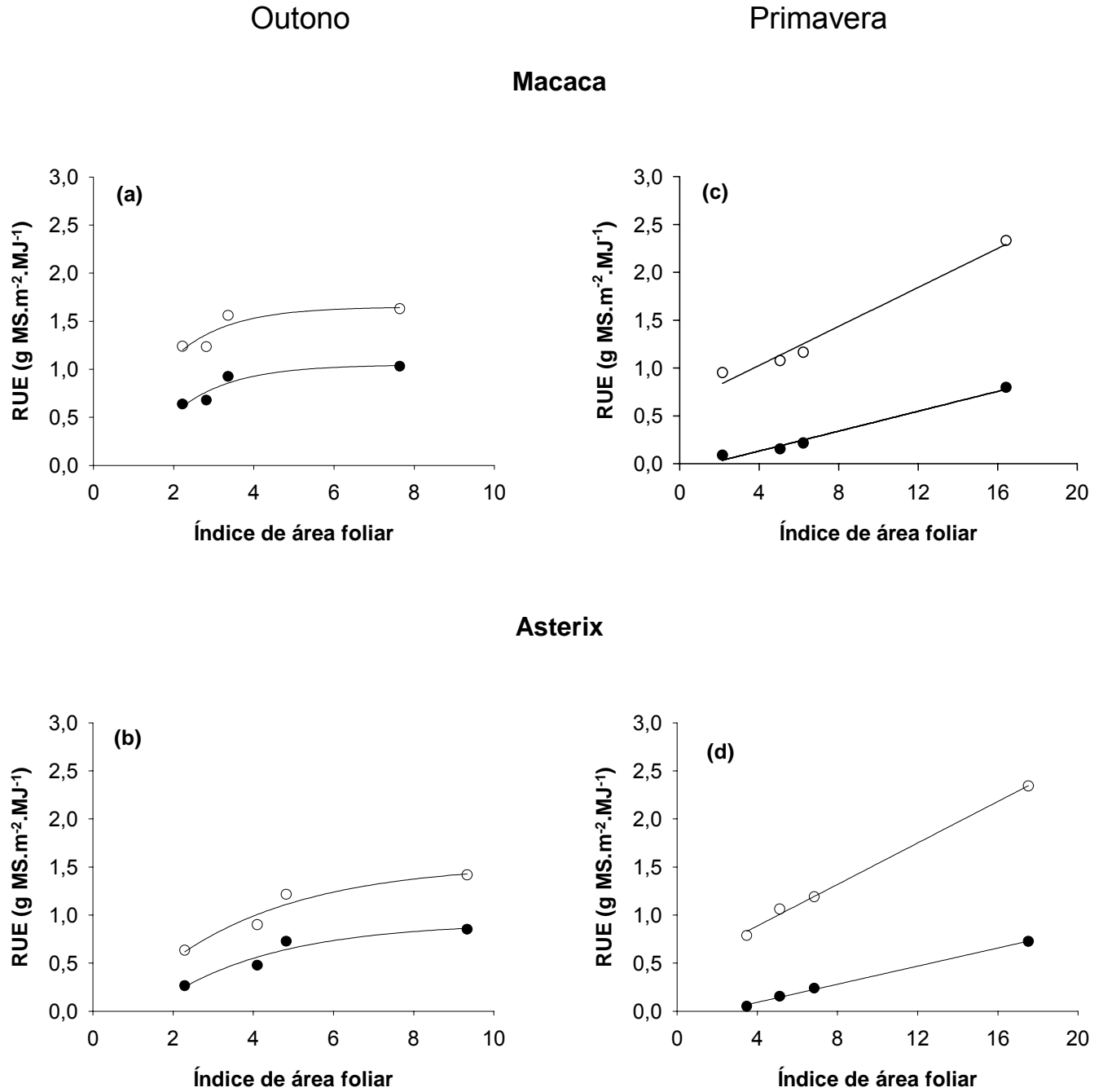


Figura 5 – Eficiência de uso de radiação (RUE) para a produção de massa seca total (○) e de tubérculos (●) de plantas de batata das cultivares Macaca e Asterix cultivadas em hidroponia com diferentes índices de área foliar. Santa Maria, RS, 2005.

5. DISCUSSÃO GERAL

Tanto a poda da parte aérea quanto o emprego de altas densidades de plantas são práticas rotineiras em várias espécies de hortaliças, como tomate (Goto & Tivelli, 1998; Streck et al., 1998) e pepino (Martins et al., 1995). A introdução dessas práticas no cultivo hidropônico da batata pode ser feita sem grandes dificuldades. Ao ser definida a altura da poda, implementos podem ser desenvolvidos para realizá-la mecanicamente. Com relação ao aumento da densidade de plantas, pode-se efetuar o plantio diretamente na superfície da areia, sem necessidade de empregar o filme de polietileno. Essa opção poderia significar um aumento no consumo de água em decorrência da evaporação superficial. Entretanto, esse aumento seria de pequena magnitude, pois ao serem atingidos os níveis de IAF elevados a penetração da radiação solar até a superfície da areia seria pequena, reduzindo a evaporação superficial. Do ponto de vista do manejo da solução nutritiva, o consumo de água pode ser facilmente estimado pela variação na condutividade elétrica e os volumes repostos segundo as necessidades.

Foi confirmado neste trabalho que a densidade de plantio modifica a distribuição dos assimilados na planta da batata, por interferir no equilíbrio entre o crescimento e desenvolvimento dos compartimentos vegetativos e generativos. A poda da parte vegetativa confirma-se como opção para reduzir a área foliar. A densidade de plantio de 100 covas.m⁻² foi suficiente para a saturação do IAF e para a estabilização da produção de massa seca total e da fração tubérculos. A densidade de 400 plantas apresenta a maior produtividade em termos de número de tubérculos.m⁻². Dessa forma, uma alternativa para otimizar a partição de massa seca e, conseqüentemente, a produtividade no cultivo de batata em hidroponia, seria a utilização de densidades maiores que 100 plantas.m⁻² associando-se a poda da parte aérea. Procedimentos semelhantes foram descritos em outras hortaliças como tomateiro (Streck et al., 1998; Sandri et al., 2002) e pepino (Martins et al., 1995).

A poda realizada na altura de 10 cm provoca uma restrição excessiva do crescimento das plantas, como demonstrado pelos baixos valores de IAF e produção de

massa seca, independente da cultivar e da época de cultivo. Nesse caso, a alternativa seria a utilização de podas a 20 ou 30 cm de altura, níveis que estiveram relacionados a uma melhor partição de assimilados, dependendo da época de cultivo. A melhor combinação entre essas práticas de cultivo constitui-se em um interessante objeto para futuros experimentos.

A restrição do crescimento vegetativo de modo a retirar do dossel de plantas a fração de massa seca que não contribui para a produção de tubérculos apresenta vantagens, tanto pela melhor penetração de ar e radiação solar no dossel quanto pela redução do custo de produção relativo ao consumo de solução nutritiva. Considerando-se a pequena resposta do IAF na produção e partição de massa seca a partir de valores maiores que 5, pode-se fazer uma estimativa da economia no consumo de solução nutritiva ao se restringir o crescimento vegetativo a partir desse valor. São disponíveis na literatura dados relativos à transpiração máxima diária (ETM) por unidade de área foliar a partir de resultados de consumo hídrico em outras hortaliças (Caron & Heldwein, 2000) no mesmo local e ambiente protegido, que pode ser estimada pela equação: $ETM = 0,08R_g \text{ (MJ.m}^{-2}\text{.dia}^{-1}) - 0,30$. Considerando-se a radiação solar diária média observada no presente estudo que foi igual a 7,15 e 10,46 $\text{MJ.m}^{-2}\text{.dia}^{-1}$ para o outono e a primavera, respectivamente, e usando-se os valores médios de IAF de 8,5 no outono e 17 na primavera, obtém-se uma estimativa do volume de solução nutritiva consumida durante o ciclo total das plantas de 180 L.m^{-2} no cultivo de outono e de 700 L.m^{-2} no cultivo de primavera. Com a restrição do crescimento foliar a um IAF igual a 5, o volume de solução nutritiva consumida seria reduzido para 100 L.m^{-2} no cultivo de outono e para 210 L.m^{-2} no cultivo de primavera. Dessa forma, a economia de consumo de solução nutritiva seria de 45% no cultivo de outono e de 70% no cultivo de primavera. Essa projeção representa benefícios econômicos na redução de custos e também ambientais, no rumo de uma produção sustentável a longo prazo.

6. CONCLUSÕES GERAIS

- A densidade de plantio altera a partição de massa seca de plantas de batata cultivadas em hidroponia.
- O incremento da densidade de plantio aumenta o número de tubérculos produzidos, sem afetar a produção de massa seca de tubérculos.
- A poda verde é uma prática que pode ser empregada para restringir o crescimento da parte aérea das plantas de batata em hidroponia.
- A poda verde a 30 cm de altura pode ser aplicada em diferentes cultivares e épocas de cultivo de plantas de batata em hidroponia.

7. REFERÊNCIAS

ANDRIOLO, J.L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: Editora da UFSM, 1999. 142p.

ANDRIOLO, J.L. **Olericultura geral: princípios e técnicas**. Santa Maria: Editora da UFSM, 2002. 158p.

ANDRIOLO, J.L. Sistema hidropônico fechado com subirrigação para produção de minitubérculos de batata. In: SIMPÓSIO DE MELHORAMENTO GENÉTICO E PREVISÃO DE EPIFITIAS EM BATATA, 2006, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2006. p. 26-40.

ANDRIOLO, J. L.; FALCÃO, L. L. Efeito da poda de folhas sobre a acumulação de matéria seca e sua repartição para os frutos de tomateiro cultivado em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 8, n. 1, p. 75-83, 2000.

ANDRIOLO, J. L. et al., Cultivo hidropônico da alface empregando substratos: uma alternativa a NFT? **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 4, p. 794-798, 2004.

ANDRIOLO, J. L. et al. Curva crítica de diluição do nitrogênio da cultivar asterix de batata. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 7, p. 1179-1184, 2006.

BISOGNIN, D.A. **Recomendações técnicas para o cultivo da batata no Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Santa Maria: UFSM, 1996. 64p.

BLANC, D. Les cultures hors sol. Paris: INRA, 1987. p. 9-13: Les substrats. In: MEDEIROS, C.A.B. et al. Produção de sementes pré-básicas de batata em sistemas hidropônicos. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 1, p. 110-114, 2002.

BROWN, M.; DIXON, M.A. Estimating potato leaf area index for specific cultivars. **Potato Research**, v. 40, n. 3, p. 251-266, 1997.

BURIOL, G.A. et al. Transmissividade a radiação solar do polietileno de baixa população utilizado em estufas. **Ciência Rural**, v. 25, n. 1, p. 1-4, 1995.

CAMPOS, J.P. et al. Efeito da poda da haste e da população de plantas sobre a produção do tomateiro. **Revista Ceres**, v. 34, n. 113, p. 198-208, 1987.

CARON, B.O.; HELDWEIN, A.B. Consumo d'água e coeficiente de cultura para o meloeiro cultivado em estufa plástica na primavera. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 8, n. 1, p.19-25, 2000.

CASTRO, P.C.R.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 249p.

COCKSHULL, K.E.; GRAVES, C.J.; CAVE, C.R.J. The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. **Journal of Horticulturae Science**, v. 67, p. 11-24, 1992.

COGO, C.M. et al. Crescimento, produtividade e qualidade de processamento de tubérculos de batata produzidos sob alta disponibilidade de potássio. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 1-4, 2006.

COSTA, L.C.; MORISON, J.I.L.; DENNETT, M.D. Carbon balance of growing faba bean and its effect on crop growth: experimental and modeling approaches. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 4, p. 11-17, 1996.

DANIELS, J. et al. Degenerescência de batata-semente básica após um ou dois períodos de cultivo. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 3, p. 510-513, 2002.

ENGELS, C.H.; MARSCHNER, H. Effects of reducing leaf area and tuber number on the growth rates of tubers on individual potato plants. **Potato Research**, v. 30 n. 2, p. 177-186, 1997.

ESTEFANEL, V. et al. Insolação e radiação solar na região de Santa Maria, RS. I - Estimativa da radiação solar global incidente a partir dos dados de insolação. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, v. 20, n. 3-4, p. 203-218, 1990.

EWERT, F. Modelling plant responses to elevated CO₂: how important is leaf area index? **Annals of Botany**, v. 93, p. 619-627, 2004.

FAO. **FAOSTAT data 2005**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/faostat>>. Acesso em: 25 nov. 2005.

FAQUIN, V.; FURLANI, P.R. Cultivo de hortaliças de folhas em hidroponia em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, v. 20, n. 200/201, p. 99-104, 1999.

FORTES, G.R.L.; PEREIRA, J.E.S. Batata-semente pré-básica: cultura de tecidos. In: PEREIRA, A.S.; DANIELS, J. (Eds.). **O cultivo da batata na região sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 421-433, 2003.

GALSTON, A.W.; DAVIES, P.J.; SATTER, R.L. **The life of the green plant**. 3 ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1980. 464p.

GOTO, R.; TIVELLI, S.W. **Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais**. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1998, p. 161-193.

HAWKES, J.G. Origins of cultivated potatoes and species relationships. In: BRADSHAW, J.E., MACKAY, R.R., **Potato Genetics**. CAB International: Cambridge, 1994, p. 3-42.

HEUVELINK, E. **Tomato growth and yield: quantitative analysis and synthesis**. Wageningen-NL. 1996. 326 p. Dissertation. Wageningen Agricultural University, 1996.

HEUVELINK, E.; BUISKOOL, R.P.M. Influence of sink-source interaction on dry matter production in tomato. **Annals of Botany**, v. 75, p. 381-389, 1995.

HUNT, R. **Plant growth curves: the functional approach to plant growth analysis**. London: Edward Arnold, 1982. 248p.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola, confronto das safras de 2005 e das estimativas para 2006**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 dez. 2006.

KHURANA, S.C.; McLAREN, J.S. The influence of leaf area, light interception and season on potato growth and yield. **Potato Research**, v. 25, n. 4, p. 329-342, 1982.

KIM, S.Y. et al. Hydroponic culture system for the production of seed tubers without soil. **American Journal of Potato Research**, v. 77, n. 6, p. 394, 2000.

KOOMAN, P.L.; RABBINGE, R. An analysis of the relation between dry matter allocation to the tuber and earliness of a potato crop. **Annals of Botany**, v. 77, p. 235-242, 1996.

MARCELIS, L.F.M. Fruit growth and biomass allocation to the fruits in cucumber 2. Effect of irradiance. **Scientia Horticulturae**, v. 54, p. 123-130, 1993.

MARTINS, S.R. et al. Avaliação da cultura do pepino (*Cucumis sativus*, L.), cultivado em estufa plástica, sob diferentes tipos de poda e arranjo de plantas. **Revista Brasileira de Agrobiologia**, v. 1, n. 1, p. 30-33, 1995.

MEAD, R. Plant density and crop yield. **Applied Statistics**, v. 19, n. 1, p. 64-81, 1970.

MEDEIROS, C.A.B. et al. Produção de sementes pré-básicas de batata em sistemas hidropônicos. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 1, p. 110-114, 2002.

MENZEL, C.M. Tuberization in potato at high temperatures: promotion by disbudding. **Annals of Botany**, v. 47, p. 727-733, 1981.

OLIVEIRA, C.A. da S. Potato crop growth as affected by nitrogen and plant density. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 5, p. 939-950, 2000.

PAPADOPOULOS, A.P.; PARARAJASINGHAM, S. The influence of plant spacing on light interception and use in greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.): a review. **Scientia Horticulturae**, v. 69, p. 1-29, 1997.

PEREIRA, J.E.S.; FORTES, G.R.L. Produção de mudas pré-básicas de batata por estaquia a partir de plantas micropropagadas. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 2, p. 186-192, 2004.

RADIN, B. et al. Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do tomateiro em diferentes ambientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 9, p. 1017-1023, 2003.

RITTER, E. et al. Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers. **Potato Research**, v. 44, n. 2, p. 127-135, 2001.

ROLOT, J.L.; SEUTIN, H. Soilless production of potato minitubers using a hydroponic technique. **Potato Research**, v. 42, n. 3-4, p. 457-469, 1999.

SANDRI, M.A. et al. High density of defoliated tomato plants in protected cultivation and its effects on development of trusses and fruits. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 3, p. 485-489, 2002.

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, v. 31, n. 1, p. 159-168, 2000.

SCHVAMBACH, J.L.; ANDRIOLO, J.L.; HELDWEIN, A.B. Produção e distribuição da massa seca do pepino para conserva em diferentes populações de plantas. **Ciência Rural**, v. 32, n. 1, p. 35-41, 2002.

STRECK, N.A. et al. Influência da densidade de plantas e da poda apical drástica na produtividade do tomateiro em estufa de plástico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 7, p. 1105-1112, 1998.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TOURINO, M.C.C.; REZENDE, P.M.; SALVADOR, N. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agronômicas da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 8, p. 1071-1077, 2002.

WRIGHT, J.L.; STARK, J.C. Potato. In : STEWART, B.A.; NIELSEN, D.R. (Eds.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison: American Society Agronomy, 1990. p. 859-888.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Modelos utilizados no Capítulo I.

Variável	Figuras
	-----Figura 1: Índice de área foliar (IAF)-----
IAF	$y = -1,5652 + 20,9132 * (1 - \exp^{-0,0168x})$ $R^2 = 0,96$
	-----Figura 2: Produção de massa seca (MS, g.m ⁻²) -----
MS total	$y = 490,88 + 1160,65 * (1 - \exp^{-0,0168x})$ $R^2 = 0,85$
MS de tubérculos	$y = 0$
MS vegetativa	$y = 55,61 + 1077,57 * (1 - \exp^{-0,0166x})$ $R^2 = 0,88$
	-----Figura 3: Índice de colheita-----
Índice de colheita	$y = 0,3087 + 0,3089 * \exp^{-0,0168x}$ $R^2 = 0,90$
	-----Figura 4: MS média de tubérculos (g) e número de tubérculos.m ⁻² -----
MS média	$y = 1,0565 + 10,3282 * \exp^{-0,0368x}$ $R^2 = 0,98$
Nº de tubérculos.m ⁻²	$y = -30,53 + 652,07 * (1 - \exp^{-0,0079x})$ $R^2 = 0,99$

APÊNDICE B – Graus de liberdade (GL) e quadrado médio (QM) do quadro de análise da variância para as variáveis índice de área foliar (IAF) e massa seca (MS) retirada da parte aérea de plantas de batata das cultivares Macaca e Asterix cultivadas em hidroponia, submetidas a diferentes níveis de poda da parte aérea em duas épocas de cultivo. Santa Maria, RS, 2005.

Fonte de variação	GL	QM
-----Variável IAF-----		
Poda	3	162,24 *
Época	1	85,12 *
Cultivar	1	7,54 ^{ns}
Poda x Época	3	25,55 *
Poda x Cultivar	3	0,21 ^{ns}
Época x Cultivar	1	0,20 ^{ns}
Poda x Época x Cultivar	3	0,69 ^{ns}
-----Variável MS retirada pela poda-----		
Poda	3	86999,0 *
Época	1	186900,4 *
Cultivar	1	12103,7 *
Poda x Época	3	25586,3 *
Poda x Cultivar	3	1856,17 *
Época x Cultivar	1	425,5 ^{ns}
Poda x Época x Cultivar	3	320,0 ^{ns}

* Probabilidade < 0,05 ; ^{ns} = não significativo.

APÊNDICE C – Modelos utilizados no Capítulo II.

Variável	Cultivar	Outono	Primavera
-----Figura 2: Produção de massa seca (MS, g.m ⁻²)-----			
MS total	Macaca	$y = -886,42 + 1822,29 * (1 - \exp^{-0,6804x})$ R ² =0,92	$y = 92,156x + 391,81$ R ² =0,99
	Asterix	$y = -363,46 + 1235,69 * (1 - \exp^{-0,3201x})$ R ² =0,95	$y = 91,475x + 326,17$ R ² =0,99
MS de tubérculos	Macaca	$y = -779,21 + 1374,60 * (1 - \exp^{-0,6501x})$ R ² =0,94	$y = 43,516x - 73,824$ R ² =0,98
	Asterix	$y = -369,33 + 896,39 * (1 - \exp^{-0,3376x})$ R ² =0,94	$y = 38,881x - 83,786$ R ² =0,99
MS vegetativa	Macaca	$y = -116,00 + 457,29 * (1 - \exp^{-0,7944x})$ R ² =0,81	$y = 48,641x + 465,64$ R ² =0,99
	Asterix	$y = 3,9875 + 343,16 * (1 - \exp^{-0,2774x})$ R ² =0,98	$y = 52,594x + 409,95$ R ² =0,98
-----Figura 3: Índice de colheita-----			
Índice de colheita	Macaca	$y = -0,2342 + 0,8664 * (1 - \exp^{-0,8698x})$ R ² =0,98	$y = 0,0393 + 0,7031 * (1 - \exp^{-0,0348x})$ R ² =0,99
	Asterix	$y = -0,3081 + 0,9165 * (1 - \exp^{-0,6777x})$ R ² =0,95	$y = -0,1999 + 0,5274 * (1 - \exp^{-0,1940x})$ R ² =0,99
-----Figura 4: MS média de tubérculos (g) e número de tubérculos.m ⁻² -----			
MS média	Macaca	$y = -0,1790 + 2,2336 * (1 - \exp^{-0,3729x})$ R ² =0,99	$y = 0,1073x + 0,2421$ R ² =0,97
	Asterix	$y = -0,4317 + 2,6409 * (1 - \exp^{-0,2459x})$ R ² =0,97	$y = 0,1010x + 0,0510$ R ² =0,99
Nº de tubérculos.m ⁻²	Macaca	$y = -1208,76 + 1524,80 * (1 - \exp^{-1,4516x})$ R ² =0,62	$y = 7,3937 + 352,53 * (1 - \exp^{-0,1344x})$ R ² =0,99
	Asterix	$y = -448,467 + 704,167 * (1 - \exp^{-0,8897x})$ R ² =0,90	$y = -727,26 + 1053,67 * (1 - \exp^{-0,4283x})$ R ² =0,99
-----Figura 5: Eficiência de uso de radiação (RUE, g MS.m ⁻² .MJ ⁻¹)-----			
RUE MS tubérculos	Macaca	$y = -1,1306 + 2,1773 * (1 - \exp^{-0,7232x})$ R ² =0,88	$y = 0,052x - 0,0758$ R ² =0,98
	Asterix	$y = -0,5441 + 1,4660 * (1 - \exp^{-0,3422x})$ R ² =0,93	$y = 0,0471x - 0,097$ R ² =0,99
RUE MS total	Macaca	$y = -0,7238 + 2,3720 * (1 - \exp^{-0,7484x})$ R ² =0,78	$y = 0,1019x + 0,6194$ R ² =0,98
	Asterix	$y = -0,3038 + 1,8405 * (1 - \exp^{-0,3028x})$ R ² =0,94	$y = 0,1079x + 0,4542$ R ² =0,99