UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO – PR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PPGA
MESTRADO

PRODUÇÃO DE MINITUBÉRCULOS DE BATATA (*Solanum tuberosum* L.) POR AEROPONIA: DENSIDADE DE PLANTIO, DORMÊNCIA DE MINITUBÉRCULOS, REGIMES DE ASPERSÃO E CULTIVARES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Leonardo Balena

GUARAPUAVA-PR
2019

LEONARDO BALENA

PRODUÇÃO DE MINITUBÉRCULOS DE BATATA (*Solanum tuberosum* L.) POR AEROPONIA: DENSIDADE DE PLANTIO, DORMÊNCIA DE MINITUBÉRCULOS, REGIMES DE ASPERSÃO E CULTIVARES

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste para obtenção do título de mestre em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal.

Aprovado em 28 de fevereiro de 2019.

Prof. Dr. Jackson Kawakami

Orientador

GUARAPUAVA-PR

2019

Catalogação na Publicação
Biblioteca Central da Unicentro, Campus Santa Cruz

B183p

Balena, Leonardo
Produção de minitubérculos de batata (*Solanum tuberosum* L.) por aeroponia: densidade de plantio, dormência de minitubérculos, regimes de aspersão e cultivares / Leonardo Balena. – – Guarapuava, 2019.
xi, 53 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, 2019.

Orientador: Jackson Kawakami
Banca examinadora: Jackson Kawakami, Patrícia Carla Giloni de Lima, Thiago Leandro Factor

Bibliografia

1. Agronomia. 2. Produção vegetal. 3. Batata-semente. 4. Cultivo protegido. 5. Taxa de multiplicação. 6. Tubérculo-semente. I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

CDD 630

Leonardo Balena

PRODUÇÃO DE MINITUBÉRCULOS DE BATATA (*Solanum tuberosum* L.) POR AEROPONIA: DENSIDADE DE PLANTIO, DORMÊNCIA DE MINITUBÉRCULOS, REGIMES DE ASPERSÃO E CULTIVARES

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 28 de fevereiro de 2019.

Impresso com recursos públicos por ludila na UNICENTRO

Prof. Dr. Jackson Kawakami
(UNICENTRO)

Profª. Drª. Patricia Carla Giloni de Lima
(UNICENTRO)

Dr. Thiago Leandro Factor
(APTA/IAC)

GUARAPUAVA-PR

2019

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO **1**
2. OBJETIVOS **3**
2.1. OBJETIVO GERAL 3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 3
3. REFERENCIAL TEÓRICO **4**
3.1. ORIGEM E PROPAGAÇÃO 4
3.2. CULTURA DE TECIDOS 5
3.3. MÉTODOS DE PRODUÇÃO DE TUBÉRCULOS-SEMENTE 6
3.4. AEROPONIA 7
3.4.1. Trabalhos recentes **8**
3.4.2. Densidade de plantas em aeroponia **8**
3.4.3. Fisiologia e dormência de minitubérculos **9**
3.4.4. Tempos de aspersão **9**
4. MATERIAL E MÉTODOS **11**
4.1. LOCAL DOS EXPERIMENTOS 11
4.2. EFEITO DA DENSIDADE DE CULTIVO SOBRE O CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE PLANTAS DE BATATA EM AEROPONIA 11
4.2.1. Construção do sistema **11**
4.2.2. Solução nutritiva **13**
4.2.3. Delineamento experimental **13**
4.2.4. Tratos culturais **13**
4.2.5. Variáveis analisadas **15**
4.2.6. Análises estatísticas **16**
4.3. EFEITO DA DATA DE COLHEITA E DENSIDADE DE PLANTAS SOBRE O PERÍODO DE DORMÊNCIA DE TUBÉRCULOS EM AEROPONIA 17
4.4. EFEITO DE TEMPOS DE ASPERSÃO SOBRE O CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE BATATA EM AEROPONIA 18
4.4.1. Construção do sistema **18**
4.4.2. Tratos culturais e solução nutritiva **19**
4.4.3. Delineamento experimental **21**
4.4.4. Variáveis analisadas **21**
4.4.4.1. Crescimento 21
4.4.4.2. Produtividade 23

4.4.5. Análises estatísticas **23**
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO **24**
5.1. DENSIDADE DE PLANTAS 24
5.2. EFEITO DA DATA DE COLHEITA E DENSIDADE DE PLANTAS SOBRE O PERÍODO DE DORMÊNCIA DE TUBÉRCULOS EM AEROPONIA 30
5.3. EFEITO DE TEMPOS DE ASPERSÃO SOBRE O CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE BATATA EM AEROPONIA 32
5.3.1. Morfologia **32**
5.3.1.1. Morfologia da parte aérea 32
5.3.1.2. Morfologia da parte subterrânea 35
5.3.2. Produtividade **42**
6. CONCLUSÕES **48**
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **49**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Construção do primeiro módulo aeropônico experimental: armação em madeira (A), paredes de isopor (B), revestimento com lona e linhas de aspersão (C) e visão geral do módulo (D), Guarapuava-PR, 2018. 12

Figura 2 – Transplantio das mudas (A), crescimento das plantas aos 28 dias após o transplantio (B), aspecto da parte subterrânea aos 64 dias após o transplantio (C) e produção de minitubérculos aos 85 dias após o transplantio (D), de plantas de batata cultivar Ágata, em sistema aeropônico, Guarapuava-PR, 2018..... 15

Figura 3 – Bandeja contendo os tubérculos da primeira colheita aos 50 dias após o transplantio (A), BOD utilizada no experimento (B), e avaliação da taxa de superação de dormência dos tubérculos (C), Guarapuava-PR, 2018..... 18

Figura 4 – Novo sistema aeropônico construído: módulos aeropônicos (A) e vista superior do esquema de ligação com os tanques de solução (B), Guarapuava-PR, 2018. 19

Figura 5 – Transplantio das mudas para os módulos aeropônicos (A), condução das plantas aos 45 DAT (B), e aspecto da parte subterrânea da cv. Ágata (D) e Atlantic (E) aos 45 DAT, Guarapuava-PR, 2018/19. 20

Figura 6 – Desenvolvimento de plantas de batata cv. Ágata (A) e Atlantic (B) aos 31 dias após o transplantio em aeroponia, Guarapuava-PR, 2018. 23

Figura 7 – Número de hastes por planta (A) e por área (B), número de folhas por planta (C) e por área (D), comprimento de haste principal (E) e comprimento máximo de raízes (F) de plantas de batata cultivar Ágata cultivadas em diferentes densidades de plantio em sistema aeropônico, aos 70 dias após o transplantio, Guarapuava – PR, 2018..... 25

Figura 8 – Número de estolões por planta (A) e por área (B), número de tubérculos iniciados por planta (C) e por área (D) de plantas de batata cultivar Ágata cultivadas em diferentes densidades de plantio em sistema aeropônico, aos 70 dias após o transplantio, Guarapuava - PR..... 26

Figura 9 – Número de tubérculos por planta e por área (A e B), e massa de tubérculos por planta e por área (C e D), em 7 colheitas de plantas de batata cultivar Ágata cultivadas em diferentes densidades em sistema aeropônico, Guarapuava – PR. 27

Figura 10 – Número total de tubérculos por planta e por área (A e B), e massa total de tubérculos por planta e por área (C e D), e massa média de tubérculos colhidos (E) de plantas de batata cultivar Ágata cultivadas em diferentes densidades em sistema aeropônico, aos 92 dias após o transplantio, Guarapuava – PR. 28

Figura 11 – Porcentagem de superação de dormência de tubérculos provenientes de três datas de colheita (50, 64 e 78 dias após o transplantio), em três datas de avaliação: 126, 140 e 147 dias após o transplantio, a partir de produção em sistema aeropônico, Guarapuava-PR, 2018. 31

Figura 12 – Temperatura, fotoperíodo e insolação médios durante o ciclo de cultivo do experimento, Guarapuava-PR, 2018/19. 32

Figura 13 – Número de nós da haste primária (NN_1, A), comprimento de haste principal (CHP, B) e diâmetro de haste principal (DHP, C) aos 31 dias após o transplantio; e número de hastes planta^{-1} (NH, D), número de nós das hastes secundárias (NN_2, E) e diâmetro de haste principal (DHP, F) aos 45 dias após o transplantio, obtidos de plantas de batata das cultivares Ágata e Atlantic em sistema aeropônico, Guarapuava-PR, 2019. 35

Figura 14 – Desdobramento da ANOVA sobre o número de estolões primários planta^{-1} (NE_1) em plantas das cultivares Ágata e Atlantic cultivadas sob diferentes regimes de aspersão em sistema aeropônico, aos 31 dias após o transplantio, Guarapuava-PR, 2019..... 37

Figura 15 – Número de estolões secundários (NE_2), porcentagem de tuberização (T), número de tubérculos iniciados (NTI), número de tubérculos formados maiores que 5 mm (NT_5) de plantas de batata de duas cultivares submetidas a quatro regimes de aspersão em sistema aeropônico aos 31 dias após o transplantio, Guarapuava-PR, 2019. 38

Figura 16 – Porcentagem de tuberização (T), número de tubérculos iniciados por planta (NTI), número de tubérculos formados maiores que 5 mm (NT_5), avaliados de plantas de batata de duas cultivares submetidas a quatro tempos de aspersão em sistema aeropônico aos 45 dias após o transplantio, Guarapuava-PR, 2019. 39

Figura 17 – Número de estolões primários (NE_1), porcentagem de tuberização (T), número de tubérculos iniciados (NTI), número de tubérculos formados maiores que 5 mm (NT_5), avaliados de plantas de batata de duas cultivares submetidas a quatro tempos de aspersão em sistema aeropônico aos 73 dias após o transplantio, Guarapuava-PR, 2019..... 40

Figura 18 – Número de estolões primários (NE_1), número de estolões secundários (NE_2), número de tubérculos iniciados (NTI), número de tubérculos formados maiores que 5 mm (NT_5), avaliados de plantas de batata de duas cultivares submetidas a quatro tempos de aspersão em sistema aeropônico aos 87 dias após o transplantio, Guarapuava-PR, 2019..... 41

Figura 19 – Número total de tubérculos planta^{-1} (A), e massa média de tubérculo (B) obtidos aos 119 dias após o transplantio nas cultivares Ágata e Atlantic sob diferentes tempos de aspersão em sistema aeropônico, Guarapuava-PR, 2019..... 43

Figura 20 – Massa média de tubérculo obtida aos 119 dias após o transplantio em função de diferentes tempos de aspersão em duas cultivares de batata em sistema aeropônico, Guarapuava-PR, 2019. 44

Figura 21 – Número de tubérculos colhidos planta^{-1} por colheita das cultivares Ágata e Atlantic em sistema aeropônico, Guarapuava-PR, 2019..... 46

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Tempos e intervalos de aspersão utilizados em alguns trabalhos com aeroponia de batata disponíveis na literatura. 9

Quadro 2 – Regimes de aspersão utilizados no experimento 3. 21

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Teores dos nutrientes na solução de cultivo utilizada, Guarapuava-PR, 2019..... 13

Tabela 2 – Valor *p* da análise de variância (ANOVA) para a porcentagem superação de dormência de tubérculos colhidos em diferentes datas de colheita (50, 64 e 78 dias após o transplantio) e densidades de plantio (60, 90, 120, 150 e 180 plantas m^{-2}) em três datas de avaliação: 126, 140 e 147 dias após o transplantio, Guarapuava-PR, 2018..... 30

Tabela 3 – Resultado da análise de variância e média geral dos caracteres número de hastes (NH), número de nós da haste primária (NN_1), número de nós das hastes secundárias (NN_2), número de nós total (NoT), comprimento e diâmetro de haste principal (CHP e DHP, respectivamente), índice de clorofila A (CA) e B (CB), avaliados de plantas de batata de duas cultivares submetidas a quatro regimes de aspersão em sistema aeropônico aos 31 e 45 dias após o transplantio, Guarapuava-PR, 2019. 33

Tabela 4 – Resultado da análise de variância e média dos caracteres número de estolões primários (NE_1), número de estolões secundários (NE_2), porcentagem de tuberização (T), número de tubérculos iniciados (NTI), número de tubérculos formados maiores que 5 mm (NT_5), avaliados de plantas de batata de duas cultivares submetidas a quatro regimes de aspersão em sistema aeropônico aos 31, 45, 73 e 87 dias após o transplantio, Guarapuava-PR, 2019..... 36

Tabela 5 – Resultado da análise de variância (ANOVA) e média das variáveis o número total de tubérculos planta^{-1} (NTTP), massa total de tubérculos planta^{-1} (MTTP) e massa média de tubérculos (MM), obtidos até os 119 dias após o transplantio (DAT), para duas cultivares de batata sob quatro tempos de aspersão em sistema aeropônico, Guarapuava-PR, 2018..... 43

Tabela 6 – Número (NTTP) e massa (MTTP) total de tubérculos planta^{-1} e massa média (MM) de tubérculo de duas cultivares de batata submetidas a quatro tempos de aspersão em sistema aeropônico, aos 119 dias após o transplantio, Guarapuava-PR, 2019..... 44

RESUMO

Leonardo Balena. **Produção de minitubérculos de batata (*Solanum tuberosum* L.) por aeroponia:** densidade de plantio, dormência de minitubérculos, regimes de aspersão e cultivares. Guarapuava: UNICENTRO, 2019. 53 f. (Dissertação - Mestrado em Produção Vegetal).

Um dos maiores custos de uma lavoura de batata é a sua semente. A produção de batata semente por aeroponia pode reduzir esse custo. O objetivo deste trabalho foi testar o efeito do manejo do sistema aeropônico no desempenho e na produção de tubérculos-semente de batata. O primeiro sistema aeropônico foi construído de fevereiro a março de 2018, visando avaliar a densidade ideal de cultivo da cv. Ágata em aeroponia na safra de outono em Guarapuava. Há aumento da produtividade da cv. Ágata com o aumento da densidade de plantas até 180 plantas m^{-2}, por haver melhora na interceptação luminosa e repartição dos fotoassimilados. Os tubérculos-semente desse experimento foram alocados em câmara BOD a 23 °C na ausência de luz, a fim de conhecer o efeito da data de colheita e densidade de cultivo em aeroponia sobre a dormência de tubérculos-semente. Constatou-se que a dormência de tubérculos-semente varia conforme a data de colheita, mas não conforme as densidades de cultivo, de forma que tubérculos colhidos primeiro têm período de dormência maior que aqueles colhidos tardiamente. De agosto a novembro de 2018 foi construído um segundo sistema aeropônico experimental, visando avaliar o efeito de diferentes tempos de aspersão sobre as cultivares Ágata e Atlantic na safra de verão. Os tempos de aspersão avaliados foram: 30 segundos de aspersão com intervalos de 10 minutos; 30 segundos de aspersão com intervalos de 3 minutos; 3 minutos de aspersão com intervalos de 10 minutos; e 3 minutos de aspersão com intervalos de 3 minutos. O experimento foi delineado em blocos casualizados em esquema de parcela sub-dividida com três repetições. ‘Ágata’ teve taxa de multiplicação 57% maior e massa média de tubérculo 27% menor que ‘Atlantic’. Não houve diferença entre os tempos de aspersão, sendo mais recomendado para o sistema aeropônico aquele de menor uso d’água (30 segundos e intervalos de 10 minutos). Conclui-se que o aumento da densidade de plantas até 180 plantas m^{-2} aumenta a produtividade da cv. Ágata em aeroponia na safra de outono, que os minitubérculos de colheitas tardias possuem menor período de dormência, que diferentes cultivares necessitam práticas diferenciadas de manejo, e que o menor tempo de aspersão é mais adequado ao cultivo nesse sistema.

Palavras-chave: batata-semente; cultivo protegido; taxa de multiplicação; tubérculo-semente.

ABSTRACT

Leonardo Balena. **Potato minituber (*Solanum tuberosum* L.) production in Aeroponics:** cultivar, planting density, tuber dormancy and aspersion regimes. Guarapuava: UNICENTRO, 2019. 53 s. (Dissertation – Master's Degree in Crop Science).

One of the major costs of a potato crop is its seed-tubers. The production of potato seeds through Aeroponics can reduce that cost. The goal of this work was to build and improve an experimental Aeroponic system for the production of potato seed-tubers and to evaluate the effect of planting density, aspersion regimes, cultivars and the dormancy of tubers obtained from this system. The first experimental Aeroponic system was built from February to March of 2018, aiming to evaluate the ideal plant density of cv. Ágata in the autumn season in Aeroponics. There is an increase on the yield of cv. Ágata to the increment of plant density up to 180 plants m^{-2}, due to better light interception and allocation of photassimilates. The seed-tubers from this experiment were allocated in a BOD chamber at 23° C in absence of light, aiming to understand the effect of the picking date and planting density in Aeroponics, on the dormancy of seed-tubers. It was concluded that the dormancy of seed-tubers varies in response to picking dates, but does not vary in response to planting densities, so that early harvested tubers have a longer dormancy period than those harvested later. The second experimental Aeroponic system was built from August to November of 2018, aiming to evaluate the effect of different aspersion regimes on cultivars Ágata and Atlantic. Four aspersion regimes were evaluated: 30 seconds of aspersion with 10-minute intervals; 30 seconds of aspersion with 3-minute intervals; 3 minutes of aspersion with 10-minute intervals; 3 minutes of aspersion with 3-minute intervals. The experiment was held in a randomized block design, in a split plot scheme with three repetitions. 'Ágata' had 57% higher multiplication rate and 27% lower average tuber mass than 'Atlantic'. There was no difference among aspersion regimes, making the one with the lowest water usage (30 seconds and 10 minute intervals) more suited for the aeroponic system. It was concluded that the increase of plant density up to 180 plants m^{-2} increases the yield of cv. Ágata in the autumn crop, that the minitubers of late pickings have a shorter dormancy period, that different cultivars need different management practices, and that the shorter aspersion regime is more adequate for cultivation in this system.

Keywords: multiplication rate; potato seed; protected crop; tuber seed.

1. INTRODUÇÃO

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é a terceira cultura de maior importância na alimentação humana. Em 2016 foram produzidas 377 milhões de toneladas dessa cultura no mundo (FAO, 2018). Os maiores produtores mundiais são China, Índia e Rússia, com produções de 99, 44 e 31 milhões de toneladas em 2016, respectivamente (FAO, 2018). O Brasil figura em 20º colocado nessa lista, com produção próxima a 1% do total mundial: 3,85 milhões de toneladas em 2016 (FAO, 2018).

Dentre os estados brasileiros, em 2018, Minas Gerais foi o maior produtor de batata, responsável por aproximadamente 32% da produção nacional; São Paulo o segundo, com 23% da produção; e Paraná o terceiro, com 20% (IBGE – LSPA, 2018). De acordo com a Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (SEAB, 2017), no Paraná em 2017, foram plantados 34 mil hectares de batata, nos quais foram produzidas 930.075 t, correspondentes a um valor bruto de produção de 1,4 bilhão de reais. Dentro do estado o núcleo regional de Guarapuava é o segundo maior produtor da cultura, com 27% do total (SEAB, 2017).

A produção de tubérculos-semente de batata em países de clima temperado é facilitada, pois nesses países o inverno rigoroso diminui drasticamente a população de insetos vetores de doenças, o que não acontece em países tropicais. Além disso, o inverno rigoroso faz com que os cultivos de batata sejam mais espaçados no tempo, diminuindo o potencial de infestação de outras pragas e patógenos (LOON, 2007). A exemplo disso, Holanda, França e Estados Unidos são os maiores exportadores de tubérculos-semente do mundo, com 57, 11 e 9,2% do mercado, respectivamente (OEC, 2018).

Países das regiões tropical e subtropical do planeta (como o Brasil), encontram maiores dificuldades na produção de tubérculos-semente de batata categoria ‘básica’ por conta do clima propício à propagação de vetores e doenças que aceleram a degenerescência do tubérculo-semente produzido (MUTHONI et al., 2013; FAO, 2008). Por essas razões, produtores nesses países devem importar tubérculos-semente de países com clima mais favorável para a sua produção ou procurar formas alternativas de propagá-los (principalmente de gerações iniciais), especialmente no cultivo em casa de vegetação.

Com o advento da micropropagação, na década de 1980, grande parte dos tubérculos-semente de batata começaram a ser produzidos em território nacional, reduzindo a importação (PEREIRA, 2011). Um dos primeiros relatos científicos da cultura de meristemas de batata é feito por Chapman (1955). No entanto, a técnica de produção de material livre de vírus só se

difundiu plenamente na década de 1990 (JONES, 1988).

Uma das formas mais eficazes em multiplicar tubérculos-semente de batata de primeiras gerações é a aeroponia, sistema que permite o escalonamento e padronização dos tubérculos colhidos, e é capaz de propiciar taxas de multiplicação por safra muito maiores que em outros sistemas como o cultivo em vasos e em hidroponia (FACTOR et al., 2007; MATEUS-RODRIGUEZ et al., 2013). Assim, o estudo dessa técnica visando adaptar o seu uso à região, ou aperfeiçoá-la, é de grande importância para a cadeia produtora de batata de países localizados na região tropical, como o Brasil.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Testar o efeito do manejo do sistema aeropônico no desempenho e na produção de tubérculos-semente de batata.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir e aperfeiçoar um sistema aeropônico experimental para produção de batatas-semente na Unicentro.
- Avaliar o efeito da densidade de plantas sobre o crescimento e a produtividade de plantas de batata cv. Ágata em sistema aeropônico na safra de outono.
- Verificar o efeito da data de colheita e da densidade de plantas sobre o período de dormência de tubérculos-semente produzidos em sistema aeropônico.
- Avaliar o efeito de diferentes tempos e intervalos de aspersão sobre o crescimento e produtividade de plantas de batata das cvs. Ágata e Atlantic na safra de verão em sistema aeropônico.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. ORIGEM E PROPAGAÇÃO

Originada na região Andina do Peru, próximo ao lago Titicaca, a batata foi descoberta por expedicionários espanhóis e levada à Europa no século XVI (HAWKES e FRANCISCO-ORTEGA, 1993), continente a partir do qual se difundiu para tornar-se parte do cardápio de várias nações. A própria vinda ao Brasil pode ser atribuída à difusão realizada pelos povos Europeus, uma vez que o consumo dos tubérculos no país se deu por exigência dos engenheiros ingleses que participaram na construção das ferrovias brasileiras (FAO, 2008; PEREIRA, 2011).

A planta de batata é uma solanácea, eudicotiledônea, de constituição genética autotetraploide (2n=4x=48), atribuída a uma duplicação no genoma da espécie em alguma fase de seu processo evolutivo. As folhas de batata são compostas, as hastes semi-eretas e as raízes fasciculadas quando propagadas de forma assexuada, ou pivotantes quando propagadas por reprodução sexuada (GOPAL e KHURANA, 2006).

A batata pode ser propagada por reprodução sexuada, quando há troca de gametas entre as flores de diferentes plantas no campo, produzindo frutos e as chamadas sementes verdadeiras de batata 'TPS'. Essa forma de propagação acontece menos frequentemente, devido à alta incompatibilidade gametofítica e à baixa capacidade de produção e sustentação de frutos das cultivares comerciais utilizadas atualmente (BRADSHAW, 2007). É mais comumente utilizada em programas de melhoramento genético, mas também é vista como possível fonte de material propagativo em países tropicais nos quais a disponibilidade de tubérculos-semente é baixa e essas apresentam possibilidade de acúmulo de doenças com o avançar de gerações (MUTHONI et al., 2013).

A propagação assexuada por tubérculos confere o *status* de planta perene à batata quando em condições naturais, isto porque uma mesma planta pode se regenerar por vários ciclos devido à dormência e germinação de seus tubérculos que ficam no interior dos solos. Essa forma de propagação facilita o trabalho dos melhoristas dessa cultura, uma vez que o ganho genético obtido de um cruzamento é imediatamente fixado pela propagação do material vegetativo (PEREIRA, 2016).

No entanto, a propagação assexuada reflete um problema para o cultivo no campo. Várias doenças da batateira – causadas por vírus, bactérias ou fungos – são transmitidas de geração em geração via tubérculos. Com o cultivo subsequente desses tubérculos no campo, a

tendência é que estas doenças se acumulem e comprometam expressivamente a produção, num processo chamado de degenerescência (DANIELS, 2002).

Outro entrave é que a propagação assexuada resulta em baixa taxa de multiplicação por tubérculo-semente, sendo assim, um produtor deve separar boa parte de sua produção para servir de tubérculo-semente no próximo ciclo de cultivo.

3.2. CULTURA DE TECIDOS

Como os vírus que atacam a cultura conseguem disseminar-se através dos tubérculos-semente (meio de propagação comercial da cultura), batatas cultivadas a campo podem apresentar altos níveis de degenerescência com o passar dos anos, por isto a técnica da micropropagação é essencial na obtenção de tubérculos-semente livres de vírus (MILLAM e SHARMA, 2007).

A cultura de meristemas apicais é uma técnica de produção de microtubérculos livres de vírus na qual se retira uma fração mínima de tecido dos brotos de forma asséptica, dentro de câmara de fluxo; o tecido retirado é então colocado em frascos contendo meio de cultura com uma concentração ótima de vitaminas e sais (MURASHIGE e SKOOG, 1962; PEREIRA e FORTES, 2004). Diferentes teorias são levantadas acerca da razão pela qual o cultivo dessa região da planta não leva à propagação de vírus. Acredita-se que o alto conteúdo de auxinas nestes tecidos iniba a replicação de vírus, mas é também possível que devido à alta taxa de replicação das células desses tecidos não haja a formação de sistema vascular nessas estruturas, impedindo a infecção por vírus (MILLAM e SHARMA, 2007).

Um dos maiores problemas da propagação em cultura de tecidos é a fragilidade das plântulas ao processo de aclimatação (transplante à casa de vegetação). No cultivo em meio de cultura, a alta disponibilidade de açúcares e sais às raízes permite o desenvolvimento das plântulas de forma quase heterotrófica. Além disso, a luminosidade sob a qual as plântulas são cultivadas é muito menor do que a luminosidade encontrada em ambiente exterior, a entrada de CO_2 nos frascos (substrato para a fotossíntese) é restringida e a umidade relativa dos frascos fica em torno de 80%. Por isso, as plântulas produzidas na forma convencional desse sistema, têm baixo conteúdo de clorofilas, baixa atividade dos fotossistemas II e I, estômatos deformados, pouca deposição de cera e são incapazes de impedir a saída de água da plântula (HAZARIKA, 2006).

Para melhorar a estrutura morfológica das plântulas e adaptá-las previamente ao transplantio pode-se utilizar o cultivo fotomixotrófico ou autotrófico dos explantes. Nessa

técnica, o uso de membranas permeáveis à troca gasosa entre o meio externo e o interno para fechar os frascos pode aumentar o nível de CO_2 disponível e diminuir a umidade relativa no interior dos frascos (HAZARIKA, 2006). Mohamed e Alsadon (2010) observaram que a ventilação dos frascos na cultura de plântulas de batata diminui a densidade de estômatos e melhora sua morfologia, melhora a organização dos tecidos vasculares além de aumentar a matéria seca das plântulas, aumentando seu vigor.

3.3. MÉTODOS DE PRODUÇÃO DE TUBÉRCULOS-SEMENTE

Vários métodos de propagação de tubérculos-semente de batata já foram desenvolvidos a fim de evitar a infecção por doenças que ocorre no cultivo convencional a campo. Desses, o método mais simples é o cultivo em vasos contendo substrato (CORRÊA et al., 2008; SOUZA et al., 2012). Esse sistema é feito em cultivo protegido, e, por isso, protege as plântulas da infecção por patógenos do meio exterior. No entanto, o crescimento e a taxa de multiplicação das plantas podem ser limitados pelo volume dos vasos (CORRÊA et al., 2007; 2008). Outro sistema de cultivo similar, em canteiros, diminui o efeito limitante ao crescimento apresentado pelo cultivo em vasos, porém, assim como o sistema em vasos, não permite ou dificulta o escalonamento da colheita de tubérculos, diminuindo a taxa de multiplicação (CORRÊA et al., 2008).

Outro método que utiliza substrato ou solo como meio para a propagação é a multiplicação por brotos. Esse sistema consiste em estimular a brotação de batatas-semente G0, destacar os brotos e cultivá-los em substrato. Por causa da grande quantidade de brotos que um único tubérculo gera, esse sistema permite elevada taxa de multiplicação (VIRMOND et al., 2017).

O sistema hidropônico *Nutrient Film Technique* (NFT) em telhas de fibrocimento revestidas descrito por Medeiros et al. (2002) é eficaz na multiplicação de tubérculos-semente de gerações G0 e G1, por ter elevada taxa de multiplicação e poder ser realizado em mais de uma safra nas condições climáticas brasileiras (MATEUS-RODRIGUEZ et al., 2013). O sistema de cultivo em calhas também é um sistema NFT que, por sua vez, permite o escalonamento da colheita de tubérculos através da abertura periódica das calhas, elevando a taxa de multiplicação por planta e permitindo a padronização do tamanho dos tubérculos. No entanto, a população de plantas e a área útil da casa de vegetação nesse sistema são baixas, diminuindo a produção por área de cultivo protegido (MEDEIROS et al., 2002).

No cultivo *Deep Flow Technique* (DFT), parte das raízes das plantas de batata ficam

em contato direto com a solução nutritiva durante todo o ciclo, sem recirculação, mas apenas aeração da solução (FACTOR et al., 2007). No passado, autores chegaram a declarar que nesse sistema a tuberização das plantas de batata poderia não ocorrer até o momento em que as raízes ocupassem todo o volume da caixa contendo solução ou passassem por alguma forma de estresse, sendo o mesmo observado no cultivo aeropônico (TIBBITS e CAO, 1994; WAN et al., 1994). No entanto, trabalhos mais recentes já documentam a produção de forma eficiente de tubérculos-semente no sistema DFT, colocando esta técnica atrás apenas da aeroponia (FACTOR et al., 2007).

3.4. AEROPONIA

No sistema aeropônico de cultivo, as plantas de batata são dispostas sobre um módulo - caixa com paredes de PVC, isopor revestido por lona, ou mesmo alvenaria - no interior do qual suas raízes recebem aspersões intermitentes com solução nutritiva (FACTOR, 2007; ANDRADE-PIEDRA et al., 2015; CALORI et al., 2017). A parte aérea cresce sobre esse módulo, conduzida de forma ereta ou não, em ambiente protegido (MATEUS-RODRIGUEZ et al., 2013). A abertura de janelas laterais nos módulos onde crescem as raízes, estolões e tubérculos permite a colheita escalonada, redirecionando fotoassimilados aos tubérculos mais novos, preconizando a taxa de multiplicação sobre o ganho de massa dos tubérculos (ANDRADE-PIEDRA et al., 2015).

A aeroponia, apesar de demandar grande especialização e conhecimento técnico dos seus executores, é o método que propicia a maior taxa de multiplicação na produção de tubérculos-semente G0, a partir de plântulas advindas da cultura de meristemas, em uma única safra (MATEUS-RODRIGUEZ et al., 2013). As primeiras pesquisas desenvolvidas com a produção de batata por esse método foram realizadas por encomenda da agência espacial americana (NASA) (TIBBITS e CAO, 1994), nas quais concluiu-se que a aeroponia não seria útil na produção de batata pelo fato das plantas não apresentarem tuberização a menos que alguma forma de estresse fosse aplicada sobre elas. No entanto, nos anos seguintes trabalhos usando essa técnica na produção de tubérculos-semente foram conduzidos na Coréia do Sul, comparando-a com outras técnicas de hidroponia, avaliando o efeito de teores de nitrogênio e de intervalos de colheita (KANG et al., 1996a; KANG et al., 1996b; KIM et al., 1997).

A elevada capacidade de produção do sistema já foi registrada posteriormente também em países da América Latina (ANDRADE-PIEDRA et al., 2015), na própria Coréia do Sul

(CHANG et al., 2016), Estados Unidos (FARRAN e MINGO-CASTEL, 2006), Canadá (ORABY et al., 2015), Polônia (RYKACZEWSKA, 2016a), entre outros.

O Centro Internacional de la Papa – CIP (Lima, Peru) há vários anos vem investindo na pesquisa e divulgação do sistema aeropônico de baixo custo desenvolvido por eles, como forma de produção de batatas-semente de alta qualidade em países tropicais (OTAZÚ, 2010; ANDRADE-PIEDRA et al., 2015).

3.4.1. Trabalhos recentes

Factor et al. (2007), investigando diferentes tipos de sistemas hidropônicos para o cultivo de tubérculos-semente de batata, concluíram que o sistema aeropônico propicia taxas de multiplicação aproximadamente duas e quatro vezes maiores que os sistemas hidropônicos DFT e NFT em calhas, respectivamente. Os autores também concluíram que a maior produtividade do sistema aeropônico pode ser atribuída à possibilidade de se utilizar populações de plantas maiores nesse sistema em comparação aos sistemas DFT e NFT.

A alta temperatura da solução pode inibir a tuberização e prolongar o período vegetativo das plantas e, portanto, o manejo da temperatura de solução é crucial nesse sistema de cultivo (ORABY et al., 2015). Segundo estes mesmos autores a redução da temperatura de solução aumentou a produtividade do sistema aeropônico. Dentre as formas de desencadear a tuberização das plantas, deve ser dado preferência à diminuição breve no teor de nitrogênio (N) da solução (ORABY et al., 2015; CHANG et al., 2016), uma vez que outras técnicas como a promoção de déficit hídrico e redução do pH levam a quedas na produtividade da cultura (ORABY et al., 2015). Além disso, a manutenção de níveis constantes de N promove a manutenção do estádio vegetativo das plantas (FARRAN e MINGO-CASTEL, 2006; ORABY et al., 2015). No entanto, outros autores argumentam que, dependendo das condições climáticas, a supressão de N pode não ser necessária para promover a tuberização, e, se for realizada de forma prolongada, pode promover a senescência precoce das plantas (CHANG et al., 2016).

3.4.2. Densidade de plantas em aeroponia

Calori et al. (2017) observaram que as cvs. ‘Ágata’ e ‘Asterix’ respondem positivamente ao aumento na população de plantas, de 25 para 100 plantas m^{-2}, em sistema de cultivo não conduzido. Concluíram também que a condutividade elétrica ideal da solução

nutritiva proposta por Factor (2007) varia entre 2,1 e 2,2 dS m^{-1}. Já Farran e Mingo-Castel (2006), trabalhando com a cv. 'Zorba' conduzida, obtiveram resposta produtiva contrária, ou seja, a menor população de plantas (60 plantas m^{-2}) foi mais produtiva do que a maior população (100 plantas m^{-2}), quando colhida em intervalos de uma semana. Esses resultados sugerem que pode haver interação entre a densidade de plantas e o local de cultivo, necessitando estudos para definir a melhor densidade em cada local.

3.4.3. Fisiologia e dormência de minitubérculos

Outro aspecto prático da produção aeropônica envolvendo a fisiologia de minitubérculos é o armazenamento e a quebra da dormência de minitubérculos, produzidos em diferentes datas de colheita no sistema aeropônico. Minitubérculos colhidos em datas diferentes possuem idades fisiológicas diferentes e variam quanto à sua produtividade a campo (RYKACZEWSKA, 2016b). Sendo assim, é possível que haja variação quanto ao período de dormência dos tubérculos-semente colhidos em datas diferentes, trazendo consequências ao manejo.

3.4.4. Regimes de aspersão

Dentre os fatores que ainda precisam ser investigados na aeroponia está o efeito de tempos e intervalos de aspersão, sendo que vários são os regimes adotados (Quadro 1). O efeito do regime de aspersão a sobre a produtividade não é, a princípio, determinante, uma vez que todos os trabalhos citados obtiveram boas taxas de multiplicação de minitubérculos.

Quadro 1 – Tempos e intervalos de aspersão utilizados em alguns trabalhos com aeroponia de batata disponíveis na literatura.

Aspersão	Intervalo	Autor e local
3 seg	10 min	(RITTER et al., 2001; Espanha)
15 seg	1 min	(FACTOR, 2007; Brasil)
20 seg	5 min	(CHANG et al., 2016; Coréia do Sul)
20 seg	10 min	(FARRAN e MINGO-CASTEL, 2006; Espanha)
3 min	6 min	(ORABY et al., 2015; Canadá)
15 min	15 min	(OTAZÚ, 2010; Peru)

seg: segundos; min: minutos

O excesso de tempo na aspersão, comumente observado em sistemas aeropônicos, pode diminuir o desenvolvimento de raízes adventícias nas plantas, restringindo um dos grandes benefícios da aeroponia, a aeração das raízes (GAO, 2017). Da mesma forma, o estresse hídrico causado por uma aspersão insuficiente pode limitar o desenvolvimento da planta. Aspersões de 30 segundos com intervalos de 30, 40 e 50 minutos reduziram a produtividade de plantas de batata em sistema aeropônico quando comparadas ao intervalo de 20 minutos (TSHISOLA, 2014).

O intervalo e o tempo de aspersão não são definidos por um critério determinado, e podem estar sujeitos à interação com o local e as cultivares utilizadas, sendo necessária a condução de estudos para conhecer melhor essa variável.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. LOCAL DOS EXPERIMENTOS

Os experimentos foram desenvolvidos na casa de vegetação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA) da Universidade Estadual do Centro-Oeste – Unicentro, no campus Cedeteg, em Guarapuava, Paraná. A casa de vegetação possui sistema de controle de temperatura composto por ventilador, painel de resfriamento evaporativo, aquecedor elétrico e tela de sombreamento termo refletora, que também possibilita controle parcial da luminosidade.

A área fica nas coordenadas geográficas 25.38° S, 51.49° O, a 1.120 m de altitude acima do nível do mar (GOOGLE, 2018). O clima da região é classificado como Cfb (clima temperado, com verão ameno), segundo a classificação de Köppen, de temperatura média anual entre 18 e 19 °C (IAPAR, 2018).

4.2. EFEITO DA DENSIDADE DE CULTIVO SOBRE O CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE PLANTAS DE BATATA EM AEROPONIA

4.2.1. Construção do sistema

A construção do sistema teve início no dia 20 de janeiro de 2018 e término ao final de fevereiro do mesmo ano. A estrutura do módulo, medindo 5,00 x 1,15 x 0,75 m (A x L x H, Figura 1A) foi feita utilizando madeira de Pinus bruta impermeabilizada com tinta esmalte (Sulvinil® Esmalte Premium). As paredes laterais e inferior foram feitas utilizando placas de poliestireno expandido (EPS) de baixa densidade e 4 cm de espessura. Nas placas de EPS foram feitas janelas medindo 0,5 m de largura por 0,4 m de altura a fim permitir a colheita escalonada dos tubérculos-semente (Figura 1B).

O interior do módulo foi revestido com lona preta para silos de 200 μm para permitir o escoamento da solução, e, nas janelas, um segundo retalho de lona foi adicionado visando vedá-las duplamente, inibindo a passagem de luz (Figura 1C). Segmentos de lona dupla face branca e preta para silos de 200 μm também foram utilizados como vedação externa às janelas. Um ralo foi colocado na chapa inferior de EPS na posição mais próxima ao tanque de solução, permitindo o escoamento da solução nutritiva de volta para o tanque.

Dentro do módulo a aspersão se deu por microaspersores da marca NaanDanJain, modelo Fogger bocal laranja (Q=14L/Hr., pressão de serviço de 45 mca), instalados diretamente em perfurações espaçadas de 0,30 m em dois canos PVC branco de ½ polegada

separados por 0,40 m um do outro e 0,35 m da lateral do módulo (Figura 1C). Como reservatório de solução nutritiva foi utilizado um cesto plástico de 97 litros. Para bombear a solução para dentro do módulo contendo as raízes foi utilizada primeiramente uma bomba de pressurização periférica, (SeaFLO SFWP1-050-070-51, Figura 1D). Com a falha da primeira bomba, essa foi substituída por uma bomba submersa vibratória (Anauger® 800).

O acionamento do sistema foi controlado utilizando um relé de tempo marca Clip® modelo CLC, que permite o controle de ambos os tempos com e sem aspersão. Um temporizador analógico diário controlou o acionamento do relé de tempo, permitindo assim o desligamento do sistema durante a noite (das 19:00 às 7:00 horas), período durante o qual o sistema foi ativado por 15 minutos a cada 2 horas.

Um filtro UVC (CleanJump 8w) foi incorporado ao sistema com a finalidade de eliminar microrganismos que pudessem gerar contaminação. Uma bomba de aquário (BOYU SP-500) faz a circulação da solução pela tubulação do filtro, onde uma lâmpada emitindo luz no comprimento de onda na região Ultravioleta-C realiza a esterilização da água.

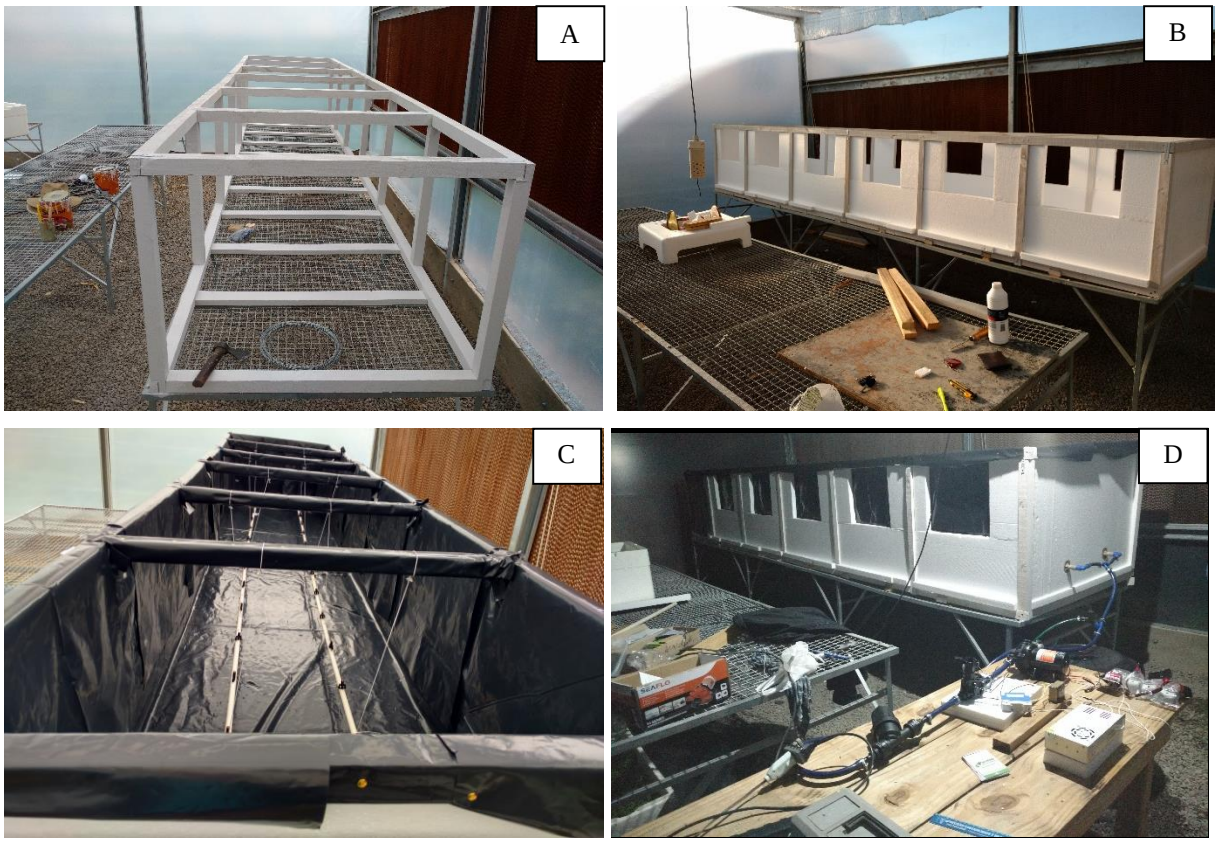

Figura 1 – Construção do primeiro módulo aeropônico experimental: armação em madeira (A), paredes de isopor (B), revestimento com lona e linhas de aspersão (C) e visão geral do módulo (D), Guarapuava-PR, 2018.

4.2.2. Solução nutritiva

O teor de nutrientes da solução nutritiva seguiu o recomendado por Medeiros et al. **(**2002**)** e Factor et al. (2007) com algumas adaptações (Tabela 1). A solução foi preparada utilizando 80 g dos produtos Kristalon Laranja e Nitrato de Cálcio (Yara^{TM}), e 2 g do produto Iper Micro (Van Iperen®) a cada 100 L de água. Para reposição da solução nutritiva foram preparadas três soluções estoque, a primeira contendo macronutrientes, a segunda contendo o nitrato de cálcio e a terceira contendo os micronutrientes, armazenadas em vasilhames plásticos opacos de 2 L. Essa separação se deu para prevenir reações de precipitação entre os íons.

Tabela 1 – Teores dos nutrientes na solução de cultivo utilizada, Guarapuava-PR, 2019.

Nutrientes (g 1000 L^{-1})												
NO_3^-	NH^{4+}	P_2O_5	K_2O	Ca	Mg	S	Cu	B	Fe	Mn	Mo	Zn
160	29,1	96	288	152	41	97	0,5	0,5	2	1	0,09	0,27

4.2.3. Delineamento experimental

A cultivar testada foi a cv. Ágata. Foram testadas 5 densidades de plantio: 60, 90, 120, 150 e 180 plantas m^{-2}, com quatro repetições cada. Ao todo, o experimento contou com 20 parcelas, em um delineamento inteiramente casualizado (DIC). Cada parcela mediu 0,50 por 0,55 m (0,27 m²), totalizando 5,5 m² de área útil.

O espaçamento entre linhas foi mantido em 10 cm para todas as densidades, buscando não bloquear a saída dos aspersores, variando-se apenas o espaçamento entre plantas. Sendo assim, o espaçamento entre plantas foi de 16,7; 11,1; 8,3; 6,7 e 5,6 cm entre plantas, nas densidades de 60, 90, 120, 150 e 180 plantas m^{-2}, respectivamente.

4.2.4. Tratos culturais

As plântulas foram adquiridas da empresa ‘T.O.R Biotecnologia’ filiada à Cooperativa Agrícola União Castrense, que faz a limpeza viral e produção de plântulas pré-básicas de batata em cultura de tecidos. As plântulas vieram aclimatadas em substrato, no qual permaneceram por período de 7 dias antes de serem transplantadas aos módulos aeropônicos.

O transplantio foi feito em 01 de março de 2018. As mudas foram separadas do substrato por imersão em água corrente, colocadas em espuma inerte, e transplantadas para o módulo sob a proteção de uma malha termorefletora. Na face superior dos módulos, para onde foi feito o transplantio das mudas, utilizou-se EPS expandido de maior densidade (T7), envolvido por uma lona preta, perfurado nos locais de plantio com um ferro de solda, onde foram inseridos pequenos pedaços de tubo de polietileno. Sobre esse EPS foi adicionada uma lona dupla face.

Nos primeiros 15 dias de cultivo a condutividade elétrica da solução nutritiva foi mantida em 0,7 dS m^{-1}, e o tempo de aspersão elevado (1 minuto de aspersão com 2 minutos de intervalo) para facilitar o estabelecimento das mudas recém transplantadas. No restante do ciclo o tempo de aspersão foi mantido em 2 minutos com intervalos de 6 minutos, o pH e a condutividade elétrica da solução foram monitorados duas vezes por semana com peagâmetro e condutivímetro de bolso, e mantidos aos níveis de 10^{-6} mol H^{+} L^{-1} e 2,2 dS m^{-1}, respectivamente. Para correção do pH da solução foram utilizadas soluções concentradas de ácido fosfórico, quando em pH básico, e hidróxido de sódio, quando em pH ácido. Para manutenção da condutividade elétrica da solução nutritiva fez-se a reposição dos nutrientes com solução estoque no tanque de solução nutritiva de três em três dias. A solução nutritiva foi substituída de dez em dez dias para manutenção do balanço entre nutrientes. Doenças e pragas foram monitoradas visualmente e, quando necessário, foi adotado o manejo normalmente utilizado por produtores da região.

As colheitas tiveram início logo que as primeiras plantas apresentaram tubérculos maiores que 30 mm, e seguiram sendo realizadas de 7 em 7 dias (FARRAN e MINGO-CASTEL, 2006) até o fim do ciclo. Nessas, os tubérculos com diâmetro maior que 30 mm foram colhidos e separados em sacos de papel kraft para posterior contagem e pesagem. Os tubérculos menores que 30 mm foram deixados nas plantas. Na última colheita os tubérculos de todos os tamanhos foram colhidos, mas apenas os tubérculos maiores que 20 mm foram contabilizados na produtividade total. Tubérculos excisados das plantas não foram contabilizados na produtividade total.

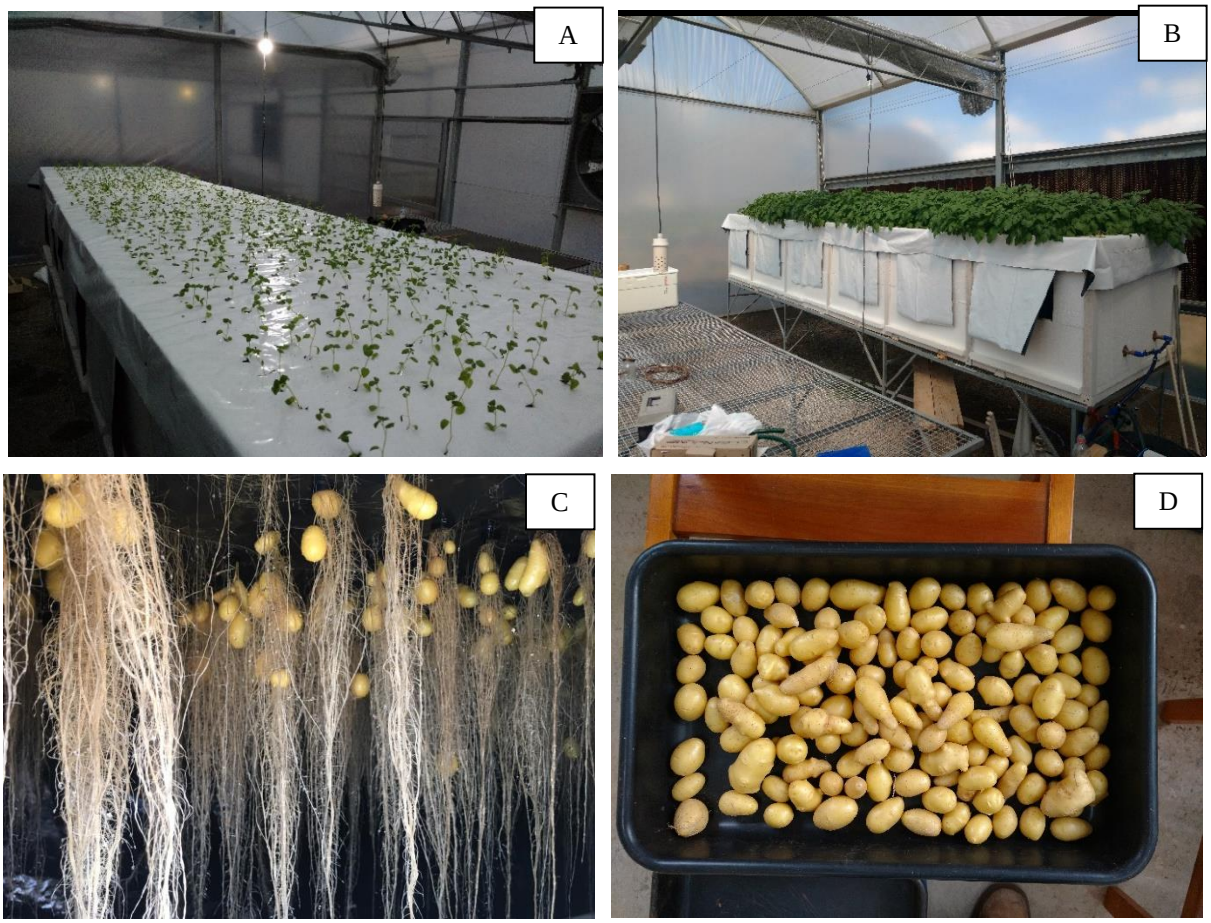

Figura 2 – Transplantio das mudas (A), crescimento das plantas aos 28 dias após o transplantio (B), aspecto da parte subterrânea aos 64 dias após o transplantio (C) e produção de minitubérculos aos 85 dias após o transplantio (D), de plantas de batata cultivar Ágata, em sistema aeropônico, Guarapuava-PR, 2018.

4.2.5. Variáveis analisadas

Aos 70 dias após o transplantio (DAT), as seguintes variáveis foram avaliadas de forma não destrutiva, a partir de três plantas centrais de cada parcela:

a) **Número de folhas por planta:** contagem do número de folhas de cada planta avaliada.
b) **Número de folhas por área:** razão entre o número de folhas por planta e a população de plantas da parcela.
c) **Número de hastes por planta:** contagem do número de hastes de cada planta avaliada.
d) **Número de hastes por área:** razão entre o número de hastes e a população de plantas da parcela.

e) **Comprimento de haste principal:** medida da base da maior haste de cada planta até o seu ápice.

f) **Comprimento de raiz:** medida da base da raiz de cada planta até o seu ápice.

g) **Número de estolões por planta:** número de estolões presentes em cada planta.

h) **Número de estolões por área:** razão entre de estolões por planta e o número de plantas da parcela.

i) **Número de tubérculos iniciados por planta:** número de tubérculos iniciados por planta, menores que 30 mm.

j) **Número de tubérculos iniciados por área:** razão entre o número de tubérculos iniciados por planta e o número de plantas da parcela.

Em cada colheita foram avaliados os seguintes caracteres:

k) **Número de tubérculos por planta:** contagem do número de tubérculos colhidos por planta dividida pelo número de plantas avaliadas na parcela.

l) **Número de tubérculos por área:** razão entre o número de tubérculos por planta e a população de plantas da parcela avaliada.

m) **Massa de tubérculos por planta:** pesagem dos tubérculos colhidos dividido pelo número de plantas avaliadas na parcela.

n) **Massa de tubérculos por área:** razão entre a massa de tubérculos por planta e a população de plantas da parcela avaliada.

o) **Massa média de tubérculos**: razão entre o número e a massa total de tubérculos colhidos.

4.2.6. Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de normalidade. Quando não atendido o pressuposto da normalidade, os dados (número de hastes, folhas, estolões, tubérculos iniciados) foram transformados em $\sqrt{\boldsymbol{x} + \mathbf{0,5}}$. Os dados foram então submetidos à análise de variância (ANOVA) a 5% de probabilidade, e, quando o valor de *p* mostrou-se significativo, foi realizada a análise de regressão linear e quadrática, utilizando o software SISVAR® (FERREIRA, 1998). Escolheu-se o modelo de regressão que obteve o maior ajuste (R^2 ajustado) no teste.

4.3. EFEITO DA DATA DE COLHEITA E DENSIDADE DE PLANTAS SOBRE O PERÍODO DE DORMÊNCIA DE TUBÉRCULOS EM AEROPONIA

A partir dos minitubérculos colhidos no experimento com densidade de plantas em aeroponia, outro experimento foi organizado para conhecer o período de dormência dos minitubérculos, e possíveis diferenças conferidas pelas datas de colheita e densidades de plantas. Os tubérculos obtidos a cada colheita foram alocados em bandejas e separados conforme a densidade de plantas da qual foram colhidos. As bandejas foram mantidas em câmara BOD, a 23 °C, no escuro, a fim de propiciar condições ambiente iguais a todos os tubérculos, até o término do período de dormência. O término do período de dormência foi determinado como a data em que o tubérculo-semente apresentou ao menos um broto com mais que 1 mm de comprimento.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em parcela subdividida, sendo a parcela a data em que a colheita foi realizada (bandeja), e a subparcela constituída pelas densidades de cultivo (60, 90, 120, 150 e 180 plantas m^{-2}). Foram realizadas 3 avaliações: aos 126, 140 e 147 dias após o transplantio (DAT), nas quais foi contabilizado o número de tubérculos que haviam superado a dormência em proporção ao total de tubérculos das parcelas, expresso em porcentagem.

Os resultados obtidos foram transformados em $arc.sen\sqrt{x}$ a fim de se obter distribuição normal e em seguida submetidos à análise de variância (ANOVA) ao nível de significância de 5%. Quando detectadas diferenças significativas, os resultados foram submetidos ao teste de Tukey (data de colheita) ou Regressão (densidade de plantas) linear ou quadrática, optando pelo modelo que obteve maior ajuste aos dados.

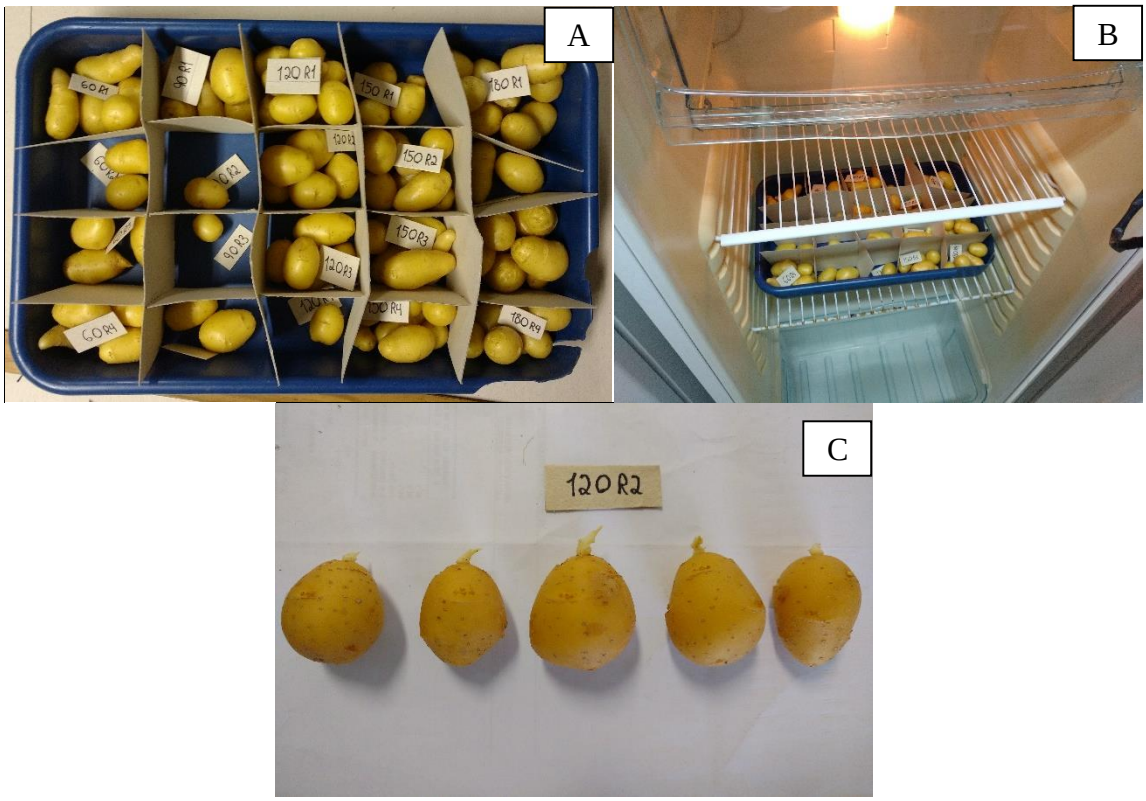

Figura 3 – Bandeja contendo os tubérculos da primeira colheita aos 50 dias após o transplantio (A), BOD utilizada no experimento (B), e avaliação da taxa de superação de dormência dos tubérculos (C), Guarapuava-PR, 2018.

4.4. EFEITO DE REGIMES DE ASPERSÃO SOBRE O CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE BATATA EM AEROPONIA

4.4.1. Construção do sistema

Um novo sistema aeropônico foi construído para realização do experimento com tempos e intervalos de aspersão, no mesmo local do experimento com densidades de plantio. Sua construção começou em julho de 2018 e foi finalizada em outubro do mesmo ano. O novo sistema foi construído aos moldes do primeiro (item 4.2.1), utilizando as recomendações do CIP (ANDRADE-PIEDRA et al., 2015) e as adaptações propostas por Calori et al. (2017).

Doze módulos aeropônicos medindo 1,2 x 1,2 m foram construídos e dispostos quatro a quatro (tratamentos) sobre as três bancadas de aço (blocos) presentes na estufa. Os módulos foram conectados a partir da bancada central através de canos e mangueiras a 4 tanques de solução de 97 litros, sendo cada tanque responsável por alimentar 3 caixas de cultivo, uma em cada bancada. Cada tanque possui uma bomba submersa (Anauger® 900), acionada independentemente por relé de tempo (CLIP® CLC).

Desta forma, tornou-se possível a realização de experimentos casualizados com quatro fatores inerentes à solução de cultivo e/ou à sua distribuição, e a aplicação de mais dois tratamentos dentro de cada módulo de cultivo (ex.: cultivares, neste experimento). Ao total o sistema permite avaliar até 8 tratamentos (4 x 2) com 3 repetições, em parcelas de 0,6 x 1,2 m cada (0,72 m²), totalizando 24 parcelas e área experimental de 17,28 m².

Foram realizadas duas modificações quanto à estrutura do primeiro módulo. Grades de ferro galvanizado passaram a ser utilizadas como suporte para as plantas, como substitutas para as chapas de isopor T7.

Constatou-se também que a disposição dos aspersores de forma concentrada em duas linhas centrais não foi eficaz em fornecer água a todas as plantas da caixa, por isso neste segundo sistema optou-se por instalar cinco linhas de aspersores, divididas em duas camadas: três linhas a 0,20 m de altura da base do módulo, espaçadas 0,40 m entre si e 0,15 m das laterais da caixa; e duas linhas a 0,40 m de altura da base do módulo, espaçadas 0,40 m entre si e 0,30 m das laterais da caixa. Nas linhas inferiores foram dispostos três aspersores espaçados em 0,40 m entre si e 0,15 m das laterais da caixa, e nas linhas superiores foram dispostos dois aspersores espaçados em 0,40 m entre si e 0,30 m das laterais da caixa. Desta forma buscou-se tornar a distribuição da solução nutritiva mais homogênea.

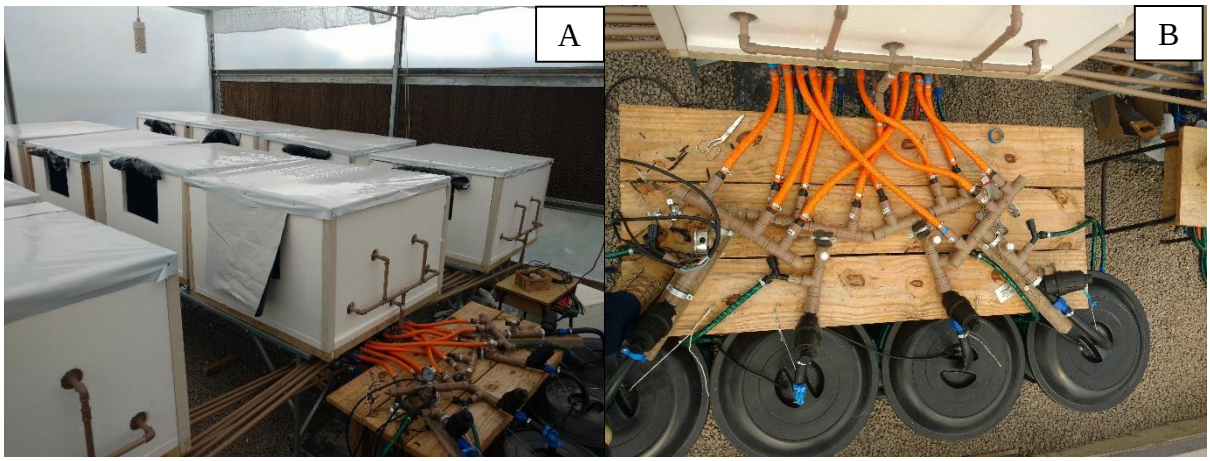

Figura 4 – Novo sistema aeropônico construído: módulos aeropônicos (A) e vista superior do esquema de ligação com os tanques de solução (B), Guarapuava-PR, 2018.

4.4.2. Tratos culturais e solução nutritiva

O experimento foi realizado em casa de vegetação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA), da Universidade Estadual do Centro-Oeste – Unicentro, campus Cedeteg, onde foi realizado o experimento com densidade de plantio. A implantação se deu em 07 de novembro de 2018.

A solução nutritiva adotada foi a mesma do experimento anterior (MEDEIROS et al., 2002), mantida à condutividade elétrica de 2,2 dS m^{-1} e pH 6; e a população de plantas foi de 100 plantas m^{-2} (CALORI et al., 2017). A solução nutritiva foi substituída de dez em dez dias para manutenção do balanço entre nutrientes. As mudas foram obtidas já aclimatadas da empresa 'T.O.R Biotecnologia', e foram transplantadas diretamente do substrato para os módulos aeropônicos. No período de aclimatação das plantas até os 15 DAT as aspersões dos tratamentos foram padronizadas em 1 minuto de aspersão e 1 minuto de intervalo.

As colheitas iniciaram assim que as primeiras plantas apresentaram tubérculos maiores que 30 mm em pelo menos um dos lados (31 DAT), e foram realizadas semanalmente a partir dessa data. O manejo fitossanitário foi feito conforme práticas adotadas na região. Aos 45 DAT um sistema de condução composto de estacas e fitilhos externos aos módulos foi instalado pois as plantas passaram a crescer sobre os corredores entre os módulos de plantio. Foram realizadas aplicações semanais de Mancozebe nos estolões e raízes após a colheita buscando controlar a incidência de doenças nessas regiões das plantas.

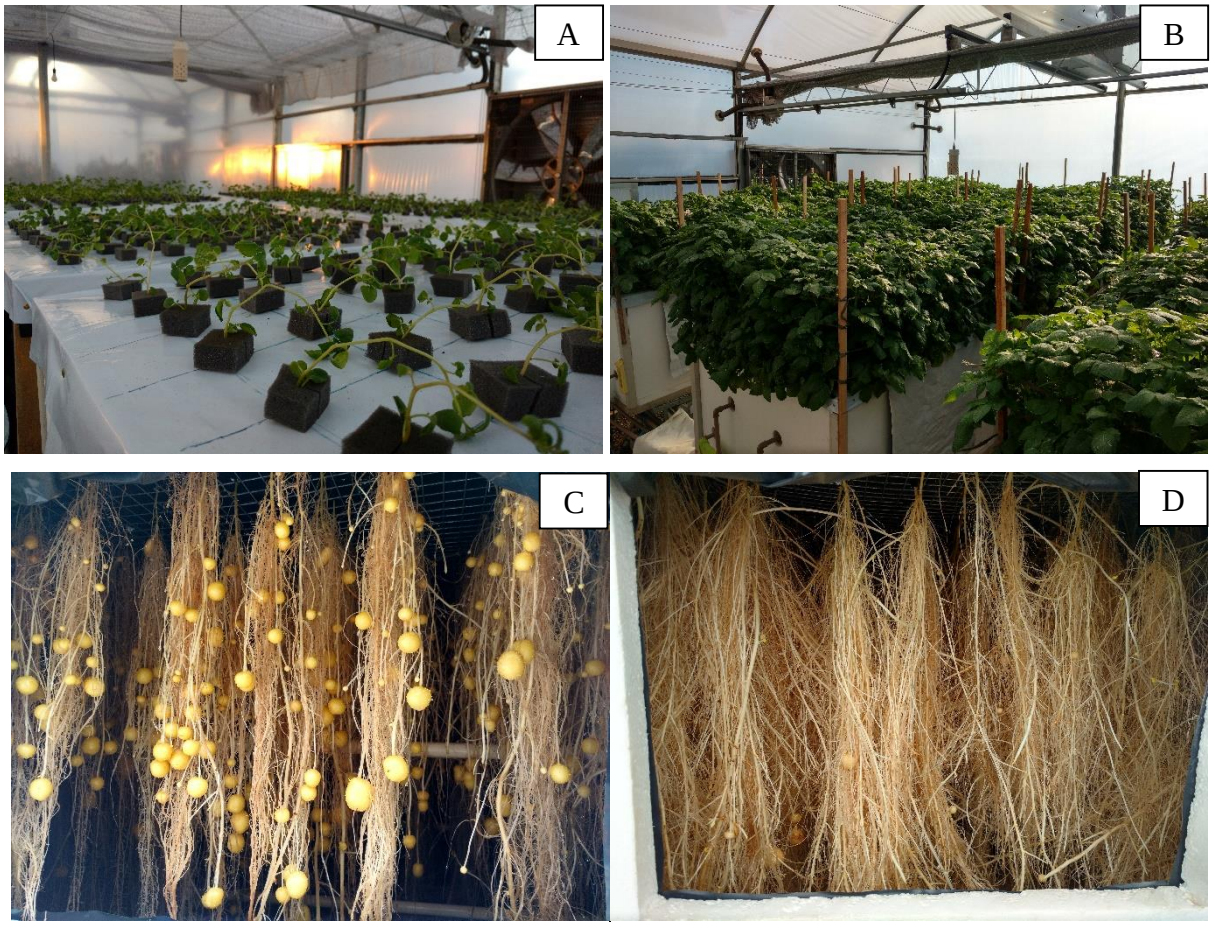

Figura 5 – Transplantio das mudas para os módulos aeropônicos (A), condução das plantas aos 45 DAT (B), e aspecto da parte subterrânea da cv. Ágata (D) e Atlantic (E) aos 45 DAT, Guarapuava-PR, 2018/19.

4.4.3. Delineamento experimental

Foram avaliados os efeitos de quatro regimes de aspersão, variando o tempo e o intervalo entre acionamentos, sobre as cultivares Ágata e Atlantic:

Quadro 2 - Regimes de aspersão utilizados no experimento 3.

Tempo de aspersão	Intervalo
30 segundos	3 minutos
30 segundos	10 minutos
3 minutos	3 minutos
3 minutos	10 minutos

O delineamento adotado foi de blocos ao acaso (DBC), em esquema de parcelas subdivididas, em que cada tratamento possuiu 3 repetições (blocos), totalizando 24 parcelas (4 regimes de aspersão x 2 cultivares x 3 repetições). Cada parcela foi composta por 5 linhas de plantio com 11 plantas em cada linha (55 plantas parcela^{-1}), numa área de 0,55 m x 1,10 m (0,60 m^2). As plantas nas linhas laterais de cada parcela foram consideradas bordadura, resultando num total de 27 plantas úteis para análise.

4.4.4. Variáveis analisadas

4.4.4.1. Crescimento

Aos 31 (Figuras 6A e 6B) e 45 DAT, foram avaliados a partir de quatro plantas centrais de cada parcela as seguintes variáveis de parte aérea: número de hastes por planta (NH), comprimento de haste principal (CHP), (variáveis descritas no item 4.2.5). Também foram incluídas novas variáveis:

a) **Número de nós da haste primária (NN_1):** número de nós presentes na haste primária de cada planta.
b) **Número de nós das hastes secundárias (NN_2):** número total de nós presentes nas hastes secundárias de cada planta.
c) **Número de nós total (NoT):** soma do NN_1 e NN_2 de cada planta.
d) **Diâmetro de haste principal (DHP):** média entre duas medições perpendiculares do diâmetro da haste principal da planta na região basal.

e) **Índice de clorofila A (CA, apenas aos 31 DAT):** índice de clorofila calculado pela transmitância de radiação em três comprimentos de onda, medido através de duas folhas de duas plantas de batata utilizando clorofilômetro marca Falker, modelo ClorofiLOG.

f) **Índice de clorofila B (CB, apenas aos 31 DAT):** índice de clorofila calculado pela transmitância de radiação em três comprimentos de onda, medido através de duas folhas de duas plantas de batata utilizando clorofilômetro marca Falker, modelo ClorofiLOG.

Aos 31, 45, 73 e 97 DAT, foram avaliados as seguintes variáveis da parte subterrânea das plantas:

a) **Número de estolões primários por planta (NE_1):** número de estolões partindo da haste principal em cada planta.

b) **Número de estolões secundários por planta (NE_2):** número de estolões partindo de outros estolões (primários) em cada planta.

c) **Tuberização (T):** definida pela proporção de plantas avaliadas que apresentaram ao menos um tubérculo em iniciação e/ou formação em relação ao total de plantas avaliadas.

d) **Número de tubérculos iniciados (NTI):** número de tubérculos iniciados (menores que 5 mm de diâmetro) em cada planta.

e) **Número de tubérculos formados (NT_5):** número de tubérculos formados (maiores que 5 mm e menores que 30 mm de diâmetro) em cada planta.

Figura 6 – Desenvolvimento de plantas de batata cv. Ágata (A) e Atlantic (B) aos 31 dias após o transplantio em aeroponia, Guarapuava-PR, 2018.

4.4.4.2. Produtividade

Aos 31 DAT foram iniciadas as colheitas, que foram feitas semanalmente. Nas colheitas foram avaliados o número e a massa de tubérculos por planta, e a massa média de tubérculos (descritas no item 4.2.5).

4.4.5. Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de normalidade. Quando não atendido o pressuposto da normalidade, os dados de contagem (NE_1, NE_2, NTI, NT_5 e NTTP) foram transformados em $\sqrt{\boldsymbol{x}+\mathbf{0,5}}$, e os dados de proporção (tuberização das plantas) foram transformados pela equação $\boldsymbol{asen}\sqrt{\boldsymbol{x}}$.

Atingidos os pressupostos da análise de variância (ANOVA), os dados foram submetidos ao teste a 5% de probabilidade, e, quando o valor de p foi significativo, foi realizado o teste de Tukey para separação das médias. Os testes foram realizados utilizando os programas OpenOffice® e SISVAR® (FERREIRA, 1998).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. DENSIDADE DE PLANTAS

Na avaliação de crescimento realizada aos 70 dias após o transplantio (DAT), houve uma diminuição de 50% no número de hastes planta^{-1} conforme aumentou-se a densidade de cultivo, passando de 2,50 hastes planta^{-1} na densidade de 60 plantas m^{-2} para 1,25 hastes planta^{-1} na densidade de 180 plantas m^{-2} (Figura 7A). Por área, porém, a densidade de 150 plantas m^{-2} produziu 62,7% hastes a mais que a densidade de 60 plantas m^{-2}, variando de 244 hastes m^{-2} na primeira para 150 hastes m^{-2} na segunda (Figura 7B).

O número de folhas planta^{-1} seguiu a tendência de decréscimo conforme houve aumento na densidade de plantas (Figura 7C), variando de 10,9 para 6,9 folhas planta^{-1} entre as populações de 60 e 180 plantas m^{-2}, uma variação de 4 folhas planta^{-1}. Já o número de folhas por área (Figura 7D) foi maior na densidade de 180 plantas, com 1237,5 folhas m^{-2}, 585 folhas m^{-2} a mais que na densidade de 60 plantas m^{-2}.

O comprimento de haste principal não sofreu efeito da densidade de cultivo, ficando na média de 30,4 cm planta^{-1} (Figura 7E). O comprimento de raiz (Figura 7F), por sua vez, teve relação inversa com a densidade de plantio, de modo que na densidade de 60 plantas m^{-2} o comprimento máximo de raiz atingiu em média 59,9 cm de comprimento, 33,1% maior que na densidade de 180 plantas m^{-2} (45,0 cm).

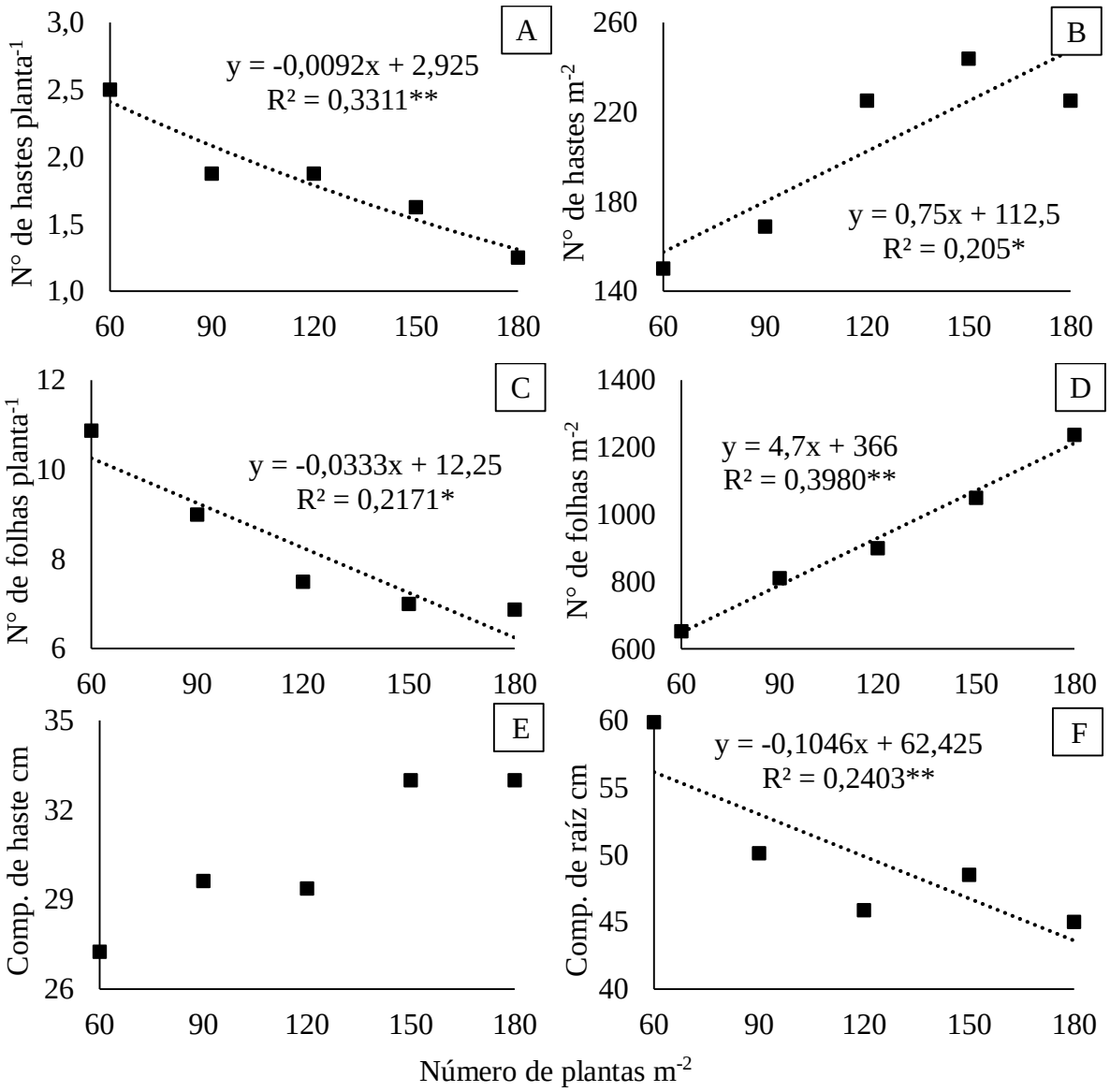

Figura 7 – Número de hastes por planta (A) e por área (B), número de folhas por planta (C) e por área (D), comprimento de haste principal (E) e comprimento máximo de raízes (F) de plantas de batata cultivar Ágata cultivadas em diferentes densidades de plantio em sistema aeropônico, aos 70 dias após o transplantio, Guarapuava – PR, 2018.

*: significativo a 5% pelo teste de ANOVA. **: significativo a 1% pelo teste de ANOVA

As variáveis número de estolões planta^{-1} e m^{-2} (Figuras 8A e 8B), e número de tubérculos iniciados planta^{-1} (Figura 8C) não sofreram efeito das densidades de cultivo. Foram em média 0,8 estolões planta^{-1}, 102 estolões m^{-2}, e 3,35 tubérculos iniciados planta^{-1}. O número de tubérculos iniciados m^{-2} (Figura 8D) foi diretamente correlacionado com o aumento da população de plantas, passando 187,5 tubérculos iniciados m^{-2} na população de 60 plantas m^{-2} para 540 tubérculos iniciados m^{-2} na população de 180 plantas m^{-2}, ganho de 188%.

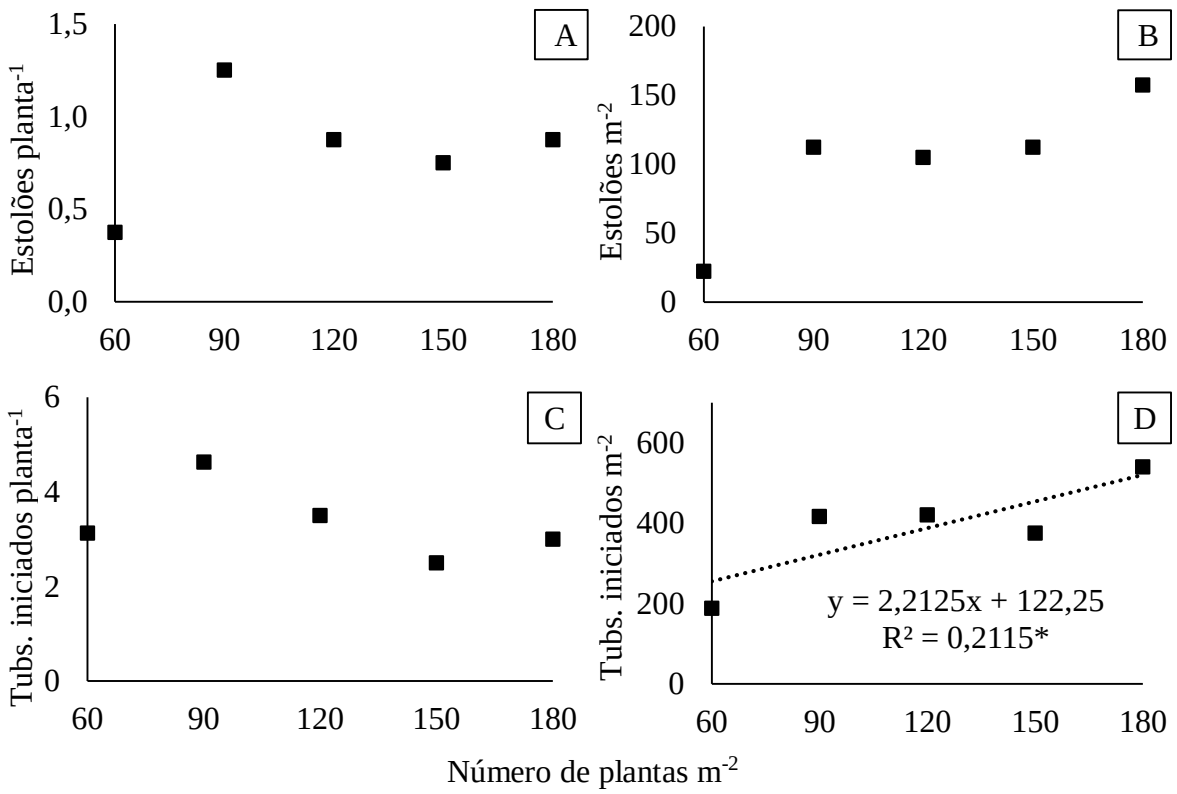

Figura 8 – Número de estolões por planta (A) e por área (B), número de tubérculos iniciados por planta (C) e por área (D) de plantas de batata cultivar Ágata cultivadas em diferentes densidades de plantio em sistema aeropônico, aos 70 dias após o transplantio, Guarapuava - PR.

*: significativo a 5% pelo teste de ANOVA. **: significativo a 1% pelo teste de ANOVA

O número de tubérculos planta^{-1} (Figura 9A), foi numericamente maior ao longo de todo o ciclo na população de 60 plantas m^{-2}, no entanto diferenças estatisticamente significativas relação às densidades de 120, 150 e 180 plantas m^{-2} só foram observadas aos 71 e 85 DAT e nas densidades de 120 e 180 plantas m^{-2} aos 92 DAT. A massa de tubérculos g planta^{-1} teve comportamento similar, mas diferiu também aos 50 DAT em relação a 90 e 150 plantas m^{-2}. A diferenciação maior no início do ciclo pode ser explicada pelo fato dos tubérculos na população de 60 plantas m^{-2} terem acumulado mais massa antes da primeira colheita (menor competição por luz por cada planta). Aos 71 DAT a população de 60 plantas m^{-2} se destacou com 18 g colhidos planta^{-1} em comparação com 6,5 g planta^{-1} em média das outras densidades. Aos 85 DAT a população de 60 plantas m^{-2} se diferenciou da 180 plantas m^{-2} e aos 92 DAT de 120, 150 e 180 plantas m^{-2}, não diferindo da massa colhida planta^{-1} na população de 90 plantas m^{-2}. Não houve diferenças entre os tratamentos para o número de tubérculos m^{-2} e para a massa de tubérculos m^{-2}, onde só se observaram diferenças na colheita aos 71 DAT, na qual a massa de tubérculos g planta^{-1} nos tratamentos de 60 e 150 plantas m^{-2}

foi maior que no tratamento de 90 plantas m^{-2}.

Em média foram colhidos a cada colheita 0,62 tubérculos pesando 8,81 g planta^{-1}, e 68 tubérculos pesando 948 g m^{-2} (Figuras 9A, 9B, 9C e 9D). A colheita final apresentou maior número de tubérculos planta^{-1} e por área (1,06 tubérculos planta^{-1} e 114 tubérculos m^{-2}, respectivamente), pois considerou também os tubérculos maiores que 20 mm. Já as maiores massa de tubérculos planta^{-1} e por área foram registradas na primeira colheita (50 DAT, 12,74 g planta^{-1} e 1367 g m^{-2}, respectivamente). As colheitas aos 64 e 78 DAT apresentaram os menores valores para número e massa de tubérculos planta^{-1} e por área.

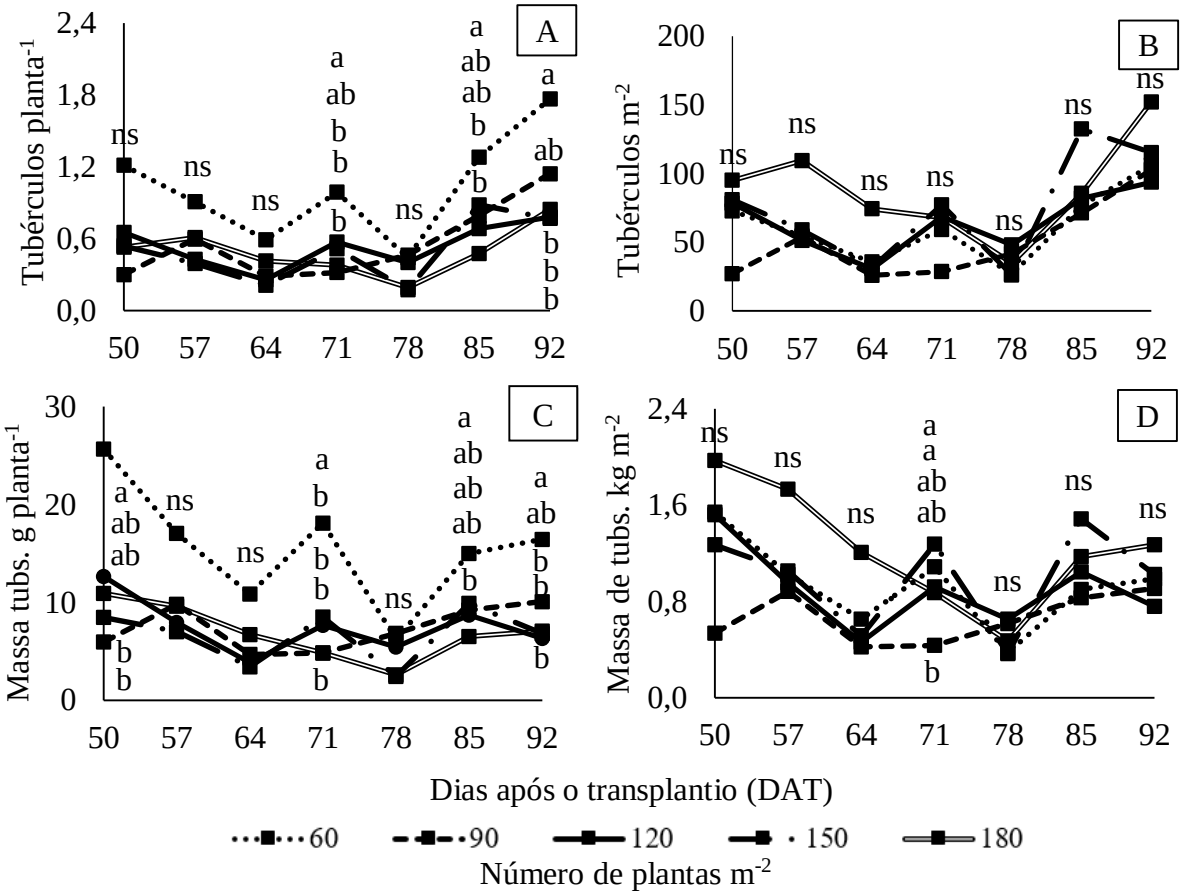

Figura 9 – Número de tubérculos por planta e por área (A e B), e massa de tubérculos por planta e por área (C e D), em 7 colheitas de plantas de batata cultivar Ágata cultivadas em diferentes densidades em sistema aeropônico, Guarapuava – PR.

Colunas assinaladas com letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância

O aumento na densidade de plantio levou à diminuição no número e massa total de tubérculos planta^{-1} (Figuras 10A e 10B). O número total de tubérculos planta^{-1} passou de 7,18 tubérculos na densidade de 60 plantas m^{-2} para o mínimo de 3,11 na densidade de 146,2 plantas m^{-2}, e a massa total de tubérculos planta^{-1} passou de 109 g planta^{-1} acumulados na população de 60 plantas m^{-2} para 40,6 g planta^{-1} a 143,8 plantas m^{-2}.

O número e massa total de tubérculos por área (Figuras 10C e 10D, respectivamente) aumentaram conforme a densidade de plantas. O maior número total de tubérculos por área ocorreu na densidade de 180 plantas m^{-2} com 619 tubérculos, e o menor valor dado pelo vértice da equação na população de 84,4 plantas m^{-2} com 396,6 tubérculos m^{-2} (decréscimo de 36%). A maior massa de total de tubérculos m^{-2} registrada foi de 8,7 kg m^{-2} na densidade de 180 plantas m^{-2}, e a menor foi de 5,4 kg m^{-2} a 97,8 plantas m^{-2} (decréscimo de 38%). A massa média de tubérculos não variou em função das densidades de cultivo, situando-se em 13,9 g $tubérculo^{-1}$.

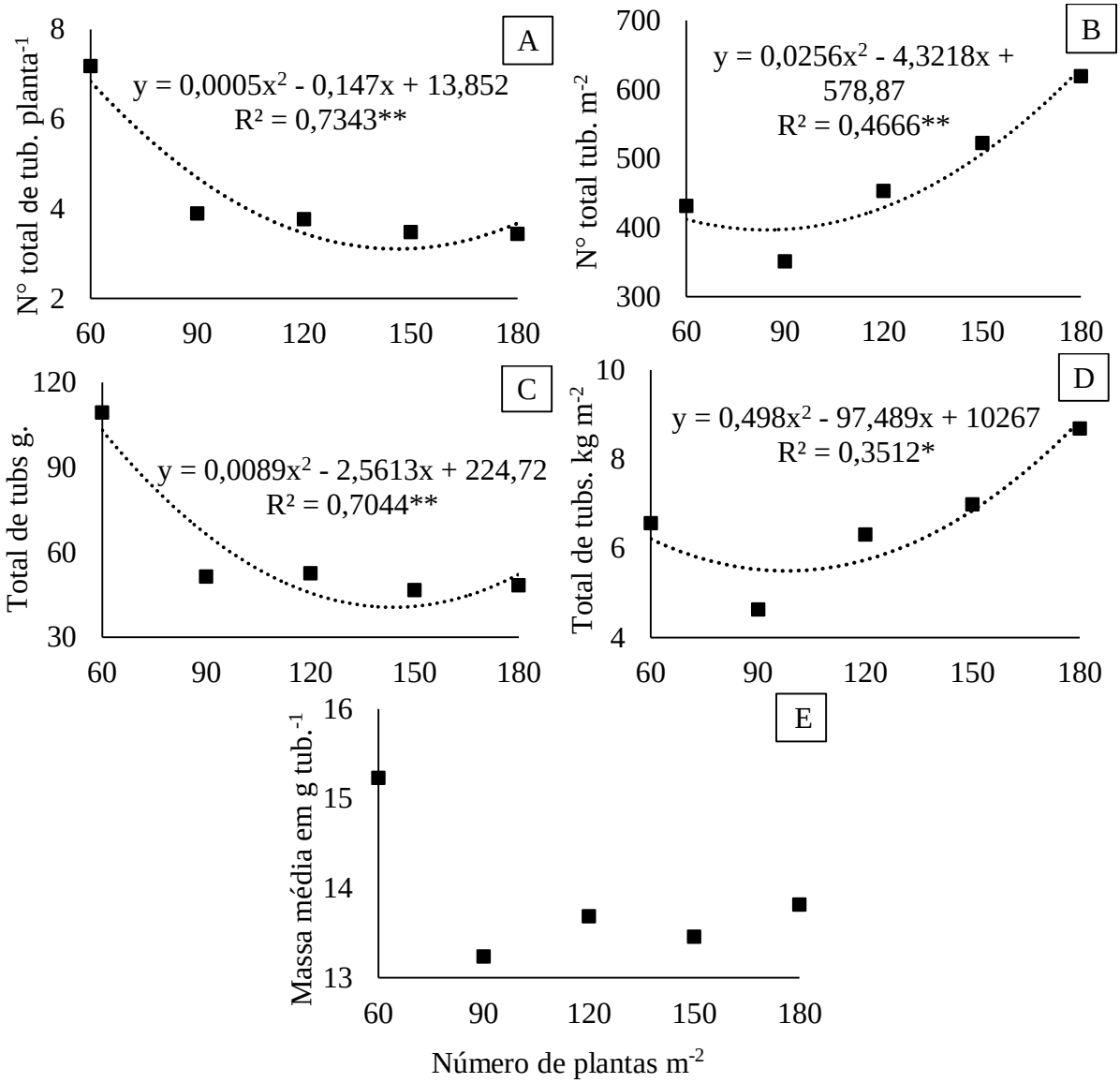

Figura 10 – Número total de tubérculos por planta e por área (A e B), e massa total de tubérculos por planta e por área (C e D), e massa média de tubérculos colhidos (E) de plantas de batata cultivar Ágata cultivadas em diferentes densidades em sistema aeropônico, aos 92 dias após o transplantio, Guarapuava – PR.

*: significativo a 5% pelo teste de ANOVA. **: significativo a 1% pelo teste de ANOVA

Com o aumento da densidade de cultivo houve queda no número de hastes e folhas planta^{-1}, mas não o suficiente para diminuir a quantidade de folhas m^{-2}. Pelo contrário, houve aumento de 90% na quantidade de folhas m^{-2} entre as densidades de 60 e 180 plantas m^{-2}. Além disso, a queda no número de folhas planta^{-1} não comprometeu a capacidade fotossintética das plantas a ponto de diminuírem o número de tubérculos iniciados planta^{-1}. Isto resultou aumento do número de tubérculos iniciados por área na população de 180 plantas m^{-2}, a quase o triplo do registrado para a população de 60 plantas m^{-2}.

É possível inferir duas hipóteses sobre o que pode ter levado a maior produtividade nas maiores populações. A primeira é de que as plantas cultivadas em maior densidade tiveram maior repartição de fotoassimilados para os tubérculos-semente, e que as plantas em baixa densidade alocaram recursos demais em parte aérea. A segunda hipótese é que o aumento na produtividade tenha se dado pela ocupação completa da radiação solar incidente, dado pelo aumento no número de folhas por área. Um ponto de inflexão sobre o número e massa de tubérculos m^{-2} não foi atingido no presente experimento, assim é possível que a população de máxima produtividade por área, para o cultivo de outono na região de Guarapuava, seja ainda maior do que a maior população testada (180 plantas m^{-2}). Entretanto, com o custo da plântula gerada em laboratório de em média R$ 1,00, e o custo do mini-tubérculo aproximadamente R$ 0,50, dificilmente o aumento da densidade de plantas resultaria em maior lucro ao produtor de batatas semente.

No trabalho de Calori et al. (2017) as plantas desenvolveram maior porte vegetativo por planta do que o registrado mesmo nas densidades mais baixas de cultivo no presente experimento. Foram em média 3 hastes e 30,7 folhas planta^{-1} no sistema aeropônico da APTA-Mococa, comparados à uma média de 2,2 hastes e 9,9 folhas planta^{-1} no sistema aeropônico da Unicentro. Foi constatado também um potencial produtivo máximo de 19,3 e 1942,5 tubérculos planta^{-1} e m^{-2}, respectivamente, para a cv. Ágata em densidade de 100 plantas m^{-2}, nas condições de cultivo do inverno norte-paulistano (CALORI et al., 2017). Farran e Mingo-Castel (2006) em estudo realizado com aeroponia na Espanha, observaram interação entre a densidade de plantio e a frequência de colheitas escalonadas sobre a produtividade de tubérculos-semente, obtendo até 802 tubérculos m^{-2} com colheitas a cada 7 dias à densidade de 60 plantas m^{-2}, e até 500 tubérculos m^{-2} em colheitas espaçadas em 10 dias à densidade de 100 plantas m^{-2}. É possível que o fator intervalo de colheita também tenha impacto sobre a produtividade nas condições da nossa região e, portanto, deverá ser investigado.

As plantas de batata, no outono do centro-sul paranaense, encontram condições climáticas mais amenas de radiação e temperatura, e isso portanto, explica os menores índices de produtividade registrados aqui. Um dos desafios da aeroponia para produção de batata-semente é torna-la viável economicamente em várias safras ao longo do ano (MATEUS-RODRIGUEZ et al., 2013). Uma forma de o fazê-lo seria, talvez, fornecendo luz suplementar às plantas nos períodos de menor incidência de radiação, porém mais estudos nessa área são necessários para determinar o custo benefício e a eficiência desta prática.

5.2. EFEITO DA DATA DE COLHEITA E DENSIDADE DE PLANTAS SOBRE O PERÍODO DE DORMÊNCIA DE TUBÉRCULOS EM AEROPONIA

Não houve diferenças significativas no período de dormência dos tubérculos em relação a densidade de cultivo de plantas em sistema aeropônico (Tabela 2), em nenhuma das avaliações. Já em relação às datas de colheita, diferenças significativas no período de dormência foram observadas (Figura 11).

Tabela 2 – Valor *p* da análise de variância (ANOVA) para a porcentagem superação de dormência de tubérculos colhidos em diferentes datas de colheita (50, 64 e 78 dias após o transplantio) e densidades de plantio (60, 90, 120, 150 e 180 plantas m^{-2}) em três datas de avaliação: 126, 140 e 147 dias após o transplantio, Guarapuava-PR, 2018.

	126 DAT	**140 DAT**	**147 DAT**
Data	**<0,001**	**<0,001**	0,07
Densidades	0,86	0,50	0,69
Data * Densidades	0,96	0,11	0,80

Aos 126 DAT, os tubérculos da 1ª colheita no sistema aeropônico (50 DAT) já apresentavam índice médio de 13,6% de superação de dormência, enquanto que os tubérculos da 3ª e 5ª colheitas (64 e 78 DAT, respectivamente) ainda se encontravam dormentes (Figura 11). Na segunda avaliação, aos 140 DAT, o índice de superação de dormência foi de 100% para os tubérculos colhidos aos 50 DAT, 57,7% para os tubérculos colhidos aos 64 DAT e 51,3% para os tubérculos colhidos aos 78 DAT, sem haver diferença entre o índice de superação de dormência das duas últimas colheitas avaliadas. Na terceira avaliação (147 DAT), não houve diferença entre os tratamentos, uma vez que quase a totalidade dos tubérculos encontravam-se brotados.

O período da colheita até a plena superação de dormência dos tubérculos colhidos aos 50, 64 e 78 DAT foi de, respectivamente, 90, 83 e 69 dias, portanto, uma redução de 7 e 21 dias das colheitas aos 64 e 78 DAT em relação ao período de dormência dos tubérculos colhidos aos 50 DAT.

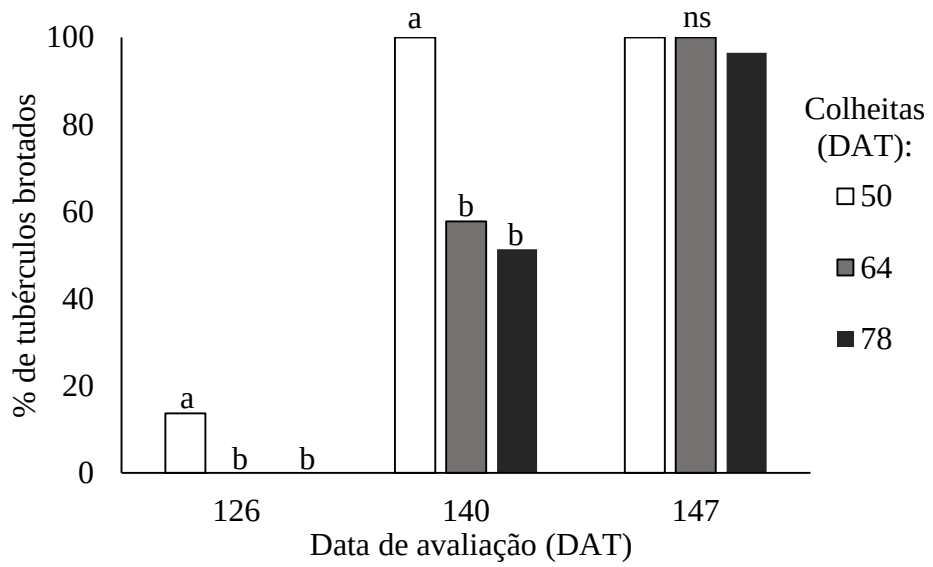

Figura 11 – Porcentagem de superação de dormência de tubérculos provenientes de três datas de colheita (50, 64 e 78 dias após o transplantio), em três datas de avaliação: 126, 140 e 147 dias após o transplantio, a partir de produção em sistema aeropônico, Guarapuava-PR, 2018.

Colunas assinaladas com letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância

Rykaczewska (2016b) observou que dependendo da cultivar, a produtividade de lavouras formadas a partir de tubérculos colhidos em aeroponia responde de forma quadrática à época de colheita. No presente estudo foi possível observar que os tubérculos-semente obtidos de diferentes colheitas, também possuem período de dormência diferente, que pode ser devido a diferenças no conteúdo hormonal e de nutrientes.

5.3. EFEITO DE REGIMES DE ASPERSÃO SOBRE O CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE BATATA EM AEROPONIA

Os dados meteorológicos do período de execução do experimento encontram-se na Figura 12.

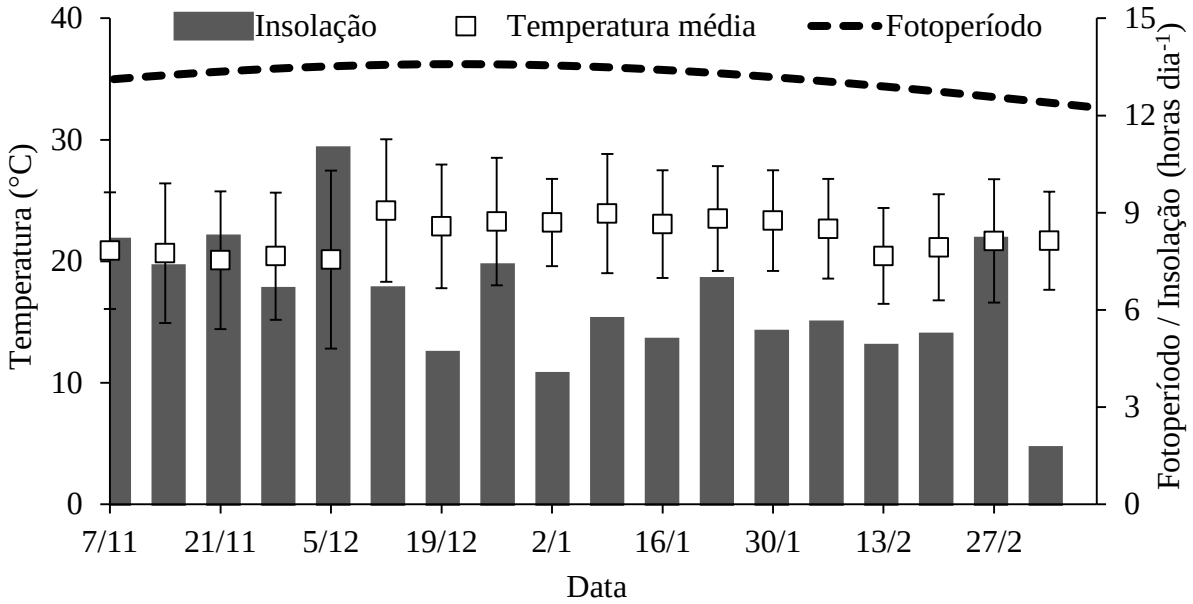

Figura 12 – Temperatura, fotoperíodo e insolação médios durante o ciclo de cultivo do experimento, Guarapuava-PR, 2018/19.

Barras sobre os pontos indicam a temperatura máxima e a mínima para o respectivo período.

5.3.1. Morfologia

5.3.1.1. Morfologia da parte aérea

A média dos valores obtidos e o resultado da análise de variância sobre os caracteres vegetativos de parte aérea encontram-se na Tabela 3. Aos 31 DAT, foram observadas diferenças entre as cultivares analisadas para as variáveis número de nós da haste primária (NN_1), e comprimento e diâmetro de haste principal (CHP e DHP). Aos 45 DAT houve efeito das cultivares sobre os caracteres número de hastes (NH), número de nós secundários (NN_2) e DHP; contudo, não houve efeito dos regimes de aspersão ou interação entre regimes e cultivares sobre as variáveis de parte aérea analisadas. A número de nós total (NoT) não variou entre regimes e cultivares aos 31 e 45 DAT, ficando em 24 e 31 nós planta^{-1}, respectivamente. Os índices de clorofila A e B foram, respectivamente, 38 e 12, aos 31 DAT; aos 45 DAT não foram realizadas medições desses índices.

As avaliações de parte aérea tiveram que ser interrompidas aos 45 DAT por conta da grande área foliar formada pelas plantas, que, ao crescerem em contato com as plantas vizinhas, enovelaram-se, tornando impossível a distinção entre uma planta e outra sem a destruição da mesma.

Tabela 3 – Resultado da análise de variância e média geral dos caracteres número de hastes (NH), número de nós da haste primária (NN_1), número de nós das hastes secundárias (NN_2), número de nós total (NoT), comprimento e diâmetro de haste principal (CHP e DHP, respectivamente), índice de clorofila A (CA) e B (CB), avaliados de plantas de batata de duas cultivares submetidas a quatro regimes de aspersão em sistema aeropônico aos 31 e 45 dias após o transplantio, Guarapuava-PR, 2019.

	NH num. planta^{-1}	**NN_1** num. planta^{-1}	**NN_2** num. planta^{-1}	**NoT** num. planta^{-1}	**CHP** cm haste^{-1}	**DHP** mm	**CA**	**CB**
			31 DAT					
Tempo	0,25	0,43	0,56	0,72	0,39	0,60	0,89	0,56
Cultivar	0,11	**<0,01**	0,84	0,52	**0,04**	**0,03**	0,76	0,58
Tempo * Cultivar	0,50	0,30	0,51	0,43	0,76	0,44	0,76	0,86
CV 1 (%)	21,0	18,7	27,3	19,2	9,14	13,5	5,22	11,7
CV 2 (%)	27,0	11,4	51,9	26,4	8,71	14,8	5,39	10,0
Média	3,04	13,1	10,9	24,0	40,1	5,43	38,0	12,0
			45 DAT					
Tempo	0,19	0,61	0,16	0,33	0,45	0,08	--	--
Cultivar	**0,01**	0,94	**0,03**	0,10	0,89	**<0,01**	--	--
Tempo * Cultivar	0,85	0,38	0,94	0,65	0,86	0,27	--	--
CV 1 (%)	18,7	17,7	34,4	24,9	14,6	13,6	--	--
CV 2 (%)	23,1	27,0	45,1	27,1	11,5	12,3	--	--
Média	3,66	17,2	14,1	31,3	64,7	6,36	--	--

CV1: coeficiente de variação das parcelas (tempos)
CV2: coeficientes de variação das subparcelas (cultivares)

Aos 31 DAT as plantas tinham em média 3,04 hastes planta^{-1}, em todos os tratamentos. A cv. Ágata produziu em média 2,17 nós (18%) a mais na haste principal (NN_1, Figura 13A) em comparação com a cv. Atlantic, de forma parecida com o ocorrido com o comprimento de haste principal (CHP, Figura 13B), em média 3,44 cm (9%) maior que da cv. Atlantic. Não houve diferença significativa para o número de nós das hastes secundárias entre as cultivares (NN_2). Parte do menor comprimento de haste principal (CHP) da cv. Atlantic pode ser explicado por seu maior diâmetro de haste principal (DHP, Figura 13C) 8,4 mm maior que o da cv. Ágata (14%). A cv. Ágata apresentou nessa fase, portanto, um comportamento de crescimento mais estiolado que a cv. Atlantic, competindo melhor pela luz nas faixas mais altas do dossel vegetal.

Aos 45 DAT, a cv. Ágata apresentou pelo menos 1 haste planta^{-1} a mais que ‘Atlantic’ (Figura 13D). O número de nós secundários também foi maior, 6,61 nós planta^{-1} a mais que a cv. Atlantic (Figura 13E). Isso corresponde a um ganho de 61% no número de folhas provenientes de hastes secundárias, o que deve ter levado ao fechamento mais rápido do dossel e melhor aproveitamento da luz incidente no início do ciclo. A mesma diferença, porém, não pôde ser encontrada para o número total de nós planta^{-1} (NoT). O DHP, por outro lado, foi 43% maior na cv. Atlantic em comparação à ‘Ágata’ (Figura 13F), evidenciando as diferenças na estratégia de crescimento de ambas as cvs., com ‘Ágata’ buscando o fechamento precoce e ‘Atlantic’ maior robustez no período vegetativo.

Dos 31 aos 45 DAT houve um aumento de 20,4% no número de hastes planta^{-1} (0,6 hastes planta^{-1}, Tabela 4). No mesmo período o número de nós primários aumentou 31,3% e nós secundários 29,3% (4,1 e 3,2 nós planta^{-1}, respectivamente). As hastes cresceram 24,6 cm em comprimento e 9,3 mm em diâmetro, em um intervalo de 14 dias. Os índices de clorofila A e B foram medidos apenas aos 31 DAT.

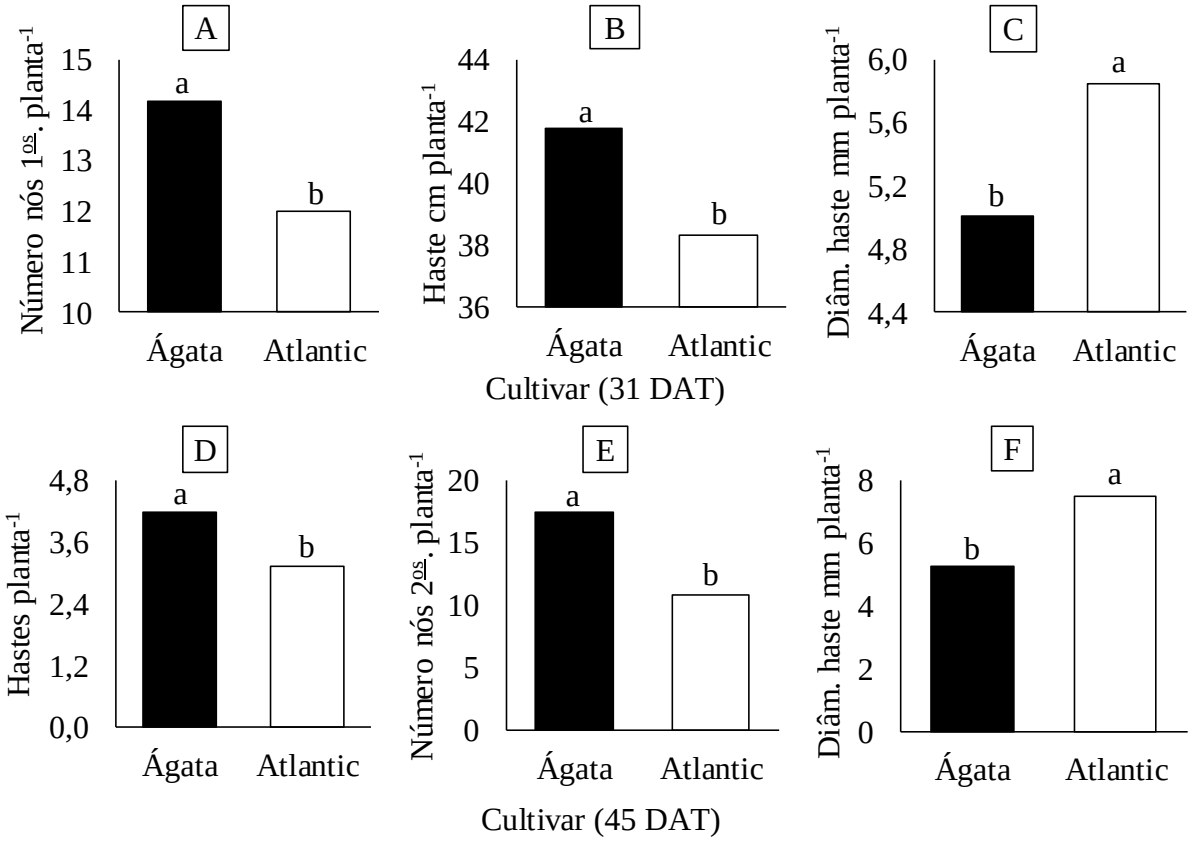

Figura 13 – Número de nós da haste primária (NN_1, A), comprimento de haste principal (CHP, B) e diâmetro de haste principal (DHP, C) aos 31 dias após o transplantio; e número de hastes planta^{-1} (NH, D), número de nós das hastes secundárias (NN_2, E) e diâmetro de haste principal (DHP, F) aos 45 dias após o transplantio, obtidos de plantas de batata das cultivares Ágata e Atlantic em sistema aeropônico, Guarapuava-PR, 2019.

Colunas assinaladas com letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

5.3.1.2. Morfologia da parte subterrânea

Na porção subterrânea das plantas as diferenças entre as cultivares se pronunciaram (Tabela 4). Houve diferença entre as cultivares no número de tubérculos iniciados e formados (NTI e NT_5, respectivamente) em todas as datas de avaliação (31, 45, 73 e 87 DAT). A porcentagem de tuberização também diferiu entre as cultivares aos 31, 45 e 73 DAT, não havendo diferença apenas aos 87 DAT, quando 100% das plantas passaram a produzir tubérculos.

A magnitude da variação sobre o número de estolões primários e secundários planta^{-1} (NE_1 e NE_2) mudou conforme a data de avaliação. Aos 31 DAT o NE_1 respondeu com interação entre cultivares e tratamentos e o NE_2 variou entre as cultivares. Aos 45 DAT não

foi observado efeito de nenhum dos tratamentos sobre o número de estolões, aos 73 DAT houve efeito das cultivares apenas sobre o NE_1, e aos 87 DAT houve efeito das cultivares sobre ambos NE_1 e NE_2.

Tabela 4 – Resultado da análise de variância e média dos caracteres número de estolões primários (NE_1), número de estolões secundários (NE_2), porcentagem de tuberização (T), número de tubérculos iniciados (NTI), número de tubérculos formados maiores que 5 mm (NT_5), avaliados de plantas de batata de duas cultivares submetidas a quatro regimes de aspersão em sistema aeropônico aos 31, 45, 73 e 87 dias após o transplantio, Guarapuava-PR, 2019.

	NE_1 num. planta^{-1}	**NE_2** num. planta^{-1}	**T** %	**NTI** tub. planta^{-1}	**NT_5** tub. planta^{-1}
		31 DAT			
Tempo	0,71	0,51	0,45	0,26	0,34
Cultivar	0,25	**0,02**	**<0,01**	**<0,01**	**<0,01**
Tempo * Cultivar	**0,04**	0,50	0,56	0,17	0,31
CV 1 (%)	22,6	24,3	14,0	39,1	33,1
CV 2 (%)	16,7	29,3	31,3	35,3	34,1
Média	4,46	14,6	0,49	7,17	1,58
		45 DAT			
Tempo	0,10	0,42	0,29	0,09	0,23
Cultivar	0,08	0,06	**<0,01**	**<0,01**	**<0,01**
Tempo * Cultivar	1,00	0,45	0,70	0,07	0,85
CV 1 (%)	11,2	19,6	13,0	25,2	22,1
CV 2 (%)	16,6	27,8	16,8	20,0	34,5
Média	3,74	13,4	0,56	4,40	4,08
		73 DAT			
Tempo	0,41	0,53	0,27	0,51	0,82
Cultivar	**<0,01**	0,28	**<0,01**	**<0,01**	**<0,001**
Tempo * Cultivar	0,82	0,33	0,73	0,18	0,05
CV 1 (%)	9,23	12,7	19,1	33,7	14,4
CV 2 (%)	16,1	24,7	35,0	37,2	21,5
Média	5,28	18,0	0,84	4,76	6,75
		87 DAT			
Tempo	0,96	0,76	0,00	0,27	0,31
Cultivar	**<0,01**	**0,02**	0,00	**0,04**	**<0,01**
Tempo * Cultivar	0,64	0,92	0,00	0,51	0,14
CV 1 (%)	26,09	21,59	0,00	25,14	15,6
CV 2 (%)	23,19	33,16	0,00	38,39	24,89
Média	6,86	26,0	1,00	4,57	8,53

CV1: coeficiente de variação das parcelas (tempos)
CV2: coeficientes de variação das subparcelas (cultivares)

Aos 31 DAT, o número médio de estolões primários foi de 4,46 estolões planta^{-1} (Tabela 4). No tratamento de 30s/3m, porém, a cv. Ágata produziu em média 3 estolões primários planta^{-1} a mais que a cv. Atlantic (Figura 14). Não foram observadas diferenças significativas entre as cultivares dentro dos demais regimes e nem entre os regimes de aspersão dentro de cultivares.

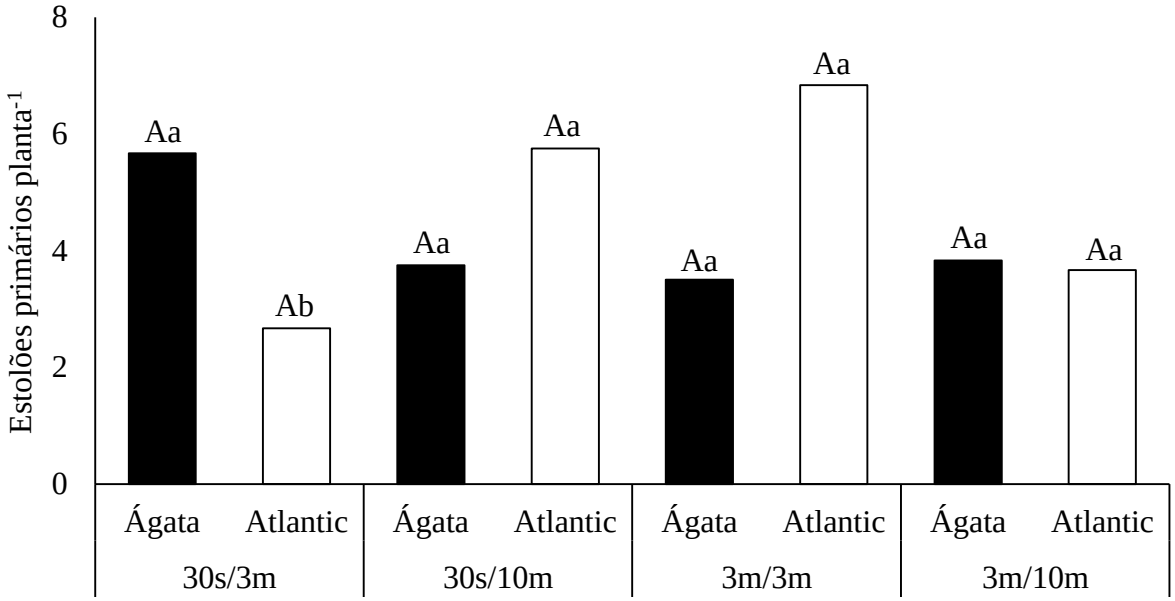

Figura 14 – Desdobramento da ANOVA sobre o número de estolões primários planta^{-1} (NE_1) em plantas das cultivares Ágata e Atlantic cultivadas sob diferentes regimes de aspersão em sistema aeropônico, aos 31 dias após o transplantio, Guarapuava-PR, 2019.

30s/3m: 30 segundos de aspersão e 3 minutos de intervalo; 30s/10m: 30 segundos de aspersão e 10 minutos de intervalo; 3m/3m: 3 minutos de aspersão e 3 minutos de intervalo; 3m/10m: 3 minutos de aspersão e 10 minutos de intervalo.
Letras maiúsculas diferentes indicam diferença entre os regimes dentro de cada cultivar pelo teste de Tukey a 5% de significância
Letras minúsculas diferentes indicam diferença entre as cultivares dentro de cada regime pelo teste de Tukey a 5% de significância

O número de estolões secundários (NE_2) foi praticamente o dobro na cultivar Ágata (Figura 15A), que produziu 19,42 estolões secundários sobre 9,75 estolões secundários planta^{-1} produzidos por 'Atlantic'.

A porcentagem de plantas em estádio de tuberização também diferiu, sendo que apenas 2% das plantas de 'Atlantic' apresentavam tubérculos sendo iniciados e/ou formados aos 31 DAT, comparados à 96% de tuberização na 'Ágata' (Figura 15B). 'Ágata' apresentou 14,33 tubérculos iniciados planta^{-1} (NTI, menores que 5 mm de diâmetro), enquanto 'Atlantic' apresentou 0 (Figura 15C). O número de tubérculos planta^{-1} maiores que 5 mm foi de 3,15 para a cv. Ágata e 0,02 para a cv. Atlantic (Figura 15D).

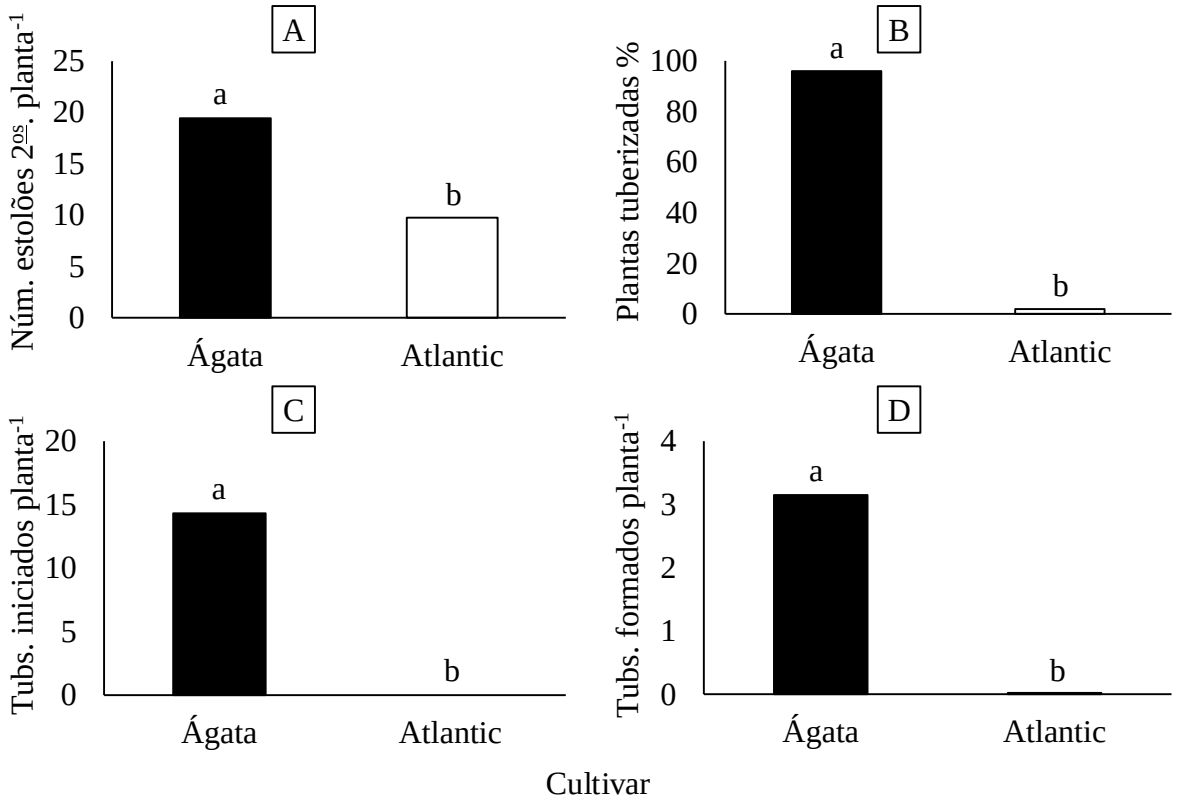

Figura 15 – Número de estolões secundários (NE_2), porcentagem de tuberização (T), número de tubérculos iniciados (NTI), número de tubérculos formados maiores que 5 mm (NT_5) de plantas de batata de duas cultivares submetidas a quatro regimes de aspersão em sistema aeropônico aos 31 dias após o transplantio, Guarapuava-PR, 2019.

Colunas assinaladas com letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância

A porcentagem de tuberização da cv. Atlantic continuou abaixo (15%) de 'Ágata' (98%) aos 45 DAT (Figura 16A). Consequentemente o NTI e NT_5 também foram menores: 0,28 e 0,25 tubérculos planta^{-1} na 'Atlantic' e 8,52 e 7,91 tubérculos planta^{-1} na 'Ágata', respectivamente (Figuras 16B e 16C). O NTI da cv. Ágata que era de 14,33 tubérculos planta^{-1} aos 31 DAT (Figura 15C) decresceu em quase 70% aos 45 DAT (para 8,52 tubérculos planta^{-1}, Figura 13B), isto porque grande parte destes passaram a pertencer à classe NT_5. Houve um aumento de 4,8 tubérculos maiores que 5 mm planta^{-1} dos 31 aos 45 DAT (Figura 16C), caracterizando assim o início período de enchimento de tubérculos nesta cultivar.

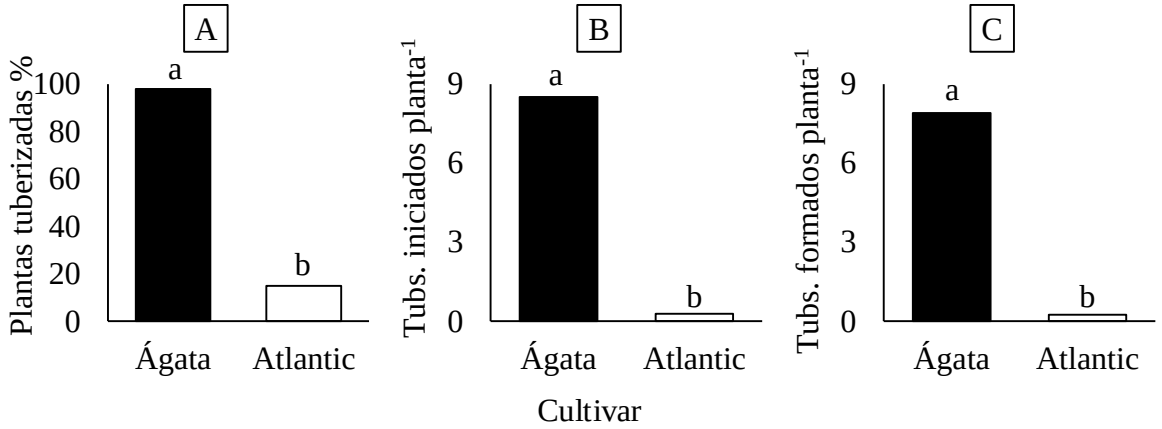

Figura 16 – Porcentagem de tuberização (T), número de tubérculos iniciados por planta (NTI), número de tubérculos formados maiores que 5 mm (NT_5), avaliados de plantas de batata de duas cultivares submetidas a quatro tempos de aspersão em sistema aeropônico aos 45 dias após o transplantio, Guarapuava-PR, 2019.

Colunas assinaladas com letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância

Aos 73 DAT, 'Atlantic' passou a apresentar em média 2,7 estolões primários planta^{-1} a mais do que Ágata (Figura 17A). Todas as plantas de 'Ágata' apresentaram tuberização, enquanto que 69% das plantas de 'Atlantic' apresentavam tuberização (Figura 17B). O número de tubérculos iniciados (NTI) continuou sendo menor em 'Atlantic' em comparação com 'Ágata', de respectivamente 1,6 e 11,9 tubérculos iniciados planta^{-1} (Figura 17C). O número de tubérculos formados (NT_5) também permaneceu menor em 'Atlantic' do que em 'Ágata' (1,2 e 8,3 tubérculos planta^{-1}, respectivamente, Figura 17D).

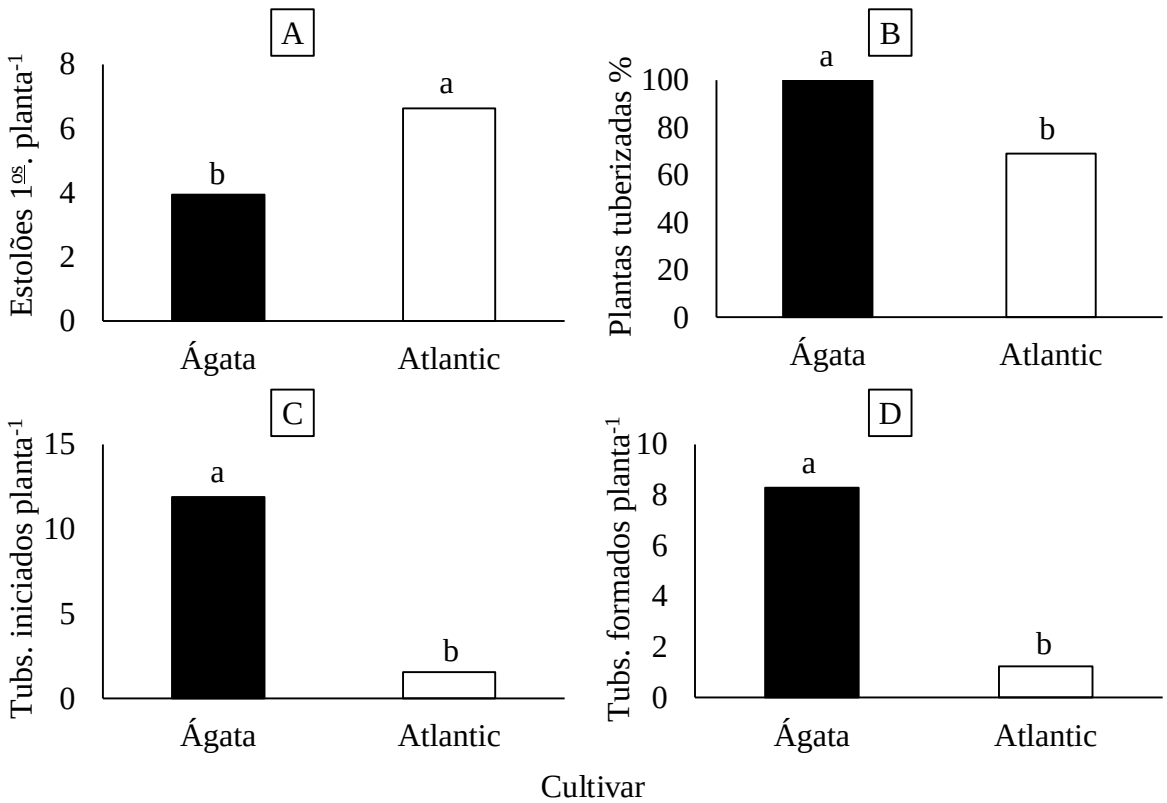

Figura 17 – Número de estolões primários (NE_1), porcentagem de tuberização (T), número de tubérculos iniciados (NTI), número de tubérculos formados maiores que 5 mm (NT_5), avaliados de plantas de batata de duas cultivares submetidas a quatro tempos de aspersão em sistema aeropônico aos 73 dias após o transplantio, Guarapuava-PR, 2019.

Colunas assinaladas com letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância

Aos 87 DAT, 'Atlantic' passou a apresentar mais que o dobro de estolões primários que 'Ágata' (9,3 e 4,5 estolões 1ºs planta^{-1}, respectivamente, figura 18A). O número de estolões secundários também seguiu a mesma tendência, 36,6 estolões 2ºs planta^{-1} em 'Atlantic' e 15,4 estolões 2ºs planta^{-1} em Ágata (Figura 18B). O NTI e NT_5 continuaram sendo maiores em 'Ágata' (6,2 e 12,6 tubérculos planta^{-1}, respectivamente) que em 'Atlantic' (2,9 e 4,5 tubérculos planta^{-1}, respectivamente; Figuras 18C e 18D).

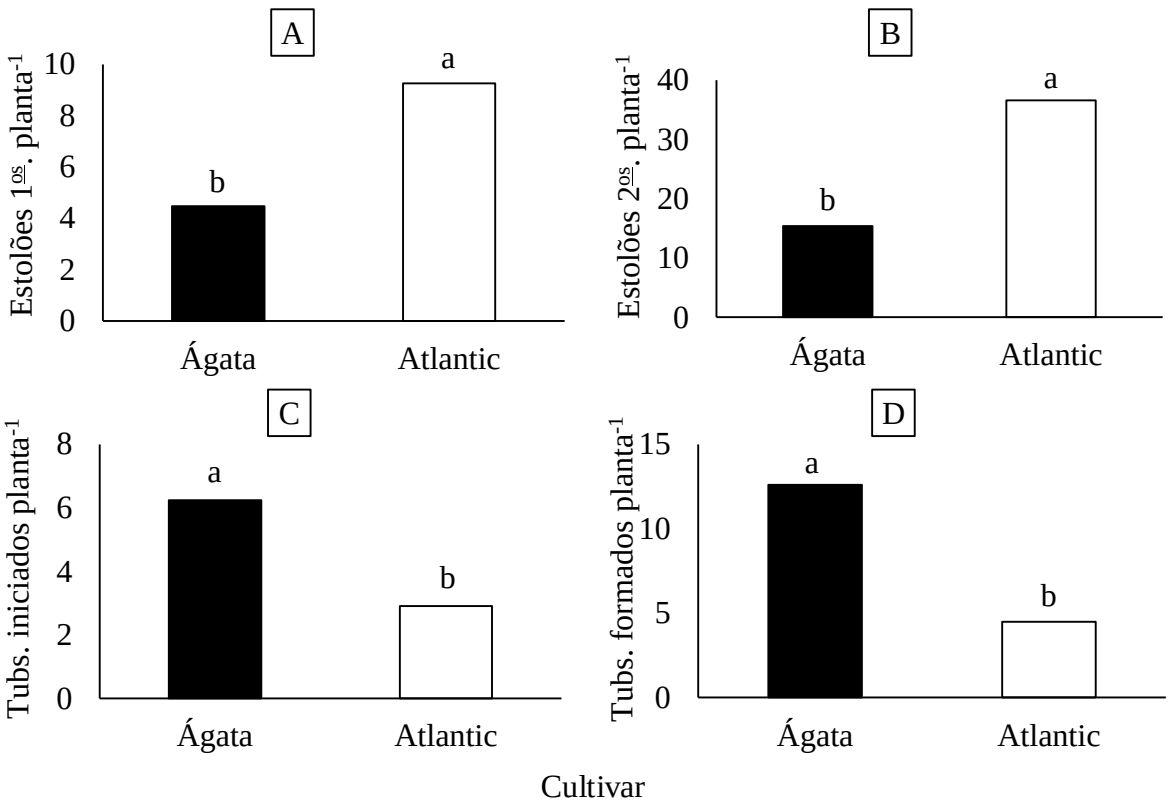

Figura 18 – Número de estolões primários (NE_1), número de estolões secundários (NE_2), número de tubérculos iniciados (NTI), número de tubérculos formados maiores que 5 mm (NT_5), avaliados de plantas de batata de duas cultivares submetidas a quatro tempos de aspersão em sistema aeropônico aos 87 dias após o transplantio, Guarapuava-PR, 2019.

Colunas assinaladas com letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância

Em geral, dos 31 aos 87 DAT houve aumento no número de estolões secundários e tubérculos formados (11,4 estolões e 6,95 tubérculos planta^{-1}, Tabela 4). O número de tubérculos em fase inicial (menores que 5 mm) decresceu após a primeira medição e manteve-se estável dos 45 aos 87 DAT, isto porque com o passar do ciclo as plantas tiveram que repartir os recursos destinados ao início a novos tubérculos com o enchimento dos tubérculos que já haviam sido formados.

Pode-se perceber que dos 31 aos 87 DAT o número de estolões primários e secundários planta^{-1} deixou de ser maior na cv. Ágata e passou a ser maior na cv. Atlantic, evidenciando a diferença no ciclo das cultivares testadas. A tuberização completa na cv. Atlantic só foi atingida aos 87 DAT. No trabalho de Wang et al. (2018), o número de estolões secundários na fase final do ciclo de verão (aos 84 DAT) foi maior para a cv. Mira (tardia, equivalente à Atlantic para fins de comparação) com aproximadamente 20 estolões planta^{-1}, do que para a cv. Favorita (precoce, equivalente à Ágata), com aproximadamente 1 estolão secundário planta^{-1}.

O experimento foi implantado no final da primavera (07/11/2018) e durou até o final do período de verão do ano seguinte (06/03/2019). Assim, as plantas encontraram condições de fotoperíodo inicial elevado, de 13,12 horas, chegando a 13,58 horas aos 50 DAT, e diminuindo após essa data (Figura 12). Além disso, o período de Novembro a Março comporta as temperaturas mais elevadas do ano na região de Guarapuava. Ambos fotoperíodo e temperatura elevados são fatores que estimulam o crescimento vegetativo e diminuem o estímulo à tuberização em plantas de batata. A cv. Atlantic mostrou maior susceptibilidade a tais condições, tendo atingido a plena tuberização somente 56 dias após a cv. Ágata. A campo, essa diferença de ciclo entre cultivares também se manifesta, porém de forma menos expressiva.

Um corte de 50% no teor de nitrogênio da solução foi aplicado a todo o sistema dos 59 aos 66 DAT buscando induzir o início da tuberização na cv. Atlantic (CHANG et al., 2016) e dar condições similares de crescimento a ambas as cultivares, no entanto, o corte por 7 dias não foi capaz de causar a indução imediata da tuberização nesta cultivar. O presente experimento é o primeiro que se tem conhecimento na literatura a avaliar a produtividade e crescimento da cv. Atlantic em sistema aeropônico.

5.3.2. Produtividade

A produtividade foi contabilizada até a senescência da parte aérea das plantas, aos 112 DAT na cv. Ágata e aos 119 DAT na cv. Atlantic. Houve efeito significativo das cultivares sobre o número total de tubérculos por planta e massa média de tubérculo, sem interação com os tempos de aspersão (Tabela 5). Sobre a massa média de tubérculos, houve efeito também dos tempos de aspersão (Tabela 5).

Tabela 5 – Resultado da análise de variância (ANOVA) e média das variáveis o número total de tubérculos planta^{-1} (NTTP), massa total de tubérculos planta^{-1} (MTTP) e massa média de tubérculos (MM), obtidos até os 119 dias após o transplantio (DAT), para duas cultivares de batata sob quatro tempos de aspersão em sistema aeropônico, Guarapuava-PR, 2018.

	NTTP	**MTTP**	**MM**
	num. planta^{-1}	**g planta^{-1}**	**g planta^{-1}**
Tempo	0,33	0,40	**0,02**
Cultivar	**<0,01**	0,28	**<0,01**
Tempo * Cultivar	0,10	0,56	0,45
CV1 (%)	33,7	40,9	4,43
CV2 (%)	21,8	21,0	12,0
Média	5,67	63,1	11,5

CV1: coeficiente de variação das parcelas (tempos)
CV2: coeficientes de variação das subparcelas (cultivares)

Os resultados da análise da produtividade total encontram-se na Tabela 6. O número de tubérculos planta^{-1} foi 35% maior em 'Ágata' que em 'Atlantic' (6,88 e 4,45 tubérculos planta^{-1}, respectivamente, Figura 19A). Isso corresponde a 243 tubérculos m^{-2} a mais na cv. Ágata do que na cv. Atlantic, na população de 100 plantas m^{-2}.

A massa de tubérculos planta^{-1} igualou-se, com média de 63,1 gramas planta^{-1} para ambas as cultivares e tempos de aspersão (Tabela 6). A massa média de tubérculo, por outro lado, foi 3,66 g tubérculo^{-1} maior em 'Atlantic' que em 'Ágata' (13,33 e 9,77 gramas tubérculo^{-1}, respectivamente, Figura 19B).

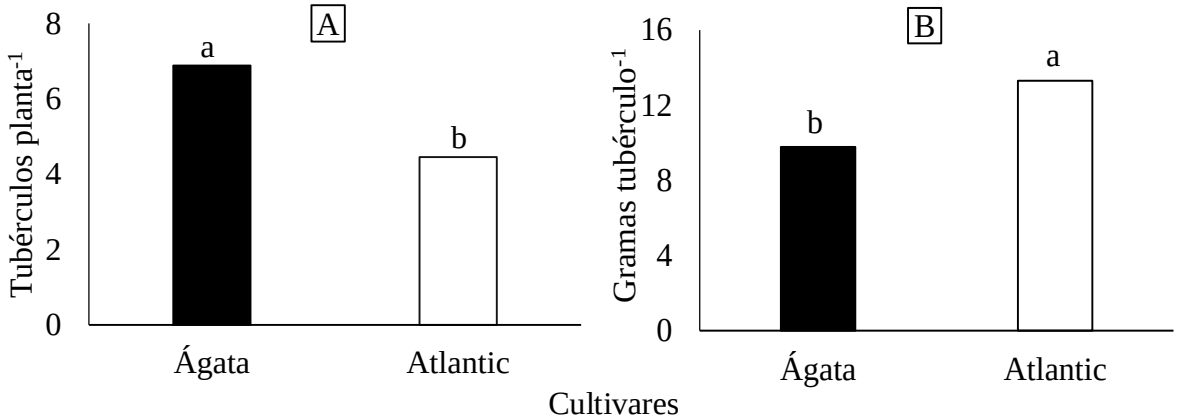

Figura 19 - Número total de tubérculos planta^{-1} (A), e massa média de tubérculo (B) obtidos aos 119 dias após o transplantio nas cultivares Ágata e Atlantic sob diferentes tempos de aspersão em sistema aeropônico, Guarapuava-PR, 2019.

Colunas assinaladas com letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Tabela 6 – Número (NTTP) e massa (MTTP) total de tubérculos planta^{-1} e massa média (MM) de tubérculo de duas cultivares de batata submetidas a quatro tempos de aspersão em sistema aeropônico, aos 119 dias após o transplantio, Guarapuava-PR, 2019.

	NTTP n°. planta^{-1}			MTTP g. planta^{-1}			MM g. tubérculo^{-1}		
Tempo	**Ágata**	**Atlantic**	**Média**	**Ágata**	**Atlantic**	**Média**	**Ágata**	**Atlantic**	**Média**
30s/10min	8,68	4,56	6,62	73,8	62,8	68,3	8,66	13,4	11,0b
30s/3min	8,19	4,52	6,36	81,0	63,9	72,5	9,88	14,0	11,9ab
3min/10min	6,11	4,75	5,43	64,0	65,3	64,7	10,5	13,7	12,1a
3min/3min	4,55	3,98	4,27	46,0	47,6	46,8	10,0	12,2	11,1b
Média	6,88A	4,45B	5,67	66,2	59,9	63,1	9,77B	13,3A	11,5

Colunas assinaladas com letras maiúsculas diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.
Linhas assinaladas com letras minúsculas diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Além da diferença entre cultivares, foi registrada diferença entre tempos de aspersão na massa média de tubérculos, com o tratamento de '3min/10min' apresentando massa média 1,1 grama tubérculo^{-1} (aproximadamente 8%) superior aos tratamentos '30s/10min' e '3min/10min' (Figura 20).

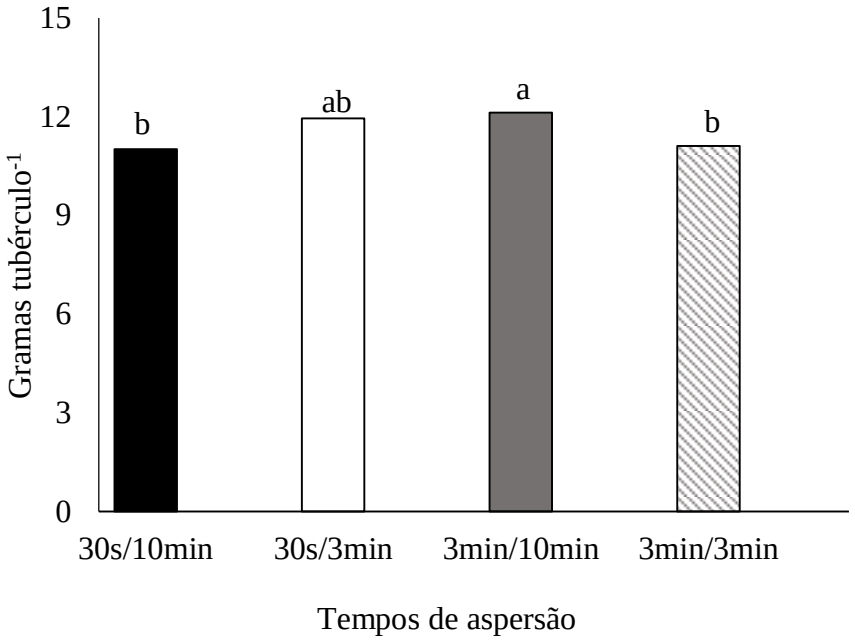

Figura 20 – Massa média de tubérculo obtida aos 119 dias após o transplantio em função de diferentes tempos de aspersão em duas cultivares de batata em sistema aeropônico, Guarapuava-PR, 2019.

A taxa de multiplicação (NTTP) foi 54% maior em ‘Ágata’ que em ‘Atlantic’, no entanto, a massa total de tubérculos planta^{-1} foi a mesma para ambas as cultivares, isso porque a massa média de tubérculos foi 27% maior em ‘Atlantic’. A diferença na massa média de tubérculos e na taxa de multiplicação pode ser explicada pelo formato dos tubérculos e a forma de realocação de fotoassimilados de cada cultivar.

Ao longo do ciclo, foram colhidos os tubérculos de diâmetro superior a 30 mm em pelo menos uma dimensão. No entanto, ao final do ciclo, a maioria dos pesquisadores e produtores de batata-semente rebaixa o critério de colheita para que haja maior aproveitamento dos tubérculos gerados (WANG et al., 2018; CALORI et al., 2017). Dessa forma, optou-se por considerar também os tubérculos de diâmetro acima de 10 mm na data da última colheita.

O formato dos tubérculos de cada cultivar teve efeito sobre a massa média de tubérculo e número de tubérculo planta^{-1} porque a cv. Ágata, ao produzir tubérculos mais alongados, de diâmetro longitudinal maior que o transversal, permitiu a colheita de tubérculos de menor massa. A cv. Atlantic, pela característica da cultivar, produz tubérculos arredondados de diâmetro longitudinal semelhante ao transversal, que possuem maior massa média.

Outra diferença entre as cultivares foi a forma de realocação de fotoassimilados. Nas plantas da cv. Ágata o enchimento de tubérculos se deu de forma conjunta, ou seja, vários tubérculos sendo formados ao mesmo tempo (‘Ágata’ possuía 6,9 e 1,8 vezes mais tubérculos formados que ‘Atlantic’, aos 73 e 87 DAT, respectivamente). Isso fez com que houvesse uma queda no número de tubérculos produzidos por planta (NTP) nessa cultivar, dos 91 aos 105 DAT – período em que, provavelmente, se deu o limite da relação entre enchimento de tubérculos e manutenção das plantas da cultivar, pois poucos tubérculos ultrapassaram os 30 mm de diâmetro nesse período (Figura 21). Assim, boa parte dos tubérculos da cv. Ágata foi colhida com diâmetro menor, na sua colheita final, aos 112 DAT. Na cv. Atlantic o enchimento de tubérculos se deu de forma direcionada, o que fez com que o número de tubérculos obtido por colheita nessa cultivar aumentasse quase linearmente a partir dos 77 DAT (Figura 21), obtendo-se tubérculos de diâmetro maior que 30 mm até a sua colheita final, aos 119 DAT.

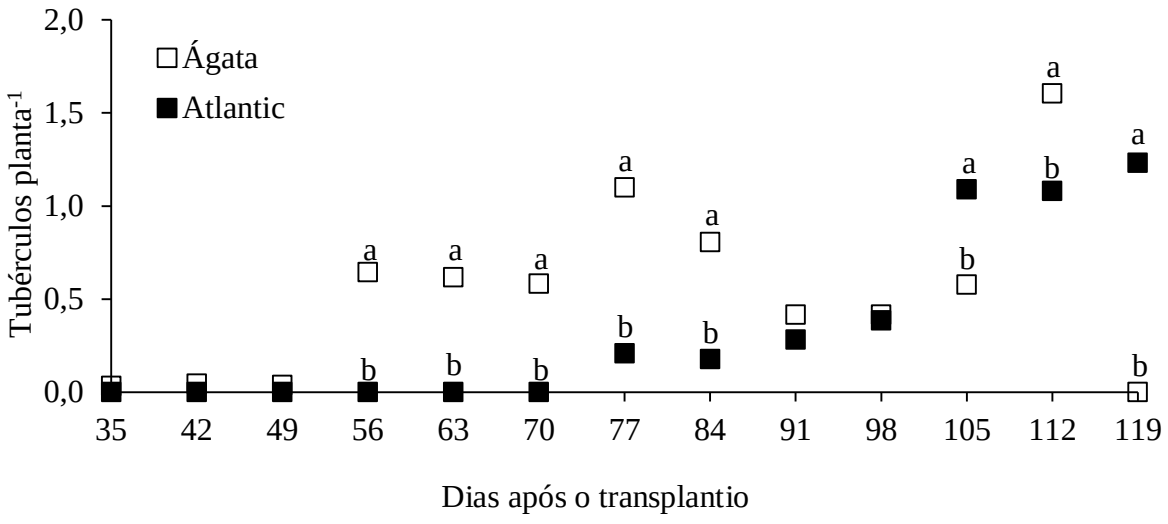

Figura 21 – Número de tubérculos colhidos planta^{-1} por colheita das cultivares Ágata e Atlantic em sistema aeropônico, Guarapuava-PR, 2019.

Pontos assinalados com letras diferentes, em cada colheita, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O menor NTTP da cv. Atlantic também pode estar relacionado à diferença de ciclo entre as cultivares. Nas condições deste experimento, 'Atlantic' atingiu plena tuberização somente aos 87 DAT, enquanto que 'Ágata' já apresentava 96% de tuberização aos 31 DAT, com uma média de 14 tubérculos iniciados planta^{-1}. As estratégias de crescimento da parte aérea também diferiram, aos 31 DAT as plantas de 'Ágata' apresentaram maior altura (competindo melhor por luz nos estágios iniciais), e aos 45 DAT número maior de nós secundários planta^{-1} (6,6 nós / folhas planta^{-1}).

As diferenças entre cultivares tendem a se ressaltar na aeroponia, pois a limitação ao potencial de cada uma é menor. Calori et al. (2017) obtiveram em média quase 56% mais tubérculos-semente da cv. Ágata (19,3 tubérculos planta^{-1}) do que da cv. Asterix (12,4 tubérculos planta^{-1}), semelhante, em proporção, à diferença obtida entre as cultivares Ágata e Atlantic neste trabalho.

Wang et al. (2018) obtiveram 20,8 tubérculos planta^{-1} na cv. Mira (cv. tardia) e 10,7 na cv. Favorita (cv. precoce). Esses resultados vão ao oposto do observado no presente experimento, em que a cv. precoce (Ágata) obteve taxa de multiplicação maior que a cv. tardia (Atlantic). Isso se deu, possivelmente, em razão das diferenças climáticas entre os locais de estudo, do ciclo de cultivo e diferenças nos parâmetros adotados para colheita.

A hipótese desse estudo foi lançada ao observar que plantas de batata em aeroponia, quando submetidas a longos tempos de aspersão contínua, apresentavam desenvolvimento radicular aquém do observado na literatura. Há relatos de produtores de outras culturas em

aeroponia, de que a imersão por tempo excessivo das raízes em solução nutritiva acarreta em desenvolvimento atrofiado das raízes pela supressão do crescimento de pelos radiculares, e que, portanto, a aspersão deveria ser feita de forma curta e frequente (GAO, 2017). No entanto, a confirmação dessa hipótese não foi possível através dos resultados obtidos no presente experimento. Houve apenas uma tendência ($p<0,10$) de interação entre os regimes de aspersão e cultivares, na qual a cv. Ágata apresentaria maior taxa de multiplicação nos regimes de menor exposição à água.

Chiipanthenga et al. (2012) observaram que a pouca exposição das raízes ao oxigênio suprime o desenvolvimento de pelos radiculares e do sistema radicular como um todo, porém o excesso de oxigênio pode levar a um crescimento exacerbado destes pelos sem sustentação para a parte aérea por raízes mais espessas.

Todavia, os resultados permitem concluir que o regime de aspersão mais eficaz em aeroponia é o que utiliza menos água (30 segundos de aspersão com 10 minutos de intervalo) ao permitir a mesma produtividade que os tratamentos com maior tempo de aspersão. Isto porque, embora o sistema aeropônico seja fechado, permitindo a recirculação da solução nutritiva, o uso de menores tempos de aspersão acarretaria em menor gasto de energia em sistemas em que a circulação da solução é feita pelo acionamento das bombas hidráulicas. Além disso, é comum em sistemas hidráulicos e na aeroponia a ocorrência de pequenos vazamentos, que, somados, acarretam em perdas consideráveis de solução nutritiva para o ambiente, que poderiam ser diminuídas pela menor circulação da solução pela tubulação.

O número total de tubérculos por área até os 112 DAT para a cv. Ágata foi de apenas 60 e 30% da produtividade total relatada por outros trabalhos realizados no Brasil (FACTOR et al., 2007; CALORI et al., 2017; respectivamente). Além da diferença de clima de região para região, que pode limitar a produtividade, o estímulo dado pela época de plantio ao crescimento vegetativo também pode ter causado diminuição na produtividade das plantas, uma vez que foi observada a formação de grande área foliar que poderia ser revertida na formação de tubérculos.

6. CONCLUSÕES

O número e massa de tubérculos por área da cv. Ágata na safra de outono aumenta com o aumento da densidade de transplantio até 180 plantas m^{-2} e tem relação inversamente proporcional com o número e massa de tubérculos por planta. O número de hastes, folhas, tubérculos iniciados e formados segue a mesma tendência.

O período de dormência de tubérculos-semente diminui quando provenientes de colheitas mais tardias, porém não sofre alteração pela densidade de transplantio utilizada durante o ciclo.

A cv. Ágata foi mais precoce e obteve maior taxa de multiplicação que 'Atlantic' nas condições do segundo experimento. 'Atlantic' teve porte mais robusto e tuberização tardia. Sugere-se que práticas de manejo diferenciadas sejam testadas para cada cultivar em futuros experimentos.

O regime de aspersão mais adequado ao sistema aeropônico é o de menor uso d'água (30 segundos de aspersão com 10 minutos de intervalo), uma vez que o aumento no tempo de aspersão não produziu variações na taxa de multiplicação das plantas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE-PIEDRA, J.L.; KROMANN, P.; OTAZÚ, V. (Eds.). **Manual para la Producción de Semilla de Papa usando Aeroponía**: Diez años de Experiencias en Colombia, Ecuador y Perú. 2015. Centro Internacional de la Papa (CIP), Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). Quito, Ecuador. 267 p.

BRADSHAW, J.E. Potato-Breeding Strategy. In: VREUGDENHIL, D. et al. **Potato Biology and Biotechnology:** Advances and Perspectives. Amsterdã – Holanda, Elsevier B. V., 2007. Cap. 8, p. 157-177.

CALORI, A. H.; FACTOR, T. L.; FELTRAN, J. C.; WATANABE, E. Y.; DE MORAES, C. C; PURQUÉRIO, L. F. V. Electrical conductivity of the nutrient solution and plant density in aeroponic production of seed potato under tropical conditions (winter/spring). **Bragantia**, v. 76, n. 1, p. 23–32, mar. 2017.

CHANG, D. C.; PARK, C. S.; KIM, S. Y.; LEE, Y. B. Growth and Tuberization of Hydroponically Grown Potatoes. **Potato Research**, v. 55, n. 1, p. 69–81, mar. 2012.

CHANG, D. C.; JIN, Y. I.; KIM, S. J.; PARK, S. T.; CHO, Y. R.; LEE, Y. B. Nutritional and Structural Response of Potato Plants to Reduced Nitrogen Supply in Nutrient Solution. **American Journal of Potato Research**, v. 93, n. 4, p. 368–377, ago. 2016.

CHAPMAN, H. W. Potato tissue cultures. **American Potato Journal**, v. 32, n. 6, p. 207–210, 1955.

CHIIPANTHENGA, M.; MALIRO, M.; DEMO, P.; NJOLOMA, J. Potential of aeroponics system in the production of quality potato (Solanum tuberosum l.) seed in developing countries. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 17, 28 fev. 2012.

CORRÊA, R. M.; PINTO, J. E. B. P.; PINTO, C. A. B. P.; FAQUIN, V.; REIS, É. S.; MONTEIRO, A. B.; DYER, W. E. A comparison of potato seed tuber yields in beds, pots and hydroponic systems. **Scientia Horticulturae**, v. 116, n. 1, p. 17–20, mar. 2008.

CORRÊA, R. M.; PINTO, J.; REIS, E. S.; MONTEIRO, A. B.; PINTO, C.; FAQUIN, V. Densidade de plantas e métodos de colheita na multiplicação de batata-semente em vasos. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 2, p. 270–274, 2007.

DANIELS, J.; SILVA, A. C. F.; SOUZA, Z. S.; SCHONS, J. Degenerescência de batata-semente básica após um ou dois períodos de cultivo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, n. 3, p. 510-513, set. 2002.

FACTOR, T. L. **Produção de minitubérculos de batata-semente em sistemas hidropônicos NFT, DFT e aeroponia.** Jaboticabal, SP: Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2007. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, 2007.

FACTOR, T. L.; ARAUJO, J. A. DE; KAWAKAMI, F. P.; IUNCK, V. Produção de minitubérculos básicos de batata em três sistemas hidropônicos. **Horticultura Brasileira**, p. 82–87, 2007.

FAO. **Food and Agriculture Organization's Statistics**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 2 jul. 2018.

FAO. **International year of the potato.** 2008**.** Disponível em: <http://www.fao.org/potato-2008/en/>. Acesso em: 2 jul. 2017

FARRAN, I.; MINGO-CASTEL, A. Potato minituber production using aeroponics: Effect of plant density and harvesting intervals. **American Journal of Potato Research**, v. 83, n. 1, p. 47–53, jan. 2006.

FERREIRA, D. F. **Sisvar** - sistema de análise de variância para dados balanceados. Lavras: UFLA, 1998. 19 p.

GAO, W. **Less is More**. 2017. Disponível em: <https://blog.bifarm.com/less-is-more-818cb45e68b2>. Acesso em: 18/10/2018.

GOOGLE. **Google Earth.** Disponível em: <https://www.google.com/earth/>. Acesso em: 10/10/2018.

GOPAL, J.; KHURANA, S. M. P. (eds.). **Handbook of potato production, improvement, and postharvest management**. Nova Iorque - EUA, CRC Press, 2006. 605 p.

HAZARIKA, B. N. Morpho-physiological disorders in *in vitro* culture of plants. **Scientia Horticulturae**, v. 108, n. 2, p. 105–120, abr. 2006.

HAWKES, J. G.; FRANCISCO-ORTEGA, J. The early history of the potato in Europe. **Euphytica**, v. 70, n. 1, p. 1–7, 1993.

IAPAR. **Cartas climáticas do Paraná**. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=863>. Acesso em: 15 out. 2018.

IBGE-LSPA. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em: < https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>. Acesso em: 10 out. 2018.

JACKSON, S. D. Multiple Signaling Pathways Control Tuber Induction in Potato. **Plant Physiology**, v. 119, n. 1, p. 1–8, 1 jan. 1999.

JONES, E. D. A current assessment of in vitro culture and other rapid multiplication methods in North America and Europe. **American Journal of Potato Research**, v. 65, n. 4, p. 209–220, 1988.

KANG, J. G.; YANG, S. Y.; KIM, S. Y. Effects of nitrogen levels on the plant growth, tuberization and quality of potatoes grown in aeroponics. **Journal of the Korean Society for Horticultural Science,** v. 37, p. 761-766, 1996a.

KANG, J. G.; KIM, S. Y.; KIM, H. J.; OM, Y. H.; KIM, J. K. Growth and tuberization of potato (*Solarium tuberosum* L.) cultivars in aeroponic, deep flow technique and nutrient film technique culture systems. **Journal of the Korean Society for Horticultural Science**, v. 37, p. 24-27, 1996b.

KIM, K. T.; KIM, S. B.; KO, S. B.; PARK, Y. B. Effects of minituber picking intervals on the yield and tuber weight of potato grown in aeroponics. **RDA Journal of Horticulture Science**, v. 39, p. 65-69, 1997.

LOON, K. D. van. The seed potato market. In: VREUGDENHIL, D. et al. **Potato Biology and Biotechnology:** Advances and Perspectives. Amsterdã – Holanda, Elsevier B. V., 2007. Cap. 3, p. 45-51.

MATEUS-RODRÍGUEZ, J. R.; HAAN, DE S.; ANDRADE-PIEDRA, J. L.; MALDONADO, L.; HAREAU, G.; BARKER, I.; CHUQUILLANQUI, C.; OTAZÚ, V.; FRISANCHO, R.; BASTOS, C.; PEREIRA, A. S.; MEDEIROS, C. A.; MONTESDEOCA, F.; BENÍTEZ, J. Technical and Economic Analysis of Aeroponics and other Systems for Potato Mini-Tuber Production in Latin America. **American Journal of Potato Research**, v. 90, n. 4, p. 357–368, ago. 2013.

MEDEIROS, C. A. B.; ZIEMER, A. H.; DANIELS, J.; PEREIRA, A. S. Produção de sementes pré-básicas de batata em sistemas hidropônicos. **Horticultura Brasileira**, v. 20, p. 110–114, 2002.

MILLAM, S.; K. SHARMA, S. Soil-free techniques. In: BRADSHAW, D. V. et al. **Potato Biology and Biotechnology**. Amsterdam: Elsevier Science B.V., 2007. cap. 32, p. 705–716.

MOHAMED, M. A.-H.; ALSADON, A. A. Influence of ventilation and sucrose on growth and leaf anatomy of micropropagated potato plantlets. **Scientia Horticulturae**, v. 123, n. 3, p. 295–300, jan. 2010.

MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures. **Physiologia Plantarum**, Copenhague - Dinamarca, v. 15, n. 3, p. 473–497, jul. 1962.

MUTHONI, J.; SHIMELIS, H.; MELIS, R. Alleviating potato seed tuber shortage in developing countries: Potential of true potato seeds. **Australian Journal of Crop Science**, v. 7, n. 12, p. 1946, nov. 2013.

OEC. **The observatory of economic complexity**. Massachussets Institute of Technology, 2018. Disponível em: <https://atlas.media.mit.edu/en/>. Acesso em: 18/10/2018.

ORABY, H.; LACHANCE, A.; DESJARDINS, Y. A Low Nutrient Solution Temperature and the Application of Stress Treatments Increase Potato Mini-tubers Production in an Aeroponic System. **American Journal of Potato Research**, v. 92, n. 3, p. 387–397, jun. 2015.

OTAZÚ, V. **Manual on Quality Seed Potato Production using Aeroponics**. Lima: Peru, 2010.

PEREIRA, A. da S. A evolução da batata no Brasil. In: **Congresso Brasileiro de Olericultura**, 51. Horticultura Brasileira 29. 2011. Viçosa: ABH.S5701-S5710.

PEREIRA, J. E. S.; FORTES, G. R. de L. Organogenesis of potato meristem tips on the in vitro isolation and multiplication media. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 197–201, jun. 2004.

PEREIRA, A. da S.; SILVA, G. O.; CASTRO, C; M; Melhoramento de batata. In: NICK, C.; BOREM, A. (eds.). **Melhoramento de hortaliças.** Viçosa, MG: Editora UFV, 2016. p. 128-157.

RITTER, E.; ANGULO, B.; RIGA, P.; HERRÁN, J.; RELLOSO, J.; SAN JOSE, M. Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers. **Potato Research**, v. 44, p. 127-135, 2001.

RYKACZEWSKA, K. The potato minituber production from microtubers in aeroponic culture. **Plant, Soil and Environment**, v. 62, n. No. 5, p. 210–214, 26 maio 2016a.

RYKACZEWSKA, K. Field performance of potato minitubers produced in aeroponic culture. **Plant, Soil and Environment**, v. 62, n. No. 11, p. 522–526, 9 nov. 2016b.

SEAB, Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento - SEAB / Departamento de Economia Rural - DERAL. **Olericultura: Análise da Conjuntura Agropecuária.** L. Paraná, nov. 2017, 18 p. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/2018/Olericultura_2017_18.pdf.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2018.

SILVA FILHO, J. B. **Desenvolvimento e otimização de sistema aeropônico para a produção de minitubérculos de batata-semente**. Viçosa, MG, 2015. 91 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Universidade Federal de Viçosa.

SILVA FILHO, J. B.; FONTES, P. C. R.; CECON, P. R.; MCGIFFEN, M. E. Evaluation of "UFV Aeroponic System" to Produce Basic Potato Seed Minitubers. **American Journal of Potato Research**, v. 95, n. 5, p. 443–450, out. 2018.

SOUZA, C. DE B. DOS S.; FONTES, P. C. R.; MOREIRA, M. A.; PUIATTI, M.; MARTINEZ, H. E. P.; ARAÚJO, R. F. Production of basic potato seed minitubers in substrate and different nitrogen rates. **Revista Ceres**, v. 59, n. 6, p. 850–858, dez. 2012.

TIBBITTS, T. W.; CAO, W. Solid matrix and liquid culture procedures for growth of potatoes. **Adv. Space Res.**, v. 14, p. 427–433, 1994.

TSHISOLA, S. N. **Improved potato (*Solanum tuberosum* L.) seed production through aeroponics**. Stellenbosch, África do Sul, 2014. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura), Universidade de Stellenbosch.

VIRMOND, E. P.; KAWAKAMI, J.; SOUZA-DIAS, J. A. C. Seed-potato production through sprouts and field multiplication and cultivar performance in organic system. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 3, p. 335–342, set. 2017.

WAN, W. Y.; CAO, W.; TIBBITTS, T. W. Tuber Initiation in Hydroponically Grown potatoes by Alteration of Solution pH. **HortSci**, v. 29, p.621–623, 1994.

WANG, C.-C.; WANG, X.-Y.; WANG, K.-X; HU, J.-J.; TANG, M.-X.; WEI, H.; VANDERZAAG, P. Manipulating Aeroponically Grown Potatoes with Gibberellins and Calcium Nitrate. **American Journal of Potato Research**, v. 95, n. 4, p. 351–361, ago. 2018.